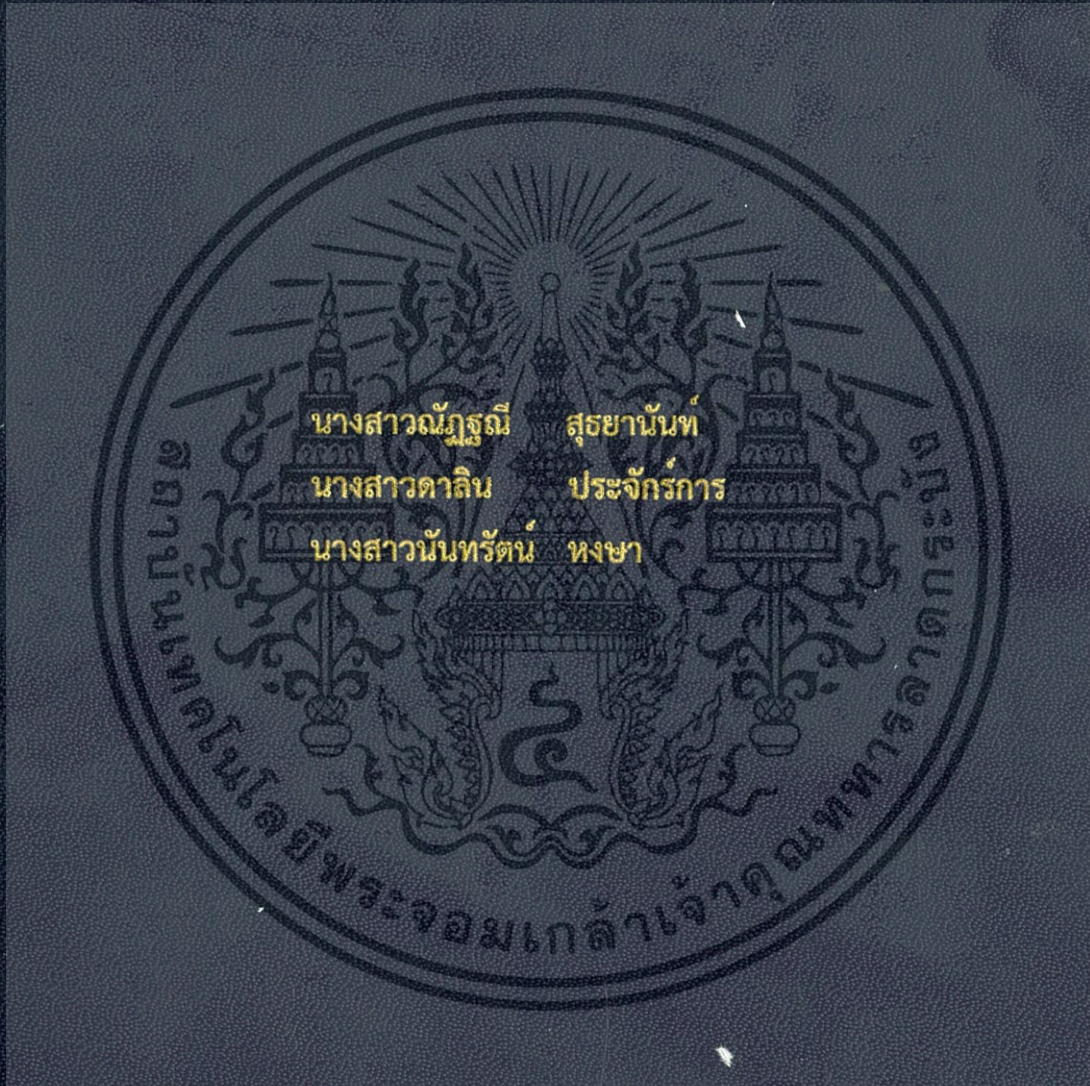


วิธีการหา ANALEMMA CURVE ของการวัดมุมการติดตามดวงอาทิตย์
ANALEMMA CURVE METHOD FOR THE SOLAR TRACING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

วิธีการหา ANALEMMA CURVE ของการวัดมุมการติดตามดวงอาทิตย์
ANALEMMA CURVE METHOD FOR THE SOLAR TRACING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของภาคศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และข้อมูลซ้ำเติมเนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

ANALEMMA CURVE METHOD FOR THE SOLAR TRACING



MISS NATTANEE SUTHAYANAN
MISS DALIN PRAJAKKAN
MISS NANTHARAT HONGSA

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN APPLIED PHYSICS

DEPARTMENT OF PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเป็นต้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	วิธีการหา ANALEMMA CURVE ของการวัดมุมการติดตามดวงอาทิตย์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐณี สุธยานันท์	รหัสนักศึกษา	54050515
	นางสาวดาลิน ประจักษ์การ	รหัสนักศึกษา	54050523
	นางสาวนันท์รัตน์ หงษา	รหัสนักศึกษา	54050544
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม		

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยเรื่องวิธีการหา ANALEMMA CURVE ของการวัดมุมการติดตามดวงอาทิตย์ จะทำการหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยการสร้างเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์และทำการวิเคราะห์ผลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของโลกและดวงอาทิตย์ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานกับระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยทำการบันทึกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อีกทั้งคำนวณตำแหน่งอัลติจูดและอะซิมุทของดวงอาทิตย์ โดยใช้สมการของ National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) เพื่อเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าที่ได้จากการวัดจริงจากเครื่องมือ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาวิเคราะห์กับกราฟอะนาเลมมา เพื่อบอกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละปี

คำสำคัญ : กราฟอะนาเลมมา, มุมอัลติจูด, มุมอะซิมุท, สมการเวลา, มุมเดคลิเนชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title ANALEMMA CURVE METHOD FOR THE SOLAR TRACING
Students Miss Nattanee Suthayanan Student ID 54050515
Miss Dalin Prajakkan Student ID 54050523
Miss Nantarut Hongsa Student ID 54050544
Degree Bachelor of Science in Applied Physics
Department Physics
Academic Year 2014
Advisor Assoc. Prof. Sarai Lekchaum

ABSTRACT

In this research is to study the solar tracking by fitting ANALEMMA CURVE method. The measuring instrument is produced for tracking the solar movement and analyzing the sun and the earth relationship. In this worth, we recorded solar position at KMITL during 2-15 May 2015. Furthermore, calculating Altitude angle and Azimuth angle of the sun by using equation of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and compared data with instrument. Moreover, the calculating data can be used as the sun forecast analysis.

Keyword : ANALEMMA graph, Altitude angle, Azimuth angle, Equation of time, Declination angle.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่าน ผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผศ.สาทร่าย เล็กชะอุม เป็นอย่างสูงที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำและให้ความช่วยเหลือในทุกสิ่ง

ขอขอบคุณนายกิตติพิศ เจียรวัฒนานุกุล นายคณิงชาติ แสนยศ ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือในเรื่องขององค์ความรู้ วิธีการ วัสดุอุปกรณ์ ตลอดจนการดำเนินงานต่างๆในการทำงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยสนับสนุนเงินงบประมาณ ตลอดจนการดูแลเอาใจใส่ให้คำปรึกษาในรายละเอียดของการดำเนินโครงการพิเศษจนสำเร็จลุล่วงด้วยดีเสมอมา

ขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ในห้องวิจัยเดียวกันทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจ ห่วงใย ช่วยเหลือและแนะนำในการทำโครงการพิเศษ

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบคุณพ่อแม่ พี่และน้อง ที่ให้คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา เป็นกำลังทรัพย์ในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้



นางสาวณัฏฐณี สุทยานันท์
นางสาวดาลิน ประจักษ์การ
นางสาวนันทรัตน์ หงษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ลักษณะทางกายภาพของดวงอาทิตย์	4
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์	5
2.3 การโคจรของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	6
2.4 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	8
2.4.1 มุมเดคลิเนชัน	9
2.4.2 มุมซัวโมง	12
2.4.3 เวลา	13
2.4.4 การวิเคราะห์สมการของมุมอะซิมุทและมุมอัลติจูด	15
2.4.5 อนุกรมมา	20
2.5 หลักการของนาฬิกาแดด	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 ออกแบบเครื่องมือวัดมุมอัลติจูดและอะซิมุท	22
3.2 สร้างเครื่องมือวัดมุมอัลติจูดและอะซิมุท	25
3.3 การเก็บค่าตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	27
3.4 การคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์	28
3.5 การสร้างกราฟและวิเคราะห์ผลค่าข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารเกี่ยวกับคำมาตรฐานการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่า **บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล** เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการ **35** ไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 ผลของการวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	35
4.1.1 มุมอัลติจูด	35
4.1.2 มุมอะซิมุท	42
4.1.3 มุมอัลติจูดและมุมอะซิมุท	48
4.2 ผลที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยสมการ NOAA	54
4.2.1 มุมเดคลิเนชัน	54
4.2.2 สมการเวลา	55
4.2.3 มุมอัลติจูด มุมอะซิมุทและมุมชั่วโมง	57
4.2.4 มุมอัลติจูด และมุมอะซิมุท	64
4.2.5 กราฟอะนาเลมมา	65
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	67
5.1 สรุปผลงานวิจัย	67
5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย	67
5.3 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k	15
3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ n, A_k และ B_k	28
3.2 แสดงตัวอย่างค่ามุมอัลติจูดแลมมุมอะซิมุทที่ได้จากการคำนวณและได้จากการวัดค่าจริงในวันที่ 15 พ.ค. 2558	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์	5
2.2 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	7
2.3 แสดงความสัมพันธ์ของทรงกลมท้องฟ้ากับโลก	8
2.4 แสดงความสัมพันธ์ของมุมอะซิมูทมุมอัลติจูด และมุมเซนิท	9
2.5 แสดงความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชัน	10
2.6 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	10
2.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันในรอบปี	12
2.8 แสดงความสัมพันธ์ของมุมชั่วโมง	12
2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมชั่วโมงใน 24 ชั่วโมง	13
2.10 แสดงความสัมพันธ์ของ Equation of time ในรอบปี	14
2.11 แสดงความสัมพันธ์ของพิกัดทิศเซนิท (Z), ทิศตะวันออก (E) และทิศเหนือ (N)	16
2.12 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์รังสีดวงอาทิตย์กับมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง	19
2.13 แสดงความสัมพันธ์ของการหมุนพิกัดจากตำแหน่งผู้สังเกตถึงจุดศูนย์กลางโลก	17
2.14 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ขนาน S และ S' ในพิกัดผิวโลกและจุดศูนย์กลางของโลก	18
2.15 กราฟอะนาเลมมา	20
2.16 นาฬิกาแดด	21
3.1 แสดงส่วนประกอบและโครงสร้างของเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	22
3.2 แสดงส่วนที่ทำให้เกิดเงาประกอบเข้ากับตัวจับของระบบฐานเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	23
3.3 แสดงฐานยึดจับกับตัววัดตุ้ที่ทำให้เกิดเงา	23
3.4 แสดงระบบฐานตั้งของเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	24
3.5 แสดงการออกแบบเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	24
3.6 แสดงอุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	25
3.7 แสดงวิธีการสร้างเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	26
3.8 การเก็บค่าตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	27
3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับวัน 365 วันของปี พ.ศ. 2558	32
3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมการเวลากับวัน 365 วันของปี พ.ศ. 2558	32
3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทดลองกับค่ามุมอัลติจูดของวันที่ 15 พ.ค.2558	33
3.12 กราฟมุมอะซิมูทกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำการทดลองและค่ามุมอะซิมูทของวันที่ 15 พ.ค.2558	33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดมุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลาของวันที่ 15 ของเดือน พฤษภาคม 2558	44
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุท วันที่ 15 ของทุกเดือนในปี 2558	45
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุท วันที่ 2-15 ของเดือน พฤษภาคม 2558	45
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับสมการเวลาของปี 2558	46
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับสมการเวลาของวันที่ 2-15 พฤษภาคม 2558	46
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 2 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	47
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 3 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	47
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 4 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	48
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 5 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	48
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 6 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	49
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 7 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	49
4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 8 ของเดือนพฤษภาคมปี	50
4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 9 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	50
4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 10 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	51
4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 11 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	51
4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 12 ของเดือนพฤษภาคมปี 2558	52
4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 15 ของ	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
เดือนพฤษภาคมปี 2558	52
4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 2 พฤษภาคม 2558	53
4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 3 พฤษภาคม 2558	53
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 4 พฤษภาคม 2558	54
4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 5 พฤษภาคม 2558	55
4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 6 พฤษภาคม 2558	56
4.39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 7 พฤษภาคม 2558	56
4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 8 พฤษภาคม 2558	57
4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 9 พฤษภาคม 2558	57
4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 10 พฤษภาคม 2558	58
4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 11 พฤษภาคม 2558	58
4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 12 พฤษภาคม 2558	59
4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองของ วันที่ 15 พฤษภาคม 2558	59
4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 2 พฤษภาคม 2558	60
4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 3 พฤษภาคม 2558	60
4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 4 พฤษภาคม 2558	61
4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
วันที่ 5 พฤษภาคม 2558	61
4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 6 พฤษภาคม 2558	62
4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 7 พฤษภาคม 2558	62
4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 8 พฤษภาคม 2558	63
4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 9 พฤษภาคม 2558	63
4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 10 พฤษภาคม 2558	64
4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 11 พฤษภาคม 2558	64
4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 12 พฤษภาคม 2558	65
4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของ วันที่ 15 พฤษภาคม 2558	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ

δ

ω

A

α

χ

ϕ

T_z

n

AST

LCT

ความหมาย

มุมเดคลิเนชัน

มุมชั่วโมง

มุมอะซิมุท

มุมอัลติจูด

ละติจูด

ลองจิจูด

เขตเวลา

วัน

เวลาสุริยคติปรากฏ

เวลาสุริยคติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนที่สำคัญต่อชีวิตมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มนุษย์ใช้พลังงานจากดวงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันหลายรูปแบบทั้งในด้านการผลิตพลังงานไฟฟ้า เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้าจากเครื่องยนต์สเตอร์จิงที่ใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนในการสันดาปภายในเครื่องยนต์ เป็นต้น และเนื่องด้วยพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่หมดไป จึงเป็นที่นิยมในการนำมาใช้ในการผลิตพลังงาน ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับตำแหน่งและเวลาขึ้นตกของดวงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งจะทำให้เราสามารถติดตามตำแหน่งการขึ้นตกของดวงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับแหล่งกำเนิดพลังงานอื่นๆได้หลากหลายมากที่สุด

ปัจจุบันมนุษย์ได้พยายามศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์เพื่อใช้ความสัมพันธ์นี้ในการติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งมีความสัมพันธ์คือ โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีโดยใช้เวลา 1 ปี ในการโคจรแล้วย้อนกลับมาที่เดิม ซึ่งดวงอาทิตย์จะอยู่ที่จุดโฟกัสหนึ่งของวงรีนี้ ขณะเดียวกันที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์โลกก็หมุนรอบตัวเองด้วยครบรอบในเวลา 1 วัน เส้นแวงของการหมุนรอบตัวเองนี้จะไม่เปลี่ยนทิศทางและชี้ไปในทิศทางเดิมในอวกาศเสมอ นอกจากนี้ระนาบของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ก็คงที่ด้วยแกนหมุนรอบตัวเอง โลกเอียงทำมุม 23.5 องศา กับระนาบของวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เรียกว่า ระนาบสุริยวิถี (Ecliptic Plane) ซึ่งก็คือระนาบเรขาคณิตที่เป็นระนาบวงโคจรของโลก เมื่อมองจากโลกระนาบสุริยวิถีจะเป็นวงกลมใหญ่บนทรงกลมฟ้าที่แทนเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปีท่ามกลางดาวฤกษ์เป็นฉากหลัง การศึกษาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ยังจำเป็นต้องรู้จักระบบพิกัดขอบฟ้า (Horizontal System) ซึ่งใช้ในการวัดตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า โดยถือเอาตัวของผู้สังเกตเป็นศูนย์กลางของทรงกลมฟ้า ระบบศูนย์สูตร (Equatorial System) และระบบสุริยวิถี (Ecliptic System) และยังจำเป็นต้องรู้รายละเอียดของตำแหน่งต่างๆของระบบเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้แก่ เส้นขอบฟ้า เส้นเมริเดียน มุมเดคลิเนชัน มุมชั่วโมง มุมอะซิมูทมุมอัลติจูด ละติจูด โดยค่ามุมอะซิมูทและมุมอัลติจูดจะใช้สมการของ Nation Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) ในการคำนวณหา ซึ่งต้องใช้ความสัมพันธ์ของ มุมเดคลิเนชัน มุมชั่วโมง เวลา และตำแหน่งละติจูดเข้ามาเกี่ยวข้องจึงจะสามารถคำนวณหาค่ามุมอะซิมูทและมุมอัลติจูดของตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้ จะเห็นได้ว่าทุกค่าตัวแปรล้วนสัมพันธ์กันในทุกเทอมของสมการ NOAA และเพื่อยืนยันการคำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ได้ สามารถใช้กราฟอะนาเลมา (Analema) มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองได้ ซึ่งกราฟอะนาเลมา คือ เส้นโค้งที่แสดงถึงตำแหน่งเชิงมุมของเทหวัตถุบนทรงกลมฟ้าซึ่งได้จากการทำเครื่องหมายตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ที่มองจากสถานที่หนึ่งๆ บนโลกในเวลาเดิมทุก 24 ชั่วโมงตลอดทั้งปี ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะปรากฏเป็นเส้นโค้งคล้ายเลขแปด โดยกราฟอะนาเลมา นี้ได้มีการทดลองไว้เป็นมาตรฐานอยู่แล้ว สามารถนำมาเทียบเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องในการวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในการศึกษาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จึงได้ทำการทดลองขึ้นโดยใช้หลักการของนาฬิกาแดดมาเป็นอุปกรณ์ในการทดลองโดยอาศัยเงาของดวงอาทิตย์ตกกระทบลงบนวัตถุที่ทำให้เกิดเงาแล้ววัดค่ามุมอัสติจูดและอะซิมูทตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ในแต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวัน โดยใช้พิกัดตำแหน่งของการวัดอยู่ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อนำค่ามุมอัสติจูดและอะซิมูทไปใช้คำนวณในสมการ NOAA และคำนวณหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการเคลื่อนที่และหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
- 2) เพื่อศึกษาตัวแปรต่างๆที่เป็นผลมาจากตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ได้แก่มุมเดคลิเนชัน มุมชั่วโมง มุมอะซิมูทมุมอัสติจูด ละติจูดโดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ NOAA

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) เก็บค่ามุมอัสติจูดและอะซิมูทตามตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลา ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
- 2) ใช้มุมมุมอัสติจูดและอะซิมูทในการคำนวณหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยใช้สมการ NOAA
- 3) เปรียบเทียบค่าที่ได้และวิเคราะห์ค่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีดำเนินการ

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ

ขั้นตอนการดำเนินงาน	การดำเนินงานใน เดือนพฤษภาคม 2555			
	สัปดาห์ที่1	สัปดาห์ที่ 2	สัปดาห์ที่ 3	สัปดาห์ที่ 4
1) วัดค่ามุมอัสติจูดและมุมอะซิมูทของตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์				
2) คำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตามสมการ NOAA				
3) เทียบผลการทดลองที่ได้โดยใช้โปรแกรมคำนวณซ้ำ				
4) เทียบผลการทดลองที่ได้กับค่ามาตรฐานจากกราฟนาฬิกาแดด				
5) สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง				

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) .ได้รู้แนวโน้มตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละเดือน เพื่อใช้ในการคาดการณ์และติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้
- 2) ทราบถึงตัวแปรสำคัญต่างๆที่เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้แก่ มุมเดคลิเนชัน มุมชั่วโมง มุมอะซิมัทมุมอัลติจูด
- 3) สามารถเป็นแนวทางในการคาดการณ์ช่วงเวลาที่สัมพันธ์กับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในการประยุกต์ใช้ในงานทางด้านพลังงานจากแหล่งกำเนิดดวงอาทิตย์ หรือ กิจกรรมอื่นเพื่อให้เกิดประโยชน์และประสิทธิภาพสูงสุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนของทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์และการวิเคราะห์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ของสมการการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่อยู่ในเทอมของมุมอะซิมุท และมุมอัลติจูด โดยจะอธิบายถึงตัวแปรต่างๆที่ขึ้นกับมุมทั้งสองนี้ เช่น มุมเดคลิเนชัน มุมละติจูด เวลา มุมซัวมอง และในตอนท้ายจะอธิบายการวิเคราะห์กราฟของตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

2.1 ลักษณะทางกายภาพของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์คือดาวฤกษ์ดวงหนึ่ง เป็นดาวฤกษ์ที่สำคัญในระบบสุริยะเป็นดาวฤกษ์ สีเหลือง มีอายุเกือบ 5,000 ล้านปี อยู่ห่างจากโลกของเราประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร แสงจากดวงอาทิตย์ใช้เวลาเดินทางมายังโลกเพียง 8.3 นาที หรือ 499 วินาทีเท่านั้น พลังงานจำนวนมหาศาล ในดวงอาทิตย์ได้มา จากการเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนเป็น ฮีเลียมที่อุณหภูมิประมาณ 15 ล้านเคลวิน หรือประมาณ 27 ล้านองศาฟาเรนไฮต์ มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่าโลกของเรา 109 เท่า มีปริมาตร 1,300,000 เท่าของโลก และมีมวล มากกว่าโลกของเรา 333,434 เท่า

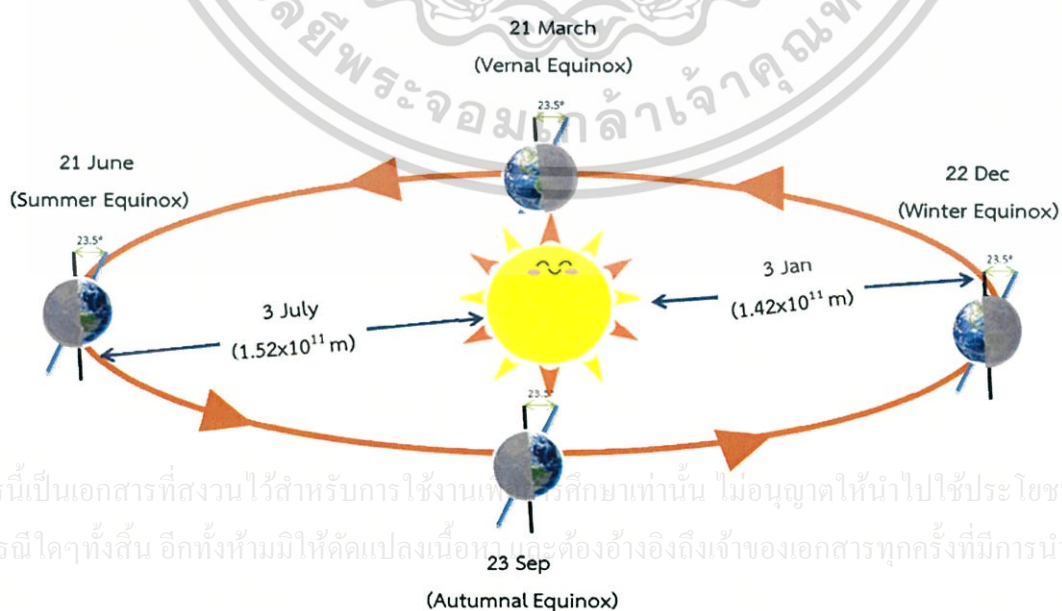
ดวงอาทิตย์คือ ก้อนก๊าซขนาดมหึมาที่ลอยอยู่ในอวกาศ พื้นผิวของดวงอาทิตย์ที่ส่องแสงสว่างจ้า มีการระเบิดที่รุนแรงและแปรปรวนอยู่ตลอดเวลา ไม่เคยหยุดนิ่ง เนื้อสารของดวงอาทิตย์ทั้งปวงเป็นก๊าซ เนื่องจากอุณหภูมิภายในดวงอาทิตย์สูงมากจนสสารทุกชนิดแม้แต่เหล็กและทองคำหายกลายเป็นไอ หากนักบินอวกาศชัวยานอวกาศสมมติที่สามารถทนความร้อนนับสิบล้านเคลวิน บินตรงเข้าไปดวงอาทิตย์ ยานอวกาศลำนั้นจะบินทะลุดวงอาทิตย์ไปโดยไม่ชนกับของแข็งใดๆเลยดวงอาทิตย์ประกอบด้วยไฮโดรเจนประมาณ 70% ฮีเลียม 28% และธาตุหนักอื่นๆประมาณ 2% โดยมีมวลดวงอาทิตย์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,392,000 กิโลเมตร หรือเท่ากับ 109 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของโลกและมีมวลถึง 2,000 ล้านล้านล้านล้านตัน ซึ่งคิดเป็นมวลกว่า 98% ของมวลของวัตถุทั้งหมดในระบบสุริยะ ด้วยเหตุนี้ดวงอาทิตย์จึงเป็นเสมือนหัวหน้าครอบครัว ที่ดึงดูดดาวเคราะห์ทุกดวงและวัตถุในระบบสุริยะรวมทั้งโลกของเราให้โคจรไปรอบๆก๊าซชั้นนอกของดวงอาทิตย์มีความหนาแน่นไม่มากนัก แต่น้ำอันมหาศาลทำให้บริเวณที่อยู่ลึกลงไปภายใต้พื้นผิวของดวงอาทิตย์มีความหนาแน่นสูงอย่างยิ่งยวด มวลกว่า 60 %ของดวงอาทิตย์กระจุกกันอยู่ตรงแกนกลางที่มีรัศมีประมาณ 200,000 กิโลเมตรเท่านั้น ดังจะเห็นได้จากปริมาณก๊าซที่แกนกลางของดวงอาทิตย์ที่มีปริมาตรเพียง 1 ลูกบาศก์เมตร ก็จะมีน้ำหนักถึง 160 ตัน ความหนาแน่นดังกล่าว ส่งผลให้อุณหภูมิที่แกนกลางสูงพอที่จะจุดเตาปฏิกิริยานิวเคลียร์ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานตามธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ และสำคัญที่สุดของระบบสุริยะได้ พลังงานที่เกิดขึ้นจากเตาปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่แกนกลางของดวงอาทิตย์จะแผ่ออกมายังบริเวณผิวโดยรอบ ทำให้ผิวของดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงประมาณ 5,700 – 5,800 เคลวิน อันเป็นอุณหภูมิที่สูงมากแต่ก็ไม่อาจเทียบได้กับอุณหภูมิ 15 ล้านเคลวินที่แกนกลางดวงอาทิตย์ไม่มีพันธะใดๆที่ยึดเหนี่ยวเนื้อสารที่เป็นก๊าซเข้าไว้ด้วยกัน แต่ดวงอาทิตย์ก็คงรูปอยู่ได้ ด้วยความสมดุลของแรงโน้มถ่วง ความดันจากการระเบิดภายในที่มีทิศพุ่งออกจากแกนกลาง และน้ำหนักของมวลสารที่ออกแรงกดเข้าสู่

แกนกลาง ความสมดุลนี้เองที่ทำให้ดวงอาทิตย์และดาวฤกษ์ทุกดวงบนท้องฟ้าสามารถคงรูปเป็นดวงดาวอยู่ได้

ปัจจุบันมียานสำรวจหลายลำกำลังสำรวจความร้อนและรังสีอันรุนแรง เพื่อเข้าไปสำรวจดวงอาทิตย์อย่างใกล้ชิดและส่งข้อมูลกลับมาให้นักวิทยาศาสตร์บนโลกได้ศึกษา เพียงช่วงเวลาไม่ถึง 30 ปีที่ผ่านมา ความเข้าใจในธรรมชาติของดวงอาทิตย์ของเราได้เพิ่มมากขึ้นหลายเท่าตัวขององค์ความรู้ในอดีตรวมกัน อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีที่ยังไม่สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์ลำและทำนายพฤติกรรมดวงอาทิตย์ได้อย่างเที่ยงตรง แสดงให้เห็นว่า ยังมีธรรมชาติของดวงอาทิตย์อีกมากมายที่เรายังไม่ค้นพบ และยังไม่เข้าใจการศึกษาพฤติกรรมดวงอาทิตย์มีความสำคัญมาก เพราะกลไกภายในและปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นดวงอาทิตย์ก็เกิดขึ้นบนดาวฤกษ์ดวงอื่นๆ ในลักษณะที่คล้ายกันด้วย

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

โลกเป็นดวงดาวดวงหนึ่งในอาณาจักรทางช้างเผือกเดิมเชื่อว่าโลกเป็นศูนย์กลางของทุกๆ สิ่งบนท้องฟ้า ปัจจุบันถือว่าดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของโลกและดาวเคราะห์ต่างๆ และเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีอย่างมีกฎเกณฑ์ โดยโลกหมุนรอบตนเองสม่ำเสมอ รอบละ 1 วัน จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก นอกจากนี้โลกยังโคจรรอบดวงอาทิตย์รอบละ 1 ปี การเคลื่อนที่ดังกล่าวทำให้เกิดวัน และปีเนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี (Ellipse) ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนแปลงไปตลอดปี โดยมีระยะห่างเฉลี่ยเท่ากับ 1.51×10^{11} เมตร เมื่อมองจากขั้วเหนือของระนาบทางโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์หรือระนาบสุริยวิถี (Ecliptic Plane) โลกจะปรากฏโคจรไปรอบๆ ในทิศทวนเข็มนาฬิกาและในขณะเดียวกันก็หมุนรอบตัวเองจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ในวันที่ 2 มกราคมของปี โลกจะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะน้อยที่สุดที่เรียกว่าตำแหน่งนี้ว่า เพอริฮีเลียน (Perihelion) มีค่าประมาณ 1.47×10^{11} เมตร และในวันที่ 3 กรกฎาคมของปีโลกจะเคลื่อนที่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางมากที่สุด เรียกตำแหน่งนี้ว่า แอพฮีเลียน (Aphelion) มีค่าประมาณ 1.52×10^{11} เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

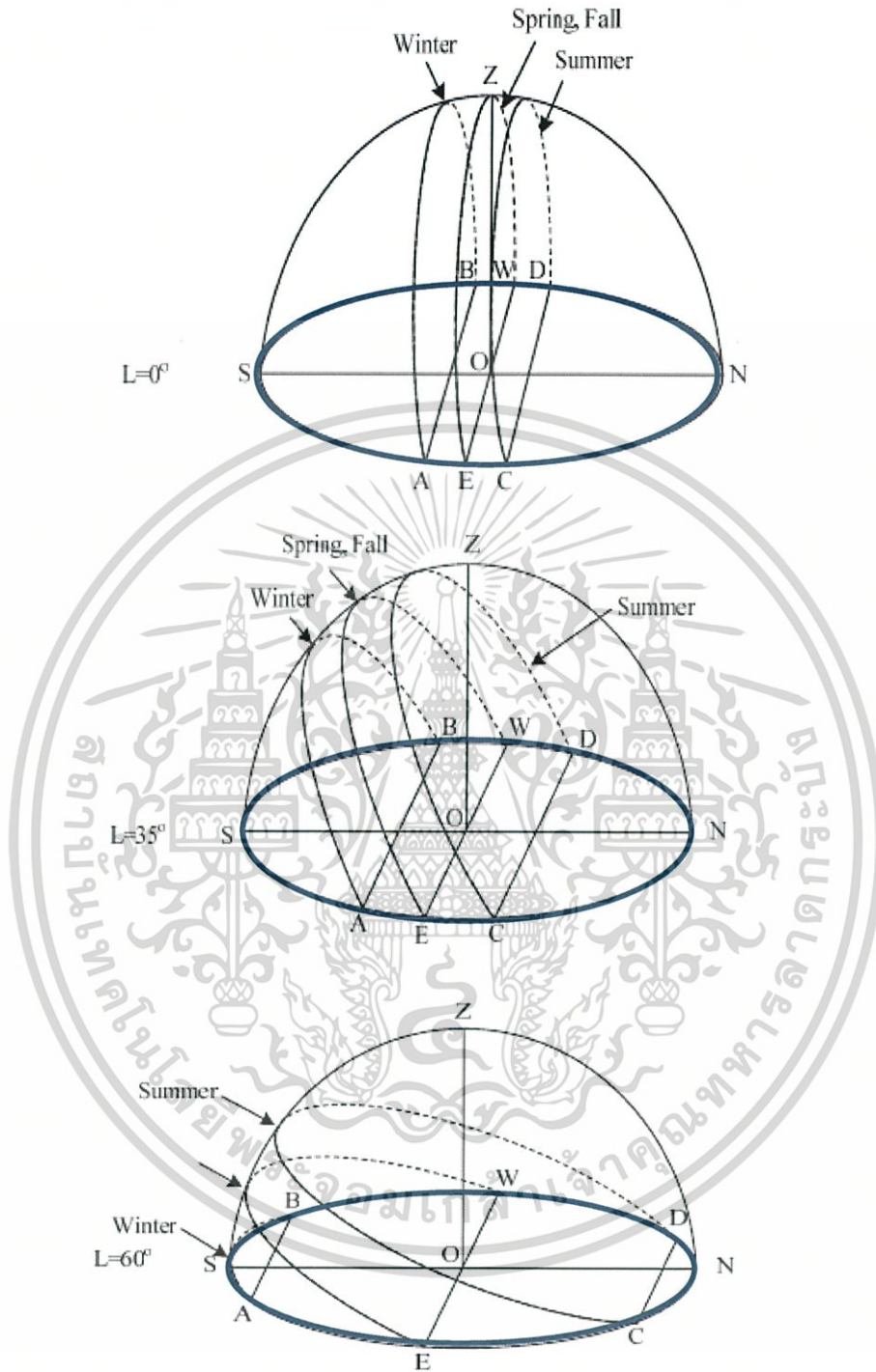
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

ผลจากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีและแกนหมุนของโลกเอียงทำมุม 23.45 องศา กับแกนซึ่งตั้งฉากกับระนาบสุริยวิถี ส่งผลให้ในรอบปีจะเกิดฤดูกาลต่างๆขึ้น 4 ฤดูตั้งรูปที่ 2.1 กล่าวคือ ในวันที่ 21 มีนาคม และวันที่ 23 กันยายน แกนเอียงของโลกอยู่ในระนาบซึ่งตั้งฉากกับแนว การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ การเอียงของแกนหมุนของโลกจะไม่มีผลต่อแสงอาทิตย์ ชีกโลกด้านเหนือจะ ได้รับแสงอาทิตย์กับเท่ากับชีกโลกใต้ ดวงอาทิตย์จะปรากฏขึ้นอยู่เหนือขอบฟ้า 12 ชั่วโมง และใต้ ขอบฟ้า 12 ชั่วโมง นั่นคือกลางวันกับกลางคืนยาวเท่ากัน เรียกตำแหน่งทั้งสองว่า อีควินอกซ์ (Equinoxes) ซึ่งวันที่ 21 มีนาคม เรียกว่า สปริง (Spring) หรือ เวอร์นอลอีควินอกซ์ (Vernal Equinox) และวันที่ 23 กันยายนเรียกว่าฟอล (Fall) หรือ ออร์ทูนอลอีควินอกซ์ (Autumnal Equinox) หลังจากวันที่ 21 มีนาคม โลกจะโคจรไปสู่ตำแหน่งที่หันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 21 มิถุนายน โลกหันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดชีกโลกเหนือได้รับแสงเป็น เวลานาน กลางวันยาวกว่า กลางคืนเฉพาะบริเวณตั้งแต่ลองจิจูด (Latitude) ที่ 66.45 องศาเหนือ ถึง ขั้วโลกเหนือเป็นเวลากลางวัน 24 ชั่วโมง ขณะเดียวกันบริเวณตั้งแต่ลองจิจูด 66.45 องศาใต้ถึงขั้วโลก ใต้จะเป็นกลางคืน 24 ชั่วโมง จุดนี้เรียกว่า โซลสติซส์ฤดูร้อน (Summer Solstice) ตรงกันข้ามคือที่ ตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 ธันวาคม โลกหันขั้วเหนือออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด ดังนั้นชีกโลก เหนือจึงมีกลางวันสั้นกว่ากลางคืน จุดนี้เรียกว่า โซลสติซส์ฤดูหนาว (Winter Solstice) (ยูท, 2530) ที่กล่าวมาเป็นการกำหนดฤดูกาลของตำแหน่งในชีกโลกเหนือ สำหรับชีกโลกใต้กำหนดตรงกันข้ามกับ ชีกโลกเหนือ ตำแหน่งที่อยู่ระหว่างลองจิจูด 23.45 องศา เหนือและใต้ จะมีดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่ เหนือศีรษะ 2 ครั้ง ใน 1 ปี ส่วนตำแหน่งที่อยู่ระหว่างลองจิจูด 66.45 องศาเหนือถึงขั้วโลกเหนือและ 66.45 องศาใต้ถึงขั้วโลกใต้จะไม่มีดวงอาทิตย์เที่ยงวันเหนือศีรษะ

2.3 การโคจรของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

จากรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงลักษณะทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่ตำแหน่งละติจูด และฤดูกาลต่างๆ จะเห็นว่าที่จุดอีควินอกซ์ทั้งสอง (Spring, Fall) บนละติจูดต่างกันดวงอาทิตย์จะขึ้น ทางทิศตะวันออกและตกทางทิศตะวันตก ดวงอาทิตย์เที่ยงวัน ณ จุดสังเกตอยู่สูงทำมุมเท่ากับ 90° - มุมละติจูด ที่โซลสติซส์ฤดูหนาว (Winter) ระนาบทางเดินของดวงอาทิตย์จะกวาดเป็นส่วนโค้งของ วงกลม ดวงอาทิตย์ขึ้นทางใต้ของทิศตะวันออกและตกทางใต้ของทิศตะวันตก กลางวันสั้นกว่า 12 ชั่วโมงในบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตรดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่สูงทำมุมกับแนวระดับเป็นมุม 90° - มุม ละติจูด -23.45° ที่โซลสติซส์ฤดูร้อน (Summer) (ครึ่งวงกลมด้านใต้เป็นฤดูหนาว) ดวงอาทิตย์จะขึ้น และตกก่อนไปทางเหนือของแนวทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเหนือเส้นศูนย์สูตรกลางวันจะยาวกว่า 12 ชั่วโมง ดวงอาทิตย์เที่ยงวันอยู่สูงทำมุมกับแนวระดับเป็นมุม 90° - มุมละติจูด $+23.45^{\circ}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ระบุที่ 2.2 ทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 ที่มา : Duffie and Beckman, 1974

2.4 การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

เมื่อต้องการบอกตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้าโดยมากใช้แนวความคิดเรื่องทรงกลมท้องฟ้า (Celestial Sphere) ซึ่งหมายถึงทรงกลมรัศมีหนึ่งหน่วยมีจุดศูนย์กลางเป็นจุดกำเนิด และวัตถุท้องฟ้าต่างติดอยู่บนผิวทรงกลมนี้ ถ้าขยายเส้นศูนย์สูตรของโลกออกไปพบทรงกลมท้องฟ้า วงกลมใหญ่ที่ปรากฏบนทรงกลมท้องฟ้าเรียกว่า เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (Celestial Equator) ถ้าให้ผู้สังเกตเป็นจุดศูนย์กลางของทรงกลมท้องฟ้า วงกลมใหญ่ที่อยู่รอบๆผู้สังเกตเรียกว่า เส้นขอบฟ้า (Horizon) ดังรูปที่ 2.3 ส่วนการระบุตำแหน่งของวัตถุต่างๆ บนท้องฟ้าสามารถจำแนกได้หลายระบบเช่น ระบบเส้นขอบฟ้า (Horizon System) ระบบเส้นศูนย์สูตร (Equator System) ระบบเส้นอิกลิปติก (Ecliptic System) และระบบแบแลคติก (Galactic System)

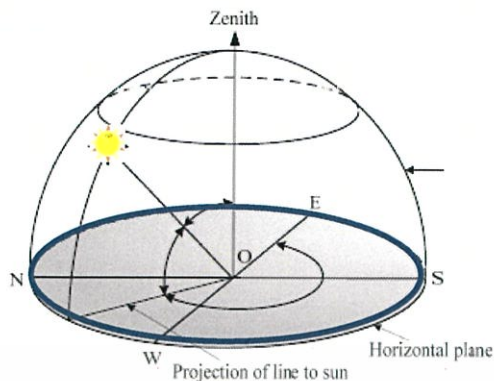
ในที่นี้การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะใช้ระบบเส้นขอบฟ้า ซึ่งเป็นระบบที่ใช้บอกตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้าว่าอยู่เหนือขอบฟ้าเป็นระยะตามมุมเท่าใด และอยู่ห่างจากตำแหน่งเทียบบนขอบฟ้ามากน้อยเพียงใด โดยที่ระบบนี้จะมีเส้นขอบฟ้า (Horizon) เป็นวงกลมใหญ่หลักโคออดิเนทของระบบนี้เรียกว่า อัลติจูด (Altitude, α) และอะซิมุท (Azimuth, A) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ของทรงกลมท้องฟ้ากับโลก

ที่มา : ไพเสริฐ, 2525

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ของมุมอะซิมุมุมอลติจูด และมุมเซนิต
ที่มา : พีรพัฒน์, 2537

นิยามของคำที่สำคัญในการบอกตำแหน่งของวัตถุบนท้องฟ้าในระบบเส้นขอบฟ้า

เมอริเดียนท้องฟ้า (Celestial Meridian) เป็นวงกลมแนวตั้งที่ผ่านเส้นขอบฟ้า ณ จุดทิศเหนือ (N) และจุดทิศใต้ (S) ซึ่งเป็นเส้นสมมุติเส้นหนึ่งบนท้องฟ้า เริ่มจากขอบฟ้าทิศเหนือลากขึ้นไปจนถึงจุดเหนือศีรษะ ลากต่อไปจนจรดขอบฟ้าทิศใต้แบ่งครึ่งท้องฟ้าออกเป็น 2 ส่วน คือ ซีกตะวันออกและตะวันตก

มุมอะซิมุมุม (Azimuth, A) เป็นควาระยะทางเชิงมุมที่วัดจากจุดทิศเหนือ (N) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ไปยังทิศตะวันออก (E) จนถึงวงกลมแนวตั้งของดวงอาทิตย์ หรือเงาของดวงอาทิตย์ในแนวราบ มุมอะซิมุมุมมีค่าระหว่าง 0–360 องศา

มุมอลติจูด (Altitude, α) เป็นค่ามุมเงย วัดจากเส้นขอบฟ้าขึ้นไปตามวงกลมแนวตั้ง จนถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้า มุมอลติจูดจะมีค่าระหว่าง 0–90 องศาถ้าดวงอาทิตย์อยู่ที่เส้นขอบฟ้า ค่าอลติจูด เท่ากับ 0 องศา ถ้าดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะพอดีค่าอลติจูด เท่ากับ 90 องศา

มุมเซนิต (Zenith, θ_z) เป็นมุมระหว่างแนวตั้งเหนือศีรษะจากจุดเซนิตกระทำกับแนวรังสีจากดวงอาทิตย์ มุมเซนิตจะมีค่าระหว่าง 0 – 90 องศา หรือมีค่าเท่ากับ

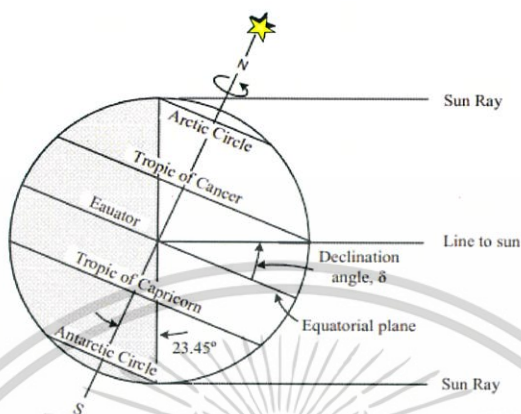
$$\theta_z = 90^\circ - \alpha \quad (2.1)$$

ค่าอลติจูดและอะซิมุมุมของดวงอาทิตย์จะมีค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ถ้าผู้สังเกตอยู่ที่ตำแหน่งละติจูดต่างกันจะสังเกตเห็นดวงอาทิตย์ในขณะเวลาเดียวกันมีค่าอลติจูดและอะซิมุมุมแตกต่างกัน ดังนั้นค่าอลติจูดและอะซิมุมุมจะขึ้นกับตัวแปรหลายค่าเช่น การเอียงของแกนหมุนของโลก เวลา ตำแหน่งลองจิจูด ตำแหน่งละติจูด ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 มุมเดคลิเนชัน (Declination angle)

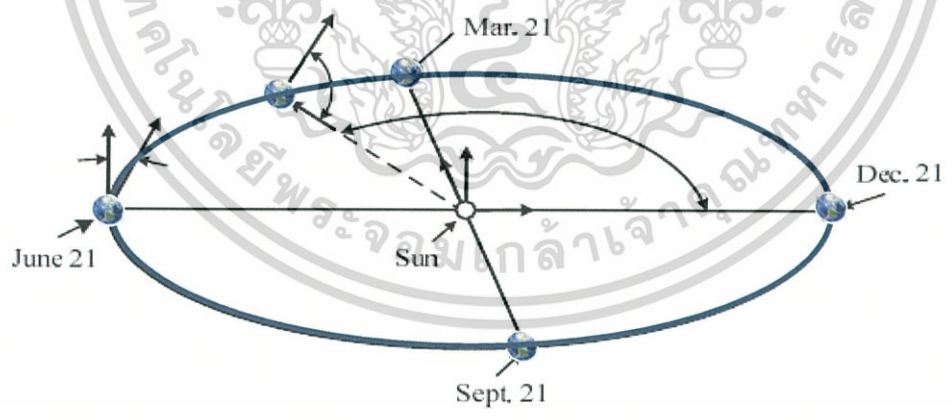
มุมเดคลิเนชันเป็นผลกระทบจากการเอียงของแกนหมุน ของโลกหาได้จากควาระยะทางเชิงมุมทางเหนือหรือใต้จากเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า ขึ้นหรือลงไปตามเส้นแนวรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2.5 มีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง + 23.45 ถึง - 23.45 องศา ในช่วง 1 รอบปี โดยประมาณวันที่ 2

มิถุนายน ซึ่งเป็นวันที่ซั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด จะมีค่ามุม เดคลิเนชันเท่ากับ + 23.45 องศา ในวันที่ 21 มีนาคม และ 21 กันยายน จะมีค่ามุมเดคลิเนชันเท่ากับ 0 และประมาณวันที่ 21 ธันวาคม ซึ่งเป็นวันที่ซั้วโลกหัน



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชัน
ที่มา : Stine and Harrigan, 1985

ในการพิจารณาสมการของมุมเดคลิเนชัน จะวิเคราะห์จากเวกเตอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System) โดยให้ระนาบ x-y เป็นระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ และ z เป็นระนาบที่ตั้งฉากกับระนาบ x-y ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
ที่มา : Duffie and Beckman, 1974

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- เมื่อ \hat{A} คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามแนวแกนหมุนโลก มีทิศจากซั้วโลกใต้ไปยังซั้วโลกเหนือ
- \hat{R} คือ เวกเตอร์หนึ่งหน่วยตามระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์
- θ คือ มุมระหว่าง \hat{A} และ \hat{R}

และ ϕ คือ ระยะทางเชิงมุมของวงโคจรของโลก โดยกำหนดให้เป็นจำนวนวันใน 1 รอบปี ถ้ากำหนดให้ D_s เป็นจำนวนวัน $D_s = 1$ ในวันที่ 21 ธันวาคม และ $D_s = 365$ ในวันที่ 20 ธันวาคม ดังนั้น ค่ามุม ϕ จะเท่ากับ 360 องศา ต้องใช้เวลา 365.242 วัน จึงได้ว่า

$$\phi = (D_s - 1) \frac{180^\circ}{182.6} \quad (2.2)$$

เมื่อเขียน \hat{R} ในเทอมของ \hat{x} และ \hat{y} ได้ว่า

$$\hat{R} = -(\cos \phi) \hat{x} + (\sin \phi) \hat{y} \quad (2.3)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อเขียน \hat{A} อยู่ในเทอมของ \hat{z} และ \hat{x} โดยพิจารณาตำแหน่งของโลกในวันที่ 21 มิถุนายนได้ว่า

$$\hat{A} = \cos(23.45^\circ) \hat{z} + \sin(23.45^\circ) \hat{x} \quad (2.4)$$

จากนิยามของมุมเดคลิเนชัน ซึ่งเป็นมุมระหว่างรังสีแสงอาทิตย์กับระนาบเส้นศูนย์สูตร จะได้ว่า \hat{A} ตั้งฉากกับระนาบเส้นศูนย์สูตร และมีมุมเดคลิเนชันเท่ากับ

$$\delta = 90^\circ - \theta \quad (2.5)$$

มุม θ หาได้จากความสัมพันธ์ของ

$$\cos \theta = -\hat{R} \cdot \hat{A} = \cos \phi \sin(23.45^\circ) \quad (2.6)$$

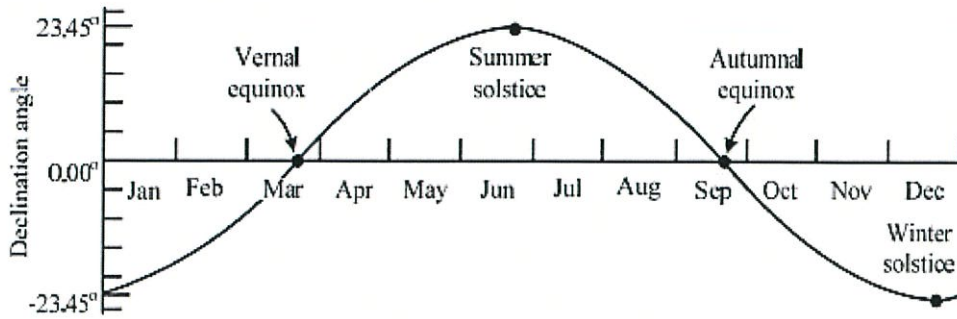
รวมสมการ 2.1, 2.4 และ 2.5 จะได้

$$\sin \delta = -\cos \left[(D_s - 1) \frac{180}{182.6} \right] \sin(23.45^\circ) \quad (2.7)$$

หรือ ถ้าให้ n เป็นจำนวนวันในรอบปี โดย $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม จะได้ว่า

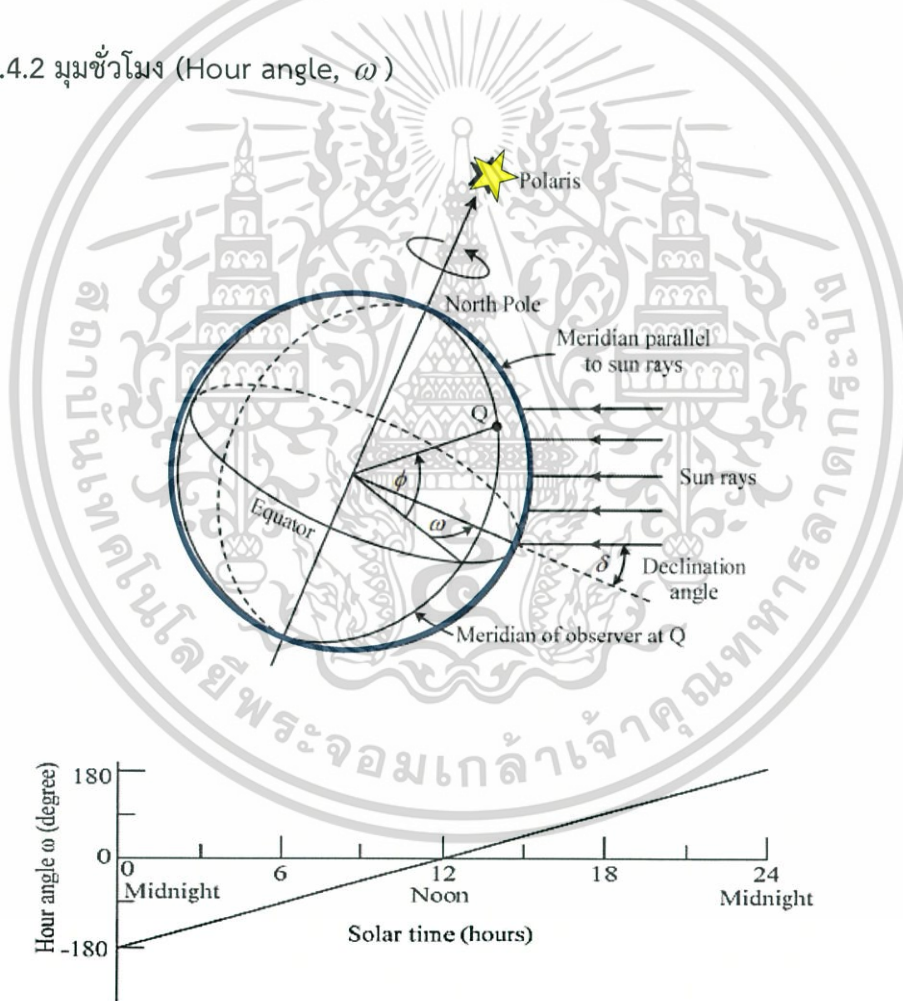
$$\sin \delta = \cos \left[(n - 173) \frac{180}{182.6} \right] \sin(23.45^\circ) \quad (2.8)$$

นำสมการ 2.6 หรือ 2.7 ไปเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันและจำนวนวันในรอบปี จะได้ความสัมพันธ์ตามรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันในรอบปี
ที่มา: Duffie and Beckman, 1974

2.4.2 มุมชั่วโมง (Hour angle, ω)



รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ของมุมชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ที่มา : Stine and Harrigan, 1985

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

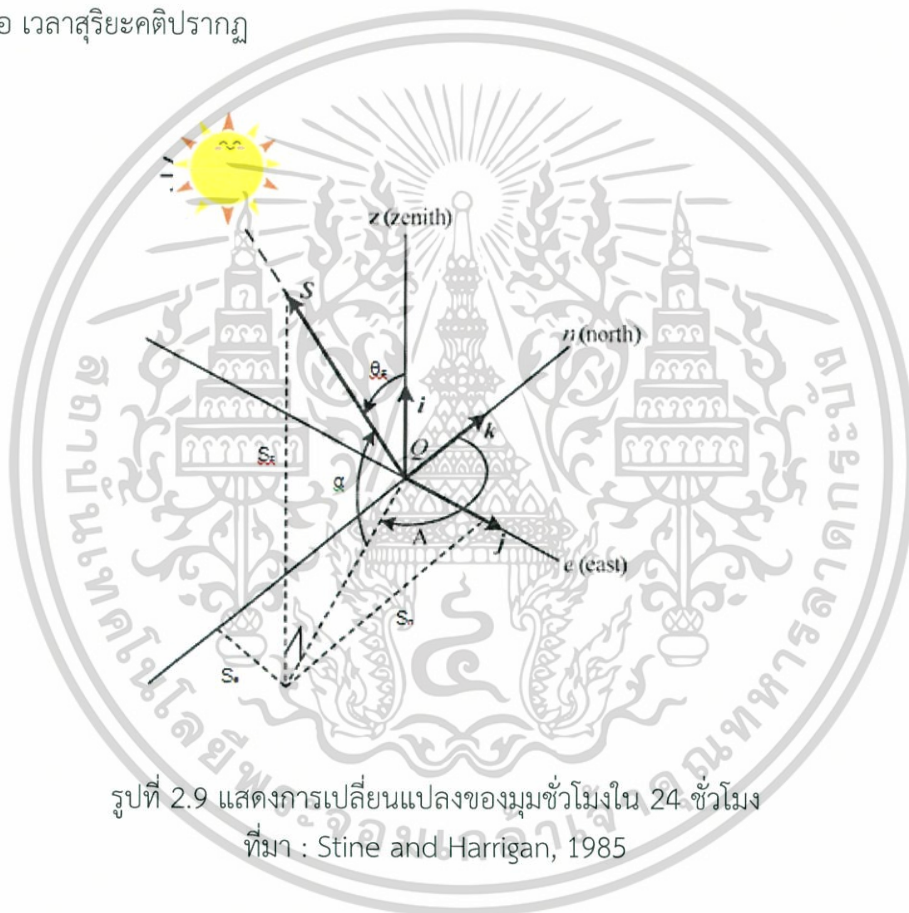
มุมชั่วโมงใช้บอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ โดยวัดจากเส้นเมอริเดียนท้องฟ้าในทิศตามเข็มนาฬิกา (ทิศเดียวกับการหมุนของท้องฟ้า) ไปตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า

จนถึงวงกลมชั่วโมงที่ผ่านตำแหน่งของดวงอาทิตย์ หรือวัดจากเส้นเมริเดียนของตำแหน่งสถานที่ตั้งไปยังเส้นเมริเดียนที่ขนานกับรังสีจากดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เมื่อ Q เป็นตำแหน่งของผู้สังเกต และ เป็นตำแหน่งละติจูด

เนื่องจากการหมุนรอบตัวเองของโลก 1 รอบ (360 องศา) ใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง หรือ เคลื่อนที่ 1 องศา ใช้เวลา 4 นาที ค่า ในหน่วยองศา จึงหาได้จากสมการ 2.9 โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -180 องศา ถึง +180 องศา ซึ่งเป็นลบในช่วงเช้าก่อนเที่ยงวัน และเป็นบวกในช่วงบ่าย ดังแสดงในภาพประกอบ 2.9

$$\omega = 15(t_s - 12) \quad \text{องศา} \quad (2.9)$$

เมื่อ t_s คือ เวลาสุริยคติปรากฏ



รูปที่ 2.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมชั่วโมงใน 24 ชั่วโมง
ที่มา : Stine and Harrigan, 1985

2.4.3 เวลา (Time)

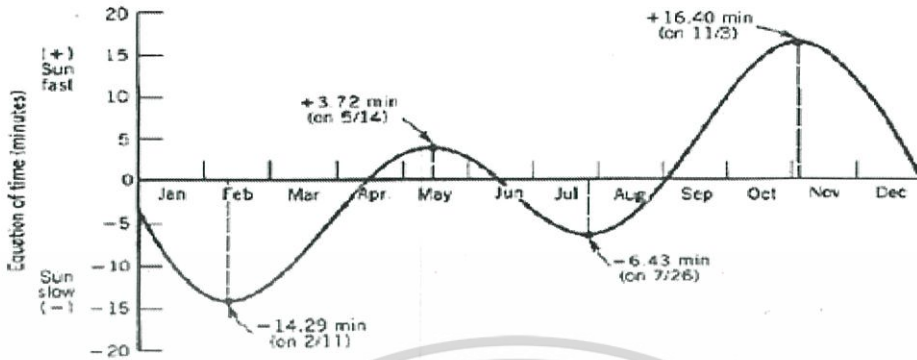
การกำหนดเวลาในชีวิตประจำวันและเหตุการณ์ต่าง ๆ นั้น สามารถกำหนดได้จากเวลาดาราคติ (Sidereal Time) หรือเวลาสุริยคติ (Solar Time) แต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้เวลาสุริยคติหรือดวงอาทิตย์เป็นจุดกำหนดเวลา ซึ่งเวลาสุริยคติ จะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

- เวลาสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Time, AST) เป็นเวลาที่สังเกตจากดวงอาทิตย์จริง หรือคิดจากมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์จริง เช่น นาฬิกาแดด

- เวลาสุริยคติเฉลี่ย (Mean Solar Time, MST) เป็นเวลาที่กำหนดจากดวงอาทิตย์สมมติ หรือดวงอาทิตย์เฉลี่ย (Mean Sun) หรือคิดจากมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์เฉลี่ย เช่น เวลาที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ คือ โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์

1 รอบ ใช้เวลา 365.2422 วัน และโลกโคจรรอบ 1 รอบคิดเป็น 360° หรือ 24 ชั่วโมง

ดังนั้นใน 1 วัน โลกจะเคลื่อนที่ไปได้ 59' 8".33



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ของ Equation of time ในรอบปี
ที่มา : Stine and Harrigan, 1985

ถ้าหากทำการวัดระยะเวลา 1 วัน ในวันใดวันหนึ่งของปี โดยการจับเวลาที่ดวงอาทิตย์หรือดาวฤกษ์เคลื่อนที่ผ่านเมอริเดียนท้องฟ้า 2 ครั้งติดต่อกัน จะพบว่าในบางวันเวลาที่วัดได้มีค่ามากกว่า 24 ชั่วโมง ของ 1 วันสุริยคติเฉลี่ย แต่บางวันกลับมีค่าน้อยกว่า 24 ชั่วโมงของ 1 วันสุริยคติเฉลี่ย เวลา 1 วันที่เราวัดของวันใดวันหนึ่งดังกล่าวนี้เรียกว่า 1 วันสุริยคติปรากฏ (Apparent Solar Day) ตามข้อเท็จจริงแล้ว เวลา 1 วันสุริยคติปรากฏ อาจน้อยกว่า 1 วันสุริยคติเฉลี่ยถึง 22 วินาที และอาจยาวนานกว่าถึง 28 วินาที และมีเพียง 4 วันเท่านั้นในรอบปีที่เวลา 1 วันสุริยคติปรากฏจะมีค่าเท่ากับเวลา 1 วันสุริยคติเฉลี่ย เมื่อเวลาที่ยาวกว่าหรือสั้นกว่าในแต่ละกรณีสะสมนับเดือนๆ ทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างเวลาที่เที่ยงมาตรฐานกับเวลาที่เที่ยงปรากฏ กล่าวคือดวงอาทิตย์ผ่านเมอริเดียนไปก่อนเวลาที่แท้จริง หรือดวงอาทิตย์ยังมาไม่ถึงเมอริเดียนในเวลาที่กำหนดว่าดวงอาทิตย์อยู่ที่เมอริเดียนแล้ว หรือกล่าวอย่างง่าย ๆ ก็หมายความว่า ตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ปรากฏจริงๆ ในท้องฟ้าในแต่ละวันนั้นจะปรากฏว่า ช้าหรือ เร็ว กว่าเวลาจริงๆ เสมอ ดวงอาทิตย์จะปรากฏว่าเดินช้าอยู่ 2 ช่วงในรอบปีหนึ่งๆ คือ ในเดือนกุมภาพันธ์จะปรากฏสูงที่สุดถึง 14 นาที และในเดือนกรกฎาคมจะเดินช้าอีกครั้งหนึ่ง และลดลงเหลือช้าสูงสุด 7 นาที และดวงอาทิตย์จะปรากฏว่าเดินเร็วอยู่ 2 ช่วงเช่นเดียวกัน คือ เดินเร็วสูงที่สุดถึง 16 นาที ในเดือนตุลาคม และพฤศจิกายน กับเดินเร็วสูงสุดประมาณ 4 นาทีในเดือนพฤษภาคม เราเรียกเวลาที่มากกว่าหรือน้อยกว่าเวลาเฉลี่ยนี้ว่า สมการเวลา (Equation of Time, EQT) ดังแสดงรูปที่ 2.10 ซึ่งความสัมพันธ์ของสมการเวลาสามารถหาได้จากสมการ (2.10)

$$EQT = 60 \sum_{k=0}^5 \left[A_k \cos\left(\frac{360kn}{365.25}\right) + B_k \sin\left(\frac{360kn}{365.25}\right) \right] \quad (\text{minutes}) \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ n คือจำนวนวันในรอบปี โดยที่ $n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม ค่าสัมประสิทธิ์ A_k และ

B_k สามารถหาได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ A_k และ B_k

k	A_k (hr)	B_k (hr)
0	2.0870×10^{-4}	0
1	9.2869×10^{-3}	-1.229×10^{-1}
2	-5.2258×10^{-2}	-1.5698×10^{-1}
3	-1.3077×10^{-3}	-5.1602×10^{-3}
4	-2.1867×10^{-3}	-2.9823×10^{-3}
5	-1.5100×10^{-4}	-2.3463×10^{-4}

ที่มา : Stine and Harrigan, 1985

ในส่วนของการคำนวณตำแหน่ง ของดวงอาทิตย์จะใช้เวลาสุริยคติปรากฏตั้งนั้นก่อนนำไปคำนวณจะต้องเปลี่ยนเวลาท้องถิ่น (Local Cock Time, LCT) เป็นเวลาสุริยคติปรากฏ และบวกด้วยค่าสมการเวลาเสียก่อน ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ของสมการ (2.11)

$$AST = LCT \pm T_{zW}^E \pm \lambda_W^E + \frac{EQT}{60} \quad (2.11)$$

เมื่อ LCT คือ เวลาท้องถิ่น

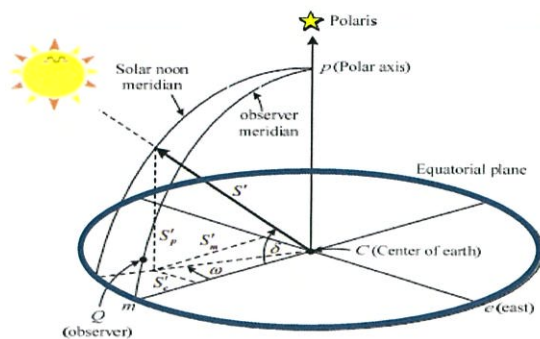
T_z คือ เขตเวลา (Time Zone) หรือตัวเลขกำหนดเขต มีค่าเป็นบวกสำหรับเส้น

ลองจิจูดตะวันตก และเป็นลบสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันออก โดยกำหนดจากเส้นลองจิจูดซึ่งอยู่ห่างกันช่วงละ 15° เป็น 1 เขตเวลา คือ เส้นลองจิจูดที่ $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, \dots, 180^\circ$, ที่อยู่ในทางทิศตะวันออกและทิศตะวันตกของเส้นไพรม์เมริเดียน (Prime Meridian) เป็นเส้นลองจิจูดมาตรฐานที่นำมาใช้ในการแบ่งเขตเวลามาตรฐานทั่วโลก ประเทศที่ตั้งอยู่บนเส้นลองจิจูดมาตรฐานที่อยู่ทางทิศตะวันตกของเมืองกรีนวิชหรือเส้นไพรม์เมริเดียนจะมีเวลาช้ากว่าเวลามาตรฐานสากลและประเทศที่ตั้งอยู่บนเส้นลองจิจูดมาตรฐานที่อยู่ทางตะวันออกของเมืองกรีนวิชจะมีเวลาเร็วกว่าเวลามาตรฐานสากล โดยเวลามาตรฐานสากลหรือ Greenwich Mean Time (GMT) อยู่ที่ตำบลกรีนวิช ประเทศอังกฤษ ที่ลองจิจูด 0°

λ คือ เวลาที่ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต หาได้จากการเอาเส้นลองจิจูด (หน่วยองศา) ณ จุดที่ตั้งหารด้วย 15 ค่า λ เป็นบวกสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันออกและ λ เป็นลบสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันตก

2.4.4 การวิเคราะห์สมการของมุมอะซิมุมและมุมอัลติจูด

การระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบพิกัดเส้นขอบฟ้า ซึ่งอยู่ในเทอมของมุมอะซิมุม และ มุมอัลติจูดจำเป็นต้องอาศัยความสัมพันธ์ของ มุมเดคลิเนชัน (δ) มุมชั่วโมง (ω) เวลา และ ตำแหน่งละติจูด (ϕ) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในส่วนของการวิเคราะห์เวกเตอร์ตำแหน่งจะแปลงเทอมของมุมในระบบเส้นขอบฟ้าให้อยู่ในเทอมของระบบพิกัดคาร์ทีเซียนที่มีจุดออริจินอยู่บนผิวโลก



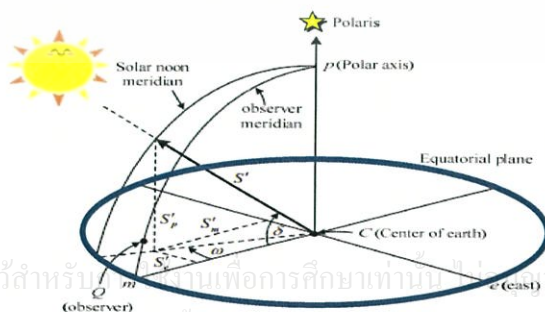
รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของพิกัด ทิศเซนิท (Z), ทิศตะวันออก (E) และทิศเหนือ (N)
ที่มา : Stine and Harrigan, 1985

เมื่อให้ \hat{i}, \hat{j} และ \hat{k} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วย ตามแนวทิศทางของ ทิศเซนิท (z), ทิศตะวันออก (E) และทิศเหนือ (N) ตามลำดับ \hat{S} เป็นเวกเตอร์หนึ่งหน่วยที่ชี้ไปยังตำแหน่งของดวงอาทิตย์ แยกเป็นองค์ประกอบในแนวแกน S_z, S_e และ S_n ซึ่งมีทิศทางตามทิศเซนิท ทิศตะวันออก และทิศเหนือเช่นเดียวกัน ส่วน Q เป็นตำแหน่ง ของผู้สังเกตบนผิวโลกสามารถเขียนความสัมพันธ์ของ \hat{S} ได้

$$\hat{S} = S_z \hat{i} + S_e \hat{j} + S_n \hat{k} \quad (2.12)$$

หรือเขียนอยู่ในเทอมของมุมอะซิมูท และมุมอัลติจูด จะได้

$$\begin{aligned} S_z &= \sin \alpha \\ S_e &= \cos \alpha \sin A \\ S_n &= \cos \alpha \cos A \end{aligned} \quad (2.13)$$

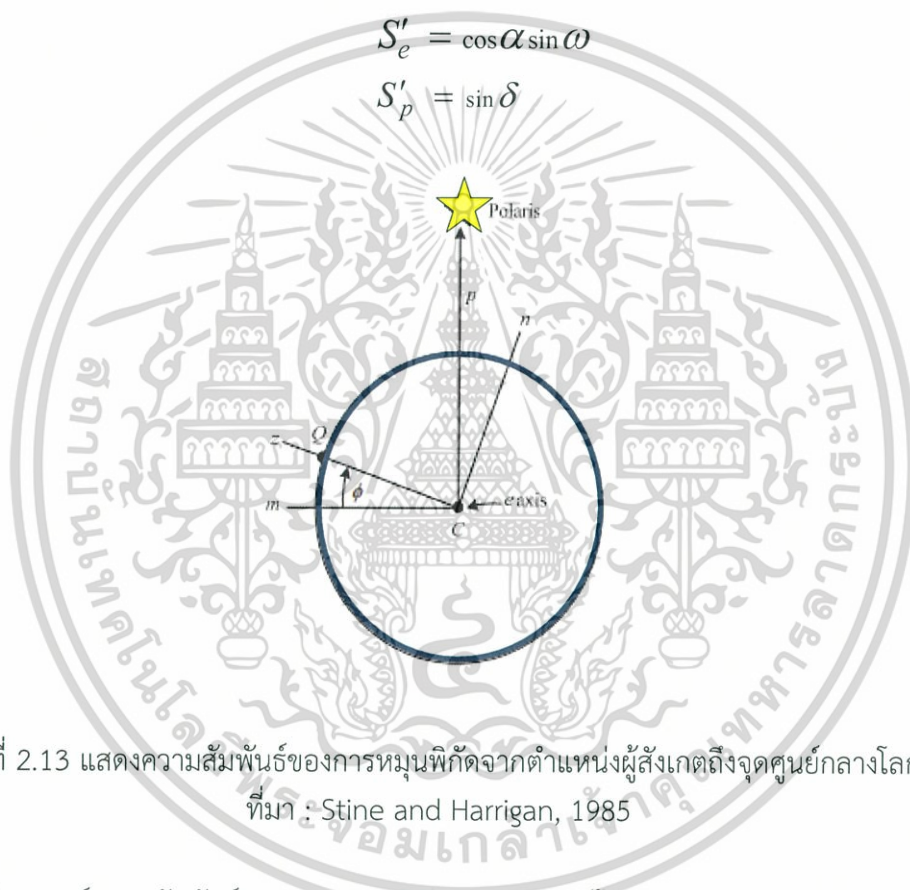


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... เพื่อการศึกษาเท่านั้น... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์รังสีดวงอาทิตย์กับมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง
ที่มา : Stine and Harrigan, 1985

ในการทำงานเดียวกันสามารถเขียนเวกเตอร์ที่ชี้ตำแหน่งไปยังดวงอาทิตย์โดยอ้างอิงพิกัดใหม่ให้จุดออริจินอยู่ที่จุดศูนย์กลางของโลก เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2.12 เมื่อให้แกน m เป็นเส้นเมริเดียนที่ผ่านตำแหน่งของผู้สังเกต Q และตัดกับเส้นตรงที่ลากจากจุดกำเนิดตรงตำแหน่งเส้นศูนย์สูตร, e เป็นแกนที่ตั้งฉากกับแกน m และอยู่ในระนาบเส้นศูนย์สูตร, p เป็นแกนหมุนของโลกและ S' เป็นเวกเตอร์ที่ชี้ไปยังดวงอาทิตย์ เขียนอยู่ในเทอมของ S'_m, S'_e และ S'_p โดยสัมพันธ์กับแกน m, e และ p ตามลำดับ เมื่อเขียน S' ในเทอมของมุมเดคลิเนชันและมุมชั่วโมง จะได้

$$\begin{aligned} S'_m &= \cos \alpha \cos \omega \\ S'_e &= \cos \alpha \sin \omega \\ S'_p &= \sin \delta \end{aligned} \quad (2.14)$$



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของการหมุนพิกัดจากตำแหน่งผู้สังเกตถึงจุดศูนย์กลางโลก
ที่มา : Stine and Harrigan, 1985

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการแปลงพิกัดตามแนวรัศมีโลกและการหมุนพิกัดรอบแนวแกน e ตามมุมละติจูด โดยอาศัยรูปที่ 2.13 ที่แสดงความสัมพันธ์ของการหมุนจากระบบพิกัด m, e, S_e ไปยังพิกัด z, e, n ตามแนวแกน e และรูปที่ 2.14 ที่แสดงภาพรวมของความสัมพันธ์ทั้งสองพิกัด รูปแบบการหมุนพิกัดรอบแนวแกน e จะใช้กฎมือขวา และสามารถเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์ได้ว่า

$$\begin{bmatrix} S_z \\ S_e \\ S_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S'_m \\ S'_e \\ S'_p \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

ดังนั้น

$$S_z = S'_m \cos \phi + S'_p \sin \phi$$

$$S_e = S'_e \quad (2.16)$$

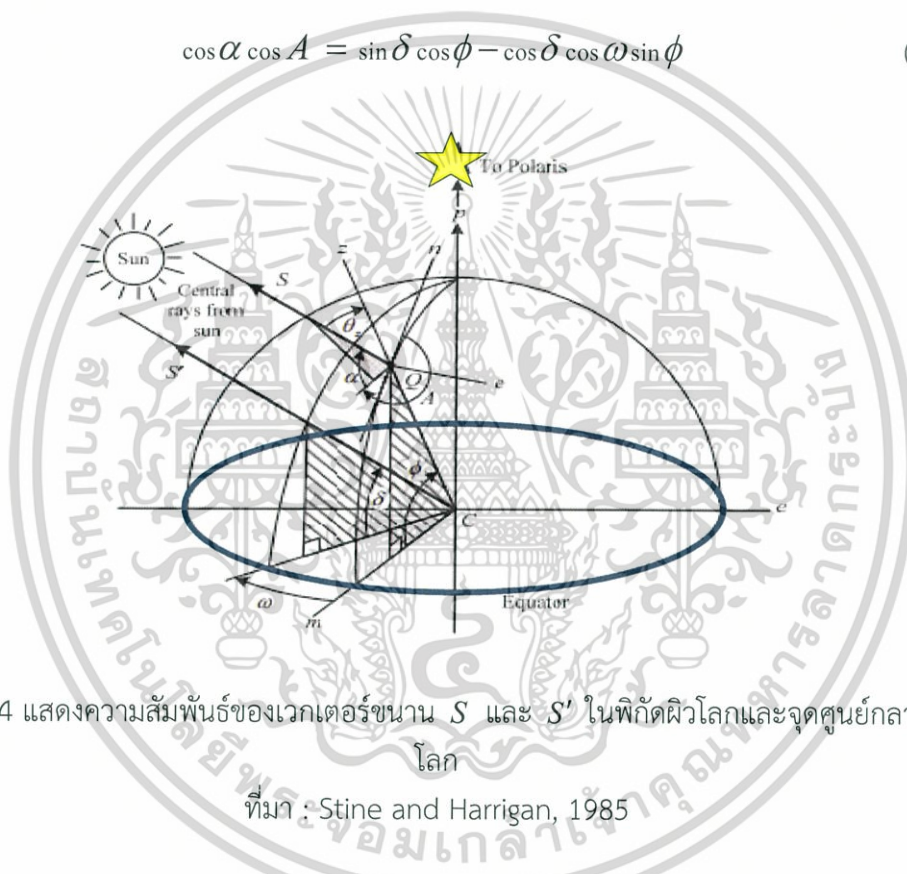
$$S_n = S'_p \cos \phi + S'_m \sin \phi$$

นำสมการที่ 2.13 และ 2.14 แทนลงในสมการที่ 2.16 ได้ว่า

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi \quad (2.17)$$

$$\cos \alpha \sin A = -\cos \delta \sin \omega \quad (2.18)$$

$$\cos \alpha \cos A = \sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \sin \phi \quad (2.19)$$



รูปที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ของเวกเตอร์ขนาน S และ S' ในพิกัดผิวโลกและจุดศูนย์กลางของโลก

ที่มา : Stine and Harrigan, 1985

สมการ 2.17 คือ สมการของมุมอัสติจูดในเทอมของ มุมละติจูด (ตำแหน่ง) มุมชั่วโมง (เวลา) และมุมเดคลิเนชัน (วัน) จัดรูปแบบสมการใหม่ได้

$$\alpha = \sin^{-1}(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) \quad (\text{องศา}) \quad (2.20)$$

สมการ (2.18) และ (2.19) เป็นสมการของมุมอะซิมุมททั้งสองสมการ โดยมุมอะซิมุมทจะขึ้นกับตำแหน่งละติจูด เวลา ฤดูกาล และมุมละติจูด ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0-360 องศา จากสมการ (2.18) และ (2.19) ค่ามุมไซน์และโคไซน์จะขึ้นอยู่กับจุดภาค (Quadrants) ต่างๆ จึงต้องพิจารณาสมการ (2.18) ใหม่ เพื่อหามุมอะซิมุมทจริงโดยกำหนดให้

$$A' = \sin^{-1} \left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \right) \quad (\text{องศา}) \quad (2.21)$$

เมื่อ $\cos \omega \geq \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right)$ จะได้ $A = 180^\circ - A'$

เมื่อ $\cos \omega < \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right)$ จะได้ $A = 360^\circ + A'$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อพิจารณา (2.19) ใหม่ โดยกำหนดให้

$$A'' = \cos^{-1} \left(\frac{\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \sin \phi}{\cos \alpha} \right) \quad (\text{องศา}) \quad (2.22)$$

เมื่อ $\sin \omega > 0$ จะได้ $A = 360^\circ + A''$

เมื่อ $\sin \omega \leq 0$ จะได้ $A = A''$

สำหรับการพิจารณามุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ขึ้นและตก (Hour Angle for Sunset and Sunrise, ω_s) สามารถหาได้จากสมการ (2.20) ซึ่งเป็นสมการของมุมอัสติจูด เนื่องจากมุมอัสติจูดตอนดวงอาทิตย์ขึ้นและตกจะเท่ากับ 0 องศา ($\alpha = 0$) จึงได้ว่า

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \delta \tan \phi) \quad (2.23)$$

ω_s เป็นลบสำหรับดวงอาทิตย์ขึ้นและเป็นบวกเมื่อดวงอาทิตย์ตก สำหรับ ω_s หน่วยเป็น ชั่วโมง สามารถหาได้จากสมการ

$$\omega_s = \pm \frac{24}{360} \times \cos^{-1} (-\tan \delta \tan \phi) \quad (2.24)$$

ความยาวของกลางวัน จะหาได้จาก

$$\text{Hours of daylight} = 2\omega_s \times \frac{24}{360} \quad (2.25)$$

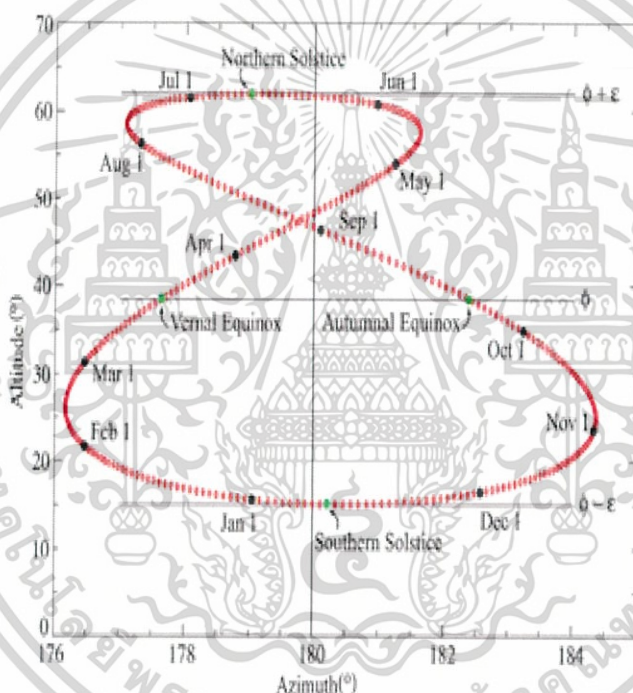
และเวลาสุริยคติของดวงอาทิตย์ขึ้นและตกจะหาได้จาก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$AST = (12.00 + s) \quad (\text{ชั่วโมง}) \quad (2.26)$$

2.4.5 อะนาเลมมา (Analemma)

เป็นกราฟแสดงละจิจุดที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากในวันต่างๆตลอดปีและสามารถหาสมการเวลาได้จากอะนาเลมมา โดยจากอะนาเลมมาเราจะได้ข้อมูลสำคัญ 2 ประการ คือ สมการเวลาและละจิจุดที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากค่าสมการเวลาจะพิมพ์ไว้ที่ขอบแผนกราฟทางด้านซ้ายหรือด้านขวาของเส้นกึ่งกลางของกราฟขึ้นอยู่กับว่าด้านใดเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์มาเร็วหรือมาช้า ละจิจุดที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากจะพล็อตลงบนเส้นกราฟแนวนอนที่ใช้แทนเส้นขนาน โดยพล็อตอยู่เหนือใต้เส้นระนาบตรงกลางซึ่งใช้แทนเส้นศูนย์สูตร ค่าละจิจุดสูงสุดและต่ำสุดจะอยู่ระหว่าง 23 องศาเหนือถึง 23 องศาใต้ ดังนั้น ในทุกๆ วันปฏิทินจะสามารถหาสมการเวลาและละจิจุดที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากได้จากอะนาเลมมา เมื่อมีการพล็อตค่าต่างๆ ของทุกวันปฏิทินลงในกราฟนี้ แล้วลากเส้นโค้งเชื่อมจุดต่างๆ จะได้เส้นกราฟโค้งๆ ไปมาเหมือนเลขแปดอาร์บิก

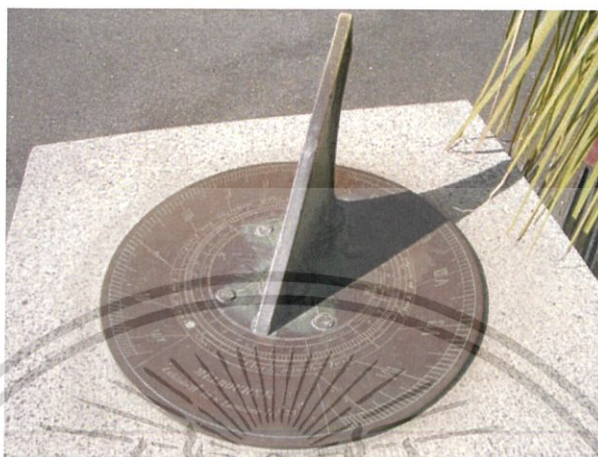


รูปที่ 2.15 กราฟอะนาเลมมา

2.5 หลักการของนาฬิกาแดด

นาฬิกาแดด (Sun dial) เป็นเครื่องมือในการบอกเวลาของมนุษย์มาแต่โบราณ ในการศึกษาเรื่องนาฬิกาแดด จะช่วยให้เรามีความรู้เรื่องทางเดินของดวงอาทิตย์ หรือ “สุริยวิถี” และเป็นพยานหลักฐานในเรื่องแกนโลกเอียง 23.45 องศา ขณะโคจรรอบดวงอาทิตย์ นอกจากนั้นยังทำให้เราเข้าใจถึงเรื่องความสัมพันธ์ของธรรมชาติ ปริมาณพลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์ และเรื่องของฤดูกาลทุกๆ วัน เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งตก แสงจากดวงอาทิตย์จะสาดส่องไปทั่วพื้นโลก เมื่อแสงนี้ตกกระทบกับวัตถุอุ่นทำให้เกิดเงาทอดออกมา เงานี้จะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเวลา ขึ้นกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในตอนเช้าเราจะเห็นเงาทอดยาวไปทางตะวันตก เงานี้จะสั้นลงเรื่อยๆ จนกระทั่งสั้นที่สุดตอนเที่ยงวัน แล้วเงาก็จะทอดยาวไปทางตะวันออกเรื่อยๆ ในเวลาบ่ายจนกระทั่งเงา

นี้ทอดยาวที่สุดก่อนที่ดวงอาทิตย์จะตกกลับไปทางตะวันตกตั้งแต่โบราณกาลได้มีการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของเงาในเวลาต่างๆนี้ จึงมีการใช้เงาของวัตถุเป็นตัวบอกเวลา เรียกว่าเป็น นาฬิกาแดด



รูปที่ 2.16 นาฬิกาแดด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

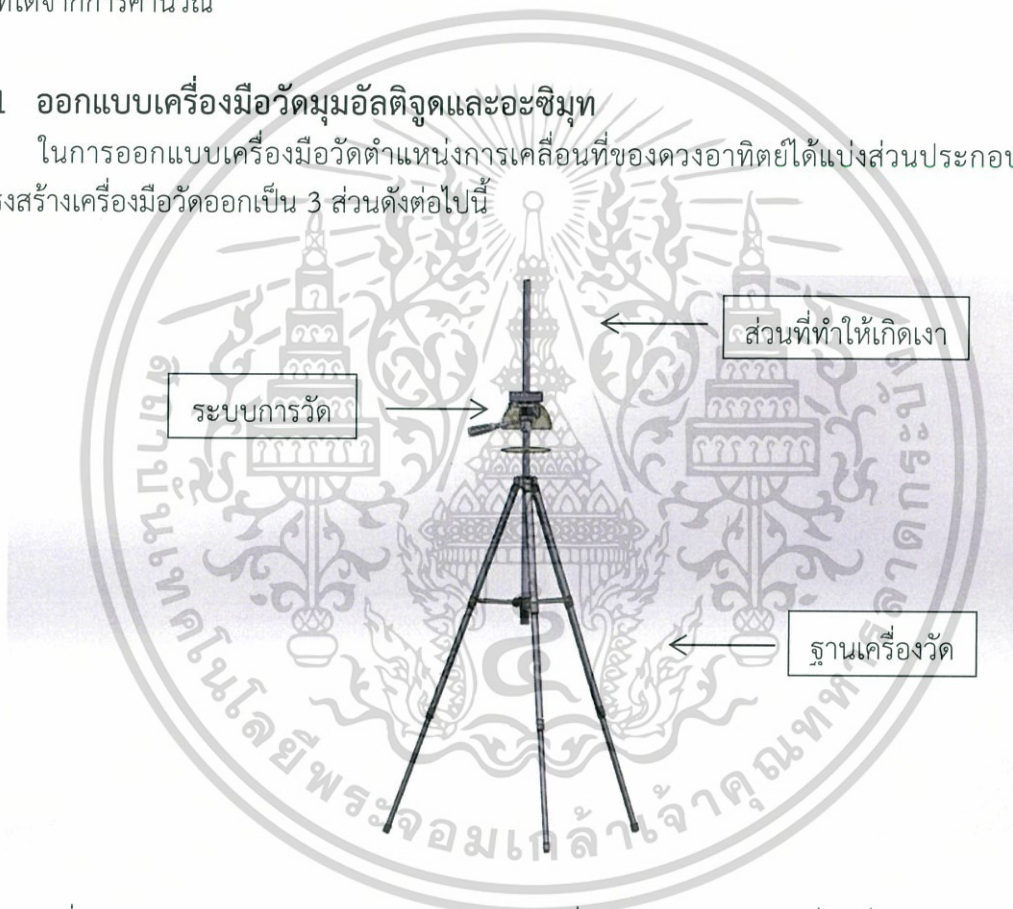
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการเก็บค่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันซึ่งจะวัดค่าเป็นมุมอัลติจูดและอะซิมุมท ในส่วนที่สองเป็นการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่อาศัยความสัมพันธ์ของสมการ NOAA เพื่อนำไปใช้ใช้คำนวณหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้แก่ มุมเดคลิเนชันสมการเวลา มุมชั่วโมง และในส่วนที่สามจะเป็นการการวิเคราะห์ผลค่าข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

3.1 ออกแบบเครื่องมือวัดมุมอัลติจูดและอะซิมุมท

ในการออกแบบเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้แบ่งส่วนประกอบของโครงสร้างเครื่องมือวัดออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบและโครงสร้างของเครื่องมือวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

- 1) ฐานเครื่องวัดโดยออกแบบให้เป็นโครงสร้างฐานตั้งเป็นแบบโครงพีระมิดฐานสามเหลี่ยม เพื่อให้สามารถวางตั้งกับพื้นได้ อีกทั้งยังออกแบบให้ขาตั้งของฐานสามารถปรับระดับความสูงได้ในระดับที่ต้องการ
- 2.) ระบบการวัดมุม มุมที่วัดจะมี 2 มุม คือมุมอัลติจูดและมุมอะซิมุมท ซึ่งเป็นมุมในแนวราบ และแนวตั้งตามลำดับ มุมอัลติจูดตั้งใช้เครื่องมือวัดที่มีสเกลขนาด 360 องศา ส่วนมุมอะซิมุมทใช้เครื่องมือวัดสเกลขนาด 180 องศา แปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้
- 3) ส่วนที่ทำให้เกิดเงาจะใช้วัตถุที่เป็นมีความยาวขนาด...เมื่อแสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบวัตถุนี้จะเป็นเงาขึ้น



รูปที่ 3.2 แสดงส่วนที่ทำให้เกิดเงาประกอบเข้ากับตัวจับของระบบฐานเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

รูปที่ 3.3 แสดงฐานยึดจับกับตัววัตถุที่ทำให้เกิดเงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

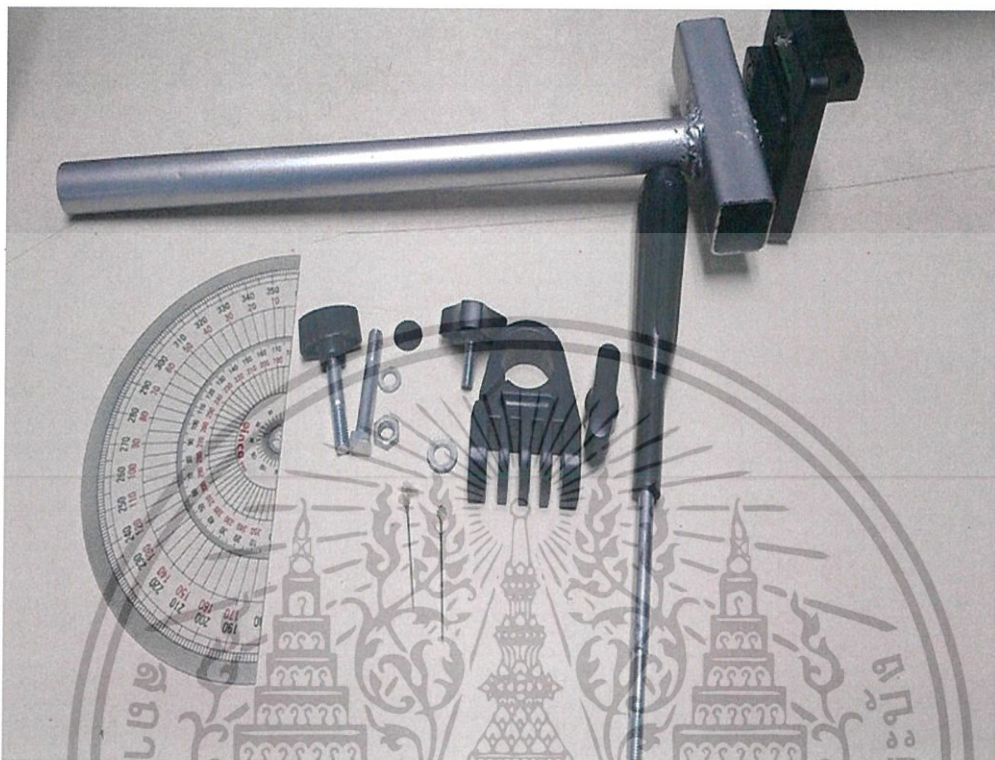


รูปที่ 3.4 แสดงระบบฐานตั้งของเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

รูปที่ 3.5 แสดงการออกแบบเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สร้างเครื่องมือวัดมุมอัลติจูดและอะซิมุท วัสดุอุปกรณ์



รูปที่ 3.6 แสดงอุปกรณ์และส่วนประกอบของเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

- | | |
|----------------|------------------|
| 1) ขาตั้งกลิ้ง | 2) แท่งเหล็ก |
| 3) เข็มทิศ | 4) ไมโครแทคเตอร์ |
| 5) เข็ม | |

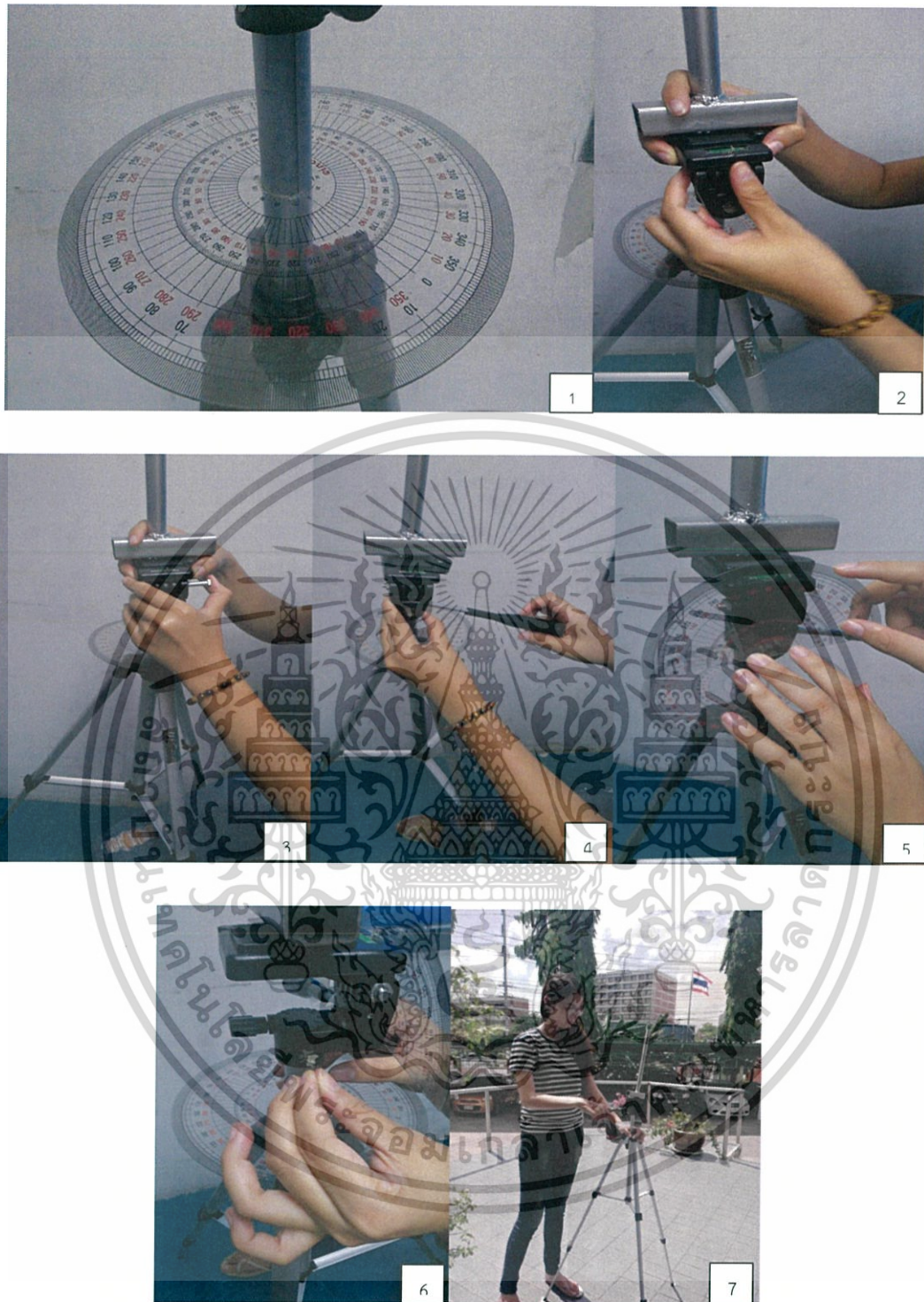
วิธีการสร้าง

- 1) เจาะไมโครแทคเตอร์สเกล 360 องศา นำมาประกอบเข้ากับฐานเครื่องวัดที่เป็นขาตั้งกลิ้งปรับระดับให้พอดี
- 2) ประกอบแท่งเหล็กวัดดูที่ทำให้เกิดเงาเข้ากับตัวยึดด้านบนของขาตั้งกลิ้งให้แน่น แล้วนำมาติดตั้งที่ยอดของระบบฐาน
- 3) ชั้นน็อตทุกส่วนเข้ากันให้แน่นทั้งระบบฐานและระบบวัดมุม
- 4) นำมือจับที่ใช้ในการปรับหมุนของเครื่องวัดมาติดตั้งโดยหมุนให้เข้ากับรูเกี่ยวของแท่นจับหมุนสี่

เอกสารนี้ออกให้พอดีที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าวิธีใดก็ตามที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

- 5) ไมโครแทคเตอร์สเกล 180 องศา นำมาประกอบเข้ากับฐานเครื่องวัดเพื่อวัดมุมอะซิมุท
- 6) ติดเข็มวัดมุมอัลซิมุทและมุมอัลติจูดให้เที่ยงตรง
- 7) ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานให้พร้อมใช้งาน



รูปที่ 3.7 แสดงวิธีการสร้างเครื่องวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเก็บค่าตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.8 การเก็บค่าตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

- 1) หาตำแหน่งละติจูดที่เราจะทำการวัดเงาการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ซึ่งละติจูดคือ 13.728117 องศา และลองจิจูดคือ 100.7791 องศา
- 2) ทำการหาตำแหน่งของทิศเหนือแล้วตั้งเครื่องวัดให้ขีดเลข 0 ของมุมอัลติจูดตรงกับขีดทิศเหนือของเข็มทิศที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องวัด
- 3) ทำการมาร์คจุดเพื่อไม่ให้เกิดความคาดเคลื่อนในการวัดโดยวางในตำแหน่งเดิมที่วัดเป็นระยะเวลา 15 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น การรับพิมพ์ให้ผิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) ทำการวัดในทุกๆ 10 นาที ตั้งแต่เวลา 10.00 น. - 16.00 น. โดยวัดมุมอัลติจูดและอะซิมุทที่เกิดจากเงาของดวงอาทิตย์มาตกกระทบที่วัตถุที่ทำให้เกิดเงาโดยเงาการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาจะไม่เท่ากัน
- 5) ทำการบันทึกค่ามุมมุมอัลติจูดและอะซิมุทในแต่ละวันจนครบ 15 วัน แล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณตามสมการการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ต่อไป

3.4 การคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์

- 1) คำนวณหาค่าเวลาจากสมการเวลา

$$EQT = 60 \sum_{k=0}^5 \left[A_k \cos\left(\frac{360kn}{365.25}\right) + B_k \sin\left(\frac{360kn}{365.25}\right) \right]$$

เมื่อ n คือ จำนวนวันในรอบปีโดยที่ $n=1$ ในวันที่ 1 มกราคม ค่าสัมประสิทธิ์ A_k และ B_k สามารถหาได้จากตาราง

ตารางที่ 3.1 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ n , A_k และ B_k

k	A_k	B_k
0	2.0870×10^{-4}	0
1	9.2869×10^{-3}	-1.229×10^{-1}
2	-5.2258×10^{-2}	-1.5698×10^{-1}
3	-1.3077×10^{-3}	-5.1602×10^{-3}
4	-2.1867×10^{-3}	-2.9823×10^{-3}
5	-1.5100×10^{-4}	-2.3463×10^{-4}

- 2) คำนวณหาเวลาท้องถิ่นจากสมการ

$$LCT = \frac{T_{ZW}^E \pm \lambda_w^E}{15}$$

- 3) คำนวณเวลาสุริยคติปรากฏและบวกด้วยค่าสมการเสียเวลา ซึ่งหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการ

$$AST = LCT \pm \frac{T_{ZW}^E \pm \lambda_w^E}{15} + \frac{EQT}{60} - D$$

เมื่อ LCT คือ เวลาท้องถิ่น

- T_z คือ เขตเวลา (Time Zone) มีค่าเป็นบวกสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันตก และเป็นลบสำหรับเส้นลองจิจูดตะวันออกโดยกำหนดจากเส้นลองจิจูดซึ่งอยู่ห่างกันช่องละ 15 องศาเป็น 1 เขตเวลา
- λ คือ เวลาที่ตำแหน่งเส้นลองจิจูดของผู้สังเกต
- D คือ ค่าคงที่ ถ้าอยู่ในท้องถิ่นมีผลมาจาก Daylight Saving Time ให้มีค่าเป็น 1 แต่ถ้าไม่มีผลให้มีค่าเป็น 0
- EQT คือ Equation of Time

4) คำนวณหามุมชั่วโมง

$$\omega = 15(t_s - 12)$$

5) คำนวณหามุมเดคลิเนชันหาได้จากสมการ

$$\sin \delta = -\cos \left[(D_s - 1) \frac{180}{182.6} \right] \sin(23.45^\circ)$$

6) คำนวณมุมอัสติจูดจากสมการ

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

7) คำนวณหาค่ามุมอะซิมูทจากสมการ

$$A = \sin^{-1} \left(\frac{-\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \right)$$

โดยมีเงื่อนไขว่าถ้า

$$\cos \omega \geq \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right), A = 180^\circ - A$$

$$\cos \omega < \left(\frac{\tan \delta}{\tan \phi} \right), A = 360^\circ + A$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างค่ามุมอัลติจูดแล่มุมอะซิมูทที่ได้จากการคำนวณและได้จากการวัดค่าจริงในวันที่ 15 พ.ค. 2558

15 พ.ค. 58	ค่าที่ได้จากการคำนวณ		ค่าที่ได้จากการวัด	
	เวลาท้องถิ่น	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมูท	มุมอัลติจูด
10.00	57.7	76.9	59.5	77.5
10.10	59.1	76.7	61.5	77.5
10.20	60.5	76.5	64.5	77.5
10.30	61.9	76.2	66.5	77.5
10.40	63.3	75.9	68.5	77.5
10.50	64.8	75.5	69	77.5
11.00	71.8	72.3	73.5	72.5
11.10	73.2	71.2	75.5	72
11.20	74.5	69.9	77	71
11.30	75.9	68.3	79	70
11.40	77.3	66.3	81	67
11.50	78.6	63.8	83	65
12.00	84.3	33.3	89	34
12.10	85.0	19.7	88	20
12.20	85.3	3.3	87	5
12.30	85.1	-13.6	85.5	-15
12.40	84.6	-28.4	84.5	-30.5
12.50	83.8	-39.9	82.5	-42
13.00	77.8	-65.4	80.5	-67
13.10	76.4	-67.6	78	-69
13.20	75.1	-69.3	76.5	-69.5
13.30	73.7	-70.7	74.5	-69.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับทำรายงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการใดก็ตามอันถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์และต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.40	72.3	-71.9	73	-70
13.50	70.9	-72.8	68	-71
14.00	63.9	-75.8	67.5	-72
14.10	62.5	-76.1	65	-73
14.20	61.1	-76.4	63.5	-74
14.30	59.7	-76.7	62	-75
14.40	58.2	-76.9	59.5	-76
14.50	56.8	-77.0	57.5	-77
15.00	49.7	-77.4	56.5	-78
15.10	48.3	-77.4	52.5	-78
15.20	46.9	-77.4	51	-78
15.30	45.4	-77.4	48	-78

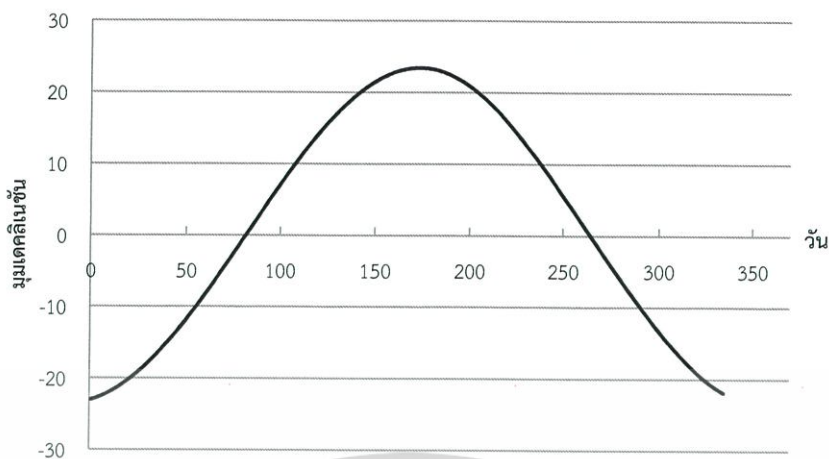
3.5 การสร้างกราฟและวิเคราะห์ผลค่าข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เทียบกับค่ามาตรฐาน

ตัวอย่างกราฟที่ใช้วิเคราะห์ผลค่าข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

แสดงตัวอย่างการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆของสมการการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัด ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งค่าของตัวแปรต่างๆสามารถวิเคราะห์เป็นกราฟต่างๆได้ดังต่อไปนี้

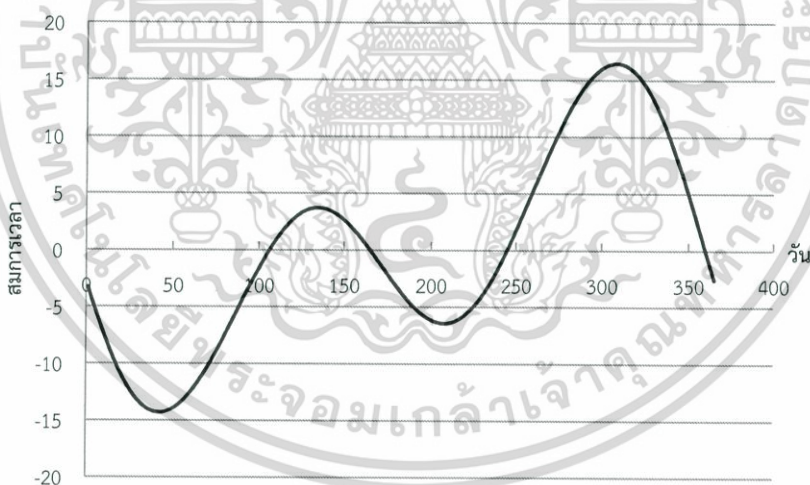
- 1) กราฟมุมเดคลิเนชัน เป็นการเขียนกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างในรอบ 1 ปี ซึ่งมุมเดคลิเนชันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับวัน 365 วันของปี พ.ศ. 2558

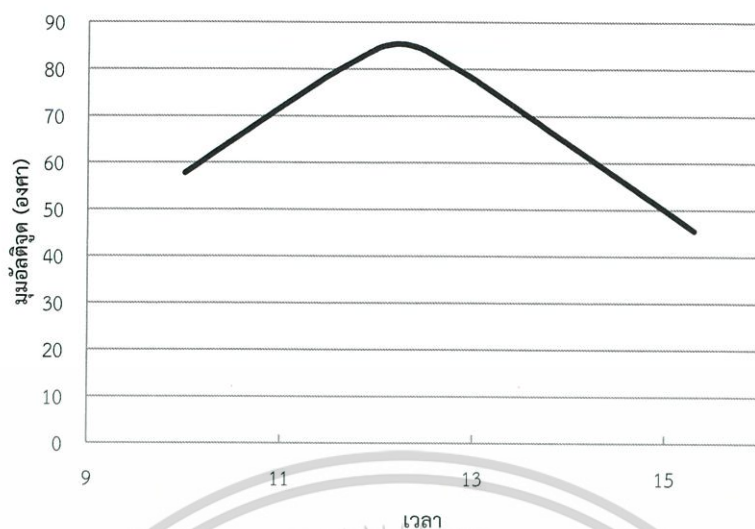
2) กราฟสมการเวลา ได้จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่คำนวณได้จากสมการเวลากับวัน ในแต่ละปีกราฟสมการจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในปีนั้นๆ



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมการเวลากับวัน 365 วันของปี พ.ศ. 2558

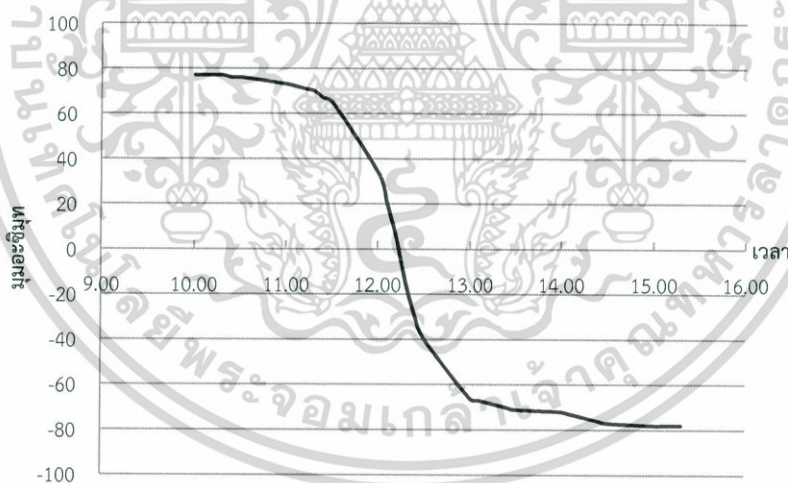
3) กราฟมุมอัลติจูด เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทดลองกับค่ามุมอัลติจูดที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลาโดยที่ค่ามุมอัลติจูดจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆในตอนช่วงเช้าและจะมีค่าของมุมสูงสุดอยู่ที่เวลาช่วงเที่ยงวันหลังจากนั้นจะมีค่ามุมลดลงเรื่อยๆในช่วงบ่ายแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



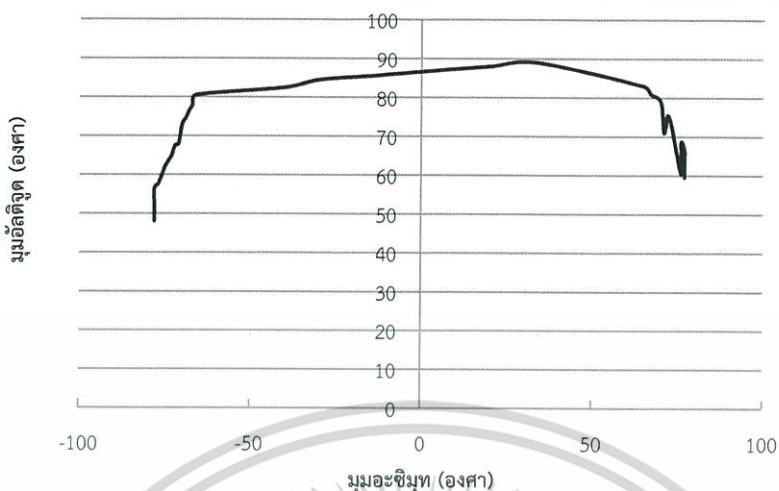
รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทดลองกับค่ามุมอัลติจูดของวันที่ 15 พ.ศ. 2558

4) กราฟมุมอะซิมูท ซึ่งจะเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมูทกับเวลาเช่นกัน ในช่วงเช้ามุมอะซิมูทจะมีค่าคงที่และค่อยๆลดลงเรื่อยๆจนมีค่าเป็น 0 ในช่วงเที่ยงวันและมีค่าติดลบในช่วงบ่าย



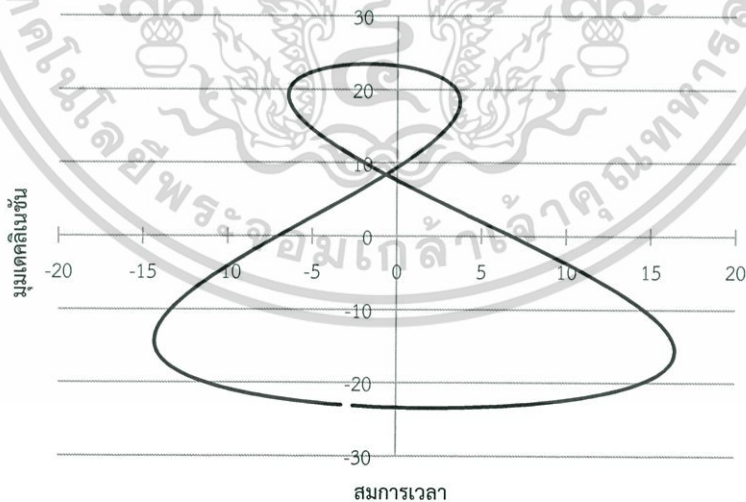
รูปที่ 3.12 กราฟมุมอะซิมูทกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ทำการทดลองและค่ามุมอะซิมูทของวันที่ 15 พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมอัสติจูดและค่ามุมอะซิมุตของวันที่ 15 พ.ศ. 2558

5) กราฟอะนาเลมมา เขียนความสัมพันธ์ของกราฟระหว่างสมการเวลากับมุมเดคลิเนชัน หากบันทึกค่าข้อมูลใน 1 ปี กราฟอะนาเลมมาที่ได้จะคล้ายกับรูปเลข 8 ซึ่งบ่งบอกการเคลื่อนที่และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 3.14 กราฟอะนาเลมมาของปี พ.ศ. 2558 ถูกใจให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองจากข้อมูลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการทดลอง และการคำนวณ เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ในเทอมของสมการ NOAA ของตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองประกอบด้วย กราฟมุมอัลติจูด กราฟมุมอะซิมุท กราฟมุมเดคลิเนชัน กราฟสมการเวลา กราฟมุมชั่วโมง ซึ่งกราฟต่างๆเหล่านี้เป็นตัวแปรสำคัญที่มีความสำคัญในเทอมของสมการ NOAA สามารถใช้อธิบายลักษณะตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันเวลาได้ และในส่วนสุดท้ายจะอธิบายถึงกราฟนาเลมมา ซึ่งเป็นกราฟที่สัมพันธ์กับทุกๆตัวแปรสามารถใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละปีได้

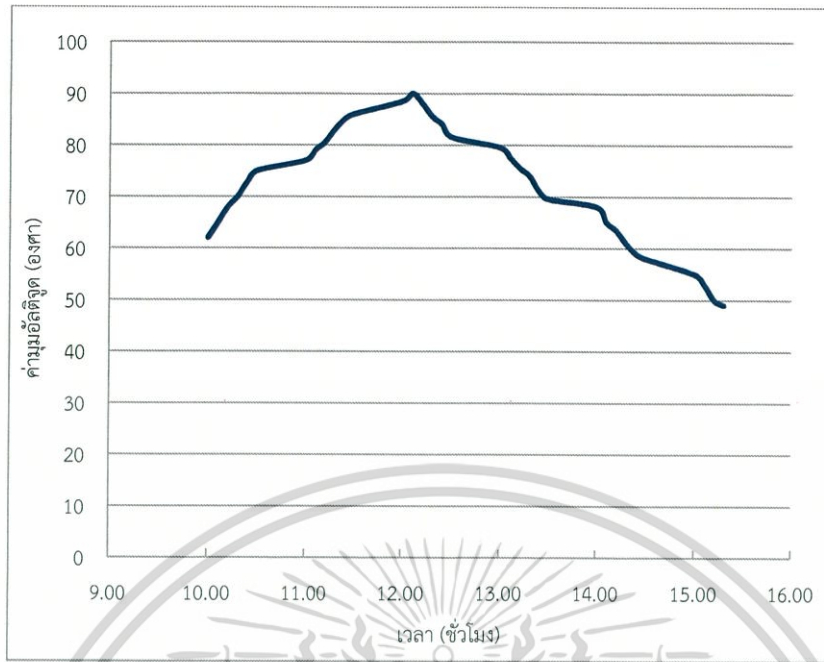
4.1 ผลของของการวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

โดยทำการวัดมุมอัลติจูดและมุมอะซิมุท ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง แล้วนำค่ามุมเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด อะซิมุทกับเวลาได้ผลเป็นดังนี้

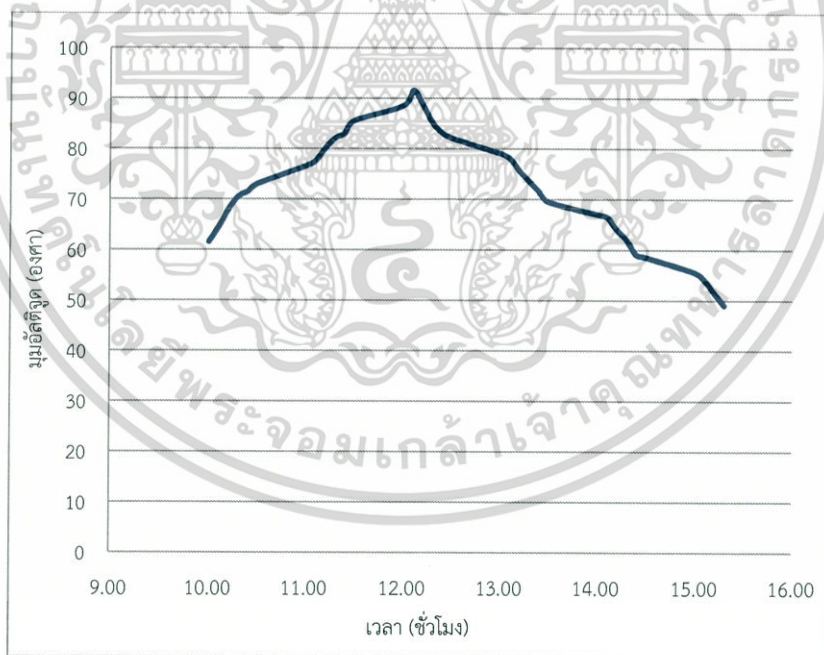
4.1.1 มุมอัลติจูด

จากการเก็บผลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในระหว่างวันที่ 2 ถึง 15 พฤษภาคม 2558 ตั้งแต่เวลา 10.00 น. - 15.30 น. พบว่ามุมอัลติจูดจะมีค่ามุมเพิ่มขึ้นในช่วงเช้า นั่นคือในช่วง 10.00 น. - 12.00 น. และมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยง ส่วนในช่วงตอนเย็นนั้นคือ 12.00 น. - 15.30 น. มุมอัลติจูดจะมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ที่ผลเป็นเช่นนั้นเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก เมื่อโลกหมุนรอบตัวเองตามแนววงโคจรรอบดวงอาทิตย์จะทำให้เห็นเหมือนดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ รอบโลกจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก โดยในช่วงเช้าดวงอาทิตย์จะขึ้นในทิศตะวันออกเมื่อดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จะทำให้เกิดมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก แสงจากดวงอาทิตย์จะทำมุมอัลติจูดมีค่าน้อยกับพื้นผิวของโลกและค่อยๆเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ส่วนในช่วงเที่ยงแสงจากดวงอาทิตย์จะทำมุมตั้งฉากกับพื้นโลกทำให้มุมอัลติจูดมีค่าสูงสุดและมุมอัลติจูดจะค่อยๆลดลงในช่วงตอนเย็น เนื่องจากพระอาทิตย์กำลังเคลื่อนที่ตกดิน ซึ่งการแนวโน้มมีมุมอัลติจูดในทุกวันๆที่เก็บค่าคือ วันที่ 2 - 15 พฤษภาคม 2558 ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละเวลาส่งผลต่อค่ามุมอัลติจูดดังแสดงในกราฟ โดยกราฟที่ได้จะเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมอัลติจูดกับเวลา มีค่าอัลติจูดสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 90 องศา และมีค่ามุมอัลติจูดต่ำสุดอยู่ที่ -48 องศา และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีหรือค่าที่คำนวณแล้วพบว่ามีความใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

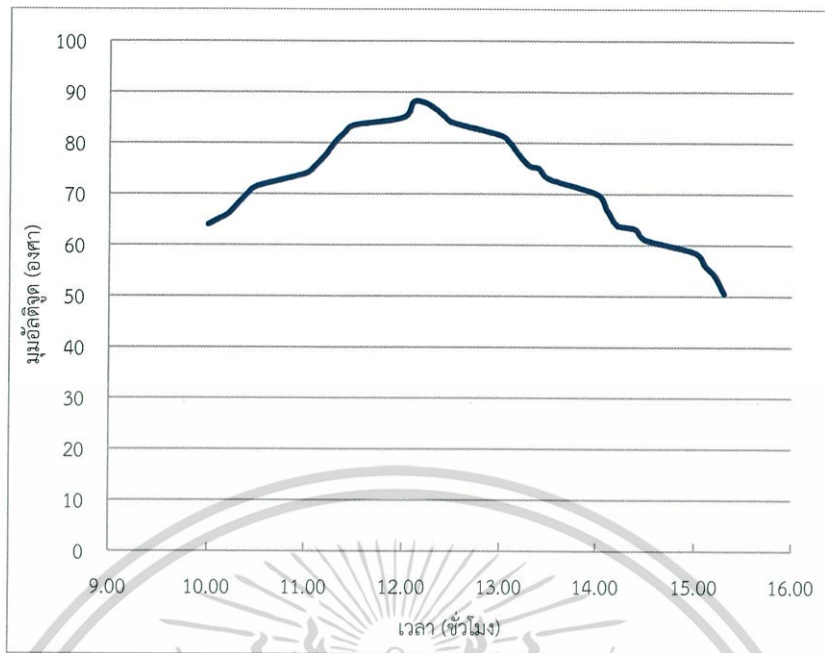


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมยุงตัวกับเวลาที่ทดลอง วันที่ 2 พฤษภาคม 2558

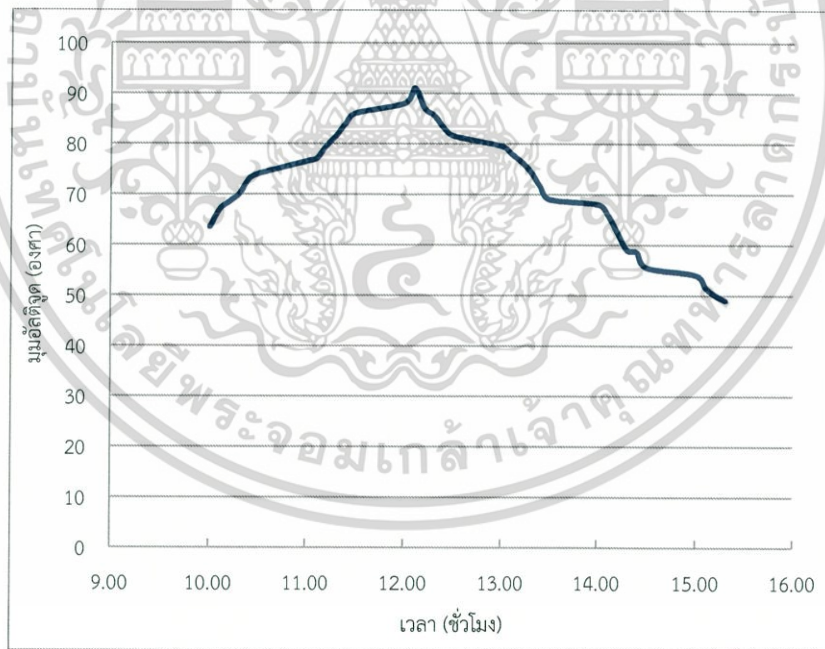


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมยุงตัวกับเวลาที่ทดลอง วันที่ 3 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

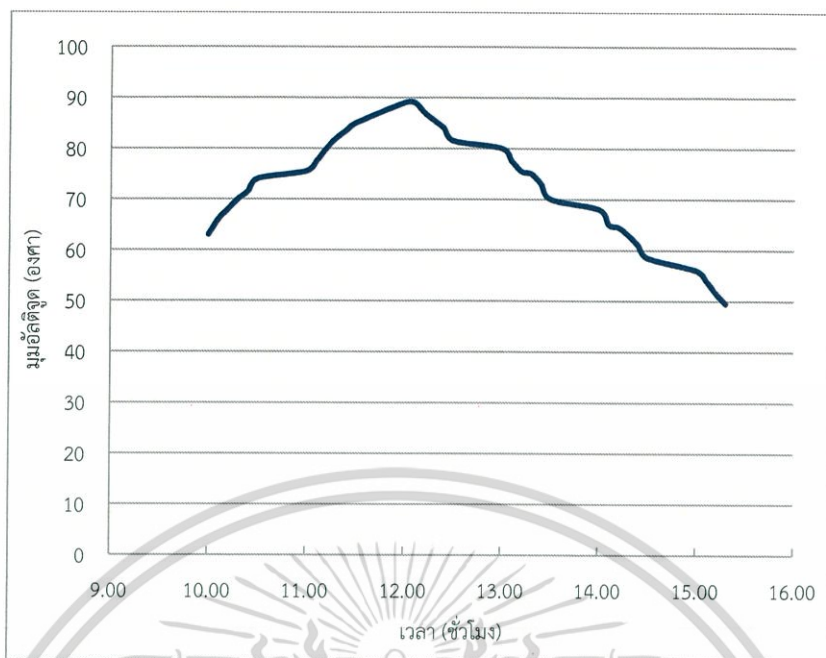


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมม่อลติจุดกับเวลาที่ทดลอง วันที่ 4 พฤษภาคม 2558

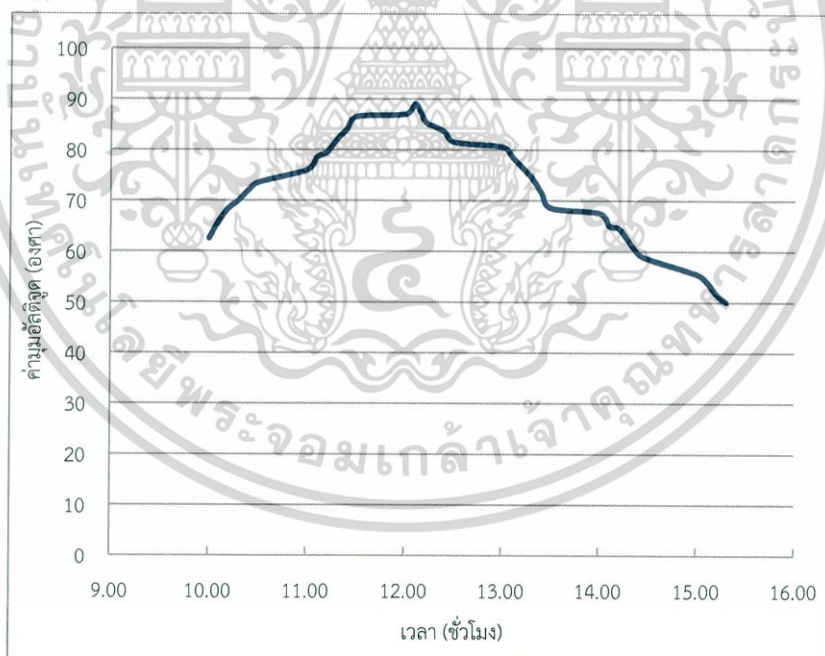


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมม่อลติจุดกับเวลาที่ทดลองวันที่ 5 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

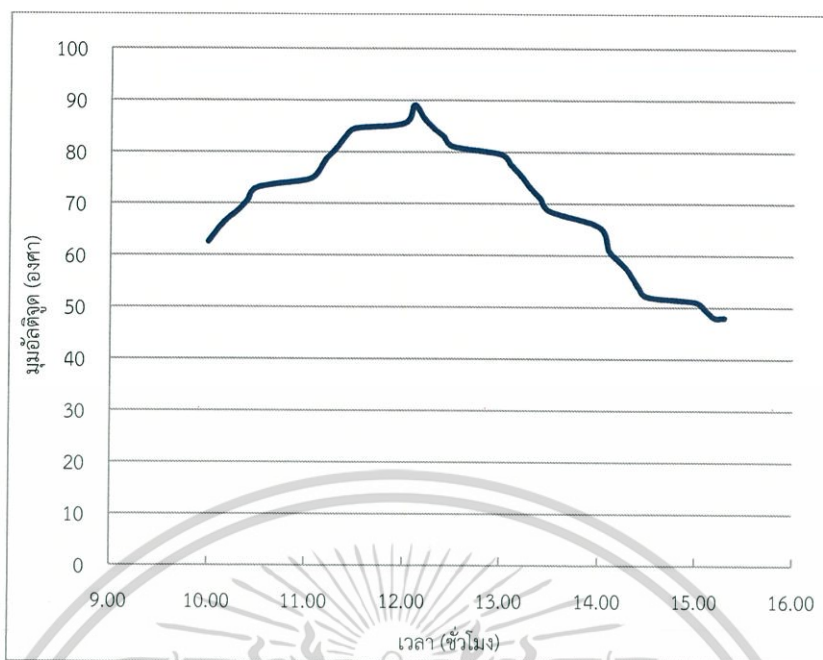


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองวันที่ 6 พฤษภาคม 2558

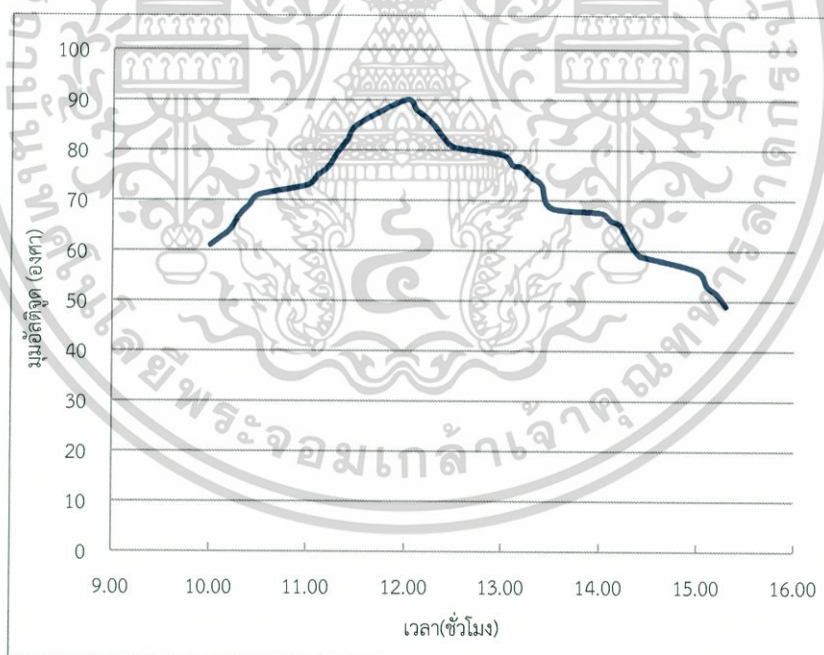


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 7 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

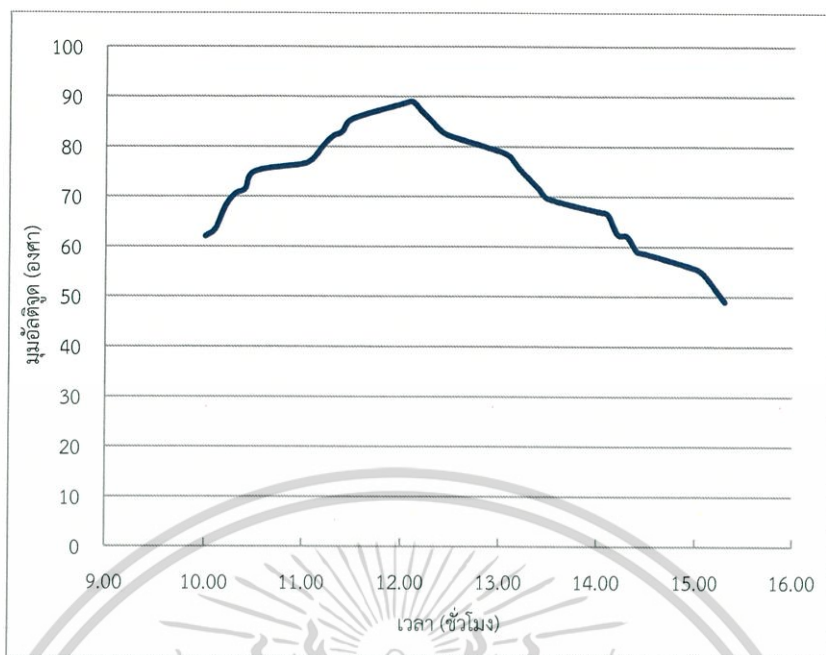


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอัสติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 8 พฤษภาคม 2558

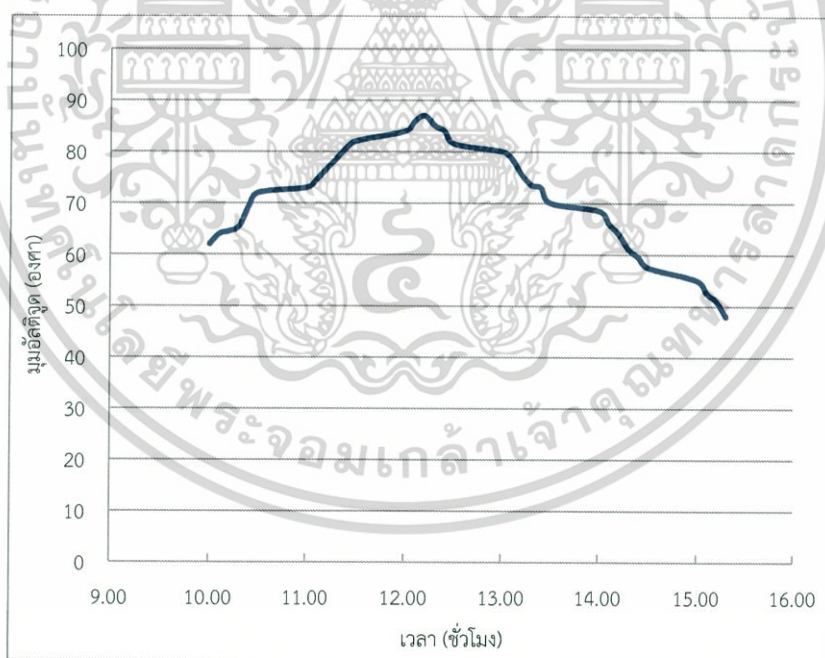


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอัสติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 9 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

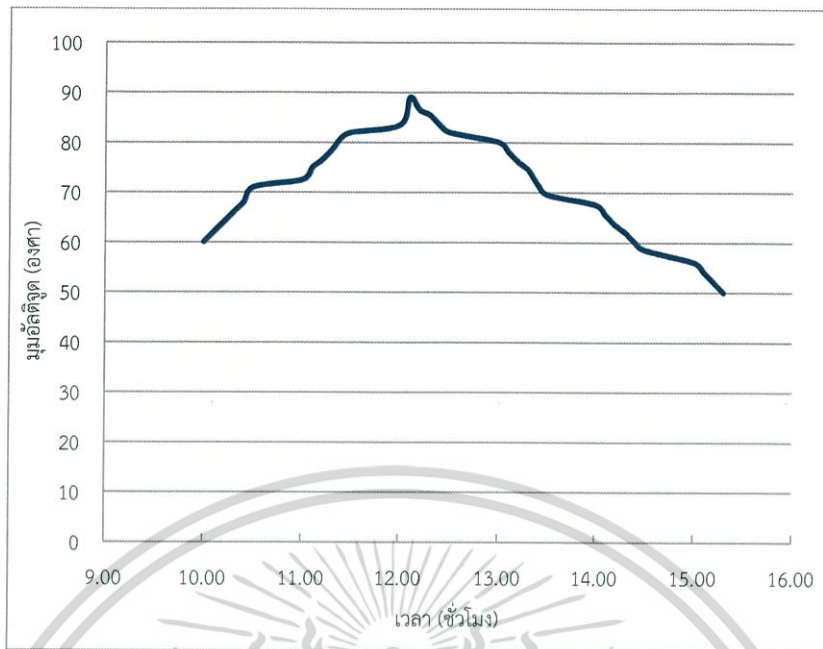


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมม่อลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 10 พฤษภาคม 2558

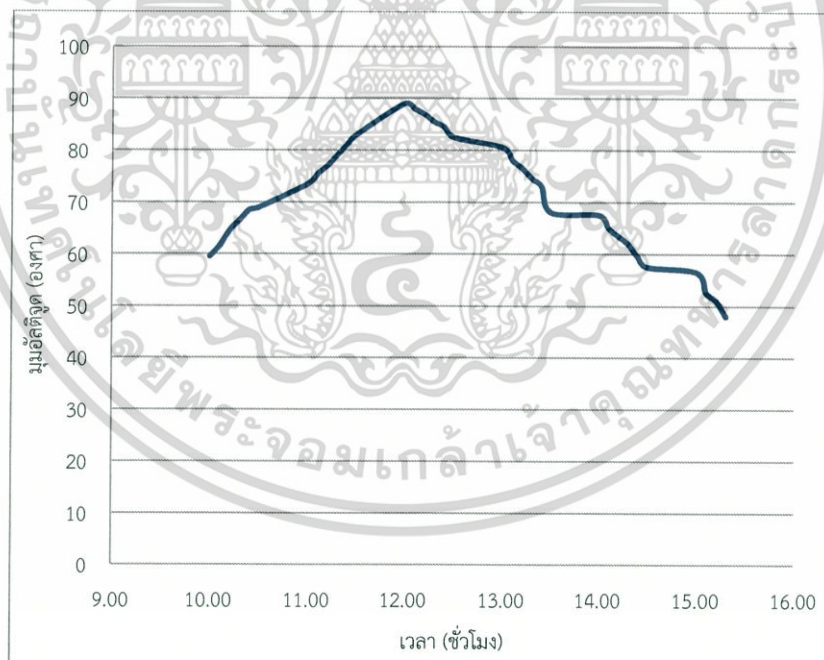


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมม่อลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 11 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมม่อลติจูดกับเวลาที่ทดลองวันที่ 12 พฤษภาคม 2558



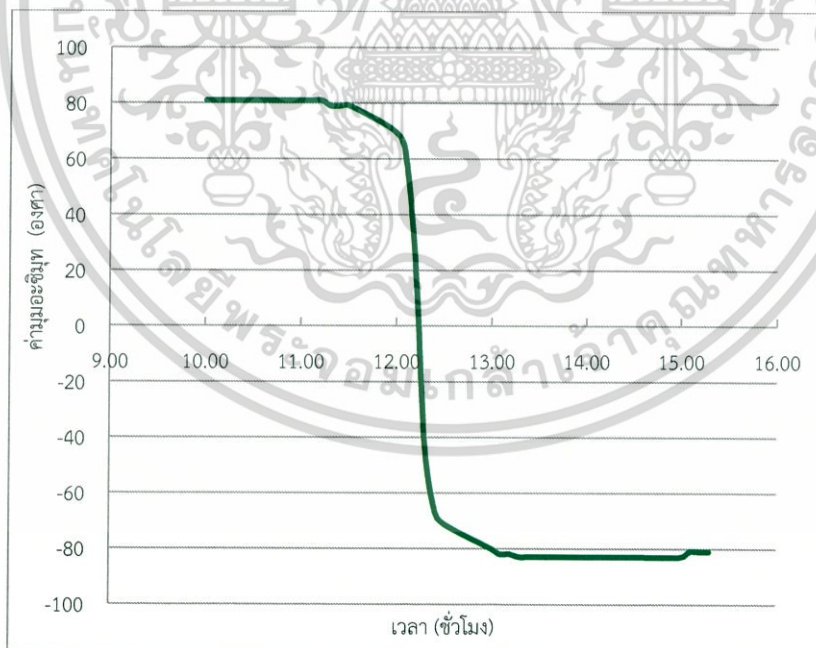
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมม่อลติจูดกับเวลาที่ทดลองของวันที่ 15 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ จากรูปที่ 4.22 ถึงรูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมม่อลติจูดกับเวลาที่ทำการทดลอง จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่เป็นมุมที่มากขึ้นและสูงสุดที่เวลาประมาณ 12.00 น. และจะทำมุมลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่ได้คำนวณไว้ในรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.12

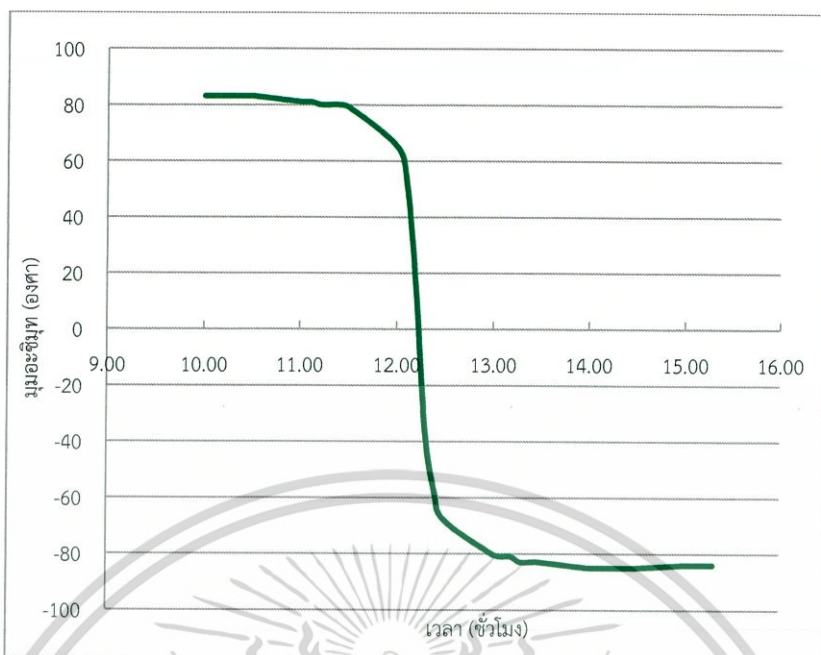
4.1.2 มุมอะซิมุมุท

เป็นการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุมุทกับเวลา ซึ่งมุมอะซิมุมุทเป็นมุมในแนวราบมีค่ามุมตั้งแต่ 0 องศา – 360 องศา โดยเริ่มจากทางทิศเหนือไปยังทิศตะวันออก ทิศใต้ และทิศตะวันตก มีทิศทางตามเข็มนาฬิกา จากผลการทดลองพบว่าในช่วงตอนเช้า นั่นคือเวลา 10.00 น. – 11.00 น. ค่ามุมอะซิมุมุทมีค่ามากที่สุดคือประมาณ 80 องศาและมีค่าคงที่อย่างสม่ำเสมอในช่วงเวลาประมาณ 11.30 น. มุมอะซิมุมุทจะค่าลดลงจนถึงช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. นั่นก็คือช่วงเวลาเที่ยงวันนั่นเอง ค่ามุมอะซิมุมุทจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งมีค่าประมาณ -80 องศา และมีค่าลดลงจนคงที่ในช่วงตอนเย็น ดังกราฟรูปที่ 4.34 ถึงกราฟรูปที่ 4.45 ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องมาจากการโคจรของโลก รอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีตามกฎของเคปเลอร์ ทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของโลกในช่วงแนวยาวของวงรีมีค่ามากกว่าในส่วนโค้งสั้นของวงรี หากเราเป็นผู้สังเกตภายในโลกจะทำให้เราเห็นตำแหน่งของดวงอาทิตย์ของดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ช้าหรือทำมุมอะซิมุมุทกับโลกมีค่าคงที่ในช่วงตอนเช้าและตอนเย็น ซึ่งตอนเย็นจะแตกต่างกับในตอนเช้าเพียงแค่ว่าทิศทาง นั่นคือในช่วงเย็นเราจะเห็นดวงดวงอาทิตย์เปลี่ยนทิศไปทางทิศตะวันตกทำให้มุมอะซิมุมุทในช่วงตอนเย็นมีค่าติดลบ ส่วนในตอนเที่ยงวันมุมอะซิมุมุทมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วเป็นผลอันเนื่องมาจากระยะทางส่วนโค้งที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์มีค่าน้อยจึงทำให้มุมอะซิมุมุทมีค่าเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็วในระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และมีค่าลดลงจนติดลบเนื่องจากการเปลี่ยนทิศของดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก โดยในแต่ละวันที่เก็บผลการทดลองพบว่ามีแนวโน้มเป็นเช่นนี้ทุกวันตั้งแต่วันที่ 2 -15 พฤษภาคม 2558 ซึ่งอาจจะมีค่าเคลื่อนบ้างเล็กน้อยตามสภาพแวดล้อมในแต่ละวัน

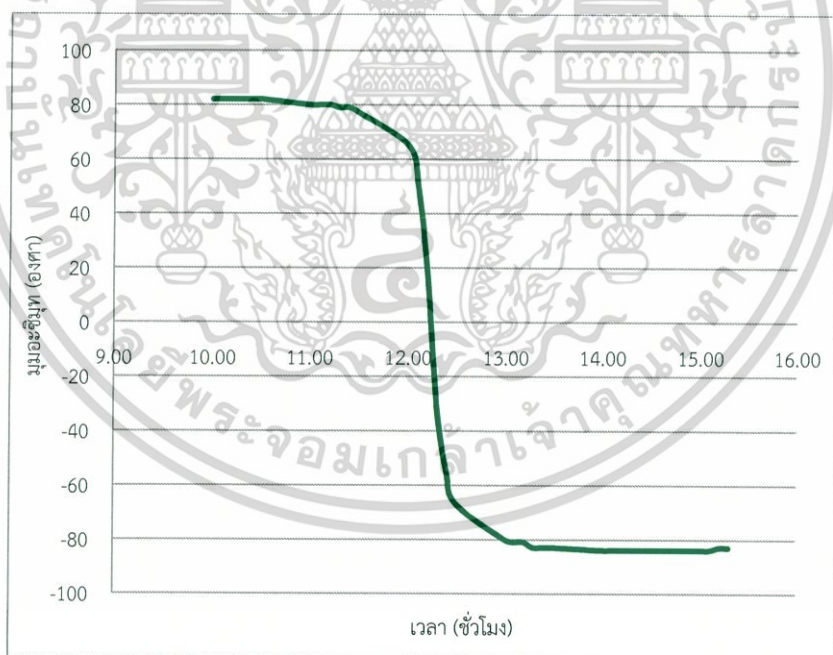


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุมุทกับเวลาที่ทดลองวันที่ 2 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น และผู้ใดที่นำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

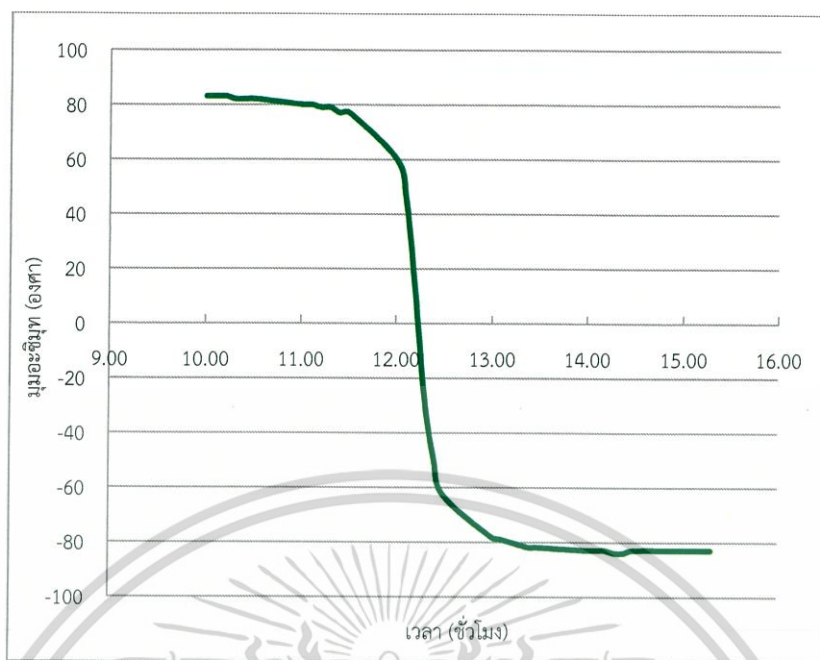


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอะซิมีทกับเวลาที่ทดลองวันที่ 3 พฤษภาคม 2558

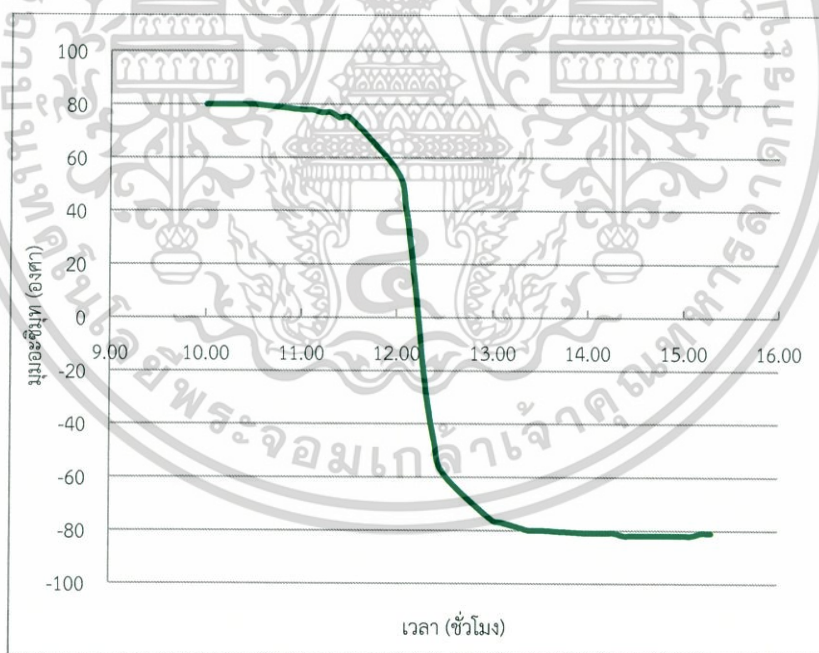


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอะซิมีทกับเวลาที่ทดลองวันที่ 4 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

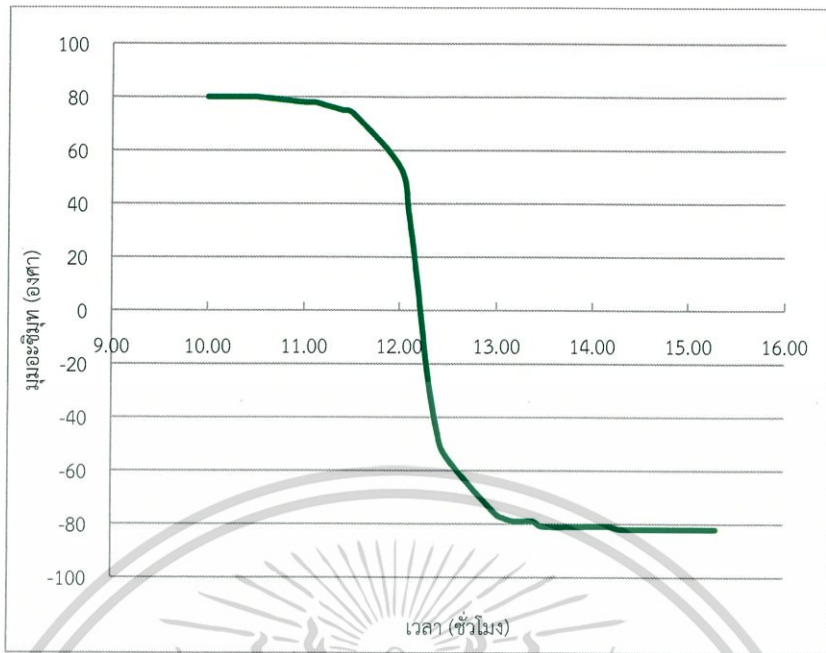


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุตกับเวลาที่ทดลองวันที่ 5 พฤษภาคม 2558

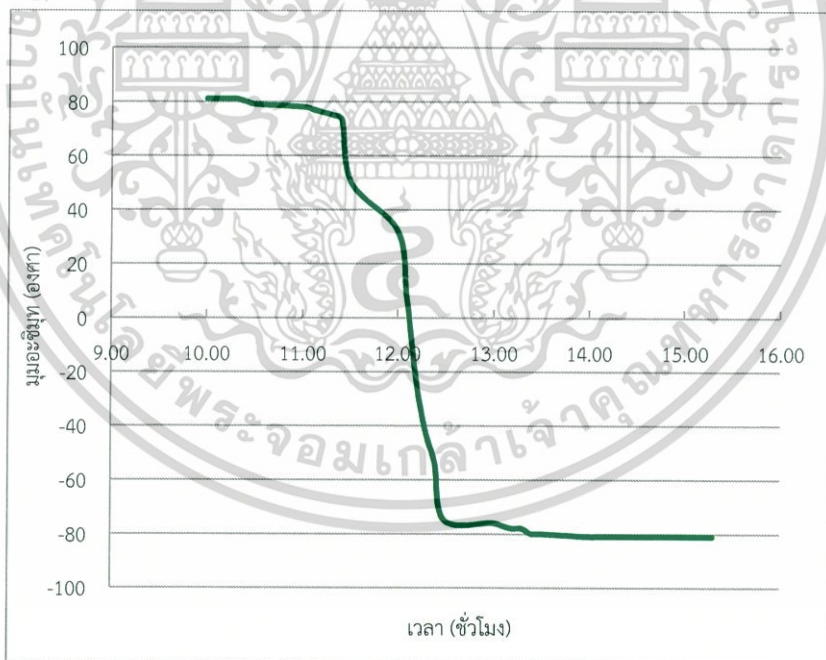


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุตกับเวลาที่ทดลองวันที่ 6 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

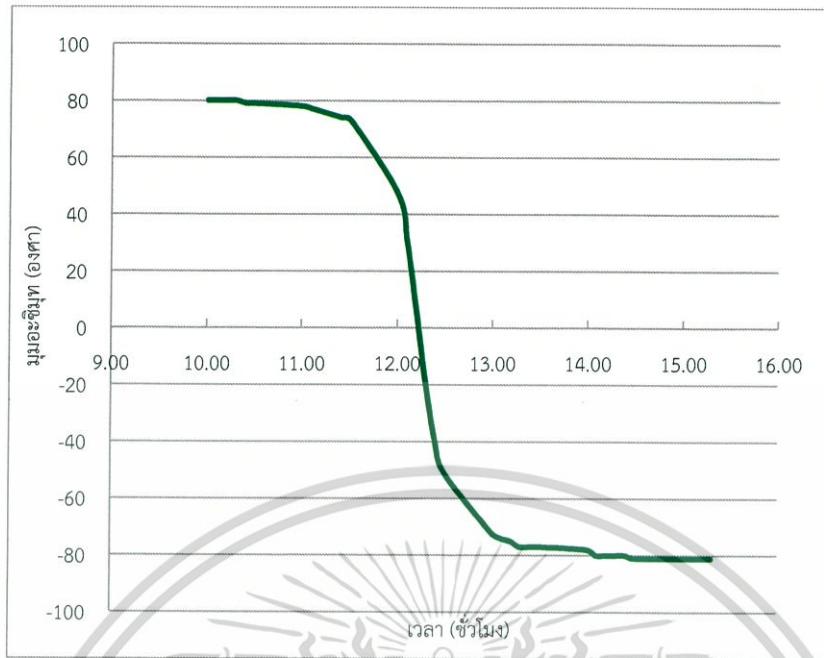


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูอะซิมท์กับเวลาที่ทดลองวันที่ 7 พฤษภาคม 2558

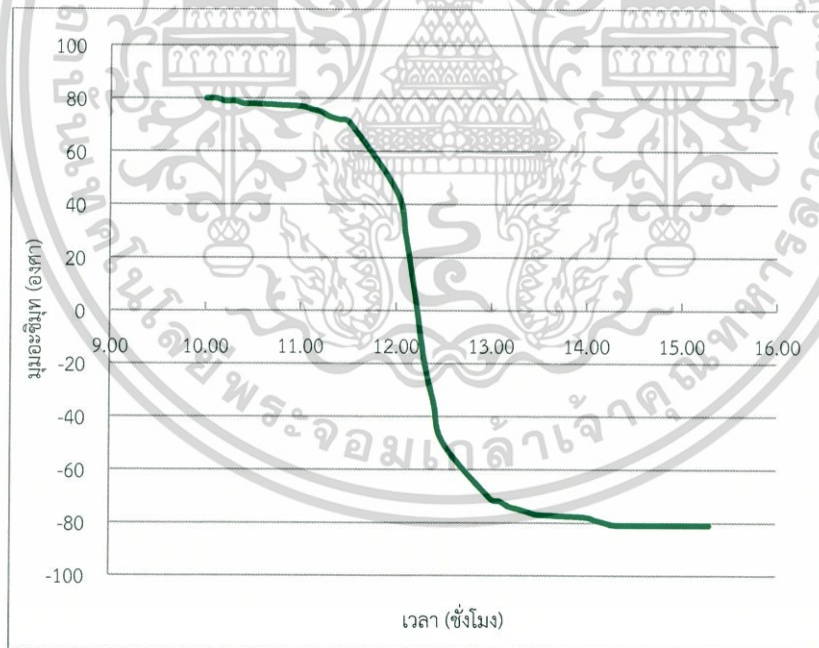


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมูอะซิมท์กับเวลาที่ทดลองวันที่ 8 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

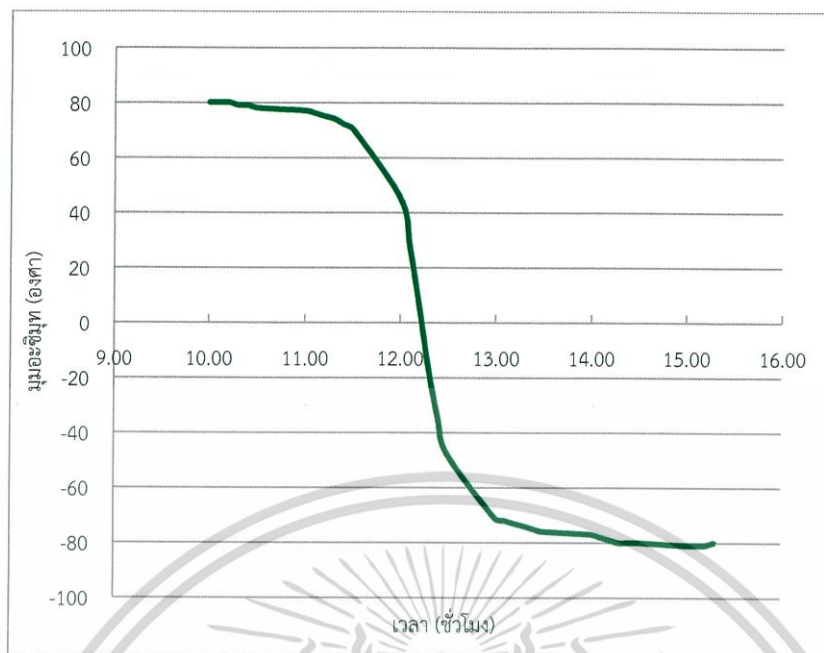


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองวันที่ 9 พฤษภาคม 2558

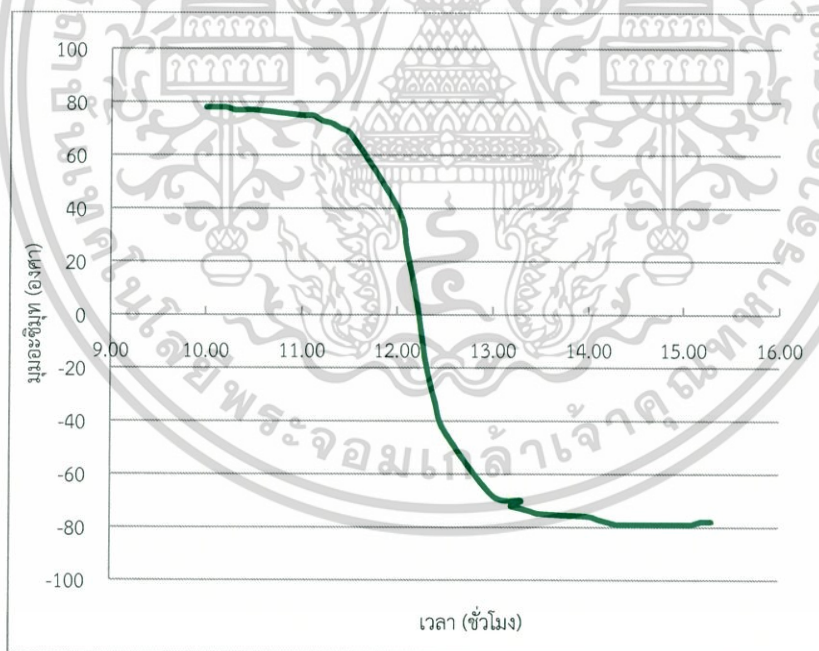


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองวันที่ 10 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

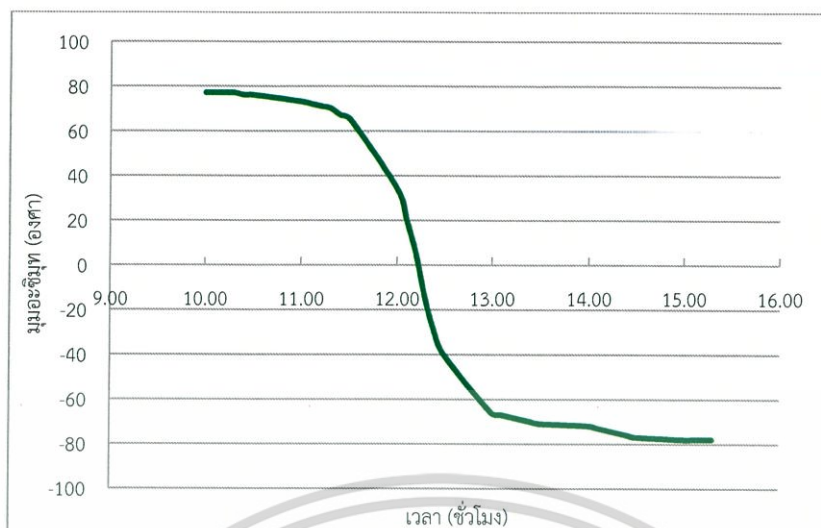


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุตกับเวลาที่ทดลองวันที่ 11 พฤษภาคม 2558



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอะซิมุตกับเวลาที่ทดลองวันที่ 12 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

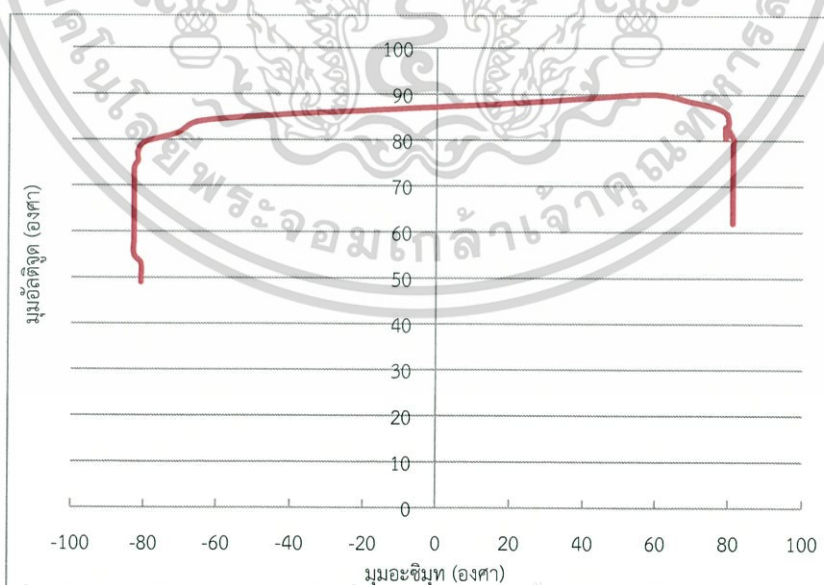


รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอะซิมุทกับเวลาที่ทดลองวันที่ 15 พฤษภาคม 2558

จากรูปที่ 4.13 ถึงรูปที่ 4.24 แสดงถึงการเคลื่อนที่ของมมอะซิมุทที่เวลา 10.00 น. ถึง 15.30 น. จะพบว่าที่เวลาก่อนเที่ยงวันจะมีค่ามมเป็นบวก และที่เวลาหลังเที่ยงวันจะมีค่ามมเป็นลบ

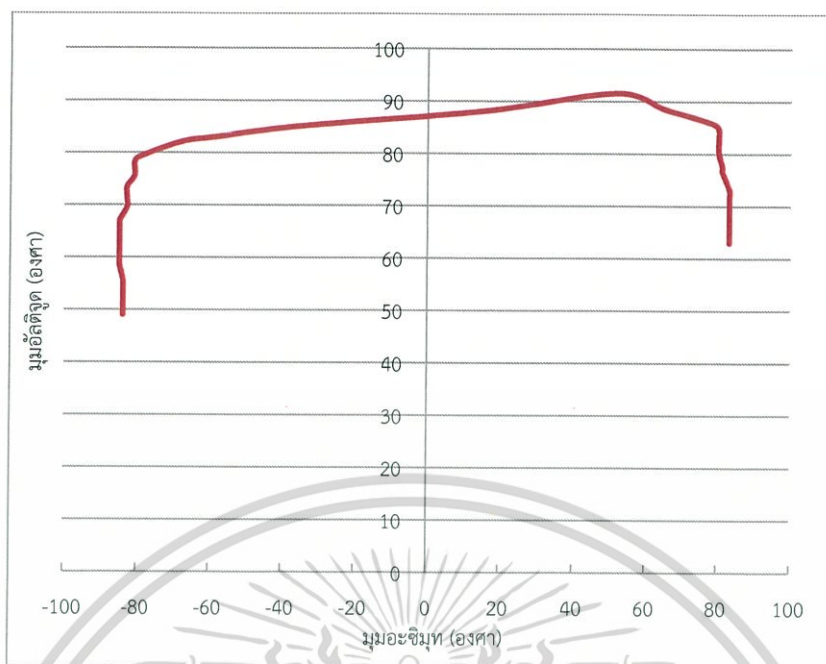
4.1.3 มุมอัลติจูดกับมมอะซิมุท

เป็นการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมมอะซิมุทตั้งแต่วันที่ 2 - 15 พฤษภาคม 2558 จะได้กราฟเป็นดังรูปกราฟที่ 4.46 ถึง รูปกราฟที่ 4.57 โดยค่ามุมอัลติจูดจะมีค่ามมอยู่ระหว่าง ± 80 องศา และมุมอัลติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง 50 องศา - 90 องศา โดยผลของทุกๆ วันที่ทำการทดลองก็ได้ผลมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน

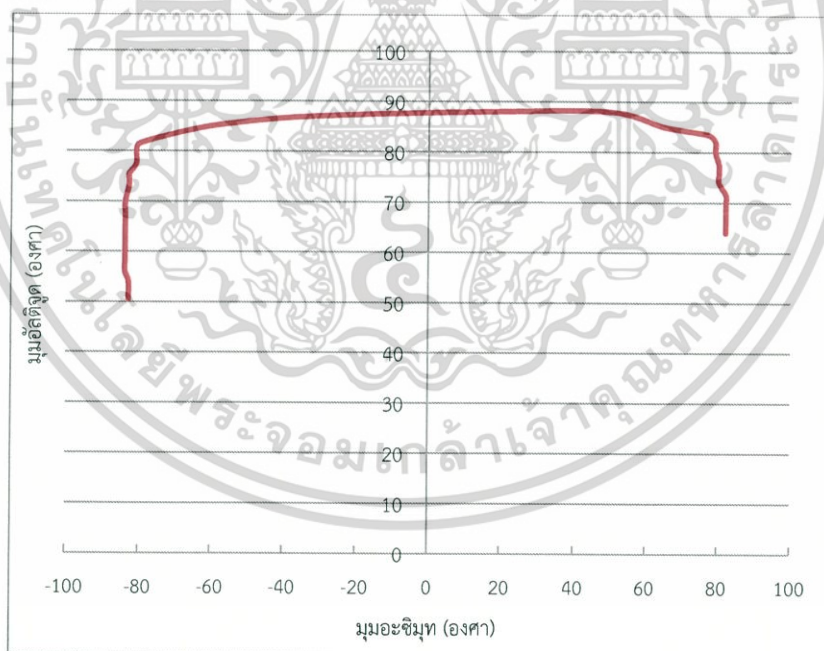


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมมอะซิมุทวันที่ 2 พฤษภาคม 2558



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัสติจูดกับมุมอะซิมูทวันที่ 3 พฤษภาคม 2558

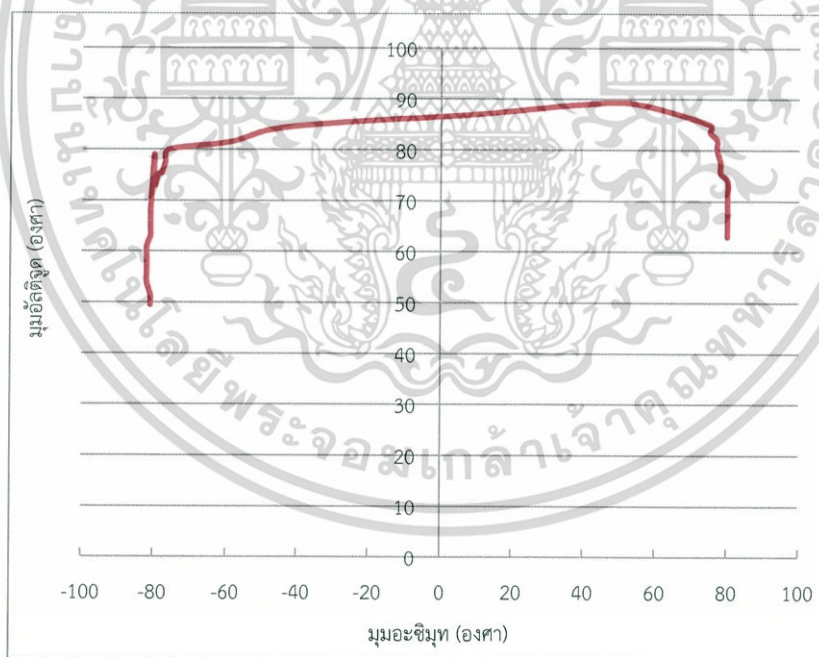


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัสติจูดกับมุมอะซิมูทวันที่ 4 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมูทวันที่ 5 พฤษภาคม 2558

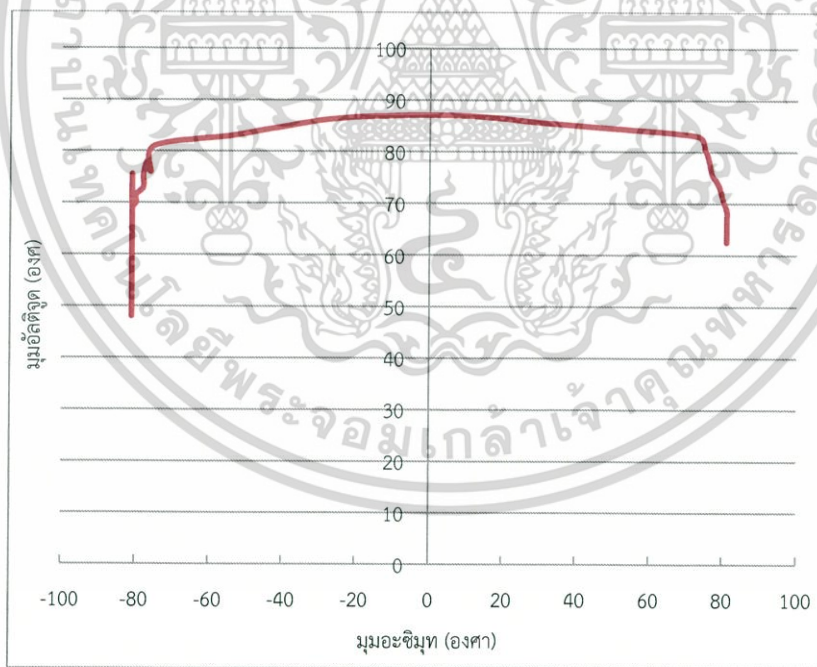


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมูทวันที่ 6 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัตรัดจุดกับมุมอะซิมุทวันที่ 7 พฤษภาคม 2558

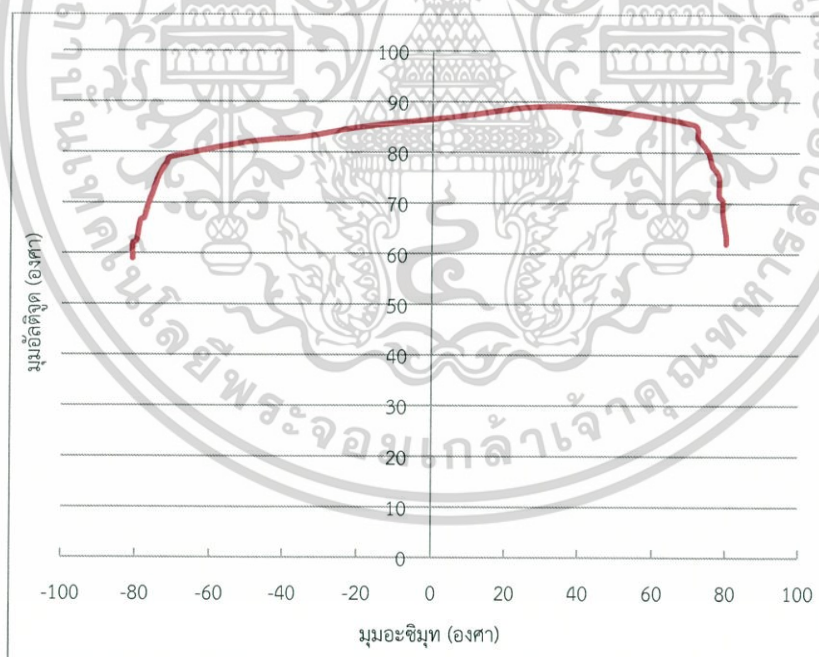


รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัตรัดจุดกับมุมอะซิมุทวันที่ 8 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมูทวันที่ 9 พฤษภาคม 2558

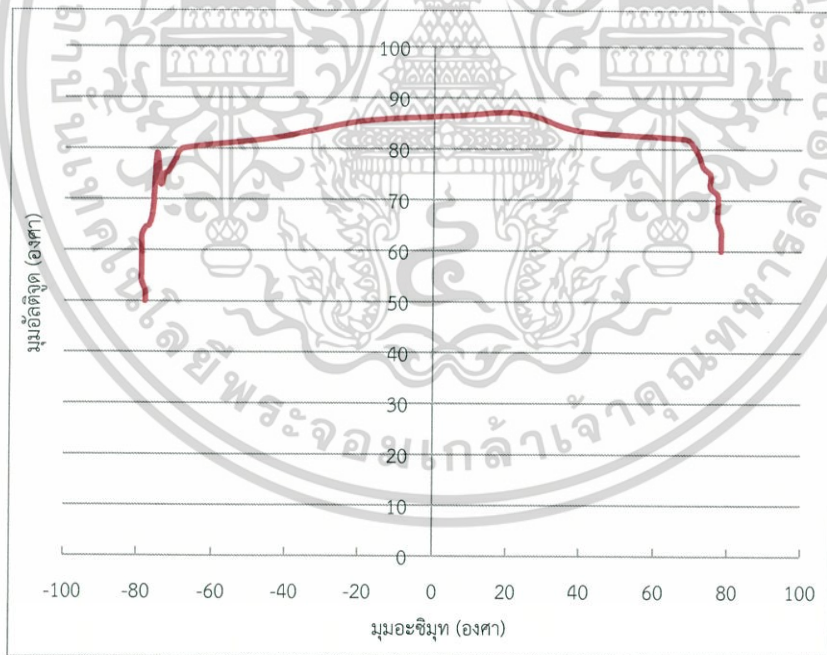


รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมูทวันที่ 10 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอ์ลติจูดกับมมอะซิมุทวันที่ 11 พฤษภาคม 2558



รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอ์ลติจูดกับมมอะซิมุทวันที่ 12 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมมอัลติจูดกับมมอะซิมุทวันที่ 15 พฤษภาคม 2558

รูปที่ 4.25 ถึง รูปที่ 4.36 แสดงการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ของ วันที่ 2 ถึง 15 พฤษภาคม 2558 จากรูปจะเห็นว่ากราฟของแต่ละวันจะมีแนวโน้มเป็นครึ่งวงกลม ซึ่งจะมีแนวโน้มตาม ทฤษฎีดังรูปที่ 4.18

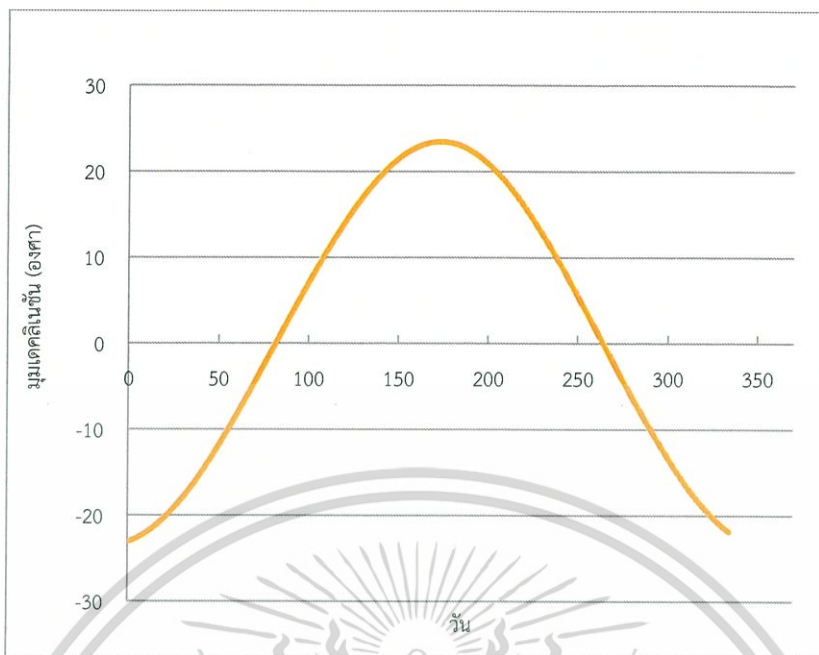
4.2 ผลที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยใช้สมการ NOAA

เป็นการคำนวณหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยใช้สมการ NOAA ซึ่งในทอมตัวแปรของสมการมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เช่น มมอัลติจูด มมอะซิมุท มมเดคลิเนชัน สมการเวลา มมชั่วโมง และกราฟอนาเลมมา คำนวณที่ได้มีผลดังต่อไปนี้

4.2.1 มมเดคลิเนชัน

เป็นมุมที่รังสีของดวงอาทิตย์ทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรโลก จากค่าความสัมพันธ์ของมุมเดคลิเนชันที่ได้จากการคำนวณสามารถนำมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับวันในปี 2558 ได้ดังรูปกราฟที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



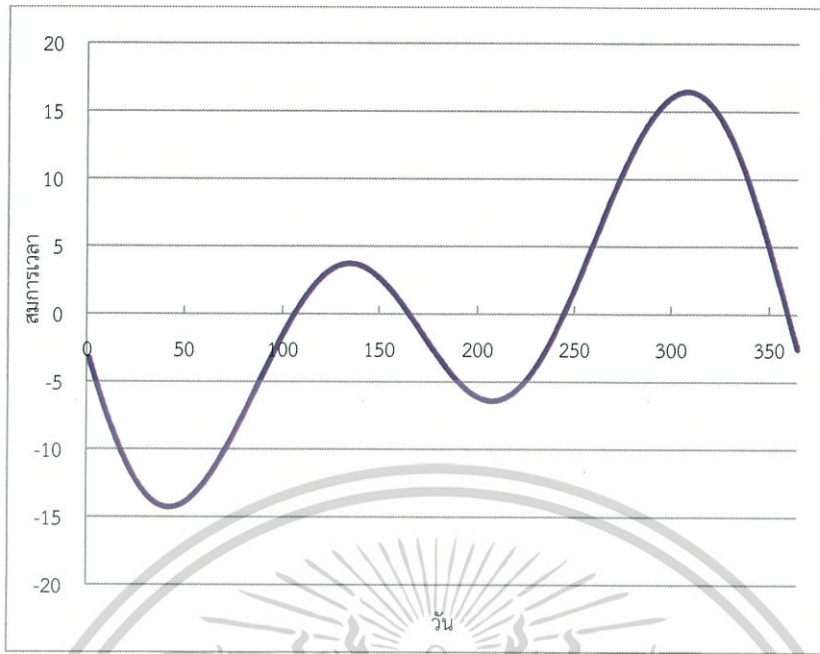
รูปที่ 4.37 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับวันของปี 2558

จากรูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับวัน 365 วันของปี 2558 จะพบว่าในวันที่ 1 มกราคม แกนโลกจะเอียงไปทางใต้เป็นมุม 23.45 องศา ทำให้มุมเดคลิเนชันมีค่าเป็น -23.45 องศา และในเดือนมิถุนายนจะพบว่าแกนโลกเอียงไปทางเหนือเป็นมุม 23.45 องศา ทำให้มุมเดคลิเนชันมีค่าเป็น +23.45 องศา

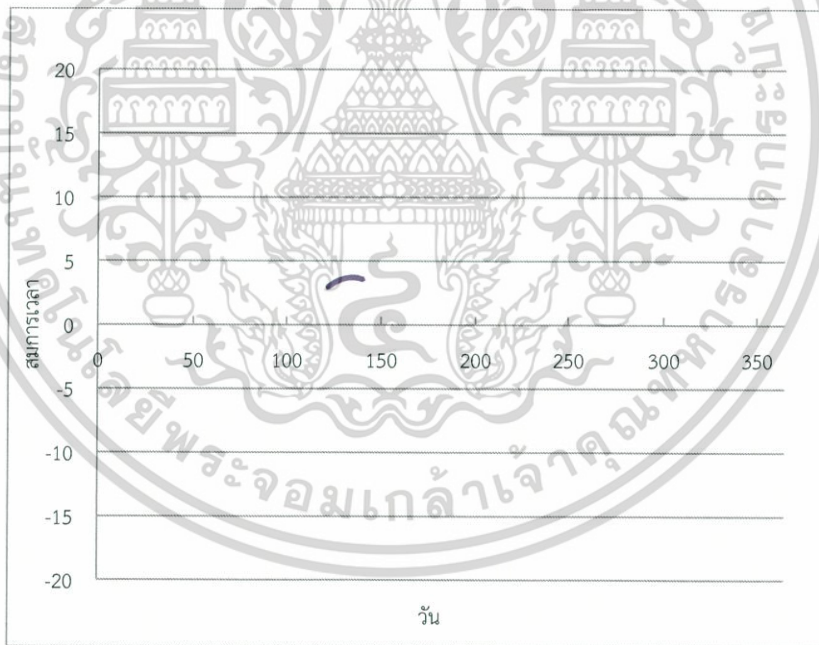
4.2.2 สมการเวลา

เป็นการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมการเวลากับวันในปี 2558 โดยค่าสมการเวลาจะใช้เป็นตัวชดเชยเวลาในหนึ่งปีเมื่อเวลาเดินเร็วหรือเดินช้าในปีนั้นๆ ซึ่งต้องคำนวณโดยใช้สมการเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง กราฟสมการเวลาในปี 2558 แสดงดังกราฟรูปที่ 4.38 และกราฟรูปที่ 4.39 แสดงกราฟสมการเวลาของวันที่ 2-15 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.38 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมการเวลากับวันของปี 2558



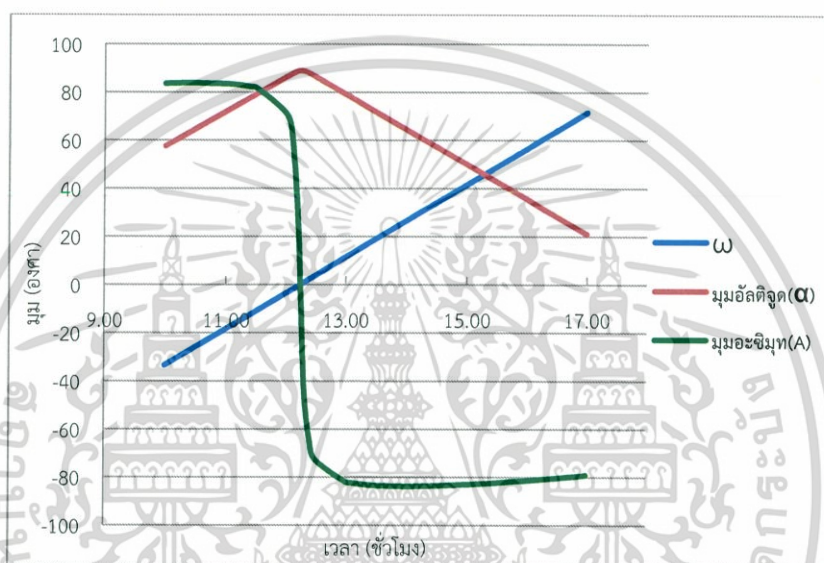
รูปที่ 4.39 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสมการเวลากับวันที่ 2 ถึง 15 พฤษภาคม 2558

จากรูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมการเวลาและวัน 365 วันของปี 2558 เนื่องจากการเคลื่อนเป็นวงรี ทำให้มีการเคลื่อนที่ช้าและเร็วต่างกันซึ่งจะเห็นได้จากกราฟเมื่อสมการเวลามีค่าเป็นลบแสดงถึงตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ช้ากว่าเวลาตามนาฬิกา ซึ่งจะเกิดขึ้นในเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน และเดือนสิงหาคม เมื่อสมการเวลาเป็นบวกแสดงถึงตำแหน่งดวงอาทิตย์

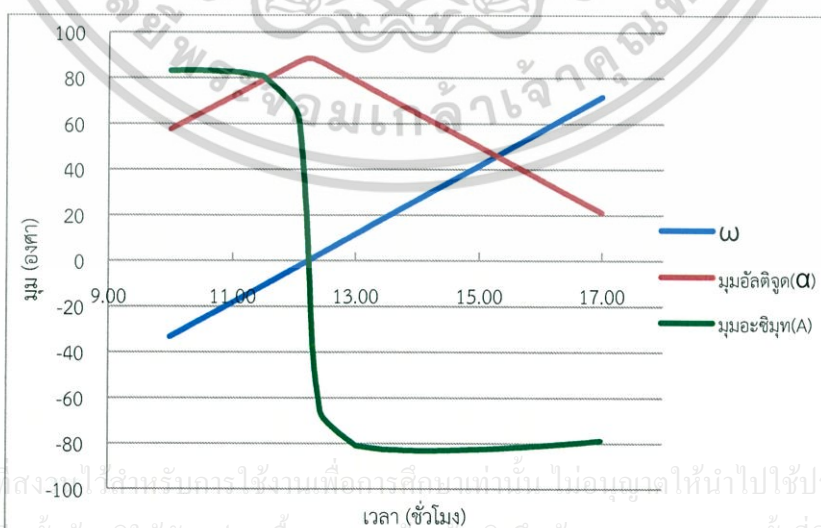
เคลื่อนที่เร็วกว่าเวลาตามนาฬิกา จากรูปที่ 4.39 แสดงให้เห็นว่าช่วงที่ทำการเก็บข้อมูลคือวันที่ 2 ถึง 15 พฤษภาคม 2558 ดังนั้นสมการเวลาจึงมีค่าเป็นบวก

4.2.3 มุมอัลติจูด มุมอะซิมุทและมุมชั่วโมง

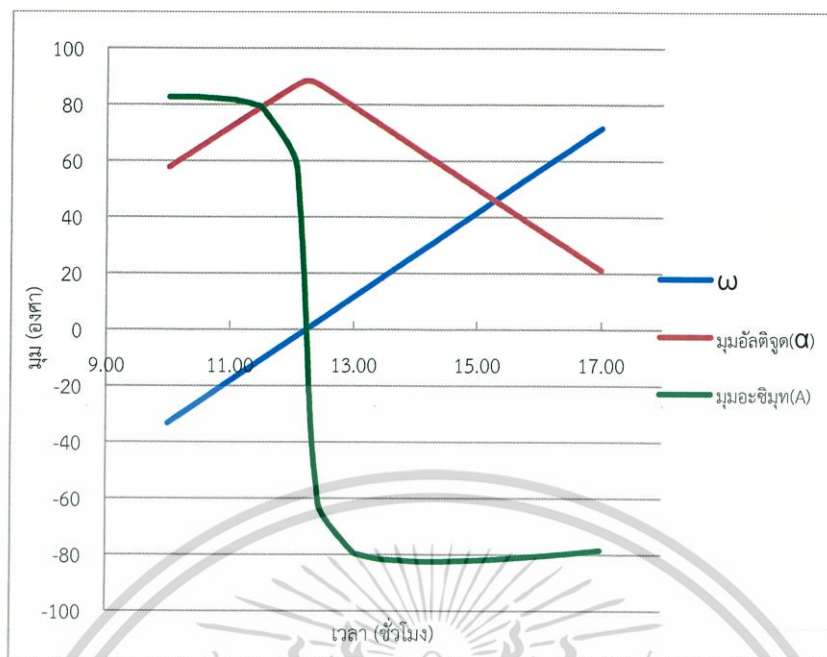
ค่ามุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงที่ได้จากการคำนวณมีค่าเป็นดังกราฟรูปที่ 4.40 ถึง กราฟรูปที่ 4.53 ซึ่งกราฟทั้งสามจะมีความสัมพันธ์กันในเทอมของเวลา นั่นคือเมื่อเวลาผ่านไปค่าของมุม มุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงก็จะเปลี่ยนแปลงไป หากเมื่อเปรียบเทียบระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุทที่ได้จากการคำนวณและการทดลอง พบว่ามีค่าแนวโน้มเดียวกันละประมาณได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน



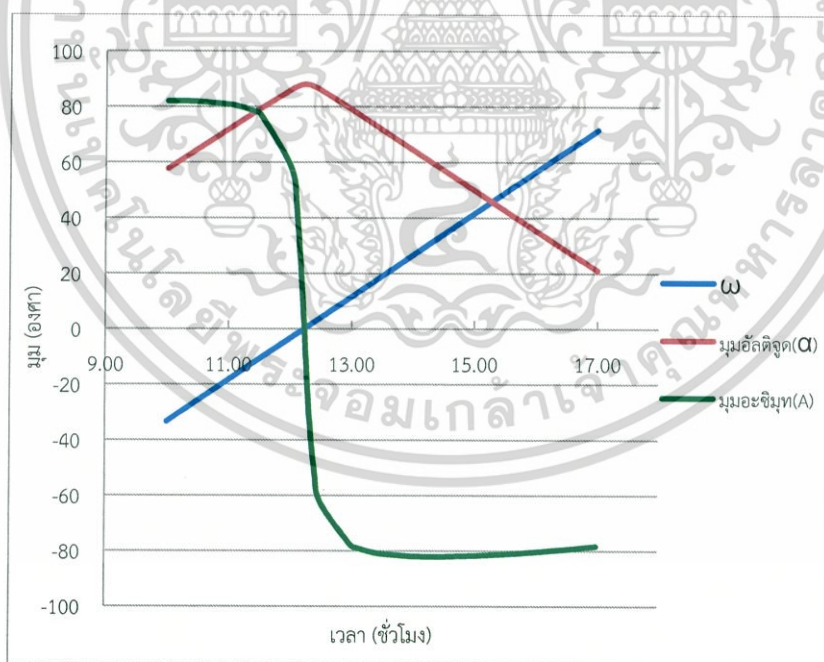
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 2 พฤษภาคม 2558



รูปที่ 4.41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 3 พฤษภาคม 2558

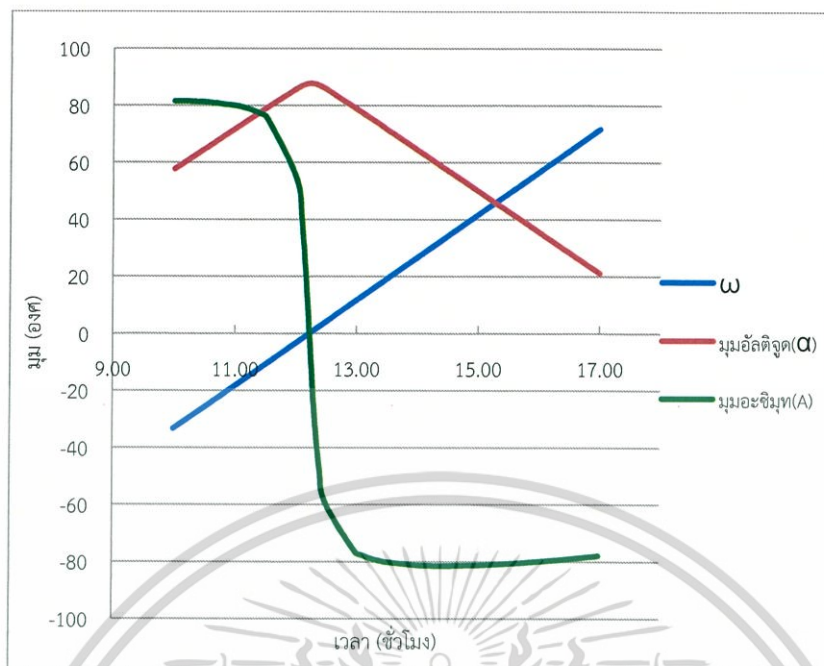


รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 4 พฤษภาคม 2558

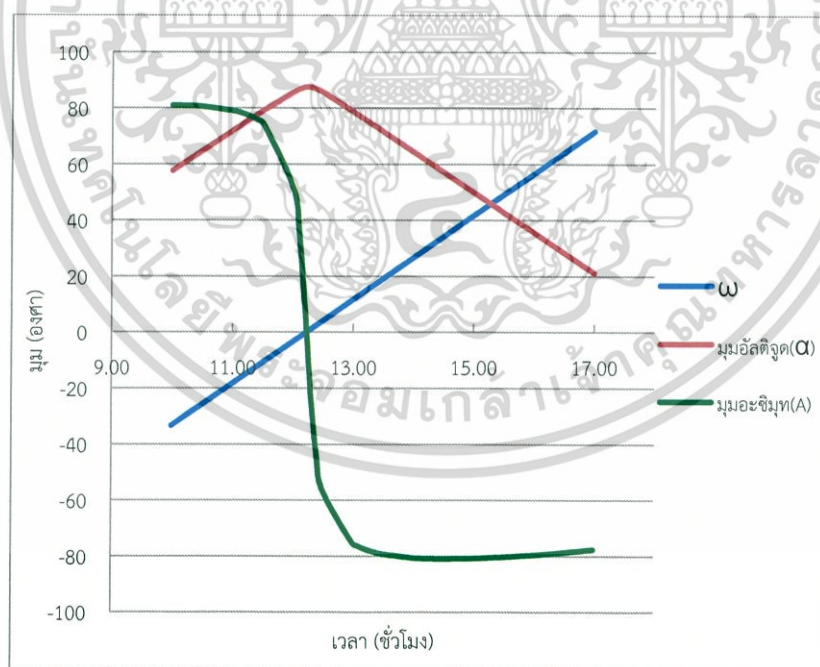


รูปที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ที่ต้องการสื่อสารกับบ้าน ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

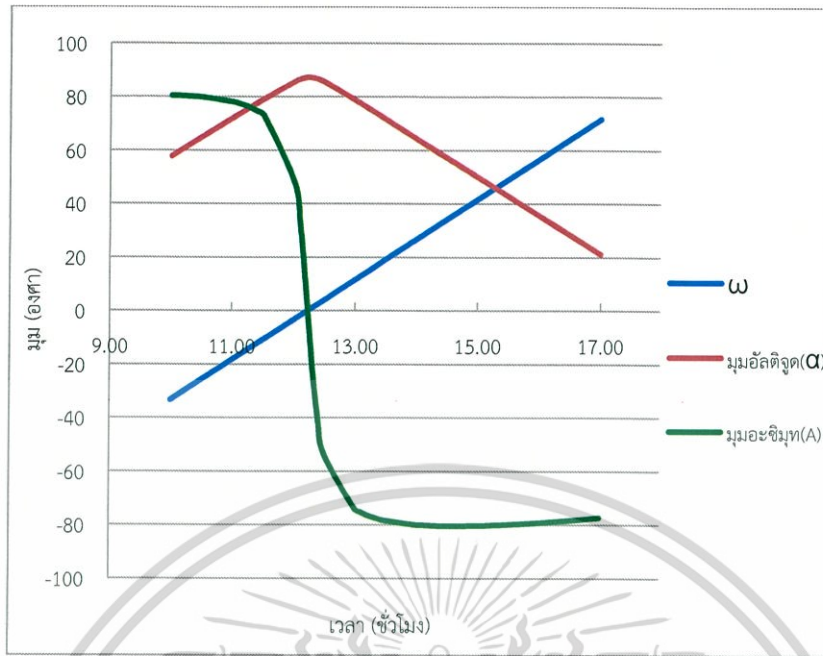


รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 6 พฤษภาคม 2558

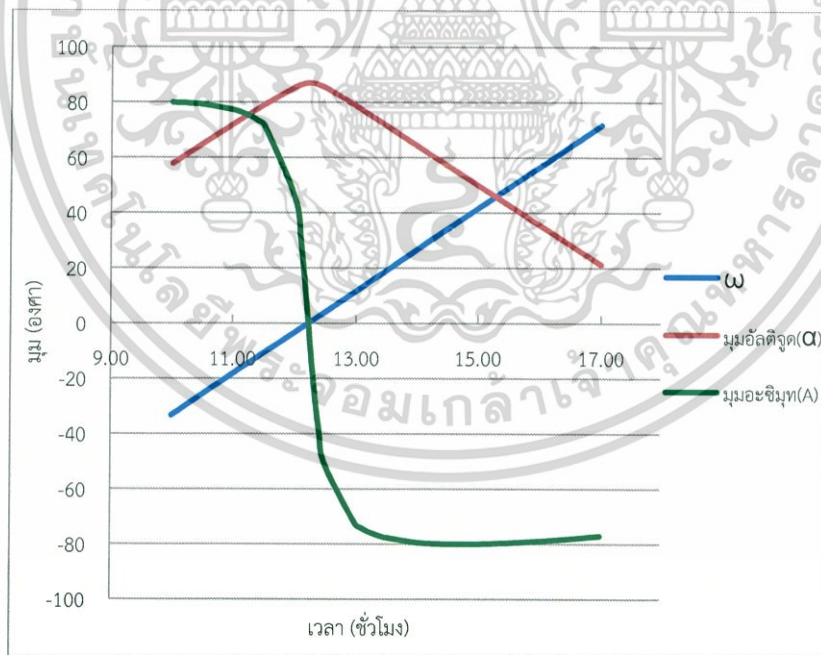


รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 7 พฤษภาคม 2558

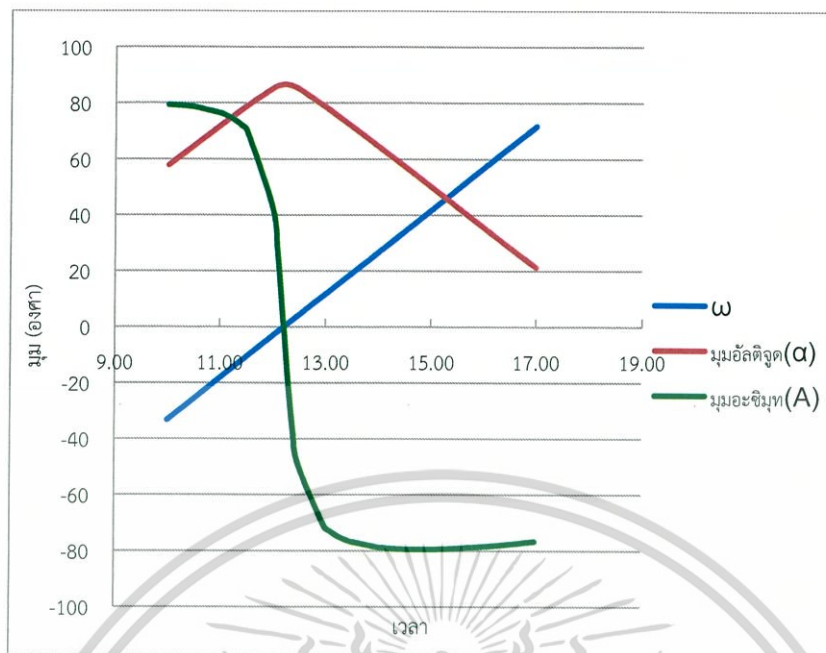
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาค้นคว้าวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



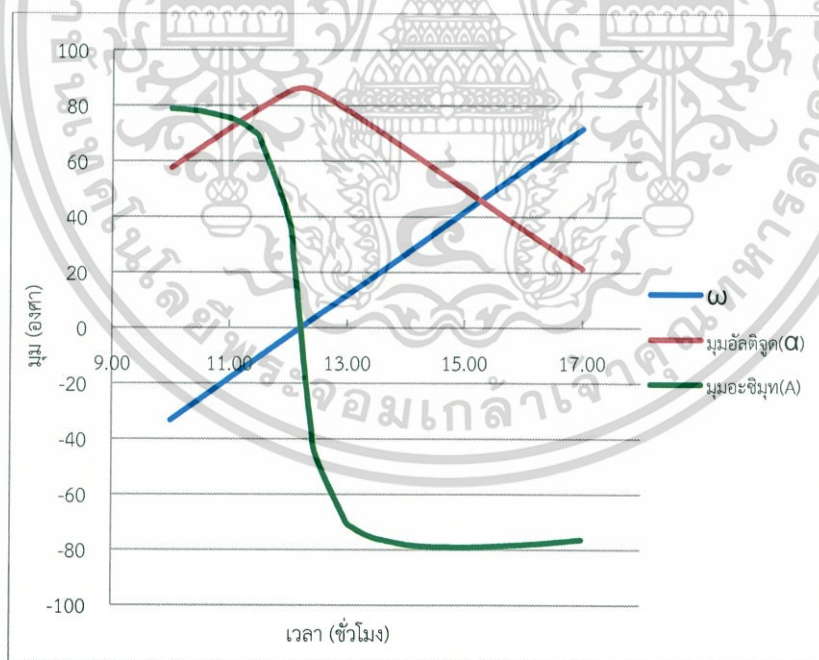
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 8 พฤษภาคม 2558



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก ในวันนี้ 9 พฤษภาคม 2558 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



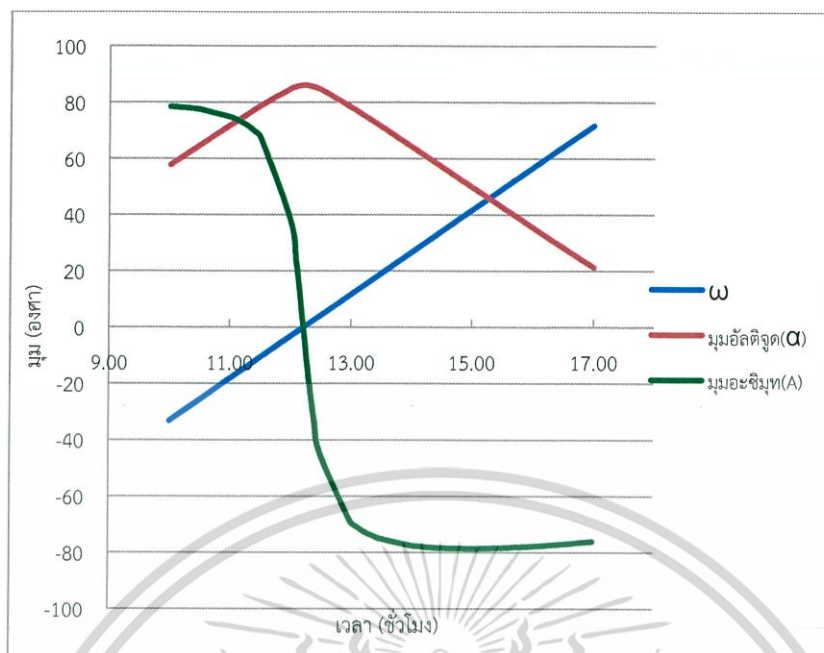
รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 10 พฤษภาคม 2558



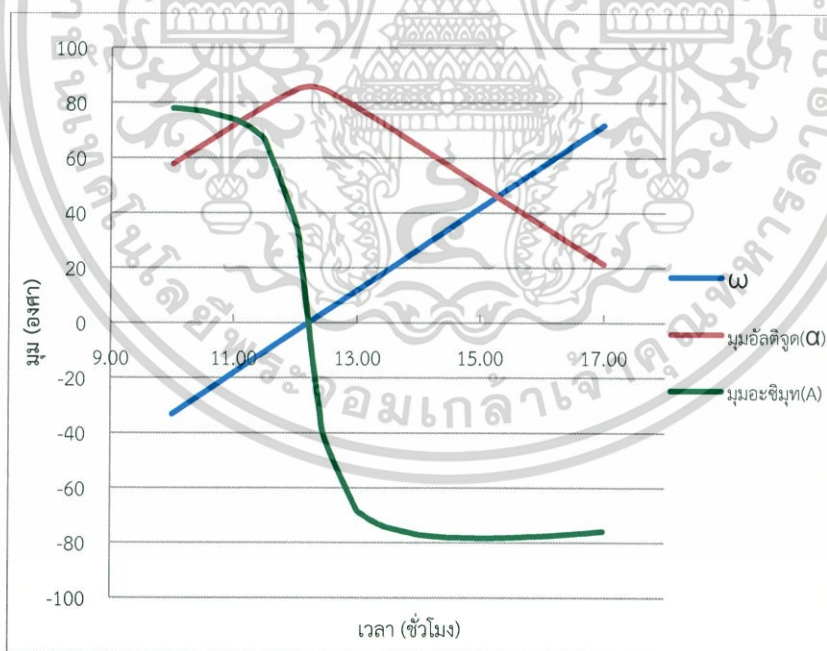
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีศึกษาที่อาจารย์ได้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

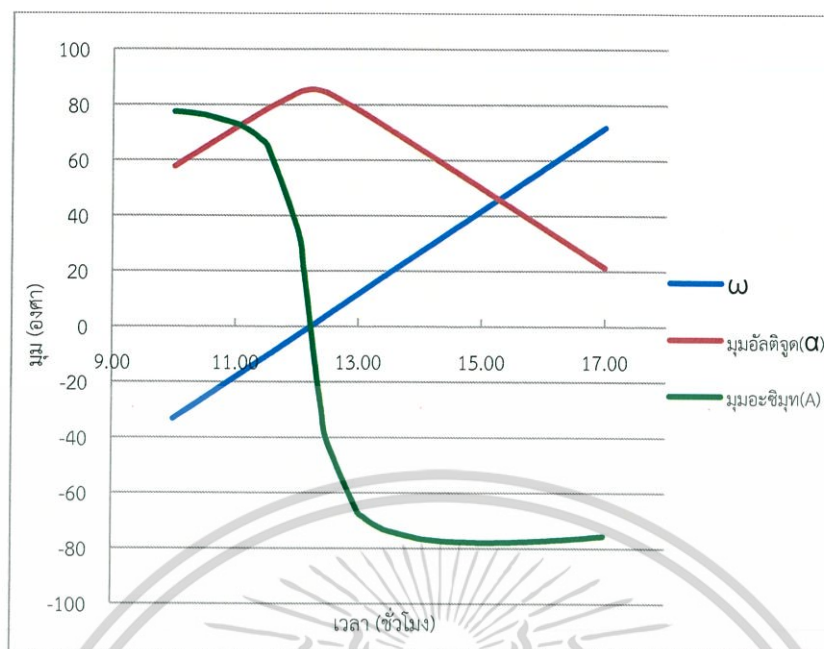
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



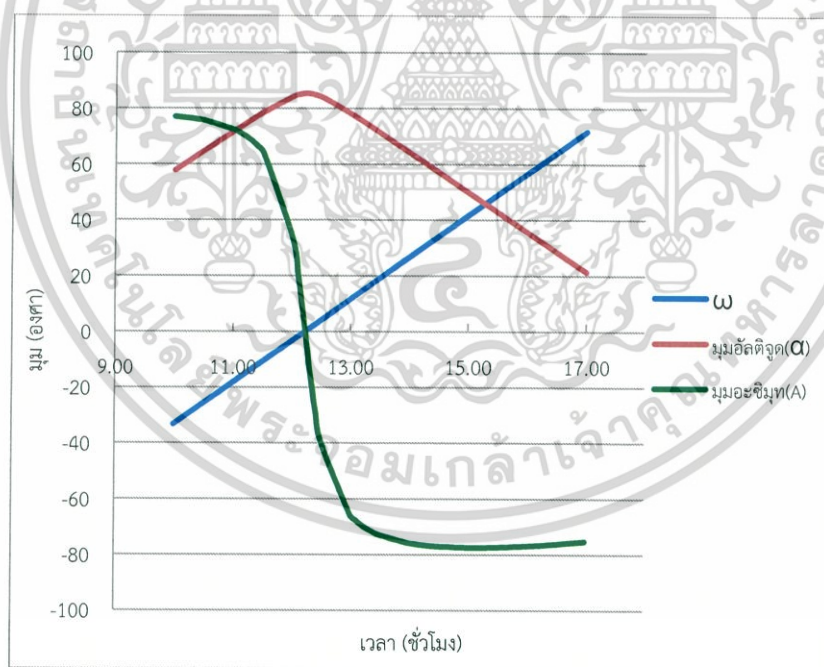
รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 12 พฤษภาคม 2558



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับก... ในวันที่ 13 พฤษภาคม 2558 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 14 พฤษภาคม 2558



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุมชั่วโมงกับเวลา ในวันที่ 15 พฤษภาคม 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

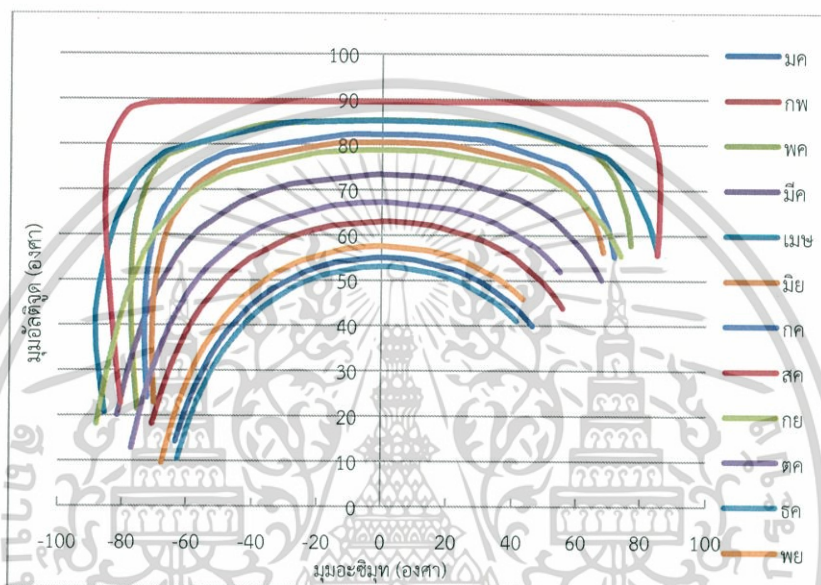
ไม่ว่ากรณีใดๆ จากรูปที่ 4.40 ถึงรูปที่ 4.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูด มุมอะซิมุท และมุม ชั่วโมง กับเวลา 10.00 น. ถึง 17.00 น. กราฟของมุมอัลติจูดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้งตามแนว การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่มีจุดสูงสุดที่ประมาณเวลา 12.00 น. และจะลดลงดังกราฟ กราฟ

มุมอะซิมุทมีแนวโน้มเป็นไปตามทฤษฎีดังรูปที่ 2.10 กราฟมุมชั่วโมงจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป

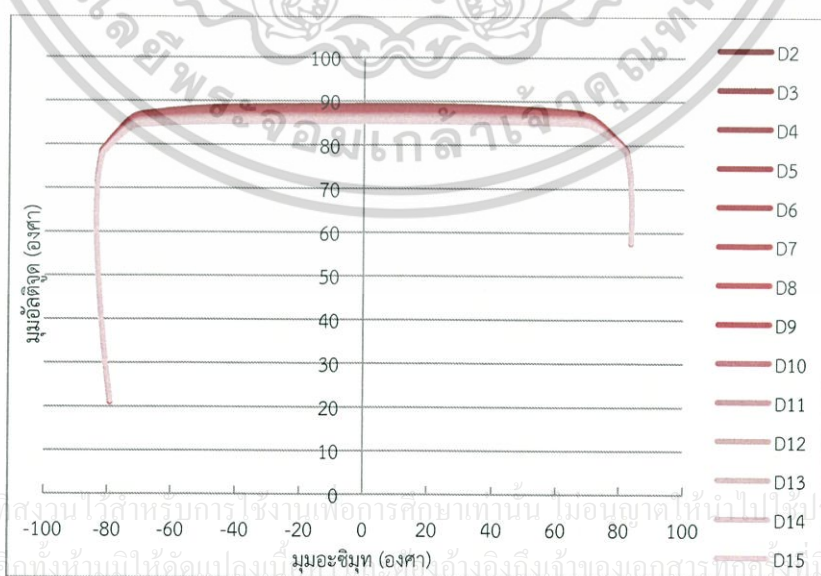
4.2.4 มุมอัลติจูดและมุมอะซิมุท

เป็นการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดและมุมอะซิมุทโดยกราฟรูปที่

4.54 แสดงค่ามุมอัลติจูดและมุมอะซิมุทในรอบ 1 ปี คือทุกวันที่ 15 ของทุกเดือนในปี 2558 ส่วนกราฟรูปที่ 4.55 แสดงค่ามุมอัลติจูดและมุมอะซิมุทของวันที่ 2 - 15 พฤษภาคม 2558



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุท วันที่ 15 ของทุกเดือนในปี 2558

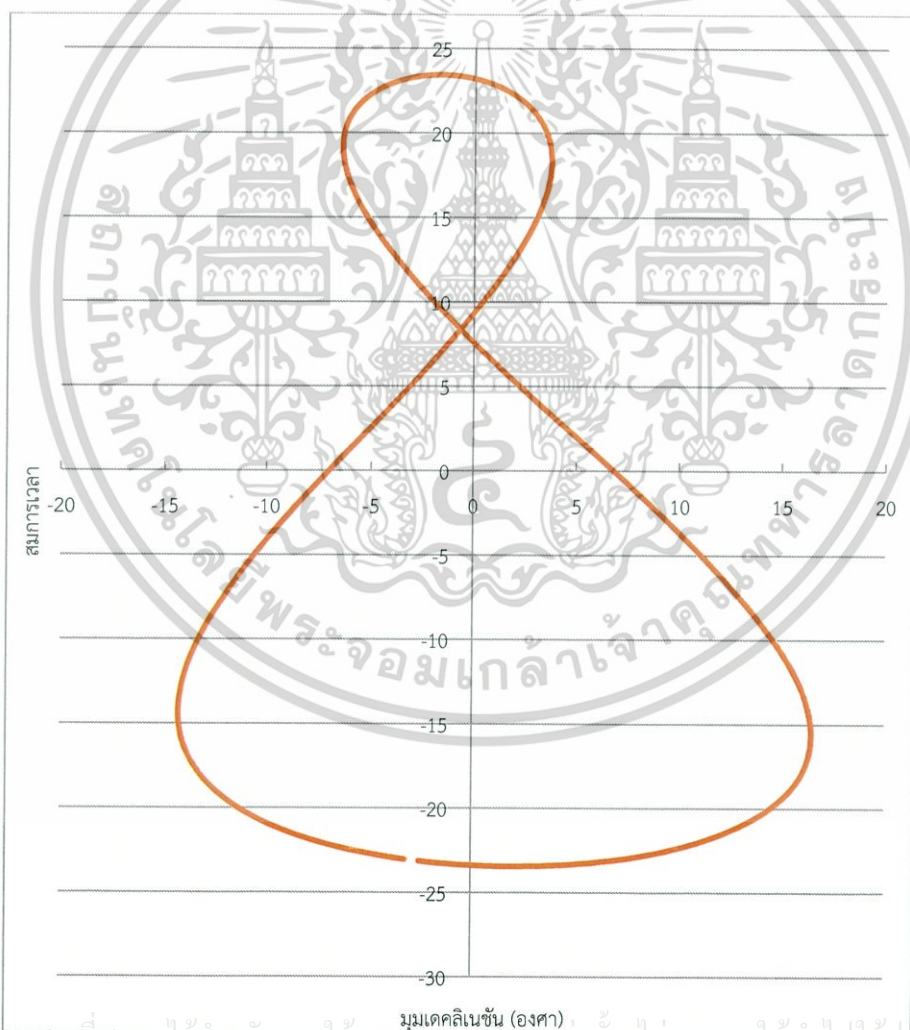


รูปที่ 4.55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุท วันที่ 2-15 พฤษภาคม 2558

จากรูปที่ 4.54 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมอัลติจูดกับมุมอะซิมุทของวันที่ 15 ของทุกเดือนในปี 2558 ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงรูปแบบการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เป็นวงรีจึงเห็นว่าในแต่ละเดือนกราฟจะโค้งมากน้อยต่างกัน จากรูปที่ 4.55 แสดงถึงการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่เวลา 10.00 น. ถึง 15.30 น. ในวันที่ 2 ถึง 15 พฤษภาคม 2558

4.2.5 กราฟอะนาเลมมา (Analema)

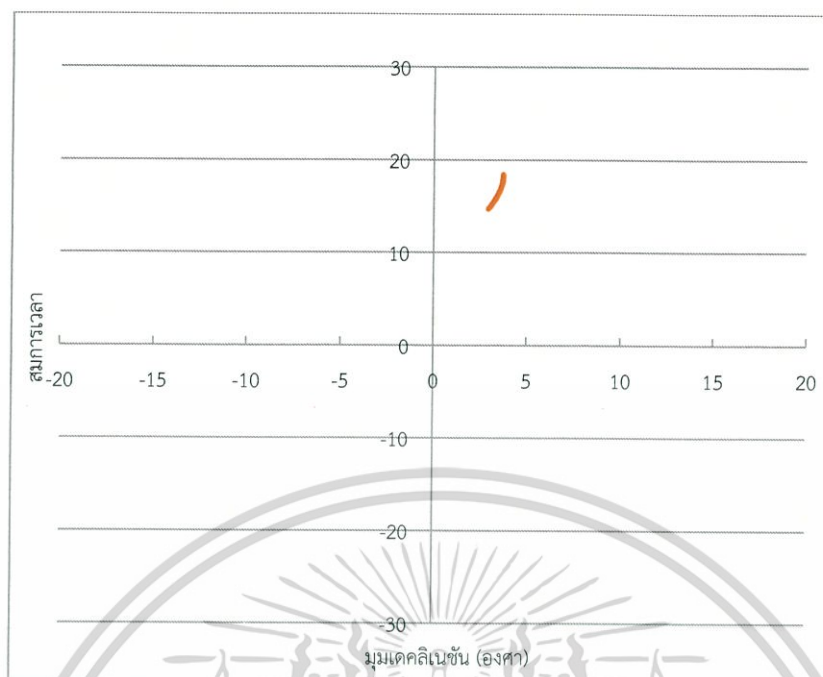
เป็นกราฟที่บอกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นกราฟที่เขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมการเวลากับมุมเดคลิเนชัน ลักษณะของกราฟที่ได้จะมีลักษณะคล้ายเลขแปด ซึ่งกราฟอะนาเลมมาจะมีความสัมพันธ์กับตัวแปรหลายตัวเช่น สมการเวลา มุมเดคลิเนชัน ค่าละติจูด มุมอะซิมุท มุมอัลติจูด มุมซัวโมง ซึ่งค่าตัวแปรทั้งหมดจะสัมพันธ์กับกราฟอะนาเลมมาทั้งหมด ดังนั้นกราฟอะนาเลมมาจึงเป็นกราฟที่สำคัญที่สามารถบอกตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละปีได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม กรุณาแจ้งผู้เกี่ยวข้องก่อน และต้องอ้างอิงถึงแหล่งเอกสารทุกครั้งเพื่อการนำไปใช้

รูปที่ 4.56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับสมการเวลาของปี 2558



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันกับสมการเวลา วันที่ 2-15 พฤษภาคม 2558

จากกราฟที่ 4.56 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเดคลิเนชันและสมการเวลาหรือกราฟอะนาเลมมา ซึ่งจะแสดงละติจูดที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากในวันต่างๆตลอดทั้งปี 2558 ซึ่งเมื่อเทียบกับรูปที่ 4.57 จะพบว่าช่วงเดือนพฤษภาคมดวงอาทิตย์จะอยู่ในตำแหน่งบริเวณที่แสดงในรูปซึ่งคือเส้นกราฟของวันที่ 2 ถึง 15 พฤษภาคม 2558 ช่วงที่ได้ทำการศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังโดยใช้สมการ NOAA เพื่อมายืนยันผลการทดลอง ซึ่งสมการ NOAA จะมีความสัมพันธ์ในเทอมของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ได้แก่ มุมอัสติจูดมุมอะซิมุท มุมชั่วโมง มุมเดคลิเนชัน สมการเวลา และกราฟอะนาเลมมาสรุปผลการทดลองและผลของการหาค่าตัวแปรต่างๆได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองพบว่าตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวิถีทางการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ การหมุนรอบตัวเองของโลกขณะโคจรรอบดวงอาทิตย์ ตลอดจนการเอียงของโลกทำมุมกับเส้นสุริยวิถี ทำให้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่วัดได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาที่ทำการวัด ในการทดลองจะเริ่มต้นด้วยการวัดมุมอัสติจูดและมุมอะซิมุทเป็นใช้เป็นตัวแปรเริ่มต้นนำไปคำนวณในสมการ NOAA มุมอัสติจูดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลา วัดที่เพิ่มขึ้นจนค่ามุมอัสติจูดมีค่าสูงสุดที่ช่วงเวลาเที่ยงวันนั้นบ่งบอกว่าดวงอาทิตย์ได้เคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่งที่สูงที่สุด นั่นก็คือโลกและดวงอาทิตย์ทำมุมตั้งฉากกันและมุมอัสติจูดมีค่าลดลงต่ำสุดที่เวลา 15.30 น. เงามืดเริ่มหมดซึ่งแสดงว่าพระอาทิตย์เริ่มตกดินผลการทดลองเป็นแนวโน้มเช่นเดียวกันตลอดระยะเวลาที่ทำการวัดคือตั้งแต่วันที่ 2 พฤษภาคม 2558 ถึง 15 พฤษภาคม 2558 ส่วนมุมอะซิมุทในช่วงเวลาตอนเช้าจะมีค่าสูงสุดและค่อยๆลดลงจนมีค่ามุมติดลบในช่วงบ่าย ซึ่งอธิบายได้ว่าในช่วงเวลาตอนเช้าดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปดวงอาทิตย์จะค่อยเคลื่อนที่ไปยังทางทิศตะวันตกทำให้ตำแหน่งทิศทางของดวงอาทิตย์เปลี่ยนไปจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกซึ่งทำให้ค่ามุมที่วัดได้มีค่าติดลบ จากข้อมูลของมุมอัสติจูดและมุมอะซิมุทที่วัดได้สามารถนำมาใช้เป็นตัวแปรสำคัญในการเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้สมการ NOAA ได้ โดยในการคำนวณโดยใช้สมการ NOAA จะสัมพันธ์ในเทอมตัวแปรของมุมชั่วโมง มุมเดคลิเนชัน สมการเวลา แล้วจะทำให้สามารถหาค่าอัสติจูดและอะซิมุทที่ได้จากการคำนวณได้ จากการเปรียบเทียบกันระหว่างมุมอัสติจูดและมุมอะซิมุทที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการวัด พบว่าค่ามุมที่ได้จากการทดลองมีความแตกต่างจากค่าที่ได้จากการคำนวณบ้างเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาจากสภาพเครื่องวัดเงาที่ยังไม่ได้มาตรฐาน สภาพอากาศในแต่ละวัน ตลอดจนจนสภาวะแวดล้อมรอบๆของเครื่องวัดอาจมีการสะท้อนของแสงอาทิตย์จากหลังคา หรือเกิดปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์ ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปแต่อยู่ในค่าประมาณการที่ใช้ได้ และในที่สุดท้ายเป็นการเขียนกราฟอะนาเลมมาเพื่อแสดงให้เห็นลักษณะตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี

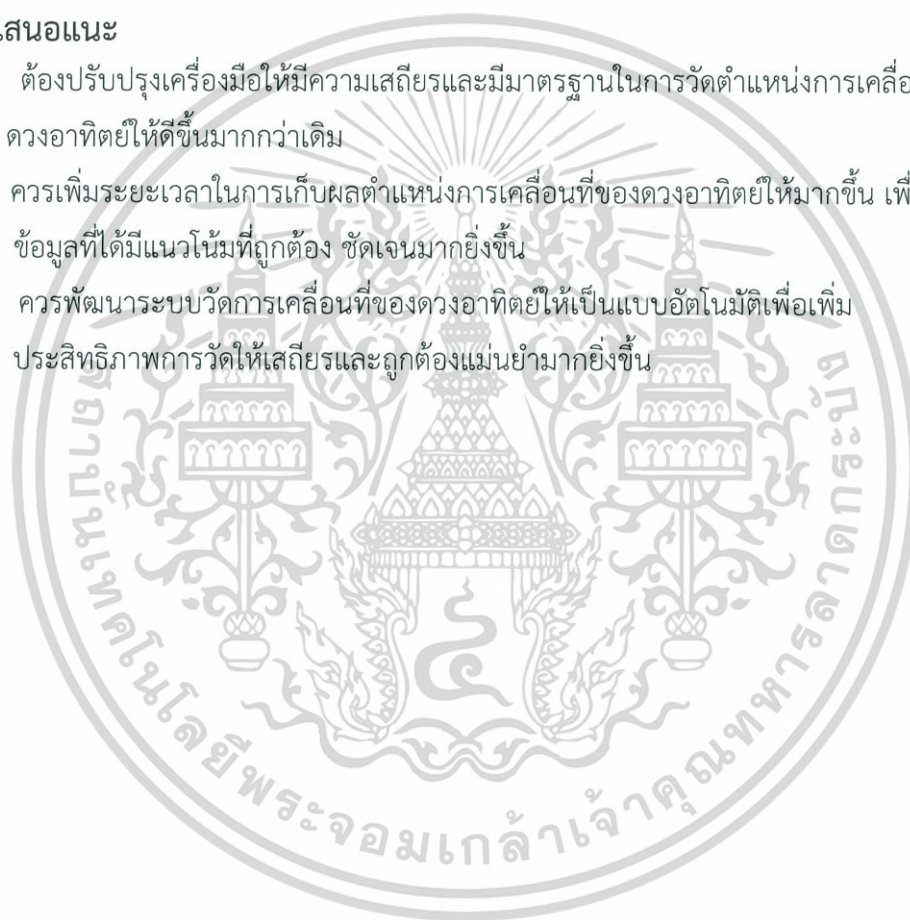
5.2 วิจารณ์ผลการวิจัย

จากการหาตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์โดยการวัดมุมอัสติจูดและอะซิมุท ซึ่งใช้เครื่องมือวัดเงาที่สร้างขึ้น ซึ่งค่ามุมอัสติจูดและอะซิมุทที่วัดได้สามารถนำมาใช้ในการคำนวณโดยใช้สมการ NOAA ได้ ทำให้สามารถคำนวณหาตำแหน่งตัวแปรอื่นที่มีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนที่ของ

ตำแหน่งของตัวอาทิตย์ ผลการทดลองที่ได้เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณแล้ว พบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนจากการคำนวณไปบ้างเล็กน้อย ซึ่งอาจเป็นผลมาการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในแต่ละวัน ซึ่งบางวันมีแดดจ้าเหมาะการวัดผล บางวันมีดครึ้ม มีฝนตกซึ่งไม่เหมาะแก่การวัดผล ตลอดจนการบดบังแสง หรือการสะท้อนของแสงอาทิตย์จากสิ่งแวดล้อม เช่น ต้นไม้ หลังคาบ้าน ส่งผลทำให้ผลการวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนไปบ้างแต่อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ หากจะให้ผลการวัดมีความถูกต้องแม่นยำ ควรหาพิกัดตำแหน่งการตั้งเครื่องมือวัดที่โล่งปราศจากสิ่งบดบังแสงแดด ทำการวัดในวันที่ปลอดโปร่งแจ่มใส เพื่อให้ผลการวัดถูกต้องแม่นยำมากที่สุด

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ต้องปรับปรุงเครื่องมือให้มีความเสถียรและมีมาตรฐานในการวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ให้ดีขึ้นมากกว่าเดิม
- 2) ควรเพิ่มระยะเวลาในการเก็บผลตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ให้มากขึ้น เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีแนวโน้มที่ถูกต้อง ชัดเจนมากยิ่งขึ้น
- 3) ควรพัฒนาระบบวัดการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ให้เป็นแบบอัตโนมัติเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการวัดให้เสถียรและถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

การสังเกตดวงอาทิตย์

[Online]. Available : <http://thanapat53a25.wikispaces.com>

ความสำคัญของโลกและดวงอาทิตย์

[Online]. Available : <https://www.gotoknow.org/posts/390164>

นาฬิกาแดด

[Online]. Available : <http://www.lesa.biz/astronomy/celestial-sphere/sundial>

กฎของเคปเลอร์

[Online]. Available : <http://www.lesa.biz/astronomy/cosmos/kepler>

มุมอะซิมุท (Azimuth) และ มุมอัลติจูด (Altitude)

[Online]. Available : <http://www.electron.rmutphysics.com/physics->

มุมอะซิมุท (Azimuth) และ มุมอัลติจูด (Altitude)

[Online]. Available : <http://www.slideshare.net/b5310501355/18azimuth>

กราฟอะนาเลมมา (Analemma)

[Online]. Available : <http://www.astroeducation.com/content/time/analemma/>

เดคลิเนชัน (Declination หรือ Dec)

[Online]. Available : <http://www.lesa.biz/astronomy/celestialsphere/equatorial>

กราฟอะนาเลมมา (Analemma)

[Online]. Available : <https://plus.maths.org>

นาฬิกาทราย

[Online]. Available : <http://www.atom.rmutphysics.com>

The sun position

[Online]. Available : <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter03.html>

Sun Angle Calculator

[Online]. Available : <https://www.pilkington.com/culatormanual.pdf>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองของวันที่ 2 พฤษภาคม 2558

เวลา	จำนวน		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมูท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมูท
10.00	57.6	83.6	62	81.5
10.10	59.0	83.7	65	81.5
10.20	60.5	83.8	68	81.5
10.30	61.9	83.8	70	81.5
10.40	63.4	83.8	73	81
10.50	64.8	83.8	75	81
11.00	72.1	83.5	77	81
11.10	73.5	83.3	79	81
11.20	75.0	83.0	80.5	81
11.30	76.4	82.7	83	79
11.40	77.9	82.2	85	79
11.50	79.3	81.7	86	79
12.00	86.5	70.8	88.5	73.5
12.10	87.8	60.0	90	64.5
12.20	88.9	23.9	88	25
12.30	88.6	-42.5	85.5	-42
12.40	87.4	-65.1	84	-65
12.50	86.0	-72.9	81.5	-71
13.00	78.8	-81.9	79.5	-80
13.10	77.4	-82.4	77.5	-82
13.20	75.9	-82.8	75.5	-82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.30	74.5	-83.1	74	-83
13.40	73.0	-83.3	71	-83
13.50	71.6	-83.5	69.5	-83
14.00	64.3	-83.8	68	-83
14.10	62.9	-83.8	65	-83
14.20	61.4	-83.8	63.5	-83
14.30	60.0	-83.7	61	-83
14.40	58.5	-83.7	59	-83
14.50	57.1	-83.6	58	-83
15.00	49.8	-83.1	55	-83
15.10	48.4	-82.9	53	-81
15.20	46.9	-82.8	50	-81
15.30	45.5	-82.6	49	-81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการทดลองวันที่ 3 พฤษภาคม 2558

เวลา	จำนวน		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท
10.00	57.6	83.1	61.5	86.5
10.10	59.1	83.1	64.5	85.5
10.20	60.5	83.2	68	84
10.30	62.0	83.2	70.5	83
10.40	63.4	83.2	71.5	82.5
10.50	64.8	83.2	73	82
11.00	72.1	82.6	76.5	81
11.10	73.5	82.3	77.5	81
11.20	75.0	82.0	80	80.5
11.30	76.4	81.6	82	80
11.40	77.9	81.0	83	80
11.50	79.3	80.3	85.5	79
12.00	86.4	66.5	88.5	65.5
12.10	87.7	53.5	91.5	55
12.20	88.6	17.9	88.5	19
12.30	88.3	-36.3	85	-36
12.40	87.2	-60.0	83	-58
12.50	85.9	-69.3	82	-68
13.00	78.7	-80.6	79	-78.5
13.10	77.3	-81.2	78	-81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าวิธีใด ๆ ก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาก่อนหน้านี้และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.20	75.9	-81.7	75.5	-81
13.30	74.4	-82.1	73.5	-83
13.40	73.0	-82.4	71.5	-83
13.50	71.5	-82.7	69.5	-83
14.00	64.3	-83.2	67	-85
14.10	62.8	-83.2	66.5	-85
14.20	61.4	-83.2	64	-85
14.30	59.9	-83.2	62	-85
14.40	58.5	-83.1	59	-85
14.50	57.0	-83.1	58.5	-85
15.00	49.8	-82.6	55.5	-84.5
15.10	48.4	-82.5	54	-84.5
15.20	46.9	-82.3	51.5	-84.5
15.30	45.5	-82.2	49	-84.5

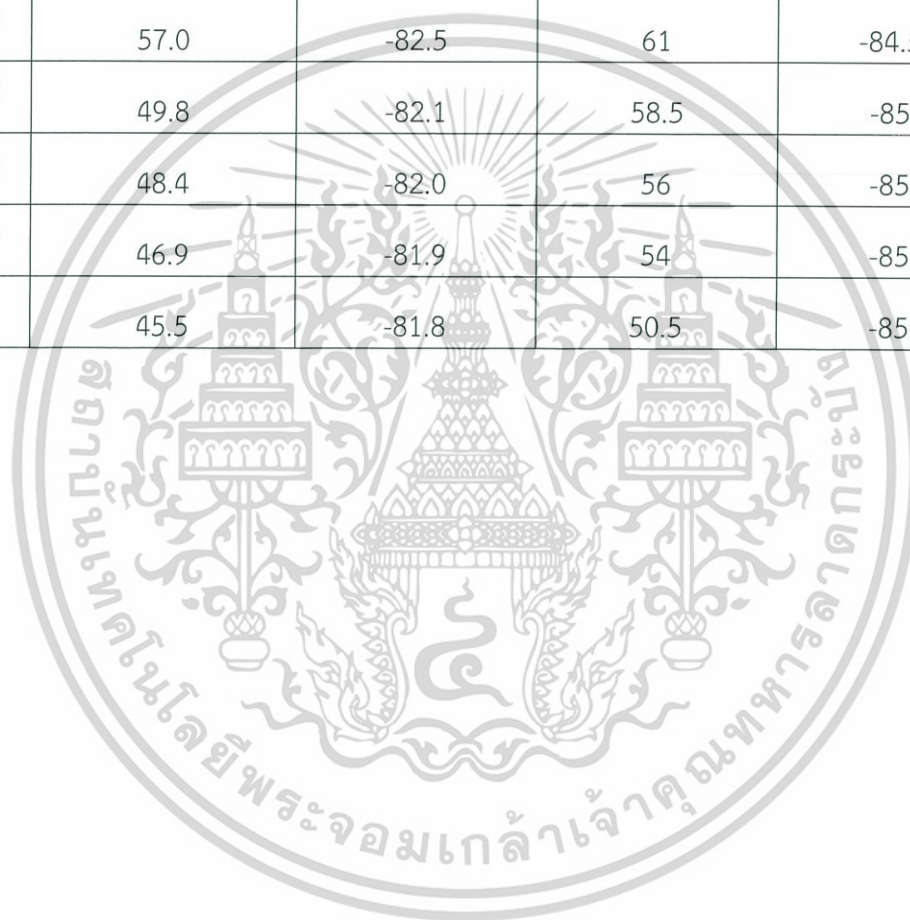
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 ผลการทดลองวันที่ 4 พฤษภาคม 2558

เวลา	คำนวณ		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท
10.00	57.6	82.5	64	84
10.10	59.1	82.6	65	84
10.20	60.5	82.6	66	83.5
10.30	62.0	82.6	68	83.5
10.40	63.4	82.6	70	82.5
10.50	64.9	82.5	71.5	82
11.00	72.1	81.7	74	80
11.10	73.5	81.4	75.5	80
11.20	75.0	81.0	77.5	79.5
11.30	76.4	80.4	80	79
11.40	77.9	79.7	82	79
11.50	79.3	78.8	83.5	77
12.00	86.3	62.2	85	65
12.10	87.5	47.7	88	50
12.20	88.3	13.9	88	18
12.30	88.1	-31.6	87	-31
12.40	87.0	-55.3	85.5	-57.5
12.50	85.7	-65.8	84	-67
13.00	78.7	-79.2	81.5	-80
13.10	77.3	-80.0	80	-81
13.20	75.8	-80.7	77.5	-81.5
13.30	74.4	-81.1	75.5	-82
13.40	72.9	-81.5	75	-82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม ถือว่าผิดกฎหมายหากฝ่าฝืนต้องดำเนินคดีถึงที่สุด

13.50	71.5	-81.8	73	-83.5
14.00	64.3	-82.5	70	-84
14.10	62.8	-82.6	67	-84
14.20	61.4	-82.6	64	-84
14.30	59.9	-82.6	63.5	-84
14.40	58.5	-82.6	63	-84.5
14.50	57.0	-82.5	61	-84.5
15.00	49.8	-82.1	58.5	-85
15.10	48.4	-82.0	56	-85
15.20	46.9	-81.9	54	-85
15.30	45.5	-81.8	50.5	-85



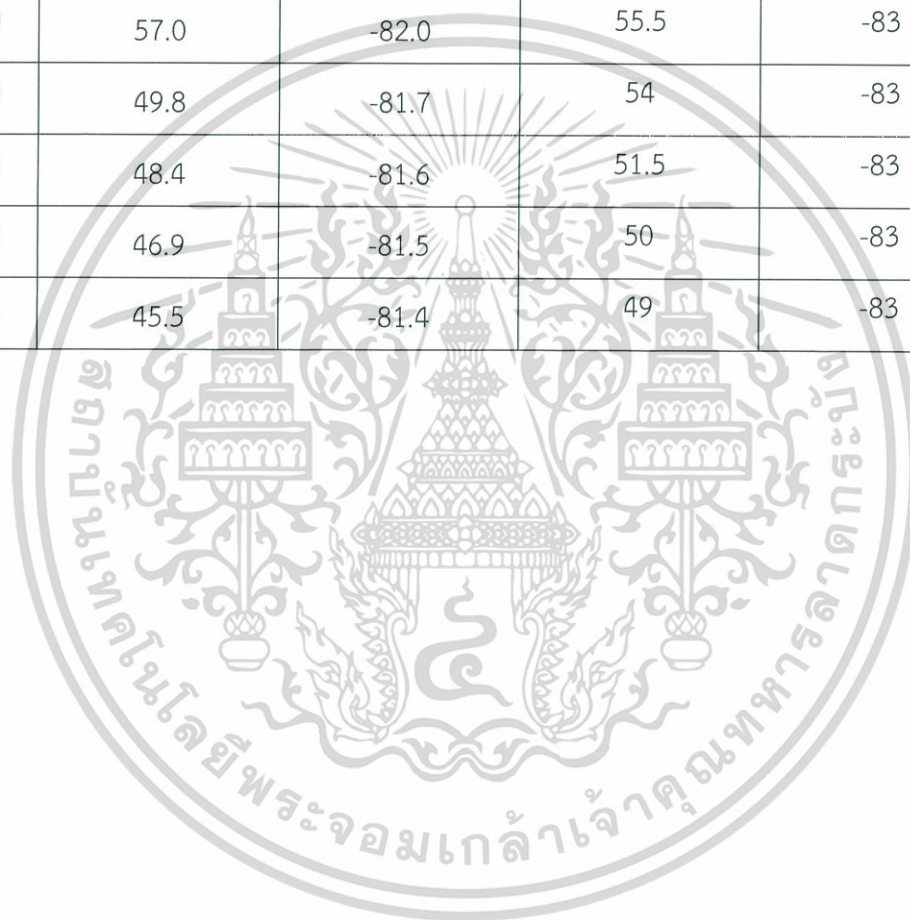
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ผลการทดลองวันที่ 5 พฤษภาคม 2558

เวลา	จำนวน		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมูท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมูท
10.00	57.7	82.0	63.5	83.5
10.10	59.1	82.0	67	83.5
10.20	60.6	82.0	68.5	83
10.30	62.0	82.0	70	82
10.40	63.5	81.9	73	82
10.50	64.9	81.8	74	81.5
11.00	72.1	80.8	76.5	80
11.10	73.5	80.4	77	80
11.20	75.0	79.9	79.5	79
11.30	76.4	79.3	81.5	79
11.40	77.9	78.4	84	77.5
11.50	79.3	77.3	86	77.5
12.00	86.2	58.2	88	65
12.10	87.3	42.7	91	45
12.20	88.0	11.2	87	11
12.30	87.8	-28.1	85.5	-28
12.40	86.8	-51.2	83	-50
12.50	85.6	-62.5	81.5	-63.5
13.00	78.6	-77.9	79.5	-78.5
13.10	77.2	-78.8	78	-79.5
13.20	75.8	-79.6	76.5	-80
13.30	74.3	-80.1	74.5	-81
13.40	72.9	-80.6	71.5	-82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่าการตีพิมพ์ทั้งบนสื่อสิ่งพิมพ์หรือสื่ออิเล็กทรอนิกส์ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.50	71.4	-81.0	69	-82
14.00	64.2	-81.9	68	-83
14.10	62.8	-82.0	66	-83
14.20	61.3	-82.0	62.5	-83.5
14.30	59.9	-82.0	59	-84.5
14.40	58.5	-82.0	58.5	-84
14.50	57.0	-82.0	55.5	-83
15.00	49.8	-81.7	54	-83
15.10	48.4	-81.6	51.5	-83
15.20	46.9	-81.5	50	-83
15.30	45.5	-81.4	49	-83



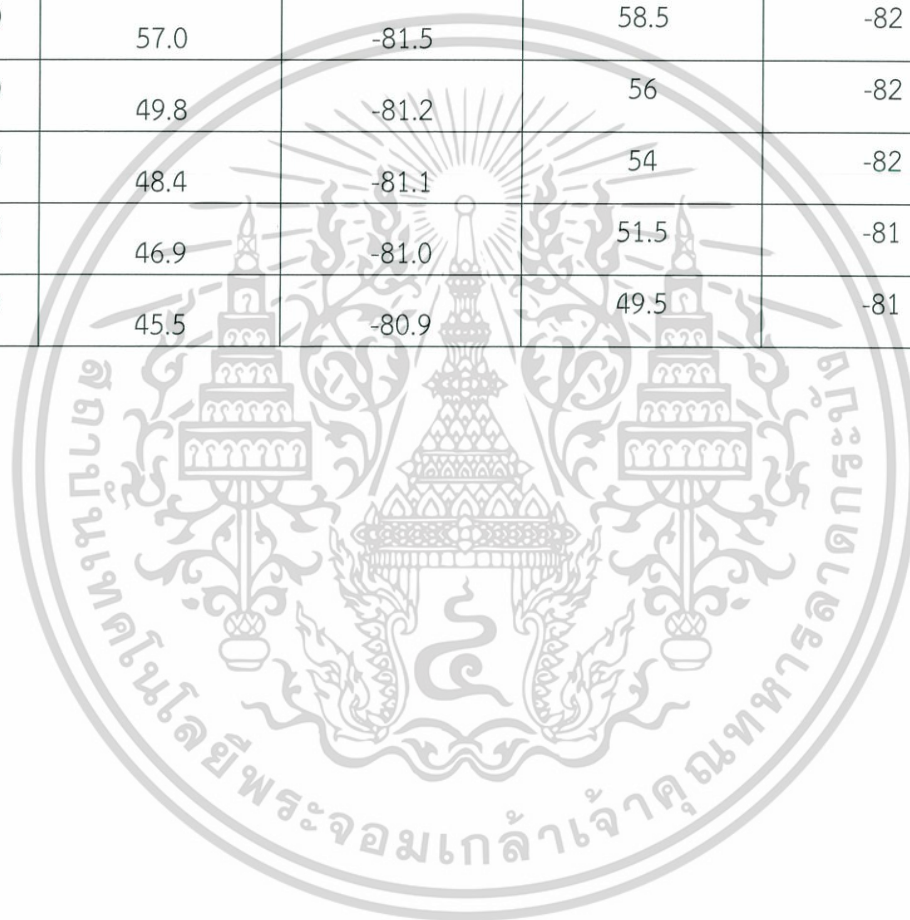
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5 ผลการทดลองวันที่ 6 พฤษภาคม 2558

เวลา	คำนวณ		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท
10.00	57.7	81.5	63	80.5
10.10	59.1	81.5	66	80.5
10.20	60.6	81.4	68	80.5
10.30	62.0	81.4	70	80
10.40	63.5	81.3	71.5	80
10.50	64.9	81.2	74	80
11.00	72.1	79.9	75.5	79
11.10	73.5	79.4	77.5	78.5
11.20	75.0	78.8	80	78
11.30	76.4	78.1	82	77.5
11.40	77.8	77.1	83.5	76
11.50	79.3	75.9	85	74
12.00	86.0	54.5	89	55
12.10	87.1	38.4	89	40
12.20	87.8	9.2	87	9
12.30	87.5	-25.3	85.5	-25
12.40	86.6	-47.6	84	-47
12.50	85.4	-59.4	81.5	-59
13.00	78.6	-76.5	80	-76
13.10	77.1	-77.6	77.5	-77
13.20	75.7	-78.5	75.5	-78
13.30	74.3	-79.1	75	-79
13.40	72.8	-79.7	73	-80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องขอร้องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.50	71.4	-80.1	70	-80
14.00	64.2	-81.2	68	-81
14.10	62.8	-81.3	65	-81
14.20	61.3	-81.4	64.5	-81
14.30	59.9	-81.5	63	-81
14.40	58.4	-81.5	61	-82
14.50	57.0	-81.5	58.5	-82
15.00	49.8	-81.2	56	-82
15.10	48.4	-81.1	54	-82
15.20	46.9	-81.0	51.5	-81
15.30	45.5	-80.9	49.5	-81



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ผลการทดลองวันที่ 7 พฤษภาคม 2558

เวลา	คำนวณ		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท
10.00	57.7	80.9	62.5	80.5
10.10	59.2	80.9	66	80.5
10.20	60.6	80.9	68.5	80.5
10.30	62.0	80.8	70	80.5
10.40	63.5	80.7	72	80
10.50	64.9	80.5	73.5	80
11.00	72.1	79.0	76	78
11.10	73.5	78.5	78.5	78
11.20	75.0	77.8	79.5	77.5
11.30	76.4	76.9	82	76
11.40	77.8	75.8	84	75
11.50	79.2	74.4	86.5	74
12.00	85.9	51.1	87	54
12.10	86.9	34.8	89	36
12.20	87.5	7.8	85.5	8
12.30	87.3	-23.1	84.5	-24
12.40	86.4	-44.4	83.5	-45
12.50	85.3	-56.5	81.5	-55.5
13.00	78.5	-75.2	80.5	-76
13.10	77.1	-76.4	78.5	-78
13.20	75.7	-77.4	76.5	-79.5
13.30	74.2	-78.2	74.5	-79.5
13.40	72.8	-78.8	71.5	-79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการฉ้อโกงทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงที่มาของเอกสารทุกครั้ง การนำไปใช้

13.50	71.4	-79.3	68.5	-81.5
14.00	64.2	-80.6	67.5	-81.5
14.10	62.7	-80.7	65	-81
14.20	61.3	-80.8	64.5	-81
14.30	59.9	-80.9	62	-82.5
14.40	58.4	-80.9	59.5	-82.5
14.50	57.0	-81.0	58.5	-82.5
15.00	49.8	-80.8	55.5	-82
15.10	48.3	-80.7	54	-82
15.20	46.9	-80.6	51.5	-82
15.30	45.5	-80.5	50	-82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7 ผลการทดลองวันที่ 8 พฤษภาคม 2558

เวลา	ค่านวน		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท
10.00	59.2	80.4	62.5	82.5
10.10	60.6	80.3	65	82.5
10.20	62.0	80.2	67	82
10.30	63.5	80.1	68.5	81
10.40	64.9	79.9	70.5	80
10.50	72.1	78.1	73	79
11.00	73.5	77.5	74.5	78
11.10	74.9	76.7	75.5	77
11.20	76.4	75.8	78.5	76
11.30	77.8	74.5	80.5	72
11.40	79.2	73.0	83	68.5
11.50	85.7	48.0	84.5	51.5
12.00	86.7	31.8	85.5	34
12.10	87.2	6.7	89	8
12.20	87.0	-21.2	86.5	-23
12.30	86.2	-41.5	84.5	-42
12.40	85.1	-53.8	83	-54.5
12.50	78.4	-73.9	81	-75.5
13.00	77.0	-75.2	79.5	-76.5
13.10	75.6	-76.3	77.5	-77
13.20	74.2	-77.2	75.5	-78
13.30	72.7	-77.9	73	-78.5
13.40	71.3	-78.4	71	-80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้ง การนำไปใช้

13.50	64.1	-80.0	68.5	-80
14.00	62.7	-80.1	65.5	-81
14.10	61.3	-80.3	61	-81
14.20	59.8	-80.3	59	-81
14.30	58.4	-80.4	57	-81.5
14.40	57.0	-80.4	54	-81.5
14.50	49.8	-80.4	52	-81.5
15.00	48.3	-80.3	51	-81.5
15.10	46.9	-80.2	49.5	-81.5
15.20	45.5	-80.1	48	-82
15.30	44.0	-80.0	48	-82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8 ผลการทดลองวันที่ 9 พฤษภาคม 2558

เวลา	จำนวน		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมูท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมูท
10.00	57.7	79.9	61	81.5
10.10	59.2	79.8	62.5	81
10.20	60.6	79.7	64	80
10.30	62.1	79.6	67	80
10.40	63.5	79.4	69	79.5
10.50	64.9	79.2	71	79
11.00	72.1	77.3	73	78
11.10	73.5	76.6	75	77
11.20	74.9	75.7	76.5	76
11.30	76.3	74.6	79.5	75
11.40	77.7	73.3	82	74
11.50	79.1	71.5	85	73
12.00	85.5	45.2	90	48.5
12.10	86.4	29.2	88	32.5
12.20	86.9	5.8	86.5	7
12.30	86.7	-19.6	84.5	-21.5
12.40	86.0	-39.0	82	-40.5
12.50	84.9	-51.4	80.5	-51
13.00	78.3	-72.6	79	-69.5
13.10	76.9	-74.1	77	-74
13.20	75.5	-75.3	76.5	-75
13.30	74.1	-76.2	74.5	-77
13.40	72.7	-77.0	73	-77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการดัดแปลงอื่น ๆ อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.50	71.3	-77.6	68.5	-77
14.00	64.1	-79.4	67.5	-78
14.10	62.7	-79.5	66	-80
14.20	61.3	-79.7	65	-80
14.30	59.8	-79.8	61.5	-80
14.40	58.4	-79.9	59	-80
14.50	56.9	-79.9	58.5	-81
15.00	49.8	-79.9	56	-81
15.10	48.3	-79.9	53	-81.5
15.20	46.9	-79.8	51.5	-81.5
15.30	45.5	-79.7	49	-81.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 9 ผลการทดลองวันที่ 10 พฤษภาคม 2558

เวลา	ค่านวน		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท
10.00	57.8	79.4	62	81
10.10	59.2	79.3	63.5	80.5
10.20	60.6	79.2	68	79.5
10.30	62.1	79.0	70.5	79
10.40	63.5	78.8	71.5	78
10.50	64.9	78.6	75	77.5
11.00	72.0	76.4	76.5	77
11.10	73.5	75.6	77.5	76
11.20	74.9	74.7	80	75
11.30	76.3	73.5	82	73
11.40	77.7	72.0	83	72
11.50	79.0	70.2	85.5	71
12.00	85.4	42.7	88.5	45.5
12.10	86.2	27.0	89	28.5
12.20	86.6	5.1	87	7.5
12.30	86.5	-18.3	85	-19
12.40	85.8	-36.8	83	-35
12.50	84.8	-49.1	82	-50
13.00	78.3	-71.3	79	-71
13.10	76.9	-72.9	78	-72
13.20	75.5	-74.2	75.5	-74
13.30	74.1	-75.2	73.5	-75
13.40	72.6	-76.1	71.5	-76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.50	71.2	-76.8	69.5	-77
14.00	64.1	-78.7	67	-78
14.10	62.7	-79.0	66.5	-79
14.20	61.2	-79.1	62.5	-80
14.30	59.8	-79.3	62	-81
14.40	58.4	-79.4	59	-81
14.50	56.9	-79.4	58.5	-81
15.00	49.8	-79.5	55.5	-81
15.10	48.3	-79.5	54	-81
15.20	46.9	-79.4	51.5	-81
15.30	45.5	-79.3	49	-81

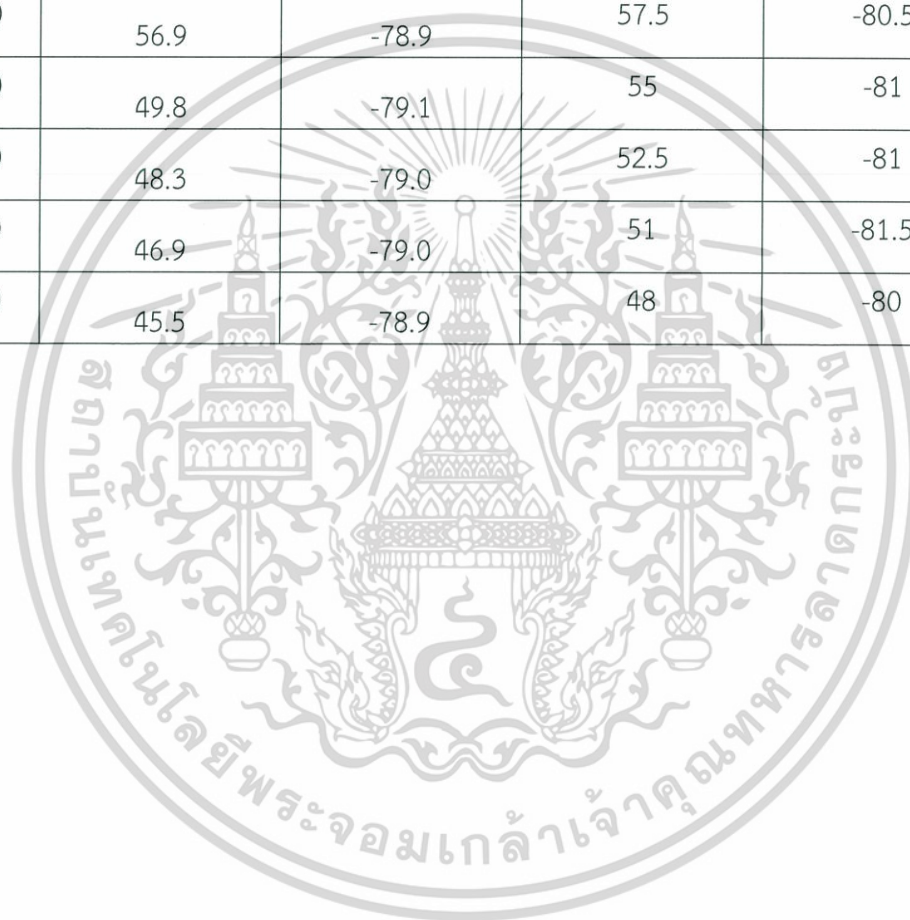
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 10 ผลการทดลองวันที่ 11 พฤษภาคม 2558

เวลา	ค่านวม		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท
10.00	57.8	78.9	62	80.5
10.10	59.2	78.8	64	80
10.20	60.6	78.6	64.5	80
10.30	62.0	78.5	65.5	79
10.40	63.5	78.2	69.5	79
10.50	64.9	78.0	72	78
11.00	72.0	75.5	73	77
11.10	73.4	74.7	74.5	76
11.20	74.8	73.7	76.5	75
11.30	76.2	72.4	78.5	74
11.40	77.6	70.8	80.5	72.5
11.50	79.0	68.8	82	70.5
12.00	85.2	40.4	84	43.5
12.10	86.0	25.1	86	27
12.20	86.4	4.6	87	6
12.30	86.2	-17.1	85	-18.5
12.40	85.5	-34.7	84	-35
12.50	84.6	-47.0	81.5	-48
13.00	78.2	-70.1	80	-71
13.10	76.8	-71.8	78.5	-72
13.20	75.4	-73.2	75.5	-73
13.30	74.0	-74.3	73.5	-74
13.40	72.6	-75.2	73	-75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าตรงไปหรืออ้อมอื่น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องวางองตั้งชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.50	71.2	-76.0	70	-76
14.00	64.1	-78.1	68.5	-77
14.10	62.6	-78.4	66	-78
14.20	61.2	-78.6	64	-79
14.30	59.8	-78.7	61	-80
14.40	58.3	-78.9	59.5	-80
14.50	56.9	-78.9	57.5	-80.5
15.00	49.8	-79.1	55	-81
15.10	48.3	-79.0	52.5	-81
15.20	46.9	-79.0	51	-81.5
15.30	45.5	-78.9	48	-80



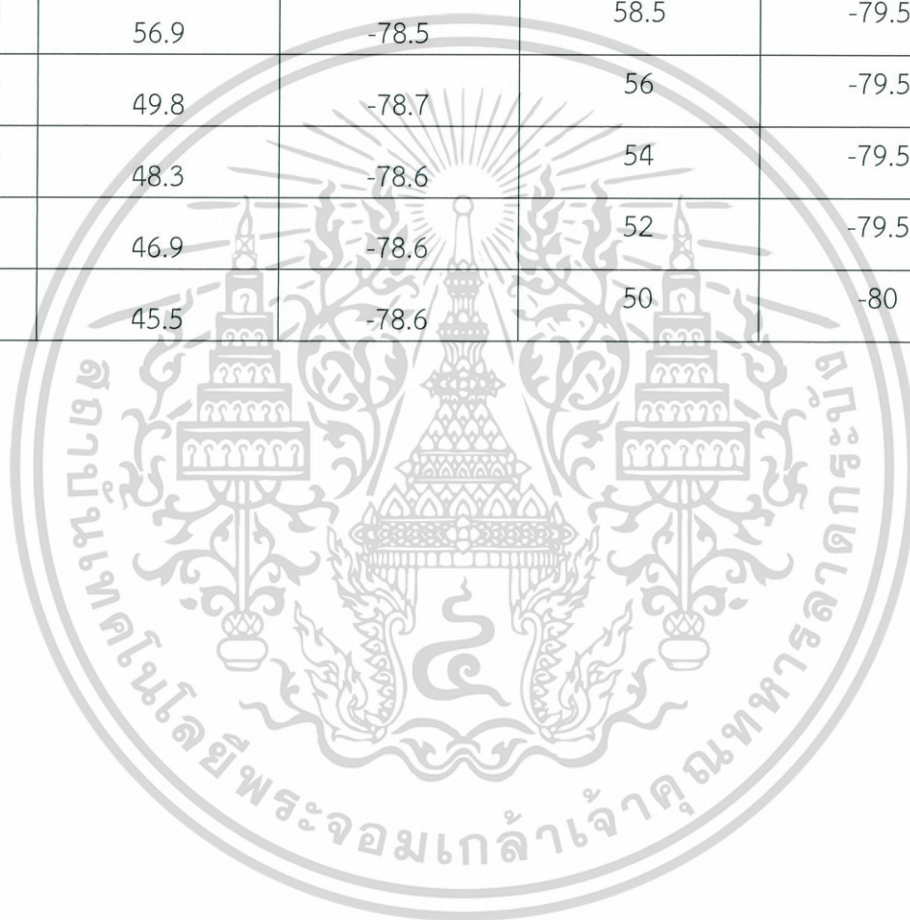
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 11 ผลการทดลองวันที่ 12 พฤษภาคม 2558

เวลา	คำนวณ		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท
10.00	57.8	78.4	60	78.5
10.10	59.2	78.3	62	78
10.20	60.6	78.1	64	78
10.30	62.0	77.9	66	77.5
10.40	63.5	77.7	68	77
10.50	64.9	77.4	71	76.5
11.00	72.0	74.7	72.5	75.5
11.10	73.4	73.8	75	75
11.20	74.8	72.7	76.5	73
11.30	76.2	71.4	78.5	72
11.40	77.5	69.7	81	70
11.50	78.9	67.5	82	68
12.00	85.0	38.3	83.5	40
12.10	85.7	23.5	89	24.5
12.20	86.1	4.2	86.5	6.5
12.30	85.9	-16.1	85.5	-18
12.40	85.3	-32.9	83.5	-33
12.50	84.4	-45.0	82	-44
13.00	78.1	-68.9	80	-68
13.10	76.7	-70.7	78	-70
13.20	75.3	-72.2	76	-72
13.30	73.9	-73.4	74.5	-73
13.40	72.5	-74.4	71.5	-74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าตรงไปหรืออ้อมอื่น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13.50	71.1	-75.2	69.5	-75
14.00	64.0	-77.5	67.5	-76
14.10	62.6	-77.8	65.5	-77
14.20	61.2	-78.0	63.5	-78
14.30	59.8	-78.2	62	-79
14.40	58.3	-78.4	60	-79
14.50	56.9	-78.5	58.5	-79.5
15.00	49.8	-78.7	56	-79.5
15.10	48.3	-78.6	54	-79.5
15.20	46.9	-78.6	52	-79.5
15.30	45.5	-78.6	50	-80



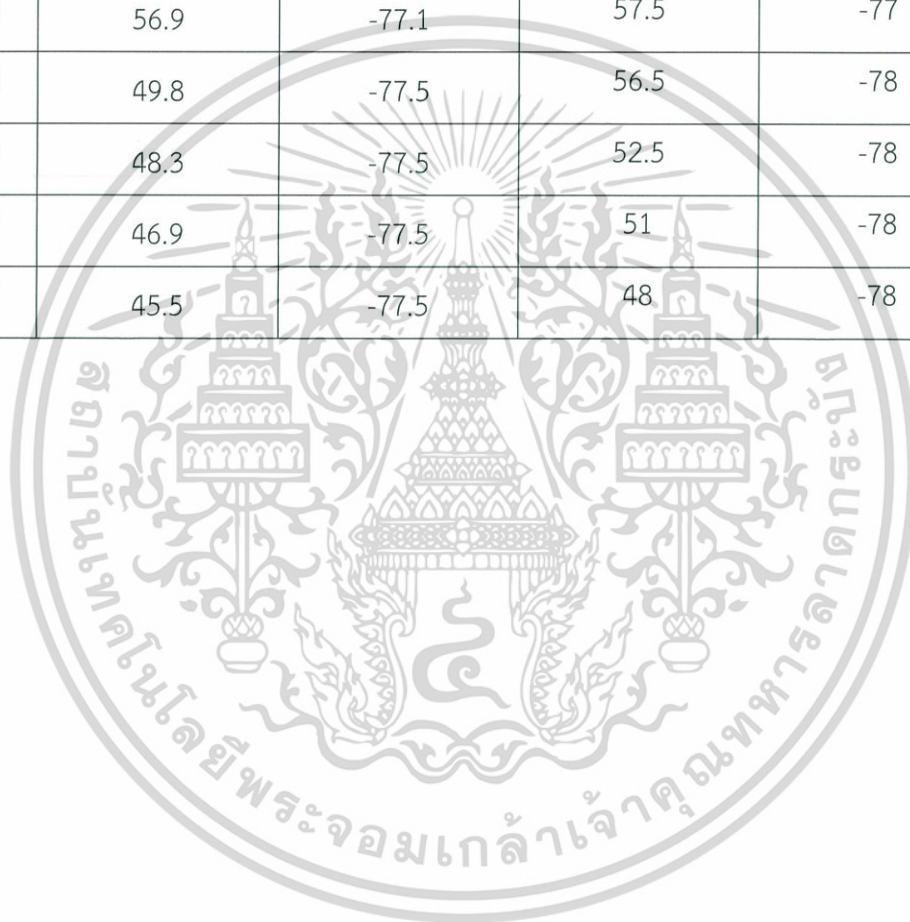
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 12 ผลการทดลองวันที่ 15 พฤษภาคม 2558

เวลา	คำนวณ		ทดลอง	
	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท	มุมอัลติจูด	มุมอะซิมุท
10.00	57.7	77.0	59.5	77.5
10.10	59.1	76.8	61.5	77.5
10.20	60.6	76.6	64.5	77.5
10.30	62.0	76.3	66.5	77.5
10.40	63.4	76.0	68.5	77.5
10.50	64.8	75.6	69	77.5
11.00	71.8	72.3	73.5	72.5
11.10	73.2	71.2	75.5	72
11.20	74.6	69.9	77	71
11.30	76.0	68.3	79	70
11.40	77.3	66.4	81	67
11.50	78.6	63.9	83	65
12.00	84.4	33.3	89	34
12.10	85.0	19.8	88	20
12.20	85.3	3.4	87	5
12.30	85.2	-13.6	85.5	-15
12.40	84.6	-28.4	84.5	-30.5
12.50	83.8	-39.9	82.5	-42
13.00	77.8	-65.5	80.5	-67
13.10	76.5	-67.6	78	-69
13.20	75.1	-69.3	76.5	-69.5
13.30	73.8	-70.8	74.5	-69.5
13.40	72.4	-71.9	73	-70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่ข้อมูลนี้ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งในการนำไปใช้

13.50	71.0	-72.9	68	-71
14.00	64.0	-75.8	67.5	-72
14.10	62.5	-76.2	65	-73
14.20	61.1	-76.5	63.5	-74
14.30	59.7	-76.7	62	-75
14.40	58.3	-76.9	59.5	-76
14.50	56.9	-77.1	57.5	-77
15.00	49.8	-77.5	56.5	-78
15.10	48.3	-77.5	52.5	-78
15.20	46.9	-77.5	51	-78
15.30	45.5	-77.5	48	-78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้