

โครงการวิศวกรรมชลประทาน

(02207499)

ที่ 12/2553

เรื่อง

การศึกษาปรากฏการณ์ Analemma ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

(The Study of Analemma Phenomenon at Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus)

โดย

นายกิตติ

อ่วมสอาด

นายภูวนา

ชายเกตุ

นางสาวปิยะวรรณ

ว่องไวเจริญสุข

เสนอ

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำแพงแสน นครปฐม 73140

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา-ชลประทาน)

พุทธศักราช 2553

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การศึกษาปรากฏการณ์ Analemma ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

โดย : นายกิตติ อ่วมสอาด
 นายภูวนาจ ชายเกตุ
 นางสาวปิยะวรรณ ว่องไวเจริญสุข

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน :
 (อ.ดร.วิญวัฒน์ แด่สมบัติ)
/...../.....

ปรากฏการณ์ Analemma เป็นปรากฏการณ์รูปเลข 8 ของตำแหน่งดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของแต่ละวัน ณ เวลาเดียวกัน ในรอบ 1 ปี ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นผลมาจากการเอียงของแกนโลก ในโครงงานวิศวกรรมนี้ได้เลือกพื้นที่ศึกษาคือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อใช้ติดตามปรากฏการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2553 ถึงเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2554 โดยเลือกใช้การถ่ายภาพที่เวลาเดียวกัน ณ เวลา 17.00 น. ในทุกๆ 15 วันตลอดช่วงเวลาดังกล่าว และได้ตรวจสอบค่าตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ตรวจวัดมาได้ด้วยโปรแกรม Sun Graph ซึ่งสามารถใช้คำนวณจำนวนชั่วโมงความยาวนานของแสงอาทิตย์และมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก ซึ่งจะมีผลต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ในสมการการหาปริมาณการใช้น้ำจริงของพืช (ET_o) โดยวิธีของ Penman Monteith ผลการศึกษาพบว่า ปรากฏการณ์ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ศึกษาเป็นไปตามปรากฏการณ์ Analemma สำหรับโปรแกรม Sun Graph นอกจากจะสามารถอธิบายการเกิดปรากฏการณ์ Analemma ได้แล้ว ยังสามารถบอกจำนวนชั่วโมงความยาวนานของแสงได้ทุกช่วงเวลาได้ไม่จำกัดในทุกที่ทั่วโลกได้

ABSTRACT

Title : The Study of Analemma Phenomenon at Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus

By : Mr. Kitti Aumsa-ard
 Mr. Puwanart Chaiket
 Miss. Piyawan Wongwaicharoensook

Project Advios :
 (Dr. Wisuwat Taesombat)
/...../.....

An Analemma phenomenon which is resulted a figure of eight of the position of the Sun can be traced by plotting as viewed from a fixed position on Earth at the same time every day for an entire year. This phenomenon occurs because of the axial tilt of the earth. In this engineering project, Kasetsart University, Kamphaengsaen Campus was selected as the study area. The study period was carried out between October 2010 to March 2011. The photograph period was selected at 5.00 p.m. in every 15 days during the study period. The Sun Graph program was selected to verify the observed the positions of the Sun. This program can be used to calculate the sun hours and declination of the sun of the Earth's equator. These two factors affect to the parameters in the calculation of evapotranspiration (ET_o) by the equations derived by Penman Monteith. The results found that the observed positions of the sun are in line with an Analemma phenomenon. The Sun Graph program can calculate the sun hours in every position on the Earth.

คำนิยม

โครงการวิศวกรรมเรื่องการศึกษาปรากฏการณ์ Analemma ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณผู้ที่ให้ความสนับสนุนในด้านต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.วิษุวัตก์ แต่สมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิศวกรรม ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา และชี้แนวทางในการดำเนินงานมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าอากาศโท ณัฐพงษ์ แก้วกำเนิด เจ้าหน้าที่ข่าวโรงเรียนการบินและ นายวีรภัทร ไพบูลย์ผล นิสิตวิศวกรรมชลประทานชั้นปีที่ 4 ที่ให้สนับสนุนในด้านอุปกรณ์การถ่ายภาพ

ท้ายสุดนี้ประโยชน์และคุณความดีทั้งหลายอันพึงจะได้รับจากโครงการวิศวกรรมชลประทานนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณทุกท่าน ตลอดจนคณะครูและอาจารย์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆ แก่ผู้จัดทำจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	i
Abstract	ii
คำนิยม	iii
สารบัญ	iv
สารบัญตาราง	vi
สารบัญภาพ	vii
สารบัญภาพผนวก	viii
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 คำนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	
2.1 ปรากฏการณ์แอนาเล็มมา	3
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์	6
2.3 โปรแกรม Sun Graph	8
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปรากฏการณ์ Analemma และความรู้ทางด้านวิศวกรรมชลประทาน	8
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	
3.1 อุปกรณ์	18
3.2 วิธีการ	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ผลของโปรแกรม Sun Graph	23
4.2 ผลที่ได้จากการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน	27
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ Analemma และ ความรู้ทางด้านวิศวกรรมชลประทาน	30

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการศึกษา	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
 เอกสารอ้างอิง	 34
 ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการสร้างภาพนิ่งด้วยโปรแกรม PhotoScape	 35
ภาคผนวก ข. ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Sun Graph	41

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 1 ผลการคำนวณการใช้น้ำของพืชด้วยวิธี FAO Panman-Monteith และ การใช้น้ำสูงสุดจากการประมาณด้วยรังสีแสงอาทิตย์สุทธิของสถานี ตรวจอากาศเกษตรกำแพงแสน	12

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 1 แอนาเล็มมาที่ได้จากการถ่ายรูป โดยมองไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือบนทรงกลมฟ้า (มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553)	3
ภาพที่ 2 แอนาเล็มมาบนโลก (มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553)	4
ภาพที่ 3 อสมมาตรของแอนาเล็มมา (มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553)	4
ภาพที่ 4 แอนาเล็มมาของดาวอังคาร (มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553)	5
ภาพที่ 5 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กรีซมายัน (มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553)	6
ภาพที่ 6 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เมายัน (มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553)	7
ภาพที่ 7 แสดงแนวปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาในรอบ 1 ปี (มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553)	7
ภาพที่ 8 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Sun Graph	8
ภาพที่ 9 แสดงการปลูกในทิศทางทิศเหนือ-ทิศใต้ เปรียบเทียบกับทิศตะวันออก-ตะวันตก	17
ภาพที่ 10 อุปกรณ์การถ่ายภาพ	18
ภาพที่ 11 จอแสดงผลจากการทดลองจากโปรแกรม Sun Graph	19
ภาพที่ 12 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาที่มีแสง จากโปรแกรม Sun Graph	19
ภาพที่ 13 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล	20
ภาพที่ 14 สถานที่ที่ใช้บันทึกภาพดวงอาทิตย์บริเวณแปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน	21
ภาพที่ 15 ไอคอนโปรแกรม PhotoScape	22
ภาพที่ 16 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาที่มีแสง จากโปรแกรม Sun Graph	23
ภาพที่ 17 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ ที่ระยะเวลา 1 ปี จากโปรแกรม Sun Graph	24
ภาพที่ 18 ตำแหน่งที่ทำการตั้งกล้องถ่ายภาพ	25
ภาพที่ 19 ภาพแปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทานที่ได้จากโปรแกรม Google Earth	26
ภาพที่ 20 ผลที่ได้จากการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ ที่เวลา 17.00 น. ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2553 – เดือนมีนาคม พ.ศ.2554	29
ภาพที่ 21 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ ที่ระยะเวลา 1 ปี จากโปรแกรม Sun Graph	30
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีดวงอาทิตย์และองศาที่โลกทำกับดวงอาทิตย์	31

สารบัญภาพผนวก

ภาพผนวกที่	หน้า
ภาคผนวก ก.	
ภาพผนวกที่ ก.1 แสดงหน้าจอโปรแกรม PhotoScape	36
ภาพผนวกที่ ก.2 แสดงการเลือกโปรแกรมแก้ไขภาพ	37
ภาพผนวกที่ ก.3 แสดงการแก้ไขภาพดวงอาทิตย์	37
ภาพผนวกที่ ก.4 แสดงการเพิ่มวัตถุในรูปภาพ	38
ภาพผนวกที่ ก.5 แสดงการเลือกเครื่องมือในโปรแกรม PhotoScape	38
ภาพผนวกที่ ก.6 แสดงการเลือกเมนู ถ่ายภาพในโปรแกรม PhotoScape	39
ภาพผนวกที่ ก.7 แสดงการปรับแก้ความทึบแสงของภาพ	39
ภาพผนวกที่ ก.8 แสดงการรวมภาพดวงอาทิตย์ในโปรแกรม PhotoScape	40
ภาคผนวก ข.	
ภาพผนวกที่ ข.1 หน้าต่างโปรแกรม Sun Graph	42
ภาพผนวกที่ ข.2 แสดงการเปลี่ยน Location	43
ภาพผนวกที่ ข.3 แสดง Location List ในสถานที่ต่างๆ	44
ภาพผนวกที่ ข.4 แสดงการเพิ่ม Location	45
ภาพผนวกที่ ข.5 แสดง Location และ พิกัด ที่ทำการถ่ายภาพ	46
ภาพผนวกที่ ข.6 แสดงการนำเข้าข้อมูลของโปรแกรม SunGraph	47
ภาพผนวกที่ ข.7 แสดงการเลือกคู่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็น Sun Graph	48
ภาพผนวกที่ ข.8 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ของวันและเวลา นั้นๆ	49
ภาพผนวกที่ ข.9 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ ที่ระยะเวลาปี	50
จากโปรแกรม SunGraph	

บทที่ 1

คำนำ วัตถุประสงค์ และขอบเขตการศึกษา

1.1 คำนำ

ปรากฏการณ์ Analemma เป็นปรากฏการณ์รูปเลข 8 ของตำแหน่งดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าของแต่ละวัน ณ เวลาเดียวกัน ในรอบ 1 ปี ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นผลมาจากการเอียงของแกนโลก

จำนวนชั่วโมงความยาวนานของแสงอาทิตย์และมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก มีผลต่อการคำนวณค่าพารามิเตอร์ในสมการการหาปริมาณการใช้พลังงานของพืช (ET_o) โดยวิธีของ Penman Monteith โดยสามารถตรวจสอบค่าตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ตรวจวัดมาได้ด้วยโปรแกรม Sun Graph ซึ่งสามารถใช้คำนวณจำนวนชั่วโมงความยาวนานของแสงอาทิตย์และมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก

ในโครงการวิศวกรรมนี้ได้เลือกพื้นที่ศึกษาคือ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน เพื่อใช้ติดตามปรากฏการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นในช่วงระหว่างเดือนตุลาคม ปี พ.ศ. 2553 ถึงเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2554 โดยเลือกใช้การถ่ายภาพที่เวลาเดียวกัน ณ เวลา 17.00 น. ในทุกๆ 15 วันตลอดช่วงเวลาดังกล่าว และจากการเรียนวิชา อุทกวิทยา ที่ผ่านมา ซึ่งในเนื้อหาการเรียนวิชาอุทกวิทยา ได้กล่าวถึง เรื่อง อุตุนิยมนิยามพื้นฐาน (Basic Meteorology) โดยมีเนื้อหา กล่าวถึงรายละเอียดของ การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์, ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามละติจูด, ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และยังรวมถึง การเกิดปรากฏการณ์ Analemma ด้วย ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่น่าสนใจ โดยตัวเนื้อหาและสื่อการสอนที่มีการยกตัวอย่างการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวในต่างประเทศซึ่งเป็นรูปภาพที่สวยงามประกอบกับการเกิด ปรากฏการณ์ Analemma สามารถติดตามและบันทึกภาพได้ด้วยตนเองในทุกที่ทั่วโลก แต่ต้องอาศัย เทคนิคด้านการถ่ายภาพเข้ามาช่วยในการเก็บภาพหรือการเก็บข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา

เพื่อศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ Analemma สำหรับวิชาอุทกวิทยา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ระยะเวลาในการศึกษา เกี่ยวกับปรากฏการณ์ Analemma ใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 6 เดือน คือ ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2553 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2554
2. สถานที่ที่ทำการศึกษาปรากฏการณ์ Analemma ศึกษาเฉพาะที่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
3. เวลาที่ใช้ในการถ่ายภาพเพื่อศึกษาปรากฏการณ์ Analemma ณ เวลา 17.00น. ทุกๆ 15 วัน

บทที่ 2

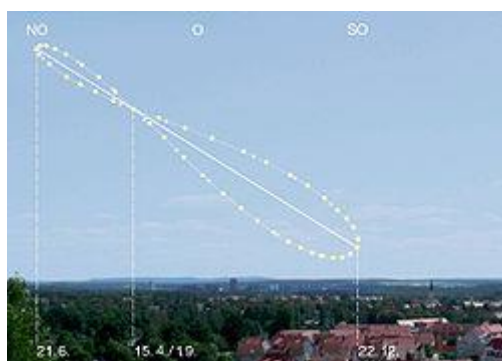
การตรวจเอกสาร

2.1 ปรากฏการณ์แอนาเล็มมา

ความหมาย

ในทางดาราศาสตร์ แอนาเล็มมา (อังกฤษ: Analemma; ภาษาละตินใช้เรียกฐานของนาฬิกาแดด) หมายถึงเส้นโค้งที่แสดงถึงตำแหน่งเชิงมุมของเทหวัตถุบนทรงกลมฟ้า (ปกติหมายถึงดวงอาทิตย์) โดยมองจากเทหวัตถุอีกที่หนึ่ง (ปกติหมายถึงโลก) ตัวอย่างเช่น เมื่อเรารู้ว่าวันโดยเฉลี่ยของโลกเท่ากับ 24 ชั่วโมง Analemma สามารถติดตามได้โดยการทำเครื่องหมายตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ที่มองจากสถานที่หนึ่งๆ บนโลกในเวลาเดิมทุก 24 ชั่วโมงตลอดทั้งปี ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะปรากฏเป็นเส้นโค้งคล้ายเลขแปด (มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553)

มีตัวแปรสามอย่างที่ส่งผลถึงรูปร่างของแอนาเล็มมา ได้แก่ ความเอียงของแกน (axial tilt) ความเบี้ยวของวงโคจร (orbital eccentricity) และมุมระหว่าง apse line กับเส้นตรงของอาณัน สำหรับเทหวัตถุที่มีวงโคจรเป็นวงกลมโดยสมบูรณ์และไม่มี ความเอียงของแกนดาว ดวงอาทิตย์จะปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งเดิมในเวลาเดิมทุกวัน รูปร่างแอนาเล็มมาจะเป็นแค่เพียงจุดจุดเดียว สำหรับเทหวัตถุที่มีวงโคจรและความเอียงของแกนเท่ากับโลก จะมองเห็นเป็นเลขแปดที่วงวนด้านเหนือกับวงวนด้านใต้จะมีขนาดเท่ากัน และสำหรับเทหวัตถุที่มีวงโคจรเหมือนโลกแต่ไม่มีความเอียงของแกน แอนาเล็มมาจะเป็นรูปเส้นตรงขนานไปกับทิศตะวันออกและทิศตะวันตก



ภาพที่ 1 แอนาเล็มมาที่ได้จากการถ่ายรูป โดยมองไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือบนทรงกลมฟ้า
ที่มา: มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553

แอนาเล็มมาบนโลก

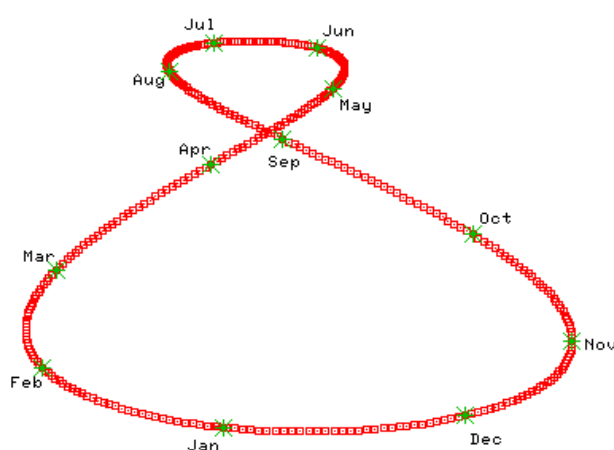
เนื่องจากแกนโลกที่เอียง 23.5° และวงโคจรที่เป็นรูปวงรีรอบดวงอาทิตย์ ทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในเวลาเดียวกันของแต่ละวันต่างกัน และความเอียงของวงวนของแอนาเล็มมาจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งละติจูดบนโลกที่ต่างกัน (แต่เป็นรูปเลขแปดเหมือนกัน)

แอนาเล็มมาที่วาดโดยขยายแกนออก แสดงให้เห็นถึงความไม่สมมาตรเล็กน้อยของวงวน เกิดจากการทำมุมระหว่าง apse line กับเส้นตรงของอาัยัน



ภาพที่ 2 แอนาเล็มมาบนโลก

ที่มา: มุลนิธิวิกิพีเดีย, 2553



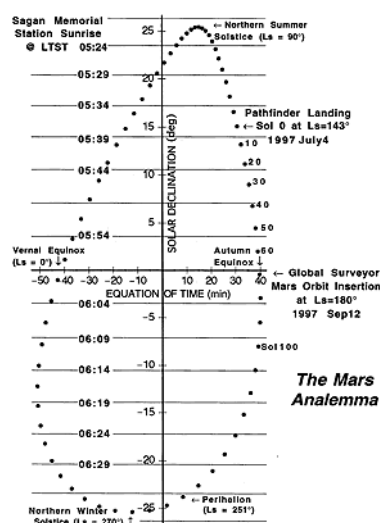
ภาพที่ 3 อสมมาตรของแอนาเล็มมา

ที่มา: มุลนิธิวิกิพีเดีย, 2553

แอนาเล็มมาบนดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ

บนโลกนั้น แอนาเล็มมาปรากฏเป็นรูปเลขแปด แต่บนดาวเคราะห์ดวงอื่นจะมีรูปร่างต่างออกไป เนื่องจากรูปร่างของวงโคจรและความเอียงของแกนดาวเคราะห์ที่แตกต่างกัน โดยหนึ่งวันของดาวเคราะห์จะมีความหมายว่า เป็นเวลาที่ดาวเคราะห์หมุนรอบตัวเองครบหนึ่งรอบโดยอ้างอิงกับด้านที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์

- ดาวพุธ: หนึ่งวันบนดาวพุธจะยาวนานเท่ากับ 2 ปี ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในเวลาเดียวกันทุกวันแทบจะเป็นจุด และแอนาเล็มมาเป็นเส้นตรงที่ยาวจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก
- ดาวศุกร์: เนื่องจากบนดาวศุกร์มีเวลาน้อยกว่าสองวันในหนึ่งปี ทำให้ต้องใช้เวลาหลายปีเพื่อที่จะติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และแอนาเล็มที่ได้นั้นจะเป็นรูปวงรี
- ดาวอังคาร: เป็นรูปหยดน้ำ
- ดาวพฤหัสบดี: เป็นรูปวงรี
- ดาวเสาร์: โดยทางเทคนิคแล้วแอนาเล็มมาเป็นรูปเลขแปด แต่วงวนทางด้านเหนือมีขนาดเล็กมากจนมองคล้ายรูปหยดน้ำ
- ดาวยูเรนัส: รูปเลขแปด
- ดาวเนปจูน: รูปเลขแปด
- ดาวพลูโต: รูปเลขแปด



ภาพที่ 4 แอนาเล็มมาของดาวอังคาร

ที่มา: มุลนิธิวิกิพีเดีย, 2553

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

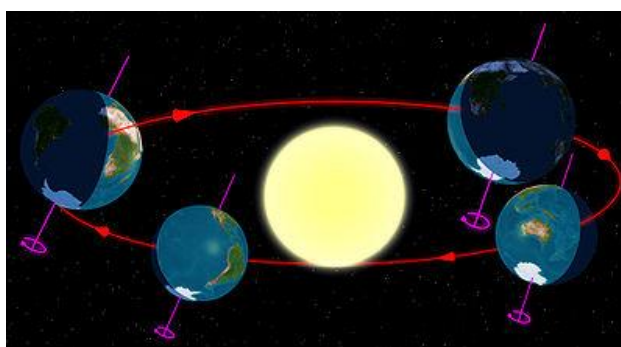
การหมุนรอบตัวเองของโลก 1 รอบ หมายถึง 1 วันบนโลก จะกินเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แต่การหมุนครบ 1 รอบของโลกนั้น ถ้าใช้จุดอ้างอิงในการครบ 1 รอบต่างกันก็จะให้ผลของเวลาที่ต่างกันด้วย โดยทั่วไปการบอกเวลา 1 วันบนโลกเรามักจะอ้างอิงกับดวงอาทิตย์ เราจึงแบ่ง 1 วันออกเป็น 24 ชั่วโมง โดยประมาณ และแบ่งเป็นครึ่งกลางวัน 12 ชั่วโมง และ ครึ่งกลางคืนอีก 12 ชั่วโมง

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะนึกภาพออกมาว่า ในแต่ละวันการปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาในรอบ 1 ปี ภาพด้านล่าง เป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Analemma เกิดจากตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในแต่ละวัน ในเวลาเดียวกัน ไม่เคยซ้ำเดิมเลย จะเปลี่ยนแปลงทีละน้อยในรอบปี ลักษณะเป็นรูปเลขแปด ความสูงของเลขแปด เป็นผลมาจากแกนเอียงของโลก โดยที่ตำแหน่งต่ำสุดคือ winter solstice และตำแหน่งสูงสุดคือ summer solstice ส่วนความกว้างของเลขแปดเป็นผลมาจากวงโคจรที่เป็นวงรีของโลกรอบดวงอาทิตย์

ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า หรือ สุริยวิถี (ecliptic) เทียบกับเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าโดยพิจารณา

-ที่โซลสติซ (Solstice คือตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ที่เคลื่อนมาอยู่สูงสุดบนท้องฟ้า มีอยู่ 2 ตำแหน่งคือ Summer Solstice และ Winter Solstice สรุปดังนี้

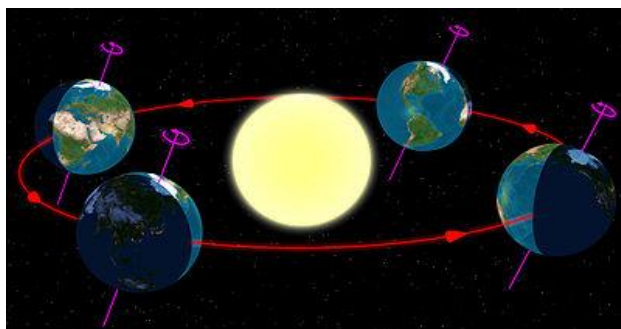
(Summer Solstice) ครีษมายัน ตรงกับวันที่ 21 มิถุนายน ดวงอาทิตย์จะอยู่สูงเลย เส้นศูนย์สูตรฟ้าไปทางทิศเหนือมากที่สุด ดวงอาทิตย์อยู่สุดบนท้องฟ้า ซึ่งเป็น วันที่กลางวัน ยาวนานที่สุดทางซีกโลกเหนือ ตรงกับฤดูร้อน) ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร 23.5 องศา ดังรูป



ภาพที่ 5 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ครีษมายัน

ที่มา: มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553

(Winter Solstice) เหมยัน ตรงกับ วันที่ 22 ธันวาคม ดวงอาทิตย์จะอยู่ต่ำกว่า เส้นศูนย์สูตรฟ้าไปทางทิศใต้มากที่สุด ดวงอาทิตย์อยู่ต่ำสุดบนท้องฟ้า ซึ่งเป็นวันที่กลางวันสั้นที่สุด ทางซีกโลกเหนือ ตรงกับฤดูหนาว ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นจาก แกนเอียงของโลก 23.5 องศา) ดังรูป



ภาพที่ 6 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เหมยัน

ที่มา: มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553

นอกจากนี้โลกยังมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากันตลอดปี ช่วงที่ใกล้ที่สุดเกิดขึ้นในต้นเดือนมกราคม (147 ล้านกิโลเมตร) ส่วนช่วงที่ไกลที่สุดเกิดขึ้นในต้นเดือนกรกฎาคม (152 ล้านกิโลเมตร) เฉพาะแกนของโลกที่เอียง เมื่อโคจรรอบดวงอาทิตย์ จึงมีผลสลับขั้วโลกเหนือ กับ ขั้วโลกใต้ เข้าหาดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดฤดูกาลต่าง ๆ ขึ้น ส่วนการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ที่มีระยะใกล้บ้าง ไกลบ้าง นั้นเป็นอัตราส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับระยะห่างจากดวงอาทิตย์ จึงไม่ได้มีผล ต่อการเกิดฤดูกาลแต่อย่างใด

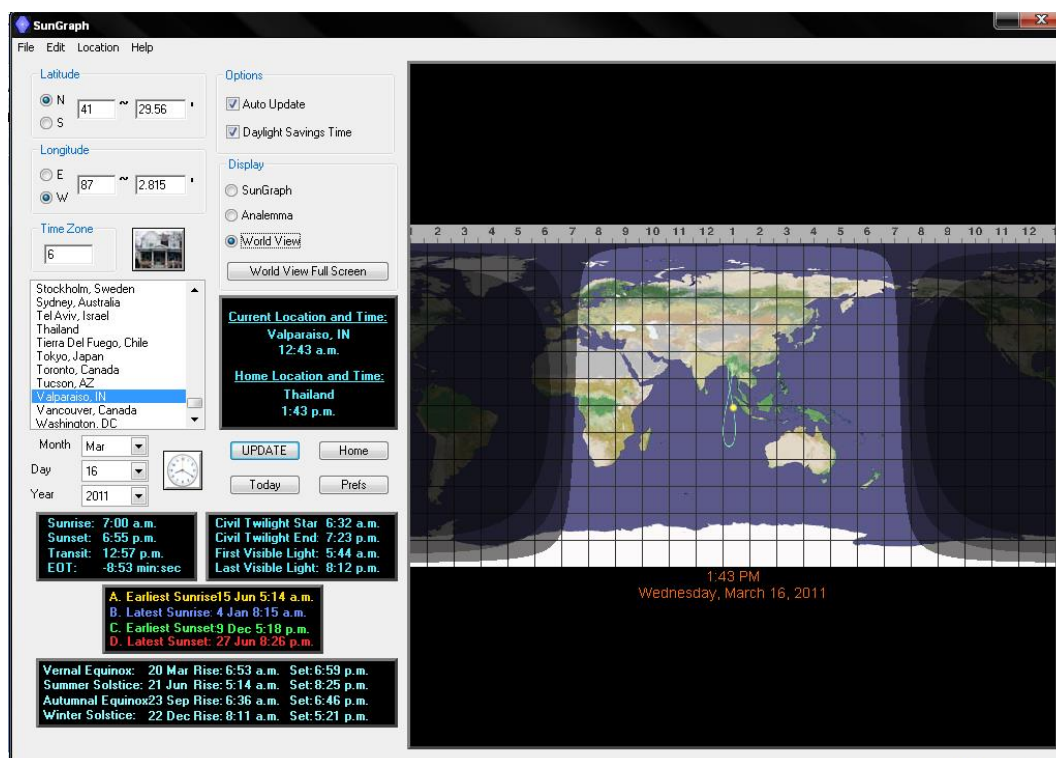


ภาพที่ 7 แสดงแนวปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาในรอบ 1 ปี

ที่มา: มูลนิธิวิกิพีเดีย, 2553

2.3 โปรแกรม Sun Graph

พัฒนาโดย Urschel ,B. จากเว็บไซต์ <http://www.analemma.com/SunGraph/index.html> (16 มีนาคม พ.ศ. 2554) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ไม่เสียค่าลิขสิทธิ์ในการซื้อ สามารถทำการดาวน์โหลดและติดตั้งไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ และใช้งานได้เลย สำหรับข้อมูลนำเข้าในการใช้โปรแกรม คือ พิกัดภูมิศาสตร์ ณ จุดหรือบริเวณที่ต้องการทราบตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังแสดงในตัวอย่างดังรูป



ภาพที่ 8 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Sun Graph

2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง ปรากฏการณ์ Analemma และความรู้ทางด้านวิศวกรรมชลประทาน

ทฤษฎี Penman Monteith

จากการเรียนวิชา อุทกวิทยา ที่ผ่านมา ซึ่งในเนื้อหาการเรียนวิชาอุทกวิทยา ได้กล่าวถึง เรื่อง อุตุนิยมวิทยาพื้นฐาน (Basic Meteorology) โดยมีเนื้อหา กล่าวถึงรายละเอียดของ การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์, ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามละติจูด, ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล และยังรวมไปถึง การเกิดปรากฏการณ์Analemma ด้วย ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่น่าสนใจ โดยตัวเนื้อหาและสื่อการสอนที่มีการยกตัวอย่างการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวในต่างประเทศซึ่งเป็นสื่อการสอนที่ช่วยให้เห็นภาพที่เปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนและสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่าย ประกอบกับการเกิด ปรากฏการณ์ Analemma สามารถติดตามและบันทึกภาพได้ด้วยตนเองในทุกที่ทั่วโลก แต่ต้องอาศัย เทคนิคด้านการถ่ายภาพเข้ามาช่วยในการเก็บภาพหรือการเก็บข้อมูล

Monteith (1972) ได้เสนอว่าการเจริญเติบโตของพืชขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของปัจจัยทางฟิสิกส์และสรีรวิทยาต่าง ๆ 7 ปัจจัยคือ

1. มุมโลก กับดวงอาทิตย์ (geometry)
2. การส่องผ่านของรังสีดวงอาทิตย์ลงสู่ผิวโลก (transmission)
3. การเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบในรังสีดวงอาทิตย์ (spectral change)
4. กระบวนการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ fixation)
5. กระบวนการถ่ายเทคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂ diffusion)
6. การรับพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (interception of solar radiation)
7. การหายใจ (respiration)

การที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่เป็นมุมไม่เท่ากันในแต่ละวัน ส่งผลต่อค่าความยาวนานของแสงอาทิตย์ และมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก มีผลต่อการคำนวณพารามิเตอร์ในสมการหาปริมาณการใช้น้ำจริงของพืช (ET_o) โดยวิธีของ Penman Monteith

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

ความหมาย

ET_o = ปริมาณการใช้น้ำ ของพืชอ้างอิง (มม./วัน)

R_n = ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้ง หดที่พืชได้รับ (MJ/m²/d)

G = flux ค่าความร้อนของพื้นดิน (MJ/m²/d)

T = อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (°C)

Δ = ค่าความลาดเทของเส้น curve แรงดันไอน้ำ (kPa/°C)

γ = ค่าคงที่ของ psychrometric (kPa/°C)

U₂ = ค่าความเร็วลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 ม. (m/s)

(e_s - e_a) = ค่าความต่างของแรงดันไอน้ำ (kPa)

900 = factor ปรับแก้

ในการหาปริมาณการใช้น้ำของพืช ต้องมีข้อมูลดังนี้

- พิกัดทางภูมิศาสตร์ (เส้นรุ้ง, เส้นแวง, ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง)
- อุณหภูมิของอากาศ (สูงสุด, ต่ำสุด, เฉลี่ย)
- ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (เฉลี่ย)
- ความเร็วลมผิวดินหรือที่ระดับ 2.00 เมตร (เฉลี่ย)
- จำนวนชั่วโมงแสงแดด หรือค่าความครึ้มของเมฆ (เฉลี่ย)

ซึ่งตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปส่งผลให้ความยาวนานของแสงในแต่ละพื้นที่ที่ได้รับแตกต่างกันไป ทำให้สภาพแวดล้อม บรรยากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ฯลฯ เปลี่ยนแปลงไปด้วย จะส่งผลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืชและการเจริญเติบโตของพืช (เอกสิทธิ์, 2545)

การตรวจสอบผลการคำนวณใช้น้ำของพืช

ซูพันซ์ ขมพูนันท์ (2547) 1. การคำนวณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงด้วยวิธี FAO Penman-Monteith เป็นการนำข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจอากาศเกษตรจำนวน 6 แห่งที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา มาคำนวณค่าการใช้น้ำของพืช ตามวิธีของ FAO Penman-Monteith โดยใช้โปรแกรมประเภทตารางคำนวณจากการตรวจสอบข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากสถานีตรวจอากาศเกษตร พบว่า ข้อมูลความเร็วลมเฉพาะสถานีตรวจอากาศเกษตรกำแพงแสนมีการจัดเก็บในหน่วยเมตรต่อวินาทีโดยไม่มีการปิดเศษทศนิยม ในขณะที่สถานีอื่นๆ มีการปิดเศษทศนิยม ดังนั้น เมื่อนำข้อมูลความเร็วลมที่ได้มาคำนวณการใช้น้ำของพืชด้วยวิธี FAO Penman-Monteith จะทำให้มีความคลาดเคลื่อนด้วยเหตุนี้ การคำนวณการใช้น้ำของพืชด้วยวิธี FAO Penman-Monteith เฉพาะสถานีตรวจอากาศเกษตรกำแพงแสนใช้ข้อมูลความเร็วลมที่ตรวจวัดได้จริงในการคำนวณ ส่วนสถานีอื่นใช้วิธีแปรผันค่าความเร็วลม โดยเริ่มจาก 0 เมตรต่อวินาที แล้วเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทีละ 0.5 เมตรต่อวินาที จนถึง 3 เมตรต่อวินาที เพื่อตรวจสอบช่วงความเป็นไปได้ของค่าการใช้น้ำของพืชที่ความเร็วลมต่าง ๆ (ดูรายละเอียดค่าที่คำนวณได้ในภาคผนวก)

1.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณการใช้น้ำของพืช

1.3 ตั้งสมมติฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบ เนื่องจากค่าการใช้น้ำของพืชที่หาได้

จากวิธี FAO Penman-Monteith นั้น เป็นค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง ส่วนค่าการใช้น้ำของพืชที่คำนวณจากการประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์สุทธิในรอบ 24 ชั่วโมง โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียมนั้นเป็นค่าการใช้น้ำสูงสุดจะเห็นว่าค่าการใช้น้ำของพืชของทั้งสองวิธีนี้ไม่ใช่ค่าเดียวกัน การจะนำค่าทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน จึงต้องตั้งอยู่บนเงื่อนไขเดียวกัน กล่าวคือ การใช้น้ำของพืชจากวิธี FAO Penman-Monteith

ใช้หญ้าเป็นพืชอ้างอิงโดยมีสมมติฐานว่าหญ้านั้นไม่มีการขาดน้ำ มีความสูง 0.12 เมตร มีค่า surface resistance 70 s.m-1 และมีค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิว 0.23 (Allen *et al.*, 1998) ดังนั้น การเปรียบเทียบค่าทั้งสองด้วยกันจึงต้องเลือกค่าที่คำนวณได้จากจุดภาพที่ตรงกับตำแหน่งของสถานีตรวจอากาศเกษตร และถือว่าพื้นที่บริเวณรอบ ๆ สถานีนั้นเป็นหญ้าที่ไม่มีการขาดน้ำผลการตรวจสอบสมมติฐาน พบว่า ณ จุดภาพบริเวณตำแหน่งของสถานีตรวจอากาศเกษตร มีค่าการสะท้อนแสงที่พื้นผิวเฉลี่ยประมาณ 0.20 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าการสะท้อนแสงของพืชอ้างอิง ดังนั้น จึงสามารถอนุมานได้ว่า ค่าการใช้น้ำสูงสุดที่คำนวณจากการประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์สุทธิในรอบ 24 ชั่วโมง ณ ตำแหน่งเดียวกับสถานีตรวจอากาศเกษตร มีค่าใกล้เคียงกับค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง

1.4 นำผลจากการคำนวณค่าการใช้น้ำของสูงสุดจากการประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์สุทธิในรอบ 24 ชั่วโมง มาเปรียบเทียบกับค่าการใช้น้ำของพืชที่คำนวณด้วยวิธี FAOPenman-Monteith สำหรับสถานีตรวจอากาศเกษตรกำแพงแสน พบว่าผลการคำนวณค่าการใช้น้ำจากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างเฉลี่ยประมาณ 0.71 มิลลิเมตรต่อวัน คิดเป็น 15.24 เปอร์เซ็นต์สำหรับสถานีอื่นที่มีการคำนวณด้วยวิธี FAO Penman-Monteith โดยแปรผันกับความเร็วลม พบว่าค่าการใช้น้ำของพืชที่ได้จากการประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์สุทธิในรอบ 24 ชั่วโมงมีค่าอยู่ในช่วงขอบเขตของค่าการใช้น้ำของพืชจากวิธี FAO Penman-Monteith ที่แปรผันความเร็วลมตั้งแต่ 0 – 3 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ค่าการใช้น้ำของพืชที่คำนวณได้จากทั้งสองวิธีมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ในเดือนพฤศจิกายนถึงธันวาคมมีค่าการใช้น้ำของพืชลดลงและมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคม หลังจากนั้นแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าสูงที่สุดในเดือนเมษายนเนื่องจากค่าการใช้น้ำของพืชที่คำนวณจากทั้งสองวิธีนี้ไม่ใช่ค่าเดียวกัน ดังนั้น จึงใช้ค่าสหสัมพันธ์ในการหาระดับความสัมพันธ์ของค่าทั้งสอง พบว่าที่สถานีตรวจอากาศเกษตรกำแพงแสน มีค่าสหสัมพันธ์ 0.78 ส่วนของสถานีอื่นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0.7 ถึง 0.9 แสดงว่าค่าการใช้น้ำสูงสุดที่คำนวณจากการประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์สุทธิมีความสัมพันธ์กับค่าการใช้น้ำของพืชด้วยวิธี FAO Penman-Monteith ก่อนข้างสูงดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าผลการคำนวณการใช้น้ำสูงสุดจากการประมาณค่ารังสีแสงอาทิตย์สุทธิในรอบ 24 ชั่วโมง มีความถูกต้องใกล้เคียงกับค่าการใช้น้ำของพืชที่คำนวณด้วยวิธีFAO Penman-Monteith

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณการใช้น้ำของพืชด้วยวิธี FAO Panman-Monteith และการใช้น้ำสูงสุดจากการประมาณด้วยรังสีแสงอาทิตย์สุทธิของสถานีตรวจอากาศเกษตรกำแพงแสน

วันที่	Penman-Monteith (mm/day)	รังสีแสงอาทิตย์สุทธิ ($MJm^{-2}d^{-1}$)
3 มี.ค. 45	3.75	4.84
30 มี.ค. 45	4.05	4.79
20 ก.พ. 45	4.56	5.67
28 ก.พ. 45	5.12	5.62
2 มี.ค. 45	4.94	5.27
10 มี.ค. 45	6.12	6.12
16 มี.ค. 45	6.04	5.87

ภูมิอากาศกับการเจริญของพืช

ธีระพล ตั้งสมบูรณ์ (2549) กล่าวว่า การเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืชสามารถวัดได้จากน้ำหนักแห้ง (dry weight หรือ dry matter) ทั้งหมดที่สะสมในต้นพืช น้ำหนักแห้งส่วนใหญ่เป็นผลลัพท์ที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช (photosynthesis) ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่พืชนำไปใช้ขับเคลื่อนกระบวนการสังเคราะห์แสงหลังจากพลังงานแสงถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี เพื่อให้เกิดการรวมตัวของ CO_2 จากบรรยากาศ และน้ำจากดิน (โดยการดูดของราก) เพื่อสร้างแป้งและน้ำตาล โดยมีเอนไซม์เป็นตัวควบคุมปฏิกิริยาซึ่งการทำงานของเอนไซม์นี้อยู่ภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิ แร่ธาตุต่าง ๆ ที่รากดึงดูดขึ้นมาจากดินจะเป็นส่วนประกอบพื้นฐานในการสร้างคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และน้ำมันต่อไปเมื่อรวมตัวกับแป้งและน้ำตาลที่ถูกสร้างขึ้น การเจริญเติบโต และผลผลิตของพืชที่ปรากฏให้เห็น เป็นผลลัพท์ที่เกิดจากปฏิกริยาร่วมกัน (interaction) ระหว่างพันธุกรรมของพืชกับสภาพแวดล้อมพืชสามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้ระดับหนึ่ง

ดังนั้นเมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนการเจริญเติบโตและผลผลิตของพืชก็จะเปลี่ยนตามไปด้วยพืชแต่ละชนิดมีศักยภาพการเจริญเติบโตและให้ผลผลิตต่างกัน ซึ่งศักยภาพนี้ถูกกำหนดโดยพันธุกรรม พืชจะแสดงศักยภาพของพันธุกรรมได้สูงสุดก็ต่อเมื่อพืชนั้นได้รับสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่เหมาะสมตามที่พืชต้องการ แต่ในความเป็นจริงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมนั้นมักจะไม่มีเกิดขึ้น โดยเฉพาะในสภาพไร่นาซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่อยู่บริเวณรอบต้น(เหนือดิน) และราก (ในดิน) เปลี่ยนแปลงและแปรปรวนตลอดเวลา

ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ท้าทายนักวิชาการและเกษตรกรที่จะจัดการอย่างไรที่ทำให้สภาพแวดล้อมนั้น ไม่ว่าจะเป็นเรื่องการให้น้ำ การเกษตรกรรม การป้องกันกำจัดศัตรูพืช การปลูก และอื่น ๆ ให้มีความเหมาะสมตามความต้องการของพันธุกรรมของพืชแต่ละพันธุ์และแต่ละชนิด เพื่อให้ได้ผลผลิตและผลตอบแทนสูงสุด

เนื้อหาสาระที่จะกล่าวต่อไปนี้จะชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของภูมิอากาศ (แสง อุณหภูมิ และความชื้น) ที่มีต่อการเจริญเติบโตและสร้างผลผลิตของพืช ซึ่งภูมิอากาศเป็นส่วนหนึ่งของสภาพแวดล้อมที่ยากแก่การควบคุมได้ในสภาพไร่นา

แสง

-ปริมาณ คุณภาพ และความต้องการของพืช

แสงที่ส่องมายังพื้นผิวโลกประกอบด้วยแสงที่มีความยาวของคลื่นแสงต่างกัน ส่วนที่เรามองเห็นด้วยตาเปล่า (visible light) เป็นเพียงคลื่นแสงบางส่วนเท่านั้น แสงส่วนนี้มีความยาวคลื่นแสงอยู่ระหว่างประมาณ 0.4 - 0.7 ไมครอน เป็นแสงที่มีประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสง ส่วนแสงที่มีความยาวของคลื่นแสงยาวกว่านี้ เช่นแสงอินฟราเรด และคลื่นวิทยุ ไม่สามารถมองเห็นได้ แสงเหล่านี้มีพลังงานต่ำ และมีผลกระทบต่อสิ่งที่มีชีวิตน้อยมาก แต่แสงที่มีความยาวคลื่นแสงสั้นกว่า (แสงที่เห็นด้วยตาเปล่า) จะมีพลังงานสูงมาก เช่นแสงอัลตราไวโอเลต และแสงเอ็กซ์เรย์ แสงเหล่านี้นอกจากจะไม่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงแล้วยังเป็นอันตรายต่อสิ่งที่มีชีวิตไม่ว่าสัตว์หรือพืช ถ้าได้รับมากเกินไป

แสงจากดวงอาทิตย์ที่สามารถส่องผ่านชั้นบรรยากาศที่หุ้มห่อโลกจนถึงพื้นผิวโลกได้นั้นส่วนใหญ่จะเป็นแสงที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งที่มีชีวิตซึ่งเรามองเห็นด้วยตา ในขณะที่แสงที่เป็นอันตรายต่อสิ่งที่มีชีวิตซึ่งก็มีอยู่ในสัดส่วนที่มากนั้นไม่สามารถส่องผ่านถึงผิวโลกได้ทั้งหมดเนื่องจากบรรยากาศของโลกอันประกอบไปด้วยไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และโอโซน เป็นสำคัญ ได้กรองได้ดูดซับ หรือทำให้มีการสะท้อนกลับออกไป แต่ก็ยังมีบางส่วนที่ส่องผ่านมาถึงผิวโลกได้และถ้ามีปริมาณมากก็จะมีผลกระทบเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก แสงที่มองเห็นด้วยตานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงเมื่อแสงนี้ตกกระทบบนใบพืช แต่มีบางส่วนจะถูกสะท้อนกับสู่บรรยากาศ หรือถูกดูดซับไว้โดยพื้นผิวโลก และจะถูกฉายหรือแผ่ในรูปของพลังงานความร้อนในเวลาต่อมา

นักสรีรวิทยาการผลิตพืช (crop physiologists) ได้ให้ความสนใจเป็นอย่างมากในเรื่องการศึกษาการใช้แสงของพืช เพราะถ้าสามารถพัฒนาปรับปรุงทำให้พืชมีประสิทธิภาพการรับแสงและใช้แสงได้มากขึ้นก็จะทำให้พืชมีการสังเคราะห์แสงมากขึ้น และผลผลิตก็จะเพิ่มขึ้นในที่สุด ผลจากการประเมินการรับและใช้แสงของพืชของนักวิจัยพบว่ามีเพียง 1-6% เท่านั้น ด้วยเหตุนี้นักวิชาการพืชไร่จึงได้ให้ความสนใจเป็นพิเศษในการดำเนินการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับแสงและการใช้แสงของพืชเพื่อนำไปสู่การเพิ่มผลผลิต แสงเมื่อส่องกระทบใบพืชจะทำให้อุณหภูมิของใบสูงขึ้นส่งผลให้พืชมีการคายน้ำเพิ่มขึ้น น้ำที่ถูกดูดโดยรากของพืชส่วนใหญ่จะสูญเสียไปกับกระบวนการคายน้ำ (transpiration) ซึ่งเป็นกระบวนการที่จำเป็นสำหรับพืชเพื่อการรักษาสมดุลของอุณหภูมิของต้นพืช

แสงเมื่อส่องกระทบพื้นผิวโลกหรือวัตถุใดก็ตาม ก็จะสะท้อนกลับและเปลี่ยนเป็นคลื่นแสงที่ยาวขึ้น หรือเป็นแสงคลื่นยาว (long waves) ที่ให้พลังงานความร้อนกลับสู่บรรยากาศ และก็จะไปกระทบกับไอน้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นส่วนองค์ประกอบหนึ่งของบรรยากาศก็จะเกิดสะท้อนกับมายังผิวโลก อีก ดังนั้นจะเห็นได้ว่า พลังงานความร้อนก็จะถูกเก็บหรือสะสมไว้ระหว่างพื้นผิวโลก และชั้นบรรยากาศของโลก ถ้าการสะสมพลังงานความร้อนนี้มีมาก และเป็นเวลานานก็จะทำให้สภาพภูมิอากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้ฤดูกาลเปลี่ยนแปลงไปได้ ปริมาณของก๊าซ CO_2 ในบรรยากาศนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์วิตกกังวลเพราะว่ามีผลทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงต่าง ๆ เป็นมูลเหตุก่อให้เกิดการสะสม CO_2 ในบรรยากาศ ได้มีการติดตามตรวจสอบปริมาณ CO_2 ในบรรยากาศ แสดงให้เห็นว่าในช่วงปลายปี ค.ศ. 1800 ในบรรยากาศจะมี CO_2 ต่ำกว่า 300 ppm แต่ปัจจุบันเพิ่มขึ้นเป็น 360 ppm และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นอีกมาก เพราะว่ามีอัตราการใช้เชื้อเพลิงเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ไม่เฉพาะ CO_2 เท่านั้นที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ภูมิอากาศของโลกสูงขึ้นอันเป็นผลมาจากปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Greenhouse effect ไอน้ำและก๊าซมีเทนก็สามารถทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้ได้เช่นกัน ปรากฏการณ์ Greenhouse effect นี้มิใช่ว่าเป็นผลเสียเท่านั้น แต่ก็มีผลดีเกิดขึ้นด้วย กล่าวคือในพื้นที่ ๆ เคยมีอุณหภูมิต่ำหนาวเย็นจนทำการเพาะปลูกได้ผลไม่ดีก็จะทำให้สามารถทำการเพาะปลูกได้ดีขึ้น

บรรยากาศของโลกนับว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อปริมาณหรือความเข้มของแสงที่จะส่องผ่านมายังพื้นผิวโลก นอกจากบรรยากาศแล้ว การทำมุมของโลกที่มีต่อดวงอาทิตย์ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่กำหนดความเข้มของแสงที่จะส่องถึงพื้นโลกได้ เช่นในฤดูร้อนโลกจะทำมุมตั้งฉากกับดวงอาทิตย์มากกว่าฤดูหนาว นั่นก็หมายความว่าในฤดูร้อนแสงจากดวงอาทิตย์จะเดินทางผ่านบรรยากาศที่บางกว่าฤดูหนาว จึงทำให้ฤดูหนาวมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้นฤดูที่ต่างกันจึงมีความเข้มของแสงหรือการส่องของแสงมายังพื้นผิวโลกต่างกัน นอกจากนี้ฤดูที่ต่างกันยังมีความยาวของวัน (daylength) ต่างกันอีกด้วย กล่าวคือ ในฤดูหนาวจะมีวันที่สั้นกว่าฤดูร้อน เมื่อเป็นเช่นนี้ก็จะเห็นว่าในฤดูหนาวนอกจากมีความเข้มของแสงน้อยแล้ว ระยะเวลาการส่องของแสงก็ยังสั้นกว่าอีกด้วย จึงทำให้มีอุณหภูมิต่ำ ในทางตรงกันข้ามในฤดูร้อนนั้น นอกจากจะมีความเข้มของแสงสูงกว่าแล้วยังส่องอยู่นานกว่า

ตำแหน่งต่าง ๆ บนพื้นโลก (ละติจูดต่างกัน) ยังได้รับอิทธิพลของพลังงานแสงที่ส่องลงมาไม่เท่ากัน กัน พื้นที่ที่อยู่ห่างเส้นศูนย์สูตรออกไป (higher latitude) ความแตกต่างของความยาวของวันในรอบปีก็ยังมีมากขึ้น และได้รับพลังงานแสง (รวม) น้อยลง ในแถบซีกโลกเหนือ (northern hemisphere) วันที่มีความยาวที่สุดและสั้นที่สุดในรอบปีคือ วันที่ 21 มิถุนายน และวันที่ 21 ธันวาคม ตามลำดับ ซึ่งจะเป็นวันที่มีพลังงานแสงส่องลงมายังผิวโลกมากที่สุด และน้อยที่สุดตามลำดับเช่นกัน แต่ก็ได้หมายความว่าวันดังกล่าวนั้นจะมีอุณหภูมิสูงสุด และต่ำสุด การเพาะปลูกพืชถ้าจะหวังให้พืชมีการรับแสงและใช้แสงอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ควรมีการจัดการให้พืชที่ปลูกนั้นมีการพัฒนาพื้นที่ใบสอดคล้องกับพลังงานแสงที่ส่องลงมา ศักยภาพการสังเคราะห์แสงหรือการสังเคราะห์แป้งและน้ำตาลขึ้นอยู่กับปริมาณแสงที่พืชนั้นรับไว้ ใบพืชเป็นอวัยวะ

สำคัญที่ทำหน้าที่รับแสง และสังเคราะห์แป้งและน้ำตาลผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง จากนั้นจะมีการถ่ายเทหรือกระจายแป้งและน้ำตาลนั้นไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช รวมทั้งส่วนที่จะถูกเก็บเกี่ยวเป็นผลผลิต

ปริมาณแสงที่ส่องลงบนใบพืชจะมีผลต่ออัตราการสังเคราะห์แสงของพืช ในที่มีดหรือไม่มีแสงพืช จะไม่มีการสังเคราะห์แสง แต่เซลล์ต่าง ๆ ของพืชยังมีการหายใจ เมื่อเป็นเช่นนี้พืชก็จะมี การสูญเสียแป้งและน้ำตาล หรือสูญเสีย น้ำหนัก ภายใต้อาณาที่ที่มีความเข้มของแสงน้อยมากถึงแม้พืชจะมีการสังเคราะห์แสงแต่ก็อาจวัดไม่ได้เพราะอัตราการตรึงหรือจับ CO_2 (CO_2 -fixation) ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสงมีน้อยมากเมื่อเทียบกับอัตราการปลดปล่อย CO_2 จากกระบวนการหายใจ แต่เมื่อความเข้มของแสงเพิ่มขึ้นและมากพอ จนถึงระดับที่ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงสมดุลกับอัตราการหายใจแล้วการสูญเสีย น้ำหนักของพืชก็จะไม่เกิดขึ้น ความเข้มของแสงระดับนี้เรียกว่า Light compensation point และเมื่อความเข้มของแสงสูงขึ้นกว่าจุดนี้การสังเคราะห์แสงก็จะเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ (อัตราการสังเคราะห์แสงสูงกว่าการหายใจ พืชก็จะมี การสะสมน้ำหนัก) และในที่สุดก็จะถึงจุดที่พืชมีการสังเคราะห์แสงสูงสุดถึงแม้จะเพิ่มความเข้มแสงให้กับพืชอีก การสังเคราะห์แสงก็จะไม่เพิ่มขึ้น นั่นก็หมายความว่าใบพืชนั้นถึงจุดอิ่มตัวด้วยแสง (light saturation point) พืชแต่ละชนิดอิ่มตัวด้วยแสงไม่เท่ากัน โดยสรุปกล่าวได้ว่าพืช C4 มีจุดอิ่มตัวด้วยแสงสูงกว่าพืช C3

อุณหภูมิ

-บทบาทของอุณหภูมิต่อการเจริญของพืช

อุณหภูมิของอากาศอยู่ภายใต้อิทธิพลของพลังงานแสงที่ส่องลงมาเป็นสำคัญ อุณหภูมิของอากาศนี้มีบทบาทสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งที่มีชีวิตบนโลก อุณหภูมิจะมีผลอิทธิพลต่อปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์ของสิ่งที่มีชีวิต อุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาของการทำงานของเอนไซม์ลดลง ตราบใดที่เอนไซม์ยังทำงานอยู่ชีวิตก็ยังคงดำเนินต่อไปและจะตายในที่สุดเมื่อเอนไซม์หยุดการทำงาน ในพืชทั่วไปอุณหภูมิสูงกว่า 105-110 °F จะทำให้เอนไซม์แตกสลายลงได้ อุณหภูมิต่ำอาจจะไม่ทำให้เอนไซม์เสียหายได้แต่จะทำให้การทำงานของเอนไซม์ช้าลง พืชบางชนิดยังสามารถเจริญอยู่ได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 °F

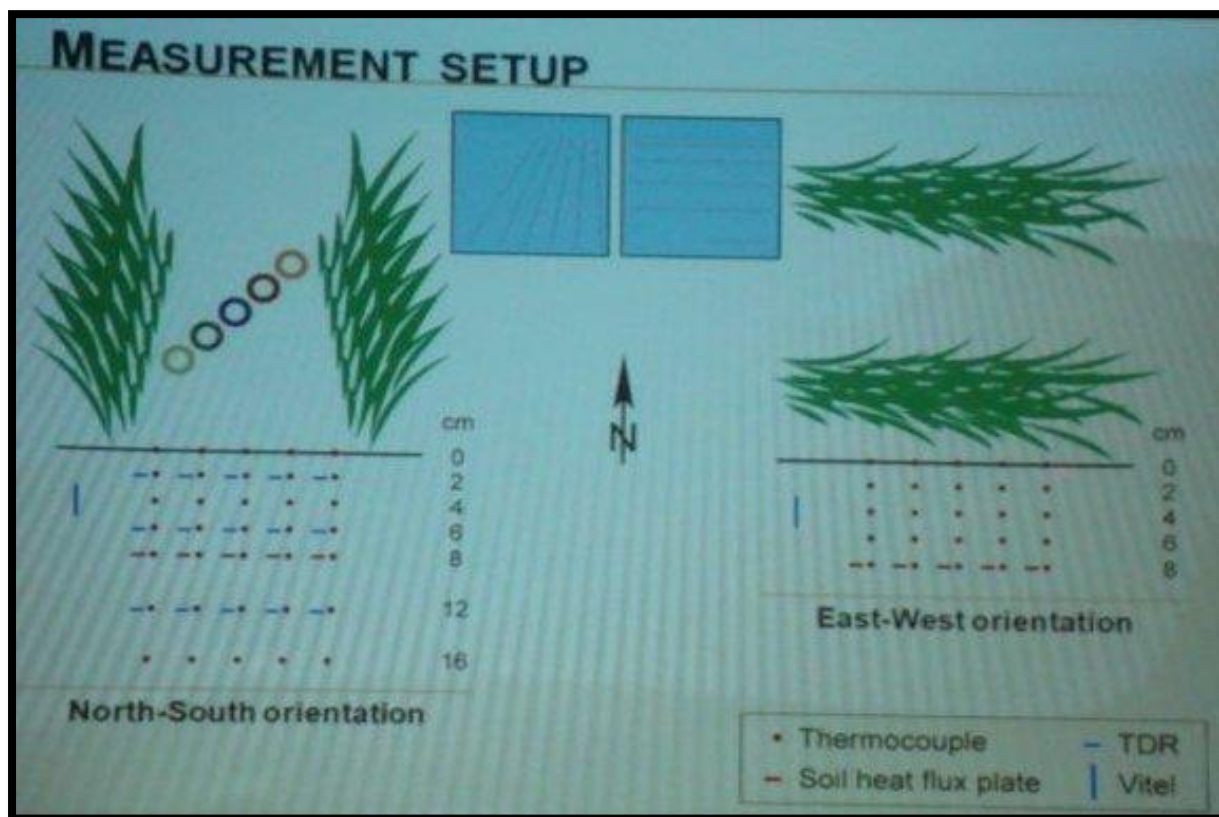
อุณหภูมิของแต่ละฤดูหรือในรอบปีจะแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณพลังงานแสงที่ส่องลงมายังพื้นผิวโลก การดูดซับพลังงานนั้นไว้ของพื้นผิวโลก และการปลดปล่อยพลังงานนั้นในเวลาต่อมา ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าวันที่มีอุณหภูมิสูงสุด หรือต่ำที่สุดไม่ใช่เป็นวันที่มีพลังงานแสงสูงสุดหรือต่ำสุดตามลำดับ อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดจะเกิดขึ้นที่หลังวันที่สูงขึ้นไปทะเลหรือลึกลงไปในพื้นผิวโลก อุณหภูมิจะลดลง และมีความคงที่หรือสม่ำเสมอมากขึ้น ในเวลากลางวันอุณหภูมิสูงสุดจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิวดิน ส่วนในตอนกลางคืนอุณหภูมิสูงสุดจะอยู่ที่บริเวณที่อยู่เหนือหรือใต้ผิวดินเล็กน้อย (2-3 ฟุต) ด้วยลักษณะนี้ ถ้าหากมีอุปสรรคหรือวิธีการใดก็ตามที่สามารถทำให้อุณหภูมิสูงของอากาศในชั้นนี้กระจายผสมกันได้ก็จะสามารถช่วยป้องกันมิให้เกิดสภาพน้ำค้างแข็งได้เหมือนกัน

ช่วงอุณหภูมิต่ำสุดถึงสูงสุดที่สิ่งมีชีวิตอยู่ได้เรียกว่า Cardinal temperature พืชส่วนใหญ่เมื่อมีอุณหภูมิสูง 105-110 °F เนื้อเยื่อบางส่วนก็จะเริ่มตาย ส่วนความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำนั้นแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช ถั่วเหลืองเป็นพืชที่ไม่ทนทานต่ออุณหภูมิที่ระดับใกล้ 0°C ในเวลานานได้ ในขณะที่ธัญพืชเช่นข้าวสาลียังสามารถทนทานอยู่ได้ เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของพืชมีความทนทานหรืออ่อนไหวต่ออุณหภูมิสูงหรือต่ำเกินไปไม่เท่ากันเช่น ดอกหรือเนื้อเยื่อที่ยังอ่อนอยู่จะมีความทนทานไม่ดีเท่ากับตาที่จะเจริญเป็นกิ่งก้าน หรือเนื้อเยื่อที่แก่ตามลำดับ ส่วนเปลือกที่หุ้มอยู่รอบลำต้น (bark) จะไม่ได้รับผลกระทบจากอุณหภูมิดังกล่าวมากนัก เนื่องจากเป็นส่วนของเซลล์ที่ตายแล้ว พืชมีกลไกในรูปแบบต่าง ๆ ที่จะป้องกันตัวเองหรือหลีกเลี่ยงจากอุณหภูมิที่สูงหรือต่ำเกินไปเพื่อการอยู่รอด เช่นเมื่อพืชอยู่ในสภาพหรือสัมผัสอากาศร้อน มีการคายน้ำหรือการสูญเสียน้ำมากอันเป็นผลจากที่มีอุณหภูมิสูง ใบจะบิดงอหรือม้วนลงเพื่อลดการส่องกระทบของแสงที่ส่องลงมาบนพื้นที่ใบนั้น พืชที่ปรับตัวขึ้นได้ดีในเขตแห้งแล้ง (arid zone) จะพบว่ามีใบหนาและอวบน้ำ ภายในใบจะมีพื้นที่มากเพื่อการเก็บน้ำ และพืชพวกนี้ปากใบจะปิดเวลากลางวัน (เปิดในเวลากลางคืน) เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ แต่ก็ยังสามารถสังเคราะห์แสงโดยมีกระบวนการสังเคราะห์แสงแบบ CAM (Crassulacean acid metabolism) pathway.

Ludlow (1981) ได้นำหลักการต่าง ๆ มาปรับปรุงเป็นเทคนิคในการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืช โดยให้ข้อสมมติฐานว่าการสะสมน้ำหนักแห้งของพืชนั้นเป็นผลมาจากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงสามารถวิเคราะห์การเจริญเติบโตของพืชได้จากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่พืชรับได้ทั้งหมด (intercepted radiation; Q_i) และประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรังสีเป็นน้ำหนักแห้ง (conversion efficiency; E_b) หรืออัตราการเจริญเติบโตของพืช ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่พืชรับได้ในแต่ละวัน กับประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรังสีที่ได้รับไปเป็นน้ำหนักแห้ง รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังกลุ่มพืชนั้น ส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ (albedo) และผ่าน (transmission) กลุ่มในพืชไปโดยไม่ถูกใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์ด้วยแสง รังสีส่วนหายไปก็คือ ส่วนที่พืชรับไปใช้เป็นประโยชน์ได้ (intercepted radiation) ถ้าให้ Q_0 และ Q คือ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่เหนือและใต้ทรงพุ่มพืชตามลำดับ เราสามารถทราบปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่พืชรับไว้ได้ ($Q_i = Q_0 - Q$)

Agam, N. (2010) ได้ทดลองโดยกำหนดกรณีศึกษาการทดลองเรื่อง THE EFFECT OF ROW ORIENTATION ON ENERGY BALANCE COMPONENT IN IRRIGATED CROPS IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT ในประเทศอิสราเอล ได้ทดลองการปลูกพืชในแนวทิศเหนือ-ใต้ และการปลูกในแนวทิศตะวันตก-ตะวันออก แล้วทำการติดตั้งเครื่องเซนส์เซอร์วัดความร้อนในดินดังแสดงในรูป ซึ่งเป็นการคิดนอกรอบในเรื่องการหาการใช้ น้ำของพืช จากเรียนหลักชลประทาน ตามตำราหาการใช้ น้ำ โดยเอาค่าอุณหภูมิ และการระเหยจากผิวดิน และค่าอื่นๆ ไปใส่สมการของ penman ก็จะได้ปริมาณการใช้ น้ำของพืชออกมา แต่ทว่าเป็นการคิดที่แตกต่างไปจากทฤษฎีพื้นฐานหรือคิดแตกต่างไปจากเดิม ก็จะพบว่าแม้กระทั่งการปลูกพืชชนิดเดียวกัน แต่ปลูกคนละทิศทางของกับแสงอาทิตย์ ก็อาจจะทำให้มีการใช้น้ำของ

พืช ไม่เท่ากันได้ เนื่องจากอุณหภูมิในดิน มีความแตกต่างกัน จึงได้ทำการทดลองแบบนี้ขึ้น เพื่อพิสูจน์สมมติฐานหรือความคิดตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น



ภาพที่ 9 แสดงการปลูกในทิศทางทิศเหนือ-ทิศใต้ เปรียบเทียบกับทิศตะวันออก-ตะวันตก

จากผลการศึกษาพบว่า ตัวแปรตัวอื่นไม่มีผลต่างมากนัก แต่ที่ชัดเจนคือ อุณหภูมิของดินที่เวลาต่างๆ กันจะมีความแตกต่างไป การปลูกพืชในแนวทิศเหนือ-ใต้ ดินจะมีความร้อนกว่า การปลูกในแนวทิศตะวันตก-ตะวันออก ซึ่งอาจจะส่งผลให้พืชใช้น้ำมากขึ้น ซึ่งถ้าไม่มีการทดลองอันนี้ เราก็คงเข้าใจกันไปว่า พืชชนิดเดียวปลูกในที่เดียวกัน ก็ต้องใช้น้ำเท่ากันหมด แต่จริง ๆ แล้ว ไม่ใช่ ตัวแปรทุกอย่างมีผลกับการใช้น้ำของพืชหมดทุกตัว ถ้าเราสามารถเข้าใจได้ว่า พืชแต่ละชนิดใช้น้ำไปเท่าไรในแต่ละวัน แล้วเราสามารถส่งน้ำให้เพียงพอกับความต้องการพืช โดยที่ไม่ต้องให้น้ำมากเกินไปจนความจำเป็น การให้น้ำมากเกินไปก็ส่งผลไม่ดีกับพืช โดยถ้าเราให้น้ำพอดีต่อความต้องการของพืช ก็จะทำให้ผลผลิตพืชต่อหน่วยพื้นที่ สูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งก็เป็นหน้าที่ของวิศวกรชลประทานนั่นเอง

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 กล้องถ่ายภาพ

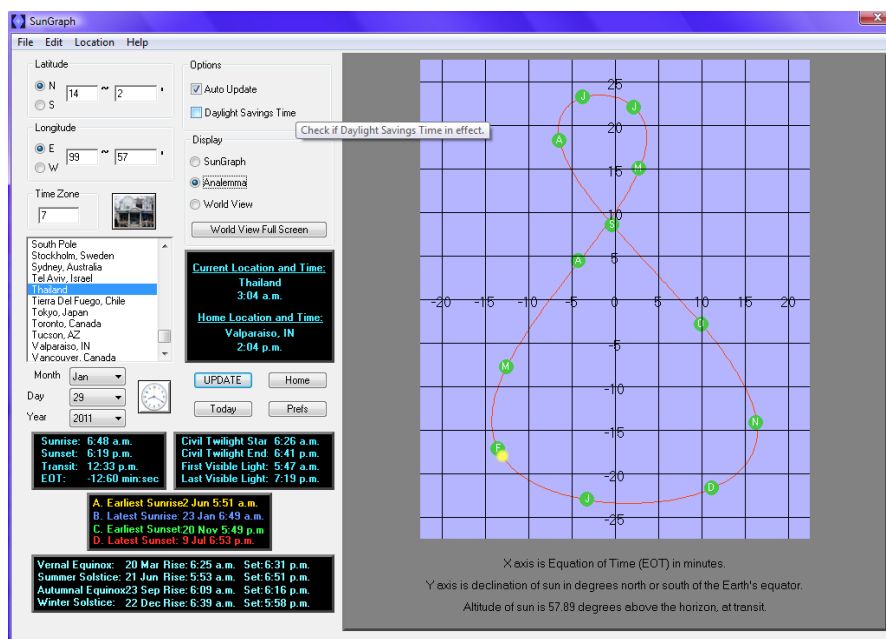
เนื่องจากการศึกษาปรากฏการณ์ Analemma ที่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นั้น ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ จะต้องทำการเก็บข้อมูลโดยการถ่ายภาพดวงอาทิตย์ ที่เวลาเดียวกันของแต่ละระยะเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งในการศึกษานี้ เวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลนั้น คือ ที่เวลา 17.00น. ของทุกครั้งที่ทำกรเก็บข้อมูล อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลนั้นก็คือ กล้องถ่ายภาพในที่นี้เลือกใช้ เป็นกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัล ซึ่งกล้องถ่ายภาพแบบดิจิทัลนั้นสะดวกและง่ายต่อการปรับโหมดการถ่ายภาพหรือในการปรับลดหรือเพิ่มค่าแสง เพื่อให้ได้แสงที่เหมาะสมกับภาพที่ถ่าย



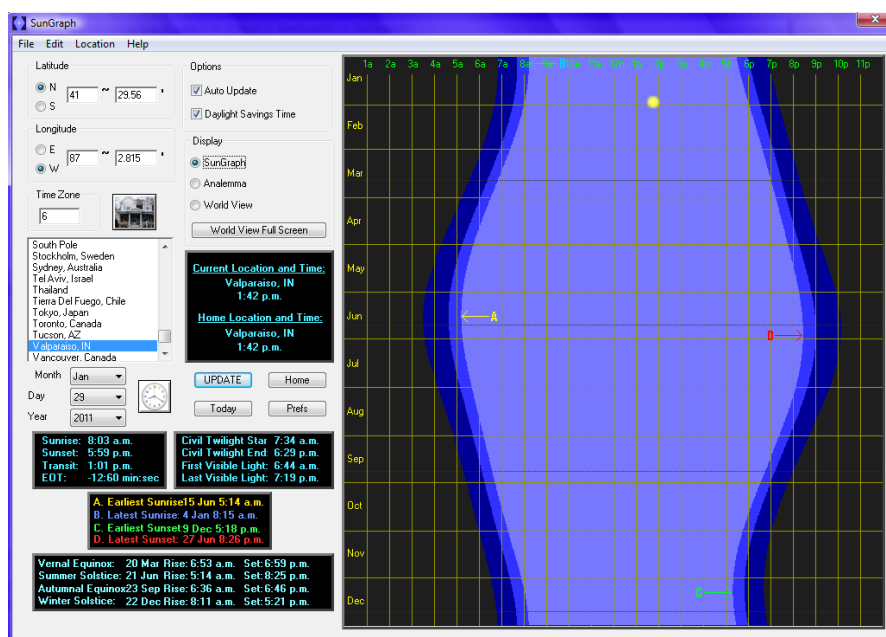
ภาพที่ 10 อุปกรณ์การถ่ายภาพ

3.1.2 โปรแกรม Sun Graph

ในการศึกษาการเกิดปรากฏการณ์ Analemma ในครั้งนี้ นอกจากการเก็บข้อมูลเพื่อมาวิเคราะห์แล้ว การเกิดปรากฏการณ์ Analemma นั้นสามารถรู้ได้ด้วยโปรแกรม ในที่นี้ก็คือ โปรแกรม Sun Graph ที่ได้ทำการดาวน์โหลดติดตั้งไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ผลที่ได้จากโปรแกรมเป็นประมวลผลออกมาเป็นรูปภาพ Analemma และ แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ



ภาพที่ 11 จอแสดงผลจากการทดลองจากโปรแกรม Sun Graph



ภาพที่ 12 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาที่มีแสง จากโปรแกรม Sun Graph

3.1.3 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

นอกจากการศึกษาเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาการเกิดปรากฏการณ์ Analemma ในการวิเคราะห์ผลการศึกษานั้น เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อหาผลการศึกษา ซึ่งนอกจากจะต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ค้นคว้าข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตและดาวน์โหลดติดตั้งโปรแกรม Sun Graph แล้ว การรวมภาพ ตัดต่อ หรือสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหว ซึ่งต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลในการทำทั้งสิ้น ดังนั้นเครื่องคอมพิวเตอร์ถือว่าเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญเช่นกัน



ภาพที่ 13 เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

3.2 วิธีกร

3.2.1. ศึกษาข้อมูลศึกษาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ Analemma

3.2.2. รวบรวมข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับ การเกิดปรากฏการณ์ Analemma จากเอกสารหรือเว็บไซต์ต่างๆที่เกี่ยวข้อง

3.2.3. สํารวจหาสถานที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล หรือการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ ในที่นี้เลือกสถานที่ที่ทำการบันทึกภาพที่ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน บริเวณแปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน เส้นทางไปบ่อหนึ่ง ได้แสดงไว้ดังรูป



ภาพที่ 14 สถานที่ที่ใช้บันทึกภาพดวงอาทิตย์บริเวณแปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน

4. กำหนดช่วงระยะเวลาของการทำการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ ในที่นี้คือ ทำการบันทึกภาพที่เวลา 17.00 น. ทุกๆ 15 วัน เป็นระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ.2553 – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2554 ซึ่งช่วงระยะเวลาดังกล่าวไว้สำหรับทำการบันทึกภาพคือ 17.00 น. ซึ่งอาจมีการคลาดเคลื่อนของเวลาและสภาพอากาศได้ดังนี้คือ

- ที่เวลา 17.00 น. ของบางครั้งในการทำการบันทึกภาพ ท้องฟ้าอาจมีเมฆมาก หรือ ฝนตก ทำให้ไม่สามารถบันทึกภาพได้ตามระยะเวลาดังที่กำหนด ต้องยืดเวลาหรือเลื่อนเวลาการบันทึกภาพออกไป

- ในกรณีที่ฝนตกติดต่อกันเกินสองวัน ทำให้การบันทึกภาพ เปลี่ยนไปตามลักษณะภูมิอากาศ อาทิ เช่น กำหนดระยะเวลาทำการบันทึกภาพทุกๆ 15 วัน ของแต่ละเดือน หากในเดือนนั้นเกิดฝนตกติดต่อกันหลายวัน กำหนดการถ่ายภาพอาจต้องเปลี่ยนแปลงไป เป็น ทุกๆ 10 วัน หรือตามความเหมาะสม

5. เมื่อทำการบันทึกภาพครบตามที่กำหนดแล้ว นำภาพที่ได้ทั้งหมดมา รวมเป็นภาพนิ่งเดียวกัน โดยใช้พื้นหลังเดียวกันทุกภาพ หรือ นำภาพที่ได้มาสร้างเป็นภาพเคลื่อนไหว แสดงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ของแต่ละช่วงเวลา โดยการสร้างภาพนิ่ง หรือภาพเคลื่อนไหวนั้น ใช้โปรแกรมในการสร้างดังนี้

5.1 โปรแกรม PhotoScape



ภาพที่ 15 ไอคอน โปรแกรม PhotoScape

บทที่ 4

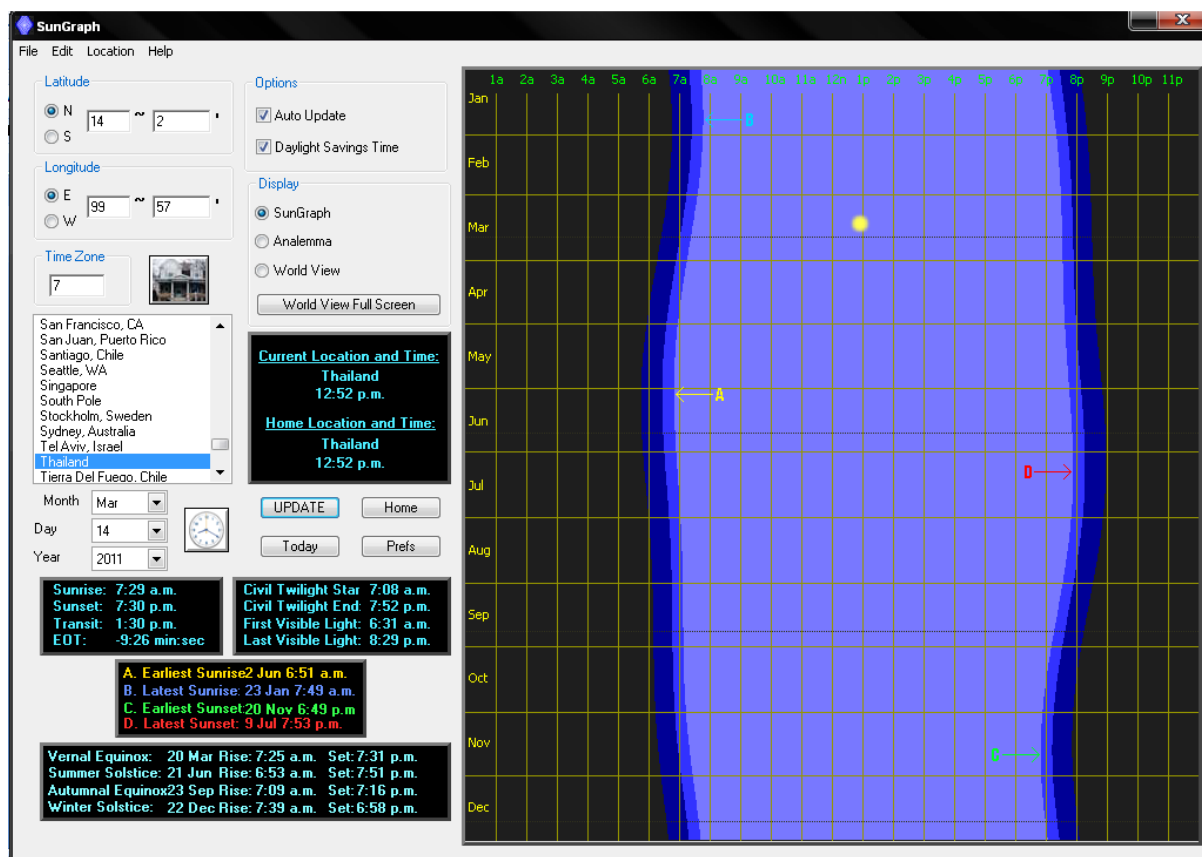
ผลการศึกษา

4.1 ผลของโปรแกรม Sun Graph

จากการศึกษาค้นคว้าปรากฏการณ์ Analemma นอกจากผลที่ได้จากการทดลองบันทึกภาพจากสถานที่จริงและนำภาพที่ได้มาวิเคราะห์ผลแล้ว โปรแกรม Sun Graph เป็นผลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าการเกิดปรากฏการณ์ Analemma ในครั้งนี้ ซึ่งในการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้น จะต้องนำข้อมูลหรือภาพที่ทำการบันทึกได้นั้นมาเปรียบเทียบกับกราฟ Analemma ที่เป็นรูปแบบ ของการเกิด Analemma จริงบนโลก โปรแกรม Sun Graph เป็นหนึ่งทางเลือกในการวิเคราะห์ผลเพื่อเปรียบเทียบ ผลการทดลองในการศึกษา โดยที่ผลที่ได้จากโปรแกรม Sun Graph มีดังนี้

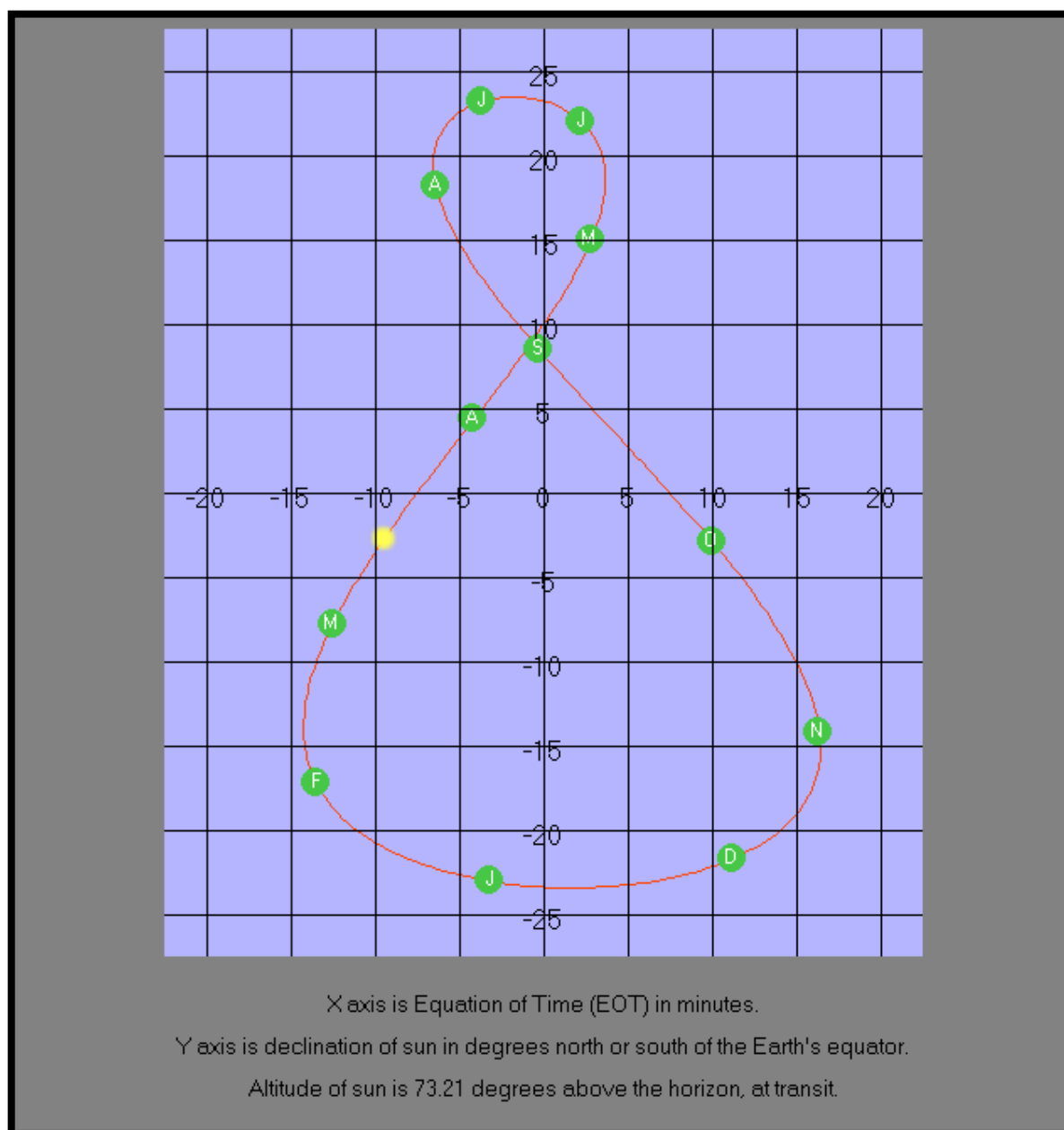
4.1.1 ผลที่ได้จากโปรแกรม Sun Graph

- เลือกคำสั่งให้จอแสดงผลเป็น Sun Graph จะได้ดังรูป



ภาพที่ 16 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงระยะเวลาที่มีแสง จากโปรแกรม Sun Graph

- เลือกคำสั่งให้จอแสดงผลเป็น Analemma จะได้ดังรูป



ภาพที่ 17 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ ที่ระยะเวลา 1 ปี จากโปรแกรม Sun Graph

หมายเหตุ : จากผลการทดลอง ภาพผลการทดลองที่ได้ยกตัวอย่างมาข้างต้น เป็นผลที่

วันจันทร์ที่ 14 มีนาคม 2554

ซึ่งข้อมูลนำเข้าที่นำมาใช้สำหรับโปรแกรมนี้ คือ พิกัดภูมิศาสตร์ ณ จุดที่ทำการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ ในที่นี้คือ แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทานบริเวณทางเข้าบ่อหนึ่ง โดยพิกัดที่นำมาใช้ได้มาจากโปรแกรม Google Earth. โดยใช้พิกัด ณ ตำแหน่งดังกล่าวมาข้างต้น ดังแสดงไว้ดังรูป



ภาพที่ 18 ตำแหน่งที่ทำการตั้งกล้องถ่ายภาพ

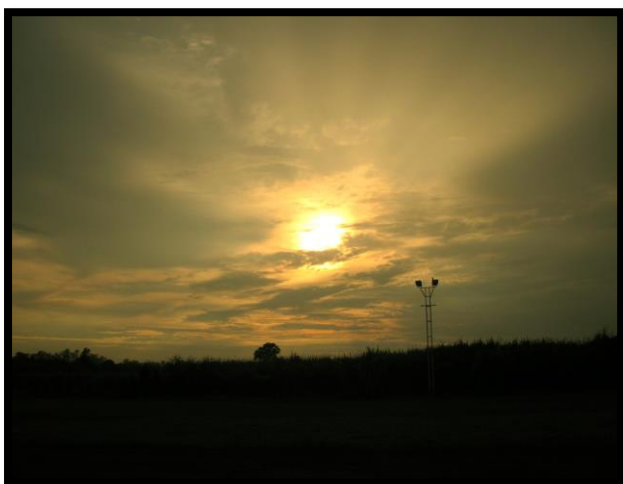
โดยข้อมูลที่ได้ทำการป้อนค่าพิกัดภูมิศาสตร์นี้ได้เพิ่ม Location ในโปรแกรม Sun Graph เป็น Thailand แต่ค่าพิกัดภูมิศาสตร์เป็นค่าพิกัดภูมิศาสตร์ของ จุด – บริเวณที่ทำการทดลองถ่ายภาพดวงอาทิตย์ (แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน บริเวณทางเข้าบ่อหนึ่ง) ดังรูป



ภาพที่ 19 ภาพแปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทานที่ได้จากโปรแกรม Google Earth

4.2 ผลที่ได้จากการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

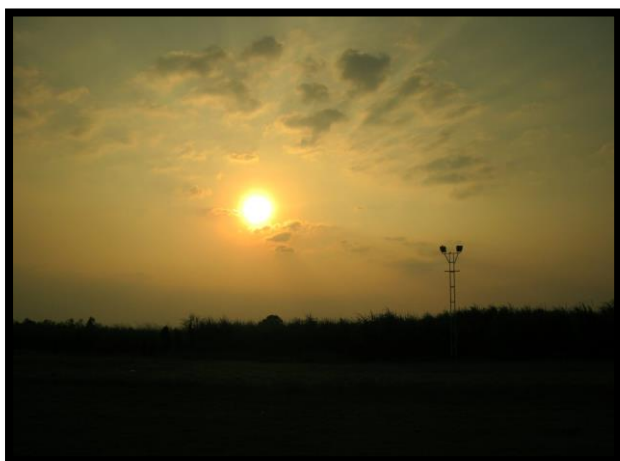
จากการทำการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน บริเวณทางเข้าบ่อหนึ่ง โดยทำการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ ที่เวลา 17.00 น. ทุกๆ 15 วัน ตลอดระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2553 ถึง เดือนมีนาคม พ.ศ.2554 ได้ผลการศึกษาดังนี้



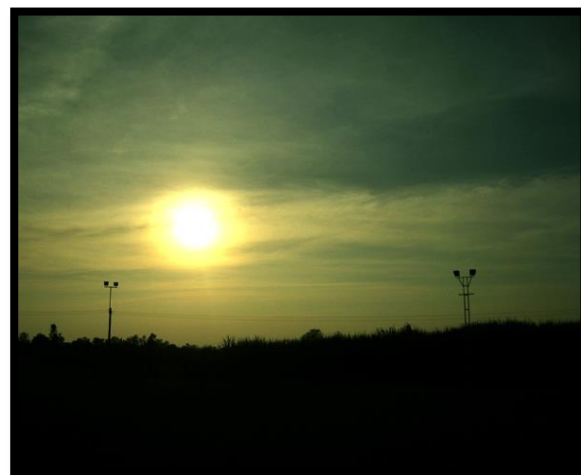
วันพฤหัสบดี ที่ 14 ตุลาคม พ.ศ. 2553 เวลา 17.00 น.



วันเสาร์ ที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ.2553 เวลา 17.00 น.



วันศุกร์ ที่ 10 ธันวาคม พ.ศ. 2553 เวลา 17.00 น.



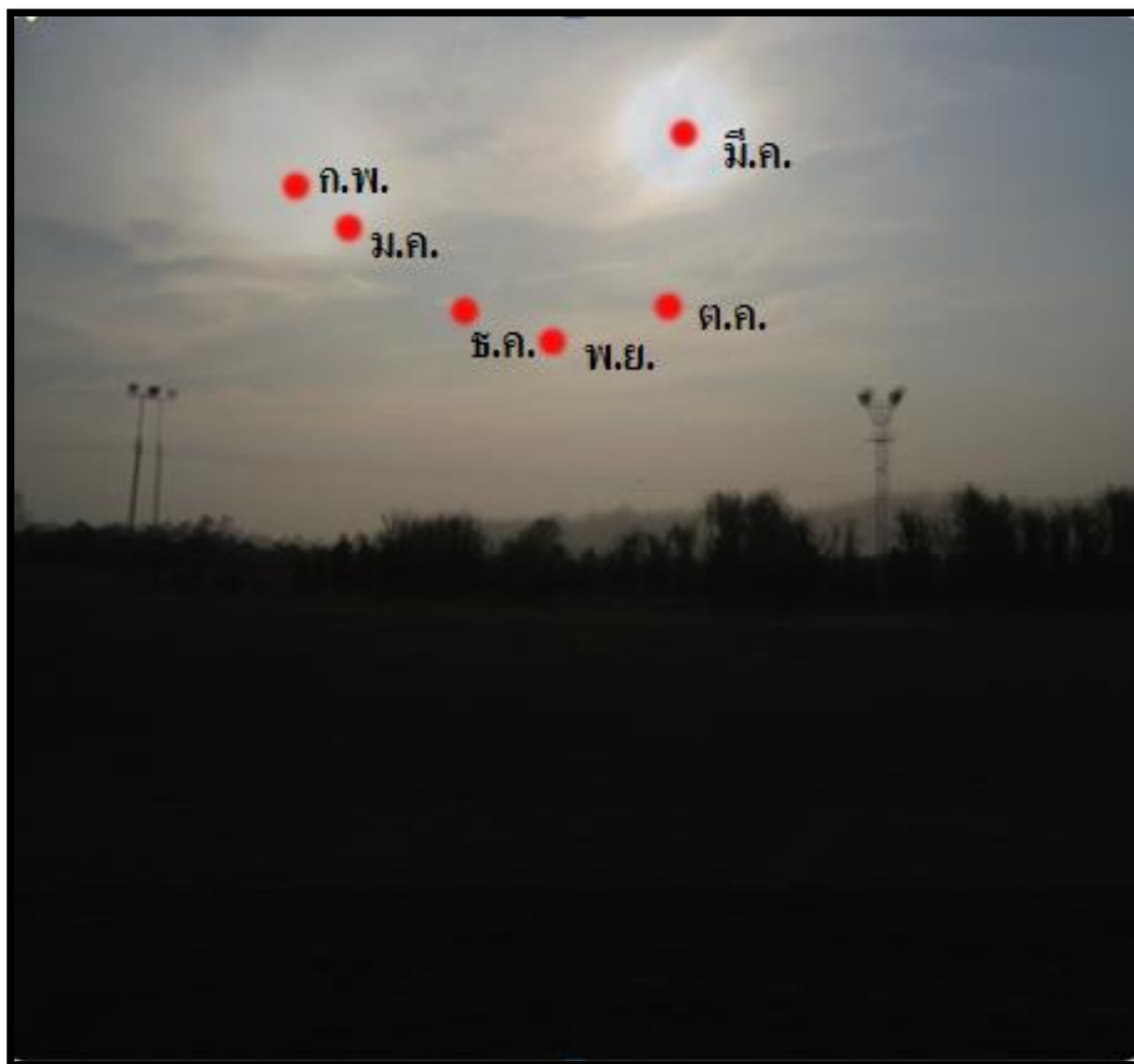
วันเสาร์ที่ 29 มกราคม พ.ศ.2554 เวลา 17.00 น.



วันพฤหัสบดี ที่ 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 เวลา 17.00 น.



วันศุกร์ ที่ 11 มีนาคม พ.ศ. 2554 เวลา 17.00 น.

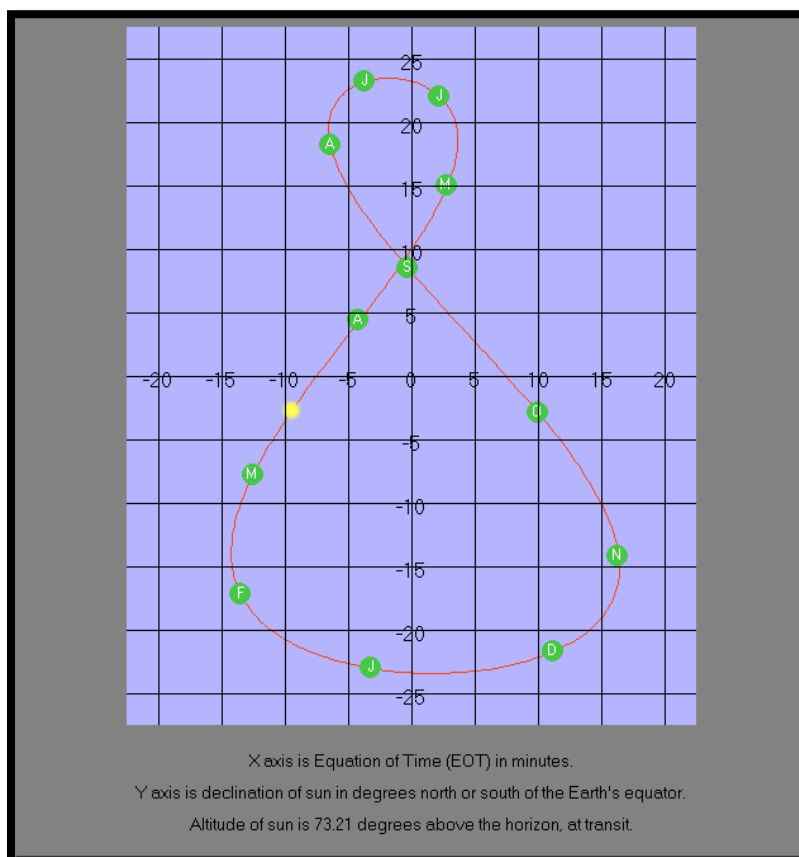


ภาพที่ 20 ผลที่ได้จากการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ ที่เวลา 17.00 น. ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2553 – เดือนมีนาคม พ.ศ.2554

หมายเหตุ: จากภาพผลการทดลองจะเห็นว่า ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในเดือนมีนาคม มีตำแหน่งที่ผิดไปเมื่อเทียบกับลักษณะการเกิดแล้ว ควรจะอยู่เหนือไปทางด้านขวาของตำแหน่งดวงอาทิตย์ในเดือนกุมภาพันธ์ ข้อผิดพลาดนี้ อาจเกิดอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกภาพมีการเปลี่ยนแปลงไป หรือการตั้งค่าอุปกรณ์ ไม่เป็นไปตามเดิม

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปรากฏการณ์ Analemma และ ความรู้ทางด้านวิศวกรรมชลประทาน

จากผลการศึกษาที่ได้จากโปรแกรม Sun Graph ผลที่ได้จากการบันทึกภาพดวงอาทิตย์ กับ ลักษณะการเกิดปรากฏการณ์ Analemma สอดคล้องกันดี ผลที่แสดงออกมาเป็น กราฟ Analemma สามารถใช้ประโยชน์จาก กราฟ Analemma ได้ดังนี้



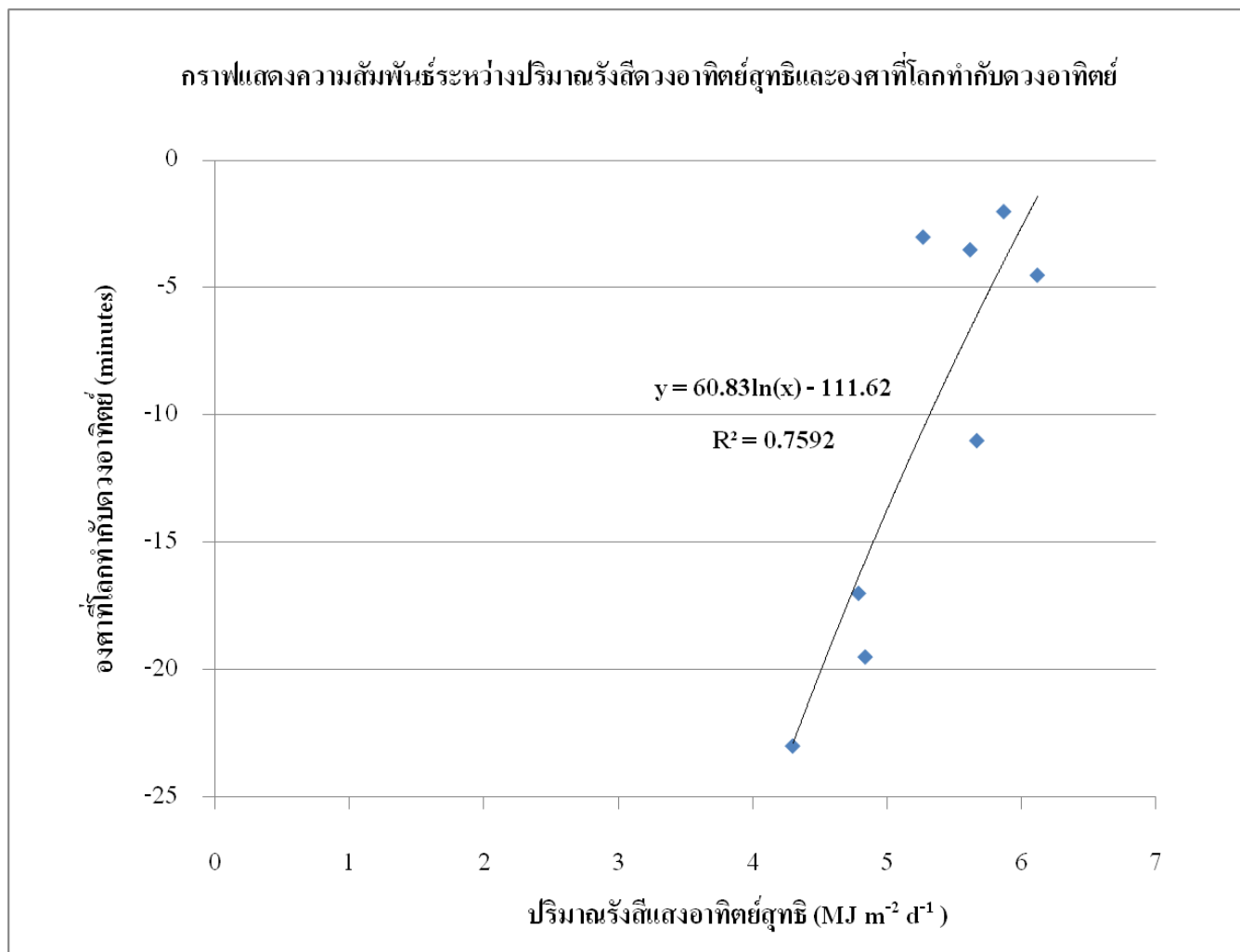
ภาพที่ 21 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ ที่ระยะเวลา 1 ปี จากโปรแกรม Sun Graph

จากภาพ แกน X คือ สมการของเวลา (ลิปดา) และ แกน Y คือ มุมเงยที่โลกทำกับดวงอาทิตย์ที่องศาเหนือ – ใต้ ของเส้นศูนย์สูตรโลก ความสูงของดวงอาทิตย์อยู่ที่ 73.21 องศาที่วงโคจรเหนือเส้นขอบฟ้า

จากข้อมูลในบทที่ 2 การตรวจสอบผลการคำนวณใช้น้ำของพีชโคโดยอธิบายถึงความสำคัญของตัวแปรหนึ่งสมการของ Penman คือ R_n หรือปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธิ ซึ่งปริมาณรังสีดวงอาทิตย์สุทธินี้สามารถใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง ปรากฏการณ์ Analemma ที่ได้จากโปรแกรม Sun Graph ได้ดังภาพที่ 21 ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีดวงอาทิตย์และองศาที่โลกทำกับดวงอาทิตย์ คือ ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์สุทธิแปรผันกับองศาของโลกที่ทำกับดวงอาทิตย์ในลักษณะมุมเงย เช่น จากภาพที่ 21 บริเวณตำแหน่งได้แกน X จะเป็นช่วงฤดูหนาวซึ่งปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกมีปริมาณน้อย

ส่งผลทำให้ปริมาณการใช้น้ำของพืชน้อยไปด้วย และบริเวณเหนือแกน X จะเป็นช่วงฤดูร้อนซึ่งปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกมีปริมาณมาก ส่งผลทำให้ปริมาณการใช้น้ำของพืชมากขึ้นด้วย

จากความสัมพันธ์นี้ นำข้อมูลปริมาณรังสีแสงอาทิตย์และ องศาของโลกที่ทำกับดวงอาทิตย์ในลักษณะมุมเงย มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ได้ดังภาพที่ 22



ภาพที่22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณรังสีดวงอาทิตย์และองศาที่โลกทำกับดวงอาทิตย์

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

ปรากฏการณ์ Analemma นั้นมีลักษณะเป็นรูปเลข 8 บนท้องฟ้าซึ่งเป็นผลจากการรวมตำแหน่งจุดของดวงอาทิตย์ที่เวลาใดเวลาหนึ่งตลอดหนึ่งปี ปรากฏการณ์ดังกล่าวมีสาเหตุจากการเอียงของแกนโลก ซึ่งปัจจุบันการเอียงของแกนโลกทำมุมกับระนาบวงโคจรเท่ากับ 23.5 องศา จึงทำให้เห็นตำแหน่งของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไปตามทฤษฎีการเกิดปรากฏการณ์ Analemma ดังนั้น ในโครงการงานวิศวกรรมนี้จึงได้ทำการศึกษาการเกิดปรากฏการณ์ Analemma ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนเพื่อต้องการพิสูจน์การเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว โดยจากผลการศึกษาพบว่า ในช่วงเดือนตุลาคม 2553 ถึงเดือนมีนาคม 2554 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นไปตามลักษณะการเกิดปรากฏการณ์ Analemma นอกจากนี้ยังได้นำโปรแกรม Sun Graph ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์ตำแหน่งของดวงในปรากฏการณ์ Analemma มาร่วมตรวจสอบกับตำแหน่งที่ทำการทดลองในครั้งนี้ ซึ่งพบว่ามีลักษณะสอดคล้องกันดี

การที่ตำแหน่งของดวงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงไปส่งผลต่อความยาวนานของแสงที่ส่องมายังพื้นโลก ทำให้ปริมาณการใช้น้ำของพืชเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งแสงเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ในสมการของ Penman Monteith (ในที่นี้แสงกล่าวถึง จำนวนชั่วโมงแสงแดด, ค่าอุณหภูมิ, และค่าความชื้นสัมพัทธ์) โดยรายละเอียดที่กล่าวมาข้างต้นนี้ มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์กับความรู้ทางด้านวิศวกรรมชลประทานในด้านอุทกวิทยาโดยมีเนื้อหากล่าวถึงรายละเอียดของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามละติจูด ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและยังรวมไปถึงการเกิดปรากฏการณ์ Analemma ด้วย ทั้งนี้ได้มีการกล่าวว่าความสัมพันธ์ของดวงอาทิตย์กับการเจริญเติบโตของพืชไว้ในบทที่สองแล้ว ซึ่งได้กล่าวถึงกรณีศึกษาที่ประเทศอิสราเอล เรื่อง **THE EFFECT OF ROW ORIENTATION ON ENERGY BALANCE COMPONENT IN IRRIGATED CROPS IN A SEMI-ARID ENVIRONMENT** เป็นการศึกษาทดลองปลูกพืชชนิดเดียวกัน ปลูกที่เดียวกัน ในทิศทางต่างๆกับแสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลก โดยทดลองศึกษาปลูกในทิศเหนือ-ใต้ เปรียบเทียบกับการปลูกทิศตะวันออก-ตะวันตก และติดตั้งเครื่องเซนเซอร์วัดความร้อนในดิน ซึ่งผลการทดลองที่ได้พบว่าการปลูกพืชในแนวทิศเหนือ-ใต้ ดินจะมีความร้อนสูงกว่าการปลูกพืชในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว การปลูกพืชต่างๆ จะปลูกในแนวทิศเหนือ-ใต้ เพราะซึ่งไม่ว่า จะเป็นช่วงเวลาใด พืชก็จะได้รับแสงทั่วถึงตลอดระยะเวลาที่มีแสง ซึ่งต่างจากการปลูกพืชในแนวทิศตะวันออก-ตะวันตก ซึ่งพืชจะไม่รับแสงตลอดช่วงระยะเวลาที่มีแสง ซึ่งความต้องการน้ำของพืชก็จะไม่เท่ากันสำหรับ

เอกสารอ้างอิง

ธีระพล ตั้งสมบุญ. 2549. เอกสารประกอบการบรรยายหลักสูตรการปรับปรุงระบบการจัดการน้ำด้านเกษตร

ชลประทาน เรื่อง การใช้น้ำของพืช. กลุ่มงานวิจัยการใช้น้ำชลประทานส่วนการใช้น้ำชลประทาน

สำนักอุทกวิทยาและบริหารน้ำ. 44 น.

เอกสิทธิ์ โฉมิตตกุลชัย.(ม.ป.ป.). เอกสารประกอบการสอนวิชา 02209241 อุทกวิทยา 1 (Hydrology).

ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
กำแพงแสน.210 น.

ชูพันธุ์ ชมพูนันท์. 2547. **วิธีการสำรวจระยะไกลสำหรับประเมินการใช้น้ำในนาข้าว : กรณีศึกษาโครงการ**

ชลประทานเจ้าพระยาฝั่งตะวันตก.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิกิพีเดีย. 2554. แอนาเล็มมา.แหล่งที่มา: <http://th.wikipedia.org/wiki/Analemma>

ดาราศาสตร์และอวกาศสำหรับคนไทย.(ม.ป.ป.). **ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์.**แหล่งที่มา:
<http://webstory.netfirms.com/story/solar/sunandearth.html>

Ludlow, M.M. 1980. In W.R. Stanton and M. Flach (eds) : SAGO : The Equatorial Swamp as a Natural
Resource. Martinus Nijhoff Publisher, London : 128-148.

Monteith, J.L. 1972. J. Appl. Ecol. 9 : 747-766

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการสร้างภาพนิ่งด้วยโปรแกรม

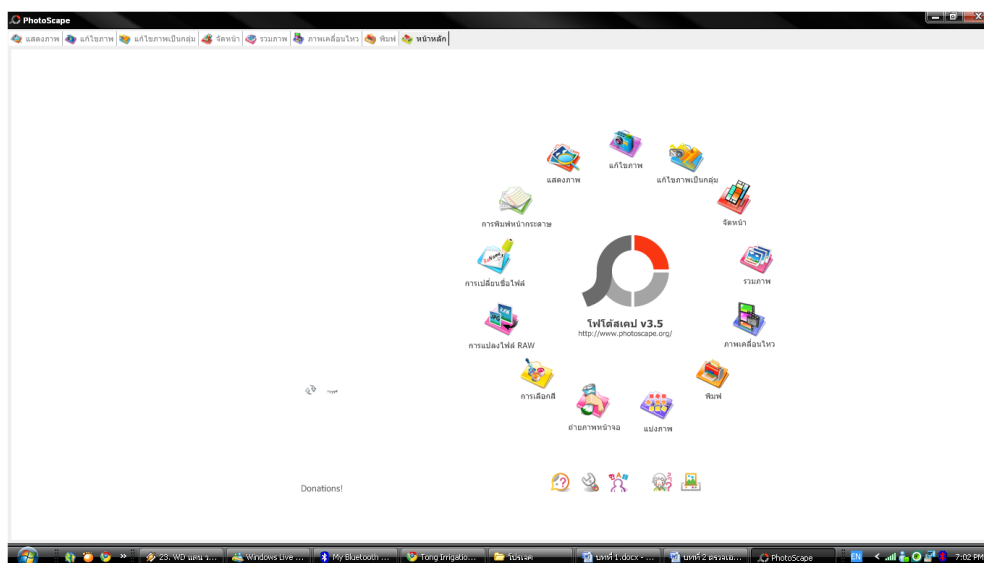
PhotoScape

ภาพผนวก ก

ขั้นตอนการสร้างภาพนิ่งด้วยโปรแกรม Photo Scape

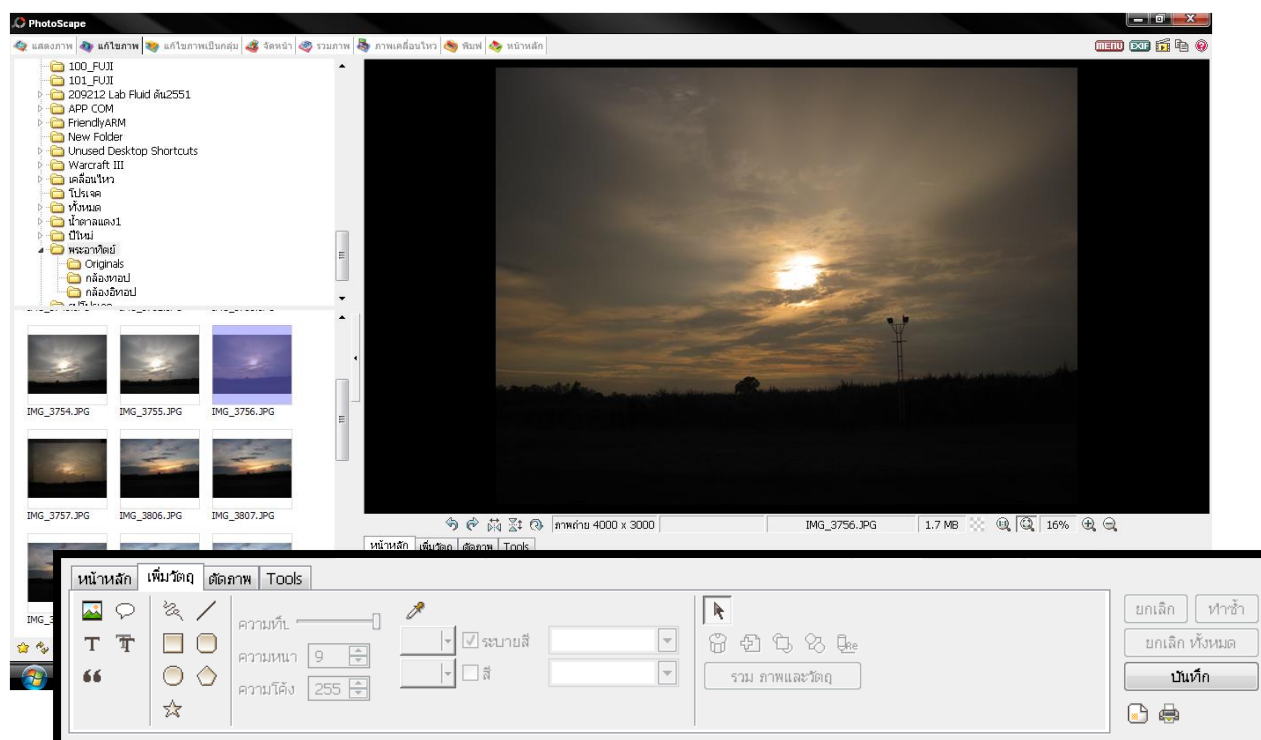
1 ขั้นตอนในการสร้างภาพนิ่ง การเกิดปรากฏการณ์ Analemma

1.1 เปิดโปรแกรม PhotoScape จะได้เป็นหน้าต่างดังรูป



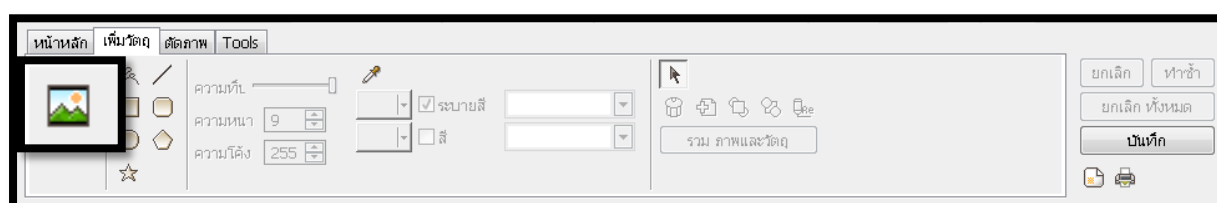
ภาพผนวกที่ ก.1 แสดงหน้าจอโปรแกรม PhotoScape

1.4 ไปที่แถบเครื่องมือด้านล่าง คลิกเลือกคำสั่ง “เพิ่มวัตถุ” จะปรากฏหน้าต่างดังรูป



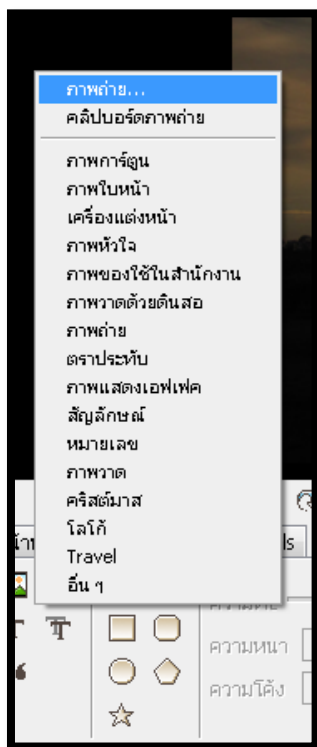
ภาพผนวกที่ ก.4 แสดงการเพิ่มวัตถุในรูปภาพ

1.5 คลิกเลือกที่เครื่องมือ ดังรูป



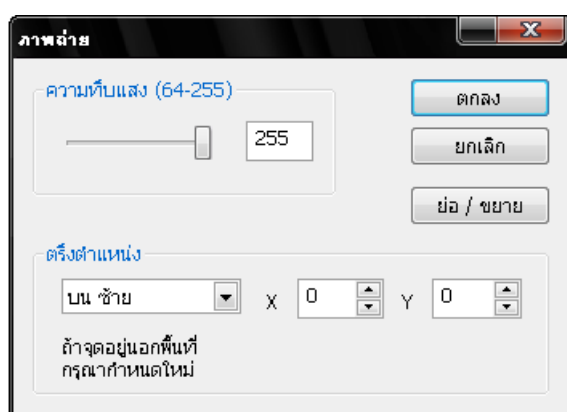
ภาพผนวกที่ ก.5 แสดงการเลือกเครื่องมือในโปรแกรม PhotoScape

จะปรากฏเป็นแถบดังภาพขึ้นมาแล้วคลิกเลือกเพิ่มภาพถ่ายเข้ามา ดังรูป



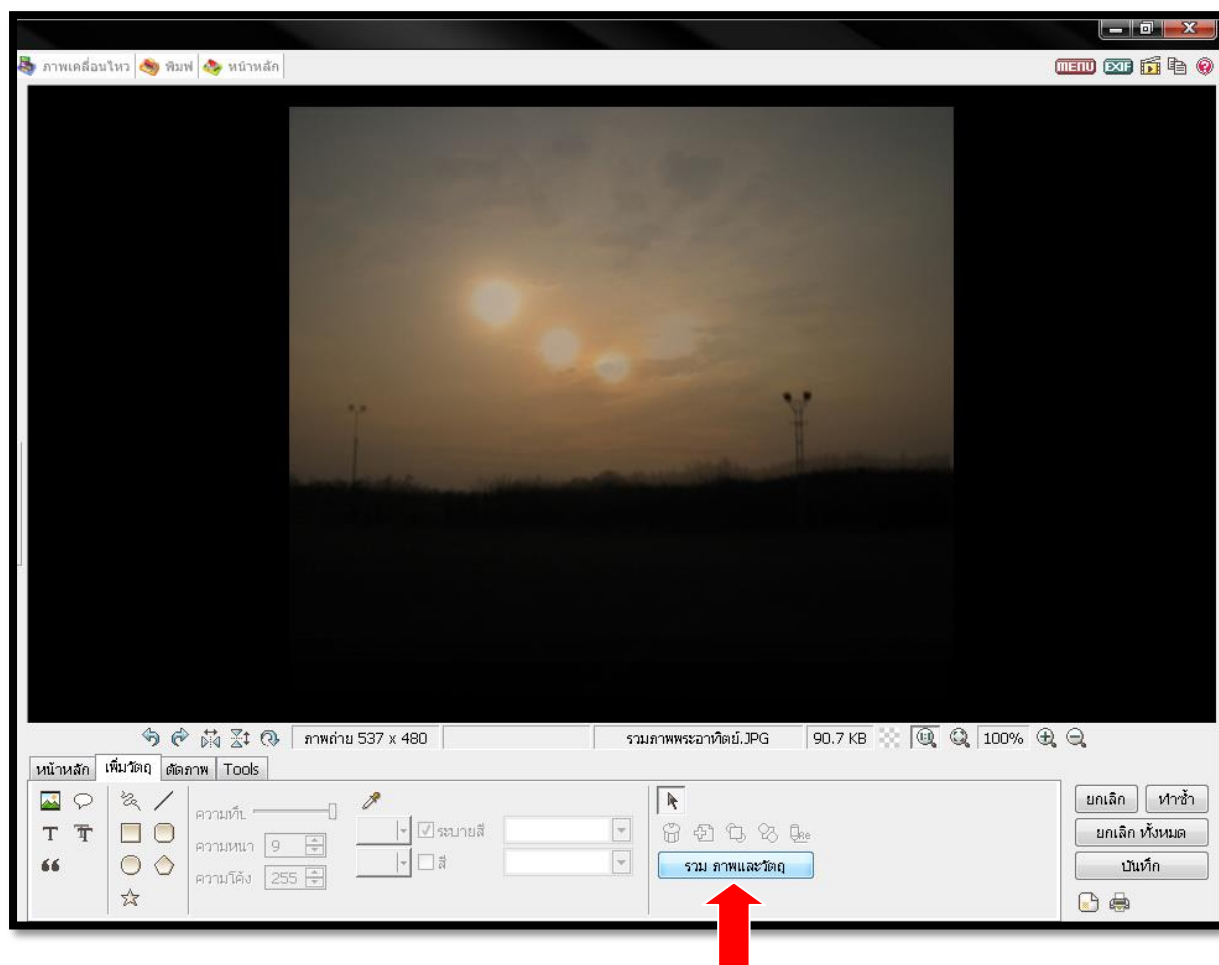
ภาพผนวกที่ ก.6 แสดงการเลือกเมนู ถ่ายภาพในโปรแกรม PhotoScape

1.6 เลือกภาพที่ต้องการแก้ไขจากรอบตามที่ต้องการแล้วนำภาพมาซ้อนกันโดยการเลื่อนปรับตำแหน่งของภาพแต่ละภาพ ให้ใช้จุดใดจุดหนึ่งในภาพเป็นหลัก ในที่นี้ใช้เสาไฟ เป็นจุดหลักของภาพ แล้วเลื่อนภาพทุกภาพให้ซ้อนกันโดยใช้ยึดเสาไฟ ในภาพเป็นหลัก ซึ่งแต่ละภาพ ตำแหน่งของเสาไฟแต่ละภาพจะตรงกันพอดี หลังจากนั้นทำการปรับแก้ความทึบแสงของภาพแต่ละภาพโดยการ ดับเบิ้ลคลิกที่ภาพจะปรากฏหน้าต่างขึ้น ดังรูป



ภาพผนวกที่ ก.7 แสดงการปรับแก้ความทึบแสงของภาพ

1.7 ทำการรวมภาพโดย คลิกเลือกที่คำสั่ง รวมภาพและวัตถุ หลังจากนั้นทำการบันทึกภาพที่แก้ไขเสร็จเรียบร้อยแล้ว



ภาพผนวกที่ ๘.๘ แสดงการรวมภาพดวงอาทิตย์ในโปรแกรม PhotoScape

ภาคผนวก ข

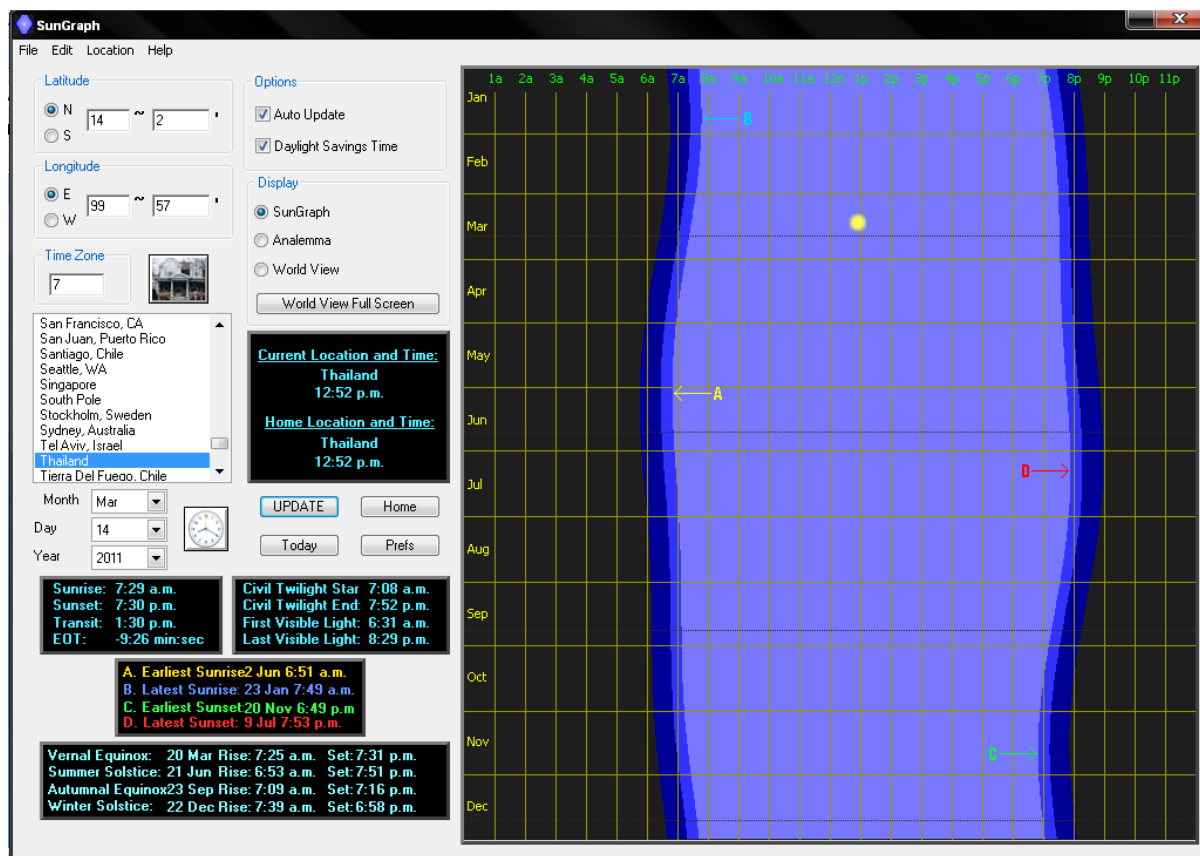
ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Sun Graph

ภาคผนวก ข

ขั้นตอนการใช้โปรแกรม Sun Graph

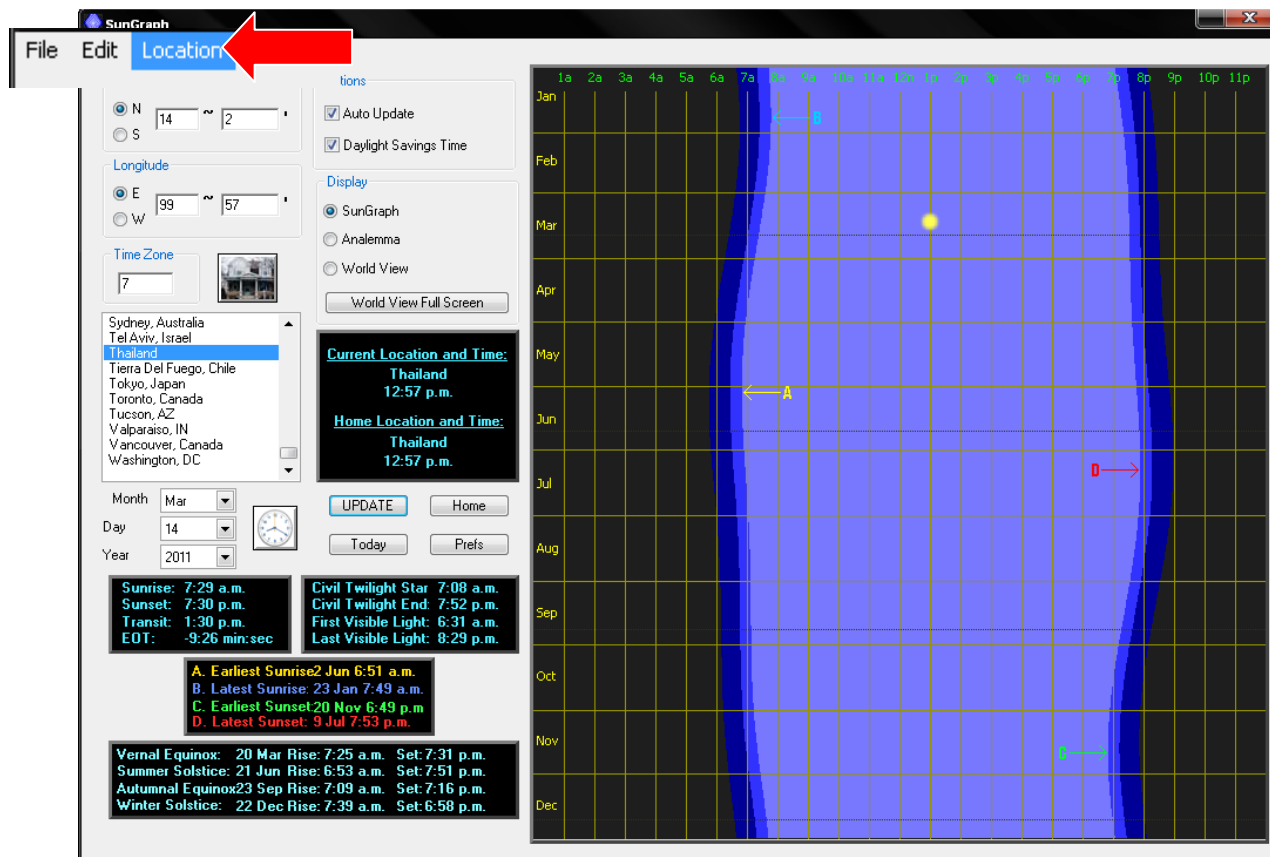
1 ขั้นตอนการสร้างรูปแบบ Analemma ด้วยโปรแกรม Sun Graph

1.1 เปิดโปรแกรม Sun Graph จะปรากฏหน้าต่างดังรูป



ภาพผนวกที่ ข.1 หน้าต่างโปรแกรม Sun Graph

1.2 คลิกเลือก Location ดังรูป



ภาพผนวกที่ ข.2 แสดงการเปลี่ยน Location

1.3 จะได้น้ำต่างขึ้นมามีให้เลือกหรือเพิ่ม Location ในที่นี้ ต้องทำการเพิ่ม Location ใหม่เอง เพราะเนื่องจากไม่มีข้อมูลในส่วนของประเทศไทย ดังนี้

Location	Time Zone	Latitude		Longitude			
		Degrees	Minutes	Degrees	Minutes		
Akron, OH	5	N	41	5	W	81	30.73
Albuquerque, NM	7	N	35	5.02	W	106	39.06
Anchorage, AK	9	N	61	10	W	149	58.98
Atlanta, GA	5	N	33	45.17	W	84	23.62
Baltimore, MD	5	N	39	17.43	W	76	36.75
Barrow, Alaska	9	N	71	18	W	156	48
Beijing, China	8	N	39	55	E	116	23
Berlin, Germany	1	N	52	31	E	13	24
Bombay, India	5.5	N	18	58	E	72	50
Boston, MA	5	N	42	21.4	W	71	3.41
Buenos Aires, Arg	3	S	34	19.99	W	58	29.99
Buffalo, NY	5	N	42	52.87	W	78	52.35
Calgary, Canada	7	N	51	3	W	114	4.98
Cape Town, SA	2	S	33	47.99	E	18	28
Chicago, IL	6	N	41	52.46	W	87	38.36
Christchurch, NZ	12	S	43	28.98	E	172	31.98
Cleveland, OH	5	N	41	29.85	W	81	41.83

Buttons: Cancel, Delete..., New, Change Location..., Save

ภาพผนวกที่ ข.3 แสดง Location List ในสถานที่ต่างๆ

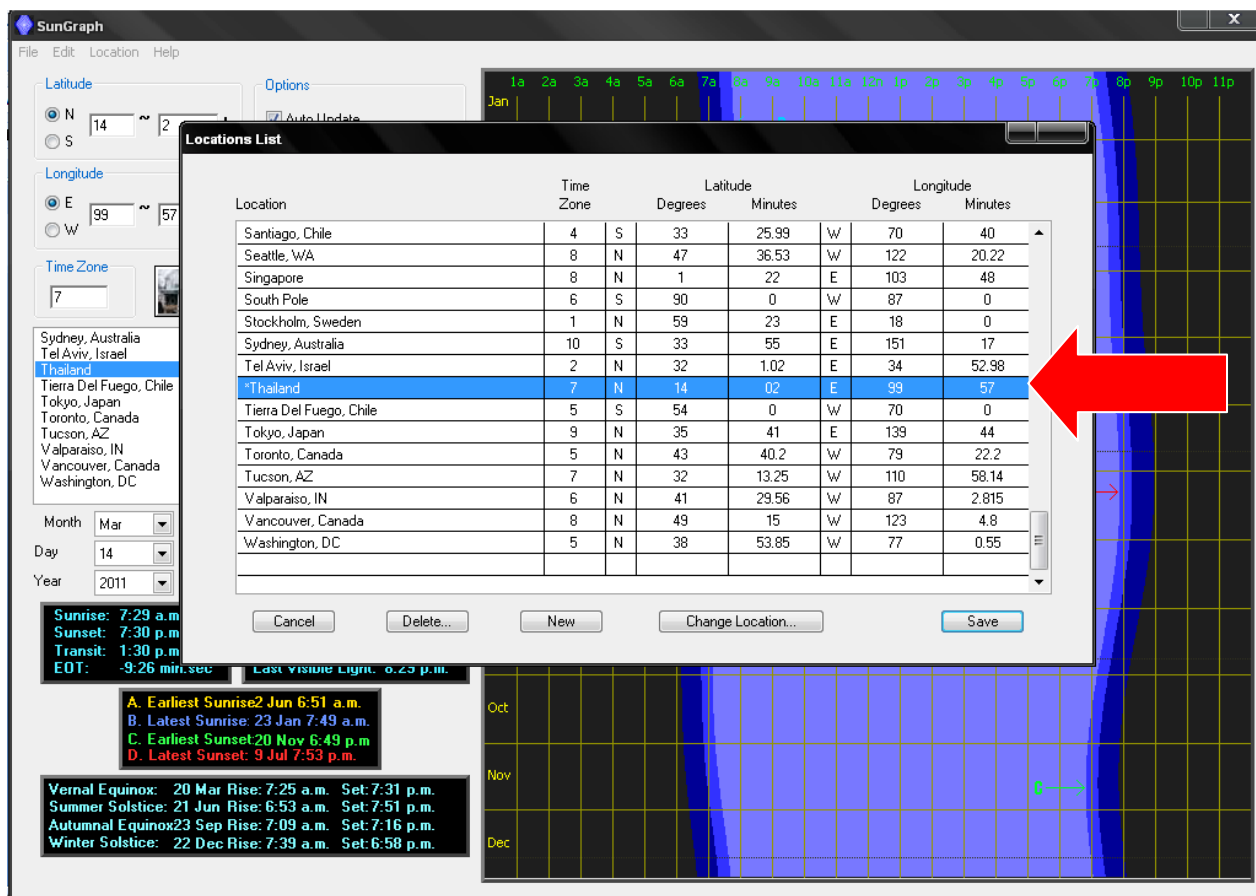
1.4 ทำการเพิ่ม Location โดยเพิ่มเป็น Thailand คลิกที่ New

Locations List

Location	Time Zone		Latitude			Longitude	
			Degrees	Minutes		Degrees	Minutes
Akron, OH	5	N	41	5	W	81	30.73
Albuquerque, NM	7	N	35	5.02	W	106	39.06
Anchorage, AK	9	N	61	10	W	149	58.98
Atlanta, GA	5	N	33	45.17	W	84	23.62
Baltimore, MD	5	N	39	17.43	W	76	36.75
Barrow, Alaska	9	N	71	18	W	156	48
Beijing, China	8	N	39	55	E	116	23
Berlin, Germany	1	N	52	31	E	13	24
Bombay, India	5.5	N	18	58	E	72	50
Boston, MA	5	N	42	21.4	W	71	3.41
Buenos Aires, Arg	3	S	34	19.99	W	58	29.99
Buffalo, NY	5	N	42	52.87	W	78	52.35
Calgary, Canada	7	N	51	3	W	114	4.98
Cape Town, SA	2	S	33	47.99	E	18	28
Chicago, IL	6	N	41	52.46	W	87	38.36
Christchurch, NZ	12	S	43	28.98	E	172	31.98
Cleveland, OH	5	N	41	29.85	W	81	41.83

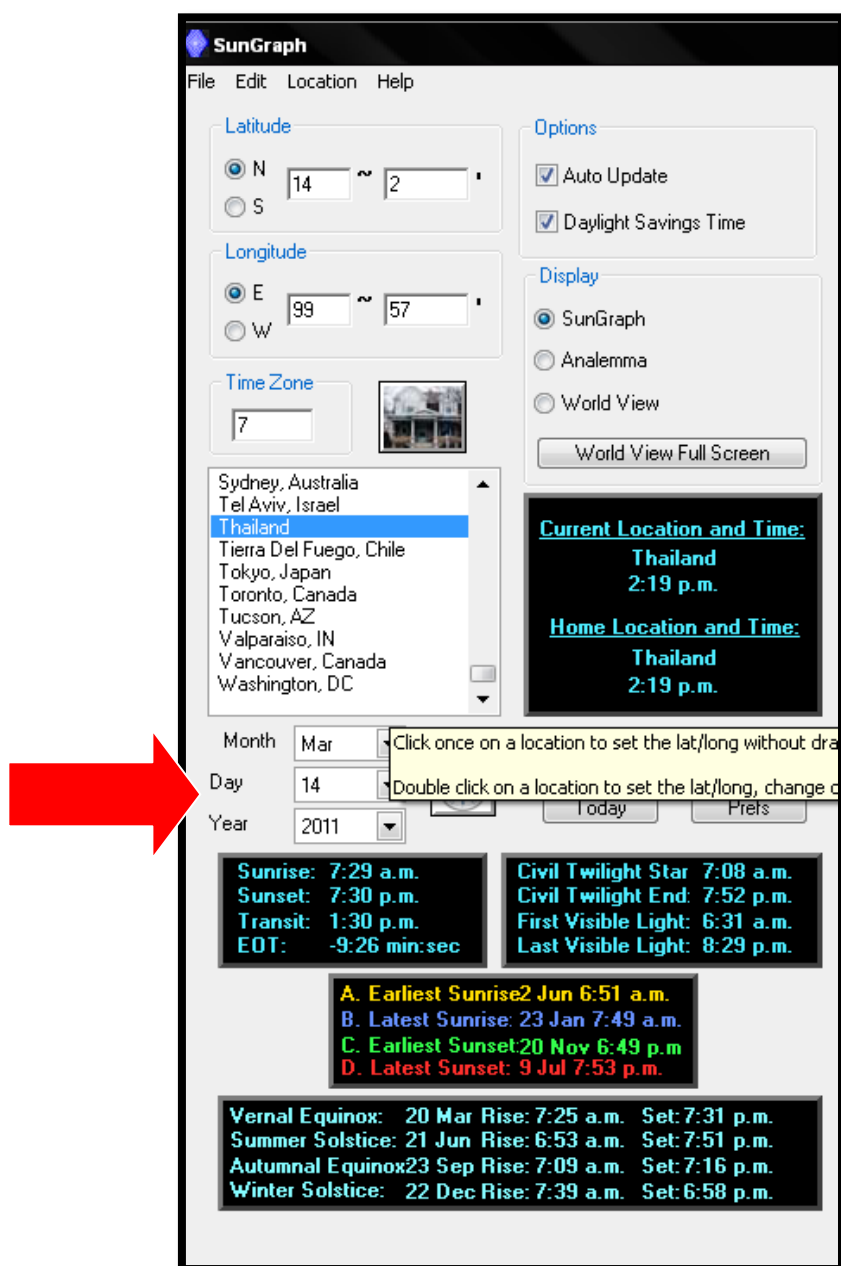
ภาพผนวกที่ ข.4 แสดงการเพิ่ม Location

1.5 ป้อนข้อมูล โดยใช้ Location เป็น Thailand และค่า Time Zone ของประเทศไทย เท่ากับ 7 N ค่า Latitude เท่ากับ $14^{\circ}02'00''$ และค่า Longitude เท่ากับ $99^{\circ}57'00''$ ซึ่งเป็นพิกัดของสถานที่ทำการบันทึกภาพ คือ ที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต กำแพงแสน บริเวณ แปลงทดลองบริเวณทางเข้า บ่อหนึ่ง



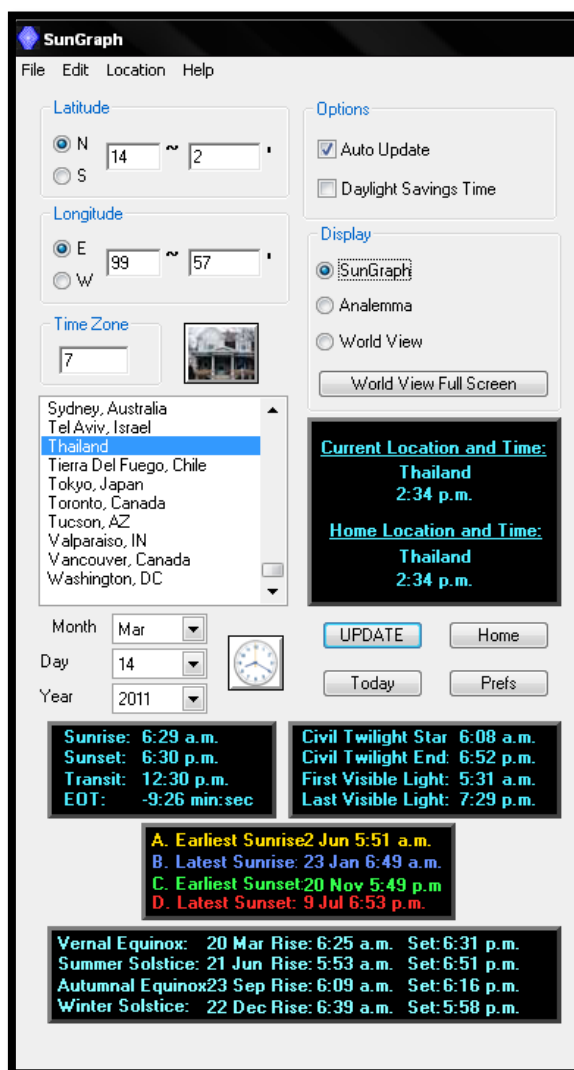
ภาพผนวกที่ ข.5 แสดง Location และ พิกัด ที่ทำการถ่ายภาพ

1.6 เมื่อป้อนข้อมูลเสร็จแล้ว ทำการบันทึกข้อมูล คลิก save หลังจากนั้น ทำการป้อนข้อมูล วัน เดือนปี ที่ต้องการให้โปรแกรมแสดงผลตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังรูป



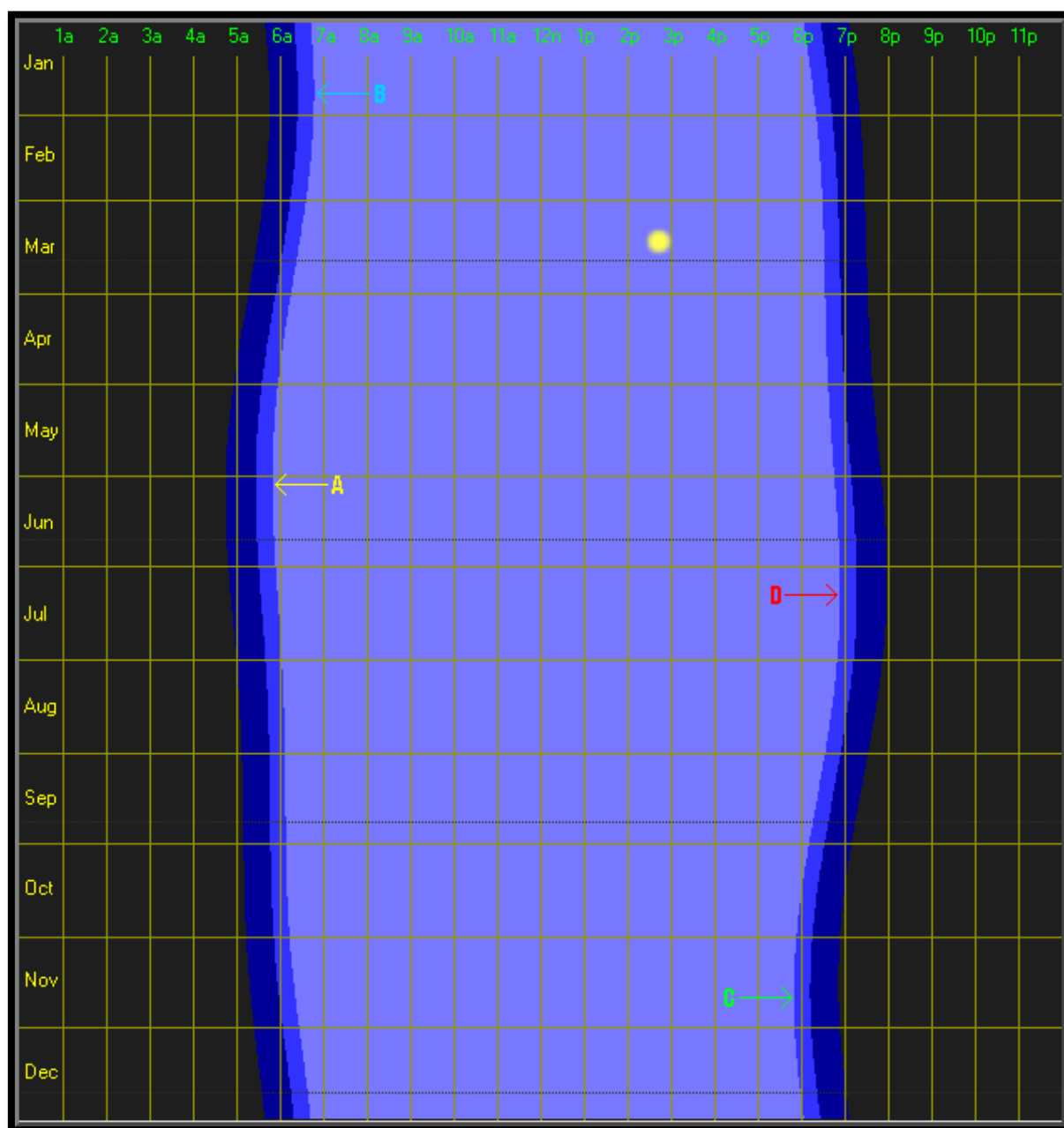
ภาพผนวกที่ ข.6 แสดงการนำเข้าข้อมูลของโปรแกรม SunGraph

1.7 คลิกเลือกให้จอแสดงผล เป็น Sun Graph



ภาพผนวกที่ ข.7 แสดงการเลือกดูตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็น Sun Graph

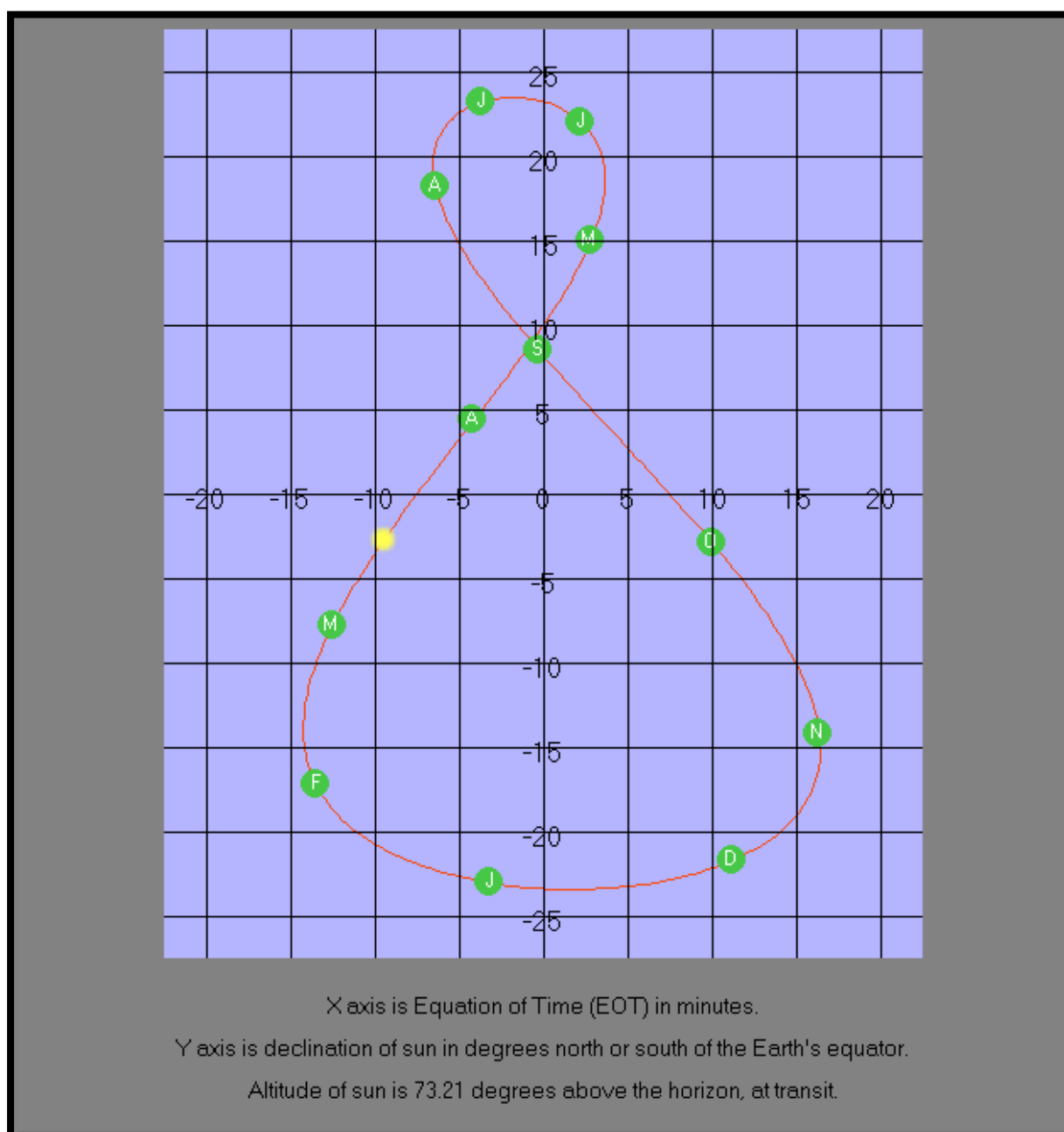
1.8 จะได้ผลดังรูป



ภาพผนวกที่ ข.8 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ของวันและเวลา นั้นๆ

หมายเหตุ : แถบสีฟ้าแสดงระยะเวลาที่มีแสง ตั้งแต่ดวงอาทิตย์เริ่มขึ้นจนถึงระยะเวลาที่แสงหมด หรือดวงอาทิตย์ตก โดยแกน X คือเวลา (ชั่วโมง) แกน Y คือ เดือน และ จุดสีเหลืองแทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่วันและเวลาที่ได้ทำการป้อนข้อมูลให้แสดงผลออกมา

1.9 คลิ๊กเลือกให้จอแสดงผล เป็น Analemma



ภาพผนวกที่ ข.9 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเดือนต่างๆ ที่ระยะเวลาปี จากโปรแกรม SunGraph

หมายเหตุ : แกน X คือ สมการของเวลา (เป็นลิปดา)

แกน Y คือ มุมเงยที่โลกทำกับดวงอาทิตย์ที่องศาเหนือ – ใต้ ของเส้นศูนย์สูตรโลก
ความสูงของดวงอาทิตย์อยู่ที่ 73.21 องศาที่วงโคจรเหนือเส้นขอบฟ้า