

การพัฒนาแผนที่ความยาวนานแสงแดด
โดยอาศัยแบบจำลองทางดาราศาสตร์และภูมิประเทศ



นายอภิวัชร ธรรมศิริ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสำรวจ ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1397-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A SUNSHINE DURATION MAP
USING ASTRONOMICAL AND TERRAIN MODELS

MR. APIWACHR THAMSIRI

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Survey Engineering
Department of Survey Engineering

Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1397-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแผนที่ความยาวนานแสงแดดโดยอาศัยแบบจำลองทางดาราศาสตร์และภูมิประเทศ
โดย	นายอภิวัชร ธรรมศิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสำรวจ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. อธิธิ ตริสิริสัตยวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. ดุษฎี ศุขวัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเกียรติ วิเชียรเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. อธิธิ ตริสิริสัตยวงศ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร. ดุษฎี ศุขวัฒน์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ชัย เกரியงไกรเพชร)

นายอภิวัชร ธรรมศิริ : การพัฒนาแผนที่ความยาวนานแสงแดด โดยอาศัยแบบจำลองทางดาราศาสตร์และภูมิประเทศ. (Development of a Sunshine Duration Map Using Astronomical and Terrain Models) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. อิทธิ ตรีสิริสัตยวงศ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร. คุณัญญา ศุขวัฒน์, 86 หน้า. ISBN 974-03-1397-3.

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่มีความสำคัญต่อโลกเป็นอย่างมาก ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือพื้นดินหนึ่งๆ คือ ตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ และลักษณะทางภูมิประเทศของพื้นที่นั้นๆ ถ้าทราบตำแหน่งบนพื้นผิวโลก วัน เดือน ปี ที่ทำการพิจารณา และลักษณะทางภูมิประเทศที่ล้อมรอบพื้นที่หนึ่งๆ จะสามารถคำนวณได้ว่าพื้นที่บริเวณนั้นได้รับแสงอาทิตย์เวลาใดบ้าง มีระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์เป็นเท่าไร รวมถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่างๆได้

งานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นแนวทางการสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์ เพื่อหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ขณะเวลาต่างๆ รวมทั้งวิเคราะห์ผลกระทบของภูมิประเทศที่มีต่อระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่โดยใช้แบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข (Digital Terrain Model) ของพื้นที่ต่างๆ ได้แก่ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่, อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต และ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ โดยแสดงผลลัพธ์จะอยู่ในรูปของแผนที่ความยาวนานแสงแดดของพื้นที่

ผลจากงานวิจัยพบว่า ช่วงเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละพื้นที่สอดคล้องกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ของแต่ละพื้นที่ และแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่บอกถึงระยะเวลาที่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น ด้านเกษตรกรรม เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการเลือกปลูกพืชในแต่ละพื้นที่ หรือด้านการพลังงาน เพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกตำแหน่งที่ตั้งเบื้องต้นของสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสำรวจ
สาขาวิชา วิศวกรรมสำรวจ
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4170621421 : MAJOR SURVEY ENGINEERING

KEYWORD: Sunshine Duration Map / Astronomical Model / Digital Elevation Model / DEM

MR. APIWACHR THAMSIRI : THESIS TITLE. (DEVELOPMENT OF A SUNSHINE DURATION MAP USING ASTRONOMICAL AND TERRAIN MODELS) THESIS ADVISOR : DR. ITTHI TRISIRISATTAYAWONG, THESIS COADVISOR : DR. DUSADEE SUKAWAT, 86 pp. ISBN 974-03-1397-3

The sun is the energy source that is the most important to the Earth. The main factors that cause high effect on sunshine duration of a specific area are the position on the earth surface of that area, the position of the earth related to sun and the topographical characteristics of that area. If all factors are known, the position of the sun and sunshine duration of a specific area can be calculated.

The main objective of this research is to create astronomical models used to calculate sun position in several times and to analyse the effect of the topographical characteristics on sunshine duration of digital elevation models (DEM) in several areas, Amphoe Doi Saket Changwat Chiang Mai, Amphoe Muang Phuket Changwat Phuket and Amphoe Senangkhanikhom Changwat Amnat Chareon. The output of this research is a sunshine duration map that identifies the periods of sun visibility of each pixel in DEM.

The sunshine duration maps that are the result of this research are corresponding to the factors of sunshine duration of any area. These maps can be used in many disciplines such as agriculture (selecting an appropriate plant for a given area) and replacement energy (determining a primary location for a solar power station).

Department	Survey Engineering	Student's signature.....
Field of study	Survey Engineering	Advisor's signature.....
Academic year	2001	Coadvisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความปรารถนาดี และความกรุณาของบุคคลต่างๆหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. อธิติ ตริสิริสัตยวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. ดุษฎี สุขวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้กับข้าพเจ้า และข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และข้อแนะนำต่างๆแก่ข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยรังสิต ที่ให้ข้าพเจ้าสามารถลาศึกษาต่อเพื่อหาความรู้เพิ่มเติม รวมถึงให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นเรศ พันธราทร ดร.พิสิทธิ์ ชันติวัฒน์กุล ดร. พิธิษฐ์ ชาญเกียรติกร ดร. สมพงษ์ หิรัญมาตสุวรรณ และอาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำ และกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณสมบัติ ทรัพย์สวนแดง คุณสุรัชย์ จุฑานุกาล และคุณสมศักดิ์ สันประเสริฐ ที่ได้ให้คำปรึกษา และความรู้ต่างๆทางด้านคาราศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ คุณพิชญ์ ตีรณสวัสดิ์ และคุณปิณฑิ์ จีระมงคลพาณิชย์ ที่ช่วยสร้าง และแก้ไขแบบจำลองต่างๆที่ใช้ในงานนี้ จนเสร็จสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ นิสิตปริญญาโทในภาควิชาวิศวกรรมสำรวจทุกท่าน ที่ส่งเสริม และให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการช่วยเหลือให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ท้ายสุดนี้ ขอขอบคุณดีของวิทยานิพนธ์ เพื่อเป็นกตเวทิตาคุณแต่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน พร้อมกันนี้ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม และประเทศโดยส่วนรวมสืบไป

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย.....	1
1.2 แนวคิด เหตุผล และสมมติฐาน.....	1
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	7
1.6 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย.....	7
1.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน.....	9
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	9
บทที่ 2 แบบจำลองทางดาราศาสตร์และแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข.....	10
2.1 ระบบพิกัดฉากที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางดาราศาสตร์.....	10
2.2 การสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์ในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในระบบเส้นขอบฟ้า ณ ขณะเวลาต่างๆ.....	11
2.3 การสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข.....	12
บทที่ 3 ค่าคลาดเคลื่อน.....	14
3.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางดาราศาสตร์.....	14
3.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข.....	17
บทที่ 4 การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข.....	20
4.1 การเลือก Pixel บนแบบจำลองพื้นที่มาใช้พิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์.....	20
4.2 การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel บนแบบจำลองพื้นที่.....	21
บทที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	24
5.1 การสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข.....	24
5.2 การแปลงค่าพิกัดฉากบนแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข และค่ามุมเอียงกริด.....	24
5.3 การสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์.....	27
5.4 การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของตำแหน่งบนแบบจำลองพื้นที่.....	29
5.5 การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด.....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.6 การแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม.....	33
บทที่ 6 ผลการวิจัย.....	34
6.1 สมมติฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ.....	34
6.2 ผลการวิจัยเมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งของพื้นที่บนพื้นผิวโลก.....	34
6.3 ผลการวิจัยเมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์.....	35
6.4 ผลการวิจัยเมื่อพิจารณาถึงลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่.....	36
6.5 แผนที่ความยาวนานแสงแดด.....	40
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	51
7.1 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัย.....	51
7.2 การวิเคราะห์สถานภาพของโปรแกรม.....	57
7.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้.....	58
7.3 ข้อเสนอแนะ.....	59
รายการอ้างอิง.....	61
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก.....	63
ภาคผนวก ข.....	76
ภาคผนวก ค.....	78
ภาคผนวก ง.....	83
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	86

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
6.1	เปรียบเทียบเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต.....34
6.2	เปรียบเทียบเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับบริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ.....35
6.3	เปรียบเทียบการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันต่างๆของปี อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ($\Phi 18^{\circ} 51' 51''$, $\lambda 99^{\circ} 06' 15''$).....36
6.4	เปรียบเทียบการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันต่างๆของปี อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ($\Phi 07^{\circ} 55' 01''$, $\lambda 98^{\circ} 18' 30''$).....36
6.5	เปรียบเทียบการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันต่างๆของปี อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ ($\Phi 16^{\circ} 10' 11''$, $\lambda 104^{\circ} 54' 46''$)..... 36
6.6	เปรียบเทียบผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันต่อการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันที่ 1 มกราคม 2545 อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่.....37
6.7	เปรียบเทียบผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันต่อการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันที่ 1 มกราคม 2545 อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต.....38
6.8	เปรียบเทียบผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันต่อการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันที่ 1 มกราคม 2545 อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ.....39
6.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด บริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร.....42
6.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผล และผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร.....43
6.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด บริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร.....44
6.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผล และผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร.....45
6.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด บริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร.....46

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.14	
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผล และผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต	
	ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร.....47
6.15	
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด	
	บริเวณ อ.เสนางคณิศร จ.อำนาจเจริญ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร.....48
6.16	
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผล และผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เสนางคณิศร จ.อำนาจเจริญ	
	ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร.....49
7.1	
เปรียบเทียบการมองเห็นดวงอาทิตย์ของบริเวณต่างๆที่ทำการวิจัย.....52	
7.2	
แสดงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าและเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของจุด บนแบบจำลองพื้นที่ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ($\Phi 18^{\circ} 51' 51''$, $\lambda 99^{\circ} 06' 15''$).....53	
7.3	
แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตแผนที่จากคอมพิวเตอร์ 2 ชุด อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่.....55	
7.4	
แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตแผนที่จากคอมพิวเตอร์ 2 ชุด อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต.....55	
7.5	
แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตแผนที่จากคอมพิวเตอร์ 2 ชุด อ.เสนางคณิศร จ.อำนาจเจริญ.....55	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แสดงขณะเวลาที่สังเกตเห็นดวงอาทิตย์ของจุด X และจุด Y ในเวลาเช้า.....2
1.2	แสดงขณะเวลาที่สังเกตเห็นดวงอาทิตย์ของจุด X และจุด Y ในเวลาเย็น.....2
1.3	แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์.....3
1.4	แสดงหน้าตัด (1) – (1) (ของรูปที่ 1.3).....3
1.5	แสดงหน้าตัด (2) – (2) (ของรูปที่ 1.3).....3
1.6	แสดงการได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่ราบ ณ วันที่ 23 กันยายน.....4
1.7	แสดงผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่มีต่อเวลารับแสงอาทิตย์ของพื้นที่.....5
1.8	แสดงมุมสูงของพื้นที่ (a_{Terrain}) ที่อยู่โดยรอบจุด P มากกว่ามุมสูงของดวงอาทิตย์ (a_{Sun}).....8
1.9	แสดงมุมสูงของพื้นที่ (a_{Terrain}) ที่อยู่โดยรอบจุด P น้อยกว่ามุมสูงของดวงอาทิตย์ (a_{Sun}).....8
2.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบเส้นขอบฟ้ากับระบบพิกัดท้องถิ่น.....10
2.2	แสดงแผนผังการสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขจากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร.....13
2.3	แสดงตัวอย่างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข.....13
3.1	แสดงค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ.....16
3.2	แสดงมุมเหลี่ยมศูนย์กลาง.....17
4.1	แสดงวิธีการเลือก Pixel บนแบบจำลองพื้นที่มาใช้พิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์.....20
4.2	แสดงวิธีการใช้ค่ามุมสูง (a) ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์.....22
5.1	แสดงตัวอย่างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร..... 25
5.2	แสดงแผนผังการดำเนินการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ใดๆ ใน 1 วัน.....30
5.3	แสดงแผนผังการดำเนินการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ใดๆ ใน 1 เดือน.....31
5.4	แสดงแผนผังการดำเนินการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ใดๆ ใน 1 ปี.....31
5.5	แสดงแผนผังการดำเนินการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของทั้งแบบจำลองพื้นที่ใน 1 วัน.....32
6.1	แสดงแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่.....37
6.2	แสดงแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต.....38
6.3	แสดงแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ.....39
6.4	แสดงตัวอย่างแผนที่ความยาวนานแสงแดดของ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ (ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร) ณ วันที่ 21 มีนาคม 2545 โดย $t = 5$ นาที50
7.1	แสดงผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่มีต่อแผนที่ความยาวนานแสงแดด.....54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของงานวิจัย

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่อโลกเป็นอย่างยิ่ง พลังงานเกือบทั้งหมดในโลกได้มาจากการส่งผ่านหรือสะสมจากพลังงานจากดวงอาทิตย์แทบจะทั้งสิ้น นอกจากนี้ พลังงานจากดวงอาทิตย์ยังสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีวันหมดสิ้นอีกด้วย พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง คือ พลังงานแสง ซึ่งสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บนโลกสามารถนำพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มาใช้ในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ หลายด้านด้วยกัน

ประโยชน์ของแสงอาทิตย์ที่สำคัญอย่างหนึ่งก็คือ ด้านเกษตรกรรม เนื่องจากแสงอาทิตย์จะถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชชนิดต่างๆ, ใช้ในการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ และอื่นๆ [Brewer & Flood 1981] นอกจากนี้ พลังงานแสงอาทิตย์ยังมีประโยชน์ในด้านอื่นๆ อีก เช่น การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานอื่นๆ เช่น พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน เป็นต้น

จากประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์ในการนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงของพืชชนิดต่างๆ เนื่องจากว่าพืชแต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณแสงอาทิตย์ที่นำไปใช้ในการสังเคราะห์แสงแตกต่างกัน ดังนั้น จึงควรมีการจัดทำแผนที่ที่สามารถบอกถึงระยะเวลาที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจว่า จะทำการปลูกพืชชนิดหนึ่งๆ บนพื้นที่ใดให้เหมาะสมกับความต้องการแสงอาทิตย์ของพืชชนิดนั้นๆ

ประโยชน์อีกแห่งหนึ่งของพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ด้านพลังงาน กล่าวคือ พลังงานแสงอาทิตย์สามารถถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ดังนั้น แผนที่ที่บอกถึงระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่ จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนเบื้องต้นในการหาที่ตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำมันในการผลิตกระแสไฟฟ้าในพื้นที่นั้นๆ อีกด้วย

1.2 แนวคิด เหตุผลและสมมติฐาน

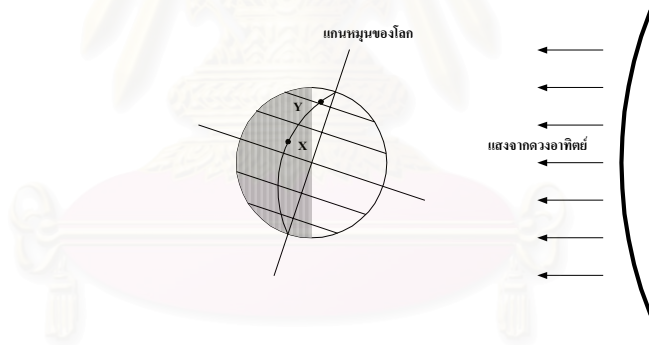
เนื่องจากแกนหมุนของโลกที่เอียงทำมุมอยู่กับระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ และวงโคจรของโลกมีลักษณะเป็นวงรี โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสหนึ่งๆ [ทวีเดช ลีละวัฒน์วัฒนา 2525, Mueller 1977] พบว่า ระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่หนึ่งๆ ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

1.2.1 ตำแหน่งของพื้นที่บนพื้นผิวโลก

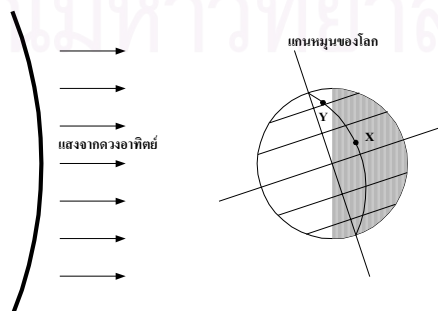
พิจารณาดำแหน่งของโลกดังรูปที่ 1.1 ในช่วงเวลาเช้า ที่จุด X และจุด Y ที่อยู่บนเส้นเมริเดียน (Longitude) เดียวกัน แต่มีตำแหน่งบนเส้นละติจูด (Latitude) ต่างกัน จะเห็นได้ว่า ที่จุด Y จะสังเกตเห็นดวงอาทิตย์ได้ก่อนจุด X และเมื่อพิจารณาในรูปที่ 1.2 ซึ่งเป็นช่วงเวลาเย็น ก็จะเห็นว่า ที่จุด Y ยังคงสังเกตเห็นดวงอาทิตย์ได้อยู่ ขณะที่จุด X นั้น ดวงอาทิตย์ลับเส้นขอบฟ้าไปแล้ว ทั้งหมดนี้จะส่งผลให้ที่จุด Y มีระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ยาวนานกว่าที่จุด X ซึ่งในวิชาดาราศาสตร์ จะสามารถคำนวณหาเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกได้จากสมการที่ (1.1) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์นั้น จะขึ้นอยู่กับตำแหน่ง (ละติจูด; Φ) บนพื้นผิวโลก

$$\cos t = \tan \delta \tan \Phi \dots\dots\dots(1.1)$$

- โดยที่ t เป็นมุมชั่วโมง (Hour Angle) ของดวงอาทิตย์
- δ เป็นค่าเดคลิเนชัน (Declination) ของดวงอาทิตย์
- Φ เป็นค่าละติจูดของตำแหน่งบนพื้นโลกที่กำลังพิจารณา



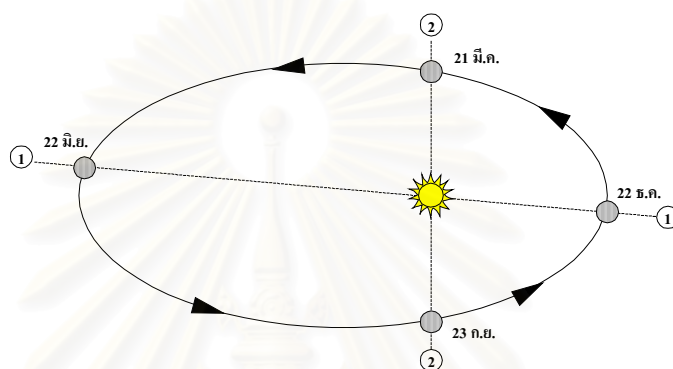
รูปที่ 1.1 แสดงเวลาที่สังเกตเห็นดวงอาทิตย์ของจุด X และจุด Y ในเวลาเช้า



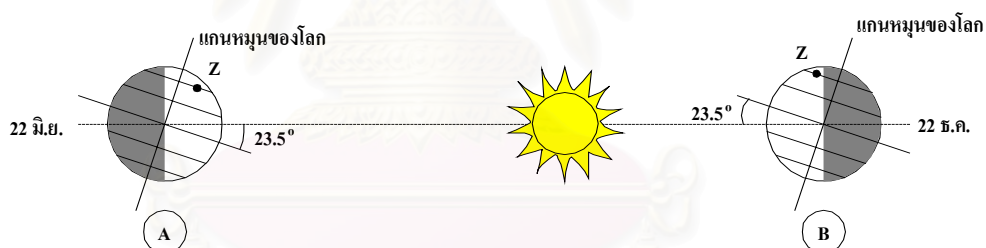
รูปที่ 1.2 แสดงเวลาที่สังเกตเห็นดวงอาทิตย์ของจุด X และจุด Y ในเวลาเย็น

1.2.2 ตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์

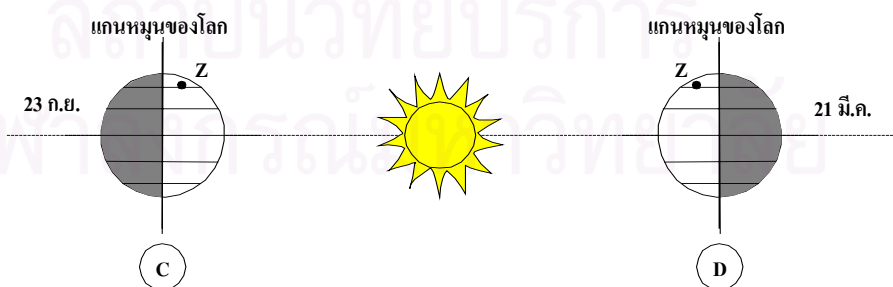
เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (1.1) จะเห็นได้ว่า การขึ้นและตกของดวงอาทิตย์นอกจากจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งบนพื้นผิวโลกแล้ว ยังขึ้นอยู่กับค่าเดคลิเนชัน (Declination) ของดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับระนาบศูนย์สูตรอีกด้วย ซึ่งค่าของเดคลิเนชันนี้จะแปรเปลี่ยนไปตามช่วงเวลาหรือฤดูกาลต่างๆของแต่ ละปี หรืออีกนัยหนึ่งก็คือค่าเดคลิเนชันจะเปลี่ยนแปลงเมื่อตำแหน่งของโลกเทียบกับดวงอาทิตย์เปลี่ยนไป ดังรูป ที่ 1.3, 1.4 และ 1.5



รูปที่ 1.3 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์



รูปที่ 1.4 แสดงหน้าตัด (1) - (1)



รูปที่ 1.5 แสดงหน้าตัด (2) - (2)

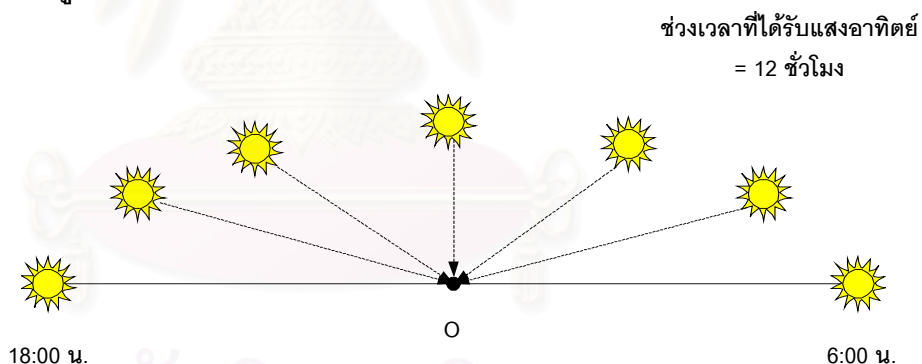
รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ที่ตำแหน่งสำคัญต่างๆในแต่ละปี เมื่อทำการพิจารณาหน้าตัด (1) - (1) ดังรูปที่ 1.4 จะเห็นได้ว่า ที่ตำแหน่ง A (ประมาณวันที่ 22 มิถุนายน ของทุกปี) ค่าเดคลิเนชัน

ลิเนชั่น ของดวงอาทิตย์จะมีค่า $+23.5^{\circ}$ (เหนือระนาบศูนย์สูตร) และที่ตำแหน่ง B (ประมาณวันที่ 22 ธันวาคม ของทุกปี) ค่าเดคลิเนชั่นของดวงอาทิตย์จะมีค่าเป็น -23.5° (ใต้ระนาบศูนย์สูตร) และเมื่อพิจารณาหน้าตัด (2) – (2) ดังรูปที่ 1.5 จะเห็นได้ว่าที่ตำแหน่ง C และตำแหน่ง D (ประมาณวันที่ 23 กันยายน และ 21 มีนาคมของทุก ปี) ค่าเดคลิเนชั่นของดวงอาทิตย์จะมีค่าเป็น 0° (ดวงอาทิตย์อยู่บนระนาบศูนย์สูตรพอดี) จะเห็นได้ว่า ค่าเดคลิ เนชั่นจะแปรเปลี่ยนตามตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาที่สังเกตเห็นดวง อาทิตย์ของพื้นที่หนึ่งๆนั้นแตกต่างกันด้วย กล่าวคือ เมื่อพิจารณามตำแหน่งของโลกที่ตำแหน่ง A (ดังรูปที่ 1.4) จะ เห็นว่าที่จุด Z บนพื้นผิวโลกมีช่วงกลางวันยาวนานกว่ากลางคืน ซึ่งแตกต่างจากตำแหน่งของโลกที่ตำแหน่ง B ที่ จุด Z มีช่วงกลางวันยาวนานกว่ากลางคืน ในขณะที่เมื่อโลกอยู่ที่ตำแหน่ง C และ D (ดังรูปที่ 1.5) จะเห็นได้ว่า จุด Z มีความยาวของกลางวันและกลางคืนใกล้เคียงกัน

นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลกระทบต่อขณะเวลา รวมถึงระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ (ความยาว นานแสงแดด; Sunshine Duration) ของพื้นที่ ปัจจัยต่างๆเหล่านี้ คือ

- ลักษณะภูมิประเทศของแต่ละพื้นที่
- ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา

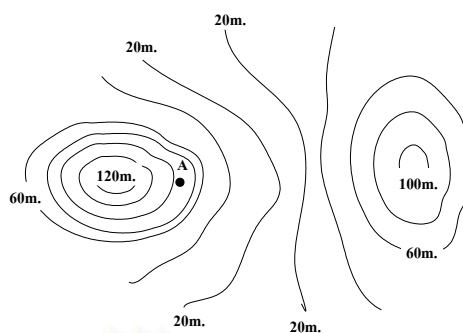
1.2.3 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่



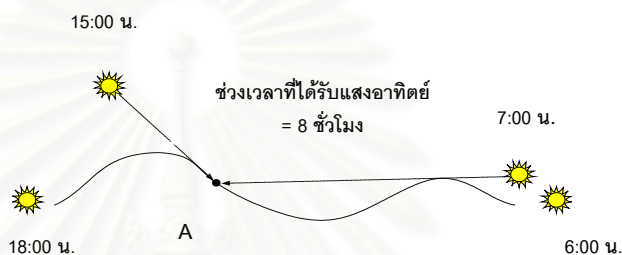
รูปที่ 1.6 แสดงการได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่ราบ ณ วันที่ 23 กันยายน

จากรูปที่ 1.6 เมื่อพื้นที่ทำการพิจารณาเป็นพื้นที่ราบหรือค่อนข้างราบ ที่จุด O จะสามารถสังเกตเห็น ดวงอาทิตย์ได้ตั้งแต่พ้นเส้นขอบฟ้าในเวลาเช้าไปจนถึงเวลาที่ดวงอาทิตย์ลับเส้นขอบฟ้า ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ได้รับ แสงอาทิตย์ทั้งหมดของจุด O

เมื่อพิจารณาลักษณะภูมิประเทศจากรูปที่ 1.7 (ก) จะเห็นได้ว่าที่จุด A ดังรูปที่ 1.7 (ข) มีขณะและช่วง เวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ที่แตกต่างจากเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกของจุด A ทั้งนี้เนื่องมาจากการบังของ ลักษณะภูมิประเทศที่อยู่ล้อมรอบจุด A นั่นเอง



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.7 แสดงผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่มีต่อเวลารับแสงอาทิตย์ของพื้นที่

1.2.4 ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่

ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาในที่นี้จะหมายถึง ลักษณะสภาพอากาศ เมฆ หมอก ฝน ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ และสภาพทางอุตุนิยมวิทยาอื่นๆของพื้นที่ ที่ส่งผลกระทบให้ในแต่ละพื้นที่สามารถสังเกตเห็นดวงอาทิตย์ได้ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน เช่น การบดบังดวงอาทิตย์ของเมฆและหมอก ระยะเวลาของการเกิดฝนของแต่ละพื้นที่ เป็นต้น

จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น จะเห็นได้ว่าทั้งตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ ลักษณะภูมิประเทศ และลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ต่างก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาและความยาวนานที่ได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่นั้นๆทั้งสิ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จะทำการสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์และภูมิประเทศ เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยทางด้านดาราศาสตร์และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ที่มีต่อความยาวนานแสงแดดของพื้นที่ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงและชัดเจนต่อเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่ ซึ่งง่ายต่อการสร้างแบบจำลองในงานวิจัย ส่วนปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่จะไม่ถูกนำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากแบบจำลองทางด้านอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่มีความยุ่งยาก ซับซ้อน และเกี่ยวข้องกับปัจจัยอื่นๆ อีกหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ปริมาณน้ำใต้ดิน เป็นต้น

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการค้นคว้าผลงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาพบว่า ในประเทศสหรัฐอเมริกา มีการศึกษาเกี่ยวกับแผนที่แสดงความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Intensity of Solar Radiation) ซึ่งเป็นเพียงแผนที่ที่ได้มาจากการวัดความเข้มของแสงอาทิตย์จากสถานีวัดที่กระจายอยู่ในพื้นที่ต่างๆของประเทศ และนำข้อมูลที่ได้มาทำการเขียนแผนที่แสดงความเข้มของการแผ่รังสีของแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยเป็นรายเดือนหรือรายปี (Mean Solar Radiation Map) [Solar Maps, http://www.windsun.com/Small_Systems/solar_maps.htm] นอกจากนี้ยังมีการทำแผนที่ลักษณะเดียวกันนี้ในหลายๆประเทศ เช่น อินเดีย ออสเตรเลียและบราซิล เป็นต้น ส่วนในประเทศไทย ได้มีการประเมินค่าพลังงานที่ได้จากลมและการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar and Wind Energy Potential Assessment in Thailand, 1984) [Suwantrakul & Sitathani 1984] ซึ่งได้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอากาศที่อยู่ในแต่ละพื้นที่ [Exell & Sukawat 1983] และในปี 2542 ได้มีการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร [เสริม จันทรฉาย และ จรุงแสง ลักษณะบุญส่ง 2542] ได้ทำการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียม นำผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดได้จริงจากสถานีวัดภาคพื้นดิน และแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบที่แสดงความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยเป็นรายเดือนและรายปีแต่ละพื้นที่ทั่วประเทศ

จากการศึกษาค้นคว้าจะเห็นได้ว่า ยังมีได้มีการทำการวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด (Sunshine Duration Map) ที่แสดงถึงระยะเวลาที่แสงอาทิตย์ตกกระทบลงบนแต่ละพื้นที่ ดังนั้น “การพัฒนาแผนที่ความยาวนานแสงแดดโดยอาศัยแบบจำลองดาราศาสตร์และภูมิประเทศ” จึงเป็นแนวทางวิจัยที่เป็นประโยชน์สำหรับงานด้านเกษตรกรรม และด้านพลังงาน กล่าวคือ ในด้านด้านเกษตรกรรม เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการปริมาณแสงอาทิตย์แตกต่างกัน ดังนั้น แผนที่ความยาวนานแสงแดดจึงเป็นประโยชน์สำหรับองค์การทางด้านเกษตรในการตัดสินใจว่า ในแต่ละพื้นที่ที่เหมาะสมกับการปลูกพืชประเภทใด ส่วนในด้านพลังงาน แผนที่ความยาวนานแสงแดดจะมีประโยชน์ในการพิจารณาเลือกที่ตั้งของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในขั้นต้นว่า ควรจะตั้งอยู่ในบริเวณใดที่ได้รับแสงอาทิตย์มากที่สุด

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ

1.4.1 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางดาราศาสตร์และภูมิประเทศที่ใช้คำนวณหาความยาวนานแสงแดดของพื้นที่ที่ต้องการพิจารณา

1.4.2 เพื่อผลิตแผนที่แสดงระยะเวลาและปริมาณอื่นที่มีความเกี่ยวเนื่องกับระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือพื้นที่หนึ่งๆ

1.5 ขอบเขตการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ จะทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่เหนือพื้นที่หนึ่งๆ ณ เวลาต่างๆ และทำการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในการพิจารณาผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่มีต่อการมองเห็นดวงอาทิตย์ เพื่อคำนวณหาระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือพื้นที่หนึ่งๆโดยปราศจากการบดบังของลักษณะทางภูมิประเทศ เช่น ภูเขา เนินเขา เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ **มิได้**คำนึงถึงผลกระทบของลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาที่มีต่อการมองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่

การจำลองลักษณะภูมิประเทศจะทำการสร้างแบบจำลองของภูมิประเทศให้อยู่ในรูปของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข (Digital Elevation Model) ของพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาต่างๆดังต่อไปนี้

1. บริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่
2. บริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต
3. บริเวณ อ.เสนางคณิศร จ.อำนาจเจริญ

โดยจะใช้แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหารมาทำการสร้างแบบจำลองที่มีความละเอียดประมาณ 100 x 100 ตารางเมตร ซึ่งพื้นที่ที่ถูกเลือกมาใช้ในการศึกษามีลักษณะเป็นพื้นที่ราบสลับภูเขา ขนาดของแต่ละพื้นที่ประมาณ 150-200 ตารางกิโลเมตร และเลือกตำแหน่งที่ตั้งกระจายไปตามภูมิภาคต่างๆของประเทศ ทั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละบริเวณว่า ตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศมีผลกระทบต่อระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือพื้นที่ อีกทั้งพื้นที่ดังกล่าวมีสถานีตรวจวัดความเข้มของแสงอาทิตย์อยู่ในบริเวณใกล้เคียงด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความยาวนานแสงแดด (Sunshine Duration) กับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Radiation) ของพื้นที่นั้นๆต่อไป

1.6 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย

ในการพัฒนาแผนที่ความยาวนานแสงแดดโดยอาศัยแบบจำลองดาราศาสตร์และภูมิประเทศ มีวิธีการดำเนินการดังต่อไปนี้

1) การสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์

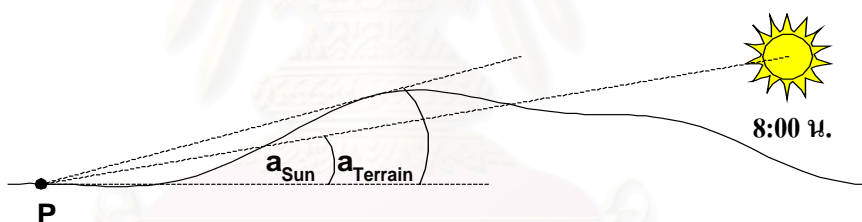
ทำการสร้างแบบจำลองและเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการหาตำแหน่ง ได้แก่ มุมสูง (Altitude) และ แอซิมัท (Azimuth) ของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่เหนือเส้นขอบฟ้าของพื้นที่หนึ่งๆที่ช่วงเวลาต่างๆ รวมถึงเวลาและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะขึ้นและลับเส้นขอบฟ้าในแต่ละวัน

2) สร้างแบบจำลองภูมิประเทศของพื้นที่

ทำการจำลองลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ที่เลือกไว้ให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลข (Digitization) โดยจะสร้างเป็นแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข (Digital Elevation Model) จากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร และนำแบบจำลองที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

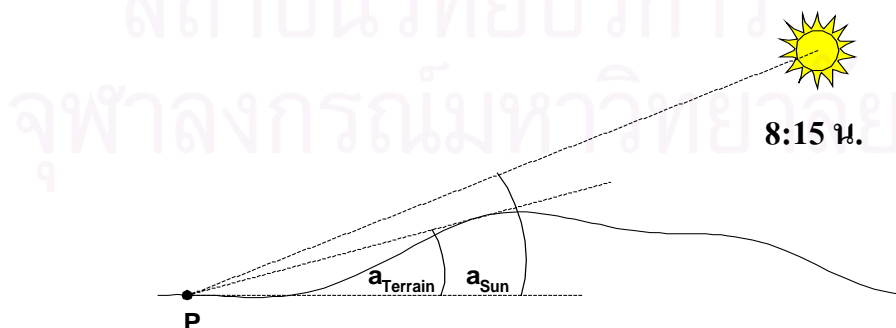
3) พัฒนาโปรแกรมที่พิจารณาถึงผลกระทบของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขที่มีต่อระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่ที่กำลังทำการพิจารณา

ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการพิจารณาผลกระทบของแบบจำลองที่มีต่อระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่หนึ่งๆ อาศัยหลักการมองเห็นซึ่งกันและกัน (Intervisibility) ระหว่างตำแหน่งของพื้นที่ที่พิจารณากับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลานั้นๆ โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาว่า “ณ ขณะเวลาหนึ่งๆ เราสามารถคำนวณหาแอสิมัทและมุมสูงของดวงอาทิตย์ได้ (จากโปรแกรมในข้อ 1) ณ พื้นที่ที่กำลังพิจารณาที่ขณะเวลานั้นๆ เมื่อพิจารณาในทิศทางเดียวกับแอสิมัทของดวงอาทิตย์แล้ว ค่าของมุมสูงระหว่างจุดที่กำลังพิจารณากับจุดอื่นๆ ที่อยู่ล้อมรอบจะต้องน้อยกว่าค่ามุมสูงของดวงอาทิตย์ขณะนั้นๆ จึงจะถือได้ว่า พื้นที่นั้นได้รับแสงอาทิตย์ที่ขณะเวลานั้นๆ” ดังตัวอย่างในรูปที่ 8 และ รูปที่ 9 และจะทำการพิจารณาในลักษณะเดียวกันนี้ไปทั่วทั้งแบบจำลองตั้งแต่เวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นไปจนถึงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตก



รูปที่ 1.8 แสดงมุมสูงของพื้นที่ ($a_{Terrain}$) ที่อยู่โดยรอบจุด P มากกว่ามุมสูงของดวงอาทิตย์ (a_{Sun})

ดังนั้น ที่จุด P ณ ขณะเวลา 8:00 น. ยังมิได้รับแสงอาทิตย์



รูปที่ 1.9 แสดงมุมสูงของพื้นที่ ($a_{Terrain}$) ที่อยู่โดยรอบจุด P น้อยกว่ามุมสูงของดวงอาทิตย์ (a_{Sun})

ดังนั้น ที่จุด P ณ ขณะเวลา 8:15 น. ได้รับแสงอาทิตย์แล้ว

4) การแสดงผลที่ได้

การแสดงผลจะอยู่ในรูปของแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่แสดงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏ อยู่เหนือตำแหน่งต่างๆบนแบบจำลองในหนึ่งวัน โดยใช้สีและความเข้มของสีเป็นตัวบอกความแตกต่างของ ความยาวของช่วงเวลาในแต่ละตำแหน่งบนพื้นที่ของแบบจำลองนั้นๆและจะทำการแสดงผลบนจอภาพ (Monitor) ของเครื่องคอมพิวเตอร์

5) การสรุปผลและข้อเสนอแนะ

ทำการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม โดยทำการเปรียบเทียบกับเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ ที่ได้จากโปรแกรมกับเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้จาก กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยาที่ จุดหนึ่งๆบนพื้นที่จริงหรือใกล้เคียงกับพื้นที่จริงที่สอดคล้องกันกับพื้นที่บนแบบจำลอง และนำผลที่ได้มาทำการ วิเคราะห์ สรุปผล และข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงและพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปในอนาคต

1.7 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

ในการดำเนินการทำวิจัยนี้คาดว่าจะต้องใช้อุปกรณ์ต่างๆของภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ในการดำเนินงานดังนี้

1. Computer
 - CPU Intel Pentium IV Processor 1.7 GHz
 - RAMBUS 512 MB
 - Harddisk 40 GB 7,200 r[m
2. Digitizer
3. Arcview GIS Version 3.2
4. Arcview Extension "Spatial Analyst" และ "3D Analyst"
5. Laser Printer
6. Inkjet Color Printer

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 เพื่อนำแผนที่ที่ได้มาใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม ตัวอย่างเช่น องค์การทางด้านเกษตรกรรมจะสามารถพิจารณาได้ว่าควรจะส่งเสริมให้มีการปลูกพืชชนิดใดในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความ ต้องการแสงอาทิตย์แตกต่างกัน การอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

1.8.2 เพื่อนำแผนที่มาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ ได้แก่ การเลือกที่ตั้งของ สถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นการลดกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยน้ำมันเชื้อเพลิง

บทที่ 2

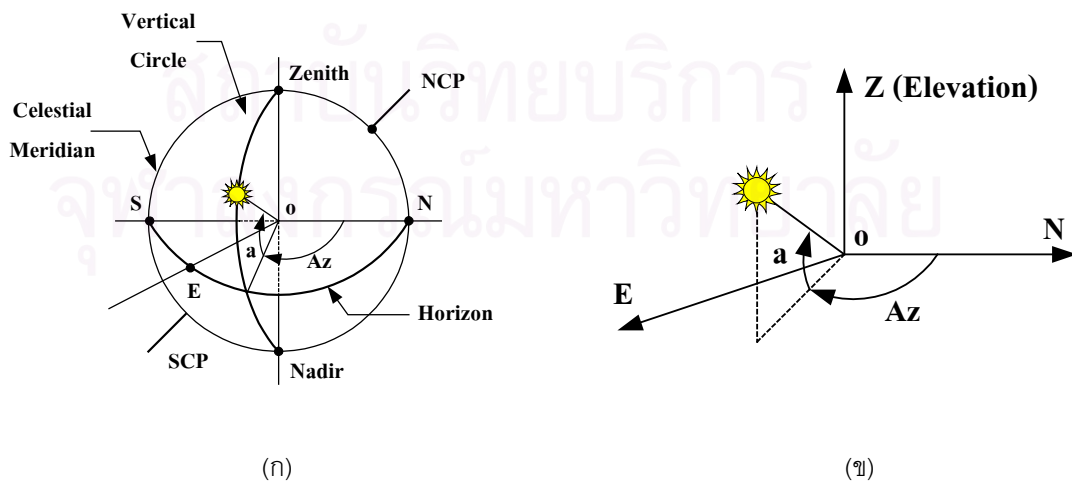
แบบจำลองทางดาราศาสตร์และแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข

2.1 ระบบพิกัดฉากที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางดาราศาสตร์

การคำนวณหาความยาวนานแสงแดดของพื้นที่ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลเบื้องต้นที่ถูกนำมาใช้ในการพิจารณาเป็นสิ่งแรกคือ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่บนพื้นผิวโลก ดังนั้น จะต้องมีการสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์ (Astronomical Model) เพื่อใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งดังกล่าวข้างต้น

ในวิชาดาราศาสตร์ปฏิบัติ (Practical Astronomy) [ทวิตซ์ ลีละวัฒน์วัฒนา 2525, Mueller 1977] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการหาตำแหน่งของวัตถุฟ้า (Celestial Body) ต่างๆเมื่อเทียบกับตำแหน่งบนพื้นผิวโลก การบอกตำแหน่งของวัตถุฟ้าต่างๆสามารถบอกได้โดยใช้ระบบพิกัดฟ้า (Celestial Coordinate System) ที่มีอยู่หลายระบบ ขึ้นอยู่กับระนาบอ้างอิงหลัก (Primary Reference Frame) และระนาบอ้างอิงรอง (Secondary Reference Frame) เช่น ระบบเส้นขอบฟ้า (Horizon System) ระบบไรต์แอสเซนชัน (Right Ascension System) และระบบมุมชั่วโมง (Hour Angle System) เป็นต้น

การสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้ระบบเส้นขอบฟ้าในการกำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาต่างๆ เนื่องจาก ระบบเส้นขอบฟ้ากำหนดตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาต่างๆโดยใช้มุมสูง (Altitude; a) และแอสซิมุม (Azimuth; Az) ซึ่งสอดคล้องกับระบบพิกัดท้องถิ่น (Local Coordinate System) ที่สามารถคำนวณหามุมสูงและแอสซิมุมของจุดสองจุดใดๆบนพื้นผิวโลกได้เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบเส้นขอบฟ้า (ก) กับระบบพิกัดท้องถิ่น (ข)

2.2 การสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์ในการหาดำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบเส้นขอบฟ้า ณ ระยะเวลาต่างๆ

การกำหนดตำแหน่งและข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้องของดวงอาทิตย์ ณ ระยะเวลาต่างๆ จะกำหนดไว้ในปฏิทินดาว (The Star Almanac for Land Surveyors) โดยทั่วไปประกอบด้วย ค่า R, ค่าเดคลิเนชัน (Declination; δ) และค่า E ที่เวลาสากล (Universal Time; U.T.) ทุกๆ 6 ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ว่า ข้อมูลของดวงอาทิตย์ในปฏิทินดาวมิได้บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบเส้นขอบฟ้าที่ตำแหน่งต่างๆบนพื้นโลกไว้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์เพื่อใช้หาดำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบเส้นขอบฟ้า ณ ระยะเวลาใดๆ ของตำแหน่งต่างๆบนพื้นโลก เพื่อนำผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้ไปใช้ในกระบวนการต่อไป

ในการสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์เพื่อหาดำแหน่งของดวงอาทิตย์ (ต่อไปนี้จะกล่าวถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบเส้นขอบฟ้าเท่านั้น) ณ ระยะเวลาใดๆ ของตำแหน่งต่างๆบนพื้นโลก จำเป็นจะต้องทราบข้อมูลต่างๆที่ใช้ในการคำนวณหาดำแหน่งของดวงอาทิตย์ ดังต่อไปนี้

- พิกัดภูมิศาสตร์ ได้แก่ ละติจูด (Latitude; Φ) และเมอร์ริเดียน (Longitude; λ) ของตำแหน่งบนพื้นโลก
- วัน, เดือน และปี ที่ต้องการพิจารณา
- เวลามาตรฐาน (Standard Time; S.T.)
- เขตเวลา (Zone Time; ΔZ)

2.2.1 การคำนวณหามุมชั่วโมง (Hour Angle) ของดวงอาทิตย์

- แปลงเวลามาตรฐาน (S.T.) เป็นเวลาสากล (U.T.)

$$U.T. = S.T. + \Delta Z \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

- คำนวณหา Greenwich Hour Angle (G.H.A.)

$$G.H.A. = U.T. + E \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

- คำนวณหา Local Hour Angle (L.H.A.)

$$L.H.A. = G.H.A. + \lambda \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

- คำนวณหามุมชั่วโมง (t) ของดวงอาทิตย์

$$\begin{aligned} t &= L.H.A. && \text{เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ทางตะวันตก} \\ &= 360^\circ - L.H.A. && \text{เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ทางตะวันออก} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

ใช้สมการที่ (2.1) ถึง (2.6) ในการแปลงเวลามาตรฐานเป็นมุมชั่วโมง (t) ของดวงอาทิตย์ ณ ระยะเวลาใดๆ ของตำแหน่งบนพื้นโลก เพื่อนำค่าของมุมชั่วโมงไปทำการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในขั้นตอนต่อไป

2.2.2 การคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ ระยะเวลาใดๆ

- การคำนวณหาค่ามุมสูง (a) ของดวงอาทิตย์

$$\sin a = \sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos t \quad \dots\dots\dots(2.5)$$

- การคำนวณหาแอสิมัท (Az) ของดวงอาทิตย์

$$\cos Az = \frac{\sin \delta - \sin a \sin \Phi}{\cos a \cos \Phi} \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

ใช้สมการที่ (2.5) และ (2.6) ในการหามุมสูง และแอสิมัทของดวงอาทิตย์ ณ ระยะเวลาใดๆ ของตำแหน่งบนพื้นโลก เพื่อนำไปใช้ในขั้นตอนการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของตำแหน่งนั้นๆต่อไป

2.2.3 การคำนวณหาเวลาและแอสิมัทเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเส้นขอบฟ้า

ในกรณีนี้ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อดวงอาทิตย์กำลังจะขึ้นหรือตก กล่าวคือ เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่เส้นขอบฟ้า มุมสูง (a) จะเท่ากับ 0° จากสมการที่ (2.5) และสมการที่ (2.6) จะได้ว่า

$$\cos t = -\tan \delta \tan \Phi \quad \dots\dots\dots(2.7)$$

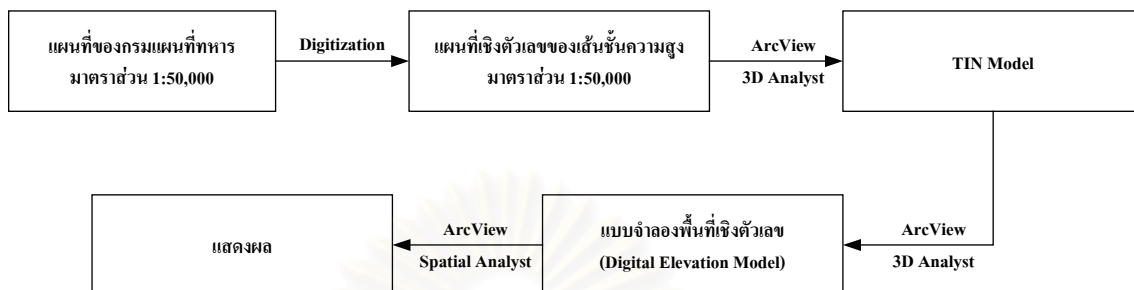
$$\cos Az = \sin \delta \sec \Phi \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

สมการที่ (2.7) ใช้ในการคำนวณเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตกในวันหนึ่งๆ ณ ตำแหน่งต่างๆบนพื้นโลก กล่าวคือ เมื่อทราบ δ และ Φ จะสามารถหามุมชั่วโมงได้ และสามารถเปลี่ยนเป็นเวลามาตรฐานได้อีกทีหนึ่ง ส่วนสมการที่ (2.8) ใช้ในการคำนวณหาแอสิมัทของดวงอาทิตย์ขณะขึ้นหรือตก(รายละเอียดเกี่ยวกับการคำนวณหามุมชั่วโมง ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ รวมถึงการคำนวณหาเวลาและแอสิมัทเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเส้นขอบฟ้า สามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก.)

2.3 การสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข

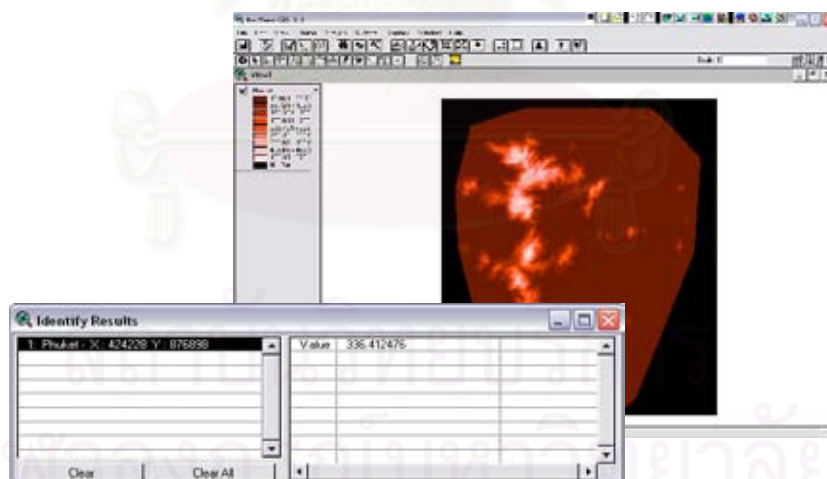
การสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข (Digital Elevation Model; DEM) ของพื้นที่ต่างๆที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ในระบบพิกัดฉาก UTM (Universal Transverse Mercator) ของกรมแผนที่ทหาร และอาศัยโปรแกรมทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ “Arcview GIS” Version 3.2 โดยมี Extension ที่

ใช้ประกอบ คือ “Arcview 3D Analyst” และ “Arcview Spatial Analyst” ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงแผนผังการสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข
จากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

จากรูปที่ 2.2 เมื่อนำแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหารมาทำการแปลงข้อมูลแผนที่ (Digitization) ให้อยู่ในรูปของแผนที่เชิงตัวเลขของเส้นชั้นความสูง (Digital Contour Map) ทำการสร้าง TIN (Triangulated Irregularly Network) Model และแปลง TIN Model ให้อยู่ในรูปของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข โดยอาศัย ArcView 3D Analyst และแสดงผลภาพบนจอภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้ ArcView Spatial Analyst เพื่อนำไปใช้งานต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข

แบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขที่ได้ จะประกอบไปด้วยกริด (Grid) สีเหลี่ยมขนาดเล็กที่เรียกว่า “Pixel” ซึ่งเป็นส่วนที่เล็กที่สุดของแบบจำลอง โดยแต่ละ Pixel จะมีขนาด (Pixel Size) 100 เมตร x 100 เมตร และแต่ละ Pixel จะมีค่าความสูงกำกับอยู่ซึ่งเป็นค่าความสูงของทั้ง Pixel และใช้สีหรือความเข้มของสีแสดงความแตกต่างทางด้านความสูงของแต่ละ Pixel บนแบบจำลอง

บทที่ 3

ค่าคลาดเคลื่อน

การคำนวณหาความยาวนานแสงแดดของพื้นที่ในงานวิจัยนี้ จะเกี่ยวข้องกับแบบจำลอง 2 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองทางดาราศาสตร์ที่ใช้ในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ของจุดหรือตำแหน่งหนึ่งๆบนพื้นโลก ณ ระยะเวลาต่างๆ กับแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของภูมิประเทศที่ทำการศึกษา แบบจำลองแต่ละประเภทจะมีค่าคลาดเคลื่อนต่างๆแฝงอยู่ ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะทำการพิจารณาปรับแก้ค่าคลาดเคลื่อนบางชนิดเท่านั้น

3.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางดาราศาสตร์

ในการสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์เพื่อใช้หาตำแหน่งของดวงอาทิตย์นั้น จะมีค่าคลาดเคลื่อนต่างๆที่เกี่ยวข้อง [ทวีเดช ลีละวัฒน์วัฒนา 2525] ดังนี้

3.1.1 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของระบบพิกัดฟ้าเมื่อเทียบกับวัตถุฟ้า

สาเหตุของค่าคลาดเคลื่อนชนิดนี้เป็นผลมาจากแรงดึงดูดของมวลสารในระบบสุริยะจักรวาล ส่วนใหญ่เนื่องมาจากดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ แรงดึงดูดนี้กระทำต่อส่วนที่ป่องออกแถบเส้นศูนย์สูตรของโลก และองค์ประกอบของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่คล้ายกับลูกข่าง ที่เรียกว่า “พรีเซสชัน (Precession)” นอกจากนี้ ยังมีผลของการเคลื่อนที่รายคาบของโลกรอบดวงอาทิตย์และของดวงจันทร์รอบโลก ที่เรียกว่า “นิวเตชัน (Nutation)”

พรีเซสชันจะส่งผลให้จุดขั้วฟ้าเคลื่อนที่ไปรอบๆจุดขั้วอีคลิปติก (Ecliptic Pole) ด้วยคาบเวลาประมาณ 25,800 ปี โดยมีแอมพลิจูด (Amplitude) ประมาณ $23^{\circ}.5$ ส่วนนิวเตชันส่งผลให้มีการเคลื่อนที่ของจุดขั้วฟ้าซ้อนกับ พรีเซสชัน โดยมีคาบเวลาประมาณ 18.6 ปี และมีแอมพลิจูดสูงสุดประมาณ $9''$

3.1.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของขั้วโลก

การที่มวลสารของโลกไม่ได้เป็นเนื้อเดียวกัน ประกอบกับสัณฐานของโลกไม่ได้เป็นทรงกลม ส่งผลให้ตำแหน่งของจุดขั้วฟ้าเหนือมีการเคลื่อนที่เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงบนโลก เรียกว่า “การเคลื่อนที่ของขั้วโลก (Polar Motion)” โดยมีแอมพลิจูดขนาด $\pm 0''.3$ ซึ่งจะทำให้เกิดการแปรเปลี่ยนทั้งทาง ละติจูด, เมอริเดียน, แอซิมัท และเวลา

3.1.3 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการแปรเปลี่ยนเนื่องจากปรากฏการณ์ทางกายภาพ

ค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการแปรเปลี่ยนของพิกัดฟ้าในกลุ่มนี้ ได้แก่ ความคลาด (Aberration), มุมเหลือ้ม (Parallax) และการหักเหของแสงทางดาราศาสตร์ (Astronomic Refraction)

3.1.3.1 ความคลาด (Aberration) เป็นค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับระยะเคลื่อนปรากฏของวัตถุฟ้าเนื่องจากสาเหตุที่ความเร็วของแสงไม่เป็นค่าอนันต์ประกอบกับการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างจุดหรือตำแหน่งที่พิจารณาถึงวัตถุฟ้า ความคลาดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ความคลาดรายปี (Annual Aberration) เป็นผลจากการโคจรของโลกรอบจุดศูนย์กลางวงมวลสารของระบบสุริยะจักรวาล ซึ่งมีค่าประมาณ $\pm 1'.0$ ในรอบ 1 ปี ส่วนความคลาดรายวัน (Diurnal Aberration) เป็นผลมาจากการหมุนของโลกรอบแกนหมุน มีค่าประมาณ $0''.3$

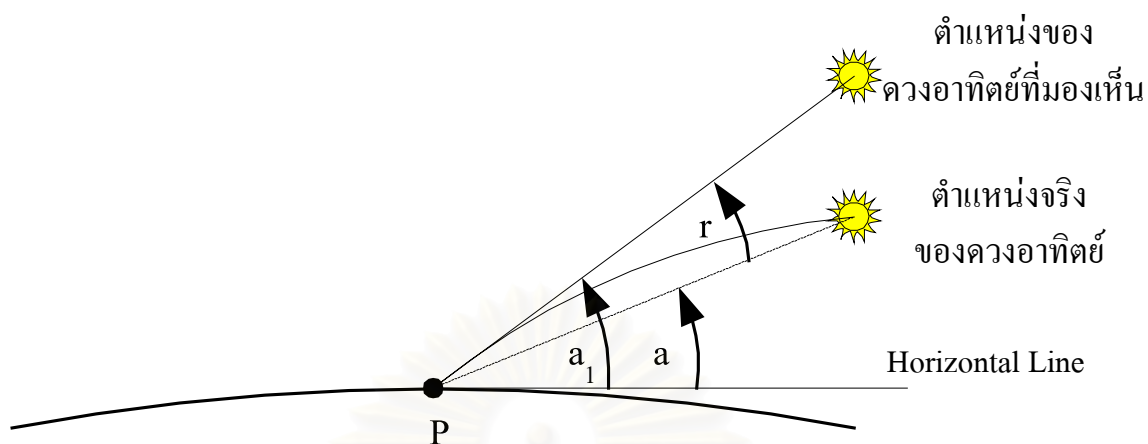
3.1.3.2 มุมเหลือ้ม (Parallactic Displacement) คือมุมระหว่างทิศทางของวัตถุฟ้าที่มองเห็น ณ จุดหนึ่งๆบนผิวโลกและทิศทางที่มองเห็นที่จากจุดอ้างอิงมาตรฐาน แบ่งเป็น มุมเหลือ้มศูนย์กลาง (Geocentric Parallactic Displacement) คือมุมที่วัตถุฟ้าระหว่างทิศทางของจุดบนผิวโลกและทิศทางไปยังจุดศูนย์กลางของโลก ส่วนมุมเหลือ้มรายปี (Annual Parallactic Displacement) เป็นมุมที่ใช้ทอนค่าทิศทางของวัตถุฟ้าที่มองเห็นจากโลกไปยังจุดศูนย์กลางวงมวลสารของระบบสุริยะจักรวาล ซึ่งในงานดาราศาสตร์ทั่วไปจะทำการทอนค่าทิศทางไปยังจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

3.1.3.3 การหักเหของแสงทางดาราศาสตร์ (Astronomic Refraction) คือค่าคลาดเคลื่อนของวัตถุฟ้าที่อยู่นอกเขตของชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งเป็นผลจากการที่ทางเดินของแสงเป็นเส้นโค้งเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ ขนาดของการหักเหของแสงจะขึ้นอยู่กับมุมสูงของวัตถุฟ้าและสภาพบรรยากาศ (อุณหภูมิ, ความดันบรรยากาศ เป็นต้น)

การสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะไม่คำนึงถึงผลกระทบของค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากพรีเซสชัน, นิวเดชัน, การเคลื่อนที่ของขั้วโลก, ความคลาดรายวัน, ความคลาดรายปี และมุมเหลือ้มรายปี โดยจะทำการคิดเฉพาะค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากมุมเหลือ้มศูนย์กลาง และค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการหักเหของแสง เท่านั้น

3.1.4 การปรับแก้มุมสูงของดวงอาทิตย์เนื่องจากการหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ

จากรูปที่ 3.1 เมื่อแสงเดินทางจากดวงอาทิตย์มายังจุด P บนพื้นผิวโลก ทางเดินของแสงจะเป็นลักษณะโค้งค้ำเนื่องจากแสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศที่บางกว่ามายังชั้นบรรยากาศที่หนาแน่น ดังนั้น มุมสูงของดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองจะมีค่าน้อยกว่ามุมสูงที่จุด P บนพื้นโลกสังเกตเห็น



รูปที่ 3.1 แสดงค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ

มุมสูงของดวงอาทิตย์ที่สังเกตเห็นจุด P คือ a_1 แต่มุมสูงที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางดาราศาสตร์ คือ a ถ้าให้มุม r คือ มุมหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ จะได้ว่า

$$a_1 = a + r \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

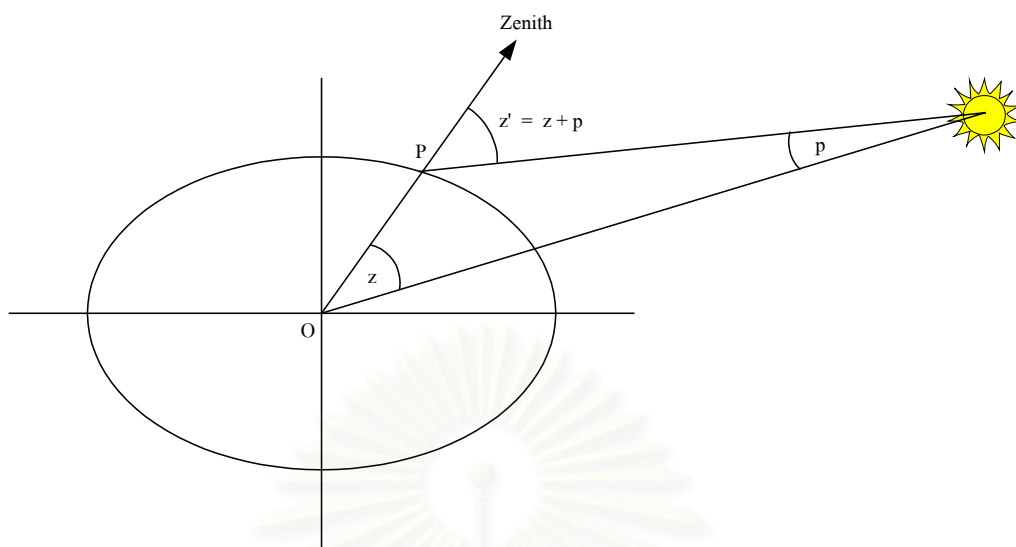
และสามารถคำนวณมุมหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ r ได้จาก

$$r = 58''.8 \cot a \quad \dots\dots\dots(3.2)$$

ในทางปฏิบัติ ค่า r จะไม่แน่นอน โดยจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ แต่ในการสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์ในงานวิจัยนี้ จะไม่คำนึงถึงผลของอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่มีผลกระทบต่อค่า r นี้

3.1.5 การปรับแก้มุมสูงของดวงอาทิตย์เนื่องจากมุมเหลี่ยมศูนย์กลาง

จากรูปที่ 3.2 กำหนดให้จุด P เป็นจุดบนผิวโลกที่ห่างจากจุดศูนย์กลาง O เป็นระยะ OP ทิศทางจากจุด P ที่มองไปยังดวงอาทิตย์ คือ ระยะตั้ง z' และทิศทางจากจุดศูนย์กลางของโลกไปยังดวงอาทิตย์ คือ ระยะตั้ง z มุม p คือมุมเหลี่ยมศูนย์กลางระหว่างตำแหน่งบนผิวโลก P และจุดศูนย์กลางของโลก O จะเห็นได้ว่า



รูปที่ 3.2 แสดงมุมเหลี่ยมศูนย์กลาง

$$z' = z + p \tag{3.3}$$

แต่ มุมสูง $a = 90^\circ - z$ ดังนั้น

$$90^\circ - z' = 90^\circ - (z + p)$$

จะได้ว่า $a' = a - p \tag{3.4}$

โดยที่ a เป็นมุมสูงของดวงอาทิตย์ที่จุดศูนย์กลางของโลก, a' เป็นมุมสูงของดวงอาทิตย์ที่จุด P และค่ามุมเหลี่ยมศูนย์กลาง p สามารถคำนวณได้จาก

$$p = 8''.8 \cos a \tag{3.5}$$

3.2 ค่าคลาดเคลื่อนที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข

การสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขในงานวิจัยนี้ จะสร้างจากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ในระบบพิกัดฉาก UTM ของกรมแผนที่ทหารตามวิธีการในหัวข้อ 2.3 ของบทที่ 2 โดยทำการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขที่มีความละเอียด (Pixel Size) ประมาณ 100 เมตร x 100 เมตร ค่าคลาดเคลื่อนต่างๆที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของแต่ละบริเวณ มีดังนี้

3.2.1 ค่าคลาดเคลื่อนทางระยะราบที่เกิดจากการสร้างแบบจำลองพื้นที่

ค่าคลาดเคลื่อนทางระยะราบของแบบจำลองพื้นที่ที่เกิดจากการแปลงข้อมูลแผนที่ให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลข (Digitization) โดยโอกาสที่จะเกิดค่าคลาดเคลื่อนในการหมายตำแหน่งของจุดบนแผนที่ประมาณ 0.2 มิลลิเมตร เมื่อคิดเป็นระยะทางบนพื้นที่จริงบนแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 จะเท่ากับ $0.2 \times 50,000 = 10$ เมตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ Pixel Size ของแบบจำลองที่มีขนาด 100 เมตร x 100 เมตร จะเห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนทางระยะราบที่เกิดขึ้นจะมีขนาดประมาณ 0.1 Pixel เท่านั้น ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะไม่ทำการพิจารณาถึงค่าคลาดเคลื่อนชนิดนี้

3.2.2 ค่า Convergence of Meridian

ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เพื่อผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของพื้นที่หนึ่งๆ จะต้องอาศัยแอสิมัทของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาหนึ่งๆ โดยจะพิจารณา Pixel ในแบบจำลองพื้นที่ที่อยู่ในแนวแอสิมัทเดียวกันกับแอสิมัทของดวงอาทิตย์ แล้วจึงทำการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ในแง่ของมุมสูงระหว่างมุมสูงของพื้นที่กับมุมสูงของดวงอาทิตย์ต่อไป เนื่องจากแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกสร้างมาจากแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ในระบบพิกัดฉาก UTM ของกรมแผนที่ทหาร ค่าแอสิมัทของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดสองจุดใดๆบนแบบจำลองพื้นที่จะเป็นมุมที่เส้นตรงนั้นกระทำกับเมริเดียนแผนที่ (Grid Meridian) ในขณะที่แอสิมัทของดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางดาราศาสตร์ จะเป็นแอสิมัทที่วัดจากเมริเดียนจริง (True Meridian) ดังนั้น จึงต้องทำการพิจารณาค่า Convergence of Meridian ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากเมริเดียนจริงในทิศทางตามเข็มนาฬิกาไปยังเมริเดียนแผนที่ของแต่ละตำแหน่งบนพื้นโลกที่เกิดขึ้นด้วย [Anderson & Mikhail 1998] เพื่อทำให้แอสิมัทที่คำนวณได้จากแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขที่สร้างขึ้นสอดคล้องกับแอสิมัทของดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองทางดาราศาสตร์ ในการคำนวณหาค่า Convergence of Meridian สามารถทำได้ ดังนี้

กำหนดให้	C	=	Convergence of Meridian
	ϕ	=	Geodetic Latitude
	λ	=	Geodetic Longitude
	λ_0	=	Central Meridian
	a, b	=	ค่าครึ่งแกนหลัก และครึ่งแกนรองของวงรีที่ใช้เป็นพื้นฐาน
	e^2	=	$(a^2 - b^2) / a^2$
	Grid Azimuth	=	แอสิมัทที่วัดจากเมริเดียนแผนที่
	True Azimuth	=	แอสิมัทที่วัดจากเมริเดียนจริง

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} C_1 &= t = \tan \phi \\ \eta^2 &= e'^2 \cos^2 \phi \\ C_3 &= \frac{1}{3}(1 + 3\eta^2 + 2\eta^4) \\ C_5 &= \frac{1}{15}(2 - t^2) \\ L &= (\lambda - \lambda_0) \cos \phi \times \frac{\pi}{180} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่า Convergence of Meridian (C) จะสามารถคำนวณได้จาก

$$C = C_1 L \left[1 + L^2 (C_3 + C_5 L^2) \right] \quad \dots\dots\dots(3.6)$$

$$\text{และ True Azimuth} = \text{Grid Azimuth} + C \quad \dots\dots\dots(3.7)$$

ค่า Convergence of Meridian (C) ที่ได้จากสมการที่ (3.6) จะมีค่าเป็นบวกเมื่อตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ทางตะวันออกของ Central Meridian ของ UTM Zone นั้นๆ และจะมีค่าเป็นลบเมื่อตำแหน่งที่พิจารณาอยู่ทางตะวันตกของ Central Meridian ของ UTM Zone

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

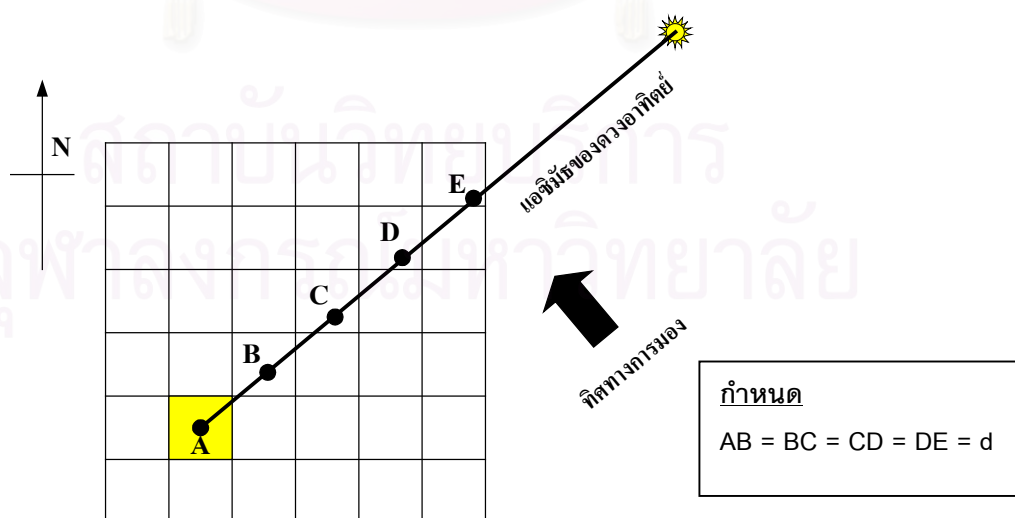
บทที่ 4

การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข

จากแบบจำลองทางดาราศาสตร์ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับจุดหรือตำแหน่งต่างๆบนพื้นผิวโลกในรูปของ มุมสูง (a) และแอสิมัท (Az) ณ ขณะเวลาต่างๆได้ โดยที่ค่ามุมสูง (a) จะต้องพิจารณาการปรับแก้เนื่องจากการหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ และการปรับแก้มุมเหลี่ยมศูนย์กลาง ส่วนค่าของแอสิมัท (Az) ของดวงอาทิตย์ จะต้องพิจารณาค่า Convergence of Meridian เช่นกัน ขั้นตอนที่สำคัญอีกขั้นตอนหนึ่งในการคำนวณหาความยาวนานแสงแดดของพื้นที่ คือ การพิจารณาว่าที่จุดหรือตำแหน่งต่างๆบนแบบจำลองพื้นที่ ณ ขณะเวลาหนึ่งๆจะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์มองเห็นดวงอาทิตย์ได้หรือไม่

การสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่หนึ่งๆ อาศัยหลักการมองเห็นซึ่งกันและกัน (Intervisibility) ระหว่างตำแหน่งของ Pixel บนแบบจำลองพื้นที่ที่กำลังพิจารณากับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลานั้นๆ โดยมีเงื่อนไขในการพิจารณาว่า “ณ ขณะเวลาหนึ่งๆ เราสามารถคำนวณหาแอสิมัทและมุมสูงของดวงอาทิตย์ได้ เมื่อเทียบกับ Pixel ที่ทำการพิจารณาที่ขณะเวลานั้นๆ และเมื่อพิจารณา Pixel อื่นๆที่อยู่ในทิศทางเดียวกับแอสิมัทของดวงอาทิตย์แล้ว ค่าของมุมสูงระหว่าง Pixel ที่กำลังพิจารณากับ Pixel อื่นๆที่อยู่ในแนวแอสิมัทของดวงอาทิตย์จะต้องน้อยกว่าค่ามุมสูงของดวงอาทิตย์ขณะนั้น จึงจะถือได้ว่า Pixel นั้นได้รับแสงอาทิตย์ที่ขณะเวลานั้นๆ”

4.1 การเลือก Pixel บนแบบจำลองพื้นที่มาใช้พิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์



รูปที่ 4.1 แสดงวิธีการเลือก Pixel บนแบบจำลองพื้นที่มาใช้พิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.1 พิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาหนึ่งของ Pixel A ที่ทราบค่าพิกัดฉาก (Northing, Easting, Elevation) หรือ (Latitude, Longitude, Elevation) บนแบบจำลองพื้นที่ ซึ่งจะสามารถคำนวณหาตำแหน่ง ณ ขณะเวลาหนึ่งๆได้แก่ แอซิมัท และมุมสูงของดวงอาทิตย์ที่ Pixel A ได้ จากค่าแอซิมัทของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลานั้นๆของ Pixel A จะสามารถเลือก Pixel ต่างๆบนแบบจำลองพื้นที่มาใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ ดังนี้

- a) ให้จุดกึ่งกลางของ Pixel A เป็นหลัก
- b) กำหนดระยะห่าง d ในแนวแอซิมัทกับ Pixel A ตามความเหมาะสม
- c) กำหนดให้ $n = 1$
- d) พิจารณาว่าระยะ $n \cdot d$ จากจุดกึ่งกลางของ Pixel A ตามแนวแอซิมัทของดวงอาทิตย์ อยู่นอกขอบเขตของแบบจำลองหรือไม่
 - ใช่ สิ้นสุดการพิจารณา
 - ไม่ใช่ พิจารณาว่าอยู่ในตำแหน่งของ Pixel ไต ให้นำค่าระดับของ Pixel นั้นๆมาใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์
 กำหนดให้ $n = n + 1$
- e) ย้อนกลับไปพิจารณาซ้ำที่ข้อ d)

พิจารณาจากรูปที่ 4.1 ให้จุดกึ่งกลางของ Pixel A เป็นหลัก พิจารณา Pixel ที่อยู่ในแนวแอซิมัทของดวงอาทิตย์เป็นระยะ d จะได้ว่าตรงกับตำแหน่งของ Pixel B เมื่อเพิ่มระยะจากจุดกึ่งกลาง Pixel A เป็น $2d$, $3d$ และ $4d$ จะตรงกับตำแหน่งของ Pixel C, D และ E ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มระยะจากจุดกึ่งกลาง Pixel A เป็น $5d$ ก็จะไม่พ้นจากขอบเขตของแบบจำลอง ให้หยุดทำการพิจารณา

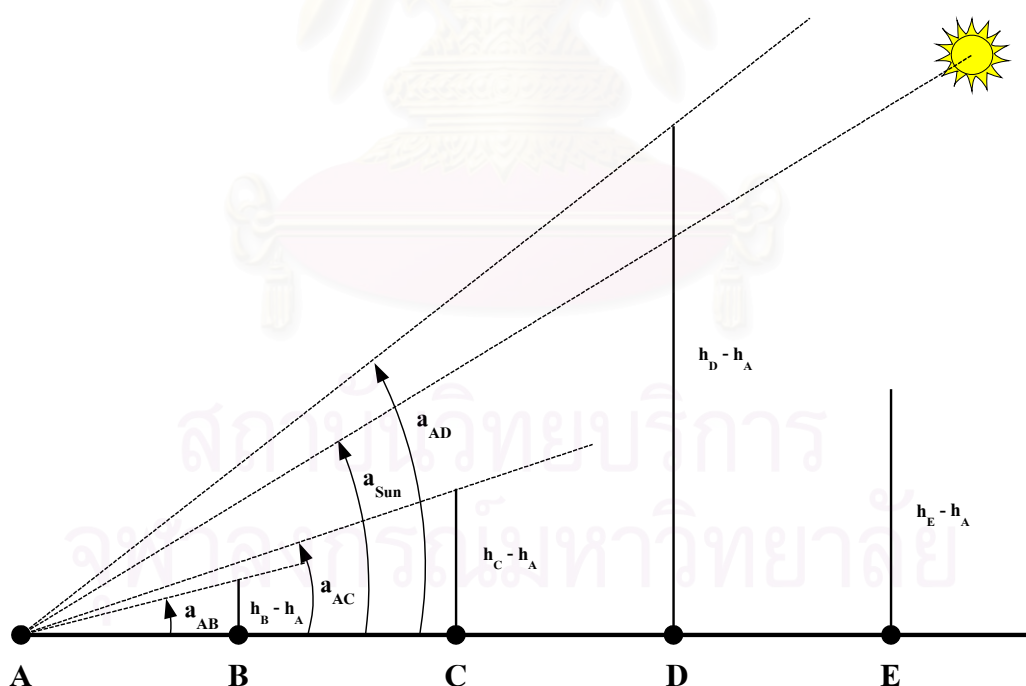
วิธีการที่ใช้ในการเลือก Pixel บนแบบจำลองพื้นที่มาใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์นี้ มีจุดบกพร่องประการหนึ่ง คือ การเลือกขนาดของระยะห่าง d กล่าวคือ ถ้าเลือกขนาดของระยะ d มากจนเกินไป จะทำให้มีบาง Pixel ไม่ถูกเลือกมาพิจารณา (เช่น Pixel ที่อยู่ด้านล่างของ Pixel C, D และ E ในรูปที่ 4.1 เป็นต้น) แต่ถ้าเลือกระยะ d น้อยจนเกินไป อาจจะทำให้เกิดการพิจารณาซ้ำที่ Pixel ไต Pixel หนึ่งได้

4.2 การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel บนแบบจำลองพื้นที่

เมื่อทำการเลือก Pixel ที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาได้จากหัวข้อที่ 4.1 แล้ว จากนั้นจะทำการพิจารณาว่า ณ ขณะเวลานั้นๆ Pixel A สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้หรือไม่ โดยมีขั้นตอนการพิจารณาดังนี้

- a) ให้จุดกึ่งกลางของ Pixel A เป็นหลัก
- b) กำหนดให้ $n = 1$

- c) พิจารณา Pixel ที่อยู่ห่างจากจุดกึ่งกลางของ Pixel A ตามแนวแอซิมัทของดวงอาทิตย์เป็นระยะ $n \cdot d$
- d) พิจารณาความสูงต่างของ Pixel A กับ Pixel นั้นๆ เป็น Δh
- e) คำนวณหามุมสูงที่กึ่งกลาง Pixel A เมื่อเทียบกับ Pixel นั้นๆ จาก $a_{\text{Terrain}} = \frac{\Delta h}{n \cdot d}$
- f) เปรียบเทียบมุมสูง a_{Terrain} ที่คำนวณได้กับมุมสูงของดวงอาทิตย์ (a_{Sun}) ณ ขณะเวลานั้นๆ (ปรับแก้เนื่องจากการหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ และปรับแก้มุมเหลือมุมศูนย์กลางแล้ว) โดยมีเงื่อนไขว่า
- ถ้า $a_{\text{Terrain}} > a_{\text{Sun}}$ แสดงว่า ที่ Pixel A มองไม่เห็นดวงอาทิตย์ ไม่ต้องทำการพิจารณา Pixel ที่อยู่ถัดไปอีก
 - ถ้า $a_{\text{Terrain}} < a_{\text{Sun}}$ ยังไม่สามารถระบุได้ว่า Pixel A มองเห็นดวงอาทิตย์หรือไม่ กำหนดให้ $n = n + 1$
- g) ย้อนกลับไปพิจารณาซ้ำที่ข้อ c)
- h) ให้ทำการพิจารณาไปจนถึงขั้นสุดแบบจำลองพื้นที่ ถ้า $a_{\text{Terrain}} < a_{\text{Sun}}$ เมื่อเทียบกับ Pixel เหล่านั้นทั้งหมด จึงจะสามารถระบุได้ว่า Pixel A มองเห็นดวงอาทิตย์ได้ ณ ขณะเวลานั้นๆ



ระยะทางตามแนวแอซิมัทของดวงอาทิตย์

$$AB = BC = CD = DE = d$$

รูปที่ 4.2 แสดงวิธีการใช้ค่ามุมสูง (a) ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 4.2 ให้จุดกึ่งกลางของ Pixel A เป็นหลัก พิจารณา Pixel B ที่อยู่ห่างออกไปเป็นระยะ d ตามแนวแกน x พิจารณามุมสูงที่จุดกึ่งกลางของ Pixel A กับ Pixel B เป็น a_{AB} เปรียบเทียบกับมุมสูงของดวงอาทิตย์ a_{Sun} พบว่า a_{AB} มีขนาดเล็กกว่า a_{Sun} ให้ทำพิจารณา Pixel ถัดไปคือ Pixel C ซึ่งจะพบว่า a_{AC} มีขนาดเล็กกว่า a_{Sun} เช่นกัน เมื่อทำการพิจารณา Pixel D จะพบว่า a_{AD} มีขนาดใหญ่กว่า a_{Sun} แสดงว่า Pixel A ไม่สามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ ณ ขณะเวลานั้นๆ ให้สิ้นสุดการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel A ณ ขณะเวลานั้นๆ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

5.1 การสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข

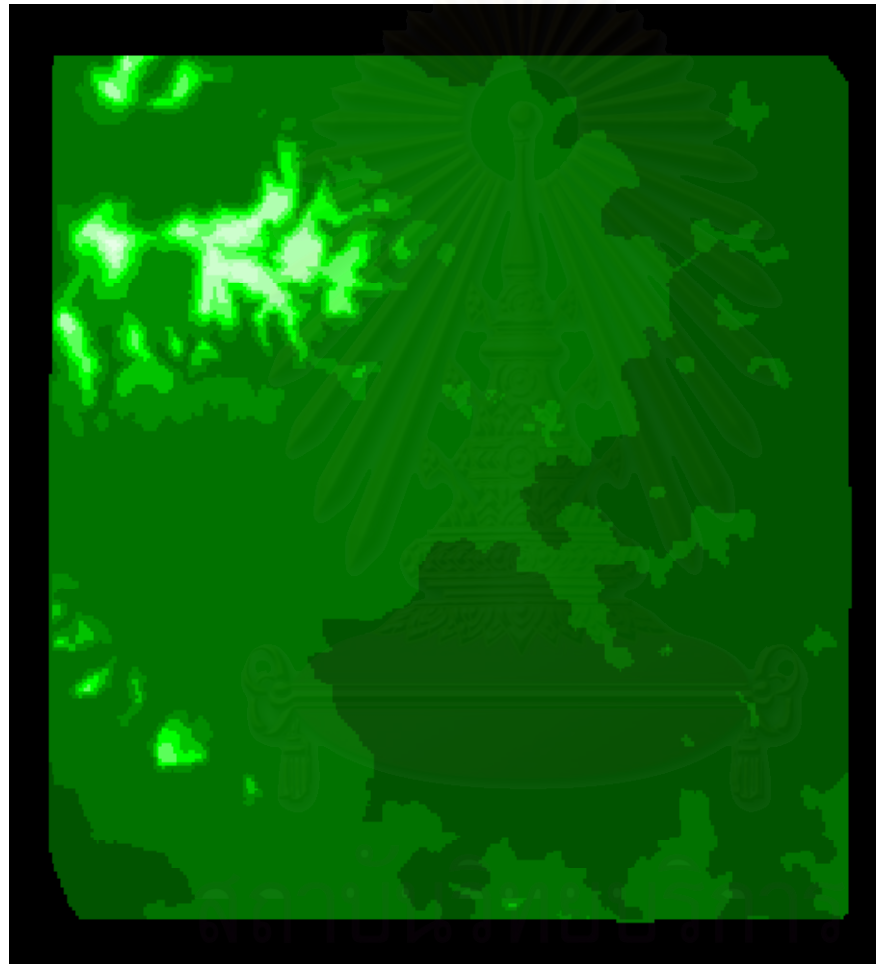
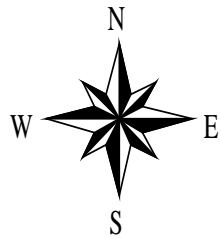
การสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข (Digital Elevation Model; DEM) ของพื้นที่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้แผนที่มาตราส่วน 1:50,000 ในระบบพิกัดฉาก UTM (Universal Transverse Mercator) ของกรมแผนที่ทหาร มาทำการแปลงข้อมูลแผนที่ให้อยู่ในรูปของข้อมูลเชิงตัวเลข (Digitization) และทำการสร้างแบบจำลองที่มีความละเอียด (Pixel Size) ประมาณ 100 เมตร x 100 เมตร โดยอาศัยโปรแกรมทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ คือ "Arcview GIS" Version 3.2 และมี Extension ประกอบ คือ "Arcview Spatial Analyst" และ "Arcview 3D Analyst" พื้นที่ที่เลือกมาใช้ในการสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขในงานวิจัยนี้ได้แก่

- 1.1 บริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่
- 1.2 บริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต
- 1.3 บริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ

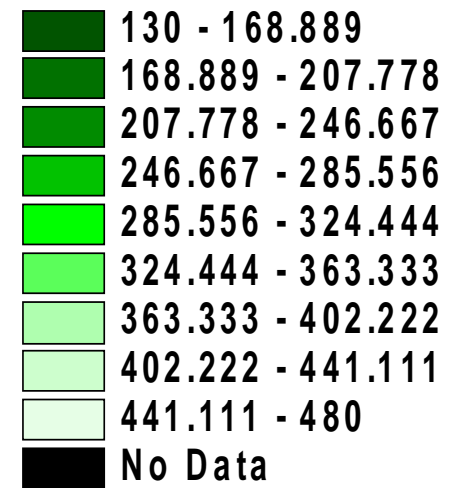
พื้นที่ที่ถูกเลือกมาใช้ในการศึกษามีลักษณะเป็นพื้นที่ราบสลับภูเขา ขนาดของแต่ละพื้นที่ประมาณ 150-200 ตารางกิโลเมตร และเลือกตำแหน่งที่ตั้งกระจายไปตามภูมิภาคต่างๆของประเทศ ทั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นความแตกต่างของผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละบริเวณว่า ตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะภูมิประเทศมีผลกระทบต่อระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือพื้นที่ นอกจากนี้ ยังทำการสร้างแบบจำลองของพื้นที่ทั้งสามที่มีความละเอียด 200 เมตร X 200 เมตร เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ในด้านต่างๆด้วย

5.2 การแปลงค่าพิกัดฉากบนแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข และค่า Convergence of Meridian

ค่าพิกัดฉากบนแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขที่ได้จากข้อ 5.1 จะอยู่ในรูปของพิกัดฉาก (N, E) ในระบบพิกัดฉาก UTM (Universal Transverse Mercator) ที่จุดกึ่งกลางของแต่ละ Pixel บนแบบจำลอง โดยที่ N คือ Northing หรือ ระยะทางตามแนวแกน Y และ E คือ Easting หรือ ระยะทางตามแนวแกน X แต่ในการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะใช้ค่าพิกัดฉากของจุดที่พิจารณาในรูปของพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ , λ) โดยที่ Φ คือ ค่าละติจูด และ λ คือ ค่าของเมอร์ริเดียนของจุดที่พิจารณา ดังนั้น จำเป็นต้องทำการแปลงค่าพิกัดฉาก (Coordinate Transformation) จาก (N, E) บนแบบจำลองพื้นที่ ให้เป็น (Φ , λ) โดยอาศัยการแปลงค่าพิกัดฉากในระบบ UTM [Anderson & Mikhail 1998]



Ancrn_100



รูปที่ 5.1 แสดงตัวอย่างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ

ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร

5.2.1 การแปลงค่าพิกัดจาก (N, E) เป็นพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ , λ)

- การคำนวณค่าละติจูด (Φ)

$$\begin{aligned}
 \omega &= (N + S_0) / (K_0 r) && (S_0 = 0 \text{ สำหรับซีกโลกเหนือ}) \\
 \Phi_1 &= \omega + \sin \omega \cos \omega (V_0 + V_2 \cos^2 \omega + V_4 \cos^4 \omega + V_6 \cos^6 \omega) \\
 R_1 &= K_0 a / (1 - e^2 \sin^2 \Phi_1)^{1/2} \\
 Q &= E' / R_1 && \text{โดยที่ } E' = |E - E_0| \\
 B_2 &= -t_1(1 + \eta_1^2) / 2 && \text{โดยที่ } t_1 = \tan \Phi_1 \text{ และ } \eta_1^2 = e^2 \cos^2 \Phi_1 \\
 B_4 &= -[5 + 3t_1^2 + \eta_1^2(1 - 9t_1^2) - 4\eta_1^4] / 12 \\
 B_6 &= [61 + 90t_1^2 + 45t_1^4 + \eta_1^2(46 - 252t_1^2 - 90t_1^4)] / 360 \\
 \Phi &= \Phi_1 + B_2 Q^2 [1 + Q^2(B_4 + B_6 Q^2)] && \dots\dots\dots(5.1)
 \end{aligned}$$

- การคำนวณค่าเมอร์ริเดียน (λ)

$$\begin{aligned}
 B_3 &= -[1 + 2t_1^2 + \eta_1^2] / 6 \\
 B_5 &= [5 + 28t_1^2 + 24t_1^4 + \eta_1^2(6 + 8t_1^2)] / 120 \\
 B_7 &= -(61 + 662t_1^2 + 1320t_1^4 + 720t_1^6) / 5040 \\
 L &= Q [1 + Q^2(B_3 + Q^2(B_5 + B_7 Q^2))] \\
 \lambda &= \lambda_0 \pm L / \cos \Phi_1 \text{ (+ เมื่ออยู่ทางตะวันออกของโซน)} && \dots\dots\dots(5.2)
 \end{aligned}$$

โดยที่ λ_0 คือ Central Meridian ของโซน

5.2.2 ค่า Convergence of Meridian

ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เพื่อผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของพื้นที่หนึ่งๆ จะต้องอาศัยแอซิมัทที่อ้างอิงจากทิศเหนือจริงของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาหนึ่งๆ โดยจะพิจารณา Pixel ในแบบจำลองพื้นที่ที่อยู่ในแนวแอซิมัทเดียวกันกับแอซิมัทของดวงอาทิตย์ จะต้องทำการพิจารณาค่า Convergence of Meridian ที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อให้ทิศเหนือจริงของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขที่สร้างขึ้นสอดคล้องกับทิศเหนือจริงของพื้นที่นั้นๆ บนพื้นที่จริง ในการคำนวณหาค่า Convergence of Meridian (C) เมื่อทราบค่าพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ , λ) จากการแปลงค่าพิกัดจาก (N, E) ของแบบจำลองพื้นที่ สามารถคำนวณได้โดยอาศัยสมการที่ (3.6) ในบทที่ 3

$$C = C_L \left| 1 + L^2(C_3 + C_5 L^2) \right| \dots\dots\dots(3.6)$$

5.3 การสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์เพื่อใช้ในการหาดำแหน่งของดวงอาทิตย์

การสร้างแบบจำลองทางดาราศาสตร์เป็นการสร้างแบบจำลองและเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการหาดำแหน่ง ได้แก่ มุมสูง (Altitude) และ แอซิมัท (Azimuth) ของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่เหนือเส้นขอบฟ้าของพื้นที่หนึ่งที่ช่วงเวลาต่างๆ รวมถึงเวลาและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะขึ้นและลับเส้นขอบฟ้าในแต่ละวัน

5.3.1 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาดำแหน่งของดวงอาทิตย์ (Input Data)

ข้อมูล (Input Data) ที่ใช้คำนวณหาข้อมูลเชิงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ รวมถึงการคำนวณหาเวลาและตำแหน่งการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ ในแบบจำลองดาราศาสตร์ของงานวิจัยนี้ คือ

5.3.1.1 ละติจูด (Latitude, Φ) และ เมอริเดียน (Longitude, λ) ของจุดหรือตำบลบนผิวโลก

5.3.1.2 วัน / เดือน / ปี (D / M / Y) และขณะเวลามาตรฐาน (Standard Time, ZT) ของจุดหรือตำบลบนผิวโลกที่พิจารณา

5.3.1.3 เขตเวลาสากล (Zone Time, ΔZ) ของจุดหรือตำบลบนผิวโลกที่พิจารณา

5.3.2 แบบจำลองทางดาราศาสตร์ที่ใช้ในการหาดำแหน่งของดวงอาทิตย์

ในการคำนวณหาดำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาใดๆ รวมถึงเวลาและตำแหน่งการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ มีขั้นตอนในการคำนวณ [ทวีเดช ลีละวัฒน์วัฒนา 2525, The Nautical Almanac Office 1983] [U.S. Naval Observatory <http://www.usno.navy.mil>, Sun Design <http://www.susdesign.com>] ดังนี้

5.3.2.1 คำนวณ ศตวรรษจูเลียน (Julian Century, t_M)

a) กำหนดให้ S.T. เป็นขณะเวลามาตรฐาน และ ΔZ เป็นเขตเวลาสากล

b) คำนวณหาเวลาสากล (Universal Time; U.T.) ได้จาก

$$U.T. = S.T. + \Delta Z$$

c) คำนวณ ศตวรรษจูเลียน ได้จาก

$$t_M = \{(U.T. / 24.0) + D + [30.6 M + 0.5] + [365.25 (Y-1976)] - 8707.5\} / 36525$$

โดยที่ D = วันที่ , M = เดือน และ Y = ปี ค.ศ.

5.3.2.2 คำนวณหา Geometric Mean Anomaly (G) ของดวงอาทิตย์

$$G = 357.52911 + (35999.05029 t_M)$$

5.3.2.3 คำนวณหา Equation of Center (C) ของดวงอาทิตย์

$$C = 1.915 \sin(G) + 0.02 \sin(2 * G)$$

5.3.2.4 คำนวณหา Geometric Mean Longitude (L) ของดวงอาทิตย์

$$L = 280.46646 + (36000.76983 t_M) + (0.0003032 t_M^2) + C$$

5.3.2.5 คำนวณหา True Longitude (α) ของดวงอาทิตย์

$$\alpha = L - 2.466 \sin(2 L) + 0.053 \sin(4 L)$$

5.3.2.6 คำนวณหา The Obliquity of Earth's Orbit (Obl)

$$\text{Obl} = 23.4393 - (0.0130138575 t_M)$$

5.3.2.7 คำนวณหาค่าเดคลิเนชัน (δ) ของดวงอาทิตย์

$$\delta = \tan^{-1}(\tan(\text{Obl}) \sin(\alpha))$$

5.3.2.8 คำนวณหาสมการเวลา (Equation of Time; Eq. T., หน่วยเป็น นาที)

$$\text{Eq. T.} = 4 (L - C - \alpha)$$

5.3.2.9 คำนวณหามุมชั่วโมง (Hour Angle; t) ของดวงอาทิตย์

$$t = - \{ [(60)(\text{UT})] + (4 \lambda) + [(12)(60)] - \text{Eq. T.} \} / 4$$

5.3.2.9 คำนวณหามุมสูง (Altitude; a_0) ของดวงอาทิตย์

$$a_0 = \cos^{-1}(\cos \Phi \cos \delta \cos t + \sin \Phi \sin \delta)$$

5.3.2.10 คำนวณค่าแก้มุมสูงเนื่องจากการหักเหของแสงในชั้นบรรยากาศ (Astronomic Refraction; r)

$$r = 58.8 \cot a_0 / 3600$$

5.3.2.11 คำนวณค่าแก้มุมสูงเนื่องจากมุมเหลื่อมศูนย์กลาง (Parallactic Displacement; p)

$$p = 8.8 \cos a_0 / 3600$$

5.3.2.12 คำนวณค่ามุมสูงที่ปรากฏ ณ จุดที่พิจารณา (a)

$$a = a_0 + r - p$$

5.3.2.13 คำนวณหาแอสิมัท (Azimuth; Az) ของดวงอาทิตย์

$$Az = \cos^{-1}[(\sin \delta - \sin a \sin \Phi) / (\cos a \cos \Phi)]$$

5.3.2.14 คำนวณหามุมชั่วโมงเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ที่เส้นขอบฟ้า (The Sun Rise and Set Hour Angle; LSoT หน่วยเป็น นาที)

$$LSoT = 4 \cos^{-1}(\tan \delta \tan \Phi)$$

5.3.2.15 คำนวณเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นจากเส้นขอบฟ้า (Sunrise)

$$\text{Sunrise} = \{[(12)(60)] - LSoT - [4(\lambda - \lambda_0)] - \text{Eq. T.}\} / 60$$

โดยที่ λ_0 เป็น Central Meridian ของเขตเวลาสากล

5.3.2.16 คำนวณเวลาที่ดวงอาทิตย์ตกจากเส้นขอบฟ้า (Sunset)

$$\text{Sunset} = \{[(12)(60)] + LSoT - [4(\lambda - \lambda_0)] - \text{Eq. T.}\} / 60$$

5.3.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางดาราศาสตร์ (Output Data)

เมื่อนำข้อมูลจากหัวข้อ 5.3.1 ไปคำนวณในแบบจำลองทางดาราศาสตร์ที่สร้างขึ้นในหัวข้อ 5.3.2 จะได้ผลลัพธ์ซึ่งจะถูกนำไปพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแบบจำลองพื้นที่ในขั้นตอนถัดไป ดังนี้

5.3.3.1 มุมสูง (a) และแอสิมัท (Az) ของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาที่กำหนดของจุดที่ต้องการ

5.3.3.1 มุมสูง (a) แอสิมัท (Az) และเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและลับจากเส้นขอบฟ้า

5.4 การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของตำแหน่งบนแบบจำลองพื้นที่

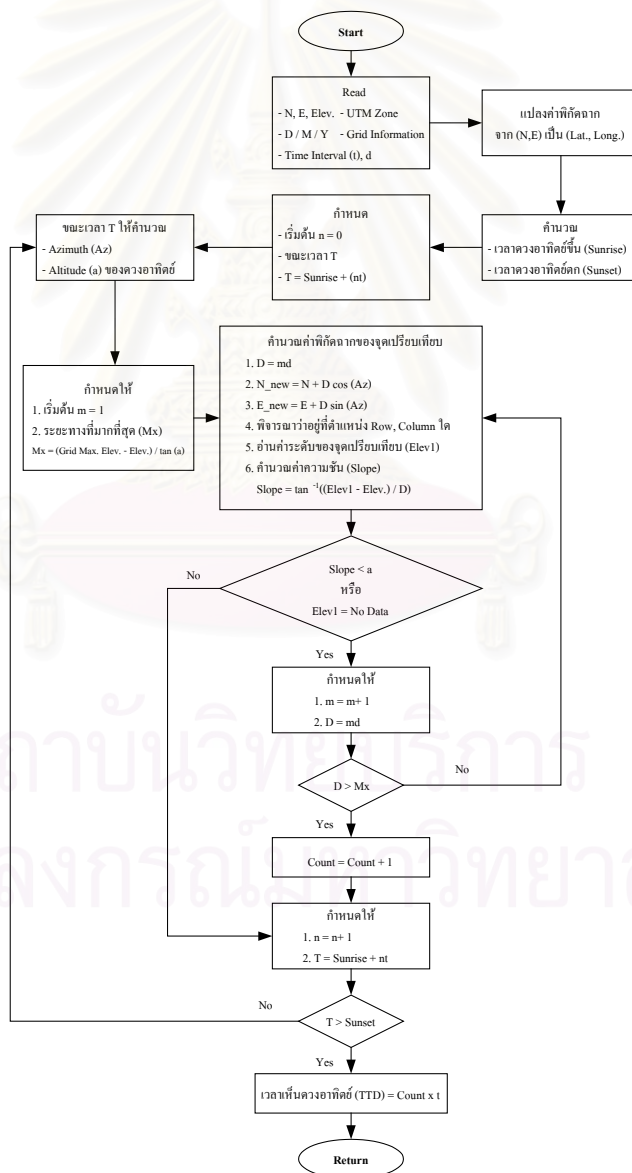
เมื่อได้แบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข, แบบจำลองในการแปลงค่าพิกัดฉาก, แบบจำลองทางดาราศาสตร์ รวมถึงค่าปรับแก้ต่างๆที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ จากหัวข้อที่ 1, 2 และ 3 แล้ว จากนั้นจะทำการพิจารณาผล

กระทบของลักษณะภูมิประเทศที่มีต่อการได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่ ซึ่งก็คือ การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่โดยรอบ

ในงานวิจัยนี้ จะทำการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละ Pixel บนแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข โดยจะแยกวิธีการในการพิจารณา ดังนี้

5.4.1 การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ใน 1 วัน

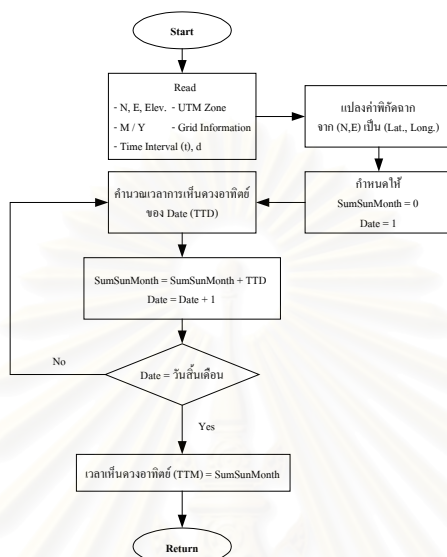
จะทำการเลือก Pixel ที่สนใจขึ้นมาพิจารณา และระบุว่าต้องการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของวันที่ เดือน และปีใด โดยขั้นตอนการพิจารณาแสดงอยู่ในแผนผัง ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงแผนผังการดำเนินการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ใดๆ ใน 1 วัน

5.4.2 การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ใน 1 เดือน

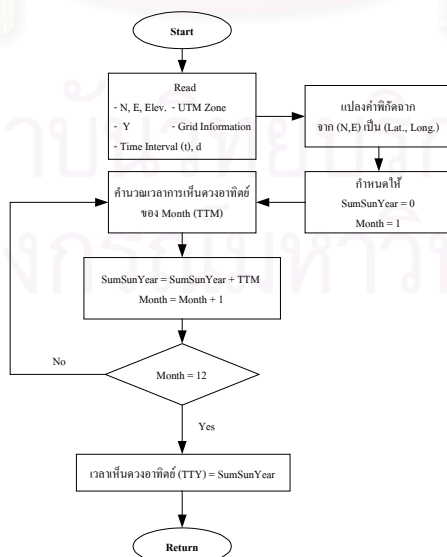
จะทำการเลือก Pixel ที่สนใจขึ้นมาพิจารณา และระบุว่าต้องการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของเดือน และปีใด โดยขั้นตอนการพิจารณาแสดงอยู่ในแผนผัง ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงแผนผังการดำเนินการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ใดๆ ใน 1 เดือน

5.4.3 การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ใน 1 ปี

จะทำการเลือก Pixel ที่สนใจขึ้นมาพิจารณา และระบุว่าต้องการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของปีใด ขั้นตอนการพิจารณาแสดงอยู่ในแผนผัง ดังรูปที่ 5.4

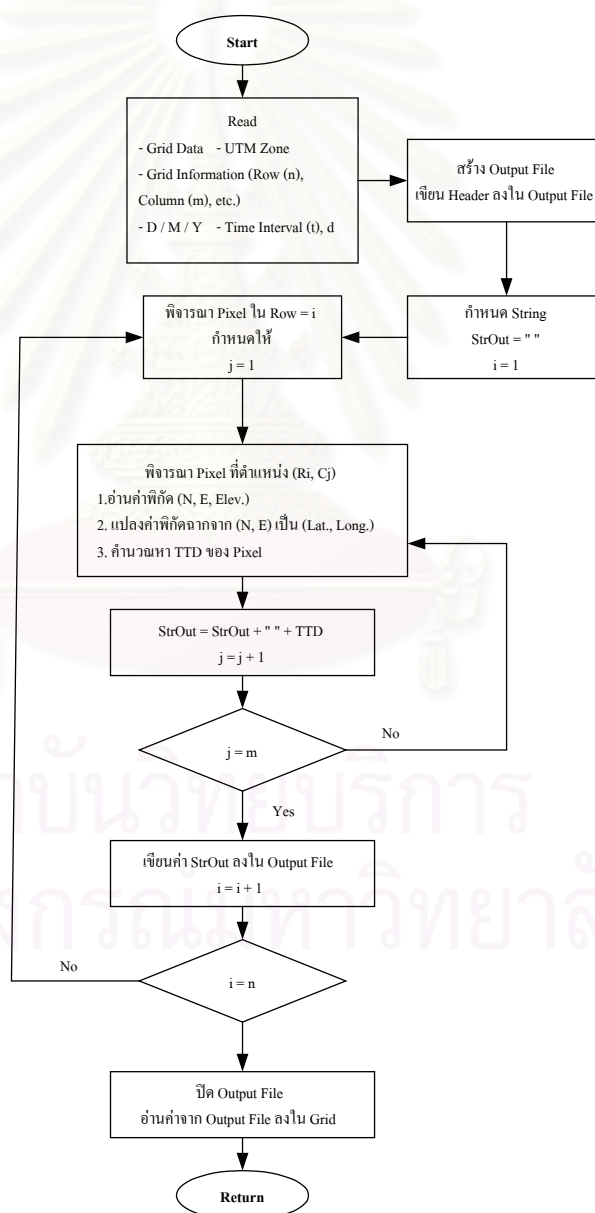


รูปที่ 5.4 แสดงแผนผังการดำเนินการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ใดๆ ใน 1 ปี

5.4.4 การพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ใน 1 วันของทั้งแบบจำลองพื้นที่

กรณีนี้จะทำการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ใน 1 วัน ของทุกๆ Pixel บนแบบจำลอง ซึ่งจะทำให้ข้อมูลของแต่ละ Pixel ในแบบจำลองถูกนำมาใช้ในการพิจารณาทั้งหมด และเนื่องจากแบบจำลองพื้นที่ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดใหญ่และมีจำนวน Pixel มาก ดังนั้น จึงควรสร้างแฟ้มข้อมูล (Output File) เพื่อเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละ Pixel ให้เป็นระเบียบและง่ายต่อการนำมาใช้งาน

โดยขั้นตอนการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ใน 1 วัน ของทั้งแบบจำลองพื้นที่แสดงอยู่ในแผนผังดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 แสดงแผนผังการดำเนินการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของทั้งแบบจำลองพื้นที่ใน 1 วัน

5.5 การพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด

เนื่องจากการจำลองลักษณะภูมิประเทศให้เป็นแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขที่ใช้ในงานวิจัยนี้ กระทำโดยอาศัยโปรแกรมทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) ที่ชื่อ “Arcview GIS” version 3.2 และอาศัย Extension อื่นๆช่วยในการสร้างแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข ได้แก่ “Arcview Spatial Analyst” และ “Arcview 3D Analyst” ดังนั้น การพัฒนาโปรแกรมเพื่อผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด จะทำการเขียน Script ลงบน Avenue for Arcview และ Visual Basic 6.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภท Object – Oriented Programming และเมื่อได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าเชื่อถือแล้ว จะทำการเขียน Script เพิ่มเติม เพื่อพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด ให้เป็น Extension (avx File) บน Arcview GIS

5.6 การแสดงผลที่ได้จากโปรแกรม

การแสดงผลของโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

5.6.1 ตัวเลขที่แสดงถึงระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ Pixel บนแบบจำลองพื้นที่ที่เลือกทำการพิจารณา

5.6.2 แผนที่ความยาวนานแสงแดด (Sunshine Duration Map) ที่แสดงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือตำแหน่งต่างๆ บนแบบจำลองในหนึ่งวัน โดยใช้สีหรือความเข้มของสีเป็นตัวบอกความแตกต่างของระยะเวลาที่แต่ละ Pixel บนแบบจำลองสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์

บทที่ 6

ผลการวิจัย

6.1 สมมติฐานที่ใช้ในการตรวจสอบ

สมมติฐานที่ใช้ในการตรวจสอบผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ เป็นสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาช่วงเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ของพื้นที่หนึ่งๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

- 1.1 ตำแหน่งของพื้นที่บนพื้นผิวโลก
- 1.2 ตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์
- 1.3 ลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่

6.2 ผลการวิจัยเมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งของพื้นที่บนพื้นผิวโลก

จากสมมติฐานในหัวข้อที่ 1.2.1 ของบทที่ 1 จะพบว่าตำแหน่งของพื้นที่บนพื้นผิวโลกมีผลต่อเวลาการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ และจะส่งผลให้ช่วงเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละจุดบนพื้นผิวโลกแตกต่างกันด้วย ซึ่งเวลาการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับค่าของละติจูดของจุดบนพื้นผิวโลก

การประมวลผลจากโปรแกรมที่พัฒนาจากแบบจำลองทางดาราศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ปรากฏว่าเมื่อพิจารณาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งหนึ่งๆบนแบบจำลองพื้นที่ของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับตำแหน่งบนแบบจำลองพื้นที่ของ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ซึ่งแบบจำลองพื้นที่ทั้งสองมีค่าเมอริเดียนใกล้เคียงกัน แต่มีค่าละติจูดแตกต่างกัน ได้ผลดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 เปรียบเทียบเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า

ของบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต

ตำแหน่ง	ละติจูด	เมอริเดียน	1 มกราคม 2545		เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า
			เวลาขึ้น	เวลาตก	
1. อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่	18° 51' 51"	99° 06' 15"	6:55	17:59	11 ชั่วโมง 04 นาที
2. อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต	07° 55' 01"	98° 18' 30"	6:39	18:21	11 ชั่วโมง 42 นาที

และเมื่อพิจารณาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งหนึ่งๆบนแบบจำลองพื้นที่ของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับตำแหน่งบนแบบจำลองพื้นที่ของ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ ซึ่งแบบจำลองพื้นที่ทั้งสองมีค่าละติจูดใกล้เคียงกัน ได้ผลดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 เปรียบเทียบเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าของบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับบริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ

ตำแหน่ง	ละติจูด	เมอร์เดียน	1 มกราคม 2545		เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า
			เวลาขึ้น	เวลาตก	
1. อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่	18° 51' 51"	99° 06' 15"	6:55	17:59	11 ชั่วโมง 04 นาที
2. อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ	16° 10' 11"	104° 54' 46"	6:31	17:42	11 ชั่วโมง 11 นาที

จากตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่า ในแต่ละบริเวณที่ทำการศึกษา มีเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ รวมถึงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าของตำแหน่งบนแบบจำลองของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับตำแหน่งบนแบบจำลองของบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต มีค่าแตกต่างกัน เนื่องจาก ความแตกต่างกันทางด้านละติจูดของตำแหน่งที่ทำการพิจารณา โดยที่เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าของตำแหน่งบนแบบจำลองของบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ มากกว่าเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าของตำแหน่งบนแบบจำลองของบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ถึง 38 นาที เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ รวมถึงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าของตำแหน่งบนแบบจำลองของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับตำแหน่งบนแบบจำลองของบริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ ที่มีละติจูดต่างกันเล็กน้อย ดังตารางที่ 6.2 จะพบว่า ตำแหน่งบนแบบจำลองทั้งสองมีระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าแตกต่างกันเพียง 7 นาที

6.3 ผลการวิจัยเมื่อพิจารณาถึงตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์

จากสมมติฐานในหัวข้อที่ 1.2.2 ของบทที่ 1 จะพบค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำกับระนาบศูนย์สูตร ส่งผลกระทบกับช่วงเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของจุดบนพื้นผิวโลก ซึ่งค่าของเดคลิเนชันจะเปลี่ยนแปลงเมื่อตำแหน่งของโลกเทียบกับดวงอาทิตย์เปลี่ยนไป

การประมวลผลจากโปรแกรมที่พัฒนาจากแบบจำลองทางดาราศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ปรากฏว่า เมื่อพิจารณาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์บนแบบจำลองพื้นที่ของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ($\Phi 18^{\circ} 51' 51''$, $\lambda 99^{\circ} 06' 15''$), อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ($\Phi 07^{\circ} 55' 01''$, $\lambda 98^{\circ} 18' 30''$) และ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ ($\Phi 16^{\circ} 10' 11''$, $\lambda 104^{\circ} 54' 46''$) ณ วันที่ 22 มิถุนายน 2545 และ วันที่ 22 ธันวาคม 2545 ซึ่งเป็นวันที่ค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์มีค่ามากและน้อยที่สุด ได้ผลดังตารางที่ 6.3, 6.4 และ 6.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.3 เปรียบเทียบการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันต่างๆของปี

อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ($\Phi 18^{\circ} 51' 51''$, $\lambda 99^{\circ} 06' 15''$)

วัน/เดือน/ปี	เวลาขึ้น	เวลาดตก	เดคลิเนชัน	เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า
22 มิ.ย. 45	5:48	19:02	+23° 26' 14"	13 ชั่วโมง 14 นาที
22 ธ.ค. 45	6:50	17:53	-23° 26' 19"	11 ชั่วโมง 03 นาที
เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าแตกต่างกัน				2 ชั่วโมง 11 นาที

ตารางที่ 6.4 เปรียบเทียบการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันต่างๆของปี

อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ($\Phi 07^{\circ} 55' 01''$, $\lambda 98^{\circ} 18' 30''$)

วัน/เดือน/ปี	เวลาขึ้น	เวลาดตก	เดคลิเนชัน	เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า
22 มิ.ย. 45	6:12	18:44	+23° 26' 14"	12 ชั่วโมง 32 นาที
22 ธ.ค. 45	6:34	18:16	-23° 26' 19"	11 ชั่วโมง 42 นาที
เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าแตกต่างกัน				0 ชั่วโมง 50 นาที

ตารางที่ 6.5 เปรียบเทียบการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันต่างๆของปี

อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ ($\Phi 16^{\circ} 10' 11''$, $\lambda 104^{\circ} 54' 46''$)

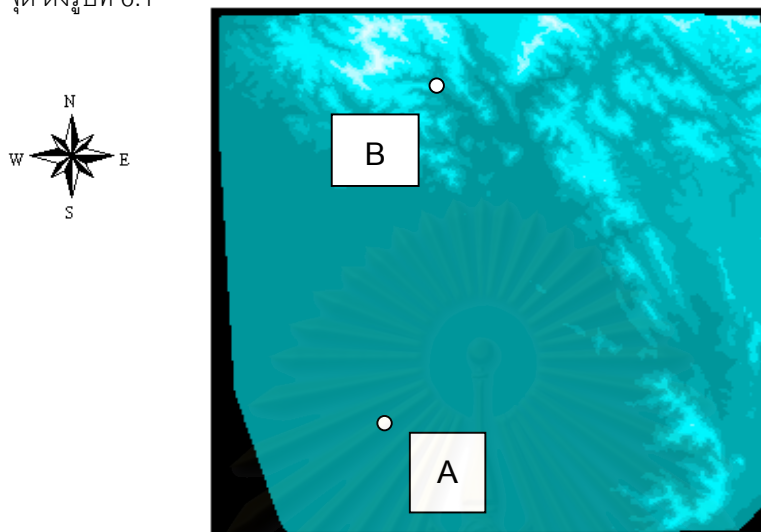
วัน/เดือน/ปี	เวลาขึ้น	เวลาดตก	เดคลิเนชัน	เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า
22 มิ.ย. 45	5:32	18:37	+23° 26' 14"	13 ชั่วโมง 05 นาที
22 ธ.ค. 45	6:26	17:36	-23° 26' 19"	11 ชั่วโมง 10 นาที
เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าแตกต่างกัน				1 ชั่วโมง 55 นาที

จากตารางที่ 6.3, 6.4 และ 6.5 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในแต่ละตำแหน่งของแต่ละแบบจำลองพื้นที่ระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในวันที่ 22 มิถุนายน 2545 มากกว่าในวันที่ 22 ธันวาคม 2545 ทั้งสิ้น เป็นผลมาจากตำแหน่งของโลกเมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะสามารถพิจารณาได้จากค่าของเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์

6.4 ผลการวิจัยเมื่อพิจารณาถึงลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่

จากสมมติฐานในหัวข้อที่ 1.2.3 ของบทที่ 1 ลักษณะของภูมิประเทศมีผลต่อระยะเวลา รวมถึงช่วงเวลากการมองเห็นดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน ในแง่ของการบดบังทางเดินของแสงจากดวงอาทิตย์ของลักษณะทางภูมิประเทศที่อยู่ล้อมรอบจุดที่พิจารณา

เมื่อพิจารณาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ รวมถึงระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของตำแหน่งบนแบบจำลองพื้นที่ของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ณ วันที่ 1 มกราคม 2545 ทำการเลือกจุดที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 2 จุด ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 แสดงแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่

รูปที่ 6.1 เป็นการแสดงแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ บนโปรแกรมทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView GIS version 3.2 ใช้ความเข้มของสีในการบอกความสูงของพื้นที่ โดยสีที่เข้มกว่าจะมีค่าความสูงน้อยกว่า ทำการเลือกจุด 2 จุดที่มีความแตกต่างกันในแง่ลักษณะของภูมิประเทศที่อยู่ล้อมรอบ กล่าวคือ ลักษณะของพื้นที่ที่ล้อมรอบจุด A จะมีลักษณะค่อนข้างราบ ในขณะที่พื้นที่ที่อยู่ล้อมรอบจุด B จะมีลักษณะเป็นภูเขา

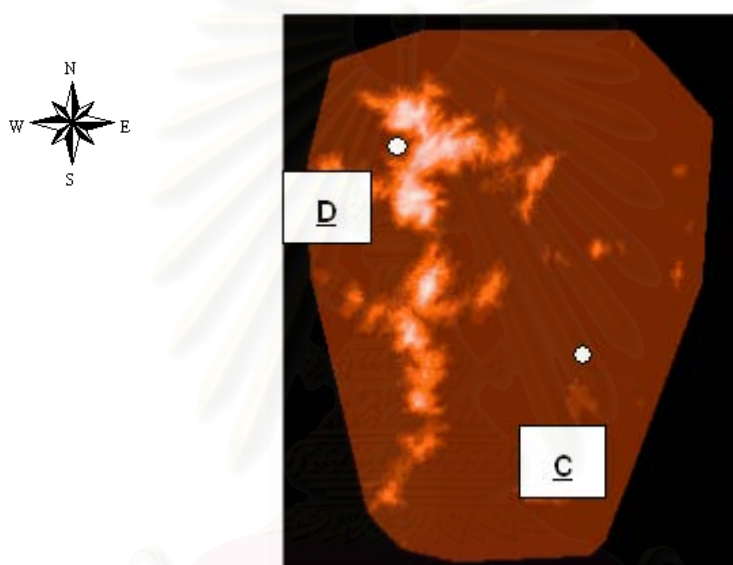
เมื่อทำการประมวลผลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาจากแบบจำลองดาราศาสตร์เพื่อคำนวณหาระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของจุด A และ B ทั้งที่ไม่พิจารณา และพิจารณาถึงผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่อยู่ล้อมรอบ ได้ผลลัพธ์ ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 เปรียบเทียบผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่ต่างกันต่อการมองเห็นดวงอาทิตย์
ณ วันที่ 1 มกราคม 2545 อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่

ตำแหน่ง	เวลาขึ้น	เวลาตก	เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าโดยไม่พิจารณาผลของภูมิประเทศที่ล้อมรอบ	ระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ โดยพิจารณาผลกระทบของภูมิประเทศที่ล้อมรอบ	เวลาที่แตกต่างกันเนื่องจากผลกระทบของภูมิประเทศที่ล้อมรอบ
A	6:53	18:00	11 ชั่วโมง 07 นาที	10 ชั่วโมง 52 นาที	0 ชั่วโมง 15 นาที
B	6:52	18:01	11 ชั่วโมง 09 นาที	8 ชั่วโมง 13 นาที	2 ชั่วโมง 56 นาที

ผลลัพธ์ที่ได้ของทั้ง 2 จุดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ลักษณะของภูมิภาคที่ล้อมรอบจุดที่พิจารณามีผลกระทบต่อการมองเห็นดวงอาทิตย์เป็นอย่างมาก กล่าวคือ ที่จุด A ซึ่งพื้นที่ที่ล้อมรอบเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบ จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้เกือบตลอดช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า ดังตารางที่ 6.6 ในขณะที่จุด B ที่ลักษณะภูมิภาคที่ล้อมรอบเป็นภูเขา จะมีระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์น้อยกว่าเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือเส้นขอบฟ้าถึง 2 ชั่วโมง 56 นาที และทำให้เวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของจุด A มากกว่าจุด B ถึง 2 ชั่วโมง 39 นาที

เมื่อทำการพิจารณาในลักษณะเช่นเดียวกันนี้กับจุด C และจุด D บนแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ดังรูปที่ 6.2 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 6.7



รูปที่ 6.2 แสดงแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต

ตารางที่ 6.7 เปรียบเทียบผลกระทบของลักษณะภูมิภาคที่แตกต่างกันต่อการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันที่ 1 มกราคม 2545 อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต

ตำแหน่ง	เวลาขึ้น	เวลาตก	เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า โดยไม่พิจารณาผลของภูมิภาคที่ล้อมรอบ	ระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ โดยพิจารณาผลกระทบของภูมิภาคที่ล้อมรอบ	เวลาที่แตกต่างกันเนื่องจากผลกระทบของภูมิภาคที่ล้อมรอบ
C	6:38	18:22	11 ชั่วโมง 44 นาที	11 ชั่วโมง 35 นาที	0 ชั่วโมง 09 นาที
D	6:38	18:22	11 ชั่วโมง 44 นาที	9 ชั่วโมง 50 นาที	1 ชั่วโมง 54 นาที

ผลลัพธ์ที่ได้ของทั้ง 2 จุดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับแบบจำลองของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กล่าวคือ ที่จุด C ซึ่งพื้นที่ที่ล้อมรอบเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบ จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้เกือบตลอดช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า ดังตารางที่ 6.7 ในขณะที่จุด D ที่ลักษณะภูมิประเทศที่อยู่ล้อมรอบเป็นภูเขา จะมีระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์น้อยกว่าเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือเส้นขอบฟ้าถึง 1 ชั่วโมง 54 นาที และทำให้เวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของจุด C มากกว่าจุด D ถึง 1 ชั่วโมง 45 นาที

เมื่อทำการพิจารณาในลักษณะเช่นเดียวกันนี้กับจุด E และจุด F บนแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.เสนางคณิศร จ.อำนาจเจริญดังรูปที่ 6.3 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 6.8



รูปที่ 6.3 แสดงแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.เสนางคณิศร จ.อำนาจเจริญ

ตารางที่ 6.8 เปรียบเทียบผลกระทบของลักษณะภูมิประเทศที่แตกต่างกันต่อการมองเห็นดวงอาทิตย์ ณ วันที่ 1 มกราคม 2545 อ.เสนางคณิศร จ.อำนาจเจริญ

ตำแหน่ง	เวลาขึ้น	เวลาตก	เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า โดยไม่พิจารณาผลของภูมิประเทศที่ล้อมรอบ	ระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ โดยพิจารณาผลกระทบของภูมิประเทศที่ล้อมรอบ	เวลาที่แตกต่างกันเนื่องจากผลกระทบของภูมิประเทศที่ล้อมรอบ
E	6:29	17:44	11 ชั่วโมง 15 นาที	11 ชั่วโมง 03 นาที	0 ชั่วโมง 12 นาที
F	6:26	17:42	11 ชั่วโมง 16 นาที	9 ชั่วโมง 47 นาที	1 ชั่วโมง 29 นาที

ผลลัพธ์ที่ได้ของทั้ง 2 จุดจากโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาในงานวิจัยนี้ เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับแบบจำลองของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ และ อ.เมืองภูเก็ท จ.ภูเก็ต กล่าวคือ ที่จุด E ซึ่งพื้นที่ที่ล้อมรอบเป็นพื้นที่ค่อนข้างราบ จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้เกือบตลอดช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า ดังตาราง

ที่ 6.8 ในขณะที่จุด F ที่ลักษณะภูมิประเทศที่อยู่ล้อมรอบเป็นภูเขา จะมีระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์น้อยกว่าเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือเส้นขอบฟ้าถึง 1 ชั่วโมง 29 นาที และทำให้ระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของจุด E มากกว่าจุด F ถึง 1 ชั่วโมง 16 นาที

6.5 แผนที่ความยาวนานแสงแดด

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบต่างๆที่มีต่อระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของจุดบนแบบจำลองพื้นที่แล้ว ถ้าทำการพิจารณาถึงผลกระทบดังกล่าวที่มีต่อระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของทุกๆจุดบนแบบจำลองพื้นที่ และทำการแสดงผลที่ได้เป็นระยะเวลาในแต่ละจุดสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ใน 1 วัน โดยใช้สีหรือความเข้มของสีเป็นตัวบอกความแตกต่างของระยะเวลาในแต่ละตำแหน่งบนพื้นที่ของแบบจำลองนั้นๆ จะได้แผนที่ที่เรียกว่า “แผนที่ความยาวนานแสงแดด (Sunshine Duration Map)”

งานวิจัยนี้ ได้ทำการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข 3 แห่ง ดังนี้

1. **อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่** โดยสร้างแบบจำลองพื้นที่ที่มีความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร และมีขนาดของแบบจำลองประมาณ 277 x 264 Pixel และได้ทำการสร้างแบบจำลองพื้นที่ที่มีความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร ขนาดของแบบจำลองประมาณ 139 x 132 Pixel เพื่อใช้เปรียบเทียบกันด้วย

2. **อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต** โดยสร้างแบบจำลองพื้นที่ที่มีความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร ขนาดของแบบจำลองประมาณ 274 x 210 Pixel และสร้างแบบจำลองพื้นที่ที่มีความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร ขนาดของแบบจำลองประมาณ 137 x 105 Pixel เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

3. **อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ** โดยสร้างแบบจำลองพื้นที่ที่มีความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร ขนาดของแบบจำลองประมาณ 277 x 268 Pixel และได้ทำการสร้างแบบจำลองพื้นที่ที่มีความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร ขนาดของแบบจำลองประมาณ 138 x 134 Pixel เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

นำแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของพื้นที่ทั้งสาม ไปทำการประมวลผลในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด จะทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการพิจารณาในแง่ต่างๆกัน ดังนี้

- วัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่
- ช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณา (Time Interval; t)

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

การแสดงผลที่ได้จากโปรแกรม จะอยู่ในรูปของแผนที่ความยาวนานแสงแดด โดยจะใช้สีหรือความเข้มของสีในการแสดงความแตกต่างของระยะเวลาในแต่ละ Pixel บนแบบจำลองสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะเลือกใช้ความเข้มของสีเป็นดัชนีที่บอกความแตกต่างของระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละ Pixel โดย Pixel ที่มีความเข้มของสีน้อย จะมีระยะเวลาในการมองเห็นดวงอาทิตย์มากกว่า Pixel ที่มีความเข้มของสีมาก และในงานวิจัยนี้ จะเลือกแสดงแผนที่ความยาวนานแสงแดดเป็นตัวอย่างสังเขปเท่านั้น เนื่องจากการแสดงผลที่กระดาษไม่ค่อยมีความชัดเจนเท่าที่ควร

6.5.1 แผนที่ความยาวนานแสงแดดของบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่

ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองพื้นที่บริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ จะทำการผลิตแผนที่ในรูปแบบต่างๆกัน ดังนี้

6.5.1.1 แบบจำลองที่มีความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร (ขนาดประมาณ 277 x 264 Pixel)

- วันที่ 21 มีนาคม 2545 ที่ช่วงเวลา $t = 5, 10, 30$ และ 60 นาที
- วันที่ 22 มิถุนายน 2545, 23 กันยายน 2545 และ 22 ธันวาคม 2545 ที่ช่วงเวลา $t = 10$ นาที

6.5.1.2 แบบจำลองที่มีความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร (ขนาดประมาณ 139 x 132 Pixel)

- วันที่ 21 มีนาคม 2545 ที่ช่วงเวลา $t = 5, 10, 30$ และ 60 นาที
- วันที่ 22 มิถุนายน 2545, 23 กันยายน 2545 และ 22 ธันวาคม 2545 ที่ช่วงเวลา $t = 10$ นาที

1. แผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

- แผนที่ความยาวนานแสงแดดของวันเดียวกัน แต่เลือกช่วงเวลา (Time Interval; t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร ณ วันที่ 21 มีนาคม 2545 ที่ได้จากการเลือกช่วงเวลา (Time Interval; t) ที่แตกต่างกัน (ทำการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ทุกๆ 5, 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ) พบว่า แผนที่ที่มีลักษณะร่วมที่ตรง

กัน กล่าวคือ เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่ได้จากโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบกับแบบจำลองพื้นที่ ในรูปที่ 6.4 จะเห็นได้ว่า บริเวณที่เป็นยอดเขา สันเขา หรือยอดเนิน จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่าบริเวณที่เป็นเชิงเขา หรือช่องเขา ส่วนบริเวณที่ราบจะมีระยะเวลาการเห็นดวงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของงานวิจัยที่ว่า ลักษณะทางภูมิประเทศมีผลกระทบต่อระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์

ความแตกต่างของแผนที่ที่ได้จากการเลือกช่วงเวลาที่ต่างกัน คือ ความละเอียดของระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละจุดบนแบบจำลองที่ต้องการจะพิจารณา ความละเอียดของผลลัพธ์ในแง่ของระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบนี้จะอยู่ในระดับ 5, 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งผู้ใช้โปรแกรม (User) สามารถจะต้องพิจารณาเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมกับความละเอียดของผลลัพธ์ที่ต้องการ

นอกจากนี้ การเลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ที่ต่างกัน จะส่งผลกระทบต่อเวลาที่โปรแกรมนี้ใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างแผนที่ความยาวนานแสงแดด ซึ่งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละช่วงเวลาที่เลือกใช้ แสดงในตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่
ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร

ช่วงเวลาที่เลือกใช้ (Time Interval) (นาที)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาที)
5	319
10	162
30	54
60	29

- แผนที่ความยาวนานแสงแดดที่เลือกช่วงเวลา (Time Interval; t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เท่ากัน แต่พิจารณาที่วันต่างๆกัน

เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร เลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เท่ากับ 10 นาที แต่พิจารณาในวันต่างๆของปี ได้แก่ วันที่ 21 มีนาคม 2545, 22 มิถุนายน 2545, 23 กันยายน 2545 และ 22 ธันวาคม 2545 พบว่า แผนที่ที่ได้ยังคงมีลักษณะโดยรวมที่ตรงกันอยู่ กล่าวคือ บริเวณที่เป็นยอดเขา สันเขา หรือยอดเนิน จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่าบริเวณที่เป็นเชิงเขา หรือช่องเขา และบริเวณที่ราบจะมีระยะเวลาการเห็นดวงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงกัน แต่จะสังเกตเห็นความแตกต่างของแผนที่ที่ได้จากวันต่างๆของปีว่า ระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ของของจุดบนพื้นที่เดียวกันจะมีค่าแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อพิจารณาแผนที่ที่ได้จากวันที่ 22

มิถุนายน 2545 กับวันที่ 23 ธันวาคม 2545 ในระดับ Pixel จะสังเกตเห็นความแตกต่างกันได้อย่างชัดเจน กล่าวคือ Pixel ส่วนใหญ่ในแผนที่ที่ได้จากวันที่ 22 มิถุนายน 2545 จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่า Pixel ในแผนที่ของวันที่ 23 ธันวาคม 2545 อยู่ประมาณ 120 นาที ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับความแตกต่างทางด้านตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในแต่ละวันที่ใช้ผลิตแผนที่ ทำให้ระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาต่างๆในแต่ละวันแตกต่างกัน

จากการที่ระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในแต่ละวันไม่เท่ากัน ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแต่ละวันมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร

วัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ (t=10 นาที)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาที)
21 มีนาคม 2545	162
22 มิถุนายน 2545	171
23 กันยายน 2545	160
22 ธันวาคม 2545	150

2. แผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

- แผนที่ความยาวนานแสงแดดของวันเดียวกัน แต่เลือกช่วงเวลา (Time Interval; t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร ณ วันที่ 21 มีนาคม 2545 ที่ได้จากการเลือกช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (5, 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ) พบว่า แผนที่ที่ได้มีลักษณะเช่นเดียวกับแบบจำลองพื้นที่ที่ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร กล่าวคือ

- 1) บริเวณที่เป็นยอดเขา สันเขา หรือยอดเนิน จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่าบริเวณที่เป็นเชิงเขา หรือช่องเขา และบริเวณที่ราบจะมีระยะเวลาการเห็นดวงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงกัน
- 2) ความละเอียดของระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละจุดบนแบบจำลองที่ต้องการจะพิจารณา จะอยู่ในระดับเดียวกับช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ คือ อยู่ในระดับ 5, 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

- 3) การเลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน จะส่งผลกระทบต่อเวลาที่โปรแกรมนี้ใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างแผนที่ความยาวนานแสงแดด ซึ่งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละช่วงเวลาที่เลือกใช้ แสดงในตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่
ความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร

ช่วงเวลาที่เลือกใช้ (Time Interval) (นาท)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาท)
5	77
10	39
30	13
60	7

เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในตารางที่ 6.9 และตารางที่ 6.11 จะเห็นได้ว่า มีค่าแตกต่างกันมาก ทั้งนี้เนื่องจาก จำนวน Pixel ทั้งหมดบนแบบจำลองพื้นที่ทั้งสองแตกต่างกันประมาณ 4 เท่า (จากหัวข้อที่ 6.5.1.1 และ 6.5.1.2) ส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองพื้นที่ทั้งสองแตกต่างกันถึง 4 เท่า (โดยประมาณ) เช่นกัน แต่อย่างไรก็ตาม จะสังเกตได้ว่า ความละเอียดรวมถึงความคมชัดของแผนที่ที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองก็แตกต่างกันด้วย ซึ่งสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ ผู้ใช้จะต้องนำมาพิจารณาในการผลิตแผนที่ด้วย

- แผนที่ความยาวนานแสงแดดที่เลือกช่วงเวลา (Time Interval; t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เท่ากัน แต่พิจารณาที่วันต่างๆกัน

เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร เลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เท่ากับ 10 นาที แต่พิจารณาในวันต่างๆของปี ได้แก่ วันที่ 21 มีนาคม 2545, 22 มิถุนายน 2545, 23 กันยายน 2545 และ 22 ธันวาคม 2545 พบว่า แผนที่ที่ได้ยังคงมีลักษณะสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกับแผนที่ที่ได้จากแบบจำลองพื้นที่ที่มีความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร รวมถึง ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละวัน ดังตารางที่ 6.6 จะแตกต่างกัน เพียงความละเอียดรวมถึงความคมชัดของแผนที่ที่ได้จากแบบจำลองที่มีความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร จะน้อยกว่าแผนที่ที่ได้จากแบบจำลองที่มีความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร

ตารางที่ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่
กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่
ความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร

วัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ (t=10 นาที)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาที)
21 มีนาคม 2545	39
22 มิถุนายน 2545	42
23 กันยายน 2545	39
22 ธันวาคม 2545	35

เนื่องจากผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่ได้จากแบบจำลองพื้นที่ของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองพื้นที่ที่มีความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร กับ 200 เมตร x 200 เมตร มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกัน มีความแตกต่างกันในแง่ของ ความละเอียด, ความคมชัดของแผนที่ที่ผลิตได้ รวมถึงเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเท่านั้น ดังนั้น ในการพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดของ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต และ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ จะไม่พิจารณาแบบจำลองที่มีความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร อีกต่อไป

6.5.2 แผนที่ความยาวนานแสงแดดของบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต

ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองพื้นที่บริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต จะทำการผลิตแผนที่ของแบบจำลองที่มีความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร (ขนาดประมาณ 274 x 210 Pixel) ในรูปแบบที่แตกต่างกัน ดังนี้

6.5.2.1 วันที่ 21 มีนาคม 2545 ที่ช่วงเวลา t = 5, 10, 30 และ 60 นาที

6.5.2.2 วันที่ 22 มิถุนายน 2545, 23 กันยายน 2545 และ 22 ธันวาคม 2545 ที่ช่วงเวลา t = 10 นาที

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

- แผนที่ความยาวนานแสงแดดของวันเดียวกัน แต่เลือกช่วงเวลา (Time Interval; t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร ณ วันที่ 21 มีนาคม 2545 ที่ได้จากการเลือกช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (5, 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ) พบว่า แผนที่ที่ได้มีลักษณะร่วมที่ตรงกัน กล่าวคือ เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่ใช้จากโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบกับแบบจำลองพื้นที่ ในรูปที่ 6.6 จะเห็นได้ว่า บริเวณที่เป็นยอดเขา สันเขา หรือยอดเนิน จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่าบริเวณที่เป็นเชิงเขา หรือช่องเขา ส่วนบริเวณที่ราบจะมี

ระยะเวลาการเห็นดวงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของงานวิจัยที่ว่า ลักษณะทางภูมิประเทศมีผลกระทบต่อระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์

ความแตกต่างของแผนที่ที่ได้จากการเลือกช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คือ ความละเอียดของระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละจุดบนแบบจำลองที่ต้องการจะพิจารณา ความละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนี้จะอยู่ในระดับ 5, 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ

การเลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน จะส่งผลกระทบต่อเวลาที่โปรแกรมนี้ใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างแผนที่ความยาวนานแสงแดด ซึ่งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละช่วงเวลาที่เลือกใช้ แสดงในตารางที่ 6.13

ตารางที่ 6.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร

ช่วงเวลาที่เลือกใช้ (Time Interval) (นาที)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาที)
5	204
10	105
30	36
60	19

- แผนที่ความยาวนานแสงแดดที่เลือกช่วงเวลา (Time Interval; t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เท่ากัน แต่พิจารณาที่วันต่างๆกัน

เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร เลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เท่ากับ 10 นาที แต่พิจารณาในวันต่างๆของปี ได้แก่ วันที่ 21 มีนาคม 2545, 22 มิถุนายน 2545, 23 กันยายน 2545 และ 22 ธันวาคม 2545 พบว่า แผนที่ที่ได้ยังคงมีลักษณะโดยรวมที่ตรงกันอยู่ กล่าวคือ บริเวณที่เป็นยอดเขา ล้นเขา หรือยอดเนิน จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่าบริเวณที่เป็นเชิงเขา หรือช่องเขา และบริเวณที่ราบจะมีระยะเวลาการเห็นดวงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงกัน แต่จะสังเกตเห็นความแตกต่างของแผนที่ที่ได้จากวันต่างๆของปีว่า ระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ของของจุดบนพื้นที่เดียวกันจะมีค่าแตกต่างกันพอสมควร ตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาแผนที่ที่ได้จากวันที่ 22 มิถุนายน 2545 กับวันที่ 23 ธันวาคม 2545 ในระดับ Pixel จะเห็นว่า Pixel ส่วนใหญ่ในแผนที่ที่ได้จากวันที่ 22 มิถุนายน 2545 จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่า Pixel ในแผนที่ของวันที่ 23 ธันวาคม 2545 อยู่ประมาณ 50-70 นาที ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับความแตกต่างทางด้านตำแหน่งของโลกที่

สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในแต่ละวันที่ใช้ผลิตแผนที่ ทำให้ระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันแตกต่างกัน

จากการที่ระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในแต่ละวันไม่เท่ากัน ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแต่ละวันมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังตารางที่ 6.14

ตารางที่ 6.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร

วัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ (t=10 นาที)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาที)
21 มีนาคม 2545	104
22 มิถุนายน 2545	105
23 กันยายน 2545	105
22 ธันวาคม 2545	100

6.5.3 แผนที่ความยาวนานแสงแดดของบริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ

ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองพื้นที่บริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ จะทำการผลิตแผนที่ของแบบจำลองที่มีความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร (ขนาดประมาณ 277 x 268 Pixel) ในรูปแบบต่างๆ ดังนี้

6.5.3.1 วันที่ 1 มีนาคม 2545 ที่ช่วงเวลา $t = 5, 10, 30$ และ 60 นาที

6.5.3.2 วันที่ 22 มิถุนายน 2545, 23 กันยายน 2545 และ 22 ธันวาคม 2545 ที่ช่วงเวลา $t = 10$ นาที

การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม

- แผนที่ความยาวนานแสงแดดของวันเดียวกัน แต่เลือกช่วงเวลา (Time Interval; t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์แตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร ณ วันที่ 21 มีนาคม 2545 ที่ได้จากการเลือกช่วงเวลาที่แตกต่างกัน (5, 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ) พบว่า แผนที่ที่ได้มีลักษณะร่วมที่ตรงกัน กล่าวคือ เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่ใช้จากโปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบกับแบบจำลองพื้นที่ ในรูปที่ 6.8 จะเห็นได้ว่า บริเวณที่เป็นยอดเขา ล้นเขา หรือยอดเนิน จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่าบริเวณที่เป็นเชิงเขา หรือช่องเขา และบริเวณที่ราบ

จะมีระยะเวลาการเห็นดวงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของงานวิจัยที่ว่า ลักษณะทางภูมิประเทศมีผลกระทบต่อระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์

ความแตกต่างของแผนที่ที่ได้จากการเลือกช่วงเวลาที่แตกต่างกัน คือ ความละเอียดของระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละจุดบนแบบจำลองที่ต้องการจะพิจารณา ความละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนี้จะอยู่ในระดับ 5, 10, 30 และ 60 นาที ตามลำดับ

การเลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ที่ต่างกัน จะส่งผลกระทบต่อเวลาที่โปรแกรมนี้ใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างแผนที่ความยาวนานแสงแดด ซึ่งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแต่ละช่วงเวลาที่เลือกใช้ แสดงในตารางที่ 6.15

ตารางที่ 6.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ
ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร

ช่วงเวลาที่เลือกใช้ (Time Interval) (นาที)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาที)
5	326
10	162
30	56
60	30

- แผนที่ความยาวนานแสงแดดที่เลือกช่วงเวลา (Time Interval; t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เท่ากัน แต่พิจารณาที่วันต่างๆกัน

เมื่อพิจารณาแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร เลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์เท่ากับ 10 นาที แต่พิจารณาในวันต่างๆของปี ได้แก่ วันที่ 21 มีนาคม 2545, 22 มิถุนายน 2545, 23 กันยายน 2545 และ 22 ธันวาคม 2545 พบว่าแผนที่ที่ได้ยังคงมีลักษณะโดยรวมที่ตรงกันอยู่ กล่าวคือ บริเวณที่เป็นยอดเขา สันเขา หรือยอดเนิน จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่าบริเวณที่เป็นเชิงเขา หรือช่องเขา และบริเวณที่ราบจะมีระยะเวลาการเห็นดวงอาทิตย์ได้ใกล้เคียงกัน แต่จะสังเกตเห็นความแตกต่างของแผนที่ที่ได้จากวันต่างๆของปีว่า ระยะเวลาที่ได้รับแสงอาทิตย์ของของจุดบนพื้นที่เดียวกันจะมีค่าแตกต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อพิจารณาแผนที่ที่ได้จากวันที่ 22 มิถุนายน 2545 กับวันที่ 23 ธันวาคม 2545 ในระดับ Pixel จะสังเกตเห็นความแตกต่างกันได้อย่างชัดเจน กล่าวคือ Pixel ส่วนใหญ่ในแผนที่ที่ได้จากวันที่ 22 มิถุนายน 2545 จะสามารถมองเห็นดวงอาทิตย์ได้นานกว่า Pixel ในแผนที่ของวันที่ 23 ธันวาคม 2545 อยู่ประมาณ 110 นาทีทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากสมมติฐานที่เกี่ยวข้องกับความ

แตกต่างทางด้านตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ในแต่ละวันที่ใช้ผลิตแผนที่ ทำให้ระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันแตกต่างกัน

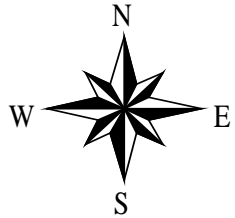
จากการที่ระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในแต่ละวันไม่เท่ากัน ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแต่ละวันมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ดังตารางที่ 6.16

ตารางที่ 6.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ

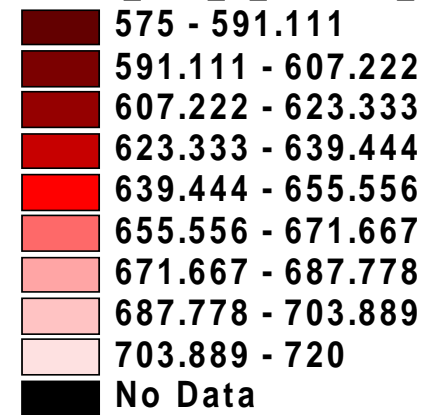
ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร

วัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ (t=10 นาที)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาที)
21 มีนาคม 2545	162
22 มิถุนายน 2545	168
23 กันยายน 2545	164
22 ธันวาคม 2545	148

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



Ancrn_100_5_210302_1d



รูปที่ 6.4 แสดงตัวอย่างแผนที่ความยาวนานแสงแดดของ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ (ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร)

ณ วันที่ 21 มีนาคม 2545 โดย $t = 5$ นาที

บทที่ 7

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัย

งานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาแผนที่ความยาวนานแสงแดดโดยอาศัยแบบจำลองดาราศาสตร์และภูมิประเทศ” เป็นการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด (Sunshine Duration Map) ของพื้นที่ รวมถึงการพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น มุมสูง (a) และแอสซิมาท (Az) ของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาต่างๆ รวมถึงเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน ซึ่งส่วนต่างๆของโปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นมาจากแบบจำลองหลายแบบด้วยกัน โดยสามารถสรุปผลที่ได้จากงานวิจัย ดังนี้

7.1.1 แบบจำลองทางดาราศาสตร์

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมที่พัฒนามาจากแบบจำลองทางดาราศาสตร์ของงานวิจัยนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองที่ใช้ในการคำนวณหาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ โดย ดร. ฤษฏี ศุขวัฒน์ กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา (กรมอุตุนิยมวิทยา, <http://www.tmd.go.th>) โดยทำการเปรียบเทียบเวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกตลอดปี พ.ศ. 2545 ที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสอง บนพื้นที่ที่ใช้ในการผลิตแผนที่ในงานวิจัยนี้ ปรากฏว่า มีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยเวลาที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสองมีค่าแตกต่างกันมากที่สุดเพียง 3 นาที และระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในแต่ละวันที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสอง แตกต่างกันเพียง 2 นาที ซึ่งค่าต่างของเวลาขึ้นและตก รวมถึงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า มิได้ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของจุดบนแบบจำลองใน 1 วัน ในกรณีที่เลือกช่วงเวลาในการพิจารณาการมองเห็น (Time Interval; t) ตั้งแต่ 5 นาทีขึ้นไป ส่วนสาเหตุของความแตกต่างของผลลัพธ์ที่คำนวณได้จากแบบจำลองทั้งสอง เนื่องมาจากความแตกต่างของสมการที่ใช้ในการคำนวณต่างๆ เช่น สมการที่ใช้คำนวณศตวรรษจูเลียน (t_M) และสมการที่ใช้คำนวณหาเดคลิเนชัน (Declination; δ) เป็นต้น (ข้อมูลในการคำนวณหาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ โดย ดร. ฤษฏี ศุขวัฒน์ กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา สามารถดูได้ในภาคผนวก ค.)

7.1.2 แบบจำลองที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัดฉาก

เมื่อทำการทดสอบแบบจำลองที่ใช้ในการแปลงค่าพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ, λ) จากพิกัดฉาก (N, E) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้กับหมุดโครงข่าย GPS ของสำนักเทคโนโลยีทำแผนที่ กรมที่ดิน ซึ่งเป็นหมุดที่ทราบทั้งค่าพิกัดฉาก (N, E) และพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ, λ) จำนวน 10 หมุด ปรากฏว่า ค่าพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ, λ) ที่คำนวณได้จากค่าพิกัดฉาก (N, E) โดยใช้แบบจำลองในงานวิจัยนี้ได้ผลลัพธ์ตรงกัน มีความแตกต่างกันในแง่

ของการวัดเศษทศนิยมในหน่วยของฟิลิปดาเท่านั้น ซึ่งมีได้ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการพิจารณาระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแบบจำลอง ตัวอย่างเช่น

หมุดหมายเลข D05036

Northing = 1,980,471.7747 เมตร,

Easting = 471,529.4864 เมตร

Φ = N 17° 54' 48".45647,

λ = E 98° 43' 52".16276

ค่าพิกัดจากภูมิศาสตร์ที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

Φ = N 17° 54' 48" ,

λ = E 98° 43' 52"

7.1.3 แผนที่ความยาวนานแสงแดด

จากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแต่ละพื้นที่ในบทที่ 6 สรุปได้ว่า สอดคล้องกับสมมติฐานต่างๆ ที่กำหนดไว้ คือ

7.1.3.1 ตำแหน่งบนพื้นผิวโลกมีผลต่อระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า

เมื่อพิจารณาเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ในวันเดียวกันของแต่ละ Pixel ในแต่ละแบบจำลองพื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา จะพบว่า มีค่าแตกต่างกันตามตำแหน่งบนพื้นผิวโลกของพื้นที่นั้นๆ ดังตารางที่ 7.1 โดยเฉพาะบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ที่มีความแตกต่างกันทางด้านละติจูดเป็นอย่างมาก จะมีช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าต่างกันถึง 38 นาที ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตำแหน่งบนพื้นผิวโลกมีผลต่อระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า

ตารางที่ 7.1 เปรียบเทียบการมองเห็นดวงอาทิตย์ของบริเวณต่างๆ ที่ทำการวิจัย

ตำแหน่ง	ละติจูด	เมริเดียน	1 มกราคม 2545		เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า
			เวลาขึ้น	เวลาตก	
1. อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่	18° 51' 51"	99° 06' 15"	6:55	17:59	11 ชั่วโมง 04 นาที**
2. อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต	07° 55' 01"	98° 18' 30"	6:39	18:21	11 ชั่วโมง 42 นาที**
3. อ.เสนางคณิคม จ.อำนาจเจริญ	16° 10' 11"	104° 54' 46"	6:31	17:42	11 ชั่วโมง 11 นาที

7.1.3.2 ตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์มีผลต่อระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า

จากแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่ได้จากงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณาแผนที่ที่ได้ในวันต่างๆของปี พบว่า ระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าในแต่ละวันนั้นแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น พิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของจุดบนแบบจำลองพื้นที่ของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ เชียงใหม่ ($\Phi 18^{\circ} 51' 51''$, $\lambda 99^{\circ} 06' 15''$) ณ วันที่ 22 มิถุนายน 2545 เปรียบเทียบกับวันที่ 22 ธันวาคม 2545 ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 แสดงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าและเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของจุดบนแบบจำลองพื้นที่ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ($\Phi 18^{\circ} 51' 51''$, $\lambda 99^{\circ} 06' 15''$)

วัน/เดือน/ปี	เวลาขึ้น	เวลาดตก	เดคลิเนชัน	เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า
22 มิ.ย. 45	5:48	19:02	+ 23° 26' 14"	13 ชั่วโมง 14 นาที
22 ธ.ค. 45	6:50	17:53	- 23° 26' 19"	11 ชั่วโมง 03 นาที

จากตารางที่ 7.2 จะเห็นได้ว่า เวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้าของจุดๆเดียวกัน ณ วันที่ 22 มิถุนายน 2545 กับวันที่ 22 ธันวาคม 2545 มีความแตกต่างกันมากถึง 2 ชั่วโมง 11 นาที และเมื่อพิจารณาจากค่าของเดคลิเนชัน ซึ่งเป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ทางด้านตำแหน่งของโลกและดวงอาทิตย์ สามารถสรุปได้ว่า ตำแหน่งของโลกที่สัมพันธ์กับดวงอาทิตย์มีผลต่อระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า

7.1.3.3 ลักษณะของภูมิประเทศมีผลต่อระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่

เมื่อพิจารณาจากแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองพื้นที่ทั้ง 3 แห่งที่ได้จากงานวิจัยนี้ พบว่า ลักษณะของภูมิประเทศที่อยู่ล้อมรอบพื้นที่ที่พิจารณามีผลกระทบต่อระยะเวลาที่ได้รับแสงแดดของพื้นที่ ตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาจากแบบจำลองของ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต ถ้าพื้นที่หนึ่งที่เป็นที่ราบ (แสดงด้วยสีเขียวบนแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลข) ถูกล้อมรอบด้วยเนินเขาหรือภูเขา (แสดงด้วยสีที่อ่อนกว่าบนแบบจำลองพื้นที่) ดังแสดงในจุด X ของรูปที่ 7.1(a) จะมีระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ได้น้อยกว่าพื้นที่ราบ (แสดงด้วยจุด Y ในรูป 7.1 (a) และ (b)) ซึ่งจะแสดงด้วยสีที่เข้มกว่าบนแผนที่ความยาวนานแสงแดด ดังแสดงในจุด X ของรูปที่ 7.1 (b) จากตัวอย่างนี้จะเห็นได้ว่า ลักษณะของภูมิประเทศมีผลต่อระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่



รูปที่ 7.1 แสดงผลกระทบบของลักษณะภูมิภาคที่มีต่อแผนที่ความยาวนานแสงแดด

7.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรม

โปรแกรมที่ใช้ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ มีปัจจัยเข้ามาเกี่ยวข้องกับระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อผลิตแผนที่ที่ต้องการหลายประการ คือ

7.1.4.1 ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผล

จากการทดลองผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองที่มีความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร ของพื้นที่บริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต และอ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ ณ วันที่ 21 มีนาคม 2545 โดยทำการเลือกช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ (t) เป็น 5, 10, 30 และ 60 นาที ด้วยคอมพิวเตอร์ 2 ชุด ที่มีรายละเอียดดังนี้

ชุดที่ 1 Desktop

ชุดที่ 2 Notebook

- CPU Pentium IV 1.7 GHz

- CPU Pentium III 800 MHz

- RAM 512 Mb

- RAM 256 Mb

- Harddisk 40 Gb 7,200 rpm

- Harddisk 20 Gb

ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่ช่วงเวลา t ต่างๆ ของคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ชุด แสดงไว้ในตารางที่ 7.3, 7.4 และ 7.5 สังเกตได้ว่า การประมวลผลเพื่อผลิตแผนที่ของชุดที่ 1 เร็วกว่าชุดที่ 2 อยู่ประมาณ 20 % ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดด

ตารางที่ 7.3 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตแผ่นที่จากคอมพิวเตอรืทั้ง 2 ชุด
อ. ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่

t	ระยะเวลาในการประมวลผล (นาที)		% ความแตกต่าง
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	
5 นาที	77	95	18.9
10 นาที	39	48	18.8
30 นาที	13	16	18.8
60 นาที	7	9	22.2

ตารางที่ 7.4 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตแผ่นที่จากคอมพิวเตอรืทั้ง 2 ชุด
อ. เมืองภูเก็ต จ. ภูเก็ต

t	ระยะเวลาในการประมวลผล (นาที)		% ความแตกต่าง
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	
5 นาที	49	62	21.0
10 นาที	25	31	19.4
30 นาที	9	11	18.2
60 นาที	5	6	16.7

ตารางที่ 7.5 แสดงระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตแผ่นที่จากคอมพิวเตอรืทั้ง 2 ชุด
อ. เสนางคนิคม จ. อำนาจเจริญ

t	ระยะเวลาในการประมวลผล (นาที)		% ความแตกต่าง
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	
5 นาที	77	96	19.8
10 นาที	39	49	20.4
30 นาที	13	17	23.5
60 นาที	7	9	22.2

7.1.4.2 จำนวน Pixel บนแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขที่ใช้ในการผลิตแผนที่

จากการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขของ อ.ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่ ที่มีความละเอียดของแบบจำลอง 100 เมตร x 100 เมตร (ขนาดของแบบจำลองโดยประมาณ 277 x 264 Pixel) เปรียบเทียบกับแบบจำลองของพื้นที่เดียวกันที่มีความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร (ขนาดของแบบจำลองโดยประมาณ 139 x 132 Pixel) ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 6.9, 6.10, 6.11 และ 6.12 ในหัวข้อที่ 6.5.1 ของบทที่ 6

ตารางที่ 6.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร (ขนาดของแบบจำลองโดยประมาณ 277 x 264 Pixel)

ช่วงเวลาที่เลือกใช้ (Time Interval) (นาทิจ)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาทิจ)
5	319
10	162
30	54
60	29

ตารางที่ 6.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่ ความละเอียด 100 เมตร x 100 เมตร (ขนาดของแบบจำลองโดยประมาณ 277 x 264 Pixel)

วัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ (t=10 นาทิจ)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาทิจ)
21 มีนาคม 2545	162
22 มิถุนายน 2545	171
23 กันยายน 2545	160
22 ธันวาคม 2545	150

ตารางที่ 6.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่เลือกใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ. เชียงใหม่ ความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร (ขนาดของแบบจำลองโดยประมาณ 139 x 132 Pixel)

ช่วงเวลาที่เลือกใช้ (Time Interval) (นาทิจ)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาทิจ)
5	77
10	39
30	13
60	7

ตารางที่ 6.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างวัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่
กับเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดบริเวณ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่
ความละเอียด 200 เมตร x 200 เมตร (ขนาดของแบบจำลองโดยประมาณ 139 x 132 Pixel)

วัน เดือน ปี ที่ต้องการผลิตแผนที่ (t=10 นาที)	เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ (นาที)
21 มีนาคม 2545	39
22 มิถุนายน 2545	42
23 กันยายน 2545	39
22 ธันวาคม 2545	35

จากตารางที่ 6.9 กับตารางที่ 6.11 และ ตารางที่ 6.10 กับตารางที่ 6.12 พบว่า เนื่องจากจำนวน Pixel ในแบบจำลองทั้งสองแตกต่างกันอยู่ประมาณ 4 เท่า ส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของแบบจำลองทั้งสองแตกต่างกันประมาณ 4 เท่า ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ ถ้าพิจารณาเวลาในการประมวลผลของแบบจำลองทั้งสามบริเวณ จะเห็นได้ว่า เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ กับ อ.เสนางคนิคม จ.อำนาจเจริญ มีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากมีขนาดหรือจำนวน Pixel ของแบบจำลองใกล้เคียงกัน แต่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของ อ.เมืองภูเก็ต จ.ภูเก็ต จะน้อยกว่าแบบจำลองอื่นๆ เนื่องจากมีขนาดของแบบจำลองเล็กกว่านั่นเอง ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า เวลาที่ใช้ในการประมวลผลและผลิตแผนที่ จะขึ้นอยู่กับจำนวน Pixel ที่ประกอบขึ้นมาเป็นแบบจำลอง โดยที่ถ้าจำนวน Pixel บนแบบจำลองยิ่งมาก จะใช้เวลาในการประมวลผลและผลิตแผนที่มากขึ้น เช่นกัน

7.1.4.3 ช่วงเวลา (t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์

พิจารณาผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองพื้นที่ในแต่ละแห่ง (ตัวอย่างเช่น ตารางที่ 6.9 และ ตารางที่ 6.11 ของ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ ข้างต้น) พบว่า ถ้าเลือกช่วงเวลา (t) ที่ใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์น้อย จะใช้เวลาในการประมวลผลเพื่อผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าเลือกใช้ค่า t มากเกินไป จะทำให้แผนที่ที่ได้มีความถูกต้องของผลลัพธ์ในแง่ของระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละจุดบนแผนที่ไม่ดีนัก ดังนั้น ผู้ใช้ (User) จะต้องพิจารณาเลือกใช้ค่า t ให้เหมาะสมกับความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ต้องการ

7.2 การวิเคราะห์สถานภาพของโปรแกรม

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาจากแบบจำลองทางดาราศาสตร์และภูมิประเทศเพื่อใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์และผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของพื้นที่ในงานวิจัยนี้ มีข้อดีและข้อด้อยอยู่บางประการด้วยกัน ดังนี้

7.2.1 ข้อดีของโปรแกรม

7.2.1.1 เนื่องจากการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏอยู่ในปฏิทินดาว มีได้อยู่ในระบบพิกัดเส้นขอบฟ้า (a, Az) ที่มีความสอดคล้องกับระบบพิกัดฉากท้องถิ่น ดังนั้นโปรแกรมนี้อาจช่วยให้การคำนวณหาตำแหน่งรวมถึงเวลาขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ถูกต้องและรวดเร็วยิ่งขึ้น

7.2.1.2 โปรแกรมนี้สามารถพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์และผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองพื้นที่ได้ในทุกๆบริเวณของประเทศ

7.2.1.3 ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของจุดบนแบบจำลองพื้นที่ได้ทั้งในระดับ 1 วัน, 1 เดือน และ 1 ปี

7.2.1.4 สามารถเปรียบเทียบระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของจุดต่างๆกัน โดยอาศัยกราฟแท่งที่ได้จากโปรแกรม ทั้งในระดับ 1 เดือน และ 1 ปี

7.2.2 ข้อด้อยของโปรแกรม

7.2.2.1 การพิจารณาใช้ค่า d ในการเลือก Pixel บนแบบจำลองมาใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ที่กล่าวไว้ใน บทที่ 4 หัวข้อที่ 4.1 ถือเป็นข้อด้อยที่สำคัญของโปรแกรมนี้นี้ เนื่องจากถ้าเลือกค่า d มากเกินไป จะทำให้บาง Pixel ที่ควรจะถูกลำเอียงมาพิจารณาถูกละเลยไป ซึ่งในโปรแกรมจะตั้งค่าเริ่มต้น (Default) ไว้เท่ากับความกว้างของ Pixel ($d = 1 \text{ Pixel Width}$) ของแบบจำลองพื้นที่ ซึ่งผู้ใช้สามารถเปลี่ยนขนาดของ d ได้ตามต้องการ

7.2.2.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเพื่อผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของทั้งแบบจำลองพื้นที่จะค่อนข้างนานเนื่องจากขั้นตอนการคำนวณในลักษณะการวนซ้ำเพื่อใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ของแต่ละ Pixel มีมาก จึงไม่เหมาะสมกับการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่หลายๆ

7.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้

การสร้างแบบจำลองเพื่อพัฒนาโปรแกรมที่ใช้ในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดในงานวิจัยนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของแผนที่ความยาวนานแสงแดดที่แสดงถึงระยะเวลาที่ดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่เหนือแบบจำลองพื้นที่ในหนึ่งวัน โดยปราศจากการบดบังของภูมิประเทศที่อยู่ล้อมรอบ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ ดังนี้

7.3.1 เพื่อนำแผนที่ที่ได้มาใช้ประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม ตัวอย่างเช่น องค์การทางด้านเกษตรกรรมจะสามารถพิจารณาได้ว่าควรส่งเสริมให้มีการปลูกพืชชนิดใดในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการแสงอาทิตย์แตกต่างกัน รวมถึงการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

7.3.2 เพื่อนำแผนที่มาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ ได้แก่ การพิจารณาเบื้องต้นในการเลือกที่ตั้งของสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นการลดกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยน้ำมันเชื้อเพลิง

7.4 ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาแผนที่ความยาวนานแสงแดดโดยอาศัยแบบจำลองดาราศาสตร์และภูมิประเทศ” ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของโปรแกรม และผลลัพธ์ที่ได้ รวมถึงแนวทางอื่นๆเพื่อใช้ในการดำเนินงานวิจัยต่อไป ดังนี้

7.4.1 เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมโดยมิได้คำนึงถึงผลกระทบทางด้านอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ ดังนั้น จึงควรสร้างแบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลกระทบต่อกรมองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่ ซึ่งอาจจะเป็นแบบจำลองในรูปของการใช้ค่าทางสถิติอย่างง่าย เช่น อาศัยข้อมูลของเวลาและระยะเวลาการเกิดฝนของพื้นที่ หรืออาจทำการสร้างแบบจำลองในรูปแบบของการเก็บข้อมูลของการบดบังดวงอาทิตย์เนื่องจากเมฆ และหมอกของพื้นที่ และทำการสร้างแบบจำลองของสภาพบรรยากาศของพื้นที่ เพื่อให้ได้แบบจำลองทางอุตุนิยมวิทยาที่น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

7.4.2 พัฒนารูปแบบที่ใช้ในการพิจารณาเลือก Pixel บนแบบจำลองมาใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ให้ถูกต้องและสมบูรณ์มากขึ้น กล่าวคือ ทุก Pixel ที่อยู่ในแนวเอซิมัทของดวงอาทิตย์จะต้องถูกนำมาใช้ในการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์

7.4.3 พัฒนา Graphic User Interface (GUI) ให้ง่ายต่อการใช้งาน

7.4.4 พัฒนาความสามารถของโปรแกรมเพิ่มเติม ในแง่ของการแสดงผลพีธีในระดับ Pixel ตัวอย่างเช่น การแสดงผลในรูปของกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์กับวันที่ การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละ Pixel ที่สนใจโดยอาจจะแสดงในรูปของกราฟแท่ง หรือการแสดงผลพีธีในรูปของระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกันในแต่ละเดือน เป็นต้น รวมถึงการพัฒนาในแง่ของการแสดงแผนที่ความยาวนานแสงแดดให้ง่ายต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ

7.4.5 พัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพในการผลิตแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลองพื้นที่เชิงตัวเลขที่มีขนาดใหญ่และมีจำนวน Pixel มากๆ โดยอาจจะทำเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการพิจารณาสร้างแผนที่ความยาวนานแสงแดดเฉพาะส่วนที่สนใจบนแบบจำลองพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยไม่ต้องทำการคำนวณหมดทั้งแบบจำลอง

7.4.6 พัฒนาคำถามความสัมพันธ์ของระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่กับปริมาณอื่นๆที่เกี่ยวข้อง และสามารถวัดหรือเก็บข้อมูลได้ในพื้นที่นั้น เช่น การสร้างแบบจำลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ของพื้นที่กับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้บนพื้นที่เดียวกัน เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ทวีเดช ลีละวัฒน์วัฒนา. หลักเบื้องต้นของดาราศาสตร์ปฏิบัติสำหรับนักจีโอเดซี วิศวกรและช่างสำรวจ. กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- สมหวัง ตัณฑลักษ์ณี, ศาสตราจารย์. งานดาราศาสตร์เพื่อการรังวัด. กรุงเทพฯ:โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- เสริม จันทร์ฉาย, รองศาสตราจารย์, จรุงแสง ลักษณะบุญส่ง. แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ร่วมกับ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, กรุงเทพฯ:บริษัท จีรังวิสต์ จำกัด, 2542

ภาษาอังกฤษ

- Anderson, J. M., Mikhail, E.M., Surveying Theory and Practice., 7th ed. Boston: Mc-Graw Hill, 1998
- Bennett, G. G., Freislich, J. G., Field Astronomy for Surveyors. 1st published. New South Wales: New South Wales University Press Limited, 1979
- Brewer, R. N., Flood, C. A., Jr., Taylor E. S.. Solar Applications in Agriculture. Philadelphia: The Franklin Institute Press, 1981.
- Exell, R. H. B., Sukawat D., Solar and Wind Energy Data of Thailand 1983. Asian Institute of Technology and Meteorological Department, 1983.
- Iqbal, M.. An Introduction to Solar Radiation. Ontario: Academic Press, 1983
- Mueller, I. I., Professor. Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy. 2nd ed. New York: Frederick Ungar Publishing Co., 1977.
- Suwantrakul, B., Watabutr, W., Sitathani K.. Solar and Wind Energy Potential Assessment of Thailand. King Mongkut's Institute of Technology Thonburi Campus and Meteorology Department, 1984.

ภาคผนวก ก.

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองทางดาราศาสตร์

ในวิชาดาราศาสตร์ปฏิบัติ (Practical Astronomy) [ทวีเดช ลีละวัฒน์วัฒนา 2525, มีชัย ไชยสระแก้ว 2527, สมหวัง ตันทลักษ์ณ 2535, Bennett & Freislich 1979, Iqbal 1983, Mueller 1977] ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการหาตำแหน่งของวัตถุฟ้า (Celestial Body) ต่างๆเมื่อเทียบกับตำแหน่งของผู้สังเกตหรือผู้สังเกต (Observer) บนพื้นผิวโลก วัตถุฟ้าเกือบทั้งหมดอยู่ไกลจากโลกมากซึ่งอาจถือได้ว่าเป็นระยะอนันต์ ดังนั้น ถ้าพิจารณาว่าวัตถุฟ้าต่าง ๆ นั้นอยู่บนผิวของทรงกลมหนึ่งที่มีโลกเป็นจุดศูนย์กลางและมีรัศมีอนันต์ ซึ่งเรียกว่า ทรงกลมฟ้า (Celestial Sphere) การบอกตำแหน่งของวัตถุฟ้าต่างๆสามารถบอกได้โดยใช้ระบบพิกัดตำแหน่งสองมิติที่เหมาะสม

1. ระบบพิกัดฟ้า

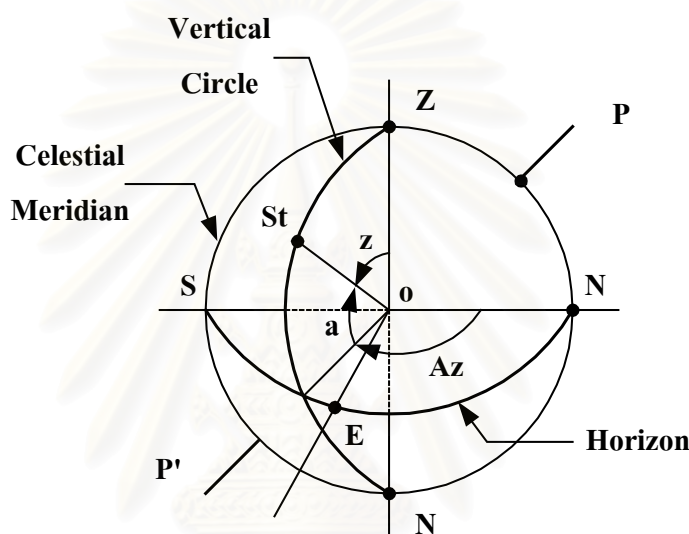
ระบบพิกัดฟ้า (Celestial Coordinate System) ที่ใช้ในการกำหนดตำแหน่งหรือทิศทางของวัตถุฟ้ามีอยู่หลายระบบด้วยกัน แต่โดยปกติแล้วจะแสดงตำแหน่งและทิศทางโดยใช้ระนาบอ้างอิง (Reference Plane) สองระนาบที่ตั้งฉากกัน ได้แก่ ระนาบอ้างอิงหลัก (Primary Reference Frame) และระนาบอ้างอิงรอง (Secondary Reference Frame) ซึ่งระบบพิกัดฟ้าแต่ละระบบจะขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้ระนาบอ้างอิงเหล่านี้ ระบบพิกัดฟ้าที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ระบบเส้นขอบฟ้า ระบบมุมชั่วโมง และระบบไรท์แอสเซนชัน โดยระบบที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นมีจุดศูนย์กลางของระบบพิกัดอยู่ที่ตำแหน่งของผู้สังเกต (Topocentric) หรือที่จุดศูนย์กลางของโลก (Geocentric) แต่เนื่องจากระยะทางจากโลกไปยังวัตถุฟ้ามีค่ามากเมื่อเทียบกับขนาดของโลก ดังนั้น จึงถือว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างตำแหน่งของผู้สังเกตกับจุดศูนย์กลางของโลก

นอกจากระบบพิกัดฟ้าทั้งสามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ยังมีระบบพิกัดอื่นๆอีกมาก เช่น ระบบที่จุดศูนย์กลางของระบบอยู่ที่จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ (Heliocentric) ระบบอีคลิปติก (Ecliptic System) และระบบแกแล็กติก (Galactic System) เป็นต้น ระบบต่างๆเหล่านี้มีความแตกต่างกันในการใช้ระนาบอ้างอิงหลักและระนาบอ้างอิงรอง อย่างไรก็ตาม ระบบต่างๆเหล่านี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ดังนั้นจึงไม่นำรายละเอียดมากล่าวถึงในที่นี้

1.1 ระบบเส้นขอบฟ้า (Horizon System) (a, Az)

ในระบบเส้นขอบฟ้า ระนาบอ้างอิงหลักคือระนาบเส้นขอบฟ้า (Horizon) ระนาบอ้างอิงรองคือเมอริเดียนฟ้า (Celestial Meridian) การกำหนดทิศทางและตำแหน่งของวัตถุฟ้าจะกำหนดด้วย มุมสูง (Altitude; a) และแอสซิมาธ (Azimuth; Az)

พิจารณาทรงกลมฟ้าดังรูปที่ ก1 แกนหมุนของโลกตัดทรงกลมฟ้าที่จุดขั้วฟ้าเหนือและใต้ (North Celestial Pole; P และ South Celestial Pole; P') ผู้สังเกตอยู่ที่จุด O แนวตั้งของผู้สังเกตจะตัดทรงกลมฟ้าสองจุด จุดที่อยู่เหนือศีรษะของผู้สังเกตคือ จุดดิ่งบน (Zenith; Z) อีกจุดที่อยู่ตรงข้ามคือ จุดดิ่งล่าง (Nadir; N) ระนาบที่ตั้งฉากกับแนวตั้งและผ่านผู้สังเกตคือ ระนาบเส้นขอบฟ้า (Horizon) วงกลมที่ตั้งฉากกับเส้นขอบฟ้าคือ วงกลมดิ่ง (Vertical Circle) วงกลมดิ่งของผู้สังเกตที่ผ่านจุดขั้วฟ้าคือ เมอริเดียนฟ้า (Celestial Meridian) ซึ่งก็คือวงกลมชั่วโมงที่ผ่านจุดดิ่งบนนั่นเอง จุดบนทรงกลมฟ้าสองจุดที่เกิดจากการตัดกันของเมอริเดียนฟ้ากับเส้นขอบฟ้าคือ จุดเหนือ N และจุดใต้ S วงกลมดิ่งที่ตั้งฉากกับเมอริเดียนฟ้ามีชื่อเฉพาะว่า วงกลมดิ่งเอก (Prime Vertical) จุดตัดของวงกลมดิ่งเอกกับเส้นขอบฟ้าบนทรงกลมฟ้าคือ จุดตะวันออก E และจุดตะวันตก W



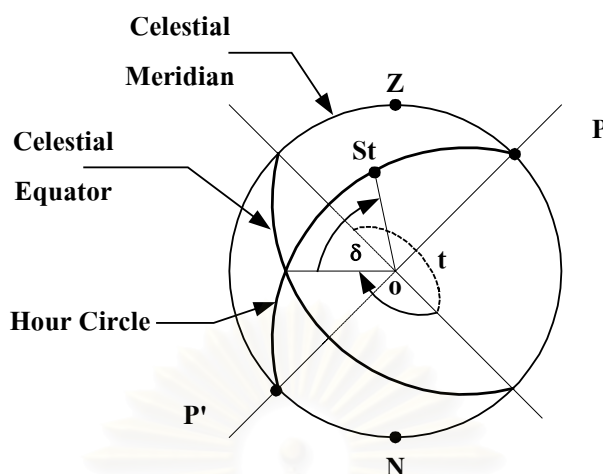
รูปที่ ก1 แสดงระบบเส้นขอบฟ้า

กำหนดให้ St เป็นจุดใด ๆ บนทรงกลมฟ้า มุมสูง a คือ มุมระหว่างทิศทาง OSt และระนาบเส้นขอบฟ้า โดยวัดไปตามทิศทางของวงกลมดิ่งที่ผ่านจุด St มีขนาดตั้งแต่ 0° ถึง 90° มีเครื่องหมายเป็นบวกเมื่ออยู่เหนือเส้นขอบฟ้า และเป็นลบเมื่ออยู่ใต้เส้นขอบฟ้า มุม z ซึ่งเป็นมุมประกอบของมุม a เรียกว่า ระยะดิ่ง (Zenith Distance) มีค่าเท่ากับ $90^\circ - a$

แอสซิเมธ Az คือ มุมระหว่างระนาบดิ่งกับเมอริเดียนฟ้าของผู้สังเกต โดยวัดจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออกในระนาบเส้นขอบฟ้า มีค่าตั้งแต่ $0^\circ - 360^\circ$

1.2 ระบบมุมชั่วโมง (Hour Angle) (t , δ)

ในระบบนี้ ระนาบอ้างอิงหลักคือ ระนาบศูนย์สูตรฟ้า ระนาบอ้างอิงรองคือ เมอริเดียนฟ้าหรือวงกลมชั่วโมงที่ผ่านจุดดิ่งบนนั่นเอง การกำหนดทิศทางและตำแหน่งของวัตถุฟ้าจะกำหนดด้วย มุมชั่วโมง (Hour Angle; t) และเดคลิเนชัน (Declination; δ)



รูปที่ ก2 แสดงระบบมุมชั่วโมง

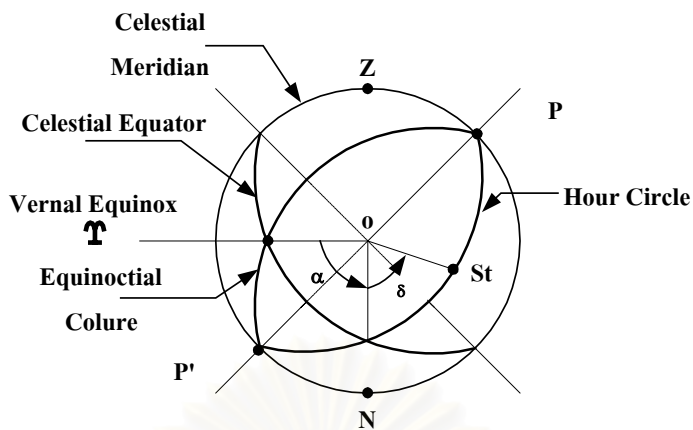
พิจารณารูปที่ ก2 ระนาบที่ตั้งฉากกับแกนหมุนของโลกที่จุดผู้สังเกต (จุด O) คือ ระนาบศูนย์สูตรฟ้า (Celestial Equator) วงกลมที่ผ่านจุดขั้วฟ้าทั้งสองคือ วงกลมชั่วโมง (Hour Angle) มุมชั่วโมง t คือ มุมระหว่างวงกลมชั่วโมงที่ผ่านจุด St และเมอริเดียนฟ้าของผู้สังเกต โดยวัดจากเมอริเดียนไปทางทิศตะวันตก (ตามทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวที่ผู้สังเกตสังเกตเห็น) มีค่าตั้งแต่ $0^\circ - 360^\circ$ หรือ $0^h - 24^h$

เดคลิเนชัน δ คือ มุมระหว่างทิศทาง OS กับระนาบศูนย์สูตรฟ้า โดยวัดไปตามระนาบของวงกลมชั่วโมงที่ผ่านจุด St มีค่าตั้งแต่ $0^\circ - 90^\circ$ มีเครื่องหมายเป็นบวกเมื่อวัดอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรฟ้าและมีเครื่องหมายเป็นลบเมื่ออยู่ใต้เส้นศูนย์สูตรฟ้า

1.3 ระบบไรต์แอสเซนชัน (Right Ascension System) (α , δ)

ระบบนี้ระนาบอ้างอิงหลักยังคงเป็นระนาบศูนย์สูตรฟ้า แต่ระนาบอ้างอิงรองจะเป็นอีควินอกเซียลคัลลัวร์ (Equinoctial Colure) การกำหนดทิศทางและตำแหน่งของวัตถุฟ้าจะกำหนดด้วย ไรต์แอสเซนชัน (Right Ascension; α) และเดคลิเนชัน (Declination; δ)

พิจารณารูปที่ ก3 จุดเวอร์นัลอีควินอกซ์ (Vernal Equinox; Υ) เป็นจุดตัดระหว่างระนาบอีคลิปติก (Ecliptic Plane) กับระนาบศูนย์สูตรฟ้า วงกลมชั่วโมงที่ผ่านจุดเวอร์นัลอีควินอกซ์คือ อีควินอกเซียลคัลลัวร์ ค่า **ไรต์แอสเซนชัน α** คือ มุมระหว่างวงกลมชั่วโมงที่ผ่านจุด St กับอีควินอกเซียลคัลลัวร์ โดยวัดจากจุดเวอร์นัลอีควินอกซ์ Υ ไปทางทิศตะวันออกบนระนาบศูนย์สูตรฟ้า มีค่าตั้งแต่ $0^\circ - 360^\circ$ หรือ $0^h - 24^h$ ส่วนค่าเดคลิเนชันก็เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับระบบมุมชั่วโมง

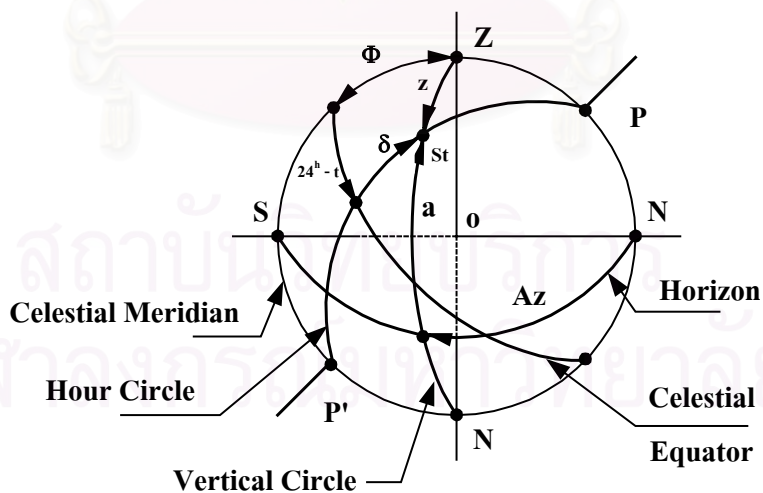


รูปที่ ก3 แสดงระบบไรต์แอสเซนชัน

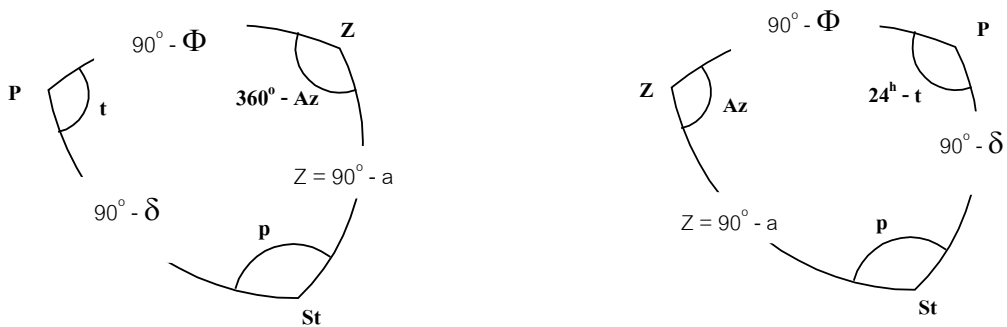
2. ความสัมพันธ์ระหว่างระบบพิกัดฟ้าต่างๆ

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบเส้นขอบฟ้าและระบบมุมชั่วโมง

จากรูปที่ ก4 จุด St เป็นดาวหรือวัตถุฟ้าที่อยู่ทางซีกเหนือของทรงกลมฟ้า ซึ่งได้แสดงพิกัดทั้งในระบบเส้นขอบฟ้าและระบบมุมชั่วโมงไว้ในรูปเดียวกัน จากการศึกษาในวิชาตรีโกณมิติทรงกลม (Spherical Trigonometry) จะเห็นสามเหลี่ยมทรงกลมที่มีมุมอยู่ที่จุดขั้วฟ้าเหนือ P จุดตั้งบน Z และจุด St เป็นสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ซึ่งเป็นตัวเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่างระบบเส้นขอบฟ้าและระบบมุมชั่วโมง



รูปที่ ก4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบเส้นขอบฟ้าและระบบมุมชั่วโมง



(ก) แสดงจุด St อยู่ทางทิศตะวันตก

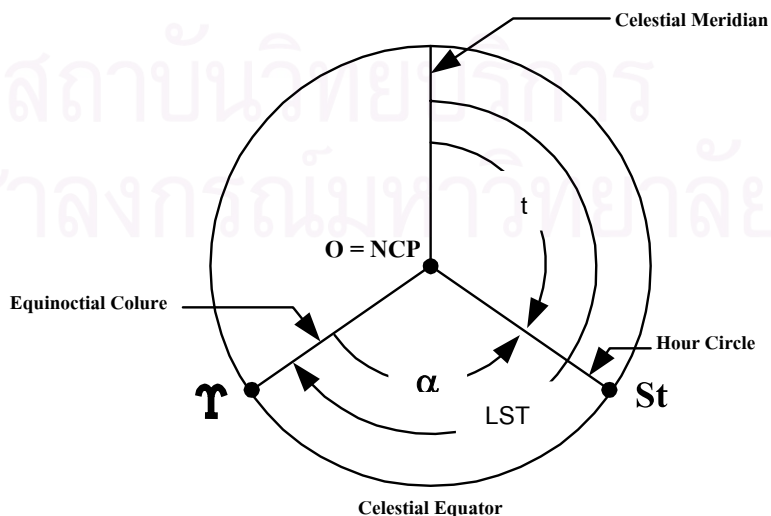
(ข) แสดงจุด St อยู่ทางทิศตะวันออก

รูปที่ ก5 แสดงสามเหลี่ยมดาราศาสตร์

จากสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ PZSt ถ้าดาวหรือวัตถุฟ้าอยู่ทางทิศตะวันตกของเมอริเดียนฟ้า ดังรูปที่ ก5 (ก) จะเห็นได้ว่า มุมของสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ที่จุด P คือ มุมชั่วโมง t, มุมที่จุด Z คือ $360^\circ - Az$ และมุมที่จุด St คือ มุมเหลื่อม (Parallactic Angle; p) และถ้าดาวหรือวัตถุฟ้าอยู่ทางทิศตะวันออกของเมอริเดียนฟ้า ดังรูปที่ ก5 (ข) จะเห็นได้ว่า มุมของสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ที่จุด P คือ $24^h - t$, มุมที่จุด Z คือ Az และมุมที่จุด St คือ p ตามลำดับ ด้านทั้งสามของสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ทั้งสองกรณีเป็นดังนี้ ระยะจาก P ไปยัง Z คือ $90^\circ - \Phi$ หรือ Co-latitude, ระยะจาก P ไปยัง St คือ $90^\circ - \delta$ และระยะจาก Z ไปยัง St คือ z หรือ $90^\circ - a$ นั่นเอง

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบมุมชั่วโมงและระบบไรต์แอสเซนชัน

จากคำอธิบายของระบบมุมชั่วโมงและระบบไรต์แอสเซนชันในหัวข้อ 1.2 และ 1.3 จะเห็นได้ว่าทั้งสองระบบใช้ระนาบศูนย์สูตรฟ้าเป็นระนาบอ้างอิงหลัก ดังนั้น ค่าเดคลิเนชัน δ จึงเป็นตัวแปรร่วม ความสัมพันธ์ของระบบทั้งสองจึงเป็นการแปลงค่าระหว่างมุมชั่วโมงและค่าไรต์แอสเซนชัน



รูปที่ ก6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระบบมุมชั่วโมงกับระบบไรต์แอสเซนชัน

จากรูปที่ ๓6 เป็นทรงกลมฟ้าที่มองจากขั้วฟ้าเหนือ ซึ่งจะเห็นเส้นศูนย์สูตรฟ้าเป็นวงกลม และวงกลม ชั่วโมง (Local Hour Angle; L.H.A.) เป็นเส้นรัศมี จะสังเกตเห็นได้ชัดว่า

$$L.S.T. = L.H.A. + \alpha \quad \dots\dots\dots(๓1)$$

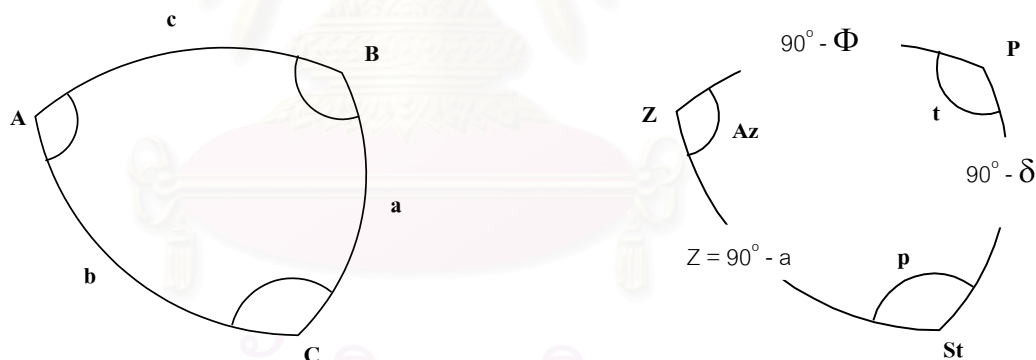
เมื่อ LST คือ เวลาดาราคติของจุดผู้สังเกต (Local Sidereal Time) ซึ่งก็คือมุมชั่วโมงของจุดเวอร์นัลลือคิวนอกกรีนิช γ นั่นเอง ซึ่งถ้าจุดที่ผู้สังเกตอยู่บนเมริเดียนกรีนิช (Greenwich Meridian) เราจะได้

$$G.S.T. = G.H.A. + \alpha \quad \dots\dots\dots(๓2)$$

หรือ Greenwich Sidereal Time = Greenwich Hour Angle of Star + Right Ascension of Star

3. การคำนวณสามเหลี่ยมดาราศาสตร์

ในการคำนวณสามเหลี่ยมทรงกลม ABC ดังรูปที่ ๓7 (ก) เราจะใช้สมการจากตรีโกณมิติทรงกลมต่างๆ ได้แก่ กฎของซายน์ (Sine's Formular) กฎของโคซายน์ (Cosine's Formula) กฎสี่ส่วน (Four Part Formula) กฎห้าส่วน และกฎของเนเปียร์ (Napier's Rule) ในการคำนวณหาปริมาณต่างๆในสามเหลี่ยมดาราศาสตร์



(ก) สามเหลี่ยมทรงกลม

(ข) สามเหลี่ยมดาราศาสตร์

รูปที่ ๓7 แสดงการเปรียบเทียบสามเหลี่ยมทรงกลม ABC กับสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ ZPSt

เมื่อพิจารณาสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ ZPSt ดังรูปที่ ๓7 (ข) เปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมทรงกลม ABC จะเห็นได้ว่า ค่ามุมและด้านของทั้งสองสามเหลี่ยมจะเป็นดังนี้

$$\text{มุม } A = Az, \text{ มุม } B = t \text{ และ มุม } C = p$$

$$\text{ด้าน } a = 90^\circ - \delta, \text{ ด้าน } b = 90^\circ - a \text{ และ ด้าน } c = 90^\circ - \Phi$$

ถ้ากำหนดด้านสองด้าน และมุมระหว่างด้านของสามเหลี่ยมดาราศาสตร์ให้ กล่าวคือกำหนดด้าน PSt (หรือ $90^\circ - \delta$), Zst ($90^\circ - \Phi$) หรือ และมุม t เราจะสามารถคำนวณหามุม Az และมุมสูง a ของวัตถุฟ้าต่างๆได้

3.1 เมื่อดาวหรือดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ

จากกฎของโคซายน์ในตรีโกณมิติทรงกลม คำนวณหามุมสูง a ได้จาก

$$\begin{aligned} \cos b &= \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B \\ \cos (90^\circ - a) &= \cos (90^\circ - \delta) \cos (90^\circ - \Phi) + \sin (90^\circ - \delta) \sin (90^\circ - \Phi) \cos t \\ \text{จะได้ } \sin a &= \sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \Phi \cos t \quad \dots\dots\dots(n3) \end{aligned}$$

และสามารถคำนวณหามุม Az ได้จาก

$$\begin{aligned} \cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \\ \cos (90^\circ - \delta) &= \cos (90^\circ - a) \cos (90^\circ - \Phi) + \sin (90^\circ - a) \sin (90^\circ - \Phi) \cos Az \\ \sin \delta &= \sin a \sin \Phi + \cos a \cos \Phi \cos Az \\ \text{จะได้ } \cos Az &= \frac{\sin \delta - \sin a \sin \Phi}{\cos a \cos \Phi} \quad \dots\dots\dots(n4) \end{aligned}$$

สมการที่ (n3) ใช้ในการคำนวณหามุมสูง a และสมการที่ 4 ใช้คำนวณหาแอสิมัท Az ของวัตถุฟ้า (โดยใช้ค่ามุมสูง a จากสมการที่ (n3)) ณ ขณะเวลาใดๆ

3.2 เมื่อดาวหรือดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเส้นขอบฟ้า

ในกรณีนี้ใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งเมื่อดาวหรือดวงอาทิตย์กำลังจะขึ้นหรือตก กล่าวคือ เมื่อดาวหรือดวงอาทิตย์อยู่ที่เส้นขอบฟ้า มุมสูง a จะเท่ากับ 0° จากสมการที่ (3) และสมการที่ (4) จะได้ว่า

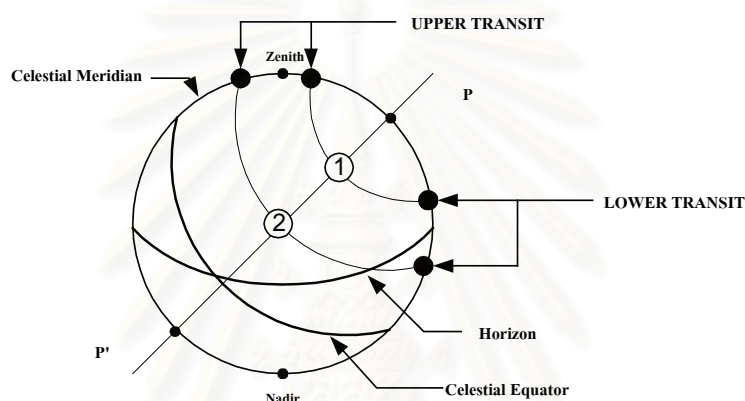
$$\cos t = -\tan \delta \tan \Phi \quad \dots\dots\dots(n5)$$

$$\cos Az = \sin \delta \sec \Phi \quad \dots\dots\dots(n6)$$

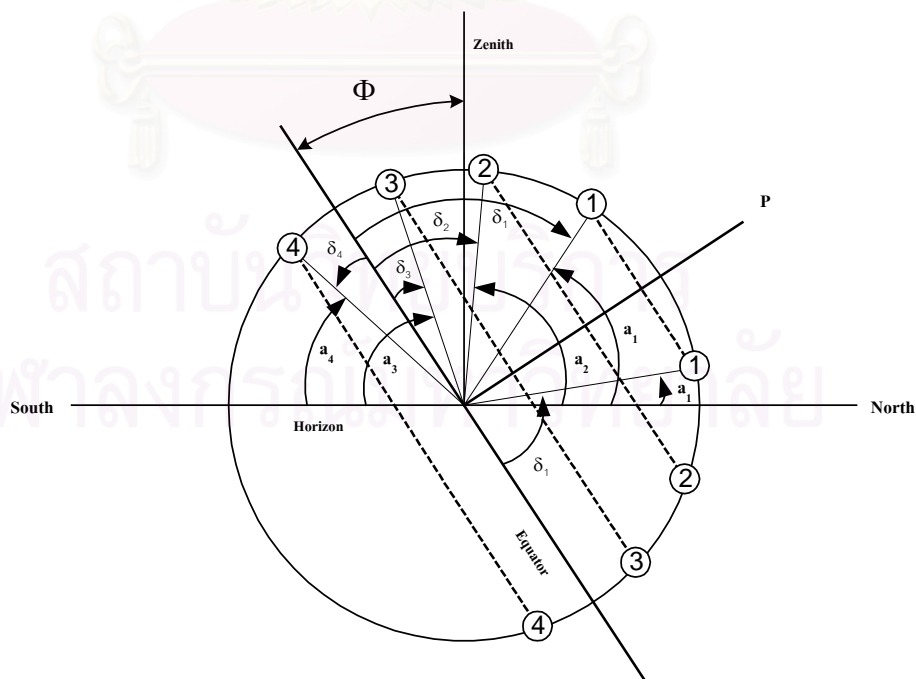
สมการที่ (n5) ใช้ในการคำนวณเวลาที่ดาวหรือดวงอาทิตย์ขึ้นหรือตกในวันหนึ่งๆ ณ ตำแหน่งที่ผู้สังเกตสังเกตอยู่ กล่าวคือ เมื่อทราบ δ และ Φ จะสามารถหามุมชั่วโมง t ได้ และจากมุมชั่วโมง t จะสามารถเปลี่ยนเป็นเวลามาตรฐาน (Standard Time) ได้อีกทีหนึ่ง ส่วนสมการที่ (n6) ใช้ในการคำนวณหาแอสิมัทของดาวหรือดวงอาทิตย์ขณะขึ้นหรือตก

3.3 เมื่อดาวหรือดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเมอริเดียนฟ้า (Transit)

เมื่อดาวหรือดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งเมอริเดียนฟ้าของผู้สังเกต จะเรียกว่า Transit และเนื่องจากทางเดินของดาวเป็นวงกลม (วงกลมสำหรับดวงอาทิตย์) ขนานกับเส้นศูนย์สูตรฟ้า ดังนั้น ดาวและดวงอาทิตย์จะอยู่บนเมอริเดียนฟ้าวันละสองครั้ง ดังรูปที่ ๓8 กล่าวคือ อยู่บนเมอริเดียนเหนือจุดขั้วฟ้า (NCP) เรียกว่า Upper Transit และอยู่บนเมอริเดียนใต้จุดขั้วฟ้า เรียกว่า Lower Transit ดาวที่ผู้สังเกตสามารถสังเกตเห็นได้ทั้ง Upper Transit และ Lower Transit เรียกว่า ดาวรอบขั้ว (Circumpolar Star) ได้แก่ดาวดวงหมายเลข (1) ในรูปที่ 8 แต่โดยทั่วไปแล้ว ผู้สังเกตมักจะสังเกตเห็นเฉพาะ Upper Transit ของดาวเหนือเส้นขอบฟ้า (ดาวหมายเลข (2)) เท่านั้น



รูปที่ ๓8 แสดง Upper และ Lower Transit ของดาวหรือดวงอาทิตย์



รูปที่ ๓9 แสดงความสัมพันธ์ของมุมสูง a กับเดคลิเนชัน δ ขณะ Transit ของดาวหรือดวงอาทิตย์

ขณะที่ดาวหรือดวงอาทิตย์อยู่ที่ Upper หรือ Lower Transit ก็ดี จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่าง พิกัดของดาวหรือดวงอาทิตย์คือ มุมสูง a , เดคลิเนชัน δ กับตำแหน่งของผู้สังเกตคือ ละติจูด Φ ดังรูปที่ ก9

พิจารณาดาวหรือดวงอาทิตย์ดวงที่ (1) ถึง (4) อยู่บน Upper Transit ซึ่งเฉพาะดวงที่ (1) เท่านั้นที่ผู้สังเกตสามารถสังเกตเห็น Lower Transit ดังนั้น ดาวดวงที่ (1) เป็นดาวรอบขั้ว

เมื่อดาวหรือดวงอาทิตย์อยู่ที่ Lower Transit (ดวงที่ (1))

$$\Phi = 90^\circ + (a - \delta) \quad \dots\dots\dots(\text{ก7})$$

เมื่อดาวหรือดวงอาทิตย์อยู่ที่ Upper Transit (ดวงที่ (1), (2) และ (3)) ทางเหนือของผู้วัด ($\delta > \Phi$)

$$\Phi = (a + \delta) - 90^\circ \quad \dots\dots\dots(\text{ก8})$$

เมื่อดาวหรือดวงอาทิตย์อยู่ที่ Lower Transit (ดวงที่ (4)) ทางใต้ของผู้วัด ($\delta < \Phi$)

$$\Phi = 90^\circ - (a - \delta) \quad \dots\dots\dots(\text{ก9})$$

สมการที่ (ก7), (ก8) และ (ก9) ใช้ในการคำนวณหามุมสูง a ของดาวหรือดวงอาทิตย์ขณะ Transit เมื่อทราบละติจูด Φ ของผู้สังเกตและเดคลิเนชัน δ ของดาวหรือดวงอาทิตย์ขณะ Transit

4. ระบบเวลา

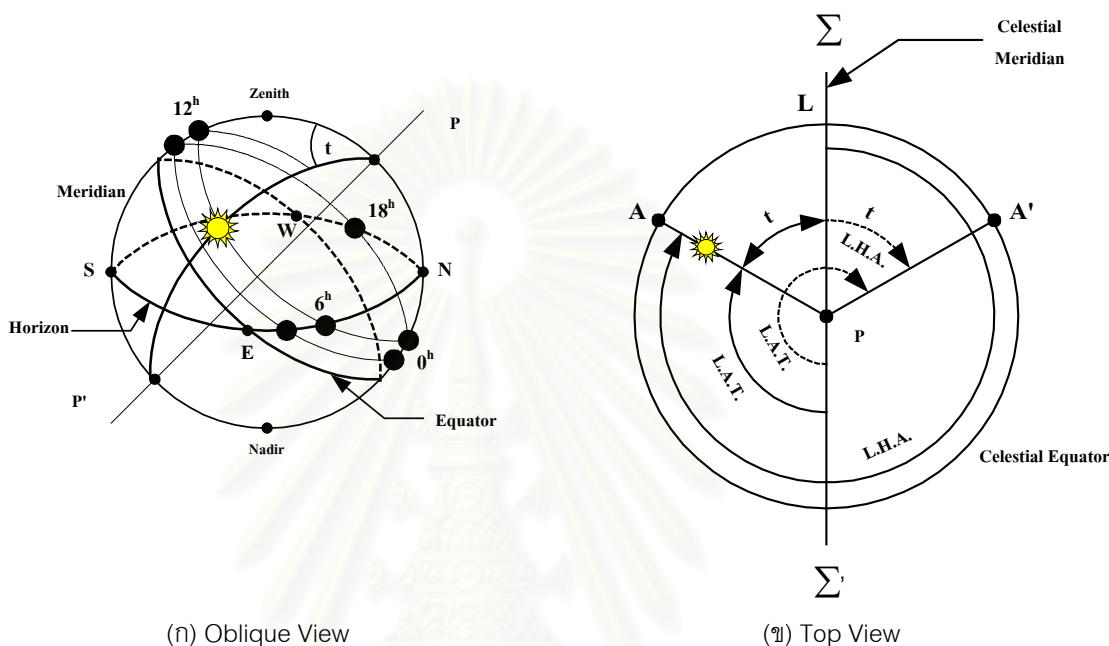
ระบบเวลาที่ใช้ในวิชาดาราศาสตร์โดยทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน 2 ระบบ ได้แก่ ระบบเวลาสุริยคติ (Solar Time) วัดเวลาโดยใช้ดวงอาทิตย์ และระบบเวลาดาราคติ (Sidereal Time) ที่วัดเวลาโดยใช้ดาว

4.1 ระบบเวลาสุริยคติ (Solar Time)

เป็นเวลาจริงที่โลกเดินทางรอบดวงอาทิตย์บนระนาบอีลิปติกในหนึ่งปีและหมุนรอบตัวเองในหนึ่งวัน เวลาที่วัดได้จากดวงอาทิตย์นี้แบ่งออกเป็น 2 อย่าง คือ เวลาจริงหรือเวลาปรากฏ (Apparent Solar Time) และ เวลาเฉลี่ยหรือเวลาสมมติ (Mean Solar Time)

4.1.1 เวลาจริงหรือเวลาปรากฏ (Apparent Solar Time)

เป็นเวลาที่ตั้งดวงอาทิตย์จริงเดินทางรอบโลกจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตกโดยเริ่มจากเวลาที่ดวงอาทิตย์เดินทางผ่านเมริเดียนทางด้านล่าง (Lower Meridian) ของผู้สังเกต เรียกว่า Local Apparent Time (L.A.T.)



รูปที่ 10 แสดงทางเดินของดวงอาทิตย์บนทรงกลมฟ้า

จากรูปที่ 10 (ก) เมื่อดวงอาทิตย์จริงอยู่ที่ Lower Meridian	L.A.T. = 0 ^h
เมื่อดวงอาทิตย์จริงอยู่ที่ Upper Meridian	L.A.T. = 12 ^h
เมื่อดวงอาทิตย์จริงอยู่ที่เส้นขอบฟ้าตอนเช้า (ดวงอาทิตย์ขึ้น)	L.A.T. = 6 ^h
เมื่อดวงอาทิตย์จริงอยู่ที่เส้นขอบฟ้าในตอนเช้า (ดวงอาทิตย์ตก)	L.A.T. = 18 ^h

จากรูปที่ 10 (ข) เมื่อมองจาก Top View ที่จุด NCP Local Apparent Time (L.A.T.) ที่ตำแหน่งของผู้สังเกต L ดวงอาทิตย์อยู่ทางตะวันออกเท่ากับส่วนโค้ง $\Sigma'A$, มุมชั่วโมง t ของดวงอาทิตย์ คือส่วนโค้ง ΣA และ Local Hour Angle (L.H.A.) ของจุด L คือส่วนโค้ง $\Sigma\Sigma'A$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{L.H.A.} &= \text{L.A.T.} + 12^{\text{h}} \\ t &= 24^{\text{h}} - \text{L.H.A.} \end{aligned}$$

ถ้าดวงอาทิตย์อยู่ทางตะวันตก Local Apparent Time (L.A.T.) ที่ตำแหน่งของผู้สังเกต L คือ $\Sigma'A\Sigma'$ และมุม L.H.A. คือส่วนโค้ง $\Sigma'A'$ ซึ่งเท่ากับ t จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{L.H.A.} &= \text{L.A.T.} - 12^h \\ t &= \text{L.H.A.} \\ \text{จะสามารถสรุปได้ว่า} \quad \text{L.H.A.} &= \text{L.A.T.} \pm 12^h \\ &+ \text{เช้า, - บ่าย} \quad \dots\dots\dots(\text{ก10}) \\ \text{และ} \quad t (\text{เช้า}) &= 24^h - \text{L.H.A.} \\ t (\text{บ่าย}) &= \text{L.H.A.} \quad \dots\dots\dots(\text{ก11}) \end{aligned}$$

4.1.2 เวลาเฉลี่ยหรือเวลาสมมติ (Mean Solar Time หรือ Mean Time)

ในการวัดเวลาโดยใช้ดวงอาทิตย์จริงหรือ Apparent Time พบว่า ช่วงเวลาของหนึ่งวันตลอดปียาวไม่เท่ากัน กล่าวคือไม่มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ดังนั้น จึงต้องคิดระบบเวลาใหม่ที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าเรียกว่า เวลาเฉลี่ย (Mean Time) โดยสมมติว่ามีดวงอาทิตย์อีกดวงหนึ่งโคจรรอบโลกเช่นเดียวกับดวงอาทิตย์จริง แต่ให้เดินตามขอบของเส้นศูนย์สูตรฟ้าด้วยอัตราสม่ำเสมอตลอดปี และโคจรรอบโลกในหนึ่งปีเท่ากับดวงอาทิตย์จริง เรียกว่า ดวงอาทิตย์เฉลี่ย (Mean Sun) ดังนั้นในบางช่วงเวลาของปี ดวงอาทิตย์จริงจะเดินเร็วกว่าดวงอาทิตย์เฉลี่ย และในบางช่วงเวลาของปี ดวงอาทิตย์จริงจะเดินช้ากว่าดวงอาทิตย์เฉลี่ย

ถ้าทำการเปรียบเทียบ Mean Time กับ Apparent Time ณ ขณะเวลาใดๆ จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความแตกต่างของการโคจรของดวงอาทิตย์จริงกับดวงอาทิตย์เฉลี่ย ค่าความแตกต่างของเวลาทั้งสองเรียกว่า สมการเวลา (Equation of Time) โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Mean Time} &= \text{Apparent Time} + \text{Equation of Time} \\ \text{หรือ} \quad \text{L.M.T.} &= \text{L.A.T.} + \text{Eq. of Time} \quad \dots\dots\dots(\text{ก12}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{หรือที่กรีนิช} \quad \text{G.M.T.} &= \text{G.A.T.} + \text{Eq. of Time} \quad \dots\dots\dots(\text{ก13}) \end{aligned}$$

4.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง L.M.T. กับ L.H.A.

พิจารณารูปที่ ก11 เมื่อ M คือ ดวงอาทิตย์เฉลี่ย (Mean Sun) และ A คือ ดวงอาทิตย์จริง (Apparent Sun) จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง L.M.T. และ L.H.A. ดังนี้

$$\text{จากสมการที่ (ก10)} \quad \text{L.H.A.} = \text{L.A.T.} \pm 12^h$$

$$\text{จากสมการที่ (ก12)} \quad \text{L.M.T.} = \text{L.A.T.} + \text{Eq. of Time}$$

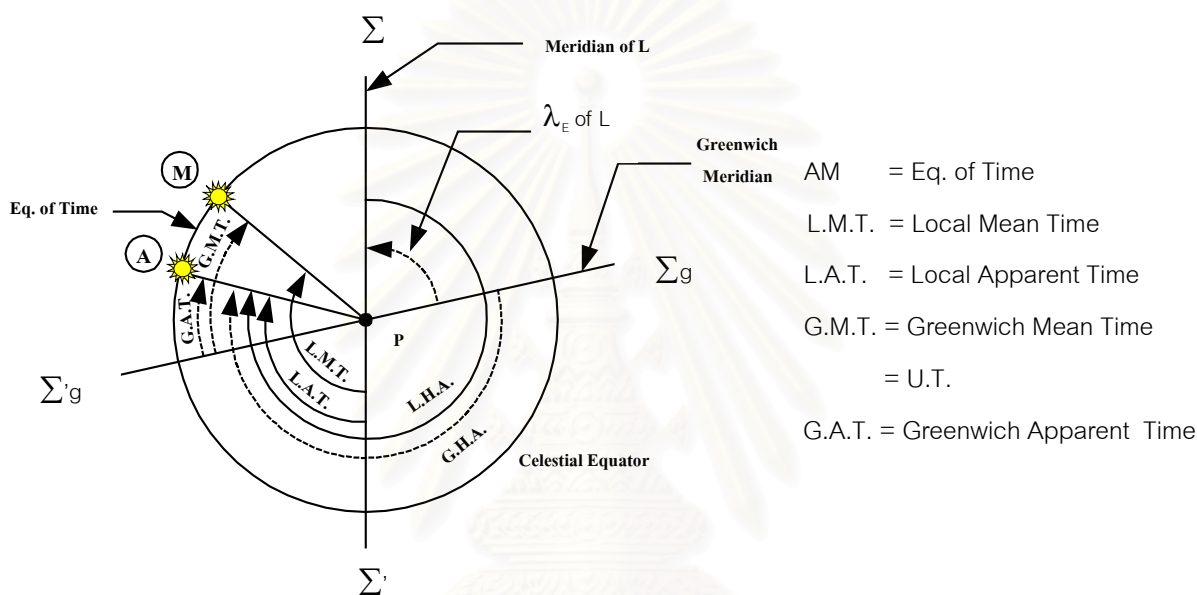
จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{L.H.A.} &= \text{L.M.T.} \pm 12^h - \text{Eq. of time} \\ \text{L.H.A.} &= \text{L.M.T.} + E \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(\text{ก14})$$

หรือ

$$\begin{aligned} \text{G.H.A.} &= \text{G.M.T.} \pm 12^h - \text{Eq. of time} \\ \text{G.H.A.} &= \text{G.M.T.} + E = \text{U.T.} + E \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(\text{ก15})$$

เมื่อ U.T. = Universal Time และค่า E ได้จากการคำนวณหรือจากปฏิทินดาว (Star Almanac for Land Surveyor) ซึ่งในส่วนของดวงอาทิตย์จะให้ค่าไว้ทุกๆ 6 ชั่วโมงของเวลา G.M.T.



รูปที่ ก11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Local Mean Time กับ Local Hour Angle

จากสมการที่ (ก15) ถ้าทราบเวลา G.M.T. หรือ U.T. และคำนวณหาค่า E ได้ ดังนั้น จะสามารถคำนวณหา G.H.A. ของดวงอาทิตย์จริงได้ และถ้าทราบค่าเมอริเดียนหรือ Longitude λ_E ของจุดผู้รังวัด L จะสามารถหาค่า L.H.A. ของดวงอาทิตย์จริงได้

$$\text{L.H.A.} = \text{G.H.A.} + \lambda_E \quad \dots\dots\dots(\text{ก16})$$

เมื่อทราบค่าเมอริเดียนหรือ Longitude λ_E ของจุดผู้รังวัด จะสามารถคำนวณหามุมชั่วโมง t ของดวงอาทิตย์จริงได้โดยอาศัยสมการที่ (ก11) นอกจากนี้ ในรูปที่ ก11 ยังสามารถหาความสัมพันธ์ต่างๆได้ ดังนี้

$$\text{L.A.T.} = \text{G.A.T.} + \lambda_E \quad \dots\dots\dots(\text{ก17})$$

$$\text{L.M.T.} = \text{G.M.T.} + \lambda_E \quad \dots\dots\dots(\text{ก18})$$

จากสมการที่ (ก14) เราจะได้ว่า $L.M.T. = L.H.A. - E$ ถ้าดวงอาทิตย์อยู่บนเมริเดียนส่วนบนหรือเที่ยงวัน จะทำให้ $L.H.A. = 0$ ดังนั้น

$$\text{Approx. L.M.T.} = 24^h - E \quad \dots\dots\dots(\text{ก19})$$

ซึ่งจะใช้สมการที่ (ก17) ในการคำนวณหาเวลา Local Mean Time ขณะที่ดวงอาทิตย์อยู่บนเมริเดียน (Transit) ที่จุดนั้น (L)

4.1.4 เวลามาตรฐาน – เขตเวลา (Standard Time – Zone Time)

ถ้ากล่าวถึงเวลา ณ จุดใดจุดหนึ่งที่ผู้สังเกตยืนอยู่ จะหมายถึง Local Apparent Time (L.A.T.) และ Local Mean Time (L.M.T.) ซึ่งเป็นเวลาเฉพาะจุดที่ผู้สังเกตเท่านั้น ทำให้ไม่สะดวกในการบอกเวลาในเขตพื้นที่ต่างๆ ดังนั้น เพื่อความสะดวกจึงได้กำหนดเป็นเขตเวลาสากลขึ้นโดยแบ่งเป็นเขตๆ ค่ายแถบระหว่างเส้นเมริเดียน (Longitude) คู่หนึ่งๆ เท่าๆ กันให้มีความกว้าง 15° หรือคิดเป็นชั่วโมงแถบละ 1 ชั่วโมงเท่าๆ กัน เริ่มจาก Longitude 0° ไปทางทิศตะวันออกและตะวันตกทีละ 15° จนถึง Longitude ที่ 180° ได้แก่ 0^h , $15^\circ (\pm 1^h)$, $30^\circ (\pm 2^h)$, ..., $165^\circ (\pm 11^h)$ และ $180^\circ (\pm 12^h)$ เส้น Longitude เหล่านี้ถือว่าเป็น Standard Longitude และเรียกแถบเวลาเหล่านี้ว่า Zone Time โดยแถบเวลาที่อยู่ทางตะวันออกของตำบลกรีนิชจะเป็นบวกและแถบเวลาที่อยู่ทางตะวันตกของตำบลกรีนิชจะเป็นลบ และพื้นที่ที่อยู่ในแถบเวลาเดียวกันจะมีเวลามาตรฐาน (Standard Time) เท่ากัน

ตัวอย่างเช่น ประเทศไทยใช้แถบเวลามาตรฐานที่ Longitude 105° ตะวันออก (ที่จ.อุบลราชธานี) มีเวลาต่างจากเวลาที่ตำบลกรีนิช 7^h ดังนั้น จะได้ว่า

$$\text{U.T. หรือ G.M.T.} = \text{เวลามาตรฐานประเทศไทย} - 7^h \quad \dots\dots\dots(\text{ก20})$$

$$\text{หรือ เวลามาตรฐานประเทศไทย} = \text{U.T.} - 7^h \quad \dots\dots\dots(\text{ก21})$$

4.2 ระบบเวลาดาราคติ (Sidereal Time)

เนื่องจากว่าระบบเวลาสุริยคติไม่มีความสม่ำเสมอเนื่องจากการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น จึงได้มีการสังเกตการเคลื่อนที่ของดาวซึ่งมีความสม่ำเสมอมากกว่าการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ จึงได้มีการใช้การเคลื่อนที่ของดาวเป็นหลักในการวัดเวลาขึ้น เรียกว่า เวลาดาราคติ (Sidereal Time) หรือเวลาตามดาว แต่เนื่องจากในงานวิจัยครั้งนี้ มิได้เกี่ยวข้องกับระบบเวลาดาราคติ ดังนั้นจึงไม่ขอกล่าวรายละเอียดไว้ในที่นี้

ภาคผนวก ข.

การแปลงค่าพิกัดฉาก

ระบบพิกัดฉากที่ใช้ในการบอกตำแหน่งของจุดบนแผนที่มาตราส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร คือ ระบบพิกัดฉาก UTM (Universal Transverse Mercator) การบอกค่าพิกัดฉากของจุดบนแผนที่ สามารถบอกได้ 2 แบบ คือ บอกเป็นค่าพิกัดฉากท้องถิ่น (N, E) โดยที่ N คือ Northing หรือ ระยะทางตามแนวแกน Y และ E คือ Easting หรือ ระยะทางตามแนวแกน X หรืออาจจะบอกเป็นค่าพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ , λ) โดยที่ Φ คือ ค่าละติจูด และ λ คือ ค่าของเมอร์ริเดียนของจุดที่พิจารณา

การแปลงค่าพิกัดฉากท้องถิ่น (N, E) เป็นพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ , λ)

การคำนวณค่าพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ , λ) จากพิกัดฉากท้องถิ่น (N, E) ในระบบพิกัดฉาก UTM มีค่าคงที่ต่างๆ ดังนี้

$$\begin{aligned} a &= 6377276.34518, & b &= 356075.41332 \\ f &= (a - b) / a \\ e^2 &= (a^2 - b^2) / a^2, & e'^2 &= (a^2 - b^2) / b^2 \\ n &= (a - b) / (a + b) \\ r &= a(1 - n)(1 - n^2)(1 + 9n^2/4 + 225n^4/64) \\ E_0 &= 500000, & K_0 &= 0.9996 \\ U_1 &= -3n/2 + 9n^3/16 \\ U_3 &= 15n^2/16 - 15n^4/32 \\ U_5 &= -35n^3/48 \\ U_7 &= 315n^4/512 \\ U_0 &= 2(U_1 - 2U_3 + 3U_5 - 4U_7) \\ U_2 &= 8(U_3 - 4U_5 + 10U_7) \\ U_4 &= 32(U_5 - 6U_7) \\ U_6 &= 128U_7 \\ V_1 &= 3n/2 - 27n^3/32 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_3 &= 21 n^2 / 16 - 55 n^4 / 32 \\
 V_5 &= 151 n^3 / 96 \\
 V_7 &= 1097 n^4 / 512 \\
 V_0 &= 2 (V_1 - 2 V_3 + 3 V_5 - 4 V_7) \\
 V_2 &= 8 (V_3 - 4 V_5 + 10 V_7) \\
 V_4 &= 32 (V_5 - 6 V_7) \\
 V_6 &= 128 V_7
 \end{aligned}$$

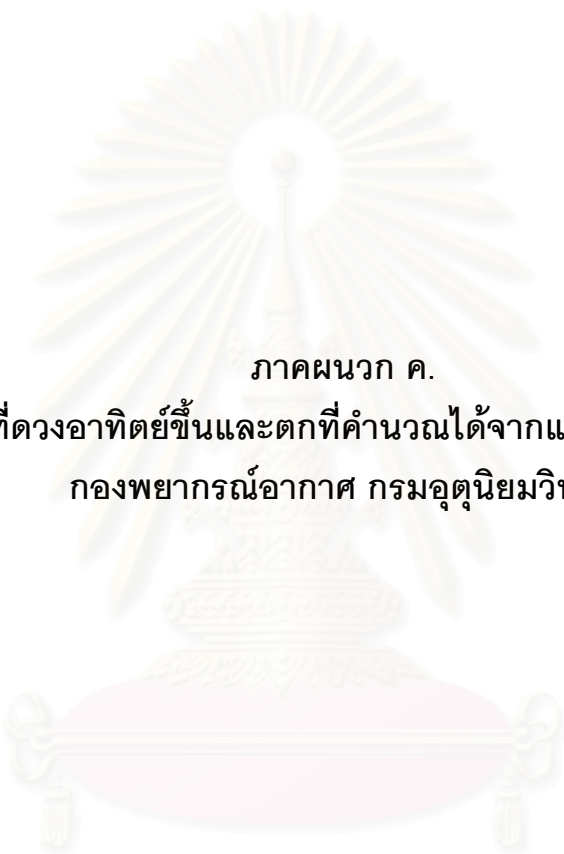
- การคำนวณค่าละติจูด (Φ)

$$\begin{aligned}
 \omega &= (N + S_0) / (K_0 r) && (S_0 = 0 \text{ สำหรับซีกโลกเหนือ}) \\
 \Phi_1 &= \omega + \sin \omega \cos \omega (V_0 + V_2 \cos^2 \omega + V_4 \cos^4 \omega + V_6 \cos^6 \omega) \\
 R_1 &= K_0 a / (1 - e^2 \sin^2 \Phi_1)^{1/2} \\
 Q &= E' / R_1 && \text{โดยที่ } E' = |E - E_0| \\
 B_2 &= -t_1(1 + \eta_1^2) / 2 && \text{โดยที่ } t_1 = \tan \Phi_1 \text{ และ } \eta_1^2 = e'^2 \cos^2 \Phi_1 \\
 B_4 &= -[5 + 3t_1^2 + \eta_1^2(1 - 9t_1^2) - 4\eta_1^4] / 12 \\
 B_6 &= [61 + 90t_1^2 + 45t_1^4 + \eta_1^2(46 - 252t_1^2 - 90t_1^4)] / 360 \\
 \Phi &= \Phi_1 + B_2 Q^2 [1 + Q^2(B_4 + B_6 Q^2)] && \dots\dots\dots(ข1)
 \end{aligned}$$

- การคำนวณค่าเมริเดียน (λ)

$$\begin{aligned}
 B_3 &= -[1 + 2t_1^2 + \eta_1^2] / 6 \\
 B_5 &= [5 + 28t_1^2 + 24t_1^4 + \eta_1^2(6 + 8t_1^2)] / 120 \\
 B_7 &= -(61 + 662t_1^2 + 1320t_1^4 + 720t_1^6) / 5040 \\
 L &= Q [1 + Q^2(B_3 + Q^2(B_5 + B_7 Q^2))] \\
 \lambda &= \lambda_0 \pm L / \cos \Phi_1 && (+ \text{ เมื่ออยู่ทางตะวันออกของโซน}) && \dots\dots\dots(ข2)
 \end{aligned}$$

โดยที่ λ_0 คือ Central Meridian ของโซน



ภาคผนวก ค.
เวลาที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและตกที่คำนวณได้จากแบบจำลองของ
กองพยากรณ์อากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AMNAT CHAROEN E 104° 39'00", N 15° 51'00"

Sun Rise and Set for 2002

Meteorological Department
Bangkok, Thailand

Day	Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May.		Jun.		Jul.		Aug.		Sep.		Oct.		Nov.		Dec.	
	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set
	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	0629	1741	0631	1759	0619	1809	0557	1814	0538	1820	0529	1829	0533	1837	0543	1833	0548	1814	0551	1751	0558	1732	0612	1728
2	0629	1742	0631	1759	0619	1809	0556	1814	0537	1820	0529	1830	0534	1837	0543	1832	0549	1814	0551	1750	0558	1731	0613	1728
3	0629	1742	0631	1800	0618	1809	0556	1814	0537	1820	0529	1830	0534	1837	0543	1832	0549	1813	0552	1749	0559	1731	0614	1728
4	0630	1743	0631	1800	0617	1809	0555	1814	0536	1820	0529	1830	0534	1837	0544	1831	0549	1812	0552	1749	0559	1731	0614	1729
5	0630	1743	0630	1800	0617	1810	0554	1815	0536	1821	0529	1831	0535	1837	0544	1831	0549	1811	0552	1748	0600	1730	0615	1729
6	0630	1744	0630	1801	0616	1810	0553	1815	0535	1821	0529	1831	0535	1837	0544	1830	0549	1811	0552	1747	0600	1730	0615	1729
7	0631	1745	0630	1801	0615	1810	0553	1815	0535	1821	0529	1831	0535	1837	0544	1830	0549	1810	0552	1746	0600	1730	0616	1729
8	0631	1745	0630	1802	0615	1810	0552	1815	0534	1822	0529	1832	0536	1837	0545	1829	0549	1809	0552	1746	0601	1729	0616	1730
9	0631	1746	0629	1802	0614	1810	0551	1815	0534	1822	0529	1832	0536	1837	0545	1829	0549	1808	0552	1745	0601	1729	0617	1730
10	0631	1746	0629	1803	0613	1811	0550	1815	0534	1822	0529	1832	0536	1837	0545	1828	0549	1807	0553	1744	0602	1729	0618	1730
11	0632	1747	0628	1803	0613	1811	0550	1816	0533	1822	0529	1833	0536	1837	0545	1828	0549	1807	0553	1744	0602	1729	0618	1731
12	0632	1748	0628	1803	0612	1811	0549	1816	0533	1823	0529	1833	0537	1837	0545	1827	0550	1806	0553	1743	0602	1728	0619	1731
13	0632	1748	0628	1804	0611	1811	0548	1816	0533	1823	0530	1833	0537	1837	0546	1827	0550	1805	0553	1742	0603	1728	0619	1731
14	0632	1749	0627	1804	0610	1811	0548	1816	0532	1823	0530	1833	0537	1837	0546	1826	0550	1804	0553	1742	0603	1728	0620	1732
15	0632	1749	0627	1804	0610	1811	0547	1816	0532	1824	0530	1834	0538	1837	0546	1826	0550	1804	0553	1741	0604	1728	0620	1732
16	0632	1750	0626	1805	0609	1812	0546	1816	0532	1824	0530	1834	0538	1837	0546	1825	0550	1803	0554	1740	0604	1728	0621	1733
17	0632	1751	0626	1805	0608	1812	0546	1817	0531	1824	0530	1834	0538	1837	0546	1825	0550	1802	0554	1740	0605	1728	0622	1733
18	0632	1751	0625	1806	0607	1812	0545	1817	0531	1825	0530	1834	0539	1836	0547	1824	0550	1801	0554	1739	0605	1727	0622	1734
19	0633	1752	0625	1806	0607	1812	0544	1817	0531	1825	0531	1835	0539	1836	0547	1823	0550	1800	0554	1738	0606	1727	0623	1734
20	0633	1752	0624	1806	0606	1812	0544	1817	0531	1825	0531	1835	0539	1836	0547	1823	0550	1800	0555	1738	0606	1727	0623	1734
21	0633	1753	0624	1806	0605	1812	0543	1817	0530	1826	0531	1835	0540	1836	0547	1822	0550	1759	0555	1737	0607	1727	0624	1735
22	0633	1753	0623	1807	0605	1813	0543	1818	0530	1826	0531	1835	0540	1836	0547	1821	0550	1758	0555	1737	0607	1727	0624	1735
23	0633	1754	0623	1807	0604	1813	0542	1818	0530	1826	0531	1836	0540	1835	0547	1821	0550	1757	0555	1736	0608	1727	0625	1736
24	0632	1754	0622	1807	0603	1813	0541	1818	0530	1827	0532	1836	0541	1835	0547	1820	0551	1756	0556	1736	0609	1727	0625	1736
25	0632	1755	0622	1808	0602	1813	0541	1818	0530	1827	0532	1836	0541	1835	0548	1819	0551	1756	0556	1735	0609	1727	0626	1737
26	0632	1756	0621	1808	0602	1813	0540	1818	0530	1827	0532	1836	0541	1835	0548	1819	0551	1755	0556	1735	0610	1727	0626	1738
27	0632	1756	0620	1808	0601	1813	0540	1819	0529	1828	0532	1836	0541	1834	0548	1818	0551	1754	0556	1734	0610	1728	0626	1738
28	0632	1757	0620	1808	0600	1813	0539	1819	0529	1828	0533	1836	0542	1834	0548	1817	0551	1753	0557	1734	0611	1728	0627	1739
29	0632	1757			0559	1814	0539	1819	0529	1828	0533	1837	0542	1834	0548	1817	0551	1752	0557	1733	0611	1728	0627	1739
30	0632	1758			0559	1814	0538	1819	0529	1829	0533	1837	0542	1833	0548	1816	0551	1752	0557	1733	0612	1728	0628	1740
31	0632	1758			0558	1814			0529	1829			0543	1833	0548	1815			0558	1732			0628	1740

Technical Support-Subdivision
Weather Forecast Division

Dr. Dusadee Sukawat
Chief of Sub-division

Prepared by
Sugunyane Yavinchan

Meteorological Department
Bangkok, Thailand

CHIANG MAI E 98° 59'00", N 18° 47'00"

Sun Rise and Set for 2002

Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Day	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m		
1	0657	1758	0658	1817	0644	1830	0619	1838	0557	1846	0546	1857	0550	1905	0601	1859	0609	1839	0615	1813	0624	1751	0640	1746
2	0657	1759	0658	1818	0643	1830	0618	1838	0556	1846	0546	1858	0551	1905	0601	1859	0609	1838	0615	1812	0624	1751	0641	1746
3	0657	1759	0657	1818	0642	1830	0617	1838	0556	1847	0546	1858	0551	1905	0602	1859	0610	1837	0615	1811	0625	1750	0641	1746
4	0658	1800	0657	1819	0641	1831	0616	1838	0555	1847	0546	1858	0551	1905	0602	1858	0610	1836	0615	1810	0625	1750	0642	1746
5	0658	1801	0657	1820	0641	1831	0615	1839	0555	1847	0546	1859	0552	1905	0602	1858	0610	1836	0615	1810	0626	1749	0643	1746
6	0658	1801	0656	1820	0640	1831	0615	1839	0554	1848	0546	1859	0552	1905	0603	1857	0610	1835	0616	1809	0626	1749	0643	1746
7	0659	1802	0656	1821	0639	1832	0614	1839	0554	1848	0546	1900	0552	1905	0603	1856	0610	1834	0616	1808	0627	1749	0644	1747
8	0659	1803	0656	1821	0638	1832	0613	1839	0553	1848	0546	1900	0553	1905	0603	1856	0610	1833	0616	1807	0627	1748	0645	1747
9	0659	1803	0655	1822	0638	1832	0612	1840	0553	1849	0546	1900	0553	1905	0604	1855	0611	1832	0616	1806	0628	1748	0645	1747
10	0659	1804	0655	1822	0637	1832	0611	1840	0552	1849	0546	1901	0553	1905	0604	1855	0611	1831	0617	1806	0628	1748	0646	1748
11	0659	1805	0654	1822	0636	1833	0611	1840	0552	1849	0546	1901	0554	1905	0604	1854	0611	1830	0617	1805	0629	1747	0646	1748
12	0659	1805	0654	1823	0635	1833	0610	1840	0551	1850	0547	1901	0554	1905	0605	1854	0611	1830	0617	1804	0629	1747	0647	1748
13	0700	1806	0653	1823	0634	1833	0609	1841	0551	1850	0547	1901	0555	1905	0605	1853	0611	1829	0617	1803	0630	1747	0647	1749
14	0700	1806	0653	1824	0634	1833	0608	1841	0550	1850	0547	1902	0555	1905	0605	1852	0612	1828	0618	1802	0630	1746	0648	1749
15	0700	1807	0652	1824	0633	1834	0607	1841	0550	1851	0547	1902	0555	1905	0605	1852	0612	1827	0618	1802	0631	1746	0649	1749
16	0700	1808	0652	1825	0632	1834	0607	1841	0550	1851	0547	1902	0556	1904	0606	1851	0612	1826	0618	1801	0631	1746	0649	1750
17	0700	1808	0651	1825	0631	1834	0606	1842	0549	1852	0547	1903	0556	1904	0606	1850	0612	1825	0619	1800	0632	1746	0650	1750
18	0700	1809	0651	1826	0630	1834	0605	1842	0549	1852	0547	1903	0556	1904	0606	1850	0612	1824	0619	1800	0632	1746	0650	1751
19	0700	1810	0650	1826	0630	1835	0605	1842	0549	1852	0548	1903	0557	1904	0606	1849	0612	1823	0619	1759	0633	1746	0651	1751
20	0700	1810	0650	1826	0629	1835	0604	1843	0549	1853	0548	1903	0557	1904	0607	1848	0613	1823	0619	1758	0634	1745	0651	1752
21	0700	1811	0649	1827	0628	1835	0603	1843	0548	1853	0548	1904	0557	1903	0607	1848	0613	1822	0620	1758	0634	1745	0652	1752
22	0700	1811	0648	1827	0627	1835	0602	1843	0548	1854	0548	1904	0558	1903	0607	1847	0613	1821	0620	1757	0635	1745	0652	1753
23	0700	1812	0648	1828	0626	1836	0602	1843	0548	1854	0548	1904	0558	1903	0607	1846	0613	1820	0620	1756	0635	1745	0653	1753
24	0700	1813	0647	1828	0625	1836	0601	1844	0548	1854	0549	1904	0558	1903	0608	1845	0613	1819	0621	1756	0636	1745	0653	1754
25	0700	1813	0646	1828	0624	1836	0600	1844	0547	1855	0549	1904	0559	1902	0608	1845	0613	1818	0621	1755	0637	1745	0654	1754
26	0659	1814	0646	1829	0624	1836	0600	1844	0547	1855	0549	1904	0559	1902	0608	1844	0614	1817	0622	1754	0637	1745	0654	1755
27	0659	1815	0645	1829	0623	1837	0559	1845	0547	1855	0549	1905	0559	1901	0608	1843	0614	1816	0622	1754	0638	1745	0655	1755
28	0659	1815	0644	1829	0622	1837	0559	1845	0547	1855	0550	1905	0600	1901	0608	1842	0614	1815	0622	1753	0638	1745	0655	1756
29	0659	1816			0621	1837	0558	1845	0547	1856	0550	1905	0600	1901	0609	1841	0614	1815	0623	1753	0639	1745	0656	1756
30	0659	1816			0620	1837	0557	1846	0547	1857	0550	1905	0600	1900	0609	1841	0614	1814	0623	1752	0640	1745	0656	1757
31	0658	1817			0619	1838			0546	1857			0601	1900	0609	1840			0624	1752			0656	1758

Technical Support-Subdivision
Weather Forecast Division

Dr. Dusadee Sukawat
Chief of Sub-division

PHUKET E 98° 24'00", N 7° 53'00"

Sun Rise and Set for 2002

Meteorological Department
Bangkok, Thailand

Day	Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May.		Jun.		Jul.		Aug.		Sep.		Oct.		Nov.		Dec.	
	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m	Rise h m	Set h m
1	0640	1820	0646	1834	0640	1838	0625	1836	0612	1836	0608	1841	0613	1847	0619	1847	0619	1834	0615	1818	0615	1805	0624	1806
2	0640	1821	0646	1834	0639	1838	0624	1836	0611	1836	0608	1841	0613	1848	0619	1846	0618	1834	0614	1817	0615	1805	0625	1807
3	0640	1821	0646	1834	0639	1838	0624	1836	0611	1836	0608	1841	0613	1848	0619	1846	0618	1833	0614	1817	0615	1805	0625	1807
4	0641	1822	0646	1835	0639	1838	0623	1836	0611	1836	0608	1841	0614	1848	0619	1846	0618	1833	0614	1816	0615	1805	0626	1807

5	0641	1822	0646	1835	0638	1838	0623	1836	0610	1836	0608	1842	0614	1848	0619	1846	0618	1832	0614	1816	0615	1805	0626	1808
6	0642	1823	0646	1835	0638	1838	0622	1836	0610	1836	0608	1842	0614	1848	0619	1845	0618	1832	0614	1815	0616	1804	0627	1808
7	0642	1823	0646	1835	0637	1838	0622	1836	0610	1836	0608	1842	0614	1848	0619	1845	0618	1831	0614	1815	0616	1804	0627	1808
8	0642	1824	0646	1836	0637	1838	0621	1836	0610	1836	0608	1842	0615	1848	0619	1845	0618	1831	0614	1814	0616	1804	0628	1809
9	0643	1824	0645	1836	0636	1838	0621	1836	0609	1836	0608	1843	0615	1848	0619	1844	0618	1830	0614	1814	0616	1804	0628	1809
10	0643	1825	0645	1836	0636	1838	0620	1836	0609	1836	0609	1843	0615	1848	0619	1844	0617	1830	0614	1813	0616	1804	0629	1809
11	0643	1825	0645	1836	0635	1838	0620	1836	0609	1837	0609	1843	0615	1848	0619	1844	0617	1829	0614	1813	0617	1804	0629	1810
12	0644	1826	0645	1836	0635	1838	0619	1835	0609	1837	0609	1843	0615	1848	0620	1843	0617	1828	0614	1812	0617	1804	0630	1810
13	0644	1826	0645	1837	0634	1838	0619	1835	0609	1837	0609	1844	0616	1848	0620	1843	0617	1828	0614	1812	0617	1804	0630	1811
14	0644	1827	0645	1837	0634	1838	0618	1835	0609	1837	0609	1844	0616	1848	0620	1843	0617	1827	0614	1811	0618	1804	0631	1811
15	0644	1827	0644	1837	0633	1838	0618	1835	0608	1837	0609	1844	0616	1848	0620	1842	0617	1827	0614	1811	0618	1804	0631	1811
16	0645	1828	0644	1837	0633	1838	0617	1835	0608	1837	0610	1844	0616	1848	0620	1842	0617	1826	0614	1810	0618	1804	0632	1812
17	0645	1828	0644	1837	0632	1837	0617	1835	0608	1837	0610	1845	0617	1848	0620	1841	0616	1826	0614	1810	0619	1804	0632	1812
18	0645	1829	0644	1837	0632	1837	0616	1835	0608	1838	0610	1845	0617	1848	0620	1841	0616	1825	0614	1810	0619	1804	0633	1813
19	0645	1829	0643	1837	0631	1837	0616	1835	0608	1838	0610	1845	0617	1848	0619	1841	0616	1824	0614	1809	0619	1804	0633	1813
20	0645	1829	0643	1837	0631	1837	0616	1835	0608	1838	0610	1845	0617	1848	0619	1840	0616	1824	0614	1809	0620	1804	0634	1814
21	0646	1830	0643	1838	0630	1837	0615	1835	0608	1838	0611	1846	0617	1848	0619	1840	0616	1823	0614	1808	0620	1804	0634	1814
22	0646	1830	0642	1838	0630	1837	0615	1835	0608	1838	0611	1846	0617	1848	0619	1839	0616	1823	0614	1808	0620	1804	0635	1815
23	0646	1831	0642	1838	0629	1837	0614	1835	0608	1839	0611	1846	0618	1848	0619	1839	0616	1822	0614	1808	0621	1805	0635	1815
24	0646	1831	0642	1838	0629	1837	0614	1835	0608	1839	0611	1846	0618	1848	0619	1838	0615	1822	0614	1807	0621	1805	0636	1816
25	0646	1831	0641	1838	0628	1837	0614	1835	0608	1839	0611	1846	0618	1848	0619	1838	0615	1821	0614	1807	0622	1805	0636	1816
26	0646	1832	0641	1838	0628	1837	0613	1835	0608	1839	0612	1847	0618	1848	0619	1837	0615	1820	0614	1807	0622	1805	0637	1817
27	0646	1832	0641	1838	0627	1837	0613	1835	0608	1839	0612	1847	0618	1847	0619	1837	0615	1820	0614	1807	0622	1805	0637	1817
28	0646	1832	0640	1838	0627	1837	0613	1835	0608	1840	0612	1847	0618	1847	0619	1836	0615	1819	0614	1806	0623	1806	0638	1818
29	0646	1833			0626	1836	0612	1835	0608	1840	0612	1847	0619	1847	0619	1836	0615	1819	0614	1806	0623	1806	0638	1818
30	0646	1833			0626	1836	0612	1835	0608	1840	0613	1847	0619	1847	0619	1835	0615	1818	0614	1806	0624	1806	0639	1819
31	0646	1833			0625	1836			0608	1840			0619	1847	0619	1835			0614	1806			0639	1819

Technical Support-Subdivision
Weather Forecast Division

Prepared by
Sugunyane Yavinchan
PHUKET AIRPORT E 98° 19'00", N 8° 09'00"

Dr. Dusadee Sukawat
Chief of Sub-division
Meteorological Department
Bangkok, Thailand

Sun Rise and Set for 2002

Day	Jan.		Feb.		Mar.		Apr.		May.		Jun.		Jul.		Aug.		Sep.		Oct.		Nov.		Dec.	
	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set	Rise	Set
	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m	h m
1	0640	1820	0647	1834	0640	1838	0625	1837	0612	1836	0608	1841	0613	1848	0619	1847	0619	1835	0615	1818	0615	1805	0625	1806
2	0641	1821	0647	1834	0640	1838	0624	1837	0611	1836	0608	1842	0613	1848	0619	1847	0619	1834	0615	1817	0615	1805	0625	1806
3	0641	1821	0647	1834	0639	1838	0624	1836	0611	1836	0608	1842	0613	1848	0619	1847	0618	1834	0615	1817	0616	1805	0626	1807
4	0642	1822	0647	1835	0639	1838	0623	1836	0611	1836	0608	1842	0613	1849	0619	1847	0618	1833	0615	1816	0616	1805	0626	1807
5	0642	1822	0647	1835	0639	1838	0623	1836	0610	1836	0608	1842	0614	1849	0619	1846	0618	1833	0615	1816	0616	1805	0627	1807
6	0642	1823	0647	1835	0638	1838	0622	1836	0610	1837	0608	1843	0614	1849	0619	1846	0618	1832	0615	1815	0616	1804	0627	1808
7	0643	1823	0646	1835	0638	1838	0622	1836	0610	1837	0608	1843	0614	1849	0619	1846	0618	1832	0614	1815	0616	1804	0628	1808
8	0643	1824	0646	1836	0637	1838	0621	1836	0610	1837	0608	1843	0614	1849	0619	1845	0618	1831	0614	1814	0617	1804	0628	1808
9	0643	1824	0646	1836	0637	1838	0621	1836	0609	1837	0608	1843	0615	1849	0619	1845	0618	1831	0614	1814	0617	1804	0629	1809
10	0644	1825	0646	1836	0636	1838	0620	1836	0609	1837	0608	1844	0615	1849	0619	1845	0618	1830	0614	1813	0617	1804	0629	1809

11	0644	1825	0646	1836	0636	1838	0620	1836	0609	1837	0609	1844	0615	1849	0620	1844	0618	1829	0614	1813	0617	1804	0630	1810
12	0644	1826	0646	1836	0635	1838	0619	1836	0609	1837	0609	1844	0615	1849	0620	1844	0617	1829	0614	1812	0618	1804	0630	1810
13	0645	1826	0645	1837	0635	1838	0619	1836	0609	1838	0609	1844	0616	1849	0620	1844	0617	1828	0614	1812	0618	1804	0631	1810
14	0645	1827	0645	1837	0634	1838	0618	1836	0609	1838	0609	1845	0616	1849	0620	1843	0617	1828	0614	1811	0618	1804	0631	1811
15	0645	1827	0645	1837	0634	1838	0618	1836	0608	1838	0609	1845	0616	1849	0620	1843	0617	1827	0614	1811	0619	1804	0632	1811
16	0645	1828	0645	1837	0633	1838	0618	1836	0608	1838	0609	1845	0616	1849	0620	1842	0617	1827	0614	1811	0619	1804	0633	1812
17	0646	1828	0644	1837	0633	1838	0617	1836	0608	1838	0610	1845	0616	1849	0620	1842	0617	1826	0614	1810	0619	1804	0633	1812
18	0646	1828	0644	1837	0632	1838	0617	1836	0608	1838	0610	1846	0617	1849	0620	1842	0617	1825	0614	1810	0620	1804	0634	1813
19	0646	1829	0644	1837	0632	1838	0616	1836	0608	1839	0610	1846	0617	1849	0620	1841	0616	1825	0614	1809	0620	1804	0634	1813
20	0646	1829	0644	1838	0631	1838	0616	1836	0608	1839	0610	1846	0617	1849	0620	1841	0616	1824	0614	1809	0620	1804	0635	1814
21	0646	1830	0643	1838	0631	1837	0615	1836	0608	1839	0610	1846	0617	1849	0619	1840	0616	1824	0614	1809	0621	1804	0635	1814
22	0646	1830	0643	1838	0630	1837	0615	1836	0608	1839	0611	1847	0617	1849	0619	1840	0616	1823	0614	1808	0621	1804	0636	1815
23	0647	1831	0643	1838	0630	1837	0615	1836	0608	1839	0611	1847	0618	1849	0619	1839	0616	1822	0614	1808	0621	1805	0636	1815
24	0647	1831	0642	1838	0629	1837	0614	1836	0607	1840	0611	1847	0618	1849	0619	1839	0616	1822	0614	1808	0622	1805	0637	1816
25	0647	1831	0642	1838	0629	1837	0614	1836	0607	1840	0611	1847	0618	1849	0619	1838	0616	1821	0614	1807	0622	1805	0637	1816
26	0647	1832	0641	1838	0628	1837	0613	1836	0607	1840	0612	1847	0618	1848	0619	1838	0616	1821	0615	1807	0623	1805	0638	1817
27	0647	1832	0641	1838	0628	1837	0613	1836	0607	1840	0612	1848	0618	1848	0619	1838	0615	1820	0615	1807	0623	1805	0638	1817
28	0647	1832	0641	1838	0627	1837	0613	1836	0607	1840	0612	1848	0618	1848	0619	1837	0615	1820	0615	1806	0624	1805	0638	1818
29	0647	1833			0626	1837	0612	1836	0607	1841	0612	1848	0618	1848	0619	1836	0615	1819	0615	1806	0624	1806	0639	1818
30	0647	1833			0626	1837	0612	1836	0607	1841	0613	1848	0619	1848	0619	1836	0615	1819	0615	1806	0625	1806	0639	1819
31	0647	1833			0625	1837			0607	1841			0619	1847	0619	1835			0615	1806			0640	1819

Prepared by
Sugunyanee Yavinchan

Technical Support-Subdivision
Weather Forecast Division

Dr. Dusadee Sukawat
Chief of Sub-division

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง.

วิธีการใช้โปรแกรม

1. การติดตั้งโปรแกรมลงบนคอมพิวเตอร์

1.1 System Requirement

1.1.1 Hardware

- คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วของ CPU ไม่น้อยกว่า 500 MHz
- RAM ไม่น้อยกว่า 128 MB

1.1.2 Software

- ระบบปฏิบัติการ Windows 98
- Arcview GIS Version 3.1
- Spatial Analyst Version 1.0

1.2 การติดตั้งโปรแกรม

- Double Click ที่ Folder ของ Sunshine Duration Map จะพบ Setup Folder
- ภายใน Setup Folder จะพบ Setup.exe ให้ Double Click เพื่อทำการติดตั้งโปรแกรม และทำตามคำแนะนำการติดตั้ง
- เมื่อติดตั้งโปรแกรมเสร็จเรียบร้อย ให้ทำการ Copy File ที่ชื่อ sun.avx ไปที่ C:/ESRI/AV_GIS30/ARCVIEW/EXT32

2. การใช้งานจากโปรแกรม

2.1 การเรียกโปรแกรมขึ้นมาใช้งาน

- เปิด Arcview GIS
- ทำการเลือก File → Extension → Sun Almanac
- เมื่อเปิด View Document จะปรากฏปุ่มรูปดวงอาทิตย์อยู่บน Tool Bar
- เปิด Theme ที่เป็น Grid Data Source ของแบบจำลองพื้นที่ให้อยู่ใน View Document และทำให้เป็น Active Theme
- เมื่อกดปุ่มรูปดวงอาทิตย์บน Tool Bar จะปรากฏหน้าต่างของ Sun Almanac ขึ้นมา

2.1 วิธีกรใช้โปรแกรม

- จากหน้าต่างของ Sun Almanac จะแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนย่อยๆ ได้แก่
 - a) การแปลงค่าพิกัดฉาก
 - b) การคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์
 - c) ระยะเวลาการมองเห็นของดวงอาทิตย์ของ Pixel ที่ต้องการ
 - d) การสร้างแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลอง
- การแปลงค่าพิกัดฉาก เป็นการแปลงค่าพิกัดฉาก (N, E) ให้เป็นค่าพิกัดฉากภูมิศาสตร์ (Φ, λ) ซึ่งสามารถทำได้โดย ป้อนค่า Northing และ Easting ลงในช่อง N และ E ตามลำดับ เลือก UTM Zone ให้ถูกต้อง จากนั้น กดปุ่ม Coordinate Transformation จะได้ค่าของพิกัดภูมิศาสตร์ Latitude Φ และ Longitude λ ในรูป ddd.mm.ss
- การคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ สามารถทำได้โดย ป้อนค่าพิกัดฉากภูมิศาสตร์ ลงในช่อง Latitude และ Longitude ในรูป ddd.mm.ss เลือก วัน เดือน ปี และเวลาที่ ต้องการพิจารณา รวมถึง UTM Zone และเขตเวลาให้ถูกต้อง จากนั้น กดปุ่ม Calculation จะได้ผลลัพธ์ คือ มุมสูง (Altitude), แอซิมัท (Azimuth), เดคลิเนชัน (Declination), สมการเวลา (Equation of Time) รวมทั้งมุมชั่วโมง (Hour Angle) ของดวงอาทิตย์ ณ ขณะเวลาที่เลือกทำการพิจารณา นอกจากนี้ยังแสดงผลลัพธ์ของเวลาขึ้น (Time of Sunrise) และตก (Time of Sunset) รวมถึงเวลาที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นขอบฟ้า (Time above Horizon) ของวันที่เลือกทำการพิจารณาด้วย
- ระยะเวลาการมองเห็นของดวงอาทิตย์ของ Pixel ที่ต้องการ สามารถทำได้โดยทำการเลือกวัน เดือน ปี ที่ต้องการพิจารณา (จะสังเกตได้ว่า ปุ่มที่อยู่ทางด้านซ้ายล่างของหน้าต่าง Sun Almanac จะมีวัน เดือน ปี ปรากฏอยู่เหมือนกับวันที่เลือกพิจารณา) เลือก UTM Zone และเขตเวลาให้ถูกต้อง จากนั้นทำการพิจารณาเลือกค่าของช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณา (Time Interval) ว่าต้องการพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์ทุกๆกี่นาที รวมถึงการพิจารณาเลือกค่า d ซึ่งเป็นระยะที่ใช้ในการเลือก Pixel บนแบบจำลองมาทำการพิจารณาการมองเห็น (ข้อแนะนำ – ถ้าเลือกค่า d มากเกินไป จะทำให้มีบาง Pixel ไม่ถูกนำมาพิจารณาการมองเห็นดวงอาทิตย์) เมื่อทำการกดปุ่ม (วัน เดือน ปี) จะแสดงค่าของระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ในวันที่เลือกพิจารณา (สามารถกดปุ่ม Sun Chart เพื่อเรียกดูกราฟระหว่างมุมสูงของดวงอาทิตย์กับเวลา เพื่อพิจารณาว่าเวลาใดมองเห็นดวงอาทิตย์ได้บ้าง โดยแสดงด้วยเส้นกราฟสีแดง)
- ถ้าต้องการทราบระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ทั้งหมดใน 1 เดือน สามารถทำได้ โดยกดปุ่ม (เดือน ปี) จะแสดงค่าของระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ทั้งหมดในเดือนที่เลือกพิจารณา (สามารถกดปุ่ม Daily Graph เพื่อแสดงกราฟแท่งระหว่างระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ใน 1 วันกับวันที่ใน 1 เดือนได้)

- ถ้าต้องการทราบระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ทั้งหมดใน 1 ปี สามารถทำได้โดยกดปุ่ม (ปี) จะแสดงค่าของระยะเวลาการมองเห็นดวงอาทิตย์ทั้งหมดในปีที่เลือกพิจารณา (สามารถกดปุ่ม Daily Graph เพื่อแสดงกราฟแท่งระหว่างระยะเวลาที่มองเห็นดวงอาทิตย์ใน 1 วันกับวันที่ใน 1 ปี และยังสามารถกดปุ่ม Monthly Graph เพื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของการมองเห็นดวงอาทิตย์ของ Pixel ในแต่ละเดือนได้อีกด้วย)
- การสร้างแผนที่ความยาวนานแสงแดดของแบบจำลอง สามารถทำได้โดยทำการเลือกวัน เดือน ปี ที่ต้องการพิจารณา เลือก UTM Zone และเขตเวลาให้ถูกต้อง จากนั้นทำการเลือกค่าของช่วงเวลาที่ใช้ในการพิจารณา (Time Interval) รวมถึงการพิจารณาเลือกค่า d กดปุ่ม Create Sunshine Duration Map เพื่อให้โปรแกรมทำการประมวลผล เมื่อประมวลผลเสร็จแล้วกดปุ่ม Add to View จะปรากฏแผนที่ความยาวนานแสงแดดขึ้นบน View Document



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายอภิวัชร ธรรมศิริ เกิดเมื่อวันที่ 27 สิงหาคม พ.ศ. 2511 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2534 และเข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย