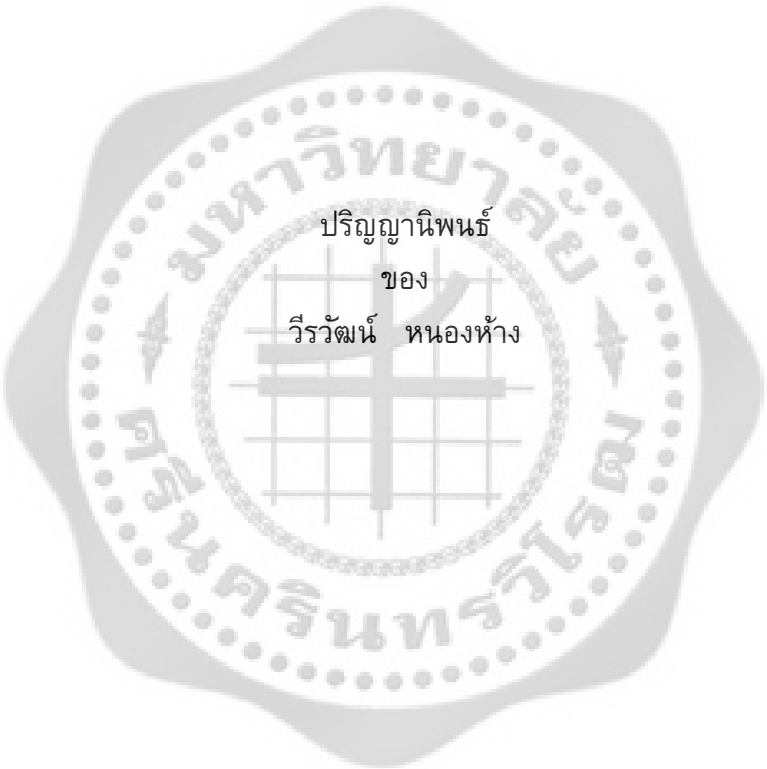
การประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที สำหรับโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร



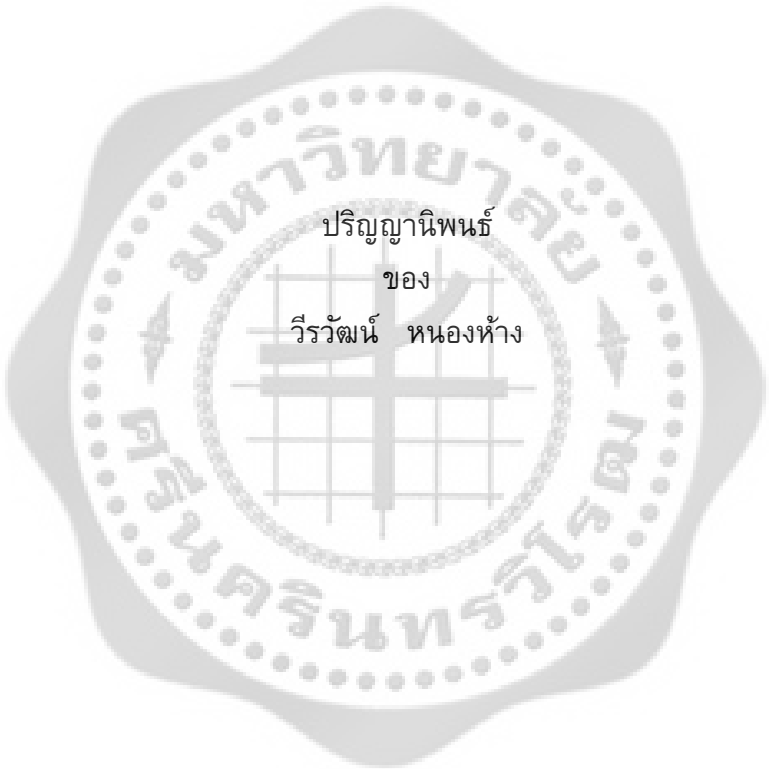
ปริญญานิพนธ์

ของ

วีรวัฒน์ หนองห้าง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2556

การประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที สำหรับโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร



ปริญญานิพนธ์

ของ

วีรวัฒน์ หนองห้าง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

พฤษภาคม 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที สำหรับโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร

บทคัดย่อ

ของ

วีรวัฒน์ หนองห้าง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
พฤษภาคม 2556

วีรวัฒน์ หนองห้าง. (2556). *การประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที สำหรับโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร.* ปริญญานิพนธ์ วท.ม.(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ รองศาสตราจารย์ ดร. ณสรรค์ ผลโภค

จากงานวิจัยการประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรของมหาวิทยาลัยโคโลราโด ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าสามารถประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีความเที่ยงตรงสูงได้ งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้พัฒนาและประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร ตามรูปแบบนาฬิกาแดดของมหาวิทยาลัยโคโลราโด โดยที่นาฬิกาแดดที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถบอกเวลาได้ถูกต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาทีเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตามสัญลักษณ์ที่สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ในการวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาและประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรให้เหมาะสมต่อการใช้งานที่โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานครทั้งหมด 6 แบบและได้นาฬิกาแดดที่มีความแม่นยำสูงจำนวน 1 แบบ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาและประดิษฐ์อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาเพื่อระบุค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ทั้งหมด 2 แบบ และได้อุปกรณ์ตรวจวัดเงาที่มีความเหมาะสมกับนาฬิกาแดดที่ประดิษฐ์ขึ้นจำนวน 1 แบบ อุปกรณ์ตรวจวัดเงาที่ประดิษฐ์ขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับนาฬิกาแดด จะช่วยปรับแก้และชดเชยความคลาดเคลื่อนของเวลานาฬิกาแดดกับสมการเวลาณ ตำแหน่งของโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร

ผลการวิจัยพบว่าเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรตามสัญลักษณ์ที่สัมพันธ์กับสัญลักษณ์ที่ปรากฏบนอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาแล้ว นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์จะสามารถบอกเวลาโดยใช้เงาของสันเกิดเงาที่ปรากฏบนหน้าปัดนาฬิกาแดดที่มีความเที่ยงตรงมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 นาทีจากเวลามาตรฐานประเทศไทยได้

INVENTION OF AN EQUATORIAL SUNDIAL WITH A NOT MORE THAN THREE MINUTES TIME DEVIATIO FOR CHITRALADA SCHOOL, BANGKOK

AN ABSTRACT

BY

WEERAWAT NONGHANG

Presented in Partial Fulfillment of the Requirement

For the Master of Science Degree in Physics

at Srinakharinwirot University

May 2013

Weerawat Nonghang. (2013). *Invention of an equatorial sundial with a not more than three minutes time deviation for Chitralada School, Bangkok*. Master thesis.M.Sc. (Physics). Bangkok: GraduateSchool, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr. Jaturong Sukhontachat , Assoc. Prof. Dr.Nason Phonpoke.

Studying the invention of an equatorial sundial of Colorado University, the United States of America, shows that an equatorial sundial can be invented with high accuracy. Therefore this research has developed and invented an equatorial sundial in the same pattern of the sundial of Colorado University. The invented sundial can tell time with high accuracy, deviation not more than three minutes from the Thailand standard time when adjust the sundial to the symbol relating with the same symbol presented by the declination of the sun. In this research, an equatorial sundial was developed and invented suitable to use at Chitralada School, Bangkok, numbering six forms of sundials and having one form with the high accuracy comparing with the Thailand standard time. Moreover, this research has developed and fabricated two forms of sextants presenting appropriate use with the sundial.

When adjusting the dial of the sundial to the same symbol presenting at the appropriate sextant, the shadow of the gnomon of the sundial will point at the dial in order to tell the accurate time with a not more than 3 minutes time deviation from the Thailand standard time.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง

การประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที สำหรับโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร

ของ

วีรวัฒน์ หนองห้าง

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

……..……คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 25....

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

……ที่ปรึกษาหลัก
(อาจารย์ ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ)

……ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรรค์ ผลโภค)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

……ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ มุศิริ)

……กรรมการ
(อาจารย์ ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ)

……กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ไพศาล ตู้ประกาย)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ ที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและได้ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ จนทำให้งานลุล่วงได้ด้วยดีตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัยผู้วิจัยซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ มุศิริ รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรรค์ ผลโภค และดร.ไพศาล ตู้ประกาย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นกรรมการในการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์รวมทั้งให้คำแนะนำและแก้ไขเพิ่มเติม ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทสาขาวิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่านรวมทั้งพนักงานในภาควิชาฟิสิกส์ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในหลายๆเรื่อง แก่ผู้วิจัยตลอดเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์ โครงการส่งเสริมครูที่มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ ที่กรุณาสนับสนุนทุนการศึกษาระดับปริญญาโทตลอดหลักสูตรของการศึกษา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา พี่สาว ภรรยา ขอขอบคุณคณะผู้บริหารและคณะครูโรงเรียนจิตรลดาทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุน เป็นกำลังใจ และคอยให้ความช่วยเหลือต่อการศึกษาในครั้งนี้จึงให้ผู้วิจัยได้ศึกษาวิชาฟิสิกส์ต่อในระดับปริญญาโทด้วยดี

วีรวัฒน์ หนองห้าง

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**.....	1
	ภูมิหลัง.....	1
2	**เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**.....	4
	ทรงกลมฟ้า.....	4
	ระบบพิกัดของเทห์ฟ้า.....	9
	เวลาทางดาราศาสตร์.....	15
	เวลามาตรฐาน	20
	สมการเวลา.....	22
	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
3	**วิธีดำเนินการวิจัย**.....	36
	สร้างและออกแบบหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร	38
	ข้อมูลค่าละติจูด ค่าลองจิจูดของตำแหน่งสำหรับติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร.....	39
	ปรับเทียบเวลามาตรฐานประเทศไทย.....	40
	การสร้างแนวเพื่อหาทิศเหนือแท้สำหรับติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร.....	42
	หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดเพื่อชดเชยเวลา.....	46
	ประดิษฐ์ ออกแบบอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์.....	48
	ทดลองวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์และอ่านเวลาจากนาฬิกาแดดเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย.....	49
	ออกแบบและประดิษฐ์ และทดลอง นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการให้สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์.....	53
4	**ผลการวิจัย**.....	56

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะ	137
สรุปผลการวิจัย	138
อภิปรายผลการวิจัย	139
ข้อเสนอแนะ	141
บรรณานุกรม	143
ภาคผนวก	146
ประวัติย่อของผู้วิจัย	185

บัญชีตาราง

ตาราง **หน้า**

1 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 1 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันอาทิตย์ที่ 17 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556..... 57

2 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 2 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันอังคารที่ 19 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556..... 58

3 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 3 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันพุธที่ 20 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556..... 59

4 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 4 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันพฤหัสบดีที่ 21 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556..... 60

5 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 5 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันศุกร์ที่ 22 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556..... 61

6 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 6 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันเสาร์ที่ 23 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556..... 62

7 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 7 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันอาทิตย์ที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556..... 65

8 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 8 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันจันทร์ที่ 1 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556..... 66

9 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 9 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันอังคารที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556..... 68

10 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 10 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันพุธที่ 3 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556..... 67

11 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 11 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันพฤหัสบดีที่ 4 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556..... 70

12 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 12 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันศุกร์ที่ 5 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556..... 71

13 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 13 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันเสาร์ที่ 6 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556..... 72

14 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 14 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันเสาร์ที่ 20 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556..... 73

15 ตารางบันทึกผลการทดลองที่ 15 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร วันอาทิตย์ที่ 21 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556..... 74

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
16	แสดงสมการเวลาสำหรับนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา เดือน มกราคม-มีนาคม……..	141
17	แสดงสมการเวลาสำหรับนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา เดือน เมษายน-มิถุนายน……	142
18	แสดงสมการเวลาสำหรับนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา เดือน กรกฎาคม-กันยายน….	153
19	แสดงสมการเวลาสำหรับนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา เดือน ตุลาคม-ธันวาคม พ.ศ. 2556……..	154
20	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน มกราคม พ.ศ. 2556……	155
21	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2556……..	156
22	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556……..	157
23	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน เมษายน พ.ศ. 2556……	158
24	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2556……	159
25	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2556……	160
26	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2556……	161
27	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2556……..	162
28	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน กันยายน พ.ศ. 2556……..	163
29	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2556……	164
30	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน พฤศจิกายน 2556……..	165

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง **หน้า**

31 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2556..... 166

32 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจาก ลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดด โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร วันที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26 ของแต่ละเดือน..... 168

33 แสดงจำนวนวัน (N) ที่ใช้สำหรับการคำนวณมุมเดคลิเนชันและสมการเวลาตลอดปี... 177

34 แสดงค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันตลอดปี..... 178

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	แสดงทรงกลมท้องฟ้า เส้นศูนย์สูตรฟ้า.....	4
2	แสดงเส้นศูนย์สูตรโลกและเส้นศูนย์สูตรฟ้า.....	5
3	แสดงเส้นศูนย์สูตรฟ้าและเส้นเมริเดียนฟ้า.....	6
4	แสดงเส้นสุริยะวิถีทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรฟ้า 23.5 องศา.....	7
5	(ก)แสดงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ ช่วงเดือนมิถุนายน (ข)แสดงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ ช่วงเดือนมีนาคมและกันยายน (ค)แสดงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ช่วงเดือนธันวาคม.....	7
6	แสดงจุดเวอร์นอลอิควินอกซ์จุดออทัมนอลอิควินอกซ์จุดโซลสตีสต์ฤดูร้อนและจุดโซลสติสต์ฤดูหนาว.....	8
7	แสดงระบบขอบฟ้าหรือแนวขอบฟ้า.....	9
8	(ก) แสดงเส้นขอบฟ้า (ข) แสดงเส้นเมริเดียน.....	10
9	แสดงตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าในระบบขอบฟ้าบอกด้วยค่าแอซิมัท (Azimuth) และระยะสูงเชิงมุม (Altitude).....	11
10	แสดงเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า.....	12
11	แสดงตำแหน่งในระบบบอกด้วยค่าไรต์แอสเซนชัน (right ascention; RA; α) และเดคลิเนชัน (Declination; δ).....	13
12	แสดงระนาบทางโคจรปรากฏของดวงอาทิตย์หรือสุริยะวิถี.....	14
13	แสดงเวลาสุริยคติ (เวลาของนาฬิกาแดด) ของดวงอาทิตย์จริง ณ วันที่ 21 มีนาคม...	17
14	(ก) แสดงตำแหน่งที่โลกมีอัตราเร็วในการโคจรมากที่สุด (ข) แสดงตำแหน่งที่โลกมีอัตราเร็วในการโคจรน้อยที่สุด.....	18
15	แสดงเส้นสุริยวิถีและจุด Vernal equinox ในเดือนมีนาคม.....	18
16	แสดงเวลามาตรฐาน (Standard Time).....	20
17	แสดงดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์ปานกลาง.....	22
18	แสดงการเคลื่อนที่ของโลกเป็นวงรีทำให้ในแต่ละตำแหน่งมีความเร็วไม่เท่ากัน.....	23
19	แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏหรือปานกลางกับดวงอาทิตย์จริง.....	24
20	กราฟแสดงสมการเวลาเนื่องจากวงโคจรของโลกเป็นวงรี.....	26

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

21 แสดงแกนโลกเอียง 23.5 องศากับแนวดิ่ง..... 27

22 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์สมมติ โดยมองจากด้านข้าง..... 28

23 แสดงสมการเวลาของดวงอาทิตย์จริงกับดวงอาทิตย์สมมติ
เนื่องจากแกนโลกเอียง 23.5 องศากับแนวดิ่ง..... 30

24 กราฟแสดงผลรวมของสมการเวลา..... 32

25 แสดงมุมที่โลกกระทำกับดวงอาทิตย์ซึ่งเริ่มต้นที่จุดวสันตวิษุวัต
และมุมเอียงของแกนโลกสัมพันธ์กับสุริยะวิถีโดยมองจากด้านข้าง..... 33

26 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร โดยใช้โปรแกรม Shadows pro..... 36

27 แสดงการสร้างหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร..... 38

28 แสดงสถานที่สำหรับติดตั้งและทดลองนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร..... 39

29 แสดง status bar..... 40

30 แสดงเมนู Date and time Properties..... 41

31 แสดงการใส่เครื่องหมายถูกหน้า Automatically และหมายเลข time.navy.mi.th.... 41

32 แสดงการหาทิศเหนือแท้ (True north)
(ก) แสดงการหาทิศเหนือแท้โดยการใช้เข็มทิศแม่เหล็ก
(ข) แสดงการหาทิศเหนือแท้โดยวิธีการคำนวณจากเงาดวงอาทิตย์
(Shadow Plot)..... 42

33 (ก) แสดงทิศเหนือแท้หรือทิศเหนือภูมิศาสตร์
(Geographic North) เปรียบเทียบกับทิศเหนือของเข็มทิศแม่เหล็ก
(Magnetic North) (ข) แสดงการหาทิศเหนือเข็มทิศแม่เหล็กกับทิศเหนือแท้
(รูปดาว) และทิศเหนือกริด พ.ศ. 2531..... 43

34 แสดงค่าเบี่ยงเบนของทิศเหนือเข็มทิศแม่เหล็ก (Magnetic North) กับทิศเหนือแท้
(True North) โรงเรียนจิตรลดากรุงเทพมหานคร วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 44

35 (ก) แสดงการวางแนวทิศเหนือ-ใต้ ตามเข็มทิศแม่เหล็ก
(Magnetic North)(ข) แสดงการใช้เข็มทิศแม่เหล็กปรับหาทิศเหนือแท้
(True North) เพื่อติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร โรงเรียนจิตรลดา
กรุงเทพมหานคร โดยให้แนวเส้นสีเหลืองชี้ห่างจากปลายเข็มทิศแม่เหล็ก
ไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา..... 45

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

36 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สร้างขึ้นมาใหม่
โดยหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดได้ 46

37 แสดงการติดตั้งนาฬิกาแดดที่หน้าปัดสามารถหมุนปรับได้
เพื่อชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูด 18 นาที (ก) แสดงเวลาจากนาฬิกาแดด
วันที่ 24 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2554 46

38 (ก) แสดงการใช้เข็มทิศวางแนวทิศเหนือแท้
(ข) แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
และนาฬิกาแดดที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมาใหม่เพื่อปรับแก้และชดเชยเวลา
บนหน้าปัดนาฬิกาแดดจากสมการเวลา โดยปรับหน้าปัดนาฬิกาแดด
ไป 25 นาที เมื่อมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ 0 องศา 48

39 แสดงการวางแนวทิศเหนือแท้เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเงา
และมุมเดคลิเนชันโดยใช้เข็มทิศเพื่อชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือจริง
กับทิศเหนือแม่เหล็กไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา 49

40 แสดงการทดลองวางอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชัน
ของดวงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบและทำการคำนวณวันศุกร์ที่ 21 มีนาคม 2556
ซึ่งมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ 0 องศา 49

41 แสดงการทดลองวางอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชัน
ของดวงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบและการคำนวณวันศุกร์ที่ 22 มีนาคม 2556
ซึ่งมุมดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ +1 องศา 50

42 แสดงการทดลองวางอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชัน
ของดวงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบและการคำนวณวันเสาร์ที่ 22 มีนาคม 2556
ซึ่งมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ +1 องศา 50

43 การวางแนวทิศเหนือจริงเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเงา
และมุมเดคลิเนชันโดยใช้เข็มทิศเพื่อชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือแท้
กับทิศเหนือแม่เหล็กไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา 50

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

44 แสดงการใช้โปรแกรม GPS เพื่อวางแนวทิศเหนือจริง เทียบกับทิศเหนือแม่เหล็กเพื่อติดตั้งอุปกรณ์วัดเงาและมุมเดคลิเนชัน ของดวงอาทิตย์และติดตั้งนาฬิกาแดดที่ชดเชยเวลาจากสมการเวลา โดยปรับหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที 51

45 แสดงการทดลองใช้อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชัน ของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยเงาที่เกิดขึ้นได้ทอดลงไปใน แนวเส้นเดคลิเนชันที่เท่ากับ +5 องศาวันจันทร์ที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 51

46 แสดงการทดลองใช้อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชัน ของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยเงาที่เกิดขึ้นได้ทอดลงไปใน แนวเส้นเดคลิเนชันที่เท่ากับ +5 องศวันอังคารที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2556 52

47 แสดงการวางนาฬิกาแดดตามแนวทิศเหนือแท้ โดยชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือแท้กับทิศเหนือโดยเข็มทิศแม่เหล็ก ไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศาวันจันทร์ที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 52

48 แสดงการวางนาฬิกาแดดตามแนวทิศเหนือจริง โดยชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือจริงกับทิศเหนือโดยใช้เข็มทิศแม่เหล็ก ไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศาวันอังคารที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2556 53

49 (ก) แสดงนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับ หน้าปัดนาฬิกาแดดตามสัญลักษณ์ที่สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชัน ของดวงอาทิตย์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นใหม่ (ข) แสดงนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร ไปทดลองติดตั้งและอ่านค่าเวลานาฬิกาแดด 54

50 (ก) แสดงการอ่านเวลาจากหน้าปัดนาฬิกาแดด วันศุกร์ที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2556 (ข) แสดงการอ่านเวลานาฬิกาแดด วันจันทร์ที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 56

51 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย และความไม่แน่นอนรวมจากผลการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดด วันที่ 17 มีนาคม ,และวันที่ 19-23 มีนาคมพ.ศ. 2556 64

52 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ยและความไม่แน่นอนรวมจากผลการ ทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดด วันที่ 31มี.ค., 1-6 เมษายน และวันที่ 20-21 เมษายน พ.ศ. 2556 75

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

53 แสดงเวลานาฬิกาแดด 9:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 9:26 น. 76

54 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 9:56 น. ... 76

55 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:30 น.เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:26 น. 77

56 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:56 น. ... 77

57 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:28 น. ... 77

58 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:58 น. ... 78

59 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:45 น. ... 78

60 แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:00 น. ... 78

61 แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:46 น. ... 79

62 แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:00 น. ... 79

63 แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:35 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:37 น. ... 79

64 แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันพฤหัสบดีที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556
เวลานาฬิกาแดด 9:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 8:55 น. 80

65 แสดงเวลานาฬิกาแดด 9:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 9:40 น. 80

66 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 9:55 น. 80

67 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:35 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:30 น. 81

68 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:05 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:00 น. ... 81

69 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:26 น. 81

70 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:13 น. ... 82

71 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:23 น. ... 82

72 แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:59 น. ... 82

73 แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:59 น. ... 83

74 แสดงเวลานาฬิกาแดด 17:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 17:07 น. 83

75 แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร เทียบกับเวลามาตรฐาน
ประเทศไทย วันศุกร์ที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2556 เวลานาฬิกาแดด 10:15 น.
เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:17 น. 84

76 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:32 น. 84

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
77	แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:01 น. …	85
78	แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:25 น. …	85
79	แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:35 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:35 น. …	85
80	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:00 น. …	86
81	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:15 น.....	86
82	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:25 น. …	86
83	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:30 น. …	87
84	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:55 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:54 น. …	87
85	แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:05 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:04 น. …	87
86	แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:23 น. …	88
87	แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:55 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:53 น. …	88
88	แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:30 น.เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:27 น. …	88
89	แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:57 น. …	89
90	แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:12 น. …	89
91	แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:40 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:36 น. …	90
92	แสดงเวลานาฬิกาแดด 16:05 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:01 น. …	90
93	แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย วันเสาร์ที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556เวลานาฬิกาแดด 10:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:14 น. ……...	91
94	แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:30 น. ….	91
95	แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:00 น. ….	91
96	แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:30 น. ….	92
97	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:59 น. ….	92
98	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:24 น. ….	92
99	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:29 น.	93

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
100	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:44 น.	93
101	แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:59 น. …	93
102	แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:56 น.....	94
103	แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:55 น.....	94
104	แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:25 น. ….	94
105	แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:40 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:34 น. ….	95
106	แสดงเวลานาฬิกาแดด 16:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:54 น. ….	95
107	แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย วันอาทิตย์ที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2556 เวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:03 น. ……..	96
108	แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:03 น. ….	96
109	แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:47 น. ….	96
110	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:02 น.....	97
111	แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:22 น. ….	97
112	แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:22 น. ….	97
113	แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:17 น. ….	98
114	แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:02 น. ….	98
115	แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:05 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:08 น. ….	98
116	แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ เวลามาตรฐานประเทศไทย วันจันทร์ที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:02 น. …….	99
117	แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:17 น. ….	99
118	แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:32 น. ….	99
119	แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:47 น. ….	100
120	แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:02 น.....	100
121	แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:32 น. ….	100
122	แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:47 น. ….	101
123	แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:02 น. ….	101

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

124 แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:17 น. 101

125 แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:32 น. 102

126 แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:47 น. 102

127 แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย วันอังคารที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลานาฬิกาแดด 09:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:00 น. 103

128 แสดงเวลานาฬิกาแดด 09:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:15 น..... 103

129 แสดงเวลานาฬิกาแดด 09:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:30 น..... 104

130 แสดงเวลานาฬิกาแดด 09:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:45 น. 104

131 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:00 น. 104

132 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:00 น. 105

133 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:45 น. 105

134 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:00 น. 105

135 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:15 น. 106

136 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:30 น. 106

137 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:45 น. 106

138 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:00 น. 107

139 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:15 น. 107

140 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:20 น. 107

141 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:30 น..... 108

142 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:45 น. 108

143 แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:00 น..... 108

144 แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:45 น. 109

145 แสดงเวลานาฬิกาแดด 16:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:00 น. 109

146 แสดงเวลานาฬิกาแดด 16:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:15 น. 110

147 แสดงเวลานาฬิกาแดด 16:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:30 น. 110

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

148 แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย วันพุธที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลานาฬิกาแดด 09:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:00 น. 111

149 แสดงเวลานาฬิกาแดด 09:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:30 น. 111

150 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:00 น. 112

151 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:15 น. 112

152 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:30 น. 112

153 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:00 น. 113

154 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:15 น. 113

155 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:30 น. 113

156 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:45 น. 114

157 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:00 น. 114

158 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:15 น. 114

159 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:20 น. 115

160 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:45 น. 115

161 แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:00 น. 115

162 แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:15 น. 116

163 แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:45 น. 116

164 แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:00 น. 116

165 แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:15 น. 117

166 แสดงเวลานาฬิกาแดด 14:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:30 น. 117

167 แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย วันพฤหัสบดีที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลานาฬิกาแดด 09:50 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:52 น. 118

168 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:22 น. 118

169 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:40 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:42 น. 119

170 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:02 น. 119

171 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:32 น. 119

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

172 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:02 น. 120

173 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:22 น. 120

174 แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:02 น. 120

175 แสดงเวลานาฬิกาแดด 13:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:32 น. 120

176 แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับเวลามาตรฐาน ประเทศไทย วันศุกร์ที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลานาฬิกาแดด 15:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:02 น. 121

177 แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:17 น. 121

178 แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:32 น. 122

179 แสดงเวลานาฬิกาแดด 15:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:47 น. 122

180 แสดงเวลานาฬิกาแดด 16:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:02 น. 124

181 แสดงเวลานาฬิกาแดด 16:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:15 น. 124

182 แสดงเวลานาฬิกาแดด 16:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:32 น. 125

183 แสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับเวลามาตรฐาน ประเทศไทย วันเสาร์ที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2556เวลานาฬิกาแดด 09:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:01 น. 126

184 แสดงเวลานาฬิกาแดด 09:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:31 น. 126

185 แสดงเวลานาฬิกาแดด 10:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:31 น. 127

186 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:01 น. 127

187 แสดงเวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:31 น. 128

188 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:01 น. 128

189 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:21 น. 129

190 แสดงเวลานาฬิกาแดด 12:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:31 น. 129

191 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 1 130

192 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 2 130

193 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 3 131

194 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 4 132

195 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 5 133

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
196	แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 6	134
197	แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์แบบที่ 1	134
198	แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์แบบที่ 2	135
199	(ก-ง) แสดงตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม Shadows pro version 3.2.1	149
200	แสดงสมการเวลาของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร	150
201	แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2556	167
202	กราฟแสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดกับมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ตลอดปี โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2556	169
203	แสดงแนวเส้นโค้งของมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์สำหรับการนำไปใช้ปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานครตลอดปี พ.ศ. 2556	170
204	แสดงการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาจากอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ในช่วงวันที่ 21 มีนาคม – 23 กันยายนโดยการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 30 นาที	171
205	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 25 นาที	171
206	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที	172
207	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 15 นาที	172
208	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 10 นาที	169
209	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 5 นาที	169
210	แสดงการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาจากอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ในช่วงวันที่ 24 กันยายน – 20 มีนาคมโดยการชดเชย เวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 30 นาที	174
211	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 25 นาที	174
212	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที	175
213	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 15 นาที	175
214	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 10 นาที	176
215	แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 5 นาที	176

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

216 (ก) แสดงแนวเส้นโค้งของมุมเดคลิเนชันดวงอาทิตย์ตลอดปี
(ข) แสดงการหาความยาวของเงาที่เกิดจากสันกำเนิดเงา ขณะเวลาใดๆ 180

บทที่ 1
บทนำ

ภูมิหลัง

นาฬิกาแดดเป็นเครื่องบอกเวลาและเครื่องมือวัดเวลาวิธีธรรมชาติแบบหนึ่ง โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏในแต่ละวัน ซึ่งในการศึกษาเรื่องนาฬิกาแดดนี้จะช่วยให้มนุษย์เราเข้าใจการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ หรือ สุริยวิถี มากขึ้นและเป็นหลักฐานที่แสดงว่าแกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ นอกจากนั้นยังทำให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ของธรรมชาติ ปริมาณพลังงานที่โลกได้รับจากดวงอาทิตย์และเรื่องของการเกิดฤดูกาล (วิจิตร ฤทธิธรรม. 2547: 23)

จากหลักฐานพบว่า นาฬิกาแดดมีใช้มาตั้งแต่สมัยอียิปต์โบราณหรือก่อนหน้านั้นแล้ว (ราว 1600 ปี ก่อนคริสตศักราช) ก่อนที่จะมีการกำหนดว่า 1 วันมี 24 ชั่วโมง ซึ่งช่วงเวลาในหนึ่งวันในสมัยนั้น จะยาวนานไม่คงที่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับฤดูกาล โดยที่ช่วงระยะเวลากลางวันในฤดูร้อนจะยาวนานกว่าช่วงเวลากลางวันในฤดูหนาว นอกจากนี้นาฬิกาแดดยังเป็นสัญลักษณ์ของชาวกรีกและโรมันโบราณ ซึ่งมีการใช้นาฬิกาแดดกันอย่างแพร่หลายในหมู่ผู้มีฐานะ โดยเฉพาะในช่วงสมัยกษัตริย์ ออกัสตัส ซีซาร์ มีการทำนาฬิกาแดดเป็นแบบพกติดตามตัวมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 นิ้วเท่านั้น

นาฬิกาแดดเป็นการผสมผสานความรู้ระหว่างด้านดาราศาสตร์และด้านงานศิลปะได้เป็นอย่างดี จะเห็นว่าสถานที่สำคัญ ๆ หลายแห่งจะมีการก่อสร้างงานศิลปะของนาฬิกาแดดกลางแจ้งกันมากมาย โดยเฉพาะในต่างประเทศ แต่ในประเทศไทยก็มีเห็นอยู่น้อยมากเนื่องจากไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก นอกจากนี้นาฬิกาแดดยังเป็นงานศิลปะที่แสดงให้เห็นถึงวัฒนธรรมและประเพณีของแต่ละประเทศและแต่ละท้องถิ่นแล้ว ยังเป็นการนำเสนอและเผยแพร่ความรู้ทางดาราศาสตร์ที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ได้อีกด้วย

จากการสังเกตเงาในตอนกลางวันเมื่อมีคนออกไปยืนกลางแจ้งจะพบว่าเงาของตัวเองบนพื้นดินเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ผ่านไป เช่น ตอนเช้าจะเห็นเงาทอดยาวไปทางทิศตะวันตก และเมื่อเวลาผ่านไปตอนสายเงาจะสั้นลง สั้นลง จนสั้นที่สุดในเวลาเที่ยงวัน เงาจะเริ่มยาวขึ้น ยาวขึ้นจนถึงหัวค่ำเงาจะทอดยาวไปทางทิศตะวันออก ซึ่งเป็นเช่นนี้ตลอดทุกวันตราบที่โลกยังมีแสงจากดวงอาทิตย์อยู่ ทำให้คนโบราณใช้ความสัมพันธ์ของเงานี้เป็นตัวบอกเวลาแต่ไม่มีหลักฐานที่แน่ชัดว่ามนุษย์เริ่มใช้ดวงอาทิตย์บอกเวลาตั้งแต่เมื่อไหร่ (The so-called dial See Isaiah 38:8 and II Kings 20: 11. 2009: online) แต่เมื่อ 3,500 ปีก่อนคริสต์กาลคนอียิปต์โบราณมีการสร้างแท่งหินที่เรียกว่า เสาโอเบลิสก์ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนแท่งหินที่เรียกว่า สันกำเนิดเงา เป็นตัวสร้างเงาลงไปบนส่วนที่เรียกว่าหน้าปัดนาฬิกา ซึ่งจะมีสเกลสำหรับบอกเวลาไว้บนหน้าปัดของนาฬิกาแดด พอมาถึงยุคของกรีกและโรมันเสาโอเบลิสก์ ก็ถูกเรียกใหม่ว่า นาฬิกาแดด แต่เนื่องด้วยแกน

โลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์และวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ทำให้เงาที่ตกกระทบบนหน้าปัดนาฬิกาแดดเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยในแต่ละวัน จึงต้องมีการแก้ปัญหานี้ด้วยการการออกแบบส่วนที่เป็นสันกำเนิดเงาใหม่โดยให้สันกำเนิดเงาเอียงทำมุมในหน่วยองศากับพื้นดินตามค่าตำแหน่งละติจูดของผู้สังเกตหรือตำแหน่งที่ติดตั้งนาฬิกาแดด โดยทำเป็นแขนชี้ไปทางทิศเหนือ

เมื่อ 30 ปีก่อนคริสตศักราชสถาปนิกชาวโรมัน ชื่อ มาคัส วิทรูเวียสได้ออกแบบนาฬิกาแดดแบบต่าง ๆ ถึง 13 แบบ ติดตั้งไปทั่ว กรีซ อิตาลี และเอเชียไมเนอร์ พอนานวันเข้านาฬิกาแดดก็ถูกเปลี่ยนแปลงโฉมโดยใช้งานศิลปะประจำชาติเข้าเสริมเติมแต่งให้ดูงดงามขึ้น แต่ยังอาศัยหลักการการเกิดเงาเหมือนเดิม จนปัจจุบันมีการพัฒนานาฬิกาแดดขนาดเล็กพกติดตัวได้ด้วย (Albert E.Waugh. 1973: 3-4)

การใช้นาฬิกาแดดบอกเวลานั้น จะอาศัยเงาของสันกำเนิดเงาที่ทอดยาวไปตกกระทบบนหน้าปัดนาฬิกาเป็นตัวบอกเวลา ซึ่งเงาที่เกิดขึ้นจะอยู่ตรงข้ามกับดวงอาทิตย์เสมอ เมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นทางด้านทิศตะวันออกเงาของสันกำเนิดเงาจะไปปรากฏตรงข้าม คือ ทางด้านทิศตะวันตก เช่น สมมติว่าเป็นเวลา 09:00 น. เมื่อเวลาผ่านไปดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกเรื่อย ๆ เพราะการหมุนรอบตัวเองของโลก ซึ่งจะทำให้เงาของสันกำเนิดเงาเคลื่อนที่ในทิศตรงกันข้าม กล่าวคือ จากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก ถ้าดวงอาทิตย์อยู่ตำแหน่งเมอริเดียนหรือเวลาเที่ยงวัน แนวของสันกำเนิดเงาจะชี้ไปทางทิศเหนือพอดี ถ้าหากเขียนตำแหน่งเงาของสันกำเนิดเงาเรื่อย ๆ ทุก ๆ ชั่วโมงจะพบว่าจุดของเวลาก่อนเที่ยงและเวลาหลังเที่ยงจะมีความสมมาตรกันพอดี ความยาวของเงาสันกำเนิดเงาเองก็ยาวไม่คงที่ จะเปลี่ยนแปลงไปทุกๆ เดือน เพราะอิทธิพลของแกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ในแต่ละเดือนเงาของสันกำเนิดเงาเองก็ไม่เคยซ้ำตำแหน่งที่เวลาเดิมเลย เนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรี ซึ่งเป็นปัญหาของนักดาราศาสตร์หรือผู้ที่จะประดิษฐ์นาฬิกาแดดที่จะต้องมีการแก้ปัญหาความคลาดเคลื่อนของเวลาที่ได้จากนาฬิกาแดดเนื่องจากปัจจัยเหล่านี้ด้วย

จากการบอกเวลาของนาฬิกาแดดทั่วไปให้ถูกต้องแม่นยำตรงกับเวลามาตรฐานของประเทศไทยนั้นค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน เนื่องจากจะต้องนำเวลาจากสมการเวลาในแต่ละวันและการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดมาบวกหรือลบออกจากเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกาแดด จึงจะบอกเวลาได้ถูกต้องตรงกับเวลามาตรฐานประเทศไทย และจากงานวิจัยการประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรของมหาวิทยาลัยโคโลราโด พบว่าการที่นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรบอกเวลาคลาดเคลื่อนจากสมการเวลาเนื่องจากการติดตั้งสันกำเนิดเงาของนาฬิกาแดดมีมุมเงยไม่เท่ากับค่าละติจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดและชี้ไม่ถูกต้องตรงกับมุมทิศหรือทิศเหนือแท้ (R.H. Garstang. 1997: 346-351) จากผลงานวิจัยดังกล่าวทำให้เราทราบว่า สามารถประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีความเที่ยงตรงสูงได้

จากประเด็นปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษา พัฒนาและประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรให้เหมาะสมต่อการใช้งานและสามารถนำไปประกอบการเรียนการสอนวิชาโลกดาราศาสตร์ที่โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร พร้อมทั้งมีการพัฒนาและประดิษฐ์อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาเพื่อระบุค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร เพื่อช่วยปรับแก้และชดเชยความคลาดเคลื่อนของเวลานาฬิกาแดดที่ประดิษฐ์ขึ้นให้สามารถบอกเวลาได้ถูกต้องแม่นยำตรงกับเวลามาตรฐานประเทศไทย โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที ซึ่งไม่ต้องนำเวลาจากสมการเวลาในแต่ละวันและการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดมาบวกหรือลบออกจากเวลาที่ได้จากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรทั่วไป

จุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรสำหรับโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร ที่มีความเที่ยงตรงโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที เมื่อปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นด้วยค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิชันของดวงอาทิตย์

2. เพื่อศึกษาและประยุกต์ใช้ความรู้เรื่องนาฬิกาแดดร่วมกับความรู้ด้านการคำนวณทางฟิสิกส์ดาราศาสตร์และคณิตศาสตร์ในปัจจุบัน

ความสำคัญของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและอธิบายวิธีการประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบเส้นศูนย์สูตร ที่มีความเที่ยงตรงโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที

2. เพื่อนำผลงานวิจัยที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนวิชา โลกและดาราศาสตร์ให้กับนักเรียนโรงเรียนจิตรลดาและประชาชนทั่วไปที่สนใจและเป็นกระตุ้นให้นักเรียนและประชาชนคนไทยให้เห็นถึงความสำคัญของวิชาดาราศาสตร์ว่ามีความเกี่ยวข้องโดยตรงกับการดำเนินชีวิตประจำวัน

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาและประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร ตามรูปแบบของนาฬิกาแดดที่ใช้อยู่ที่มหาวิทยาลัยโคโลราโด

2. ศึกษาและค้นคว้าความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นเทียบกับทฤษฎีความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาแดด

3. ประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชั่นของดวงอาทิตย์เพื่อช่วยปรับแก้และชดเชยความคลาดเคลื่อนของเวลาที่ได้จากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร

4. ปรับแก้และชดเชยความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที เมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรด้วยค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิชันของดวงอาทิตย์

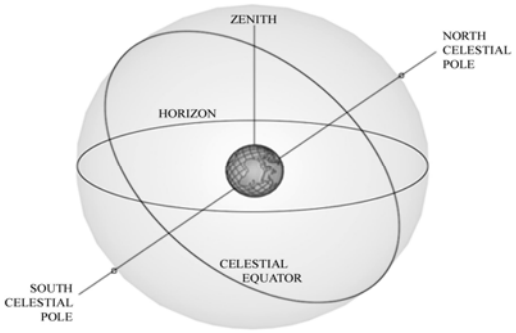
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. ทรงกลมฟ้า
2. ระบบพิกัดของเทห์ฟ้า
3. เวลาทางดาราศาสตร์
4. เวลามาตรฐาน
5. สมการเวลา
6. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทรงกลมฟ้า

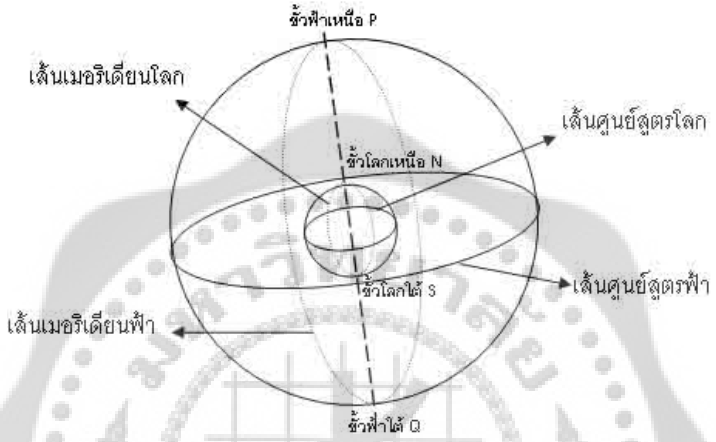
เมื่อสังเกตดวงดาวต่างๆ ในท้องฟ้าด้วยตาเปล่าจะพบว่าท้องฟ้าจะมีลักษณะเป็นรูปครึ่งทรงกลมขนาดใหญ่ครอบตัวเราอยู่ นอกจากนั้นจะยังสังเกตเห็นว่าดวงดาวต่างๆอยู่ห่างจากเราเป็นระยะทางเท่า ๆ กัน โดยที่ดวงดาวทั้งหมดบนท้องฟ้าจะกระจายอยู่ที่ผิวของครึ่งทรงกลมใหญ่ที่ครอบตัวเราอยู่ ครึ่งทรงกลมใหญ่ซึ่งมีดาวฤกษ์ ดาวเคราะห์และเทห์ฟ้าอื่นแสดงอยู่ตามที่ตาของมนุษย์มองเห็นนี้เป็นครึ่งหนึ่งของทรงกลมฟ้า (celestial sphere) ซึ่งนักดาราศาสตร์ใช้เป็นเครื่องมือในการอธิบายการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์ต่าง ๆ ในท้องฟ้า ทรงกลมฟ้าแท้จริงมีลักษณะเป็นทรงกลมสมมติที่มีขนาดใหญ่มาก การจินตนาการถึงทรงกลมฟ้าให้จินตนาการเริ่มต้นโดยนึกภาพโลกของเราซึ่งมีรูปร่างประมาณได้ว่าเป็นรูปร่างทรงกลมพร้อมทั้งบนผิวของทรงกลมยังมีเส้นสมมติ คือ เส้นรุ้ง (latitude) และเส้นแวง (longitude) วางตัวอยู่ด้วย ต่อจากนั้นให้จินตนาการโดยขยายทรงกลมสมมติที่มีพื้นผิวโปร่งใส่พร้อมกับมีเส้นรุ้งและเส้นแวงให้ขยายตัวออกไปในอวกาศโดยให้ทรงกลมที่ขยายนี้มีขนาดใหญ่มากจนกระทั่งดาวฤกษ์ ดาวเคราะห์และเทห์ฟ้าต่างๆ แสดงอยู่บนผิวโปร่งใสของทรงกลมนี้ ทรงกลมในจินตนาการข้างต้นนี้ก็คือ ทรงกลมฟ้า (จตุรงค์ สุคนธชาติ. 2556: 10-107) ดังภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 แสดงทรงกลมท้องฟ้า เส้นศูนย์สูตรฟ้า

ที่มา: http://www.netplaces.com/astronomy/navigate-the-night-sky/the-celestial-

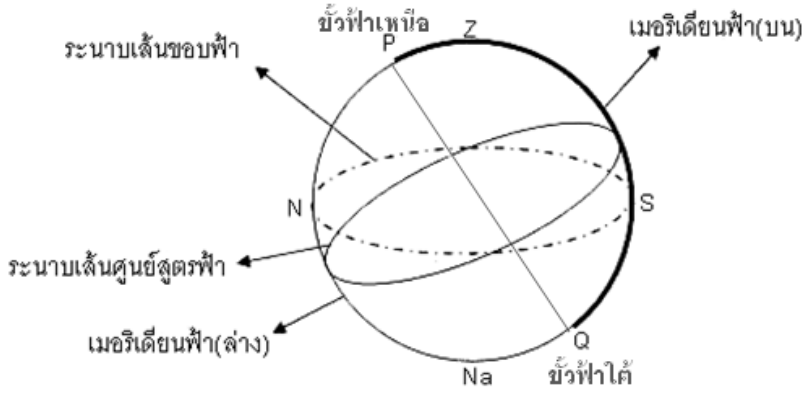
ส่วนเส้นรุ้งและเส้นแวงที่ขยายตัวออกไปจนอยู่บนผิวของทรงกลมฟ้าจะมีชื่อเรียกว่า ละติจูดฟ้า (celestial latitude, circle of latitude) และลองจิจูดฟ้า (celestial longitude, circle of longitude) เส้นลองจิจูดฟ้าทุกเส้นได้แบ่งทรงกลมฟ้าออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กันเสมอ เส้นสมมติประเภทนี้นักดาราศาสตร์กำหนดให้มีชื่อเรียกว่า วงกลมใหญ่ (great circle) ส่วนเส้นละติจูดฟ้านั้นจะมีเพียงเส้นศูนย์สูตรฟ้า (celestial equator) เพียงเส้นเดียวเท่านั้นที่จัดเป็นเส้นวงกลมใหญ่ (จตุรงค์ สุคนธชาติ. 2556: 10-107) ดังภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แสดงเส้นศูนย์สูตรโลกและเส้นศูนย์สูตรฟ้า

ที่มา: http://www.cis.psu.ac.th/fathoni/lesson/falakweb/ch5_4.html

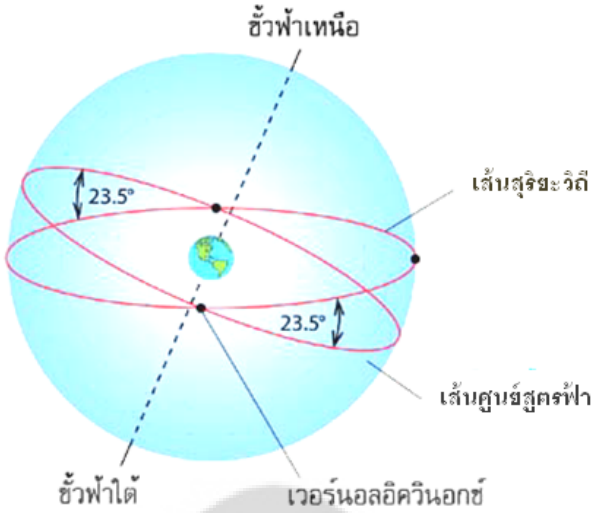
ทรงกลมฟ้าจะมีขั้วฟ้า (celestial poles) อยู่ 2 ขั้ว ซึ่งเป็นตำแหน่งบนทรงกลมฟ้า 2 จุด จุดที่อยู่ในซีกฟ้าเหนือของทรงกลมฟ้าที่ตรงกับจุดซึ่งลากจากแกนหมุนทางทิศเหนือของโลก มีชื่อเรียกว่า ขั้วฟ้าเหนือ (north celestial pole) ส่วนจุดที่อยู่ในซีกฟ้าใต้ของทรงกลมฟ้าที่ตรงกับจุดซึ่งลากจากแกนหมุนทางทิศใต้ของโลก มีชื่อเรียกว่า ขั้วฟ้าใต้ (south celestial pole) เส้นวงกลมใหญ่ที่แบ่งทรงกลมฟ้าออกเป็นซีกฟ้าเหนือและซีกฟ้าใต้สองส่วนเท่า ๆ กันนี้มีชื่อเรียกว่า เส้นศูนย์สูตรฟ้า โดยที่สามารถกล่าวได้ว่า เส้นศูนย์สูตรฟ้านี้ คือ การขยายเส้นศูนย์สูตรของโลกขึ้นไปสู่ทรงกลมฟ้า ส่วนเส้นลองจิจูดฟ้าซึ่งลากผ่านจุดเหนือศีรษะของผู้สังเกตและผ่านขั้วทั้งสองของท้องฟ้านั้นจะมีชื่อเรียกว่า เส้นเมริเดียนฟ้า หรือ เส้นศูนย์เที่ยง (celestial meridian) (จตุรงค์ สุคนธชาติ. 2556: 10-108) ดังภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงเส้นศูนย์สูตรฟ้าและเส้นเมริเดียนฟ้า

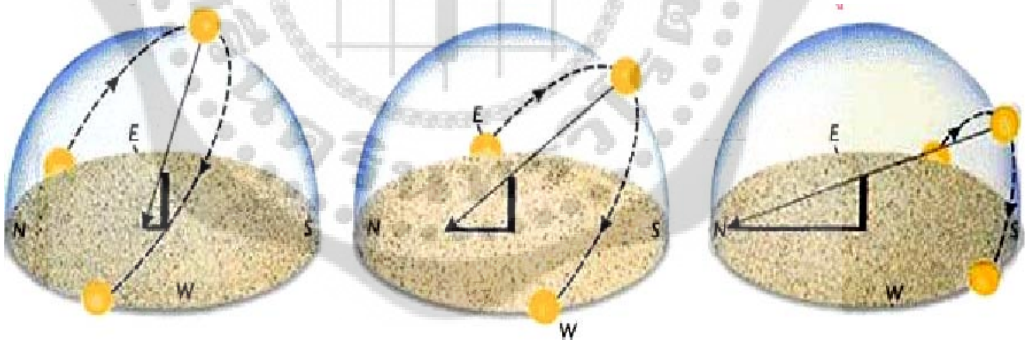
ที่มา: http://www.cis.psu.ac.th/fathoni/lesson/falakweb/ch5_4.html

เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ ดังนั้น เมื่อผู้สังเกตอยู่บนโลก จึงทำให้มองดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปบนท้องฟ้าตามแนวเส้นทางบนทรงกลมฟ้า นักดาราศาสตร์เรียกเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์นี้ว่า เส้นสุริยวิถี (ecliptic) โดยทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรฟ้า 23.5 องศา เมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ครบ 1 รอบหรือ 360 องศา จะใช้เวลา 1 ปี หรือ 365 วัน ดังนั้น ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จึงมีการเปลี่ยนแปลงบนเส้นสุริยวิถีด้วยมุมประมาณวันละ 1 องศา โดยในเดือนมิถุนายนดวงอาทิตย์จะปรากฏอยู่ทางเหนือมากที่สุดและในเดือนธันวาคมจะปรากฏอยู่ทางใต้มากที่สุด ส่วนในเดือนมีนาคมและเดือนกันยายน ดวงอาทิตย์จะปรากฏทางทิศตะวันออกและปรากฏทางทิศตะวันตกมากที่สุด



ภาพประกอบ 4 แสดงเส้นสุริยะวิถีทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรฟ้า 23.5 องศา

ที่มา: http://www.netplaces.com/astronomy/navigate-the-night-sky/the-celestial-sphere.htm

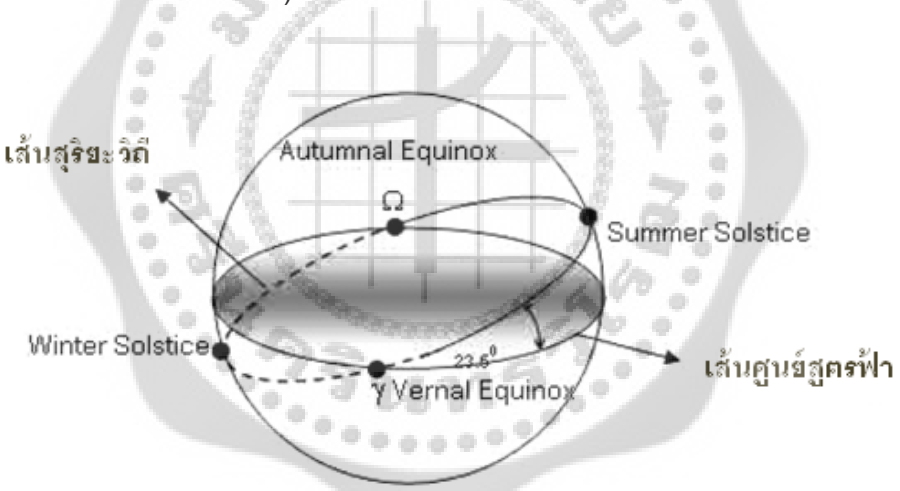


(ก) (ข) (ค)

ภาพประกอบ 5(ก) แสดงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ช่วงเดือนมิถุนายน
(ข) แสดงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ช่วงเดือนมีนาคมและกันยายน
(ค) แสดงตำแหน่งและการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ช่วงเดือนธันวาคม

ที่มา: http://dit.dru.ac.th/home/023/universe/p3.html

นักดาราศาสตร์ได้ระบุตำแหน่งสำคัญบนเส้นสุริยวิถีมี 4 ตำแหน่ง ดังนี้ จุดตัดระหว่างเส้นสุริยวิถีกับเส้นศูนย์สูตรฟ้า 2 จุด คือ จุดเวอร์นอลอิควินอกซ์ หรือ จุดวสันตวิษุวัต (vernal equinox) ซึ่งเป็นตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนท้องฟ้าในวันที่ 21 มีนาคม และอีกจุดคือ จุดออทัมนอลอิควินอกซ์ หรือ จุดเหมายัน (Autumnal equinox) ซึ่งเป็นตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนท้องฟ้าในวันที่ 23 กันยายน เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ ณ ตำแหน่งจุดอิควินอกซ์ทั้ง 2 จุดนี้ จะส่งผลให้ในวันนั้นมีเวลากลางวันยาวนานเท่ากันกับเวลากลางคืน ส่วนอีก 2 จุดที่สำคัญ คือ จุดโซลสตีสต์ฤดูร้อน (summer solstice) ซึ่งเป็นตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนท้องฟ้าในวันที่ 22 มิถุนายน ณ ตำแหน่งนี้โลกจะหันขั้วโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดจึงทำให้เป็นวันที่มีกลางวันยาวนานมากที่สุดสำหรับผู้ที่อยู่ทางซีกโลกเหนือ และเป็นวันที่มีกลางคืนยาวนานที่สุดสำหรับผู้ที่อยู่ทางซีกโลกใต้ อีกจุดหนึ่งซึ่งอยู่ตรงกันข้าม คือ จุดโซลสติสต์ฤดูหนาว (Winter Solstice) จะเป็นตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ปรากฏบนท้องฟ้าในวันที่ 22 ธันวาคม ณ ตำแหน่งนี้โลกจะหันขั้วโลกใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดทำให้เป็นวันที่มีกลางคืนยาวนานมากที่สุดสำหรับผู้ที่อยู่ทางซีกโลกเหนือ และเป็นวันที่มีกลางวันยาวนานที่สุดสำหรับผู้ที่อยู่ทางซีกโลกใต้ (จตุรงค์ สุคนธชาติ. 2556: 10-108) ดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงจุดเวอร์นอลอิควินอกซ์จุดออทัมนอลอิควินอกซ์จุดโซลสตีสต์ฤดูร้อน
และจุดโซลสติสต์ฤดูหนาว

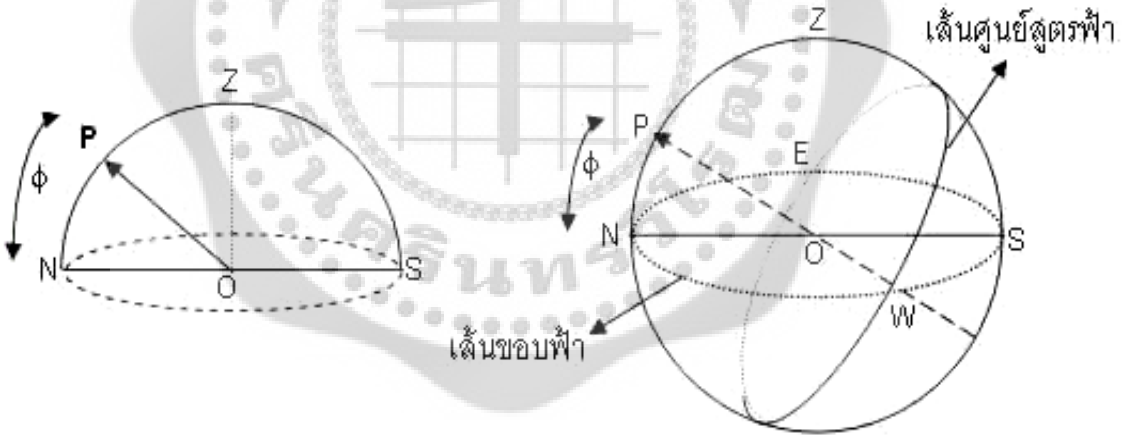
ที่มา: http://dit.dru.ac.th/home/023/universe/p3.html

2.2 ระบบพิกัดของเทห์ฟ้า

ในวิชาดาราศาสตร์เมื่อต้องการบอกตำแหน่งของเทห์ฟ้า โดยมากต้องใช้แนวความคิดเรื่องทรงกลมฟ้า โดยเทห์ฟ้าต่างติดอยู่บนผิวทรงกลมนี้ การคิดคำนึงเกี่ยวกับพิกัดเฉพาะต่าง ๆ บนผิวทรงกลมนี้รวมเรียกว่า พิกัดทรงกลมฟ้า (พีรพัฒน์ ศิริสมบูรณ์ลาภ. 2533: 30) ซึ่งมีอยู่ 3 ระบบที่สำคัญและใช้งานทั่วไป คือ พิกัดขอบฟ้า (horizontal coordinate) พิกัดศูนย์สูตร (equatorial coordinate) และพิกัดสุริยะวิถี (ecliptic coordinate) (จตุรงค์ สุคนธชาติ. 2556: 10-108)

2.2.1 ระบบพิกัดขอบฟ้าหรือแนวขอบฟ้า

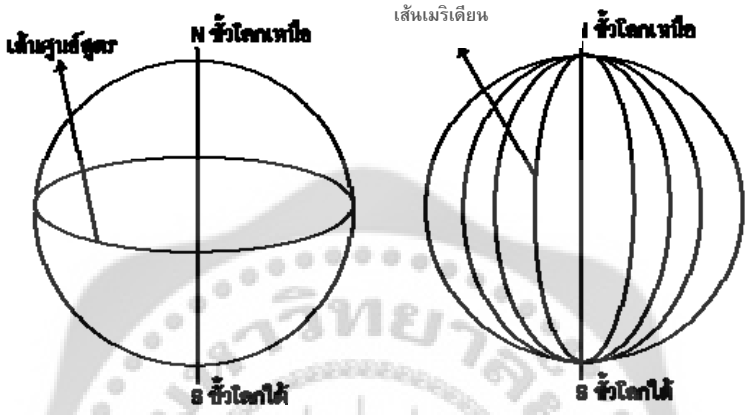
ระบบขอบฟ้าเป็นระบบที่บอกตำแหน่งของเทห์ฟ้าโดยเทียบกับแนวขอบฟ้าของผู้สังเกตการณ์ โดยกำหนดจุดและวงกลมใหญ่ต่าง ๆ บนทรงกลมฟ้าดังนี้ จุดจอมฟ้า หรือ เซนิท (Zenith; Z) เป็นจุดอยู่ตรงเหนือศีรษะของผู้สังเกตการณ์ที่ติดบนทรงกลมฟ้า และจุดบนทรงกลมฟ้าที่อยู่ตรงข้ามกับจุดจอมฟ้า เรียกว่า จุดต่ำสุด (Nadir) วงกลมขอบฟ้า (Horizon circle) เป็นวงกลมแสดงเส้นหรือแนวขอบฟ้าของผู้สังเกตการณ์ ซึ่งตั้งฉากกับเส้นที่ลากต่อระหว่างจุดจอมฟ้าและจุดต่ำสุดหรือห่างจากจุดทั้งสอง 90 องศาเท่ากัน ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 แสดงระบบขอบฟ้าหรือแนวขอบฟ้า

ที่มา: http://dit.dru.ac.th/home/023/universe/p3.html

วงกลมขอบฟ้านี้อาจเรียกว่า ขอบฟ้าของท้องฟ้า (Celestial horizon) ซึ่งต่างจากขอบฟ้าธรรมชาติ ที่เป็นภูมิประเทศต่าง ๆ หรือไม่เป็นวงกลมเรียบเหมือนวงกลมขอบฟ้า วงกลมดิ่ง (Vertical circle) เป็นวงกลมใหญ่ที่ลากผ่านจุดจอมฟ้าไปยังจุดต่ำสุดและตั้งฉากกับแนวขอบฟ้า วงกลมดิ่งที่ผ่านทิศเหนือใต้เรียกว่า เมริเดียนฟ้า (Celestial meridian) ส่วนวงกลมดิ่งที่ผ่านทิศตะวันออกและทิศตะวันตกเรียกว่า วงกลมดิ่งหลัก (Prime vertical) ดังภาพประกอบ 8

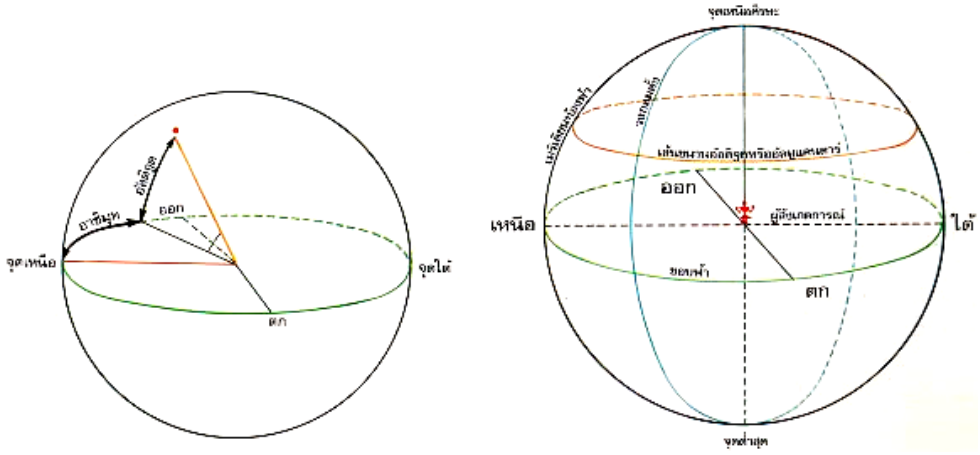


(ก) (ข)

ภาพประกอบ 8 (ก) แสดงเส้นขอบฟ้า (ข) แสดงเส้นเมริเดียน

ที่มา: http://dit.dru.ac.th/home/023/universe/p4.html

ตำแหน่งของเทห์ฟ้าในระบบขอบฟ้าบอกด้วยค่าแอซิมัท (Azimuth) และระยะสูงเชิงมุม (Altitude) แอซิมัท คือ ระยะทางเชิงมุมที่วัดจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออกตามแนวขอบฟ้าถึงวงกลมดิ่งของเทห์ฟ้าที่ต้องการหาตำแหน่ง แอซิมัทมีหน่วยเป็นหน่วยขององศาและมีค่าได้ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา ในขณะที่มีนักวิชาการบางกลุ่มวัดจากทิศใต้แทนทิศเหนือ ระยะสูงเชิงมุมของเทห์ฟ้าเป็นระยะทางเชิงมุมที่วัดจากขอบฟ้าไปตามวงกลมดิ่งขึ้นไปจนถึงตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าในหน่วยขององศาโดยมีค่าได้ตั้งแต่ 0 องศา ที่ขอบฟ้าถึง 90 องศาที่จุดจอมฟ้า บางครั้งอาจบอกค่าของ ระยะทางจอมฟ้า (Zenith distance) ที่วัดจากจอมฟ้าลงมาตามวงกลมดิ่งมายังตำแหน่งของเทห์ฟ้า ดังภาพประกอบ 9



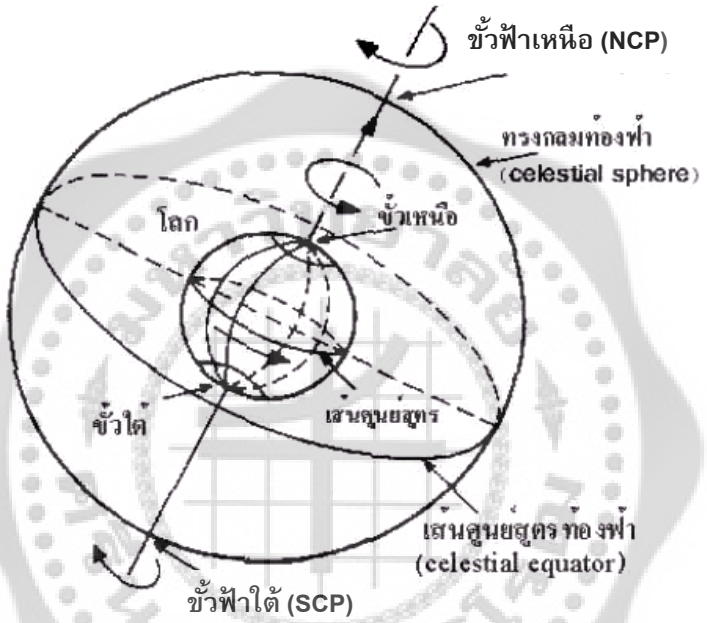
ภาพประกอบ 9 แสดงตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้าในระบบขอบฟ้าบอกด้วยค่าแอซิมัท (Azimuth) และระยะสูงเชิงมุม (Altitude)

ที่มา: สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวฯ http://kanchanapisek.or.th/kp6/New/sub/book/book.php?book=1&chap=3&page=t1-3-infodetail07.html

วิธีวัดตำแหน่งของเทห์ฟ้าในระบบขอบฟ้านี้นิยมใช้ในทางเดินเรือ การสำรวจและดาราศาสตร์ แต่ค่าแอซิมัทและระยะสูงเชิงมุมของเทห์ฟ้าเปลี่ยนแปลงได้อยู่เสมอเพราะโลกหมุนรอบตัวเอง จึงทำให้มีการหมุนรอบตัวเองปรากฏของทรงกลมท้องฟ้าเป็นประจำวัน ค่าแอซิมัทและระยะสูงเชิงมุมเปลี่ยนตามตำแหน่งของผู้สังเกต

2.2.2 ระบบพิกัดศูนย์สูตร

ระบบศูนย์สูตรเป็นระบบที่บอกตำแหน่งของเทห์ฟ้าโดยกำหนดจุดและวงกลมใหญ่ดังนี้ ศูนย์สูตรฟ้า (Celestial equator) เป็นวงกลมใหญ่ของทรงกลมท้องฟ้าที่ขยายมาจากระนาบศูนย์สูตรของโลก จึงอยู่กึ่งกลางระหว่างขั้วเหนือและใต้ของโลกด้วย ขั้วฟ้าเหนือ N.C.P. (North Celestial Pole) และขั้วฟ้าใต้หรือ S.C.P. (South Celestial Pole) เป็นจุดที่ได้จากการต่อแนวเหนือและใต้ของแกนหมุนโลกออกไปตัดกับทรงกลมฟ้า เส้นที่ลากต่อระหว่างขั้วฟ้าเหนือและขั้วฟ้าใต้จะตั้งฉากกับระนาบศูนย์สูตรฟ้า (ยุพา วานิชชัย. 2526: 3) ดังภาพประกอบ 10

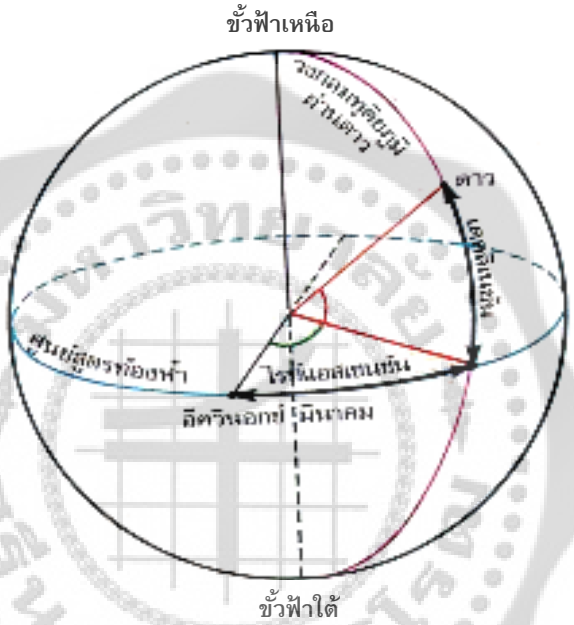


ภาพประกอบ 10 แสดงเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า

ที่มา: http://dit.dru.ac.th/home/023/universe/p3.html

วงกลมชั่วโมง (Hour circle) เป็นครึ่งวงกลมใหญ่ที่ผ่านขั้วเหนือท้องฟ้าและขั้วใต้ท้องฟ้าและตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าเหมือนเมอริเดียนของโลก วงกลมชั่วโมงที่ผ่านจุดยอดฟ้าเรียกว่าเมอริเดียนท้องฟ้า จุดเวอร์นอลอิควินอกซ์ หรือ จุดวสันตวิษุวัต เป็นจุดตัดจุดหนึ่งของระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้ากับระนาบสุริยวิถี (Ecliptic plane) หรือวงโคจรโลกที่ขยายไปตัดกันบนทรงกลมท้องฟ้า ระบบนี้ใช้เส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าและจุดวสันตวิษุวัตเป็นที่อ้างอิงเพื่อบอกตำแหน่งในระบบนี้ (ยุพา วานิชชัย. 2526: 4-5)

การบอกตำแหน่งของเทห์ฟ้าบนทรงกลมฟ้าจะใช้พิกัดที่แสดงด้วยค่ามุม 2 ชนิด คือ เดคลิเนชัน (Declination; δ) ซึ่งเป็นมุมที่มีค่าเป็นองศา (degree) ลิปดา (arc minute; minute of arc) และฟิลิปดา (arc second; second of arc) วัดเทียบจากระนาบศูนย์สูตรฟ้าไปทางเหนือหรือทางใต้ (เสมือนกับการบอกละติจูด) และไรต์แอสเซนชัน (right ascention; RA; α) ซึ่งเป็นค่ามุมที่วัดจากจุดวสันตวิษุวัต (vernal equinox; sprig equinox; γ) ไปตามทิศทางของกฎมือขวาโดยมักนิยมแสดงค่ามุมให้มีหน่วยเป็นชั่วโมง (hour) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15 องศา นาที (minute) และวินาที (second) (จตุรงค์ สุคนธชาติ. 2556: 10-110) ดังภาพประกอบ 11

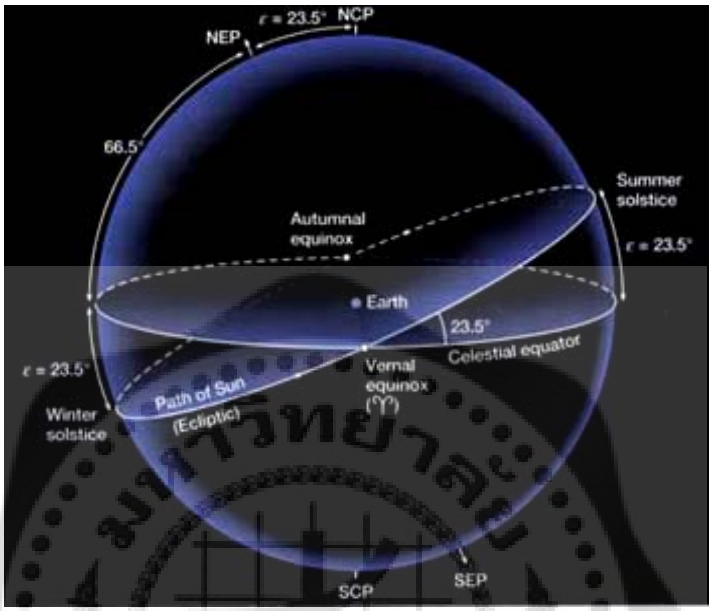


ภาพประกอบ 11 แสดงตำแหน่งในระบบบอกด้วยค่าไรต์แอสเซนชัน (right ascention; RA; α) และเดคลิเนชัน (Declination; δ)

ที่มา: สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว http://kanchanapisek.or.th/kp6/New/sub/book/book.php?book=1&chap=3&page=t1-3-infodetail07.html

2.2.3 ระบบพิกัดสุริยวิถี

ระบบสุริยวิถีอาศัยระนาบทางโคจรของโลกเป็นหลัก ซึ่งเป็นระนาบเดียวกับระนาบทางโคจรปรากฏของดวงอาทิตย์หรือสุริยวิถี ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 แสดงระนาบทางโคจรปรากฏของดวงอาทิตย์หรือสุริยวิถี

ที่มา: http://www.boripat.ac.th/sciencebookonline/index.php?option=com

ระบบสุริยวิถีใช้จุดวสันตวิษุวัตและสุริยวิถีเป็นที่อ้างอิงบอกตำแหน่งเทห์ฟ้า ตำแหน่งในระบบบอกด้วยค่าเส้นละติจูดฟ้า (Celestial latitude) และเส้นลองจิจูดฟ้า (Celestial longtitude) เส้นลองจิจูดฟ้าเป็นระยะทางเชิงมุมที่วัดในหน่วยขององศา มีค่าตั้งแต่ 0 องศาที่จุดวสันตวิษุวัตโดยวัดไปทางตะวันออกตามแนวสุริยวิถีถึงเส้นลองจิจูดที่ลากผ่านเทห์ฟ้าที่ต้องการหาตำแหน่ง เส้นลองจิจูดฟ้ามีค่าได้ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 360 องศา เส้นละติจูดฟ้าเป็นระยะทางเชิงมุมที่วัดในหน่วยขององศามีค่าได้ตั้งแต่ 0 องศาที่สุริยวิถี และวัดไปทางเหนือหรือใต้ถึง 0 องศาเหนือ หรือ 90 องศาใต้ ที่ขั้วเหนือหรือขั้วใต้ของสุริยวิถีตามลำดับ (ยุพา วานิชชัย. 2526: 6)

2.3 เวลาทางดาราศาสตร์

2.3.1 การหมุนของโลก

โลกหมุนรอบแกนหมุนแกนหนึ่ง เรียกว่า แกนหมุนของโลก ซึ่งเอียงทำมุม 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ แกนหมุนของโลกจะทะลุพื้นผิวโลกที่จุดสองจุดซึ่งมีชื่อเรียกว่า ขั้วโลกเหนือ (N) และขั้วโลกใต้ (S) ถ้าเราออกไปนอกโลกที่ขั้วโลกเหนือแล้วมองลงตรงขั้วโลกเหนือเราจะเห็นโลกหมุนไปทางทิศทวนเข็มนาฬิกา แต่ถ้าเราไปมองตรงขั้วโลกใต้เราจะเห็นโลกหมุนไปทางทิศตามเข็มนาฬิกา ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากทิศของการสังเกตการหมุนของโลกเปลี่ยนไปโดยเปลี่ยนจากซ้ายมือไปขวามือ และจากขวามือไปซ้ายมือเสมือนกับการมองภาพในกระจกเงา โลกหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วที่เส้นศูนย์สูตรประมาณ 1,600 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การพิสูจน์ว่าโลกหมุนรอบตัวเองนั้น ได้มีการออกแบบการทดลองแสดงให้เห็นว่ากฎต่าง ๆ ของนิวตันเป็นจริงเมื่อโลกหมุนรอบตัวเอง (ไพเสริฐ ธรรมมานุธรรม. 2547: 2-3)

จากการที่โลกหมุนรอบแกนสมมติที่ผ่านขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ แกนสมมตินี้จะชี้ไปยังจุดค่อนข้างจะคงที่บนท้องฟ้าโดยในปัจจุบันแกนที่ผ่านขั้วโลกเหนือชี้ไปยังจุดซึ่งดาวเหนืออยู่ใกล้ ๆ ทิศทางที่โลกหมุน คือ จากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก กล่าวคือ หมุนจากทางประเทศพม่ามาทางประเทศไทย การหมุนของโลกจึงทำให้เกิดทิศโลกหมุนจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก เพราะฉะนั้นทิศจึงติดไปกับโลกตลอดเวลา การหมุนรอบตัวเองของโลกนอกจากจะทำให้เกิดทิศแล้วยังทำให้เกิดการขึ้น-ตกของดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ ตลอดทั้งดวงดาวทั้งหลายบนท้องฟ้าด้วย

การหมุนรอบตัวเองของโลก 1 รอบ หมายถึง 1 วันบนโลก จะกินเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง แต่การหมุนครบ 1 รอบของโลกนั้น ถ้าใช้จุดอ้างอิงในการครบ 1 รอบต่างกันก็จะให้ผลของเวลาที่แตกต่างกันด้วย จึงแบ่งวันบนโลกออกเป็น 2 แบบ คือ

(1) วันดาราคติ (Sidereal day) หรือวันทางดาราคติ จะใช้ช่วงเวลาที่ดาวฤกษ์บนท้องฟ้าหรือจุดวสันตวิษุวัตเคลื่อนที่ผ่านจุดเมริเดียนของผู้สังเกต 2 ครั้งซึ่งจะกินเวลานาน 23 ชั่วโมง 56 นาที 4.09 วินาที

(2) วันสุริยคติ (Solar day) หรือวันทางสุริยคติ จะเป็นการใช้ดวงอาทิตย์เป็นจุดอ้างอิงในการหมุนครบ 1 รอบ หรือให้ดวงอาทิตย์ผ่านจุดเมริเดียนของผู้สังเกต 2 ครั้ง จะเห็นว่าเมื่อโลกหมุนรอบตัวเอง 1 รอบตามเวลา Sidereal day แล้วแต่ดวงอาทิตย์ยังไม่ผ่านจุดเมริเดียน เนื่องจากโลกมีการโคจรรอบดวงอาทิตย์ด้วยทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกอีก 1 องศาโดยประมาณ (1 รอบดวงอาทิตย์กินเวลา 365 วัน หรือ 360 องศา ทำให้ 1 วันมีค่าเท่ากับ 1 องศาโดยประมาณ) ทำให้โลกต้องใช้เวลาหมุนรอบตัวเองเพิ่มขึ้นอีก 4 นาที เพื่อให้ดวงอาทิตย์ผ่านจุดเมริเดียนอีกครั้ง ทำให้เวลาทางสุริยคติมากกว่าทางดาราคติ 4 นาที

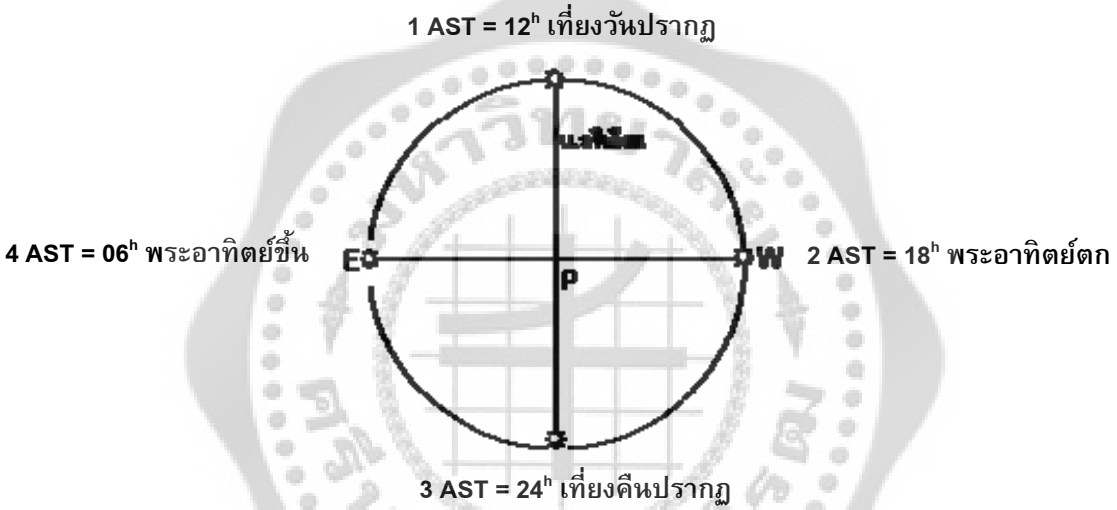
โดยทั่วไปการบอกเวลา 1 วันบนโลกมักจะใช้วันทางสุริยคติเพราะจะอ้างอิงกับดวงอาทิตย์ จึงแบ่ง 1 วันออกเป็น 24 ชั่วโมง โดยประมาณและแบ่งเป็นครึ่งกลางวัน 12 ชั่วโมงและครึ่งกลางคืนอีก 12 ชั่วโมง (วิจิตร ฤทธิธรรม. 2547: 2-3)

เมื่อโลกหมุนรอบตัวเองจะเห็นดวงดาวและดวงอาทิตย์ขึ้น-ตก ซึ่งเมื่อดวงอาทิตย์หรือดวงดาวกลับมาอยู่ตำแหน่งเดิม ทำให้ทราบว่าโลกได้หมุนรอบตัวเองครบ 1 รอบ หรือ 1 วัน แต่ละประเทศต่าง ๆ จะไม่เห็นดวงดาวหรือดวงอาทิตย์พร้อมกันเพราะโลกมีการหมุนรอบตัวเอง ดังนั้นการกำหนดเวลาเทียบกับดวงอาทิตย์จึงไม่ตรงกัน จึงได้มีการสมมติเส้นที่ใช้เปรียบเทียบเวลาระหว่างประเทศต่าง ๆ โดยเส้นสมมติดังกล่าวเรียกว่า ลองจิจูด ซึ่งเป็นเส้นตั้งฉากกับเส้นศูนย์สูตรโลกและตัดกันที่ขั้วโลก เส้นลองจิจูดจะวัดเป็นมุมโดยให้ลองจิจูด 0 องศาผ่านประเทศอังกฤษหรือลองจิจูดของกรีนิช ดังนั้นประเทศที่อยู่ทางทิศตะวันออกของอังกฤษอยู่บนเส้นลองจิจูดตะวันออก ตั้งแต่ 0 องศา ถึง 180 องศาตะวันออก ประเทศที่อยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศอังกฤษ อยู่บนเส้นลองจิจูด 0 องศา ถึง 180 องศาตะวันตก (วิจิตร ฤทธิธรรม. 24547: 8)

2.3.2 เวลาดาราคติ (Sedereal time) เป็นระบบเวลาที่ใช้จุดคงที่ที่อยู่บนท้องฟ้า เช่น จุดวสันตวิษุวัตซึ่งเกิดจากระนาบเส้นศูนย์สูตรฟ้าตัดกับระนาบเส้นสุริยวิถี ปัจจุบันนี้จุดวสันตวิษวัตอยู่ในกลุ่มดาวราศีมีน) เป็นตัวบอกเวลา โดยตำแหน่งของจุดวสันตวิษุวัตแทนเข็มสั้นของนาฬิกาบอกเวลา ซึ่งจุดนี้เปรียบเสมือนกับดาวฤกษ์แต่เป็นดาวฤกษ์ที่มองไม่เห็น มันจะเคลื่อนที่บนท้องฟ้าครบหนึ่งรอบใช้เวลา 24 ชั่วโมง ประโยชน์ของเวลาดาราคติ คือ เราสามารถหาตำแหน่งของเทห์ฟ้าต่าง ๆ ได้ว่าอยู่ที่ใดบนท้องฟ้า ถ้าหากเรารู้ว่าขณะนั้นเวลาดาราคติเป็นเวลาเท่าใดและพิกัดของเทห์ฟ้านั้น

2.3.3 เวลาสุริยคติปรากฏหรือนาฬิกาแดด

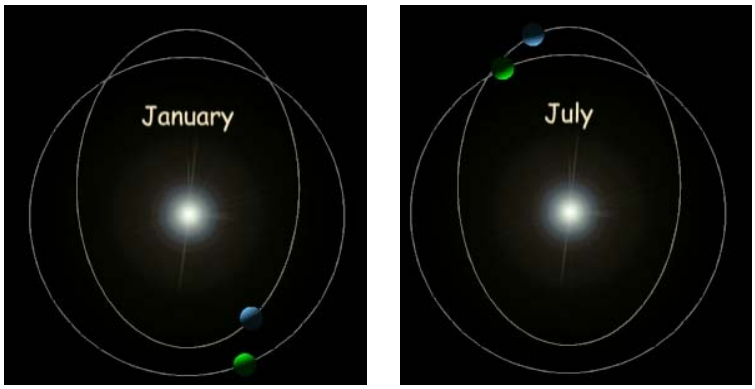
เวลาสุริยคติปรากฏ (apparent solar time) เป็นระบบเวลาที่ใช้ดวงอาทิตย์จริง (true sun หรือดวงอาทิตย์ที่เรามองเห็นบนท้องฟ้า) เป็นตัวกำหนดเวลา โดยตำแหน่งของดวงอาทิตย์เป็นเข็มสั้นของนาฬิกา เวลาชนิดนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า นาฬิกาแดด ถ้าดวงอาทิตย์ปรากฏบนเส้นเมอริเดียนส่วนบนเวลานาฬิกาแดดคือเที่ยงวันปรากฏ (apparent noon : ที่มีคำว่าปรากฏ เนื่องจากให้มีความแตกต่างจากนาฬิกาบ้านและเวลาชนิดนี้ใช้ดวงอาทิตย์จริงเป็นตัวกำหนด) และถ้าดวงอาทิตย์ปรากฏบนเส้นเมอริเดียนส่วนล่างเวลาขณะนั้นคือเที่ยงคืนปรากฏ (apparent midnight) ดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 แสดงเวลาสุริยคติ (เวลาของนาฬิกาแดด) ของดวงอาทิตย์จริง ณ วันที่ 21 มีนาคม

ที่มา: http://www.cis.psu.ac.th/fathoni/lesson/falakweb/ch5_4.html

จากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรีเล็กน้อยโดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสจุดหนึ่งของรูปวงรีตำแหน่งที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด เรียกว่า เพริฮีเลียน (perihelion) โดยอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทาง 1.47×10^{8} กิโลเมตร และตำแหน่งที่โลกอยู่ไกลจากดวงอาทิตย์มากที่สุด เรียกว่า แอฟีเลียน (aphelion) โดยอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทาง 1.52×10^{8} กิโลเมตร เมื่อโลกโคจรเข้าใกล้ตำแหน่งเพริฮีเลียน ความเร็วของโลกในวงโคจรจะเพิ่มมากขึ้นจนกระทั่งความเร็วของโลกมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งเพริฮีเลียน หลังจากนั้นความเร็วของโลกจะช้าลงจนกระทั่งโลกมาอยู่ที่ตำแหน่งแอฟีเลียนความเร็วของโลกช้าที่สุด จากสาเหตุนี้เมื่อสังเกตดวงอาทิตย์จากโลกทำให้ช่วงระยะเวลาหนึ่งวันของนาฬิกาแดดยาวไม่เท่ากัน ดังภาพประกอบ 14

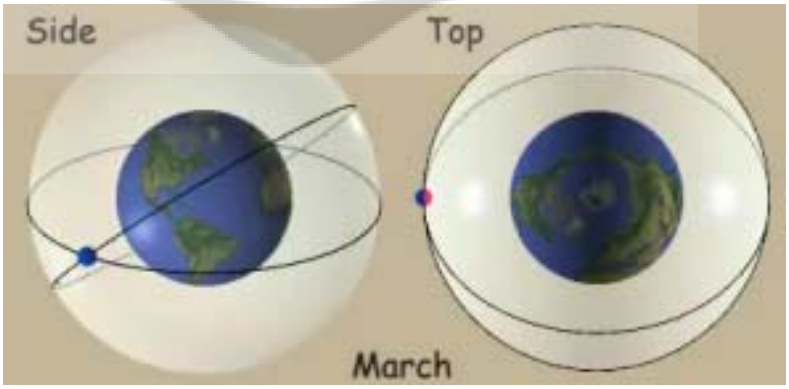


(ก) (ข)

ภาพประกอบ 14 (ก) แสดงตำแหน่งที่โลกมีอัตราเร็วในการโคจรมากที่สุด (ข) แสดงตำแหน่งที่โลกมีอัตราเร็วในการโคจรน้อยที่สุด

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

อีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ไปตามสุริยวิถี ในวันที่ 21 มีนาคม ดวงอาทิตย์ปรากฏที่จุดวสันตวิษุวัตหลังจากวันที่ 21 มีนาคม ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ชี้ไปทางทิศเหนือจนถึงวันที่ 22 มิถุนายน ดวงอาทิตย์ปรากฏที่จุดครีษมายัน ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ชี้ไปทางทิศตะวันออกหลังจากนั้นทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ชี้ไปทางทิศใต้จนถึงวันที่ 22 ธันวาคม ดวงอาทิตย์ปรากฏที่จุดเหมายัน ทิศทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ทางทิศเหนือและทิศใต้หักล้างกันหมดเหลือแต่ทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเท่านั้น จากสาเหตุทั้งสองประการนี้จึงทำให้ช่วงระยะเวลาหนึ่งวันของนาฬิกาแดดยาวไม่เท่ากันตลอดปี (ไพเสริฐ ธรรมมานุธรรม. 2547: 43-44) ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 แสดงเส้นสุริยวิถีและจุดวสันตวิษุวัตในเดือนมีนาคม

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

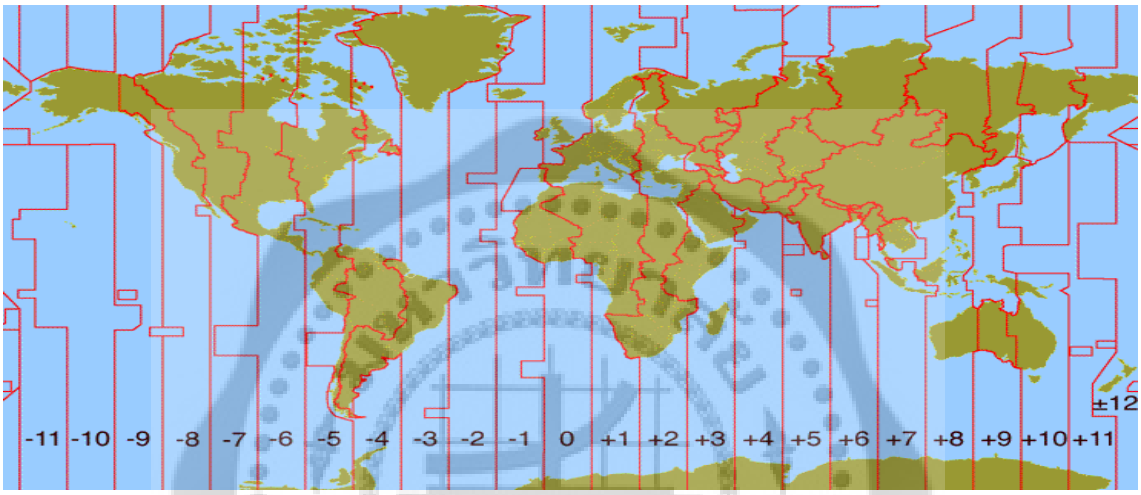
2.3.4 การหมุนควง (Precession) และการส่าย (Nutaion) ของแกนหมุนรอบตัวของโลก

การที่โลกหมุนรอบตัวเอง (rotation) และโคจรรอบดวงอาทิตย์บนทางโคจร (revolution) ด้วยแกนหมุนรอบตัวเองนั้น โดยปกติจะเปลี่ยนทิศทางไปทีละเล็กละน้อยเทียบกับห้วงอวกาศ ดังนั้นวิถีศูนย์สูตรซึ่งเป็นระนาบที่ตั้งฉากกับแกนหมุนรอบตัวเองและเป็นระนาบที่สำคัญยิ่งสำหรับวัดตำแหน่งดาวนั้นก็จะเปลี่ยนแปลงด้วย ขณะที่การส่ายของสุริยวิถีเกิดจากการรบกวนของดาวเคราะห์ต่าง ๆ นั้นแต่การเปลี่ยนแปลงของวิถีศูนย์สูตรนั้นมีสาเหตุที่แตกต่างโดยสิ้นเชิง แกนหมุนรอบตัวเองของโลกมีการส่ายเปรียบเสมือนกับลูกข่างที่หมุนเอียงอยู่เล็กน้อยจะมีการส่ายอยู่ สาเหตุก็คือโลกมีรูปร่างที่ไม่ใช่กลมเลยทีเดียวแต่มีลักษณะใกล้เคียงวัตถุทรงรีแป้นหมุนรอบตัวเอง ดังนั้นดวงจันทร์และดวงอาทิตย์จึงส่งแรงมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางของแกนหมุนรอบตัวเอง (พีรพัฒน์ ศิริสมบูรณ์ลาภ. 2533: 59)

ซึ่งทำให้แกนหมุนรอบตัวของโลกไม่ได้ชี้ไปในทิศทางที่คงที่ในอวกาศแต่ส่ายกวาดไปเป็นรูปกรวยซึ่งฐานมีรัศมี 23 องศาครบรอบในเวลา 25,725 ปี ปรากฏการณ์นี้เป็นไปตามหลักของไจโรสโคป หรือ ลูกข่างส่ายแกนหมุน และเป็นเพราะความแป้นของโลก แรงดึงดูดของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์ที่กระทำกับโลกซึ่งสัญฐานแตกต่างจากทรงกลมนั้น มีผลทำให้เกิดแรงคู่ควบที่พยายามดึงระนาบศูนย์สูตรของโลกเข้าหาเส้นตรงซึ่งลากจากจุดศูนย์กลางของโลกกับดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ โลกมีปฏิกิริยาตอบต่อแรงคู่ควบนี้เช่นเดียวกับลูกข่างซึ่งกำลังหมุนอยู่เอียงแกนถูกแรงคู่ควบจากแรงดึงดูดของโลกพยายามทำให้ล้ม คือแกนหมุนจะเคลื่อนที่ตั้งฉากกับแรงที่มากระทำผลก็คือ การส่ายกวาดไปรอบนี้เมื่อทิศทางของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์เปลี่ยนแปลงไป แรงคู่ควบรวมที่กระทำต่อโลกก็เปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย ดังนั้นการส่ายก็จะไม่เรียบมีการเปลี่ยนแปลงค่าเป็นรอบ ๆ เข้าร่วมด้วยเรียกว่า การส่าย (nutation) (วิจิตร ฤทธิธรรม. 24547: 7)

2.4 เวลามาตรฐาน (Standard Time)

การกำหนดเวลามาตรฐานประจำถิ่นได้เริ่มมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 เพื่อขจัดความสับสน เนื่องจากการจับเวลาแสงอาทิตย์ ซึ่งได้มีการใช้เวลามาตรฐานครั้งแรกในประเทศอังกฤษ โดยทั้งประเทศใช้เวลามาตรฐานที่เมืองกรีนิช (Greenwich) ต่อมา เซอร์ แซนฟอร์ด เฟรมมิง นักวางแผนและวิศวกรรมรถไฟชาวแคนาดา ได้เป็นผู้ริเริ่มความคิดที่มีการใช้เวลามาตรฐานไปทั่วโลก ดังภาพประกอบ 16



ภาพประกอบ 16 แสดงเวลามาตรฐาน (Standard Time)

ที่มา: http://www.physicalgeography.net/fundamentals/2c.html

การใช้เวลามาตรฐาน (อังกฤษ) ของแต่ละประเทศ โดยเทียบกับพิกัดเวลามาตรฐานโลก (Universal Time Coordinated หรือ UTC) นั้นใช้กฎพื้นฐานที่ได้จากการประชุมนานาชาติ International Prime Meridian Conference ณ กรุงวอชิงตัน ดีซี เมื่อวันที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2447 โดยมี 25 ประเทศเข้าร่วมประชุม โดยที่ประชุมได้มีข้อตกลงให้แบ่งโลกตามแนวเส้นลองจิจูด ออกเป็น 24 โซนเท่า ๆ กัน แต่ละโซนมีค่า 15 องศา ทั้งในทางทิศตะวันออกและตะวันตก และมีค่าเท่ากับ 1 ชั่วโมงห่างจากโซนที่ติดกันและเส้น 0 องศา จะผ่านที่เมืองกรีนิช ประเทศอังกฤษ โดยมีเส้นวันที่สากล (International Date Line) อยู่ที่ 180 องศาทั้งนี้ประเทศต่าง ๆ ได้รับเอาแนวคิดนี้โดยใช้เส้นลองจิจูดที่แบ่งประเทศออกเป็นสองส่วนเป็นตัวกำหนดเวลาว่าเวลามาตรฐานประจำถิ่นเร็วกว่าหรือช้ากว่าเวลามาตรฐานโลก ที่เมืองกรีนิช ประเทศอังกฤษเท่าไร แต่อย่างไรก็ดีก็มีการกำหนดเวลาท้องถิ่นและเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของประเทศต่าง ๆ ทั้งนี้สิทธิการกำหนดเวลามาตรฐานประจำถิ่นยังเป็นของประเทศนั้นอยู่

2.4.1 **การประกาศใช้เวลามาตรฐานของประเทศไทย**

สำหรับประเทศไทยนั้นกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ เป็นผู้ควบคุมเวลามาตรฐานของประเทศไทยและการเปลี่ยนแปลงแก้ไขเวลาให้เที่ยงตรงในแต่ละปีก็จะมีการประสานงานกับสถาบันนานาชาติเกี่ยวกับน้ำหนักและการวัด (International Bureau of Weighs and Measurement หรือ BIPM) กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ปัจจุบันประเทศไทยได้กำหนดเวลามาตรฐานของประเทศเป็น UTC +7 ชั่วโมงคือเร็วกว่าเวลาที่กรีนิช 7 ชั่วโมง (วิจตร ฤทธิธรรม. 2547: 8-9)

การประกาศใช้เวลามาตรฐานของประเทศไทยนั้น พระบาทสมเด็จพระมงกุฎเกล้าเจ้าอยู่หัวในรัฐกาลที่ 6 ได้มีพระราชโองการกำหนดเวลามาตรฐานสำหรับประเทศไทยโดยตราเป็น พระราชกฤษฎีกาให้เวลาอัตราซึ่งประกาศไว้ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 36 เมื่อวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2462 และมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2463 ให้ “เวลาอัตราสำหรับกรุงสยามทั่วพระราชอาณาจักรเป็น 7 ชั่วโมงก่อนเวลากรีนิชในเมืองอังกฤษ” (สำนักงานโครงการอุทยานวิทยาศาสตร์พระจอมเกล้า ณ หว้ากอ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์. 2533: 41-50)

2.4.2 เวลามาตรฐานของประเทศไทย

สำหรับเส้นลองจิจูดที่แบ่งตามสัดส่วนที่เท่ากันคือหารด้วย 15 ลงตัวและลากผ่านประเทศไทยจะอยู่ที่จังหวัดอุบลราชธานีซึ่งมีค่าเท่ากับ 105 องศาตะวันออก ซึ่งตามหลักสากลได้กำหนดเวลามาตรฐานของประเทศต่าง ๆ ตามเส้นลองจิจูดของแต่ละประเทศที่ลากผ่าน ดังนั้นประเทศไทยจึงได้กำหนดเวลามาตรฐานของประเทศตามเส้นลองจิจูด 105 องศาตะวันออก ทำให้ทุกจังหวัดของประเทศไทยต้องตั้งนาฬิกาตามเวลามาตรฐานเดียวกัน คือที่ 105 องศาตะวันออก หรือเร็วกว่าประเทศอังกฤษ 7 ชั่วโมง เพราะว่าเวลาของเส้นลองจิจูด 105 องศาตะวันออก จะเร็วกว่าเวลาที่ประเทศอังกฤษ เท่ากับ 105/15 หรือ 7 ชั่วโมง ตัวอย่างเช่น ถ้าเวลามาตรฐานของประเทศอังกฤษ เป็น 06:00 น. จะได้ว่าเวลามาตรฐานที่ประเทศไทยจะมีค่าเป็น 13:00 น. ดังนั้นถ้าเราทราบค่าลองจิจูดของตำบลต่าง ๆ จะสามารถเปรียบเทียบเวลาที่จะมองเห็นดวงอาทิตย์ของตำบลต่าง ๆ เหล่านั้นได้ตัวอย่างเช่นที่กรุงเทพมหานคร อยู่ที่ลองจิจูด 100.5 องศาตะวันออก และจังหวัดอุบลราชธานีอยู่ที่ลองจิจูด 105 องศาตะวันออก ทำให้เวลาที่จะมองเห็นดวงอาทิตย์ของคนจังหวัดอุบลราชธานี เร็วกว่าเวลาที่คนในกรุงเทพมหานครมองเห็น 18 นาที เพราะความแตกต่างของค่าลองจิจูดของทั้งสองตำบลต่างกันเท่ากับ 100 — 100.5 = 4.5 องศา โดยค่าลองจิจูดที่ต่างกัน 1 องศาจะทำให้เวลาต่างกัน 4 นาทีดังนั้นค่าลองจิจูดที่ต่างกันของกรุงเทพมหานครกับจังหวัดอุบลราชธานีเท่ากับ 4.5 องศานั้น ทำให้เวลาของทั้งสองตำบลต่างกันเท่ากับ 4.5×4 = 18 นาที

2.4.3 เวลาออมแสง (Daylight Saving Time)

หลายประเทศในเขตอบอุ่นหรืออยู่ในบริเวณเส้นลองจิจูดที่อยู่สูงขึ้นไปทางขั้วโลกเหนือ เช่น แคนาดา ได้กำหนดปรับเวลาในฤดูร้อนที่มีช่วงเวลาของแสงอาทิตย์ยาวนานเป็นประจำทุกปี โดยเปลี่ยนเวลาให้เร็วขึ้นประมาณ 1 ชั่วโมง และปรับกลับเป็นปกติในฤดูหนาว เช่นในสหรัฐอเมริกา จะเริ่มปรับเวลาให้เวลาให้เร็วขึ้นในวันอาทิตย์แรกของเดือนเมษายนและจะเปลี่ยนกลับในวันอาทิตย์สุดท้ายของเดือนตุลาคมของทุกปี หรือในประเทศแถบสหภาพยุโรปได้มีข้อตกลงให้ปรับเวลาให้เร็วขึ้นโดยจะเริ่มเปลี่ยนเวลาให้เร็วขึ้นในวันอาทิตย์สุดท้ายของเดือนมีนาคมและเปลี่ยนกลับในวันอาทิตย์สุดท้ายของเดือนตุลาคมของทุกปี

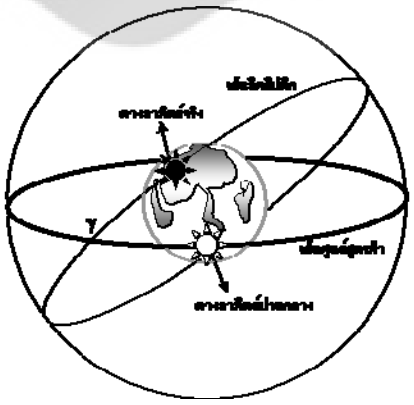
2.5 สมการเวลา

เนื่องจากการบอกเวลาในแต่ละวันนั้นจะอ้างอิงกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ แต่เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีและแกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ จึงทำให้เวลาในแต่ละวันของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่จริงตามเส้นสุริยวิถีในรอบ 1 ปี ไม่เท่ากัน ดังนั้นจึงได้สมมติดวงอาทิตย์ขึ้นมาอีก 1 ดวง โดยให้เคลื่อนที่ตามเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้าด้วยความเร็วคงที่ เมื่อนำเวลาจากดวงอาทิตย์ทั้งสองมาเปรียบเทียบกันในแต่ละวัน เวลาที่แตกต่างกันนั้นเรียกว่า สมการเวลา (Equation of time)

สมการเวลา = เวลาดวงอาทิตย์ที่ปรากฏ – เวลาดวงอาทิตย์ปานกลาง

เวลาดวงอาทิตย์ปรากฏ (local apparent time) คือ เวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จริงตามเส้นสุริยวิถีในรอบ 1 ปี

เวลาดวงอาทิตย์ปานกลาง (local mean Time) คือ เวลาที่ดวงอาทิตย์สมมติเคลื่อนที่ตามเส้นศูนย์สูตรฟ้าด้วยความเร็วคงที่ในรอบ 1 ปี ดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 แสดงดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์ปานกลาง

ที่มา: http://www.cis.psu.ac.th/fathoni/lesson/falakweb/ch5_4.html

2.5.1 สมการเวลาจากวงโคจรของโลกเป็นวงรี

เนื่องจากโลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีเล็กน้อย ทำให้อัตราเร็วของโลกที่โคจรรอบดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในรอบ 1 ปี โดยอัตราเร็วของโลกจะมากที่สุดเมื่อโลกอยู่ใกล้กับดวงอาทิตย์มากที่สุด คือ ในเดือนมกราคม และจะช้าที่สุดเมื่อโลกอยู่ไกลจากดวงอาทิตย์มากที่สุด คือ เดือนกรกฎาคม ดังนั้นจะได้ว่าในเดือนมกราคมโลกจะเคลื่อนที่เร็วกว่าอัตราเร็วเฉลี่ย และในเดือนกรกฎาคม โลกจะเคลื่อนที่ช้ากว่าอัตราเร็วเฉลี่ย ดังภาพประกอบ 18

ภาพประกอบ 18 แสดงการเคลื่อนที่ของโลกเป็นวงรีทำให้ในแต่ละตำแหน่งมีความเร็วไม่เท่ากัน

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

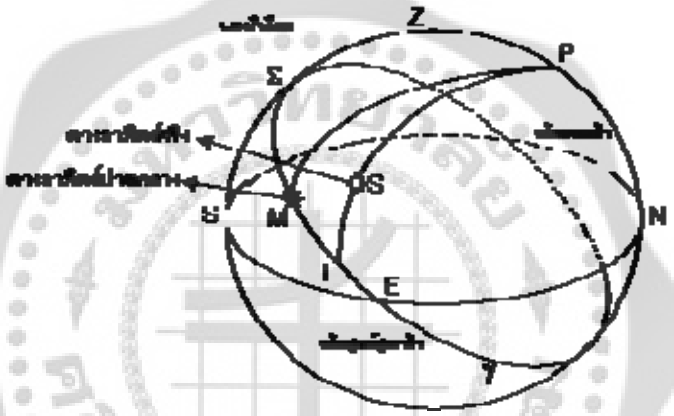
เริ่มต้นศึกษาสมการเวลาจากวงโคจรของโลกเป็นวงรี ด้วยการตั้งข้อสมมติขึ้นมา 2 ข้อ คือ

(1) แกนโลกตั้งตรง ไม่เอียงทำมุมกับแนวดิ่ง 23.5 องศา

(2) ผู้สังเกตยืนอยู่ที่เส้นศูนย์สูตร

สมมติให้โลก A เคลื่อนที่เป็นวงกลม มีอัตราเร็วในการโคจรคงที่ และโลก B เคลื่อนที่เป็นวงรี ดังนั้น ในเดือนมกราคม โลก B จะเคลื่อนที่เร็วกว่าอัตราเร็วเฉลี่ย เมื่อโลก A และโลก B หมุนรอบตัวเองครบ 24 ชั่วโมง ซึ่งเมื่อมองดูตำแหน่งของโลกทั้งสองจะเห็นว่าโลก B จะอยู่เหนือโลก A หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง เมื่อให้ผู้สังเกตยืนอยู่บนโลก A แล้วมองไปที่ดวงอาทิตย์จะเห็นว่าดวงอาทิตย์อยู่ตรงศีรษะพอดี แต่ถ้าให้ผู้สังเกตยืนอยู่บนโลก B แล้วมองไปที่ดวงอาทิตย์จะเห็นว่าดวงอาทิตย์จะไม่อยู่ตรงศีรษะพอดี เนื่องจากโลก B ยังหมุนไปไม่ถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และถ้าผู้สังเกตที่อยู่โลก B มองดูเวลาแล้วเปรียบเทียบเวลากับตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะเห็นว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะค่อนไปทางทิศตะวันออกเล็กน้อย เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมงต่อ ๆ ไป โลก B ก็ยังคงเคลื่อนที่เร็วกว่าอัตราเร็วเฉลี่ย ความคลาดเคลื่อนของเวลาจะสะสมมากขึ้นและดวงอาทิตย์จะปรากฏเลื่อนไปทางทิศตะวันออกมากขึ้น ซึ่งในขณะที่โลกเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดและความเร็วในการโคจรมากที่สุด ตามความเป็นจริงมุมระหว่างการมองไปจุดตรงศีรษะกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ประมาณ 0.03 องศา เท่านั้น ซึ่งจะทำให้โลกใช้เวลาน้อยกว่า 8 วินาที เพื่อจะหมุนให้มีระยะเชิงมุมถึงตำแหน่งศีรษะพอดี

สิ่งที่สำคัญที่สุดในกรณีนี้คือ ความแตกต่างของเวลาจะสะสมเพิ่มขึ้นทุกวัน โดยเวลาจะสะสมต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงวันที่ 2 เมษายนเพราะเป็นตำแหน่งที่อัตราเร็วของโลก A และโลก B เท่ากัน ทำให้เวลานั้นตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่สะสมและชดเชยเวลาที่เลื่อนมาทางทิศตะวันออกมีค่ามากที่สุด โดยเวลาที่แตกต่างกันระหว่างดวงอาทิตย์และนาฬิกามีค่าประมาณ 8 นาที และจากวันที่ 2 เมษายนจนกระทั่งถึงวันที่ 3 กรกฎาคม ดวงอาทิตย์จะเลื่อนกลับมาทางทิศตะวันตก ดังนั้นจากวันที่ 3 กรกฎาคมถึงวันที่ 2 ตุลาคม ดวงอาทิตย์ก็ยังคงเลื่อนมาทางทิศตะวันตกจนกระทั่งถึงตำแหน่งชดเชยเวลามากที่สุดในทางด้านทิศตะวันตก และหลังจากวันที่ 2 ตุลาคม ดวงอาทิตย์ก็จะเลื่อนกลับมาทางทิศตะวันออกจนกระทั่งถึงจุดเริ่มต้นในวันที่ 2 มกราคม ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 แสดงการเคลื่อนที่ปรากฏหรือปานกลางกับดวงอาทิตย์จริง

ที่มา: http://www.cis.psu.ac.th/fathoni/lesson/falakweb/ch5_4.html

2.5.2 การคำนวณสมการเวลาของโลกที่มีวงโคจรเป็นวงรี

ถ้าสมมติว่าตำแหน่งที่โลกอยู่ใกล้กับดวงอาทิตย์มากที่สุด หรือเรียกว่า ตำแหน่งเพริฮีเลียน (Perihelion) จะปรากฏขึ้นประมาณวันที่ 2 มกราคม ซึ่งถ้าต้องการหามุม ν ของโลกกับดวงอาทิตย์หลังจากที่โลกอยู่ที่ตำแหน่งเพริฮีเลียน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ มุม λ ของโลกกับดวงอาทิตย์ที่มีวงโคจรเป็นวงกลม

ซึ่งสามารถคำนวณหามุมนี้ได้ง่าย ๆ โดยการเฉลี่ย คือ ถ้าโลกมีวงโคจรเป็นวงกลม ค่าเฉลี่ยของมุม = 360° / 365.25 วัน จะได้ค่าเฉลี่ยมุม = 0.9856 ต่อวัน ทั้งนี้เนื่องจากโลกมีการเคลื่อนที่เร็วกว่าความเร็วเฉลี่ยในบางวันและจะเคลื่อนที่ช้ากว่าความเร็วเฉลี่ยในอีกบางวัน ดังนั้นต้องหาความแตกต่างของมุมในวันเหล่านั้นแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย

ซึ่งต่อไปนี้เป็นวิธีการสำหรับหามุมของโลกกับดวงอาทิตย์สำหรับวงโคจรเป็นวงรี โดยให้มุมเฉลี่ย = 0.9856 องศาต่อวัน และ *N* = จำนวนวัน ซึ่งเริ่มต้นนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 2 กุมภาพันธ์ = 33 วัน ดังนั้น

ให้ e คือ ความเยื้องศูนย์กลาง (eccentricity) ของวงโคจรที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 0.016713

λ คือ มุมที่ดวงอาทิตย์โคจรเป็นวงกลมในแต่ละวันในรอบ 1 ปี

ν คือ มุมที่ดวงอาทิตย์โคจรเป็นวงรีในแต่ละวันในรอบ 1 ปี

จะได้

$$\lambda = 0.9856 \times (N - 2)$$

$$\nu = \lambda + \frac{360}{\pi} e \sin\lambda$$

$$\nu = \lambda + 1.915 \sin\lambda \quad \text{(สมการนี้เป็นเพียงการประมาณ)}$$

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

ต่อมาทำการเปลี่ยนมุมให้เป็นเวลาโดยให้โลกหมุนรอบตัวเองประมาณ 361 องศาใน 24 ชั่วโมงเท่ากับ 1,440 นาที ดังนั้นโลกหมุนรอบตัวเองใช้เวลา 1,440 ÷ 361 = 3.9889 นาที/องศา

ตัวอย่างการคำนวณสมการเวลาเนื่องวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ในวันที่ 22 เมษายน

วิธีการคำนวณ *N* = จำนวนวันซึ่งเริ่มต้นนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม = 112 วัน

$\lambda = 0.9856 \times (112 - 2) = 108.41$ องศา

$\nu = \lambda + (1.915 \times \sin\lambda)$

$\nu = 108.41 + [1.915 \times \sin(108.41)]$

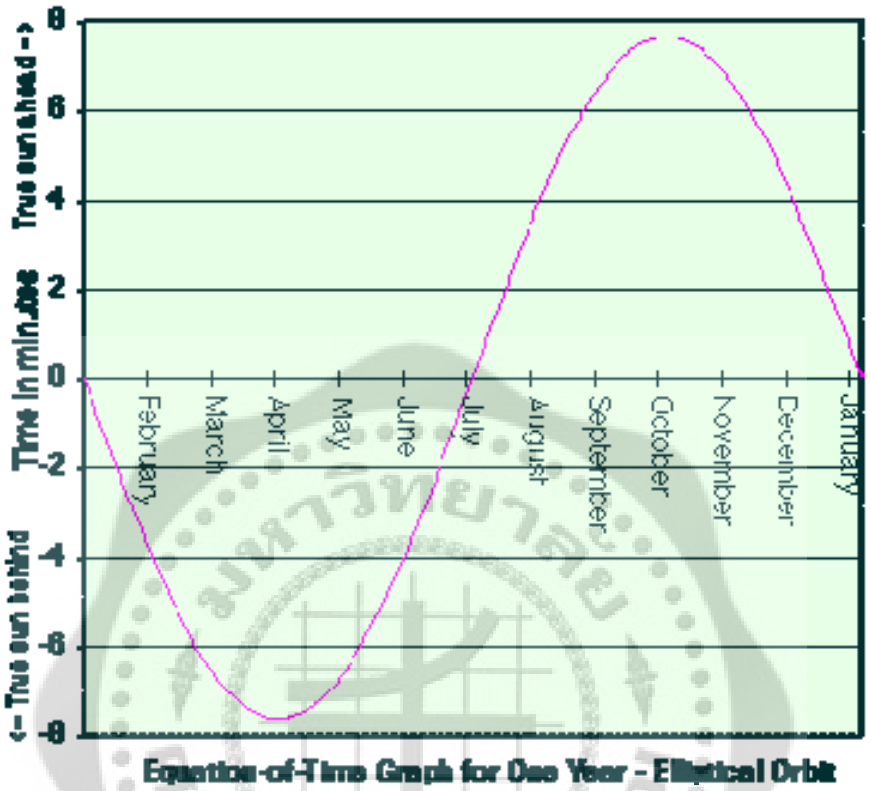
$\nu = 110.23$ องศา

$\lambda - \nu = 108.41 - 110.23 = -1.81689$ องศา

สมการเวลา = $(\lambda - \nu)$ 3.9889 = $-1.81689 \times 3.9889 = -7.25$ นาที

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

จากการคำนวณจะได้เวลาที่มีค่าไม่มาก แต่อย่าลืมว่าเวลาที่แตกต่างจะสะสมมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงจะเห็นได้ว่าในรอบ 3 เดือน ความคลาดเคลื่อนของเวลารวมกันเกือบจะถึง 8 นาที

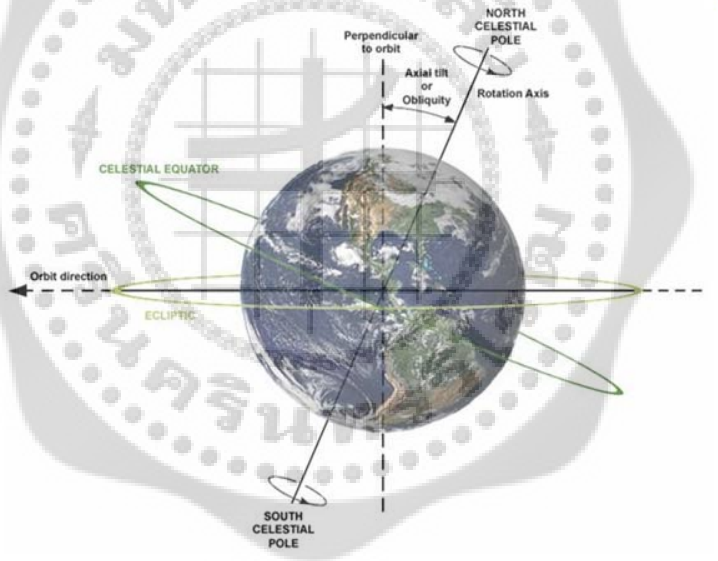


ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงสมการเวลาเนื่องจากวงโคจรของโลกเป็นวงรี

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

2.5.3 ผลของเวลาเนื่องจากแกนโลกเอียง

เมื่อสังเกตตำแหน่งของดวงอาทิตย์ทุกวันในเวลาเดียวกัน จะสังเกตเห็นได้ว่าในแต่ละวันดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนตำแหน่งไปทางทิศตะวันออกอย่างช้า ๆ และจากการตั้งข้อสมมติให้โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงกลม โดยมีความเร็วของดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์สมมติมีค่าคงที่ และเคลื่อนที่ไปตามทรงกลมท้องฟ้าครบ 1 รอบ เป็นเวลา 1 ปี โดยเริ่มสังเกตตำแหน่งของดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์สมมติจากจุดวสันตวิษุวัตซึ่งตรงกับวันที่ 21 มีนาคม และเมื่อดวงอาทิตย์ทั้งสองดวงเคลื่อนที่ไปยังจุดเหมายัน ซึ่งตรงกับวันที่ 21 มิถุนายน โดยเริ่มต้นเคลื่อนที่พร้อมกัน ผลที่เกิดขึ้นจะพบว่าดวงอาทิตย์จริงเคลื่อนที่อยู่ด้านหลังดวงอาทิตย์สมมติเล็กน้อย แต่เนื่องจากดวงอาทิตย์ทั้งคู่เคลื่อนที่บนทรงกลมท้องฟ้าด้วยอัตราเร็วเท่ากัน แต่เส้นทางการเคลื่อนที่แตกต่างกันจะทำให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์จริงจะอยู่ห่างจากเส้นลองจิจูดเดียวกันมากกว่าดวงอาทิตย์สมมติ เหมือนกันกับที่มองจากโลกซึ่งจะเห็นดวงอาทิตย์จริงเลื่อนมาทางทิศตะวันตก



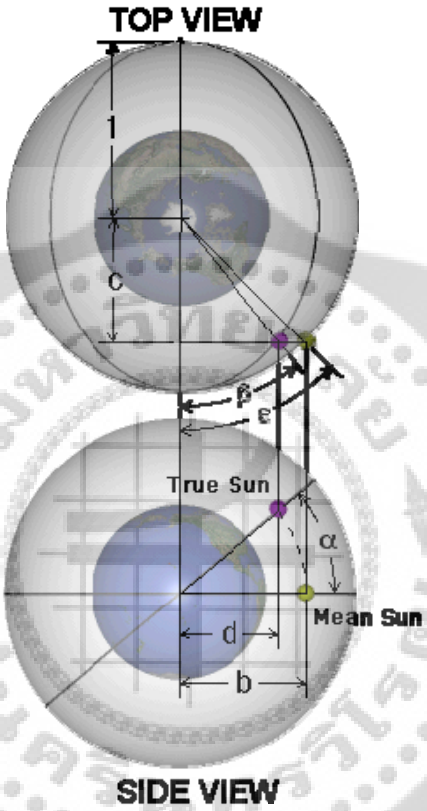
ภาพประกอบ 21 แสดงแกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์

ที่มา: http://www.bestsyndication.com/?q=20110319_supremoon_equinox_lunar_orbit.htm

ผลของการตั้งสมมติฐานพบว่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์สมมติอยู่ในแนวเส้นลองจิจูดเดียวกัน และเคลื่อนที่ไปตามแนวระดับพร้อมกัน แต่ในความเป็นจริงดวงอาทิตย์จริงจะเคลื่อนที่เร็วกว่าและดวงอาทิตย์ทั้งสองจะเคลื่อนที่เข้าใกล้เส้นลองจิจูดพร้อมกัน

2.5.4 การคำนวณสมการเวลาจากผลของแกนโลกเอียง

ในการคำนวณสมการเวลาเนื่องจากผลของแกนโลกเอียง โดยกำหนดให้ตำแหน่งของ ดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์สมมติไว้ที่ 44 วัน โดยเริ่มหลังจากที่ดวงอาทิตย์ทั้งสองผ่านจุดวสันตวิษุวัต ซึ่งตรงกับวันที่ 4 พฤษภาคม เพราะจะทำให้เข้าใจในการคำนวณได้ง่ายขึ้น โดยผู้คำนวณอาจจะกำหนดให้ตำแหน่งของดวงอาทิตย์เริ่มจากตำแหน่งใด ๆ ตามต้องการได้



ภาพประกอบ 22 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์จริงและดวงอาทิตย์สมมติโดยมองจากด้านข้าง

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

พิจารณาภาพที่มองจากด้านข้าง (side view) และกำหนดให้

α = ความเอียงของแกนโลก = 23.5 องศา

d = $b \cos \alpha$

N = จำนวนวัน โดยเริ่มต้นจาก วันที่ 1 มกราคม

ε = มุมของดวงอาทิตย์สมมติ หลังจาก $N - 80$

ε = $(360 \div 365.25) \times (N - 80) = 0.9856 \times (N - 80)$

เมื่อ $\varepsilon \geq 270$ ให้ใช้ $360 - \varepsilon$ และ $\varepsilon \geq 90$ ให้ใช้ $180 - \varepsilon$

พิจารณารูปมองจากด้านบนและด้านข้าง จะได้

$$b = \sin\varepsilon\,,\ c = \cos\varepsilon \text{ และ } d = \sin\varepsilon\cos\alpha = 0.9174\sin\varepsilon$$

ในการคำนวณหาค่ามุม β ซึ่งเป็นมุมของดวงอาทิตย์จริง จำนวน N วัน โดยเริ่มต้นในวันที่ 1 มกราคม ซึ่งสามารถคำนวณหาเวลาที่แตกต่างระหว่างดวงอาทิตย์จริงกับดวงอาทิตย์สมมติได้ จากภาพที่มองจากด้านบนจะได้ $\tan\beta = d/c$ จะได้

$$\beta = \arctan\,(0.9174\times\tan\varepsilon)$$

ตัวอย่างการคำนวณสมการเวลาเนื่องแกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ในวันที่ 22 เมษายน

วิธีการคำนวณ N = จำนวนวันซึ่งเริ่มต้นนับตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม = 112 วัน

$$\varepsilon = 0.9856 \times (112 - 80) = 31.54 \text{ องศา}$$

$$\beta = \arctan\,(0.9174 \times \tan 31.54)$$

$$\beta = 29.37 \text{ องศา}$$

เมื่อค่า $\varepsilon < 90$ จะได้ว่า

$$\varepsilon - \beta = 31.54 - 29.37 = 2.17 \text{ องศา}$$

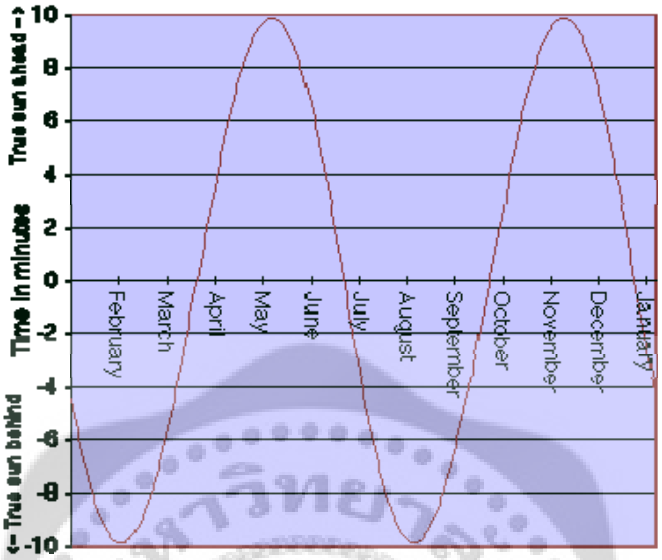
สมการเวลา = $2.17 \times 3.9889 = 8.655$ นาที

สมการเวลาเนื่องจากแกนโลกเอียง 23.5 องศาในวันที่ 22 เมษายน = 8.66 นาที

จะได้ว่าดวงอาทิตย์จริงนำหน้าดวงอาทิตย์สมมติ เนื่องจากแกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นเวลา 8.66 นาที ดังกราฟแสดงความแตกต่างของเวลาของดวงอาทิตย์จริงกับดวงอาทิตย์สมมติ

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

จากการคำนวณจะได้เวลาที่มีค่าไม่มาก แต่ว่าเวลาที่แตกต่างจะสะสมมากขึ้น ดังกราฟที่แสดงจะเห็นได้ว่าในรอบ 3 เดือน ความคลาดเคลื่อนของเวลารวมกันเกือบจะถึง 10 นาที



ภาพประกอบ 23 แสดงสมการเวลาของดวงอาทิตย์จริงกับดวงอาทิตย์สมมติเนื่องจากแกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

2.5.6 ผลรวมสมการเวลา

ผลลัพธ์ของการรวมผลที่เกิดจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีและผลจากการที่แกนโลกเอียงทำมุม 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ คือ ผลรวมของสมการเวลาหรืออนาเลมมา ซึ่งการคำนวณผลรวมสมการเวลา จะได้ค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นมุมที่ดวงอาทิตย์ทำกับระนาบของเส้นศูนย์สูตรฟ้าในรอบ 1 ปี โดยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง −23.5 องศา ถึง +23.5 องศา โดยในวันที่ 21 มิถุนายนมีค่าเป็น +23.5 องศาและในวันที่ 21 ธันวาคม มีค่าเป็น −23.5 องศา ซึ่งค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์จะเท่ากับศูนย์ในวันที่ 21 มีนาคมและในวันที่ 21 กันยายน ผลจากการที่วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีจะได้สมการเวลา คือ

$$\lambda = 0.9857 \times (N - 2)$$

$$\nu = \lambda + (1.9152 \times \sin\lambda)$$

จะได้เวลาที่แตกต่าง = $3.9889 \times (\lambda - \nu)$

ผลจากการที่แกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์

$$\varepsilon = 0.9857 \times (N - 80)$$

ถ้า $\varepsilon \geq 270$ ให้ใช้ $360 - \varepsilon$ และ $\varepsilon \geq 90$ ให้ใช้ $180 - \varepsilon$

$$\beta = \arctan(0.9174 \times \tan\varepsilon)$$

จะได้เวลาที่แตกต่าง = $3.9889 \times (\varepsilon - \beta)$

ดังนั้นผลรวมของสมการเวลา เนื่องจากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีและผลจากการที่แกนโลกเอียงทำมุม 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ คือ

สมการเวลา = สมการเวลาเนื่องจากวงโคจรโลกเป็นวงรี + สมการเวลาเนื่องจากแกนโลกเอียง

จะได้

สมการเวลา = เวลาที่แตกต่างกันทั้งหมด = $3.98892 \times [(\varepsilon - \beta) + (\lambda - \nu)]$

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

ตัวอย่างการคำนวณผลรวมของสมการเวลาเนื่องวงโคจรของโลกเป็นวงรีเล็กน้อยและแกนโลกเอียง ในวันที่ 22 เมษายน

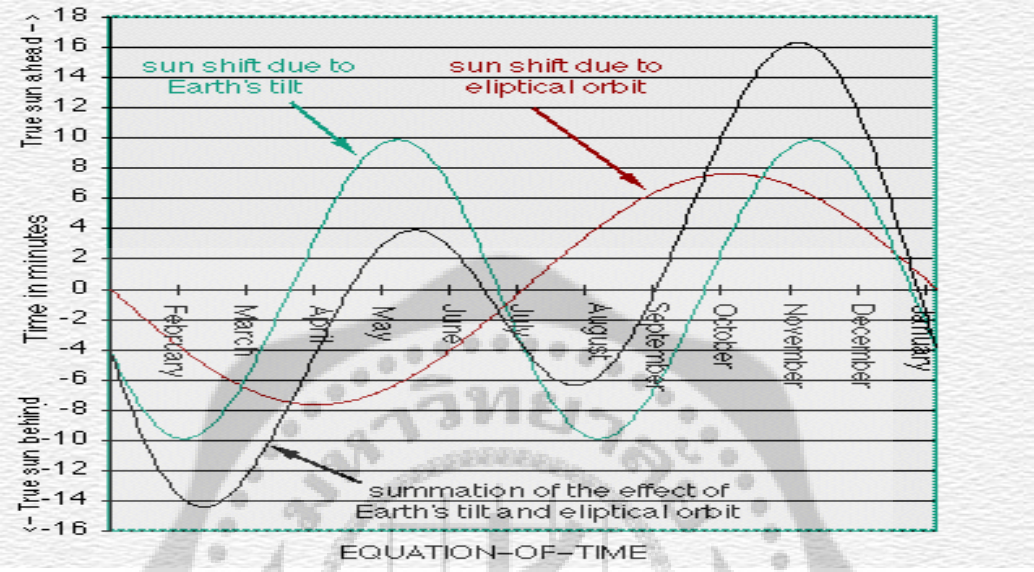
วิธีการคำนวณ จากสมการเวลาเนื่องจากวงโคจรโลกเป็นวงรี ในวันที่ 22 เมษายน เท่ากับ −7.25 นาทีและสมการเวลาเนื่องจากแกนโลกเอียง ในวันที่ 22 เมษายน เท่ากับ 8.66 นาที จะได้ว่าผลรวมของสมการเวลา เนื่องจากการที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีและผลจากการที่แกนโลกเอียงทำมุม 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ คือ

สมการเวลา = สมการเวลาเนื่องจากวงโคจรโลกเป็นวงรี + สมการเวลาเนื่องจากแกนโลกเอียง

สมการเวลา = (−7.25) + (8.66) = 1.41 นาที

จะได้ว่า เวลาของดวงอาทิตย์ปรากฏเร็วกว่าเวลาดวงอาทิตย์ปานกลาง 1 นาที 25 นาที

จากการคำนวณสมการเวลาเนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีเล็กน้อยและแกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์จะได้สมการเวลารวมดังกราฟ

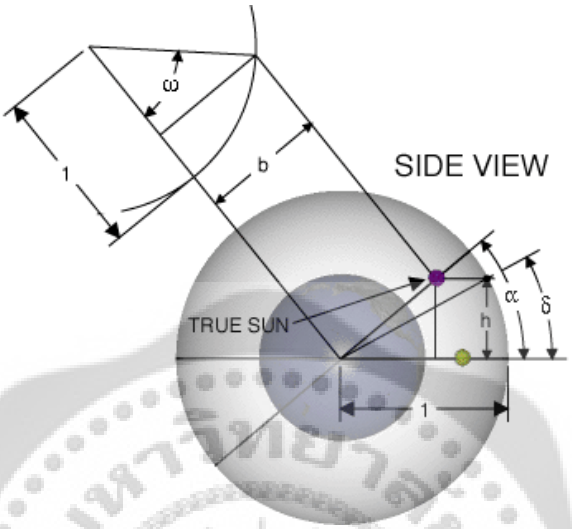


ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงผลรวมของสมการเวลา

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

2.5.7 การคำนวณหาค่าเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์

กำหนดให้มุม ω เป็นมุมที่โลกกระทำกับดวงอาทิตย์โดยให้เริ่มต้นวัดที่จุดวสันตวิษุวัตโดยที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีและมีความเร็วในการโคจรรอบดวงอาทิตย์ไม่คงที่



ภาพประกอบ 25 แสดงมุมที่โลกกระทำกับดวงอาทิตย์ซึ่งเริ่มต้นที่จุดวสันตวิษุวัตและมุมเอียงของแกนโลกสัมพันธ์กับสุริยวิถีโดยมองจากด้านข้าง

ที่มา: http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

จากมุม α คือ มุมเอียงของแกนโลกสัมพันธ์กับสุริยวิถี = 23.5 องศา

$$b = \sin\omega$$

$$h = b\sin\alpha$$

$$h = \sin\omega \sin\alpha$$

$$h = \sin\delta$$

$$\delta = \arcsin(\sin\omega \sin\alpha)$$

$$\delta = \arcsin(0.398 \times \sin\omega)$$

ตัวอย่างการคำนวณค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ในวันที่ 12 เมษายน ซึ่งเป็นวันที่ผ่านจุดวสันตวิษุวัต มาแล้ว 44 วันและเป็นวันที่ 112 ของปี (N = 112 วัน)

จากการคำนวณมุมวงโคจรโลกเป็นวงรี (ν) ทำให้ทราบค่ามุมของ ν ในวันที่ 21 มีนาคม เท่ากับ 78.75 องศา และในวันที่ 22 เมษายน ค่ามุมของ ν เท่ากับ 110.23 องศา ความแตกต่างระหว่างมุม (ω) หาได้จาก

$$\omega = 110.23 - 78.75 = 31.48 \text{ องศา}$$

จาก $\delta = \arcsin(0.398 \times \sin\omega)$

จะได้ $\delta = \arcsin(0.398 \times \sin 31.48)$

$$\delta = 12.00 \text{ องศา}$$

ดังนั้นจะได้ว่าค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ในวันที่ 22 เมษายน เท่ากับ 12.00 องศา

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1997 อาร์ เอช กรัสเตง (R.H. Garstang. 1997: 346-351) ได้ทำการศึกษาความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมหาวิทยาลัยโคโลราโด พบว่า ปัจจัยที่ทำให้นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นอ่านเวลาได้คลาดเคลื่อนจากสมการเวลามีสาเหตุมาจาก

1. การติดตั้งสันกำเนิดเงาของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีค่ามุมเงยไม่เท่ากับค่าละติจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดด ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ถ้าติดตั้งสันกำเนิดให้มีมุมเงยแตกต่างจากค่าละติจูดของตำแหน่งที่ติดตั้งนาฬิกาแดดไป ±1 องศาจะทำให้นาฬิกาแดดมีความคลาดเคลื่อนไป ± 1.7 นาที

2. การติดตั้งสันกำเนิดเงาของนาฬิกาแดดชี้ไม่ถูกต้องตรงตามมุมทิศหรือตามทิศเหนือแท้ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ถ้าติดตั้งสันกำเนิดเงาชี้ไม่ถูกต้องและตรงกับมุมทิศหรือทิศเหนือแท้ไป +1 องศา จะทำให้นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรอ่านเวลาได้คลาดเคลื่อนจากสมการเวลา มีค่าระหว่าง −3.27 นาที และ −1.2 นาที

ในปี ค.ศ. 2003 วี.พี. โอ เบรียน (V.P. O' Brien. 2003: Online) ได้ทำการศึกษาความถูกต้องแม่นยำในการบอกเวลาของนาฬิกาแดดโดย โดยพิจารณาเวลานาฬิกาแดดที่อ่านได้เทียบกับเวลามาตรฐาน โดยนำเวลานาฬิกาแดดที่อ่านได้มาลบกับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดและปรับแก้กับสมการเวลาจึงจะได้เวลาที่ตรงกับเวลามาตรฐาน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถบอกเวลาได้คลาดเคลื่อนกับเวลามาตรฐานน้อยกว่า 2 นาที เมื่อลบกับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูด และปรับแก้กับสมการเวลาในแต่ละวันที่ทำการทดลอง

ในปี ค.ศ. 2004 วิจิตร ฤทธิธรรม (Vijitr Rittitham. 2004: 36) ได้ออกแบบนาฬิกาแดดต้นแบบเพื่อนำมาทดลองเปรียบเทียบเวลานาฬิกาแดดกับนาฬิกาข้อมือพบว่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากวิธีการติดตั้งนาฬิกาแดดที่ไม่มีความละเอียดเพียงพอและเมื่อทำการติดตั้งนาฬิกาแดดให้สมบูรณ์และถูกต้องยิ่งขึ้น ผลการทดลองที่ได้มีความเที่ยงตรงมากขึ้นและสามารถสรุปได้ว่านาฬิกาแดดที่ออกแบบนี้สามารถนำมาสร้างเป็นต้นแบบนาฬิกาแดดที่มีความเที่ยงตรงใช้บอกเวลามาตรฐานท้องถิ่นได้

จากการบอกเวลาของนาฬิกาแดดทั่วไปให้ถูกต้องแม่นยำตรงกับเวลามาตรฐานประจำถิ่นนั้นค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนเนื่องจากจะต้องมีการนำเวลาจากสมการเวลาในแต่ละวันและการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดมาบวกหรือลบออกจากเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกาแดดจึงจะบอกเวลาได้ถูกต้องตรงกับเวลามาตรฐานประจำถิ่น คณะผู้วิจัยจึงได้ออกแบบ พัฒนาและประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรตามรูปแบบนาฬิกาแดดของมหาวิทยาลัยโคโลราโด โดยประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถบอกเวลาได้ถูกต้องมีความเคลื่อนไม่เกินสามนาทีเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย โดยการปรับสัญลักษณ์บนหน้าปัดนาฬิกาแดดให้สัมพันธ์กับสัญลักษณ์บนอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ในการวิจัยนี้ได้มีการพัฒนาและประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรให้เหมาะสมต่อการใช้งานและสามารถนำไปประกอบการเรียนการสอนวิชาดาราศาสตร์ที่โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร จำนวนหนึ่งแบบ พร้อมทั้งมีการพัฒนาและประดิษฐ์อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาเพื่อระบุค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรจำนวนหนึ่งแบบเพื่อช่วยปรับแก้และชดเชยความคลาดเคลื่อนของเวลานาฬิกาแดดที่ประดิษฐ์ขึ้น ให้บอกเวลาได้ถูกต้องแม่นยำตรงกับเวลามาตรฐานประเทศไทย โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที โดยไม่ต้องนำเวลาจากสมการเวลาในแต่ละวันและการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดมาบวกหรือลบออกจากเวลาที่ได้จากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรทั่วไป

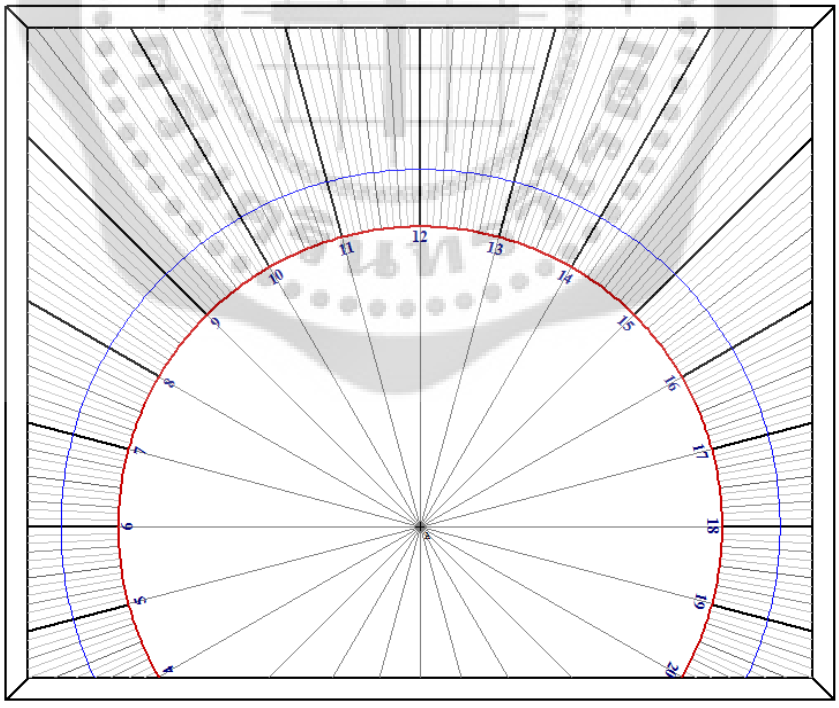
บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

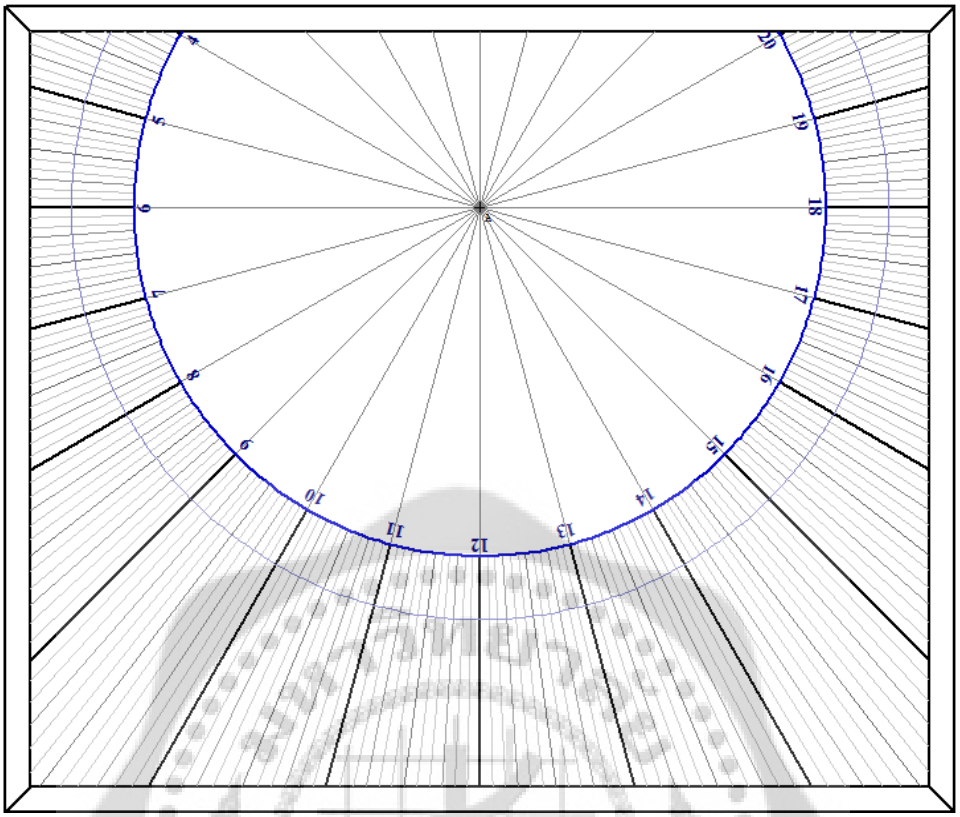
1. ศึกษาและค้นคว้าเอกสารงานวิจัย ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการประดิษฐ์และสร้างนาฬิกาแดดแบบต่าง ๆ

2. เลือกแบบนาฬิกาแดดเป็นนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร (Equatorial Sundial) ตามรูปแบบของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ตั้งอยู่ในมหาวิทยาลัยโคโลราโด ซึ่งเป็นนาฬิกาแดดที่สามารถติดตั้งและใช้งานได้กับทุก ๆ ตำแหน่งของสถานที่บนโลกและเป็นนาฬิกาแดดที่เหมาะสมกับตำแหน่งที่ตั้งของประเทศไทยมากกว่านาฬิกาแดดแบบอื่น ๆ ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้านาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรของมหาวิทยาลัยโคโลราโดพบว่าสามารถประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีความเที่ยงตรงสูงได้

3. ทดลองสร้างและออกแบบหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร ในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม Shadows pro ดังภาพประกอบ 26



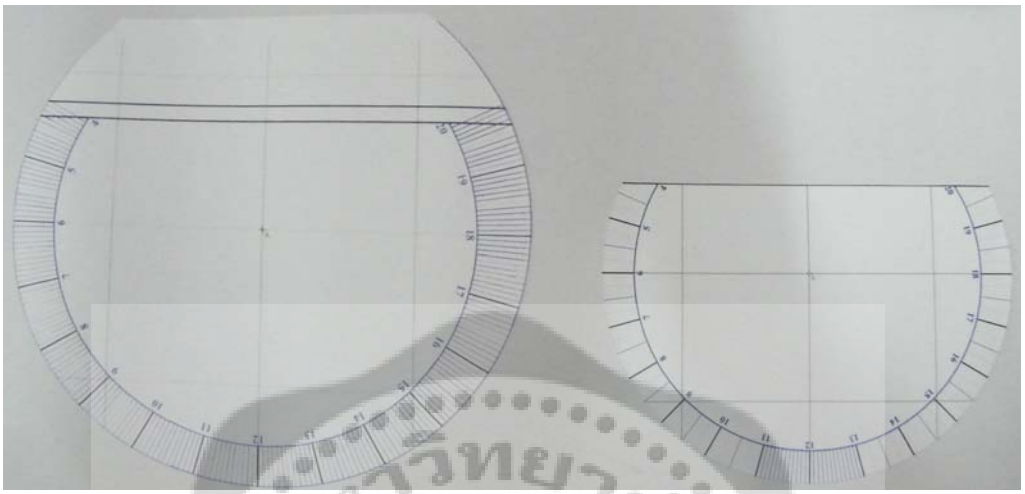
ภาพประกอบ 26 (ก)



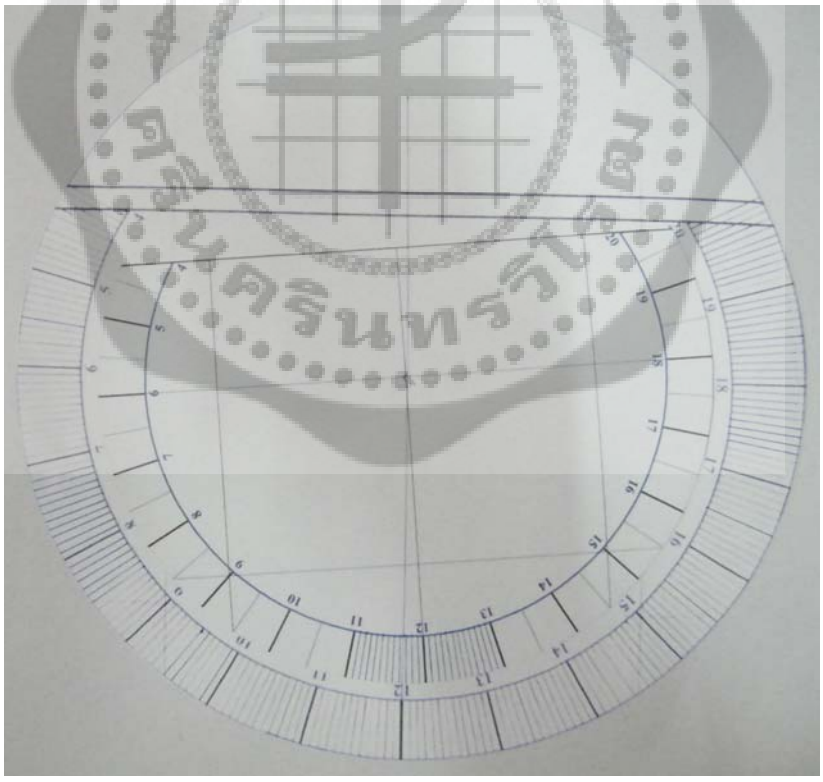
ภาพประกอบ 26 (ข)

ภาพประกอบ 26 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร โดยใช้โปรแกรม Shadows pro (ก) แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ใช้อ่านเวลาช่วงวันที่ 21 มีนาคม ถึง 21 กันยายน เนื่องจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่ทางซีกโลกเหนือ (ข) แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดที่ใช้อ่านเวลาช่วงวันที่ 22 กันยายน ถึง 20 มีนาคม ซึ่งตำแหน่งดวงอาทิตย์ปรากฏอยู่ทางซีกโลกใต้

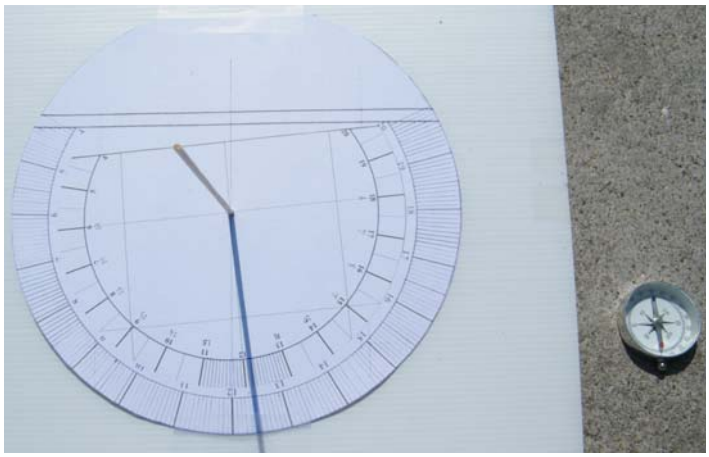
4. สร้างหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเพื่อนำไปทดลองอ่านค่าเวลาของนาฬิกาแดด



ภาพประกอบ 27 (ก)



ภาพประกอบ 27 (ข)

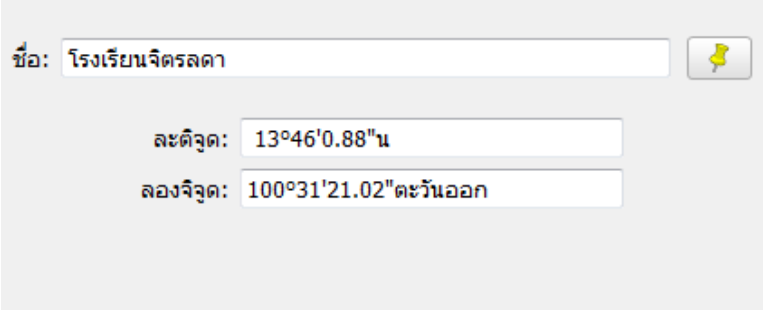


ภาพประกอบ 27 (ค)

ภาพประกอบ 27 แสดงการสร้างหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร (ก) แสดงการสร้างหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรสองขนาด (ข) แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดทั้งสองขนาดเมื่อนำมาวางซ้อนกันเพื่อใช้สำหรับหมุนปรับชดเชยเวลาเนื่องลองจิจูด (ค) แสดงการนำนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่หน้าปัดนาฬิกาแดดสามารถหมุนปรับได้ไปทดลองอ่านค่าเวลา

5. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลค่าละติจูด ค่าลองจิจูดของสถานที่หรือตำแหน่งสำหรับติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร ในการวิจัยนี้ได้เลือกสถานที่สำหรับติดตั้งนาฬิกาแดด คือ โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร วิธีการหาค่าละติจูดค่าลองจิจูดของโรงเรียนจิตรลดาจะใช้โปรแกรม Google Earth

ภาพประกอบ 28 (ก)



ภาพประกอบ 28 (ข)

ภาพประกอบ 28 แสดงสถานที่สำหรับติดตั้งและทดลองนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร (ก) แสดงที่ตั้งของโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร จากโปรแกรม Google earth (ข) แสดงค่าละติจูดและลองจิจูดของโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานครจากโปรแกรม Google earth

จากการใช้โปรแกรม Google earth สามารถทราบได้ว่าค่าละติจูดของโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เท่ากับ 13^{o} $46^{/}$ เหนือ ค่าลองจิจูดเท่ากับ 100^{o} $31^{/}$ ตะวันออก

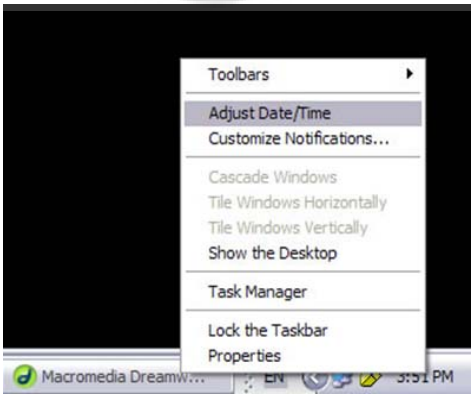
6. ปรับเทียบเวลามาตรฐานประเทศไทยผ่านทางระบบให้บริการเวลามาตรฐานทางอินเตอร์เน็ตของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

วิธีการปรับเทียบเวลามาตรฐานประเทศไทย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ

6.1 การปรับเทียบเวลามาตรฐานประเทศไทยทางโทรศัพท์ 181 บริการเทียบเวลาทางโทรศัพท์เครือข่าย ทร. 52111 หรือ ทร. 54114

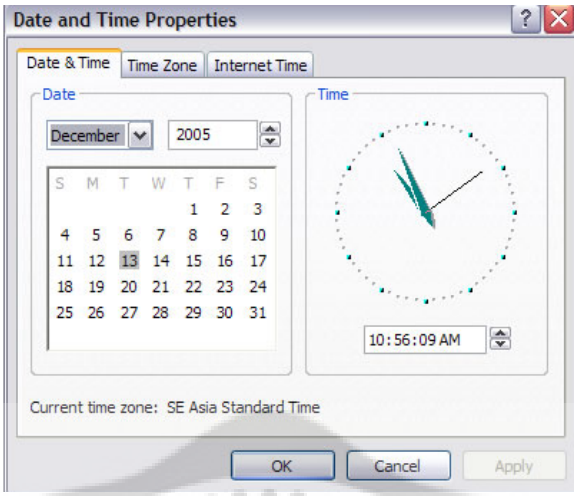
6.2 การปรับเทียบเวลามาตรฐานประเทศไทยโดยผ่านทางระบบให้บริการเวลามาตรฐานทางอินเตอร์เน็ต สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์ 2000/XP

ขั้นตอนที่ 1 คลิ๊กขวาที่ time บน status bar แล้วเลือก Adjust Date/Time



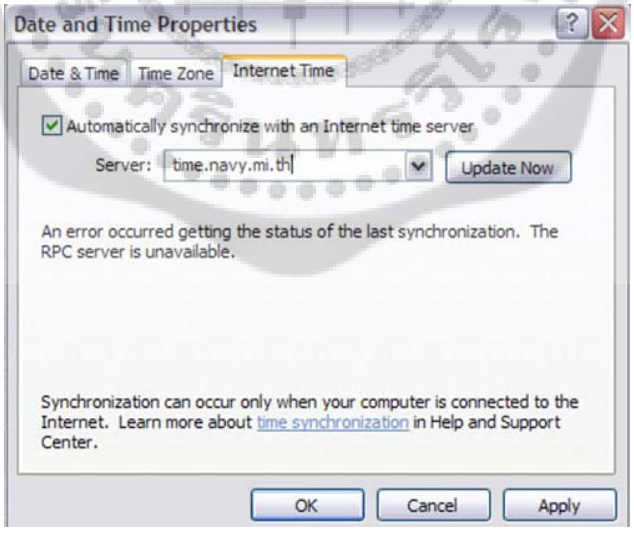
ภาพประกอบ 29 แสดง status bar

- คลิ๊กเลือก Internet Time ดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 แสดงเมนู Date and time Properties

ใส่เครื่องหมายถูกหน้า Automatically แล้วใส่หมายเลข time.navy.mi.th หรือ time2.navy.mi.th หรือ time3.navy.mi.th ในช่อง Server เสร็จแล้วคลิ๊ก Update Now จากนั้น Program จะทำการ Sync เวลาจาก Time Server ดังภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 แสดงการใส่เครื่องหมายถูกหน้า Automatically และหมายเลข time.navy.mi.th

คลิ๊ก OK เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์ 2000/XP ปรับเทียบเวลามาตรฐานประเทศไทยเสร็จสมบูรณ์ ที่มา : กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ , http://www.navy.mi.th/hydro/time/

7. ศึกษาและค้นคว้าการสร้างแนวเพื่อหาทิศเหนือแท้ (true north) จากการใช้เข็มทิศแม่เหล็กและการหาทิศเหนือแท้จากวิธีการคำนวณจากเงาของดวงอาทิตย์ (shadow plot) และใช้โปรแกรมการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนของทิศเหนือแม่เหล็ก (magnetic north) กับทิศเหนือแท้ของ National Geophysical Data Center (NGDC) สำหรับติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรโดยให้สันกำเนิดเงา (gnomon) ชี้ไปที่ตำแหน่งของดาวเหนือ (Polaris) หรือชี้ไปที่ทิศเหนือแท้ (true north) ดังภาพประกอบ 32

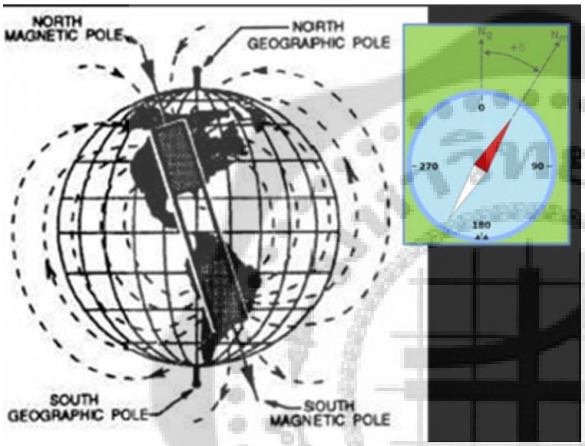
ภาพประกอบ 32 (ก)

ภาพประกอบ 32(ข)

ภาพประกอบ 32 แสดงการหาทิศเหนือแท้ (true north) (ก) แสดงการหาทิศเหนือแท้โดยการใช้เข็มทิศแม่เหล็ก (ข) แสดงการหาทิศเหนือแท้โดยวิธีการคำนวณจากเงาดวงอาทิตย์ (shadow plot)

ที่มา: http://www.yclsakhon.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539243005

จากการศึกษาทิศเหนือตามเข็มทิศแม่เหล็ก (magnetic north) เปรียบเทียบกับทิศเหนือแท้ (true north) ในประเทศไทยพบว่าจะแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากขั้วแม่เหล็กโลก ไม่ได้อยู่ตรงขั้วโลกพอดี โดยปัจจุบันขั้วแม่เหล็กโลกตั้งอยู่บนละติจูดที่ 78 องศาเหนือ และลองจิจูดที่ 69 องศาตะวันตก ดังนั้นแกนแม่เหล็กจึงเอียงจากแกนโลกมา 12 องศา ดังนั้นตำแหน่งต่างๆบนผิวโลก จึงมีค่ามุมเบี่ยงเบนของเข็มทิศต่าง ๆ กันไป โดยค่าคลาดเคลื่อนต่ำสุดคือ 0 องศา ณ ตำแหน่งใด ๆ บนเส้นลองจิจูดที่ 69 องศาตะวันตก และตำแหน่งใด ๆ บนเส้นลองจิจูดที่ 111 องศาตะวันออก ส่วนตำแหน่งที่คลาดเคลื่อนสูงที่สุดคือ 180 องศา คือตำแหน่งที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กโลกเหนือกับขั้วโลกเหนือ และระหว่างขั้วแม่เหล็กโลกใต้กับขั้วโลกใต้ ดังภาพประกอบ 33



ภาพประกอบ 33 (ก)

ภาพประกอบ 33 (ข)

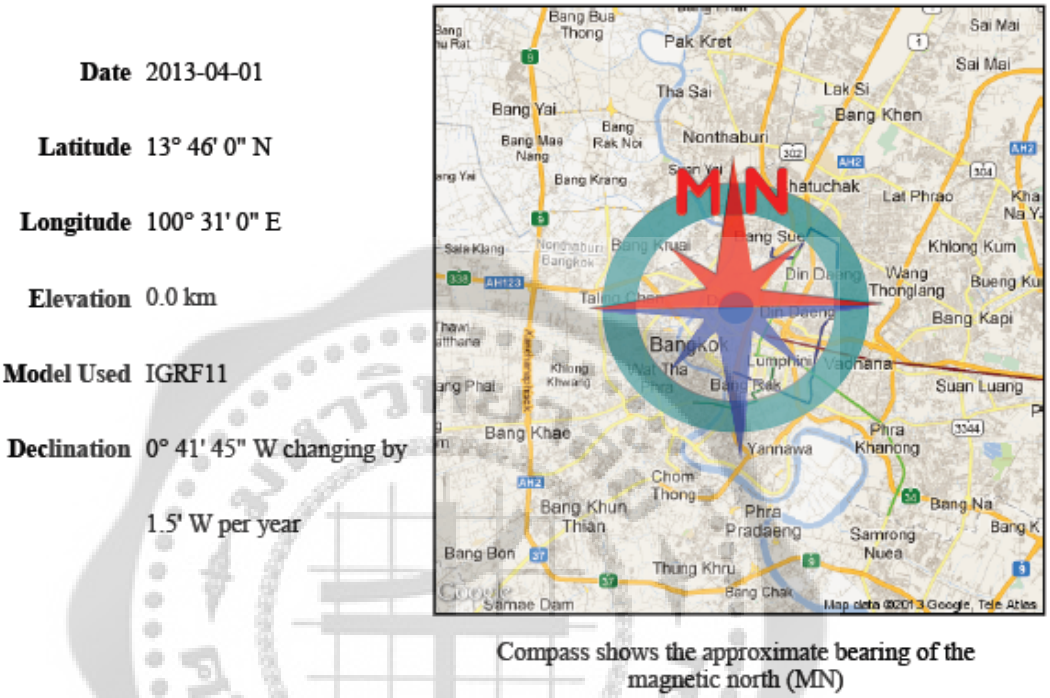
ภาพประกอบ 33 (ก) แสดงทิศเหนือแท้หรือทิศเหนือภูมิศาสตร์ (geographic north) เปรียบเทียบกับทิศเหนือของเข็มทิศแม่เหล็ก (magnetic north) (ข) แสดงการหาทิศเหนือเข็มทิศแม่เหล็กกับทิศเหนือแท้ (รูปดาว) และทิศเหนือกริด พ.ศ. 2531

ที่มา: http://www.yclsakhon.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=539243005

ที่มา: http://resgat.net/direc/direc.html

ในการใช้เข็มทิศแม่เหล็กเพื่อหาทิศเหนือแท้นั้น ผู้ใช้จะต้องทราบค่าละติจูดและค่าลองจิจูดของสถานที่นั้น ๆ เพื่อหาค่าเบี่ยงเบนของเข็มทิศแม่เหล็ก ซึ่ง โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร อยู่ที่ละติจูด $13^{o}\ 46^{/}$ เหนือ และลองจิจูดที่ $100^{o}\ 31^{/}$ ตะวันออก มีค่าเบี่ยงเบนของเข็มทิศแม่เหล็ก คือ $0^{o}41^{/}45^{//}$หรือ 0.695 องศาตะวันตก ดังนั้นทิศเหนือแท้ของโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร

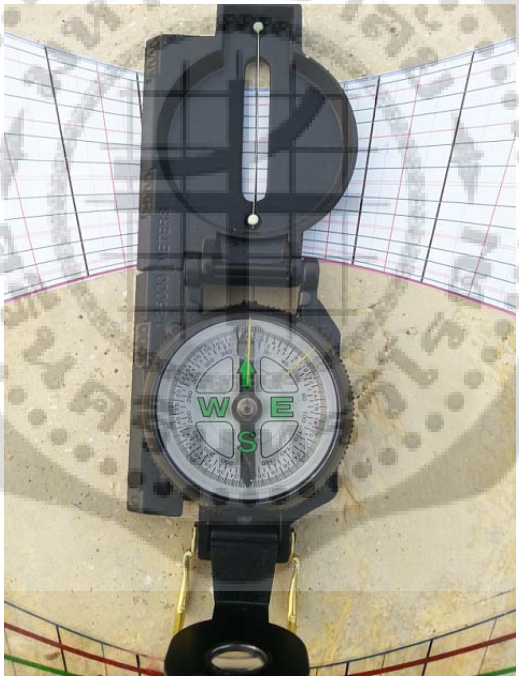
จะมีค่าประมาณ 1 องศาของเข็มทิศแม่เหล็ก โดยวัดจากปลายเข็มทิศแม่เหล็กไปตามเข็มนาฬิกา หรือวัดไปทางทิศตะวันออกก็จะเป็นทิศเหนือแท้ของโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร ดังภาพประกอบ 34



ภาพประกอบ 34 แสดงค่าเบี่ยงเบนของทิศเหนือเข็มทิศแม่เหล็ก (magnetic north) กับทิศเหนือแท้ (true north) โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556

ที่มา: http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/#declination

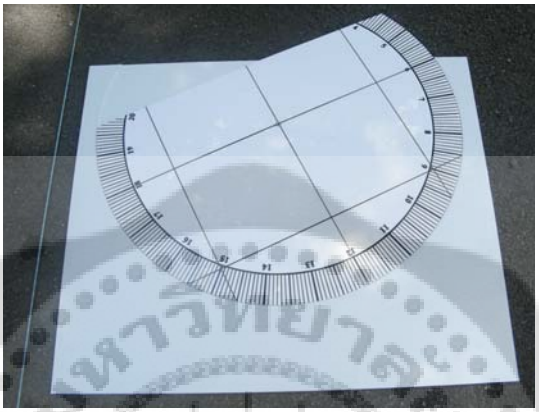
ภาพประกอบ 35 (ก)



ภาพประกอบ 35 (ข)

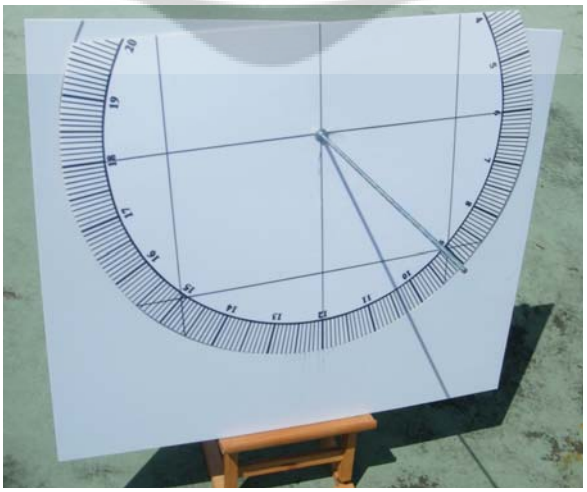
ภาพประกอบ 35 (ก) แสดงการวางแนวทิศเหนือ-ใต้ ตามเข็มทิศแม่เหล็ก (magnetic north) (ข) แสดงการใช้เข็มทิศแม่เหล็กปรับหาทิศเหนือแท้ (true north) เพื่อติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร โดยให้แนวเส้นสีเหลืองชี้ห่างจากปลายเข็มทิศแม่เหล็กไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา

8. ออกแบบหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดได้ เพื่อชดเชยเวลาเนื่องตำแหน่งของลองจิจูด และชดเชยเวลาจากสมการเวลา เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีเล็กน้อยและแกนโลกเอียง 23.5 องศาจากแนวตั้งฉากกับระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังภาพประกอบ 36

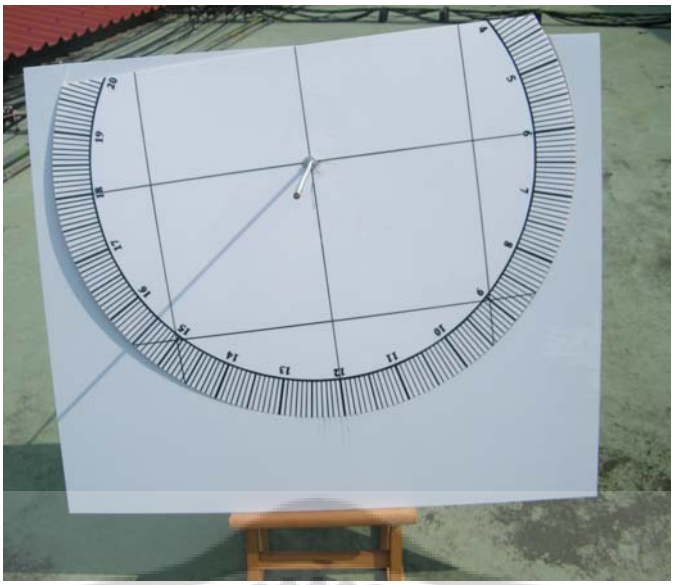


ภาพประกอบ 36 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สร้างขึ้นมาใหม่ โดยหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดได้

9. ทดลองนำนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สร้างขึ้นมาใหม่สามารถหมุนปรับหน้าปัดได้ไปติดตั้งเพื่ออ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดด ดังภาพประกอบ 37



ภาพประกอบ 37 (ก)

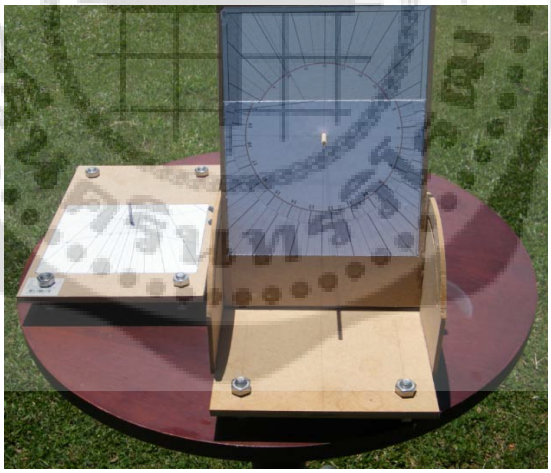


ภาพประกอบ 37 (ข)

ภาพประกอบ 37 แสดงการติดตั้งนาฬิกาแดดที่หน้าปัดสามารถหมุนปรับได้เพื่อชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูด 18 นาที (ก) แสดงเวลาจากนาฬิกาแดด วันที่ 24 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2554 โดยเวลานาฬิกาแดดอ่านได้เป็น 10:20 น. เวลามาตรฐานประเทศไทยอ่านได้เป็น 10:18 น. (ข) เวลานาฬิกาแดดอ่านได้เป็น 15:30 น. เวลามาตรฐานประเทศไทยอ่านได้เป็น 15:28 น.

10. ประดิษฐ์และออกแบบอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้ในการปรับแก้และชดเชยความคลาดเคลื่อนของเวลาที่ได้จากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้น ดังภาพประกอบ 38

ภาพประกอบ 38 (ก)

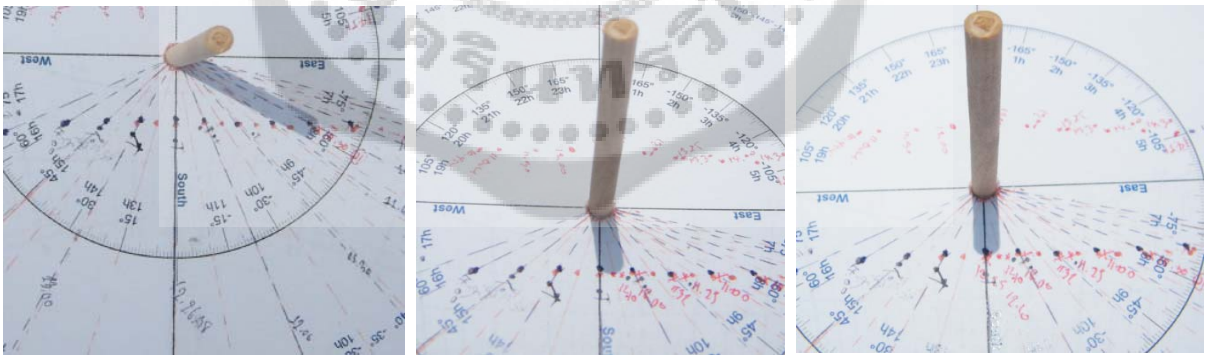


ภาพประกอบ 38 (ข)

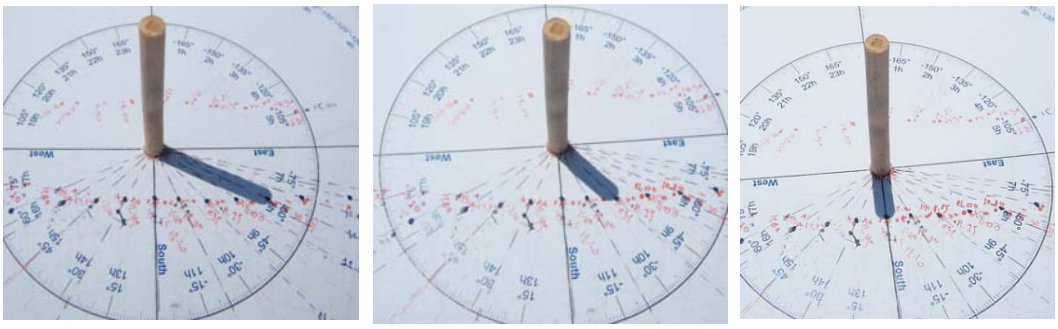
ภาพประกอบ 38 (ก) แสดงการใช้เข็มทิศวางแนวทิศเหนือแท้ (ข) แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์และนาฬิกาแดดที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นมาใหม่เพื่อปรับแก้และชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดดจากสมการเวลา โดยปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดไป 25 นาที เมื่อมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ 0 องศา

11. นำอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์และนาฬิกาแดดที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นไปทดลองวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์และอ่านเวลาจากนาฬิกาแดดเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทยโดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันและนาฬิกาแดดในแนวทิศเหนือแท้ โดยวางเข็มทิศให้ชี้ไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา เพื่อชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือจริงกับทิศเหนือแม่เหล็ก ดังภาพประกอบ 39

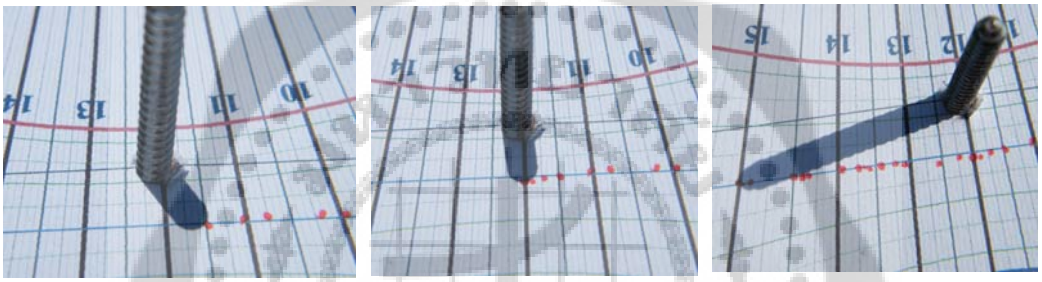
ภาพประกอบ 39 แสดงการวางแนวทิศเหนือแท้เพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชัน โดยใช้เข็มทิศเพื่อชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือจริงกับทิศเหนือแม่เหล็กไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา



ภาพประกอบ 40 แสดงการทดลองวางอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบและทำการคำนวณวันศุกร์ที่ 21 มีนาคม 2556 ซึ่งมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ 0 องศา



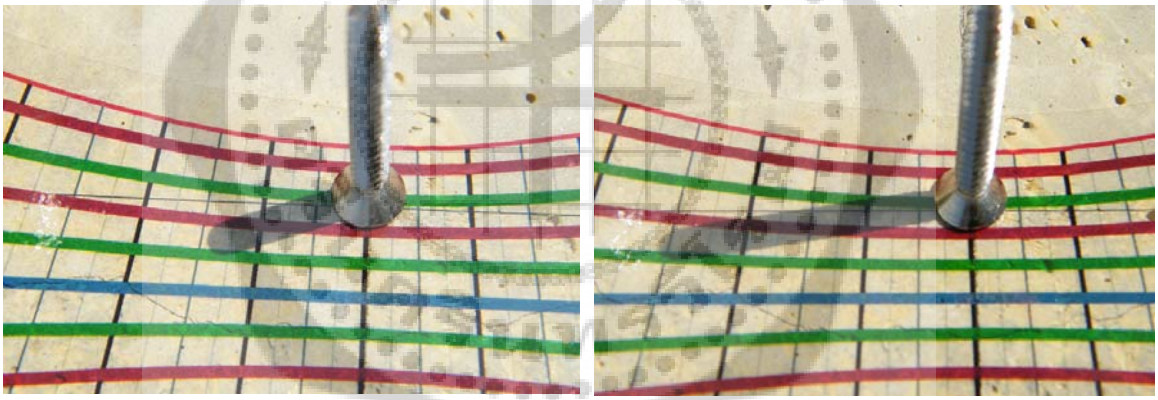
ภาพประกอบ 41 แสดงการทดลองวางอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบและการคำนวณวันศุกร์ที่ 22 มีนาคม 2556 ซึ่งมุมดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ +1องศา



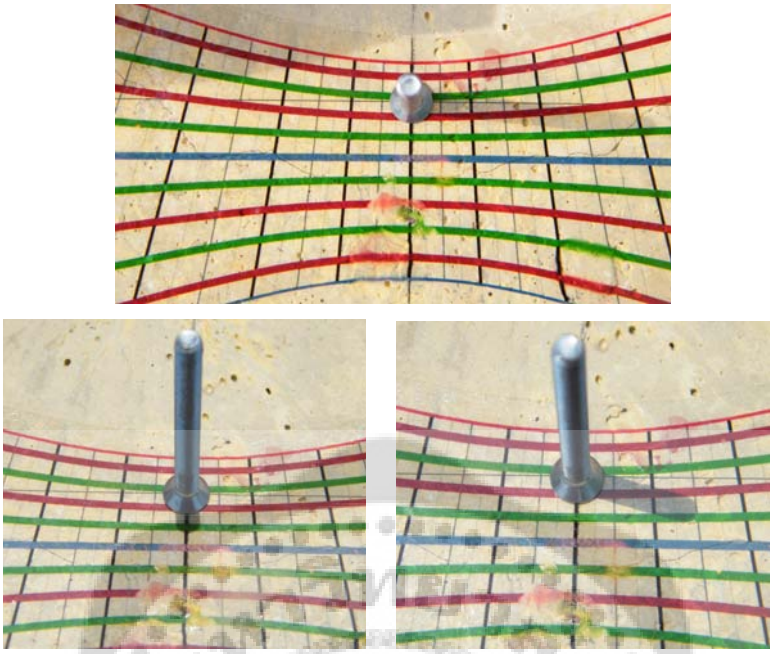
ภาพประกอบ 42 แสดงการทดลองวางอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบและการคำนวณวันเสาร์ที่ 22 มีนาคม 2556 ซึ่งมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ +1องศา

ภาพประกอบ 43 การวางแนวทิศเหนือจริงเพื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชัน โดยใช้เข็มทิศเพื่อชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือแท้กับทิศเหนือแม่เหล็กไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา

ภาพประกอบ 44 แสดงการใช้โปรแกรม GPS เพื่อวางแนวทิศเหนือจริงเทียบกับทิศเหนือแม่เหล็ก เพื่อติดตั้งอุปกรณ์วัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์และติดตั้งนาฬิกาแดดที่ชดเชยเวลาจากสมการเวลาโดยปรับหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที

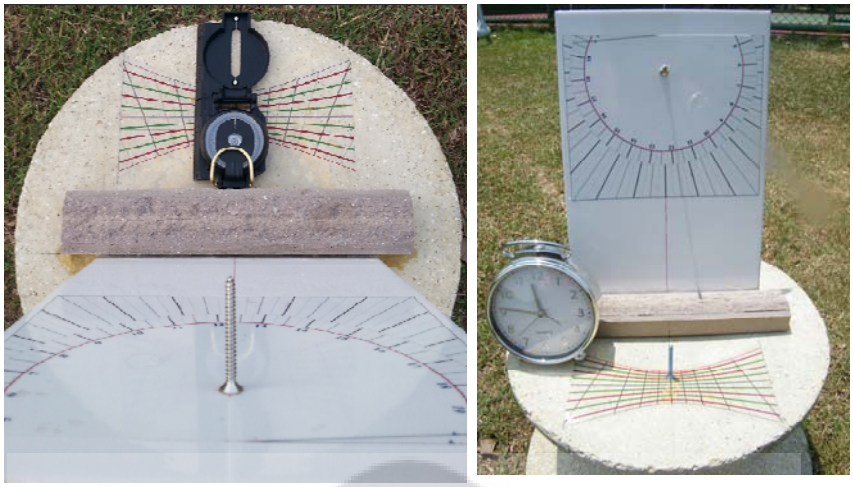


ภาพประกอบ 45 แสดงการทดลองใช้อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยเงาที่เกิดขึ้นได้ทอดลงไปในแนวเส้นเดคลิเนชันที่เท่ากับ +5 องศา วันจันทร์ที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556



ภาพประกอบ 46 แสดงการทดลองใช้อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณโดยเงาที่เกิดขึ้นได้ทอดลงไปในแนวเส้นเดคลิเนชันที่เท่ากับ +5 องศา
วันอังคารที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2556

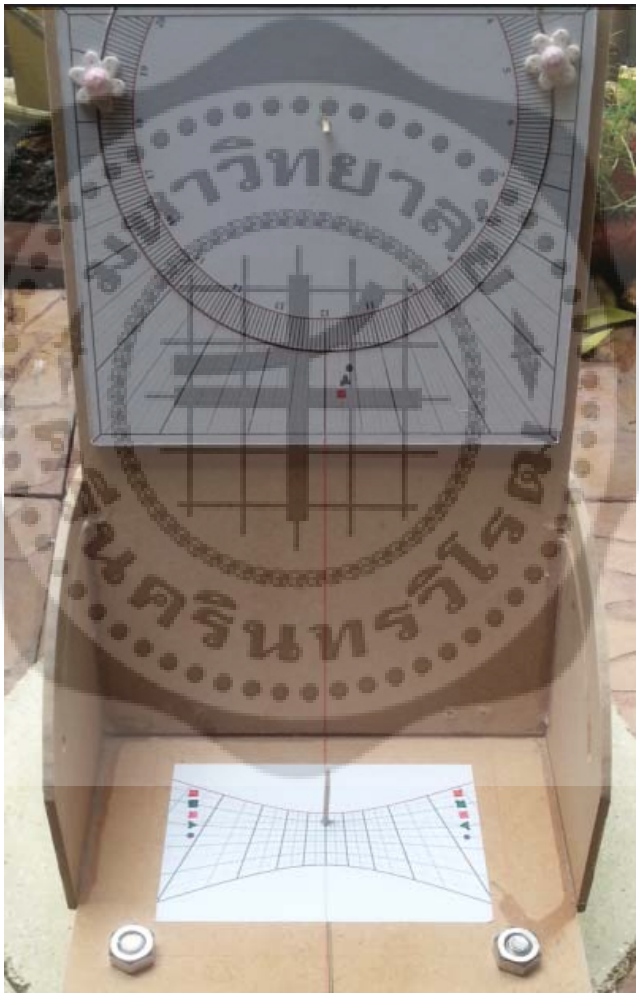
ภาพประกอบ 47 แสดงการวางนาฬิกาแดดตามแนวทิศเหนือแท้โดยชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือแท้กับทิศเหนือโดยเข็มทิศแม่เหล็กไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา
วันจันทร์ที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556



ภาพประกอบ 48 แสดงการวางนาฬิกาแดดตามแนวทิศเหนือจริง โดยชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือจริงกับทิศเหนือโดยใช้เข็มทิศแม่เหล็กไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา วันอังคารที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2556

12. ออกแบบและประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการ ให้สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ โดยแสดงเป็นแนวของเส้นโค้งในอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ โดยนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่หมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการเวลา 25 นาที จะกำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปวงกลม ให้สัมพันธ์กับเงาและค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่มีค่าเท่ากับ 0 องศาแสดงเป็นแนวเส้นตรงสีน้ำเงินตรงกึ่งกลางของอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปวงกลมด้วย แล้วออกแบบและประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการ ให้สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ โดยแสดงเป็นแนวของเส้นโค้งในอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ โดยนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่หมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการเวลา 20 นาที จะกำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยม ให้สัมพันธ์กับเงาและค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่มีค่าเท่ากับ +5 องศา โดยแสดงเป็นแนวเส้นโค้งสีเขียวแรกจากแนวกึ่งกลางของอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยมด้วย

13. ออกแบบและปรับปรุงนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการ ให้สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ โดยแสดงเป็นแนวของเส้นโค้งในอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ โดยนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่หมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการเวลา 15 นาที จะกำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมให้สัมพันธ์กับเงาและค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่มีค่าเท่ากับ +10 องศา +15 องศา และ + 20 องศา โดยแสดงเป็นแนวเส้นโค้งสีแดงที่สอง แนวเส้นโค้งสีเขียวที่สามและแนวเส้นโค้งสีแดงที่สี่จากแนวกึ่งกลางของอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยมเหมือนกัน ดังภาพประกอบ 49



ภาพประกอบ 49 (ก)

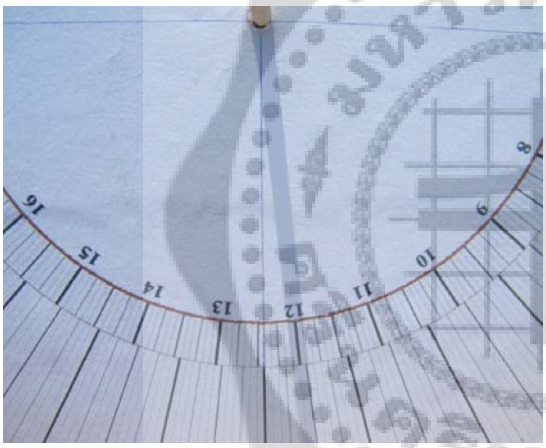
ภาพประกอบ 49 (ข)

ภาพประกอบ 49 (ก) แสดงนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดด
ตามสัญลักษณ์ที่สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นใหม่
(ข) แสดงนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรไปทดลองติดตั้งและอ่านค่าเวลานาฬิกาแดด

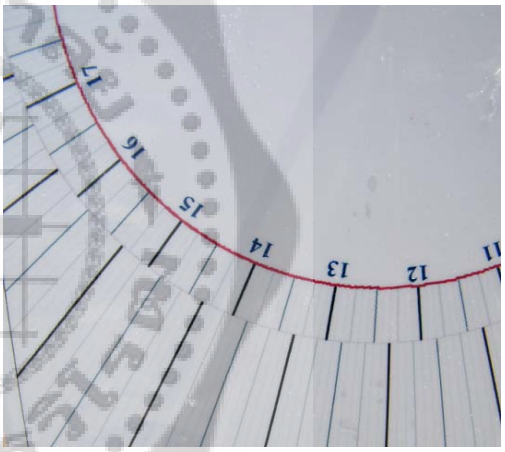
14. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงและสร้างนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาทีเมื่อมีการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตามสัญลักษณ์ที่สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ นำเสนอผลการวิจัยและเผยแพร่ข้อมูลการวิจัย

บทที่ 4
ผลการวิจัย

จากการออกแบบและปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาแล้ว เมื่อนำนาฬิกาแดดไปติดตั้งเพื่อทดลองอ่านค่าเวลานาฬิกาแดดเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย โดยตั้งเวลาของกล้องถ่ายรูปดิจิทัลให้ตรงกับเวลามาตรฐานประเทศไทย กรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ จากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้ปรับเทียบเวลามาตรฐานประเทศไทยเรียบร้อยแล้ว เพื่อนำไปใช้ในการอ่านค่าเวลาของนาฬิกาแดดและบันทึกผลการทดลอง โดยจะอ่านเวลานาฬิกาแดดเมื่อจุดกึ่งกลางเงาของสันกำเนิดเงาตรงกับขีดสเกลที่สร้างขึ้น



ภาพประกอบ 50 (ก)



ภาพประกอบ 50 (ข)

ภาพประกอบ 50 (ก) แสดงการอ่านเวลาจากหน้าปัดนาฬิกาแดด วันศุกร์ที่ 22 มีนาคม พ.ศ. 2556 เวลานาฬิกาแดดเท่ากับ 12:00 น.เวลามาตรฐานประเทศไทยเท่ากับ 12:00 น. (ข) แสดงการอ่านเวลานาฬิกาแดดวันจันทร์ที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 เวลานาฬิกาแดดเท่ากับ 14:15 น. เวลามาตรฐานประเทศไทยเท่ากับ 14:17 น.

ข้อมูลแสดงผลการทดลองการอ่านเวลานาฬิกาแดดเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย

ตาราง 1 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตาม
อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันอาทิตย์ที่ 17 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)
8:45	8:42	3
9:00	8:57	3
10:00	9:58	2
10:30	10.28	2
11:00	10:58	2
11:30	11:28	2
12:10	12:09	1
12:30	12:30	0
13:00	13:01	1
14:00	14:01	1
15:00	15:03	3

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 1.82 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.98 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.30 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.05 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 25 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 26 นาที 26 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 1 นาที 26 วินาที แต่เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าแปรปรวนไม่คงที่ ความไม่แน่นอนเชิงระบบเนื่องจากการละเลยเวลาในหน่วยวินาทีในการอ่านค่านาฬิกามาตรฐาน

ตาราง 2 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันอังคารที่ 19 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)
10:20	10:20	0
10:30	10:30	0
11:00	10:59	1
11:30	11:31	1
12:00	12:01	1
12:30	12:31	1
14:25	14:50	5
15:00	15:05	5

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 1.75 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.05 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.72 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.27 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 25 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 25 นาที 51 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 51 วินาที แต่เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าแปรปรวนไม่คงที่

ตาราง 3 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับ
หน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันพุธที่ 20 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)
8:30	8:26	4
9:30	9:26	4
10:00	9:56	4
10:30	10:26	4
11:00	10:56	4
11:30	11:28	2
12:00	11:58	2
12.45	12:45	0
13:00	13:00	0
13:45	13:46	1
14:00	14:00	0
14:35	14:37	2

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 2.25 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.71 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.49 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.13 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 25 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 25 นาที 34 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 34 วินาที แต่เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าแปรปรวนไม่คงที่ โดยช่วงเวลา 08:30 – 11:00 น. นาฬิกาแดดอ่านเวลาได้เร็วกว่าเวลามาตรฐานประเทศไทย 4 นาทีและเริ่มอ่านเวลาได้ช้าลงจนเท่ากับเวลามาตรฐานในช่วงเวลา 12:45 น. เวลานาฬิกาแดดเริ่มอ่านเวลาได้ช้ากว่าเวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 1- 2 นาที ในช่วงเวลา 13:45 – 14:35 น.วันที่ทำการทดลองมีเมฆมากทำให้อ่านเวลาจากนาฬิกาแดดไม่ได้ในบางช่วงเวลา

ตาราง 4 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับ
หน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันพฤหัสบดีที่ 21 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย(นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)
9:00	8:55	5
9:45	9:40	5
10:00	9:55	5
10:35	10:30	5
11:05	11:00	5
11:30	11:26	6
12:15	11:13	2
12:25	12:23	2
13:00	12:59	1
14:00	13:59	1
17:00	17:07	7

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 4.00 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.10 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.63 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.20 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 25 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 25 นาที 15 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 15 วินาที แต่เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าแปรปรวนไม่คงที่ โดยช่วงเวลา 9:00 – 11:05 น. นาฬิกาแดดอ่านเวลาได้เร็วกว่าเวลามาตรฐานประเทศไทย 5 นาที และเริ่มอ่านเวลาได้ช้าลงจนเกือบเท่ากับเวลามาตรฐานในช่วงเวลา 14:00 น. โดยแตกต่างกัน 1 นาที และเวลานาฬิกาแดดเริ่มช้ากว่าเวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย จนเวลานาฬิกา 17:00 น เวลานาฬิกาแดดช้ากว่าเวลานาฬิกามาตรฐาน 7 นาที วันที่ทำการทดลองมีเมฆมากทำให้อ่านเวลาจากนาฬิกาแดดไม่ได้ในบางช่วงเวลา

ตาราง 5 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับ
หน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันศุกร์ที่ 22 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)
10:15	10:17	2
10:30	10:32	2
11:00	11:01	1
11:25	11:25	0
11:35	11:35	0
12:00	12:00	0
12:15	12:15	0
12:25	12:25	0
12:30	12:30	0
12:55	12:54	1
13:05	13:04	1
13:25	13:23	2
13:55	13:53	2
14:30	14:27	3
15:00	14:57	3
15:15	15:12	3
15:40	15:36	4
16:05	16:01	4

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 1.56 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 1.42 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.33 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.06 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 25 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 24 นาที 58 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 2 วินาทีแต่เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าแปรปรวนไม่คงที่ โดยช่วงเวลา 10:20 น. นาฬิกาแดดอ่านเวลาได้ช้ากว่าเวลามาตรฐานประเทศไทยและเริ่มอ่านเวลานาฬิกาแดดได้เร็วขึ้น จนเท่ากับเวลามาตรฐานประเทศไทยในช่วงเวลา 11:25 น. เวลานาฬิกาแดดเริ่มเร็วกว่าเวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทยในช่วงเวลา 12:54 น.

ตาราง 6 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับ
หน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันเสาร์ที่ 23 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

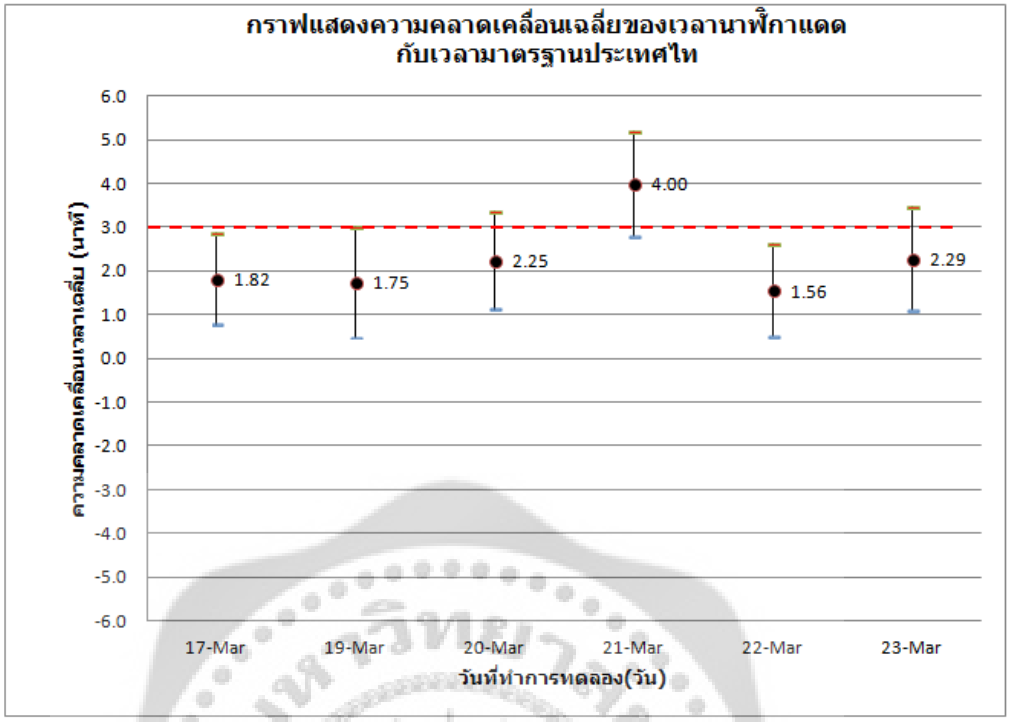
เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	**เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)**	**ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)**
10:15	10:14	1
10:30	10:30	0
11:00	11:00	0
11:30	11:30	0
12:00	11:59	1
12:25	12:24	1
12:30	12:29	1
12:45	12:44	1
13:00	12:59	1
14:00	13:56	4
15:00	14:55	5

ตาราง 6 (ต่อ)

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)
15:30	15:25	5
15:40	15:34	6
16:00	15:54	6

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 2.29 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 2.33 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.62 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.19 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 25 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 24 นาที 40 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 20 วินาที เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทย โดยช่วงเวลา 10.15 น. นาฬิกาแดดอ่านเวลาได้เร็วกว่าเวลามาตรฐานประเทศไทย 1 นาที และอ่านเวลานาฬิกาแดดได้เท่ากับเวลามาตรฐานประเทศไทยในช่วงเวลา 10:30 - 11:30 น. และนาฬิกาแดดเริ่มอ่านเวลาได้เร็วกว่าเวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 1 นาที ในช่วงเวลา11:00 - 13:00 น. และนาฬิกาแดดอ่านเวลาได้เร็วกว่าเวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 4 นาทีในช่วงเวลา 14:00 – 16:00 น. จากข้อมูลแสดงผลการทดลองการอ่านค่าเวลานาฬิกาแดดเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทยตั้งแต่วันอาทิตย์ที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2556 ถึงวันเสาร์ที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556 โดยนำนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นไปติดตั้งและทดลองอ่านค่าเวลาของนาฬิกาแดดว่ามีความคลาดเคลื่อนเท่าใดเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย จากผลการทดลอง พบว่าช่วงวันที่ 17, 19 , 20 , 22 และ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556 เวลาที่อ่านได้จากนาฬิกาแดดมีคลาดเคลื่อนไม่เกินสาม นาทีแต่ในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 พบว่าเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกาแดดมีคลาดเคลื่อนมากกว่า สามนาที ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับงานวิจัยนี้ ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนนี้จึงพบว่า ความคลาดเคลื่อนเกิดจากการติดตั้งนาฬิกาแดดตามแนวขั้วฟ้าเหนือมีคลาดเคลื่อนไปประมาณ 40 ลิปดา ดังภาพประกอบ 51



ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ยและความไม่แน่นอนรวมจากผลการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดวันที่ 17 มีนาคม,และวันที่ 19 - 23 มีนาคมพ.ศ. 2556

จากผลการทดลองดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้พัฒนาและปรับปรุงแก้ไขการติดตั้งนาฬิกาแดดให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ซึ่งต่อมาจึงทำให้นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรสามารถอ่านเวลาได้ถูกต้องไม่เกินสามนาทีตลอดช่วงการทดลองในวันอาทิตย์ที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2556 ถึง วันเสาร์ที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2556 และวันเสาร์ที่ 20 เมษายน ถึง วันอาทิตย์ที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2556 ดังตารางแสดงผลการทดลอง

ตาราง 7 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับ
หน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันอาทิตย์ที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความแตกต่างของเวลา (นาที)
10:00	10:03	3
11:00	11:03	3
11:45	11:47	2
12:00	12:02	2
12:20	12:22	2
13:00	13:02	2
13:15	13:17	2
14:00	14:02	2
15:05	15:08	3

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 2.33 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.50 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.17 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.02 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 20 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 22 นาที 15 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 2 นาที 15 วินาที เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทย โดยช่วงเวลา 10:00 - 11:00 น. นาฬิกาแดดอ่านเวลาได้ช้ากว่าเวลามาตรฐานประเทศไทย 3 นาที และอ่านเวลานาฬิกาแดดได้ช้ากว่าเวลามาตรฐานประเทศไทย 2 นาทีในช่วงเวลา 11:45 - 15:05 น. วันที่ทำการทดลองมีเมฆมาก ทำให้อ่านเวลาจากนาฬิกาแดดไม่ได้ในบางช่วงเวลา

ตาราง 8 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับ
หน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันจันทร์ที่ 1 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย(นาฬิกา)	ความแตกต่างของเวลา (นาที)
13:00	13:02	2
13:15	13:17	2
13:30	13:32	2
13:45	13:47	2
14:00	14:02	2
14:30	14:32	2
14:45	14:47	2
15:00	15:02	2
15:15	15:17	2
15:30	15:32	2
15:45	15:47	2

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 2.00 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.00 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.00 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.00 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 20 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 21 นาที 57 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 1 นาที 57 วินาที เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทยคงที่ โดยอ่านเวลานาฬิกาแดดได้ช้ากว่าเวลามาตรฐานประเทศไทย 2 นาทีในช่วงเวลา 13:00 - 15:45 น. วันที่ทำการทดลองมีเมฆมากทำให้อ่านเวลาจากนาฬิกาแดดไม่ได้บางช่วงเวลา ในตอนเช้าเวลา 7:30 – 12:20 น. ผู้วิจัยต้องเข้าไปที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒและกลับมาที่โรงเรียนจิตรลดาเวลา 12:55 น.

ตาราง 9 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับ
หน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันอังคารที่ 2 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความแตกต่างของเวลา(นาที)
9:00	9:00	0
9:15	9:15	0
9:30	9:30	0
9:45	9:45	0
10:00	10:00	0
10:45	10:45	0
11:00	11:00	0
11:15	11:15	0
11:30	11:30	0
11:45	11:45	0
12:00	12:00	0
12:15	12:15	0
12:20	12:20	0
12:30	12:30	0
12.45	12:45	0
13.00	13:00	0

ตาราง 9 (ต่อ)

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความแตกต่างของเวลา(นาที)
15.30	15:30	0
15.45	15:45	0
16.00	16:00	0
16.15	16:15	0
16:30	16:30	0

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 0.00 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.00 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.00 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.00 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 20 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 21 นาที 39 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 1 นาที 39 วินาที เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าเท่ากับเวลามาตรฐานประเทศไทยตลอดวัน วันที่ทำการทดลองในช่วงเวลา 13:10 - 14:30 น.ผู้วิจัยต้องเข้าไปที่มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และกลับมาที่โรงเรียนจิตรลดาเวลา 15:20 น.

ตาราง 10 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตาม อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันพุธที่ 3 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย(นาฬิกา)	ความแตกต่างของเวลา นาที
9:00	9:00	0
9:30	9:30	0
10:00	10:00	0
10:15	10:15	0

ตาราง 10 (ต่อ)

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย(นาฬิกา)	ความแตกต่างของเวลา นาที
10:30	10:30	0
11:00	11:00	0
11:15	11:15	0
11:30	11:30	0
11:45	11:45	0
12:00	12:00	0
12:15	12:15	0
12:20	12:20	0
12:45	12:45	0
13:00	13:00	0
13:15	13:15	0
13:45	13:45	0
14:00	14:00	0
14:15	14:15	0
14:30	14:30	0

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 0.00 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.00 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.00 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.00 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 20 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 21 นาที 22 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 1 นาที 22 วินาที และเวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าเท่ากับเวลามาตรฐานประเทศไทยตลอดการทดลอง

ตาราง 11 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันพฤหัสบดีที่ 4 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย(นาฬิกา)	ความแตกต่างของเวลา (นาที)
9.50	9.52	2
10.20	10.22	2
10.40	10.42	2
11.00	11.02	2
11.30	11.32	2
12.00	12.02	2
12.20	12.22	2
13.00	13.02	2
13.30	13.32	2

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 2.00 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.00 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.00 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.00 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 20 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 21 นาที 5 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 1 นาที 5 วินาที เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทยคงที่ โดยอ่านเวลานาฬิกาแดดได้ช้ากว่าเวลามาตรฐานประเทศไทย 2 นาทีในช่วงเวลา 09:50 - 13:30 น. วันที่ทำการทดลองมีเมฆมากทำให้อ่านเวลาจากนาฬิกาแดดไม่ได้บางช่วงเวลาและผู้วิจัยได้วางแนวทิศเหนือแท้เพื่อติดตั้งเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรใหม่

ตาราง 12 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตาม
อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันศุกร์ที่ 5 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	**เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)**	**ความแตกต่างของเวลา (นาที)**
15:00	15:02	2
15:15	15:17	2
15:30	15:32	2
15:45	15:47	2
16:00	16:02	2
16:15	16:15	2
16:30	16:32	2

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 2.00 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.00 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.00 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.00 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 20 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 20 นาที 47 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 47 นาที เวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทยคงที่ โดยอ่านเวลานาฬิกาแดดได้ช้ากว่าเวลามาตรฐานประเทศไทย 2 นาที ในช่วงเวลา 15:00 - 16:30 น. วันที่ทำการทดลองผู้วิจัยได้เริ่มเก็บข้อมูลนาฬิกาแดด เวลา 15.00 น. เนื่องจากต้องเข้าไปที่บัณฑิตวิทาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒในช่วงเวลา 8:30 – 14:00 น.

ตาราง 13 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันเสาร์ที่ 6 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความแตกต่างของเวลา (นาที)
09:00	09:01	1
09:30	09:31	1
10:30	10:31	1
11:00	11:01	1
11:30	11:31	1
12:00	12:01	1
12:20	12:21	1
12:30	12:31	1

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 1.00 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.00 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.00 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.00 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 20 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 20 นาที 30 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 30 วินาที และเวลาที่อ่านได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดดมีค่าใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทยคงที่ตลอดการทดลอง โดยอ่านเวลานาฬิกาแดดได้ช้ากว่าเวลามาตรฐานประเทศไทย 1 นาที ในช่วงเวลา 09:00 – 12:30 น. วันที่ทำการทดลองผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลเวลานาฬิกาแดด 09:00 - 12:40 น. เนื่องจากมีอาการปวดศีรษะ ตัวร้อนไม่ค่อยสบาย จึงกลับบ้านเพื่อไปพบแพทย์

ตาราง 14 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตาม อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์วันเสาร์ที่ 20เดือน เมษายน พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา(นาที)
8:00	7:59	1
8:30	8:29	1
9:00	8:59	1
9:30	9:29	1
10:00	9:59	1
10:30	10:30	0
11:00	11:00	0
11:30	11:30	0
12:00	12:00	0
12:25	12:25	0
13:00	13:00	0
13:30	13:30	0
14:00	14:01	1
14:30	14:31	1
15:00	15:01	1

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 0.53 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.52 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.13 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.01 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 15 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 17 นาที 2 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 1 นาที 2 วินาที

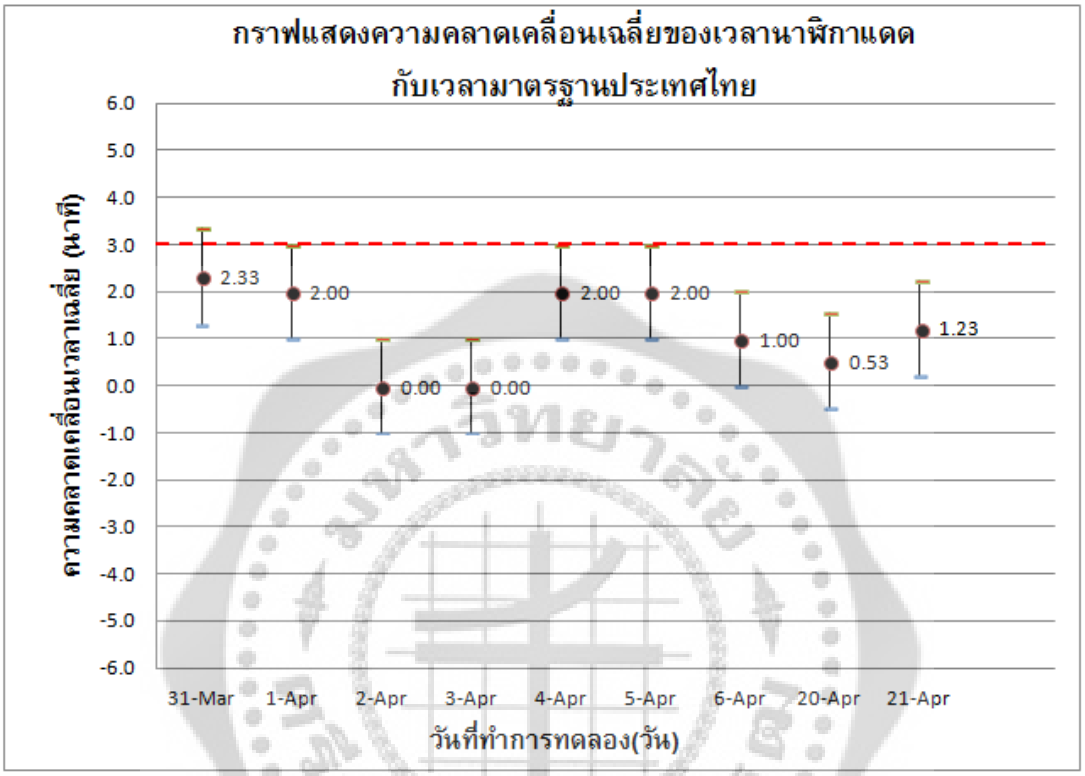
ตาราง 15 การอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตาม
อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์
วันอาทิตย์ที่ 21เดือน เมษายน พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)
10:05	10:06	1
10:20	10:21	1
10:45	10:46	1
11:05	11:06	1
11:20	11:21	1
11:30	11:31	1
11:55	11:56	1
12:00	12:01	1
12:15	12:16	1
13:00	13:01	1
14:00	14:02	2
15:00	15:02	2
16:00	16:02	2

ความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย = 1.23 นาที ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.44 นาที
ความไม่แน่นอนเชิงสุ่ม = 0.12 นาที ความไม่แน่นอนเชิงระบบ = 1.00 นาที
ความไม่แน่นอนรวม = 1.01 นาที

หมายเหตุ หน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรมีการชดเชยเวลา 15 นาที และสมการเวลาเท่ากับ 16 นาที 50 วินาที พบว่าเวลานาฬิกาแดดที่สร้างขึ้นแตกต่างกับสมการเวลา 50 วินาที

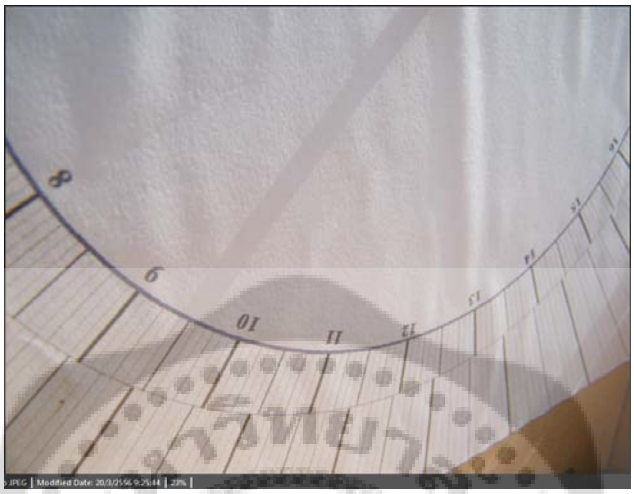
จากตารางบันทึกผลการทดลองในวันที่ 31 มี.ค., 1 - 6 เมษายน และวันที่ 20 - 21 เมษายน พ.ศ. 2556 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ยและความไม่แน่นอนรวมจากผลการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดด ดังภาพประกอบ 52



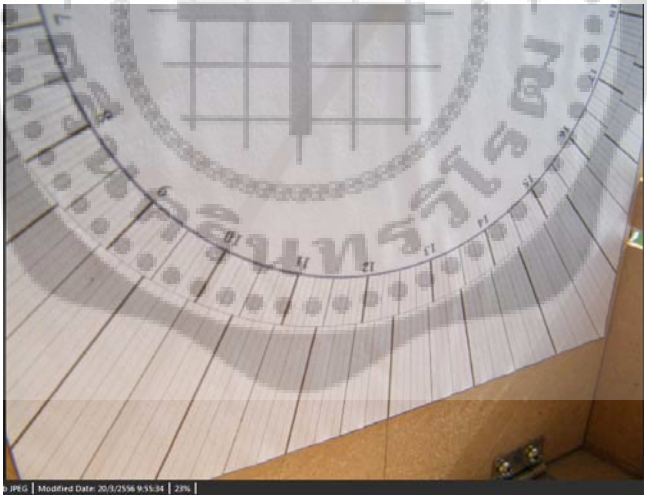
ภาพประกอบ 52 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ยและความไม่แน่นอนรวมจากผลการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดวันที่ 31 มี.ค., 1 - 6 เมษายน และวันที่ 20 – 21 เมษายน พ.ศ. 2556

เนื่องจากการอ่านค่าเวลาของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้น เกิดจากความสัมพันธ์ของการปรับสัญลักษณ์ระหว่างหน้าปัดนาฬิกาแดดกับอุปกรณ์ตรวจวัดเงาให้มีสัญลักษณ์ตรงกัน ดังนั้น ผลการทดลองที่แสดงในกราฟข้างต้นจึงเป็นเครื่องยืนยันว่า เมื่อติดตั้งนาฬิกาแดดที่ประดิษฐ์ขึ้นอย่างถูกต้องแล้ว หากผู้อ่านเวลาทำการปรับสัญลักษณ์ระหว่างหน้าปัดนาฬิกาแดดและอุปกรณ์ตรวจวัดเงาให้ตรงกันแล้วเงาของสันกำเนิดจะแสดงเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดดให้ถูกต้องกับเวลามาตรฐานของประเทศไทยด้วยความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที

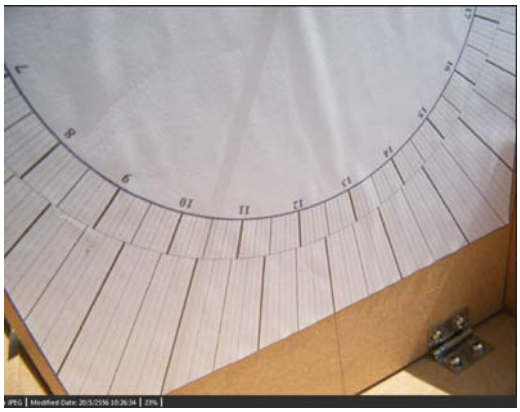
ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย วันพุธที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2556 สมการเวลา 25 นาที 34 วินาที ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 25 นาที



ภาพประกอบ 53 เวลานาฬิกาแดด 9:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 9:26 น.

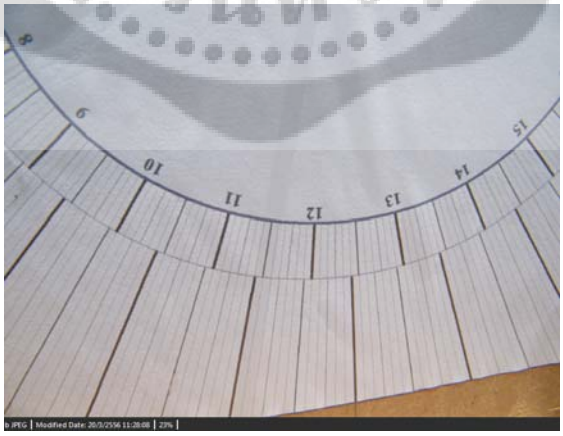


ภาพประกอบ 54 เวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 9:56 น.

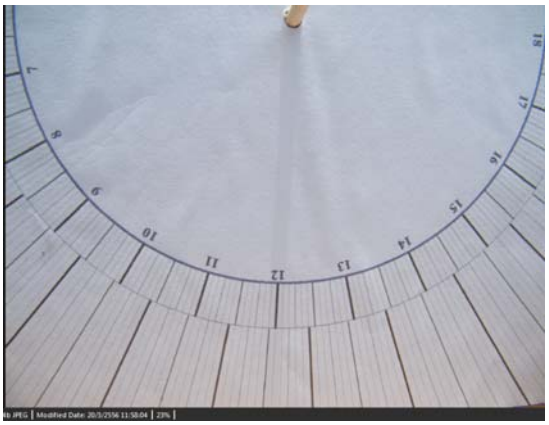


ภาพประกอบ 55 เวลานาฬิกาแดด 10:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:26 น.

ภาพประกอบ 56 เวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:56 น.

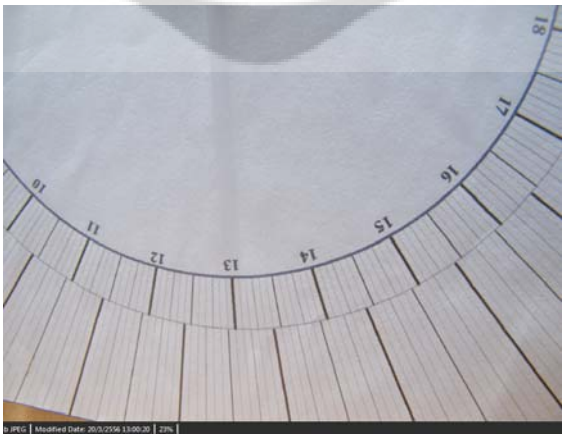


ภาพประกอบ 57 เวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:28 น.

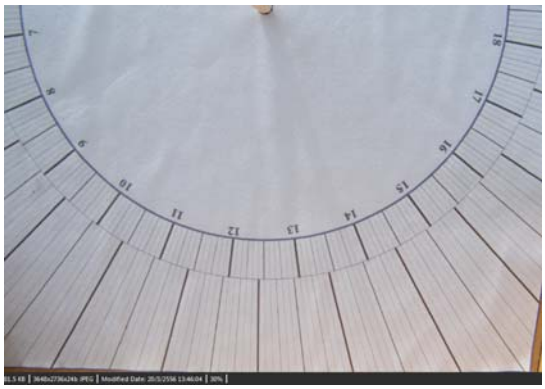


ภาพประกอบ 58 เวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:58 น.

ภาพประกอบ 59 เวลานาฬิกาแดด 12:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:45 น.

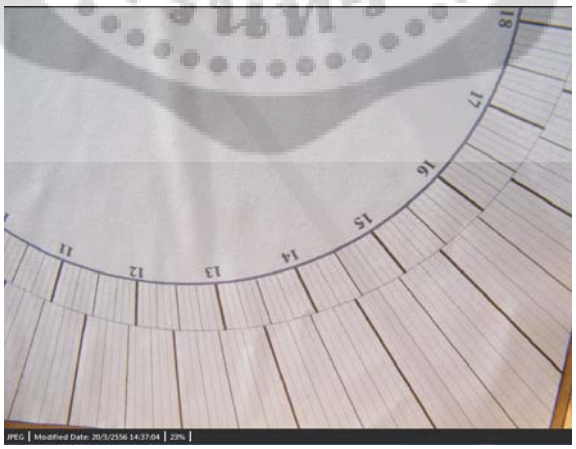


ภาพประกอบ 60 เวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:00 น.



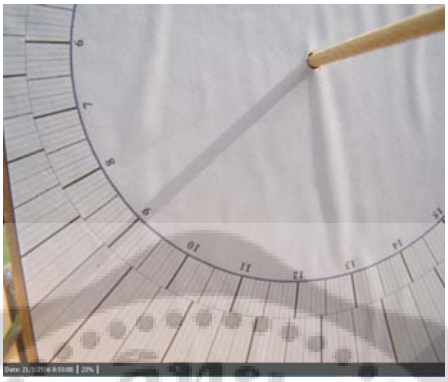
ภาพประกอบ 61 เวลานาฬิกาแดด 13:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:46 น.

ภาพประกอบ 62 เวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:00 น.

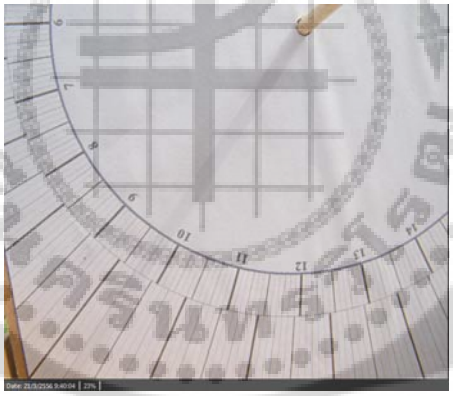


ภาพประกอบ 63 เวลานาฬิกาแดด 14:35 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:37 น.

ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันพฤหัสบดีที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 สมการเวลา 25 นาที 15 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 25 นาที

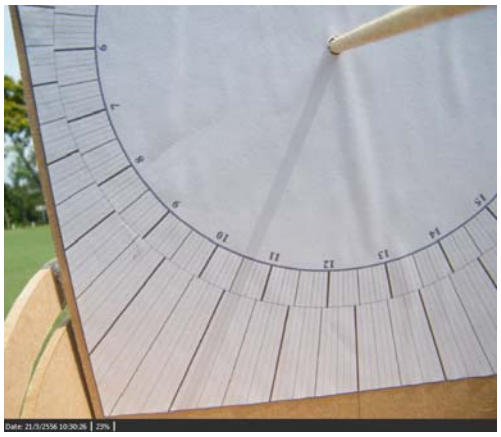


ภาพประกอบ 64 เวลานาฬิกาแดด 9:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 8:55 น.



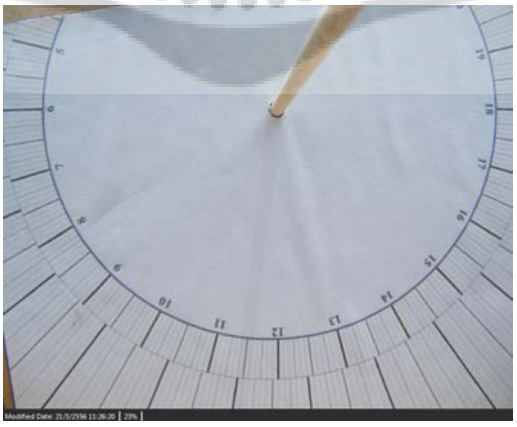
ภาพประกอบ 65 เวลานาฬิกาแดด 9:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 9:40 น.

ภาพประกอบ 66 เวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 9:55 น.

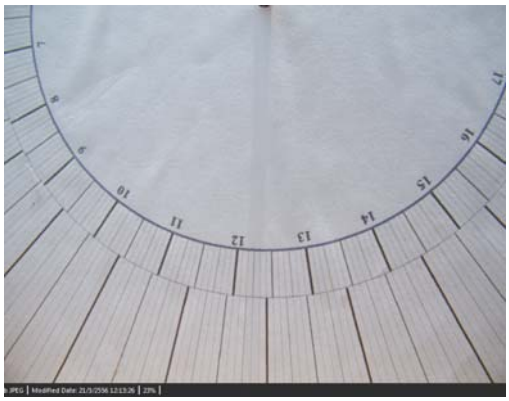


ภาพประกอบ 67 เวลานาฬิกาแดด 10:35 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:30 น.

ภาพประกอบ 68 เวลานาฬิกาแดด 11:05 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:00 น.

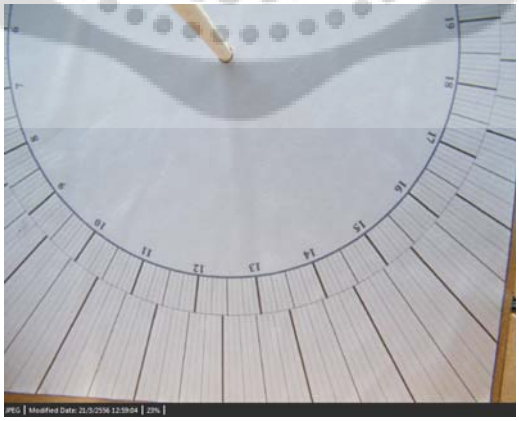


ภาพประกอบ 69 เวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:26 น.

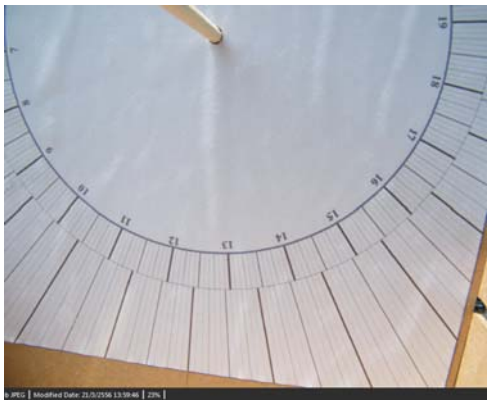


ภาพประกอบ 70 เวลานาฬิกาแดด 12:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:13 น.

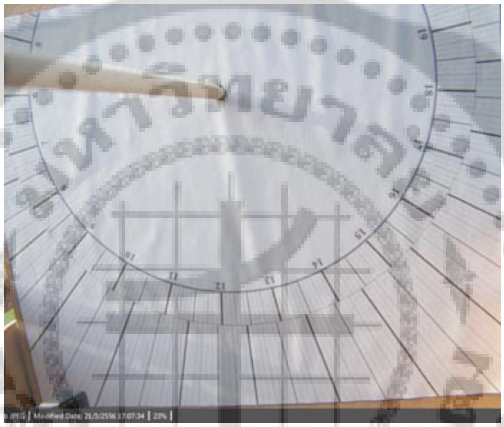
ภาพประกอบ 71 เวลานาฬิกาแดด 12:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:23 น.



ภาพประกอบ 72 เวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:59 น.

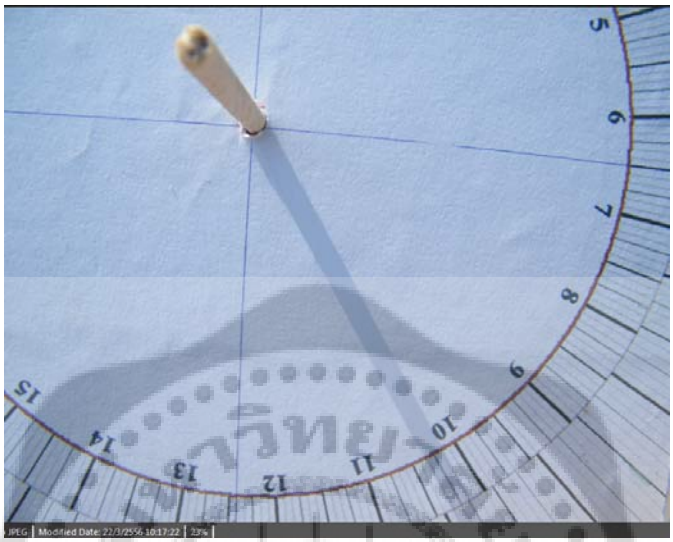


ภาพประกอบ 73 เวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:59 น.

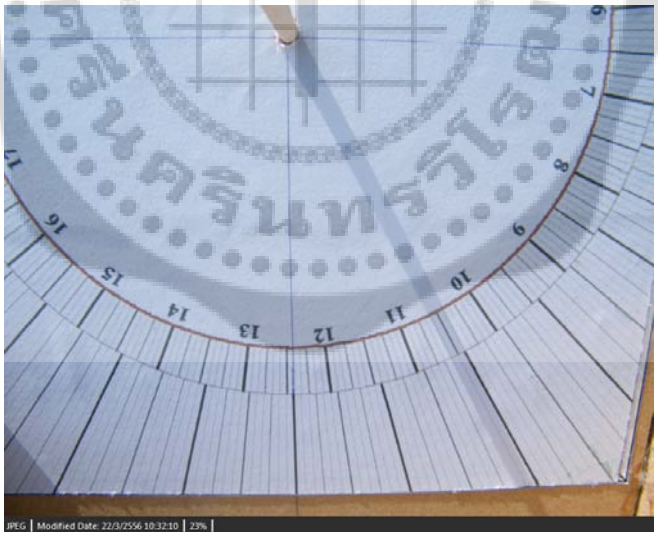


ภาพประกอบ 74 เวลานาฬิกาแดด 17:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 17:07 น.

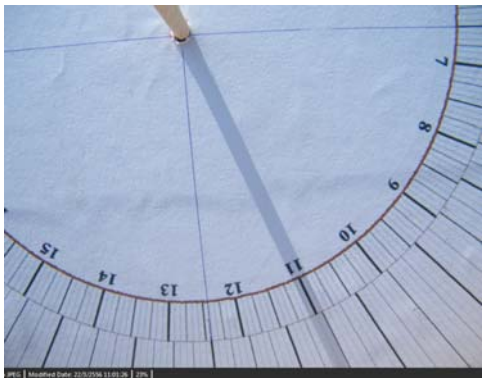
ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันศุกร์ ที่ 22 มีนาคม พ.ศ.2556 สมการเวลา 24 นาที 58 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 25 นาที



ภาพประกอบ 75 เวลานาฬิกาแดด 10:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:17 น.

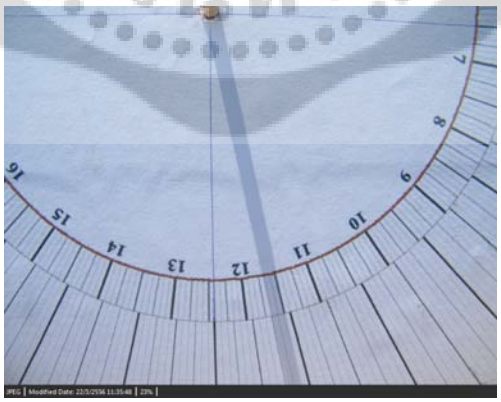


ภาพประกอบ 76 เวลานาฬิกาแดด 10:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:32 น.

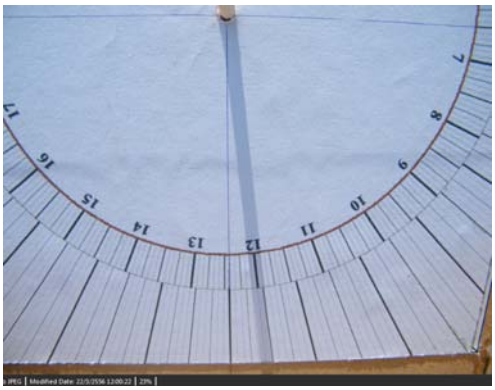


ภาพประกอบ 77 เวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:01 น.

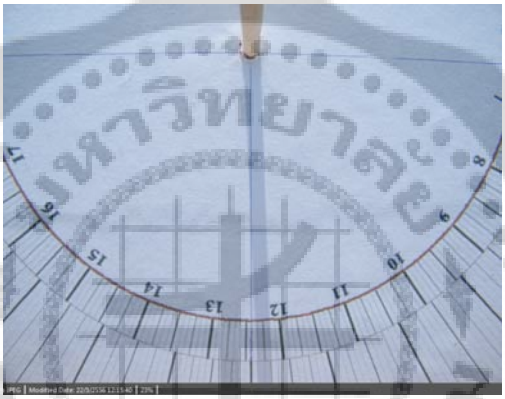
ภาพประกอบ 78 เวลานาฬิกาแดด 11:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:25 น.



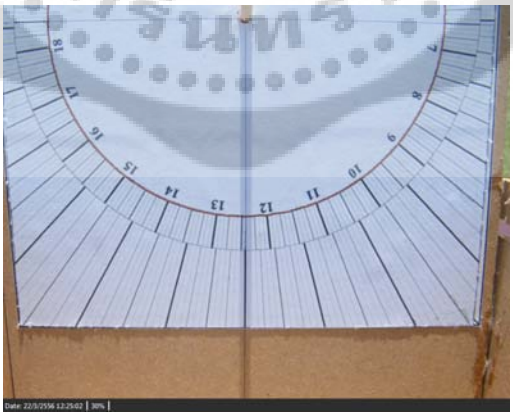
ภาพประกอบ 79 เวลานาฬิกาแดด 11:35 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:35 น.



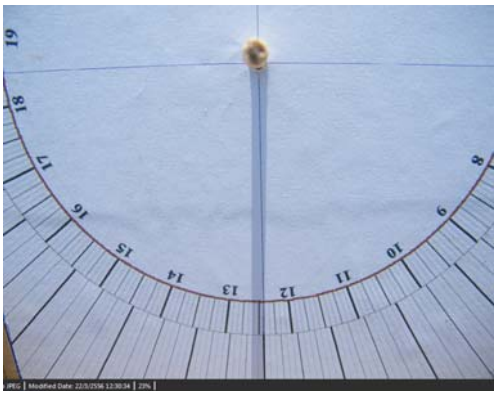
ภาพประกอบ 80 เวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:00 น.



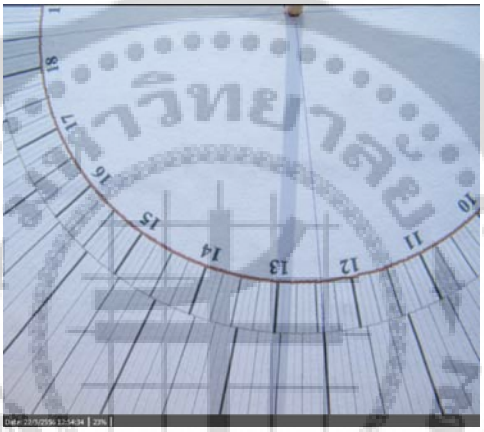
ภาพประกอบ 81 เวลานาฬิกาแดด 12:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:15 น.



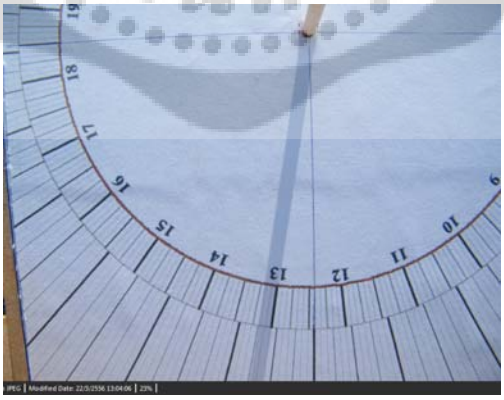
ภาพประกอบ 82 เวลานาฬิกาแดด 12:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:25 น.



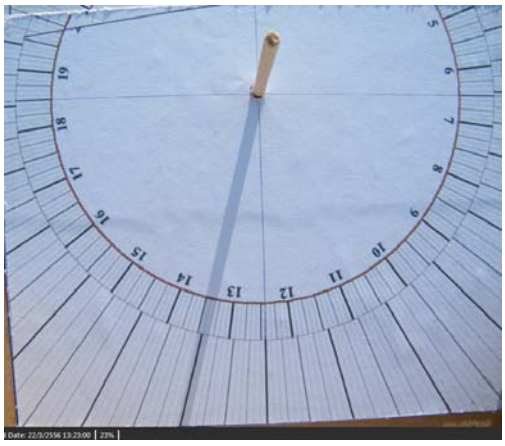
ภาพประกอบ 83 เวลานาฬิกาแดด 12:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:30 น.



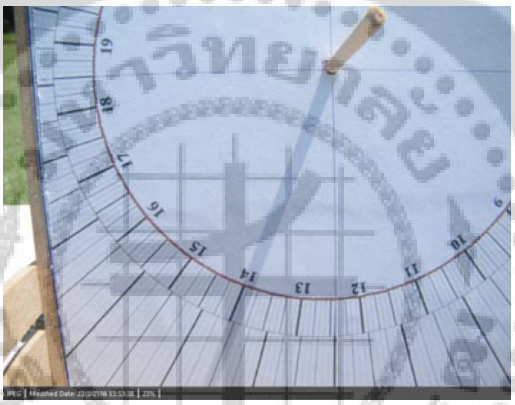
ภาพประกอบ 84 เวลานาฬิกาแดด 12:55 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:54 น.



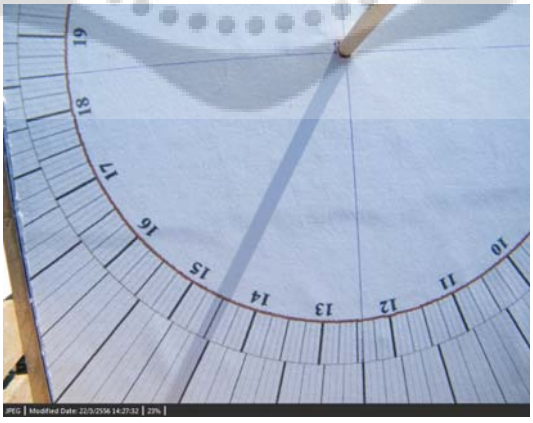
ภาพประกอบ 85 เวลานาฬิกาแดด 13:05 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:04 น.



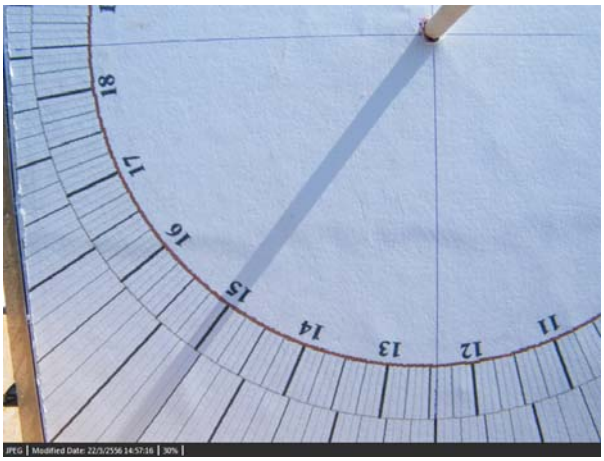
ภาพประกอบ 86 เวลานาฬิกาแดด 13:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:23 น.



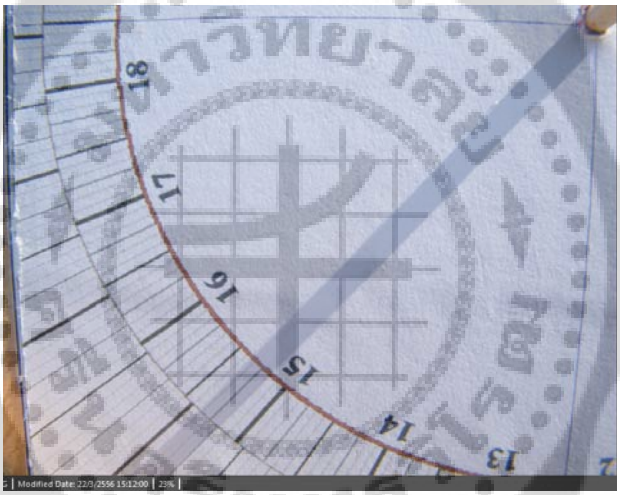
ภาพประกอบ 87 เวลานาฬิกาแดด 13:55 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:53 น.



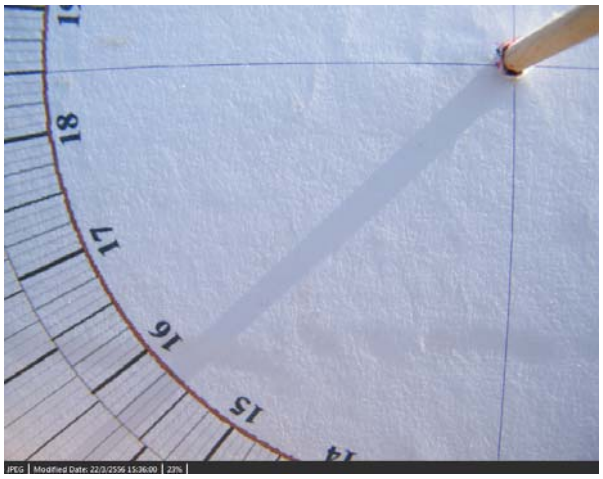
ภาพประกอบ 88 เวลานาฬิกาแดด 14:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:27 น.



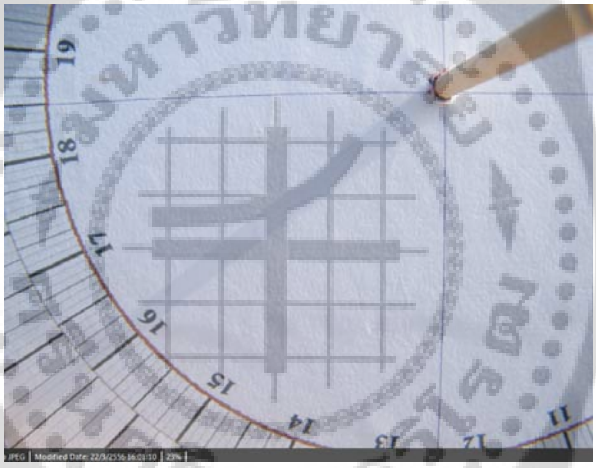
ภาพประกอบ 89 เวลานาฬิกาแดด 15:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:57 น.



ภาพประกอบ 90 เวลานาฬิกาแดด 15:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:12 น.

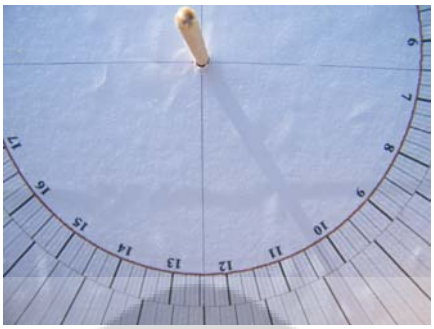


ภาพประกอบ 91 เวลานาฬิกาแดด 15:40 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:36 น.

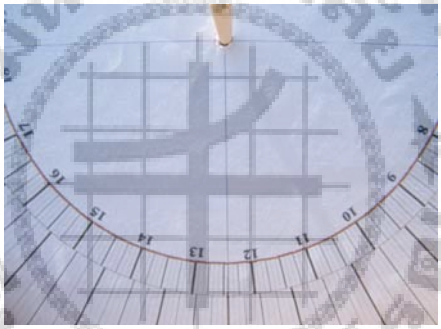


ภาพประกอบ 92 เวลานาฬิกาแดด 16:05 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:01 น.

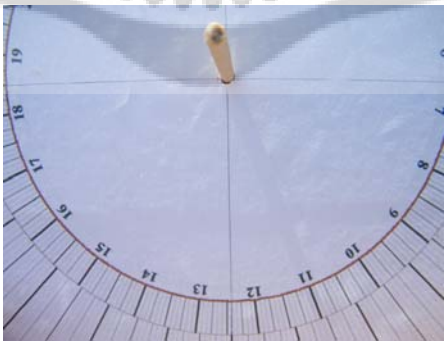
ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันเสาร์ที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556 สมการเวลา 24 นาที 40 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 25 นาที



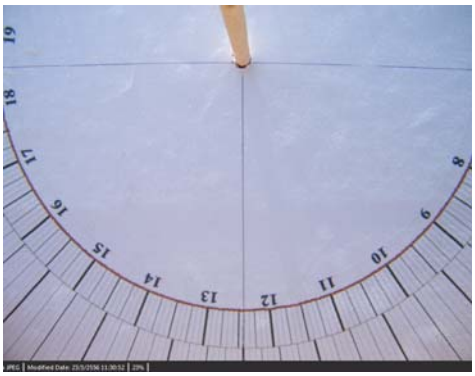
ภาพประกอบ 93 เวลานาฬิกาแดด 10:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:14 น.



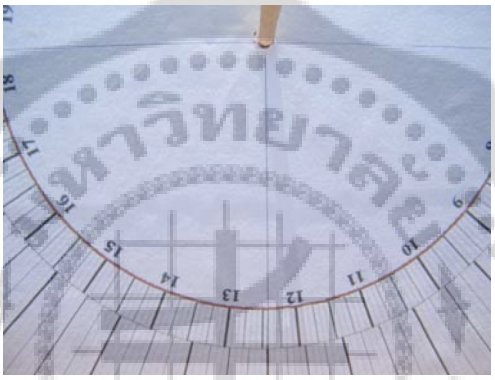
ภาพประกอบ 94 เวลานาฬิกาแดด 10:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:30 น.



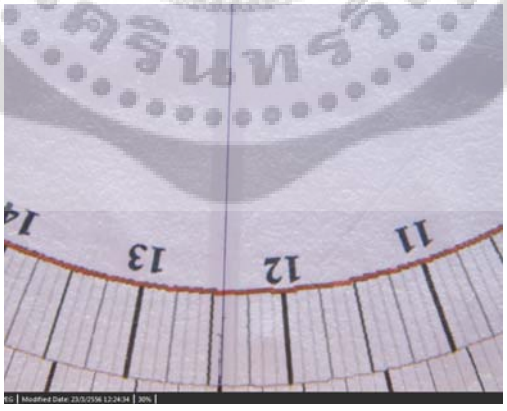
ภาพประกอบ 95 เวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:00 น.



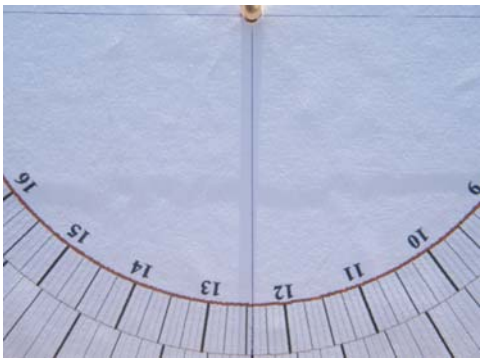
ภาพประกอบ 96 เวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:30 น.



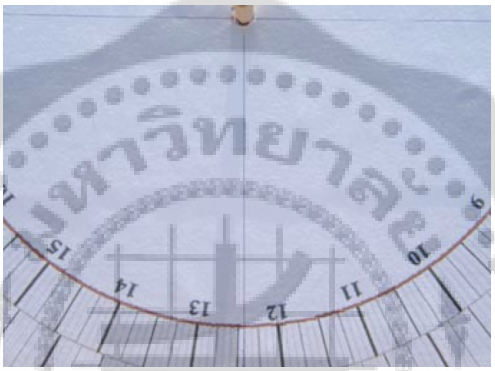
ภาพประกอบ 97 เวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:59 น.



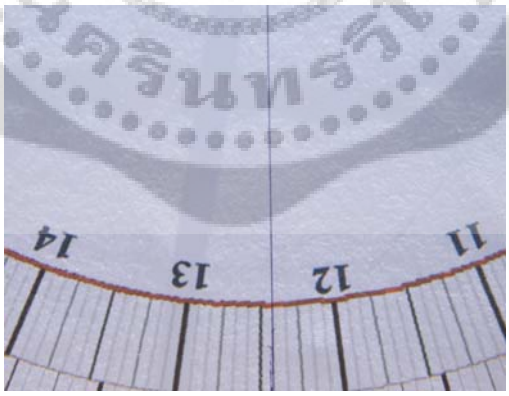
ภาพประกอบ 98 เวลานาฬิกาแดด 12:25 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:24 น.



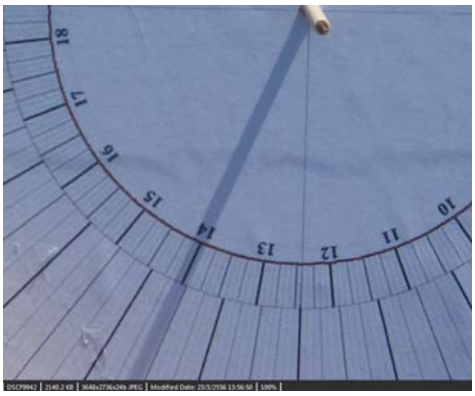
ภาพประกอบ 99 เวลานาฬิกาแดด 12:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:29 น.



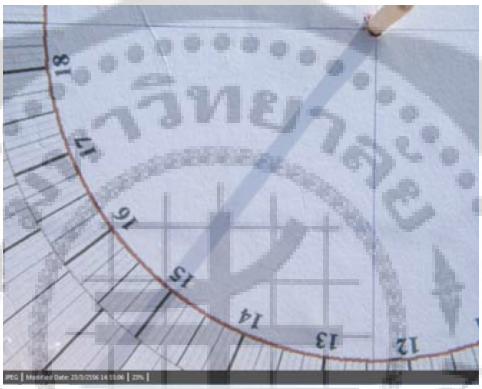
ภาพประกอบ 100 เวลานาฬิกาแดด 12:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:44 น.



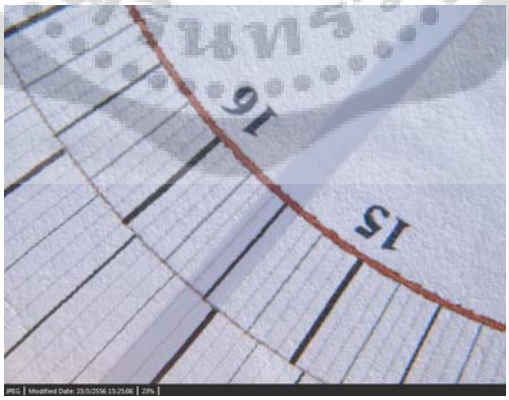
ภาพประกอบ 101 เวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:59 น.



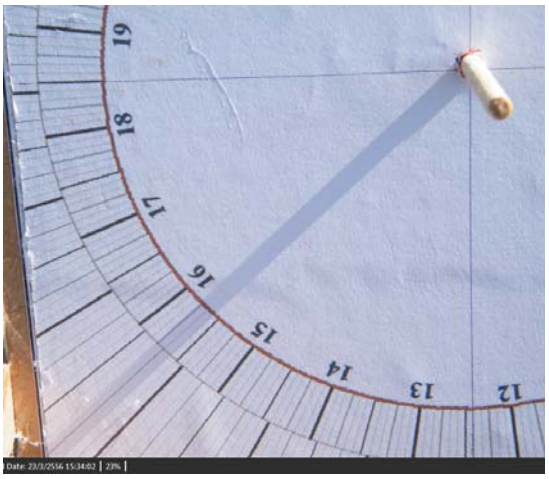
ภาพประกอบ 102 เวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:56 น.



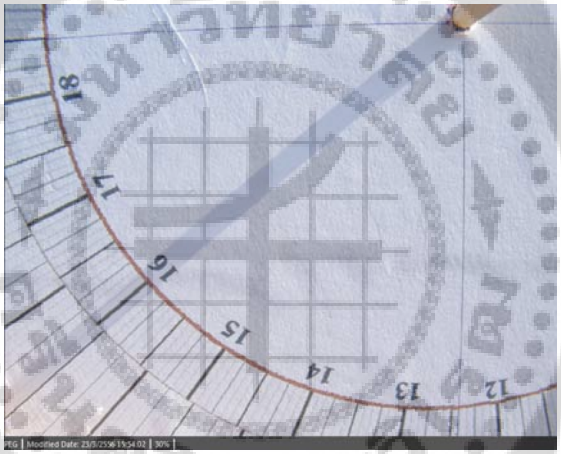
ภาพประกอบ 103 เวลานาฬิกาแดด 15:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:55 น.



ภาพประกอบ 104 เวลานาฬิกาแดด 15:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:25 น.

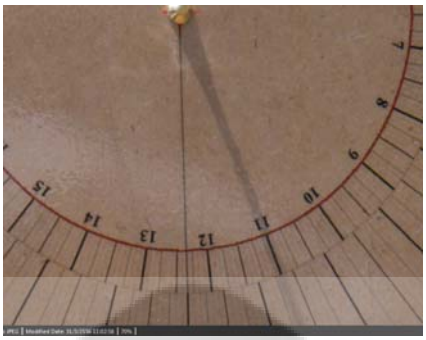


ภาพประกอบ 105 เวลานาฬิกาแดด 15:40 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:34 น.

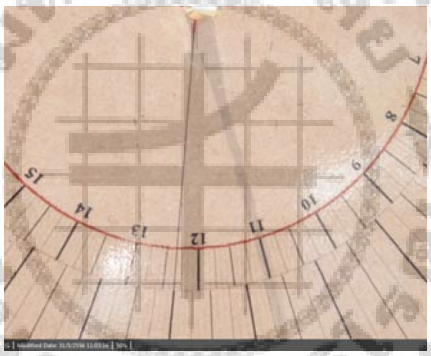


ภาพประกอบ 106 เวลานาฬิกาแดด 16:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:54 น.

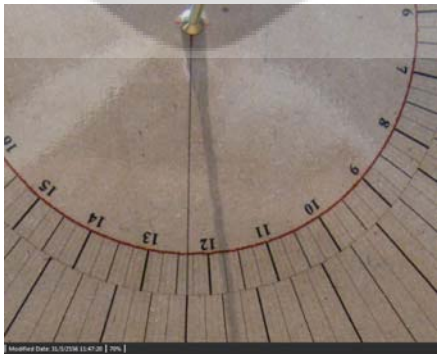
ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันอาทิตย์ที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2556 สมการเวลา 22 นาที 15 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที



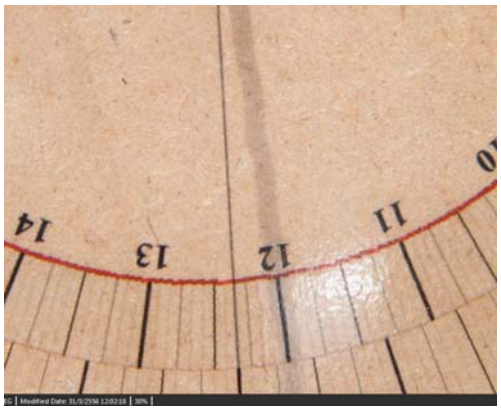
ภาพประกอบ 107 เวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:03 น.



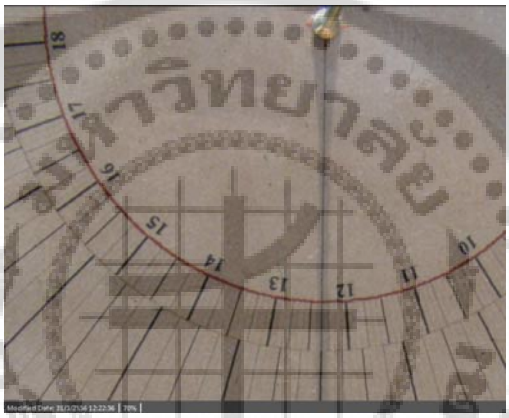
ภาพประกอบ 108 เวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:03 น.



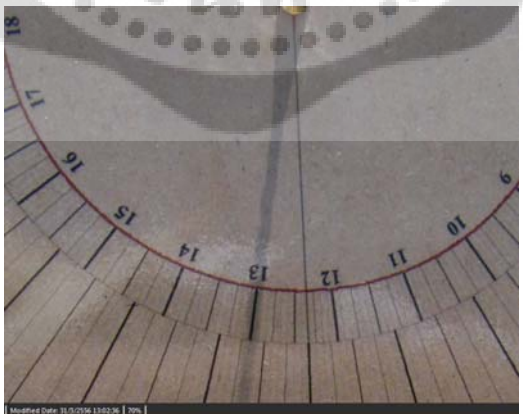
ภาพประกอบ 109 เวลานาฬิกาแดด 11:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:47 น.



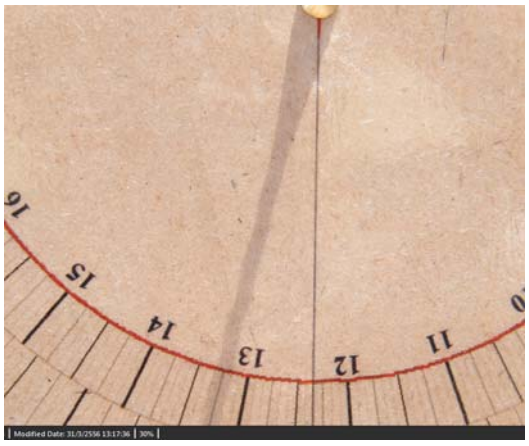
ภาพประกอบ 110 เวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:02 น.



ภาพประกอบ 111 เวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:22 น.

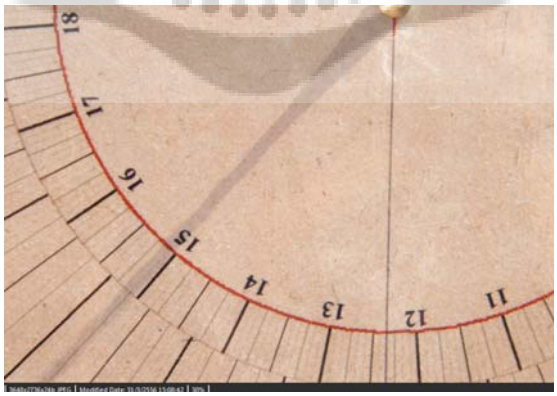


ภาพประกอบ 112 เวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:22 น.



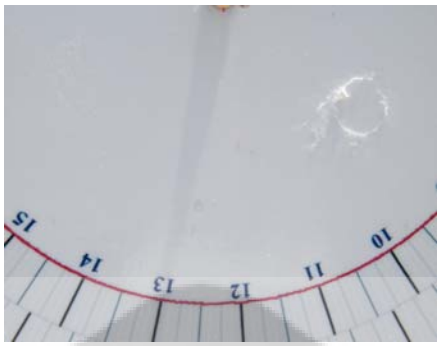
ภาพประกอบ 113 เวลานาฬิกาแดด 13:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:17 น.

ภาพประกอบ 114 เวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:02 น.

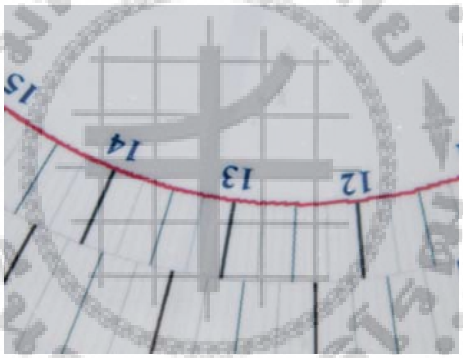


ภาพประกอบ 115 เวลานาฬิกาแดด 15:05 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:08 น.

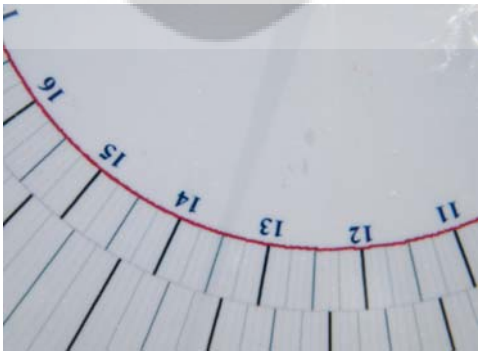
ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันจันทร์ที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2556 สมการเวลา 21 นาที 57 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที



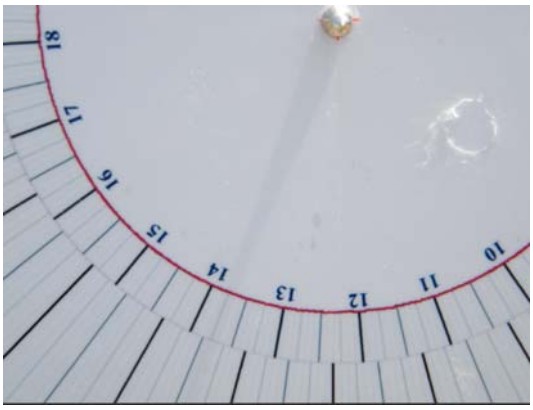
ภาพประกอบ 116 เวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:02 น.



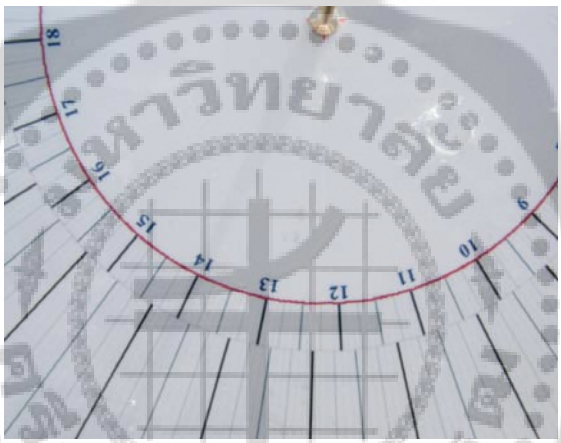
ภาพประกอบ 117 เวลานาฬิกาแดด 13:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:17 น.



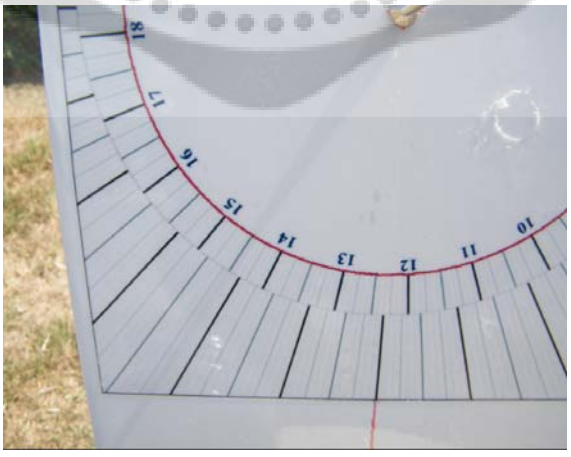
ภาพประกอบ 118 เวลานาฬิกาแดด 13:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:32 น.



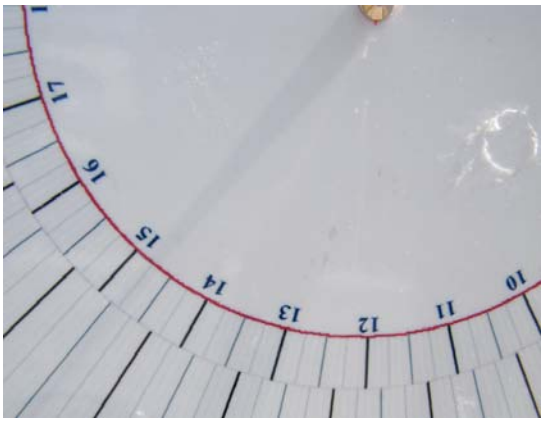
ภาพประกอบ 119 เวลานาฬิกาแดด 13:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:47 น.



ภาพประกอบ 120 เวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:02 น.

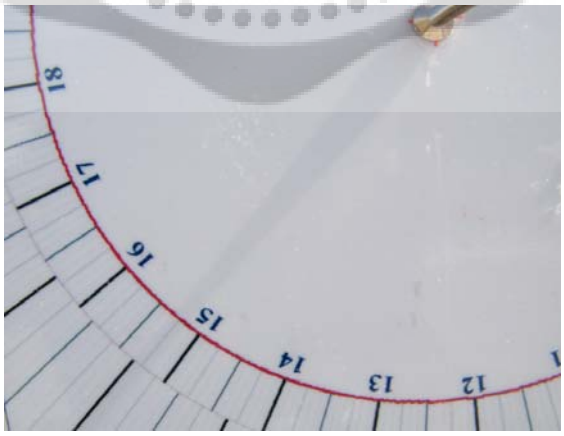


ภาพประกอบ 121 เวลานาฬิกาแดด 14:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:32 น.

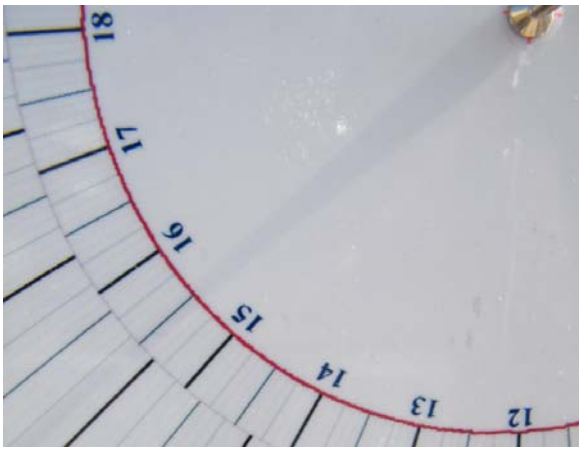


ภาพประกอบ 122 เวลานาฬิกาแดด 14:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:47 น.

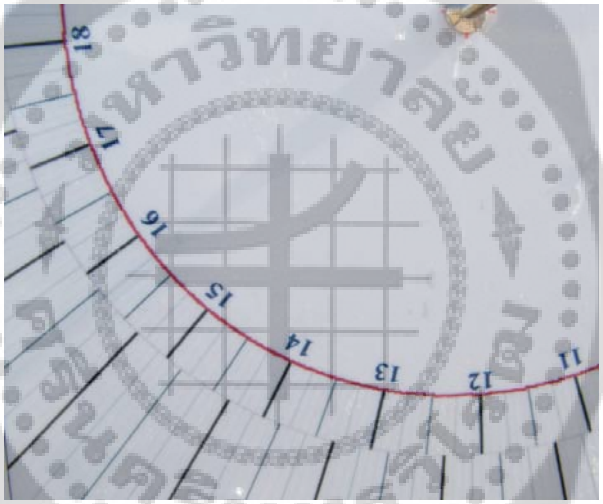
ภาพประกอบ 123 เวลานาฬิกาแดด 15:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:02 น.



ภาพประกอบ 124 เวลานาฬิกาแดด 15:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:17 น.

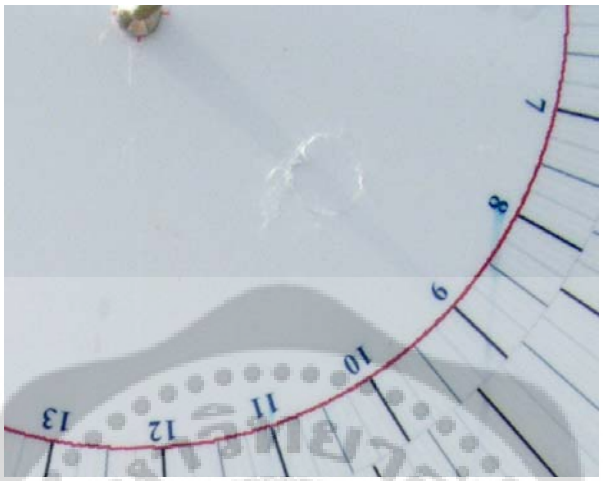


ภาพประกอบ 125 เวลานาฬิกาแดด 15:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:32 น.

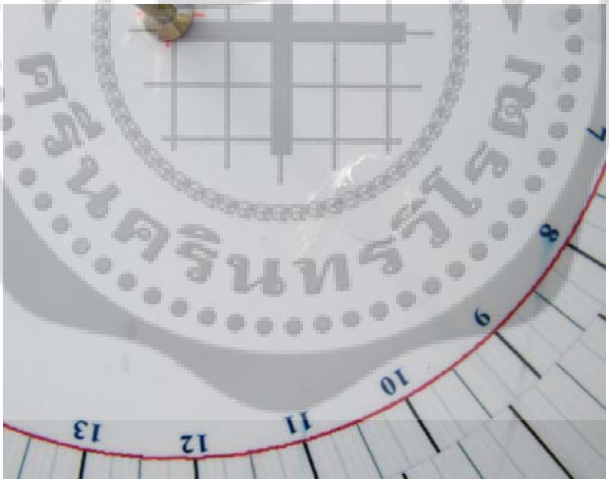


ภาพประกอบ 126 เวลานาฬิกาแดด 15:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:47 น.

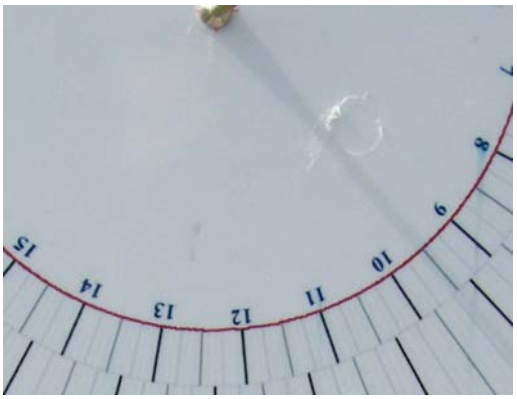
ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันอังคารที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2556 สมการเวลา 21 นาที 40 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที



ภาพประกอบ 127 เวลานาฬิกาแดด 09:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:00 น.

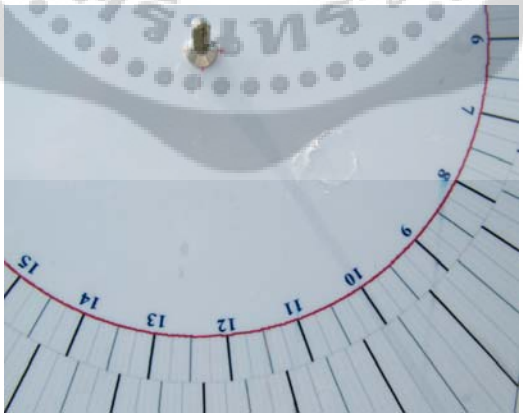


ภาพประกอบ 128 เวลานาฬิกาแดด 09:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:15 น.

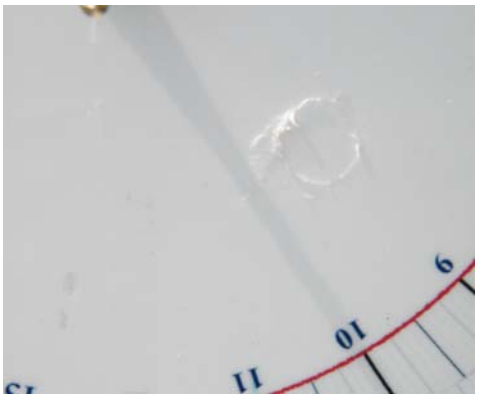


ภาพประกอบ 129 เวลานาฬิกาแดด 09:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:30 น.

ภาพประกอบ 130 เวลานาฬิกาแดด 09:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:45 น.

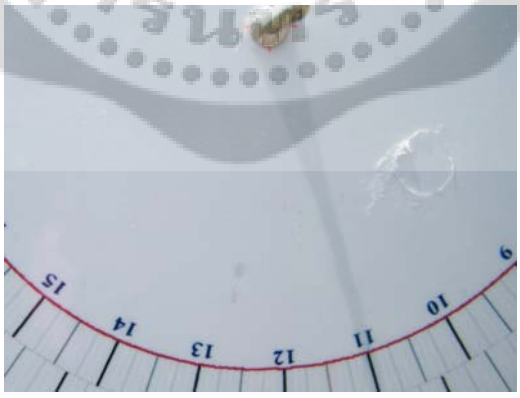


ภาพประกอบ 131 เวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:00 น.

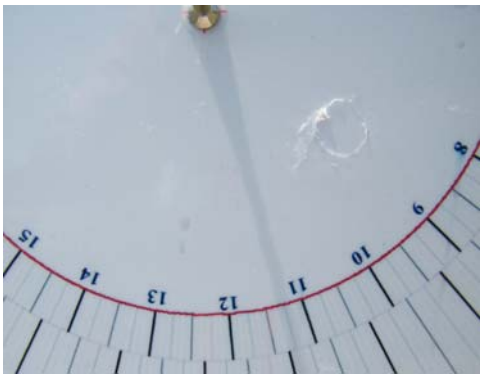


ภาพประกอบ 132 เวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:00 น.

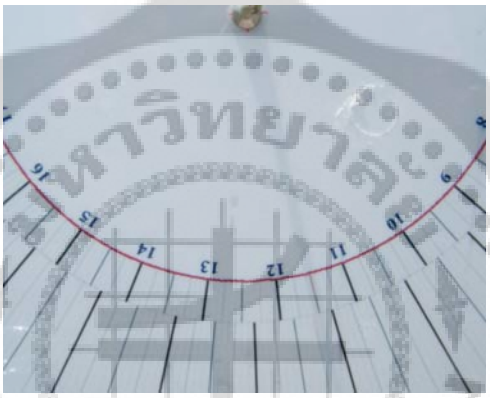
ภาพประกอบ 133 เวลานาฬิกาแดด 10:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:45 น.



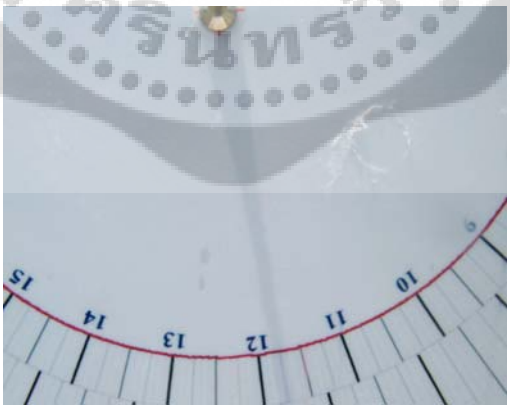
ภาพประกอบ 134 เวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:00 น.



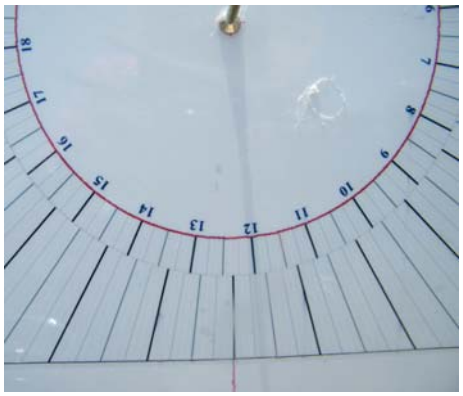
ภาพประกอบ 135 เวลานาฬิกาแดด 11:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:15 น.



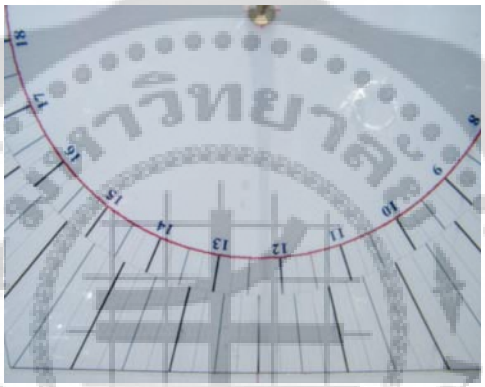
ภาพประกอบ 136 เวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:30 น.



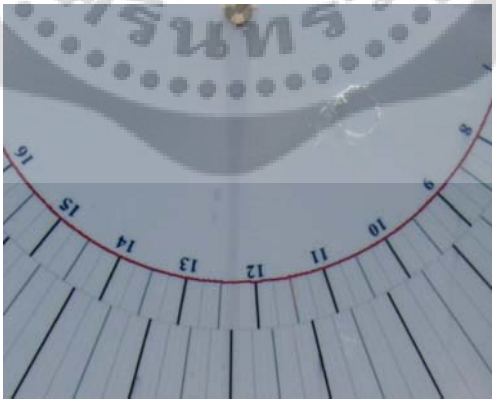
ภาพประกอบ 137 เวลานาฬิกาแดด 11:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:45 น.



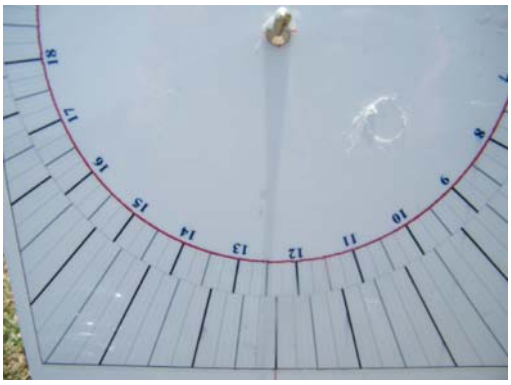
ภาพประกอบ 138 เวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:00 น.



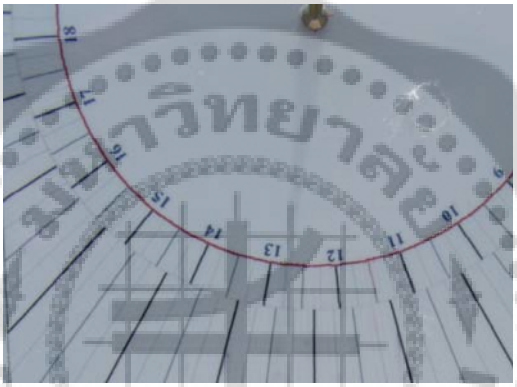
ภาพประกอบ 139 เวลานาฬิกาแดด 12:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:15 น.



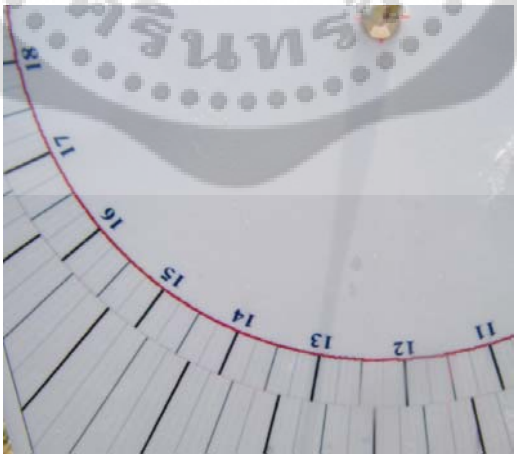
ภาพประกอบ 140 เวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:20 น.



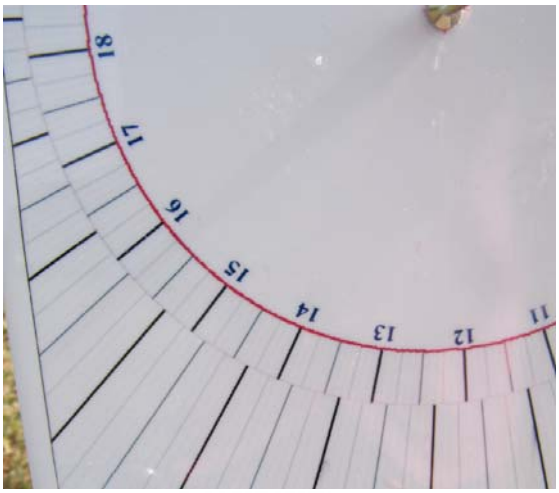
ภาพประกอบ 141 เวลานาฬิกาแดด 12:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:30 น.



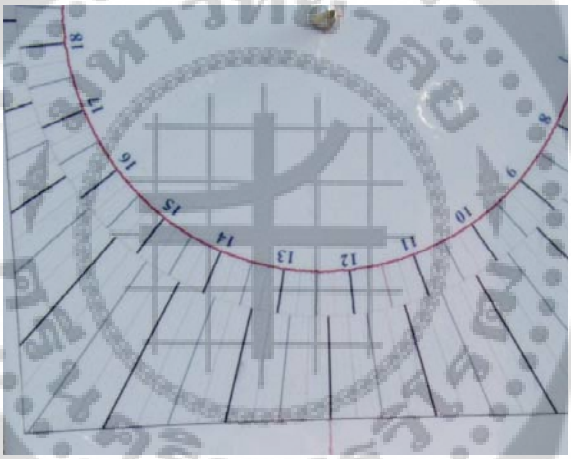
ภาพประกอบ 142 เวลานาฬิกาแดด 12:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:45 น.



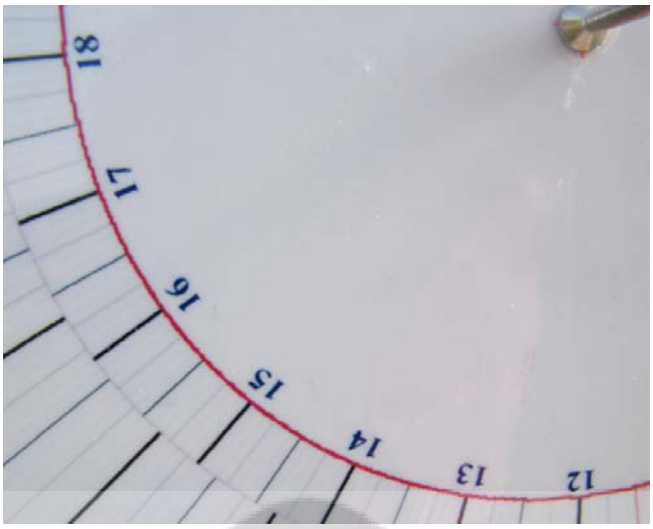
ภาพประกอบ 143 เวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:00 น.



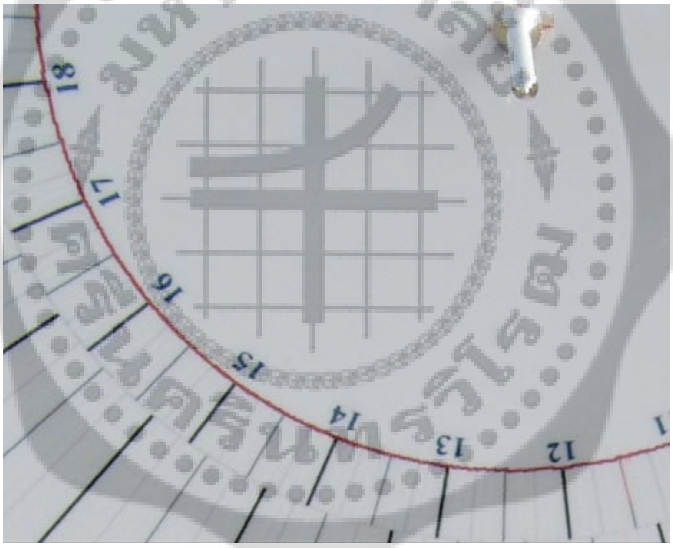
ภาพประกอบ 144 เวลานาฬิกาแดด 15:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:45 น.



ภาพประกอบ 145 เวลานาฬิกาแดด 16:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:00 น.

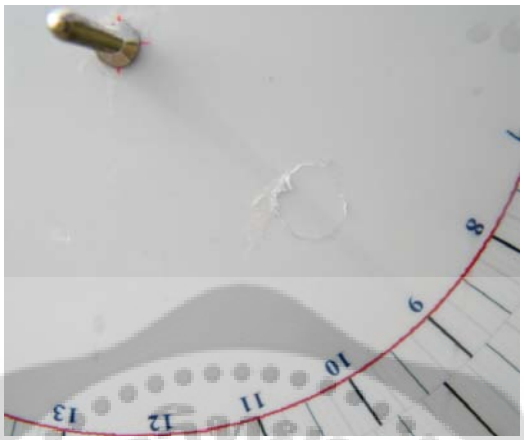


ภาพประกอบ 146 เวลานาฬิกาแดด 16:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:15 น.

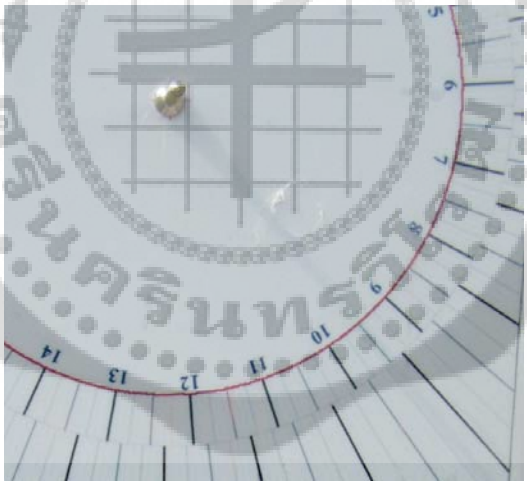


ภาพประกอบ 147 เวลานาฬิกาแดด 16:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:30 น.

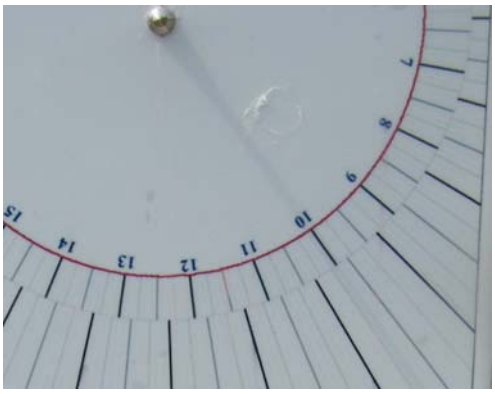
ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันพุธที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2556 สมการเวลา 21 นาที 22 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที



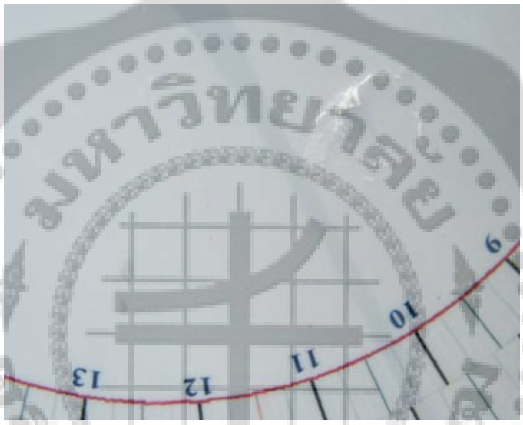
ภาพประกอบ 148 เวลานาฬิกาแดด 09:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:00 น.



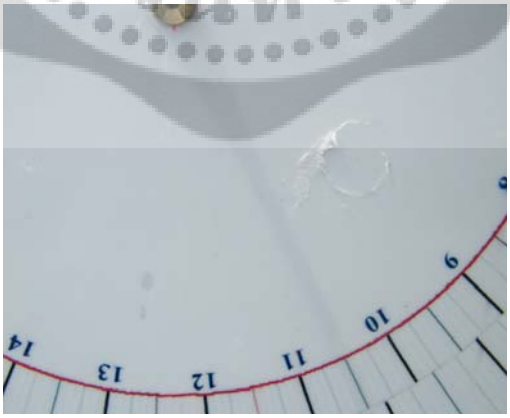
ภาพประกอบ 149 เวลานาฬิกาแดด 09:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:30 น.



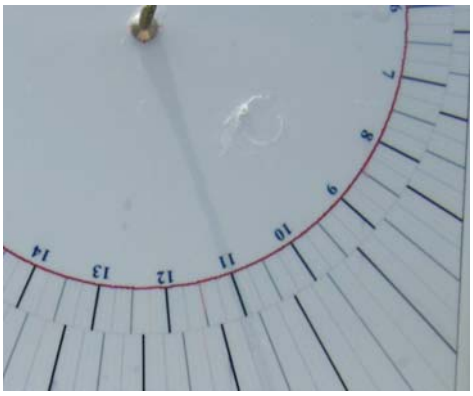
ภาพประกอบ 150 เวลานาฬิกาแดด 10:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:00 น.



ภาพประกอบ 151 เวลานาฬิกาแดด 10:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:15 น.



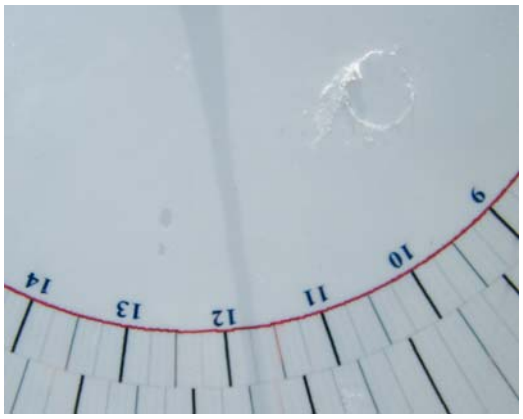
ภาพประกอบ 152 เวลานาฬิกาแดด 10:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:30 น.



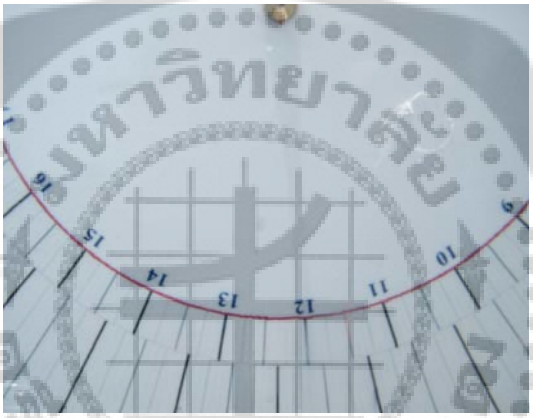
ภาพประกอบ 153 เวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:00 น.

ภาพประกอบ 154 เวลานาฬิกาแดด 11:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:15 น.

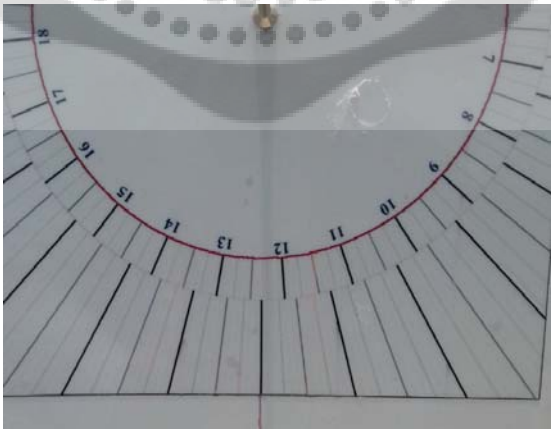
ภาพประกอบ 155 เวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:30 น.



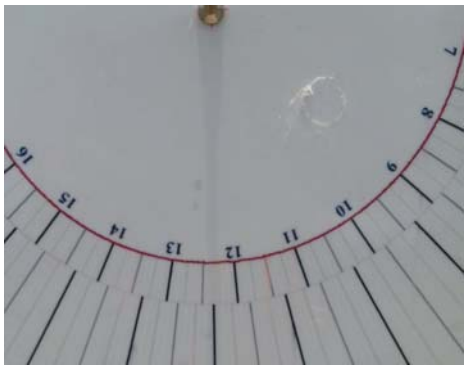
ภาพประกอบ 156 เวลานาฬิกาแดด 11:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:45 น.



ภาพประกอบ 157 เวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:00 น.

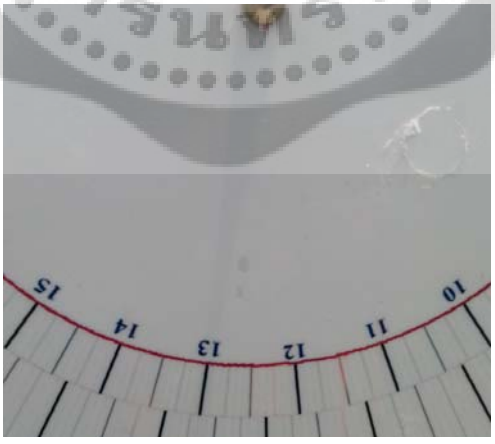


ภาพประกอบ 158 เวลานาฬิกาแดด 12:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:15 น.

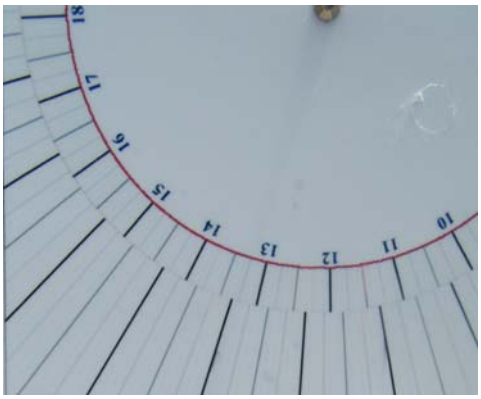


ภาพประกอบ 159 เวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:20 น.

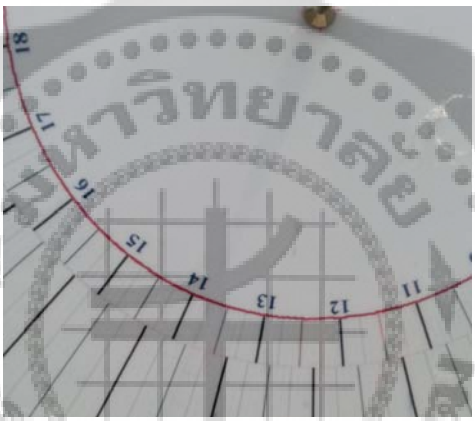
ภาพประกอบ 160 เวลานาฬิกาแดด 12:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:45 น.



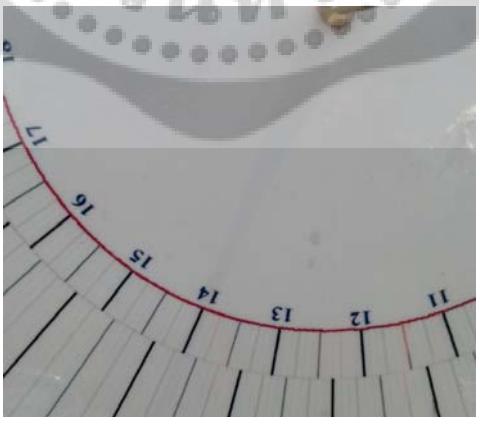
ภาพประกอบ 161 เวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:00 น.



ภาพประกอบ 162 เวลานาฬิกาแดด 13:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:15 น.

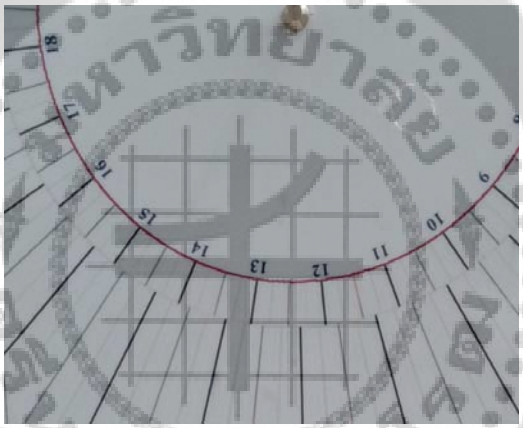


ภาพประกอบ 163 เวลานาฬิกาแดด 13:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:45 น.



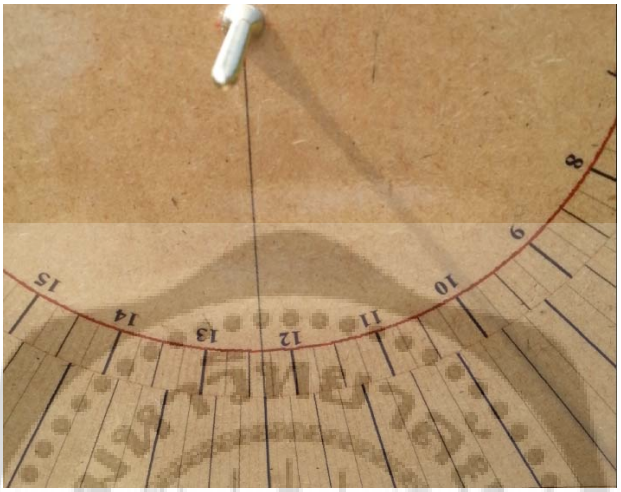
ภาพประกอบ 164 เวลานาฬิกาแดด 14:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:00 น.

ภาพประกอบ 165 เวลานาฬิกาแดด 14:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:15 น.

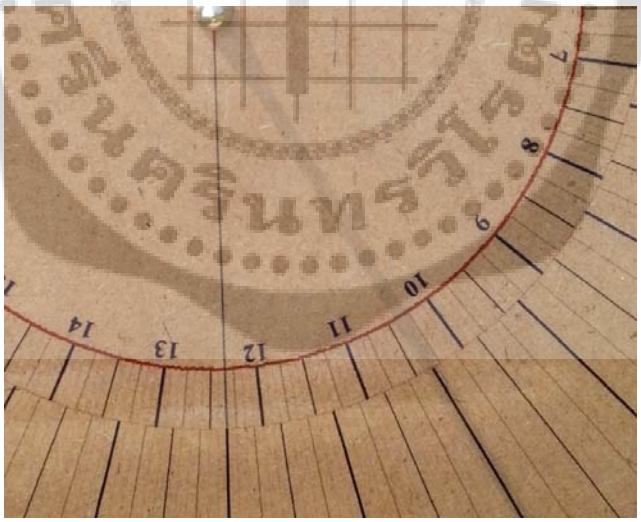


ภาพประกอบ 166 เวลานาฬิกาแดด 14:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 14:30 น.

ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันพฤหัสบดีที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2556 สมการเวลา 21 นาที 5 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที
ผู้วิจัยได้วางแนวทิศเหนือแท้เพื่อติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรใหม่



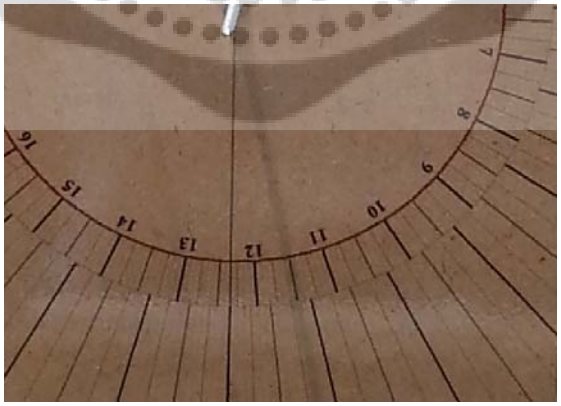
ภาพประกอบ 167 เวลานาฬิกาแดด 09:50 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:52 น.



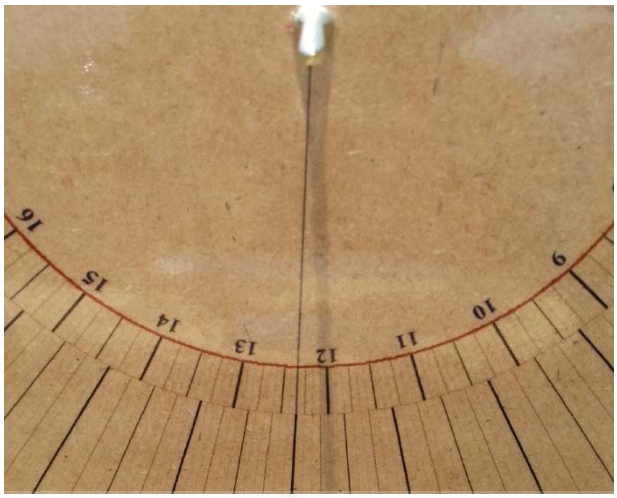
ภาพประกอบ 168 เวลานาฬิกาแดด 10:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:22 น.

ภาพประกอบ 169 เวลานาฬิกาแดด 10:40 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:42 น.

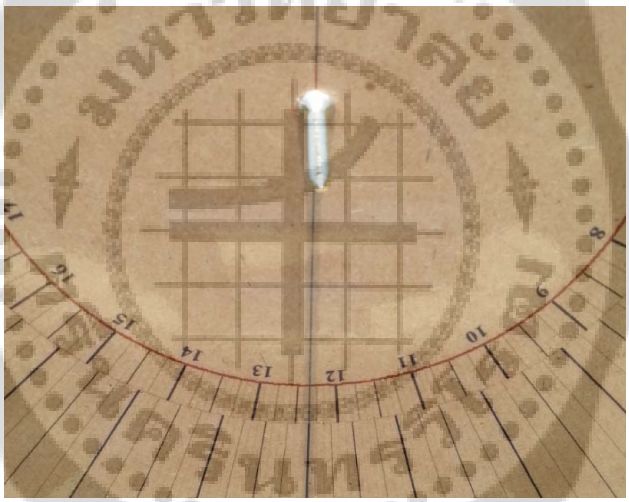
ภาพประกอบ 170 เวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:02 น.



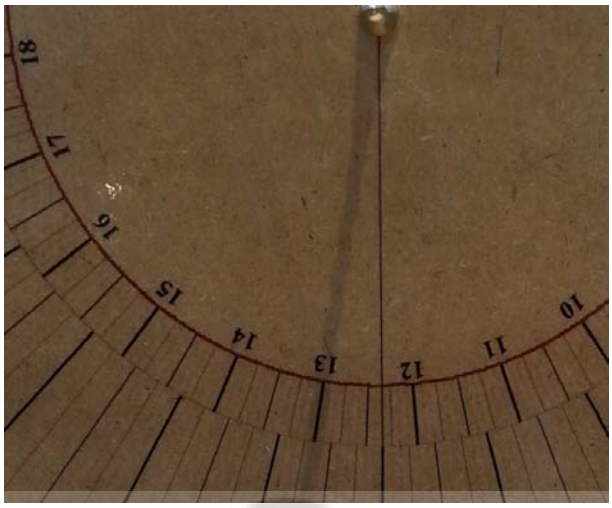
ภาพประกอบ 171 เวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:32 น.



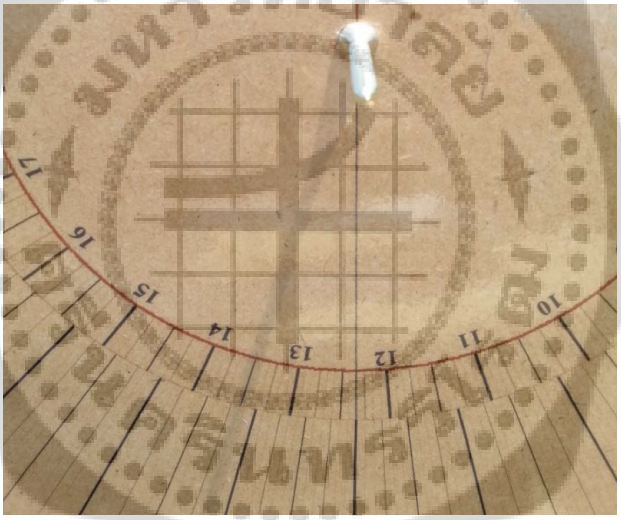
ภาพประกอบ 172 เวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:02 น.



ภาพประกอบ 173 เวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:22 น.

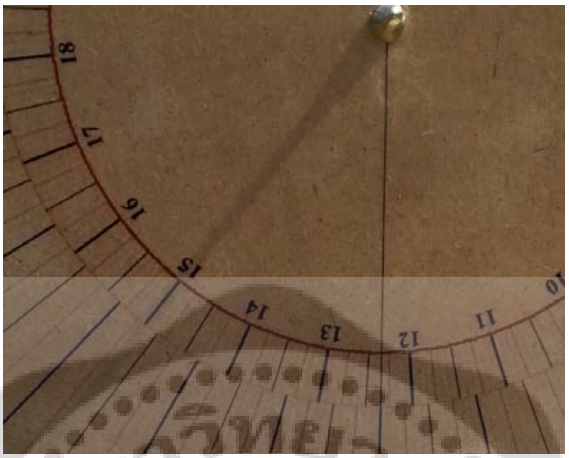


ภาพประกอบ 174 เวลานาฬิกาแดด 13:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:02 น.

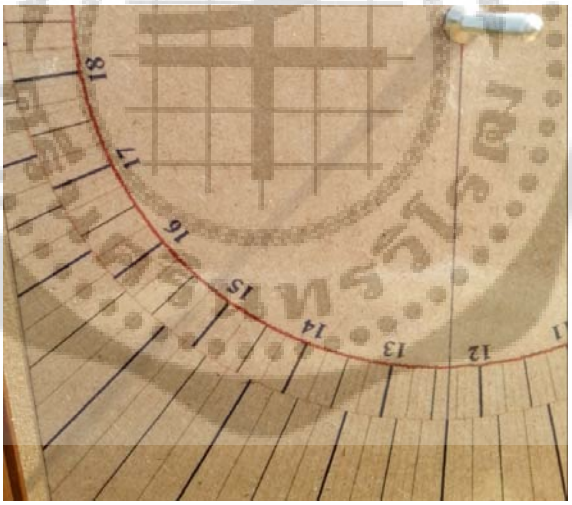


ภาพประกอบ 175 เวลานาฬิกาแดด 13:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 13:32 น.

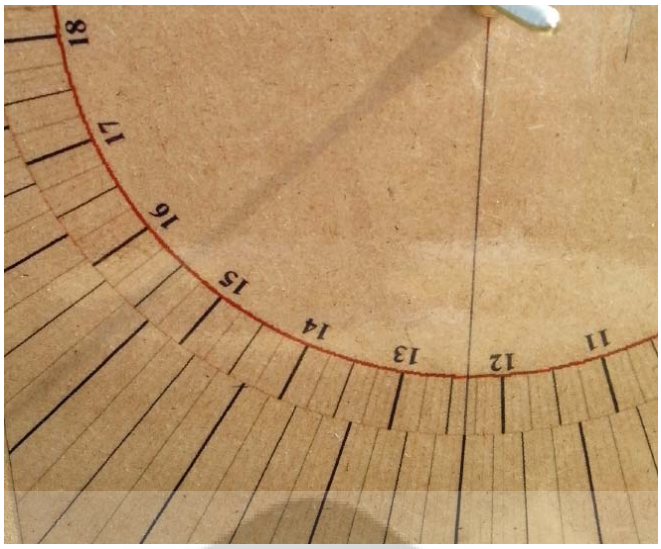
ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันศุกร์ที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2556 สมการเวลา 20 นาที 47 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที



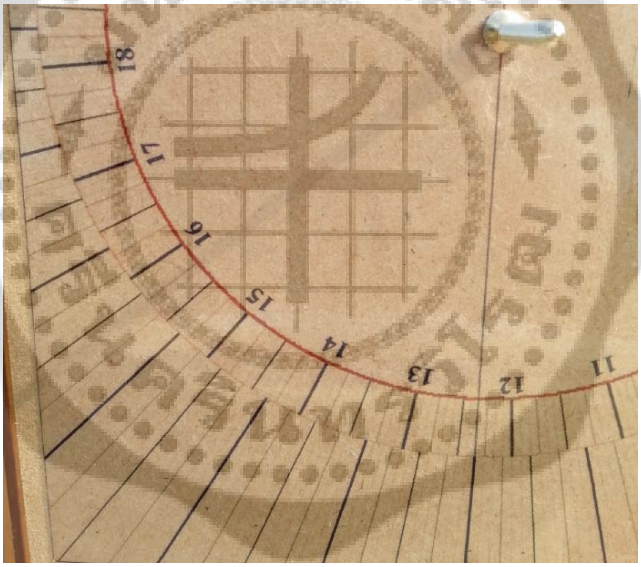
ภาพประกอบ 176 เวลานาฬิกาแดด 15:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:02 น.



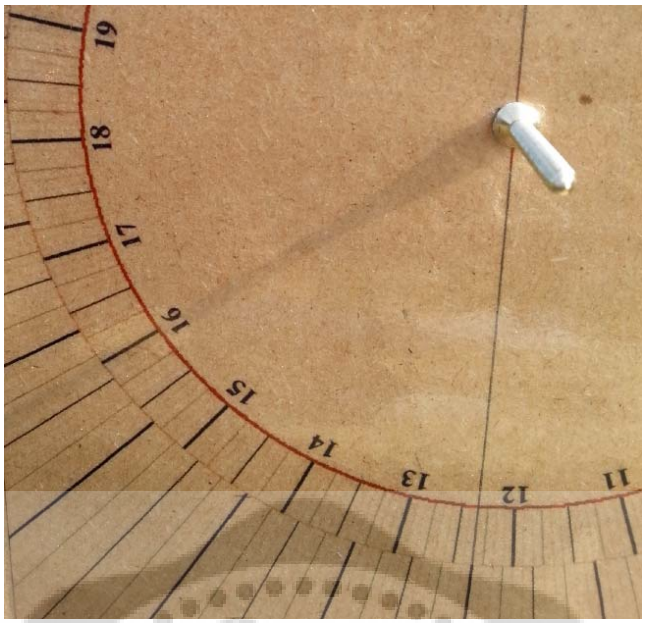
ภาพประกอบ 177 เวลานาฬิกาแดด 15:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:17 น.



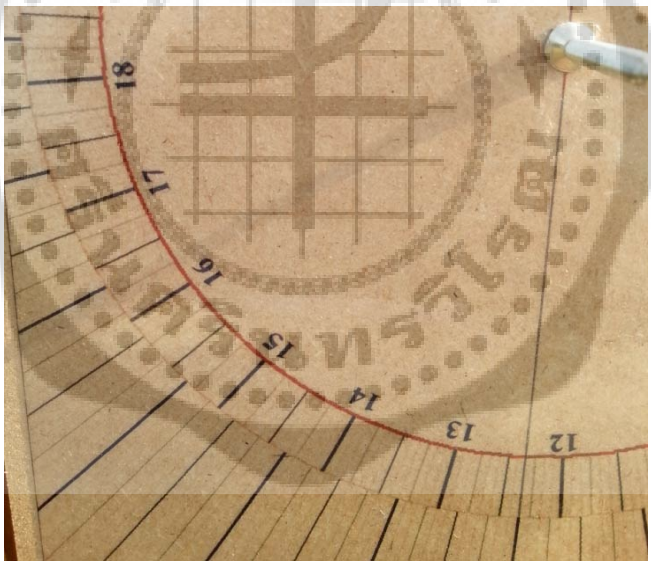
ภาพประกอบ 178 เวลานาฬิกาแดด 15:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:32 น.



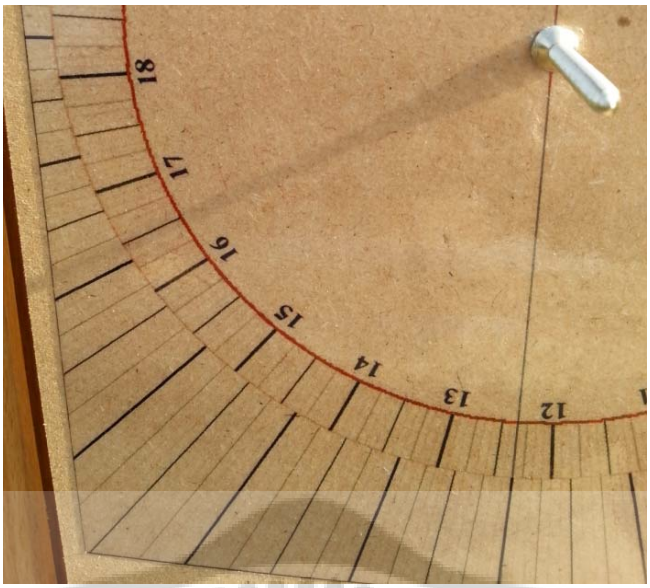
ภาพประกอบ 179 เวลานาฬิกาแดด 15:45 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 15:47 น.



ภาพประกอบ 180 เวลานาฬิกาแดด 16:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:02 น.

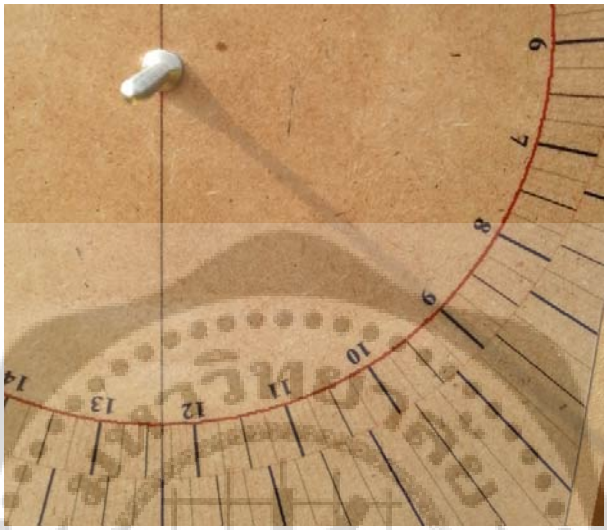


ภาพประกอบ 181 เวลานาฬิกาแดด 16:15 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:15 น.

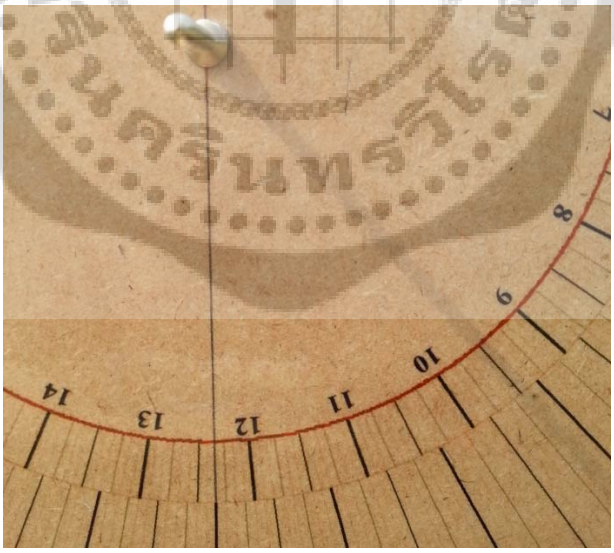


ภาพประกอบ 182 เวลานาฬิกาแดด 16:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 16:32 น.

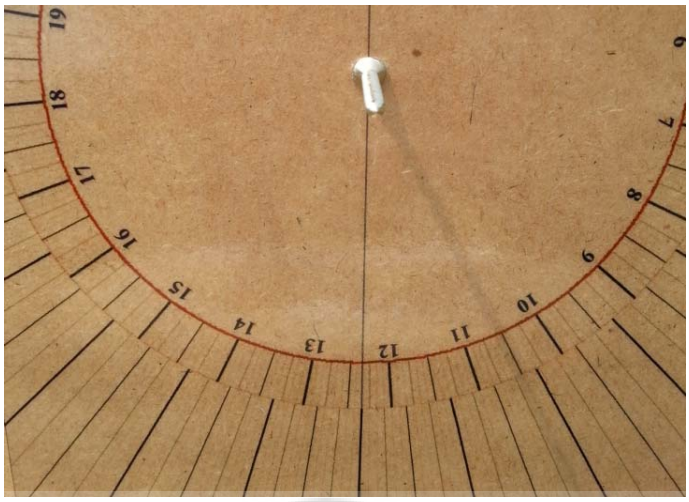
ภาพประกอบแสดงการทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเทียบกับ
เวลามาตรฐานประเทศไทย วันเสาร์ที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2556 สมการเวลา 20 นาที 30 วินาที
ชดเชยเวลาหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที



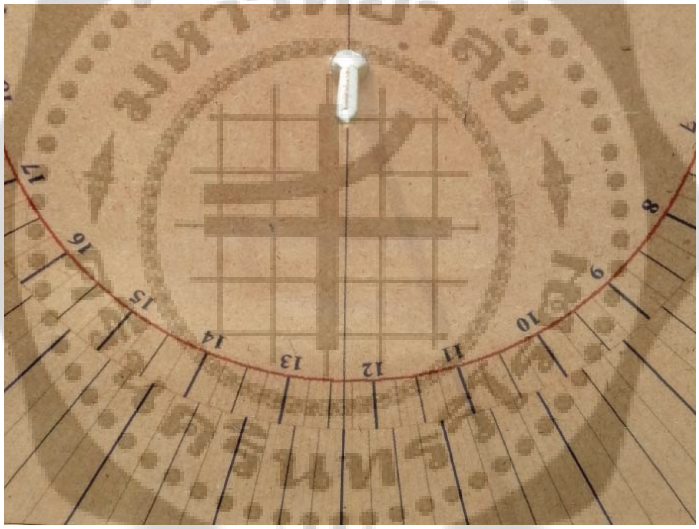
ภาพประกอบ 183 เวลานาฬิกาแดด 09:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:01 น.



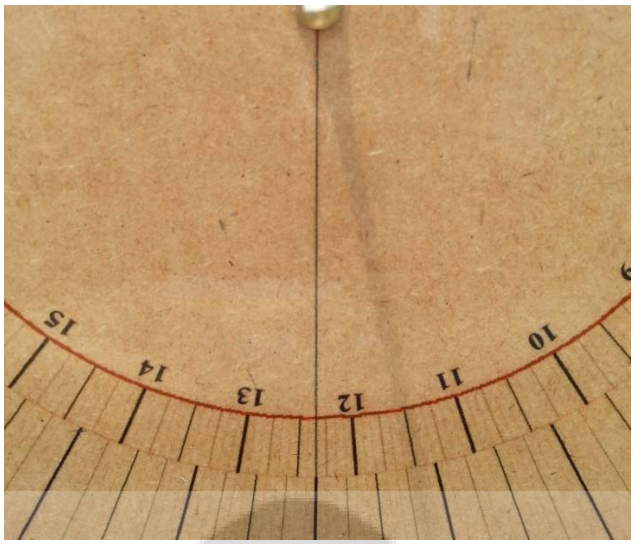
ภาพประกอบ 184 เวลานาฬิกาแดด 09:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 09:31 น.



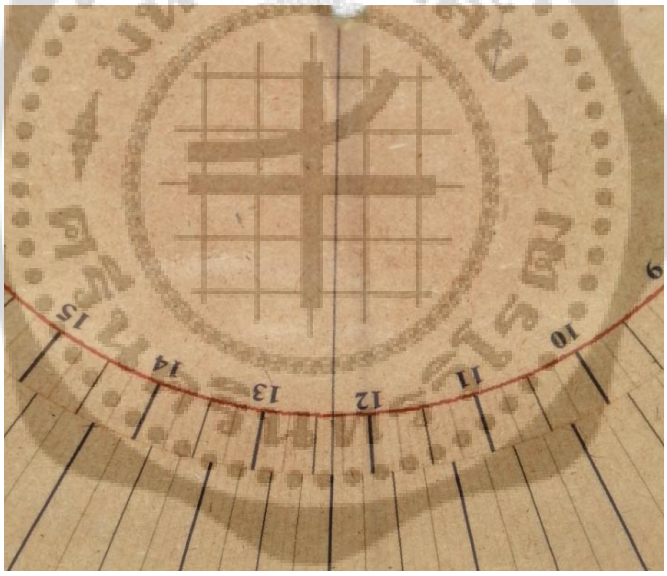
ภาพประกอบ 185 เวลานาฬิกาแดด 10:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 10:31 น.



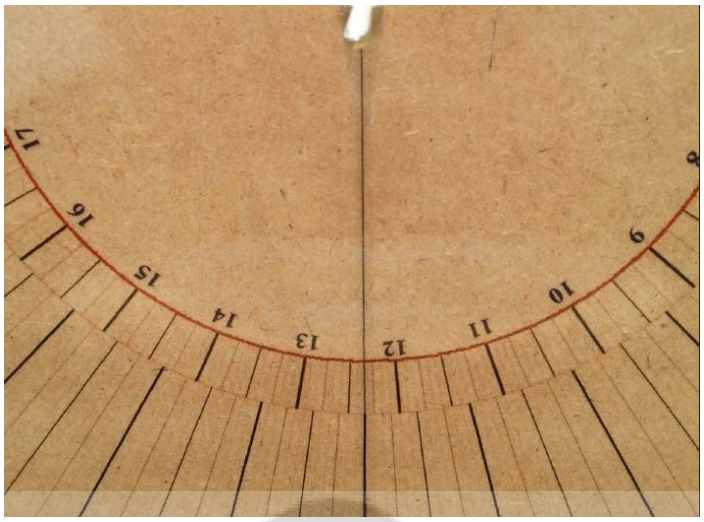
ภาพประกอบ 186 เวลานาฬิกาแดด 11:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:01 น.



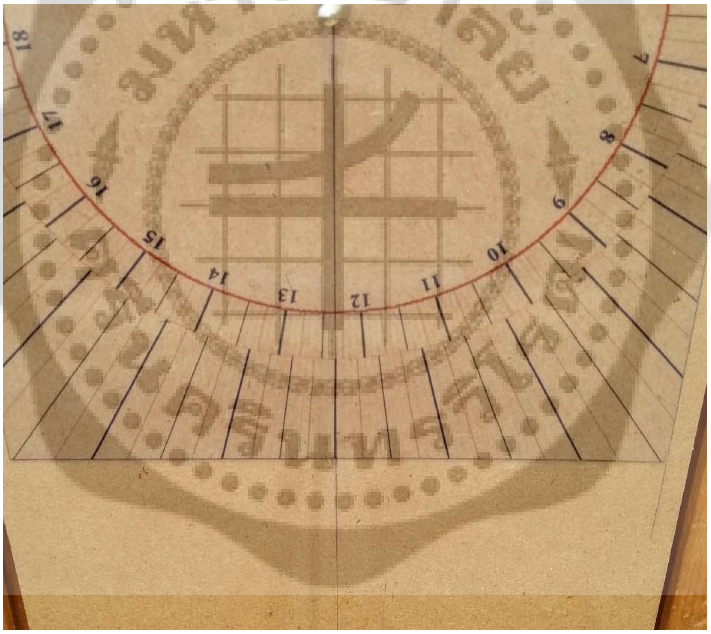
ภาพประกอบ 187 เวลานาฬิกาแดด 11:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 11:31 น.



ภาพประกอบ 188 เวลานาฬิกาแดด 12:00 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:01 น.



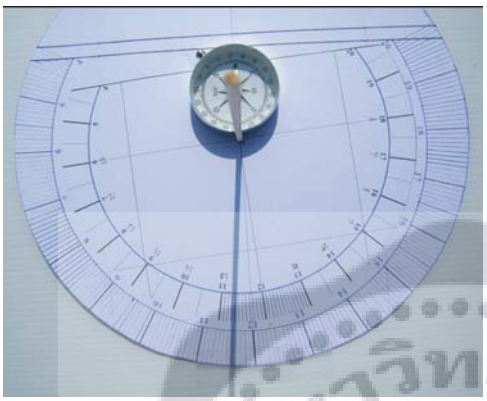
ภาพประกอบ 189 เวลานาฬิกาแดด 12:20 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:21 น.



ภาพประกอบ 190 เวลานาฬิกาแดด 12:30 น. เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย 12:31 น.

ภาพแสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดศูนย์สูตรแบบต่าง ๆที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อทดลองออกแบบพัฒนาและนำไปติดตั้งสำหรับอ่านเวลานาฬิกาแดดเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย

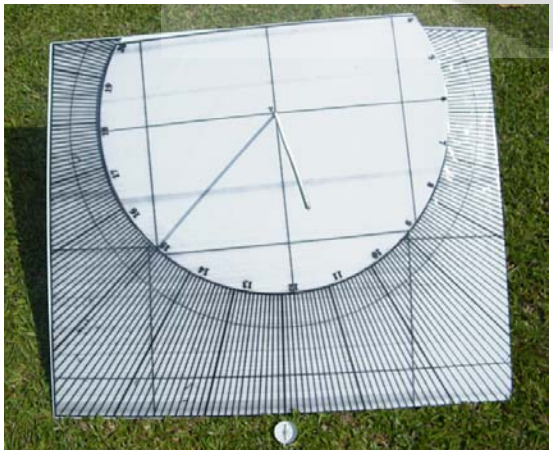
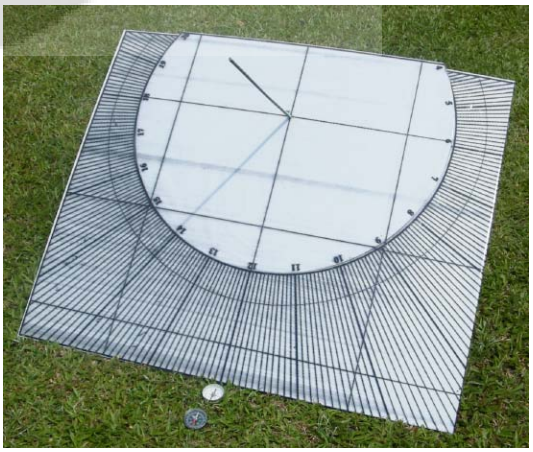
นาฬิกาแดดแบบที่ 1



ภาพประกอบ 191 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 1

จากการทดลองออกแบบหน้าปัดนาฬิกาแดดที่สามารถหมุนปรับได้เพื่อชดเชยเวลาโดยนำหน้าปัดวางซ้อนกันสองชิ้น ประดิษฐ์ขึ้นจากกระดาษและฟิวเจอร์บอร์ดเมื่อนำไปทดลองอ่านค่านาฬิกาแดดพบว่าเวลานาฬิกาแดดที่อ่านได้มีคลาดเคลื่อนมากเนื่องจากการวางแนวขั้วฟ้าเหนือและระนาบหน้าปัดไม่ถูกต้องและโครงสร้างของนาฬิกาแดดไม่แข็งแรงเมื่อมีลมพัดก็มีการเคลื่อนขยับ

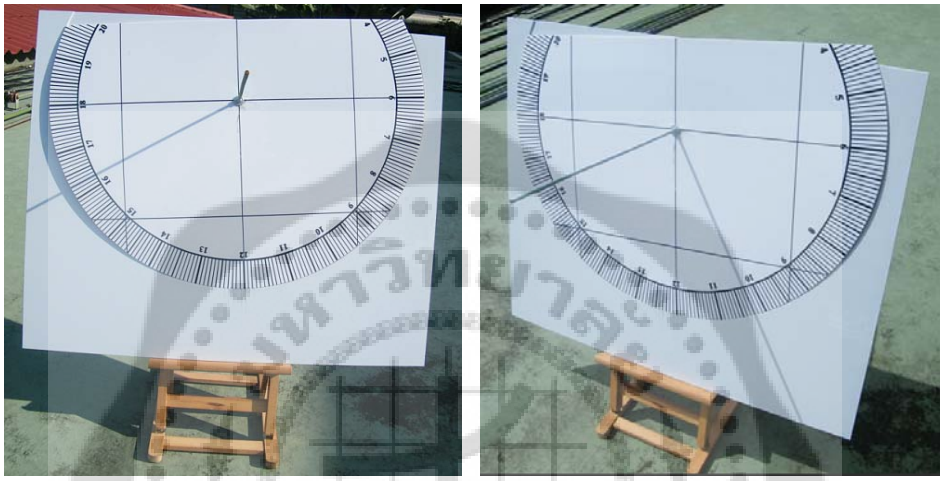
นาฬิกาแดดแบบที่ 2

ภาพประกอบ 192 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 2

จากการออกแบบหน้าปัดนาฬิกาแดดเป็นครั้งที่สองและนำไปทดลองติดตั้งเพื่ออ่านค่าเวลานาฬิกาแดดพบว่าเวลานาฬิกาแดดที่อ่านได้มีคลาดเคลื่อนมากเนื่องจากการวางแนวขั้วฟ้าเหนือหรือทิศเหนือแท้ให้ถูกต้องได้ยากและระนาบหน้าปัดนาฬิกาแดดที่ประดิษฐ์ขึ้นเวลาติดตั้งยังไม่ขนานกับเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า

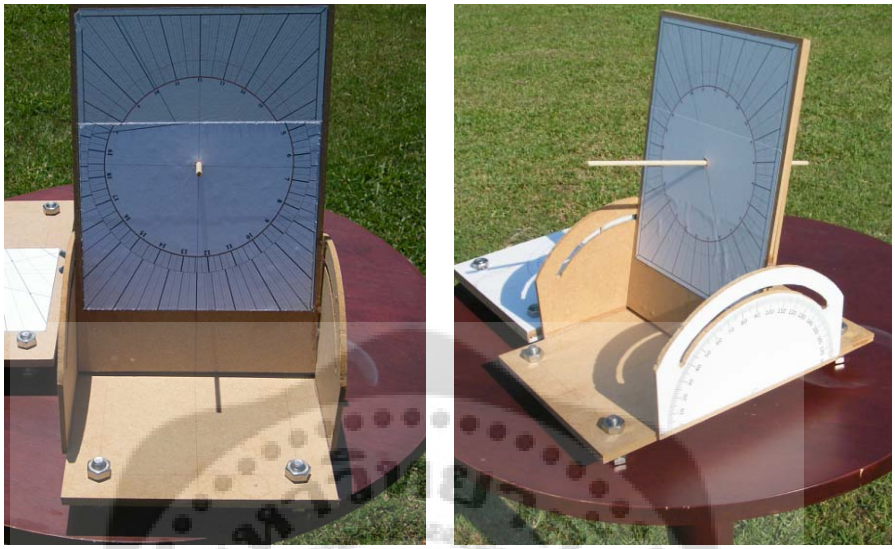
นาฬิกาแดดแบบที่ 3



ภาพประกอบ 193 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 3

จากการปรับปรุงและพัฒนานาฬิกาแดดขึ้นใหม่ครั้งที่สาม เมื่อนำไปติดตั้งเพื่ออ่านเวลานาฬิกาแดด พบว่าสามารถอ่านเวลาได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นเนื่องจากสามารถวางระนาบหน้าปัดนาฬิกาแดดให้ขนานกับเส้นศูนย์ฟ้าได้ถูกต้องมากขึ้นแต่จะประสบปัญหาการวางแนวขั้วฟ้าเหนือให้ถูกต้องไม่ละเอียดพอเนื่องจากขนาดนาฬิกาแดดมีขนาดใหญ่ทำให้การเขียนแนวของสันกำเนิดเงามีความคลาดเคลื่อน

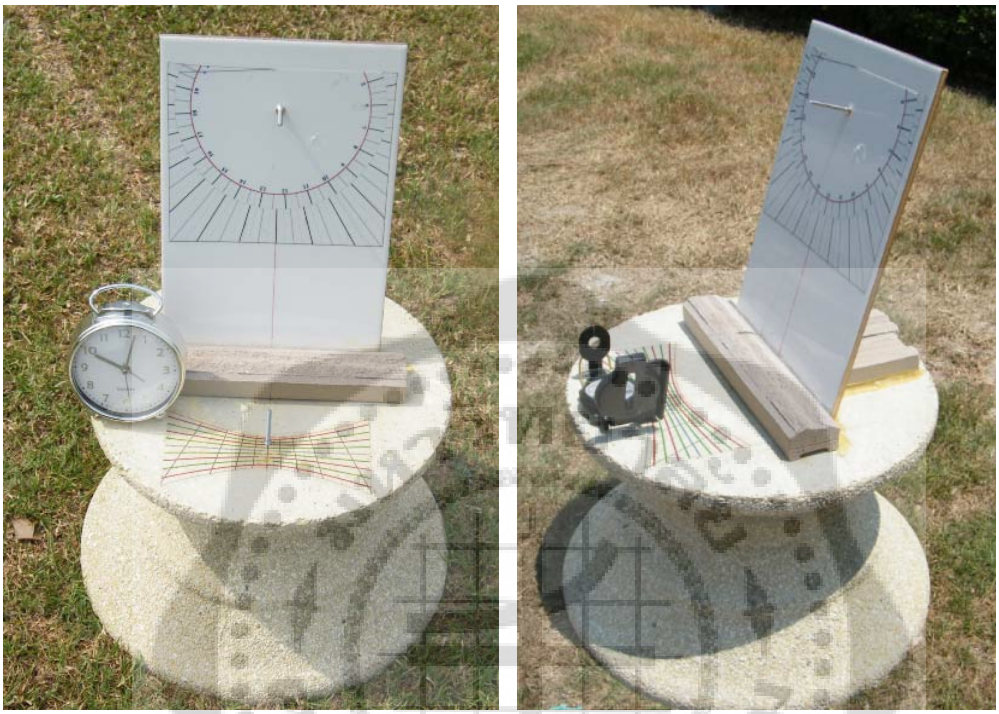
นาฬิกาแดดแบบที่ 4



ภาพประกอบ 194 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 4

จากการออกแบบนาฬิกาแดดครั้งที่สีโดยได้พัฒนาให้ฐานของนาฬิกาแดดสามารถปรับระดับได้และหน้าปัดนาฬิกาสามารถปรับค่าให้เอียงเป็นค่ามุมต่าง ๆ ได้ เมื่อนำไปทดลองติดตั้งเพื่ออ่านค่าเวลานาฬิกาแดดพบว่าสามารถอ่านค่าเวลาได้ถูกต้องมากขึ้นเนื่องจากสามารถติดตั้งให้สันกำเนิดเงาของนาฬิกาแดดวางแนวขั้วฟ้าเหนือได้ถูกต้องมากขึ้น และจากการศึกษาและทดลองพบว่านาฬิกาแดดที่ติดตั้งคลาดเคลื่อนจากแนวขั้วฟ้าเหนือหรือทิศเหนือประมาณ 40 ลิปดา

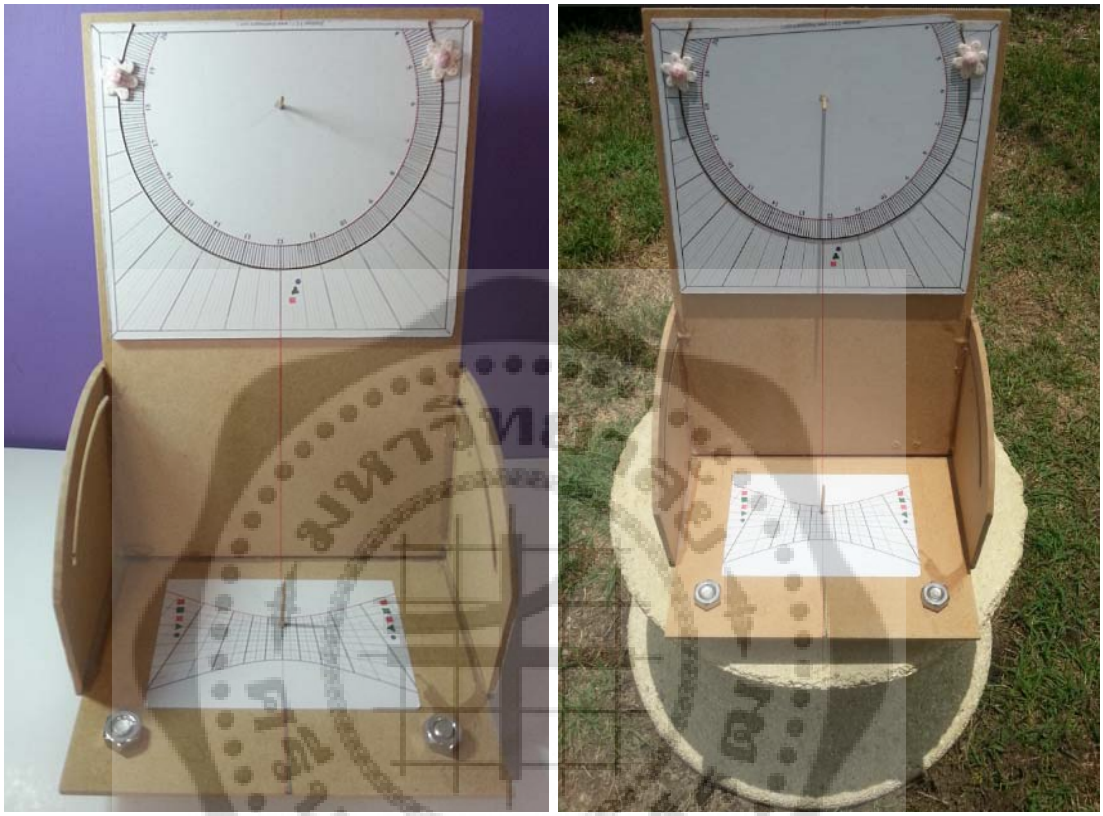
นาฬิกาแดดแบบที่ 5



ภาพประกอบ 195 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 5

จากการออกแบบนาฬิกาแดดครั้งที่ห้าซึ่งได้ปรับปรุงและพัฒนาวิธีในการวางแนวของสันกำเนิดเงาให้ชี้ไปตามขั้วฟ้าเหนือหรือทิศเหนือแท้ได้ถูกต้องโดยชดเชยค่าเบี่ยงเบนเข็มทิศแม่เหล็ก 41 ลิปดาตะวันตก เมื่อเทียบกับทิศเหนือแท้ และติดตั้งหน้าปัดนาฬิกาแดดให้เอียงเท่ากับค่าละติจูดของโรงเรียนจิตรลดา คือ $13^{o}\ 46^{/}$ จากแนวดิ่งได้ถูกต้องนำนาฬิกาแดดไปทดลองอ่านค่าเวลานาฬิกาแดดพบว่า สามารถอ่านเวลาได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นโดยมีความคลาดเคลื่อนของเวลานาฬิกาแดดเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทยไม่เกินสามนาทีได้ เมื่อหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยสมการเวลาตามค่ามุมเดคลิเนชันดวงอาทิตย์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น

นาฬิกาแดดแบบที่ 6

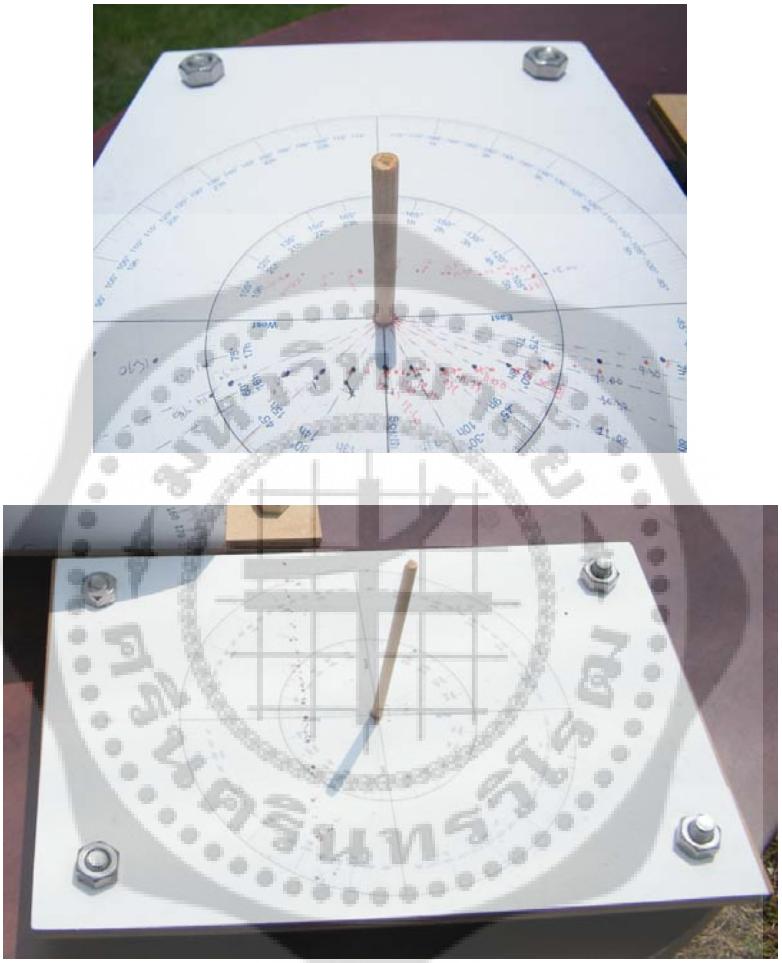


ภาพประกอบ 196 แสดงหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบที่ 6

จากการออกแบบนาฬิกาแดดครั้งที่หกได้ออกแบบให้หน้าปัดนาฬิกาแดดสามารถหมุนปรับได้และอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ได้ติดตั้งรวมอยู่กับนาฬิกาแดด เมื่อนำไปติดตั้งและทดลองอ่านเวลานาฬิกาแดดพบว่าสามารถอ่านค่าเวลานาฬิกาแดดได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นโดยมีความคลาดเคลื่อนของเวลานาฬิกาแดดเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทยไม่เกินสามนาที เมื่อมีการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาให้สัมพันธ์กับสัญลักษณ์บนอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์

ภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อทดลองออกแบบและนำไปติดตั้งสำหรับปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยสมการเวลา

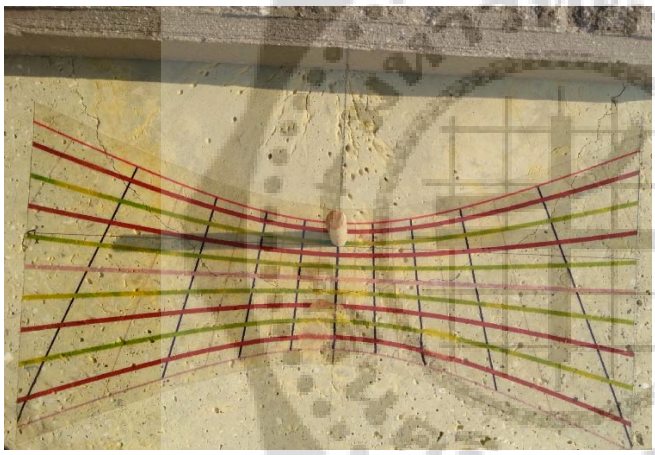
อุปกรณ์ตรวจวัดมุมเดคลิเนชันแบบที่ 1

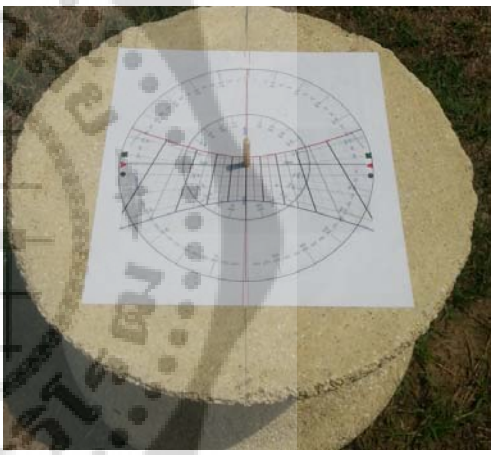


ภาพประกอบ 197 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์แบบที่ 1

จากการทดลองออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์โดยให้สันกำเนิดเงาตั้งฉากกับหน้าปัดแนวราบ และได้คำนวณหาความยาวของเงาที่เกิดขึ้นที่เวลาใด ๆ จากค่ามุมอัลติจูดและมุมอาซิมุธ ในแต่ละวันแล้วแสดงเป็นแนวจุด และนำไปทดลองหาจุดตำแหน่งปลายของเงาที่ได้จากดวงอาทิตย์พบว่าจุดปลายและความยาวของเงาที่ได้จากสันกำเนิดเงาของจากดวงอาทิตย์มีความยาวใกล้เคียงกับความยาวของเงาที่ได้จากการคำนวณ

อุปกรณ์ตรวจวัดมุมเดคลิเนชันแบบที่ 2





ภาพประกอบ 198 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์แบบที่ 2

จากการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์แบบที่สองได้พัฒนาและปรับปรุงโดยแสดงค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันด้วยแนวเส้นโค้งซึ่งแสดงด้วยเส้นสีเขียวและสีแดง พร้อมทั้งกำหนดสัญลักษณ์รูปวงกลม สามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยม เพื่อใช้สำหรับหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดด พบว่าปลายของเงาที่เกิดจากสันกำเนิดเงาทอดลงไปอยู่ใกล้เคียงกับตำแหน่งแนวเส้นโค้งของมุมเดคลิเนชันที่ได้สร้างขึ้นในแต่ละวันได้

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าวิธีการประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรตามรูปแบบนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรของมหาวิทยาลัยโคโลราโดประเทศสหรัฐอเมริกาและคำนวณหาสมการเวลา ณ ตำแหน่งโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร โดยผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม google earth ในการหาค่าตำแหน่งละติจูดของโรงเรียนจิตรลดา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 13^{o} $46^{/}$ เหนือ และค่าลองจิจูดซึ่งมีค่าเท่ากับ 100^{o} $31^{/}$ ตะวันออก แล้วนำไปคำนวณหาสมการเวลาและการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูด ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Shadows pro ช่วยในการออกแบบหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร และใช้โปรแกรม Photoshop CS3 ช่วยในการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาจากสมการเวลานอกจากนี้ยังได้ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ช่วยในการชดเชยเวลาให้มีความถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น ในที่สุดจึงได้นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาทีเมื่อมีการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตามสัญลักษณ์ที่สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ทดลองสร้างและออกแบบหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร ในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Shadows pro และโปรแกรม Photoshop CS3

2. สร้างหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร เพื่อนำไปทดลองอ่านค่าเวลาของนาฬิกาแดด

3. ศึกษาและค้นคว้าหาข้อมูลค่าละติจูด ค่าลองจิจูดของสถานที่หรือตำแหน่งสำหรับติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น ในการวิจัยนี้ได้เลือกสถานที่สำหรับติดตั้งนาฬิกาแดด คือ โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร วิธีการหาค่าละติจูดค่าลองจิจูดของโรงเรียนจิตรลดาได้ใช้โปรแกรม google earth

4. ปรับเทียบเวลามาตรฐานประเทศไทย ผ่านทางระบบให้บริการเวลามาตรฐานทางอินเตอร์เน็ตของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ แล้วปรับตั้งเวลาในกล้องถ่ายรูปดิจิทัลให้ตรงกับเวลาของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้ปรับเทียบเวลามาตรฐานประเทศไทยผ่านทางระบบอินเตอร์เน็ตของกรมอุทกศาสตร์ กองทัพเรือ ให้เรียบร้อยเพื่อนำไปบันทึกผลการทดลองอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น

5. ศึกษาและค้นคว้าการสร้างแนวเพื่อหาแนวทิศเหนือแท้จากการใช้เข็มทิศแม่เหล็กโดยใช้โปรแกรมการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนของเข็มทิศแม่เหล็กของตำแหน่งโรงเรียนจิตรลดาเพื่อติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น โดยให้สันกำเนิดเงาชี้ไปที่ตำแหน่งของขั้วฟ้าเหนือหรือทิศเหนือแท้

6. ออกแบบหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดได้เพื่อชดเชยเวลาเนื่องตำแหน่งของลองจิจูด และชดเชยเวลาจากสมการเวลา เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีและแกนโลกเอียง 23.5 องศากับแนวตั้งฉากระนาบวงโคจรของโลกรอบ

ดวงอาทิตย์ แล้วทดลองนำนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ได้สร้างขึ้นใหม่โดยสามารถหมุนปรับหน้าปัดได้ไปติดตั้งเพื่ออ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดด โดยประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรจำนวนหกแบบ และได้นำไปทดสอบเพื่อหาความคลาดเคลื่อนจำนวนสองแบบ

7. ออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์โดยใช้การคำนวณหาจุดปลายของเงาที่เกิดจากสันกำเนิดเงาในแต่ละวันโดยใช้มุมแอซิมัทและมุมอัลติจูดในแต่ละช่วงเวลาเพื่อคำนวณหาความยาวของเงาที่จะเกิดขึ้นแล้วแสดงเป็นจุดเรียงต่อกันเป็นแนวของเส้นโค้งแทนค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ แล้วใช้โปรแกรม Shadows pro ช่วยสร้างแนวเส้นโค้งเพื่อแสดงค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์บนอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์จำนวนสองแบบและได้นำไปใช้งานจริงเพียงหนึ่งแบบ

8. นำอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์และนาฬิกาแดดที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นไปทดลองวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์และอ่านเวลาจากนาฬิกาแดดเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทยโดยติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันและนาฬิกาแดดในแนวทิศเหนือจริง โดยวางเข็มทิศให้ชี้ไปทางทิศตะวันออกประมาณ 1 องศา เพื่อชดเชยมุมระหว่างทิศเหนือแท้กับทิศเหนือแม่เหล็ก

9. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อนำผลที่ได้ไปปรับปรุงและสร้างนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่มีคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที เมื่อมีการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตามสัญลักษณ์ที่สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ สำหรับโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร นำเสนอผลการวิจัยพร้อมทั้งเผยแพร่ข้อมูลการวิจัย

สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบและประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่สามารถหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดและสมการเวลาให้สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ โดยได้ออกแบบและประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ซึ่งแสดงเป็นแนวของเส้นโค้งและสัญลักษณ์เพื่อแทนค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ แล้วนำไปทดลองอ่านค่าเวลานาฬิกาแดดพบว่า

1. นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่หมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการเวลา 25 นาที โดยกำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปวงกลม ให้สัมพันธ์กับเงาและค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 องศา โดยแสดงเป็นแนวเส้นตรงสีน้ำเงินตรงกึ่งกลางของอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปวงกลมสามารถอ่านค่าเวลาได้ใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทย โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาทีได้ โดยเวลาที่ได้จากนาฬิกาแดดในวันที่ 22 - 23 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2556 อ่านค่าเวลาได้แตกต่างกับเวลามาตรฐานประเทศไทย 1 - 2 นาทีตามตารางและกราฟแสดงผลการทดลองในบทที่สี่

2. นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่หมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการเวลา 20 นาที โดยกำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยม ให้สัมพันธ์กับเงาและค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ซึ่งมีค่าเท่ากับ +5 องศา โดยแสดงเป็นแนวเส้นโค้งสีเขียวแรกจากแนวกึ่งกลางของอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปสามเหลี่ยม สามารถอ่านค่าเวลาได้ใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทยโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 นาทีได้ โดยเวลาที่ได้จากนาฬิกาแดดในวันที่ 31 มีนาคม ถึง วันที่ 6 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556 อ่านค่าเวลาได้แตกต่างกับเวลามาตรฐานประเทศไทย 1 - 3 นาที ดังตารางและกราฟแสดงผลการทดลองในบทที่สี่

3. นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่หมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องสมการเวลา 15 นาที โดยกำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยม ให้สัมพันธ์กับเงาและค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ซึ่งมีค่าเท่ากับ +10 องศา โดยแสดงเป็นแนวเส้นโค้งสีแดงที่สองจากแนวกึ่งกลางของอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้มีสัญลักษณ์เป็นรูปสี่เหลี่ยม สามารถอ่านค่าเวลาได้ใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทยโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 นาทีได้ โดยเวลาที่ได้จากนาฬิกาแดดใน 20 - 21 เดือน เมษายน พ.ศ. 2556 อ่านค่าเวลาได้แตกต่างกับเวลามาตรฐานประเทศไทย 1 - 2 นาที ตามตารางและกราฟแสดงผลการทดลองในบทที่สี่

4. จากการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์โดยแสดงเป็นแนวเส้นโค้งและสัญลักษณ์รูปร่างต่าง ๆ พบว่าจุดปลายเงาของสันกำเนิดเงาที่เกิดขึ้นในแต่ละวันทอดไปตามแนวเส้นโค้งและสัญลักษณ์รูปร่างต่าง ๆ ซึ่งแสดงแทนค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้นบนอุปกรณ์ตรวจวัดเงา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดและสมการเวลาได้

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าสามารถประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่บอกเวลาได้ถูกต้องมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาทีเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย โดยการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตามสัญลักษณ์ที่สัมพันธ์กับเงาและค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ โดยผลที่ได้สอดคล้องกับผลทดลองการออกแบบนาฬิกาแดดต้นแบบของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และในการออกแบบ พัฒนา ประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรในครั้งนี้เพื่อนำไปใช้เป็นสื่อประกอบการเรียนการสอนวิชาโลก ดาราศาสตร์และอวกาศให้กับนักเรียนโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานครต่อไป

อภิปรายผลการวิจัย

จากข้อมูลแสดงผลการทดลองการอ่านค่าเวลานาฬิกาแดดเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทยตั้งแต่วันอาทิตย์ที่ 17 มีนาคม พ.ศ. 2556 ถึงวันเสาร์ที่ 23 มีนาคม พ.ศ. 2556 โดยนำนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นไปติดตั้งและทดลองอ่านค่าเวลาของนาฬิกาแดดเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย จากผลการทดลอง พบว่าช่วงวันที่ 17, 19 , 20 , 22 และ 23 มีนาคม

พ.ศ. 2556 เวลาที่อ่านได้จากนาฬิกาแดดมีคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกินสามนาทีแต่ในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 พบว่าเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกาแดดมีคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสี่นาที

จากผลการทดลองติดตั้งนาฬิกาแดดในช่วงวันเวลาดังกล่าว ทำให้พบว่าการติดตั้งนาฬิกาแดดตามแนวขั้วฟ้าเหนือมีคลาดเคลื่อนไปประมาณ 41 ลิปดาตะวันตก ผู้วิจัยจึงได้ปรับปรุงและแก้ไขการติดตั้งนาฬิกาแดดให้มีความถูกต้องและนำนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรไปติดตั้งและทดลองอีกครั้งในวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2556 จากผลการทดลองพบว่าสามารถอ่านเวลาได้ถูกต้องไม่เกินสามนาทีตลอดช่วงการทดลองในวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2556 ถึง วันที่ 6 เมษายน พ.ศ. 2556 โดยเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกาแดดเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทยมีคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกินสามนาที ซึ่งความไม่แน่นอนของระบบเท่ากับหนึ่งนาที ดังตารางและกราฟแสดงผลการทดลองในบทที่สี่ ในการวิจัยนี้ได้แสดงวิธีการชดเชยเวลาเนื่องจากสมการเวลา โดยการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรตามสัญลักษณ์ให้สัมพันธ์กับค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น ผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดด 25 นาที ตามค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่เท่ากับ 0 องศา เวลาจากนาฬิกาแดดและเวลามาตรฐานประเทศไทยมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากสมการเวลาของวันที่ 15 มีนาคม ถึง 26 มีนาคม พ.ศ. 2556 มีค่าเป็น 27 นาที 1 วินาที และมีค่าลดลงเรื่อย ๆ จนเป็น 23 นาที 45 วินาที และมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์มีค่าอยู่ระหว่าง −2 องศา ถึง +2 องศา มีผลทำให้ปลายของเงาที่เกิดบนอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ อยู่ใกล้กับแนวเส้นตรงสีน้ำเงินตรงกึ่งกลาง โดยมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ 0 องศา ทำให้เวลาของนาฬิกาแดดและเวลามาตรฐานประเทศไทยมีค่าแตกต่างกันประมาณสามนาที

เมื่อมีการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที ตามค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่เท่ากับ +5 องศา เวลาจากนาฬิกาแดดและเวลามาตรฐานประเทศไทยมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากสมการเวลาของวันที่ 29 มีนาคม ถึง 6 เมษายน พ.ศ. 2556 มีค่าเป็น 22 นาที 51 วินาที และมีค่าลดลงเรื่อยๆจนเป็น 20 นาที 30 วินาที และมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ก็มีค่าอยู่ระหว่าง +4 องศาถึง +7 องศา มีผลทำให้ปลายของเงาที่เกิดบนอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ อยู่ใกล้กับแนวเส้นโค้งสีเขียวแรกถัดจากเส้นตรงสีน้ำเงินแนวกึ่งกลางโดยมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ +5 องศา ทำให้เวลาของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นและเวลามาตรฐานประเทศไทยมีค่าแตกต่างกันประมาณสามนาที

เมื่อมีการหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดด 15 นาที ตามค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่เท่ากับ +10 องศาเวลาจากนาฬิกาแดดและเวลามาตรฐานประเทศไทยมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากสมการเวลาของวันที่ 20-21 เมษายน พ.ศ. 2556 มีค่าเป็น 17 นาที 2 วินาที และมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนเป็น 16 นาที 50 วินาที และมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ที่ได้ก็มีค่าอยู่ระหว่าง +11 องศา ถึง +12 องศามีผลทำให้ปลายของเงาที่เกิดบนอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์

อยู่ใกล้กับแนวเส้นโค้งสีแดงที่สองถัดจากเส้นตรงสีน้ำเงินแนวกึ่งกลางโดยมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เท่ากับ +10 องศา ทำให้เวลาของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นและเวลามาตรฐานประเทศไทยมีค่าแตกต่างกันประมาณสามนาที ดังตารางและกราฟแสดงผลการทดลองในบทที่สี่

จากการออกแบบประดิษฐ์และพัฒนานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรนี้จะเห็นได้ว่าสามารถบอกเวลาได้ถูกต้องแม่นยำมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาทีเมื่อเทียบกับเวลามาตรฐานประเทศไทย และสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกและง่ายเมื่อเทียบกับการอ่านเวลานาฬิกาแดดที่สำนักงานโครงการอุทยานวิทยาศาสตร์พระจอมเกล้า ณ หว้ากอ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เนื่องจากการอ่านเวลานาฬิกาแดดที่โครงการอุทยานวิทยาศาสตร์พระจอมเกล้าฯ จะต้องนำเวลาที่ได้จากหน้าปัดนาฬิกาแดด ณ เวลานั้นไปบวกเข้ากับสมการเวลาของแต่ละวันจึงจะบอกเวลามาตรฐานประเทศไทยได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับนาฬิกาแดดต้นแบบของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่กับนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นพบว่าสามารถบอกเวลาได้ถูกต้องแม่นยำใกล้เคียงกันโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาที แต่ที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ใช้การชดเชยเวลานาฬิกาแดดเนื่องจากลองจิจูดและการชดเชยเวลาเนื่องจากสมการเวลาค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนกว่า ซึ่งต้องใช้กราฟสมการเวลาสอดเข้าไปในช่องแผ่นไดอัลโดยให้เส้นเวลา 0 นาทีตรงกับสเกล 20 นาที 36 วินาที ที่ต้องการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดแล้วยึดกราฟสมการเวลาให้มั่นคง เสร็จแล้วก็ชดเชยเวลาเนื่องจากสมการเวลาโดยคลายน๊อตที่ยึดแผ่นไดอัลเพลทให้หลวมแล้วหมุนไดอัลเพลทให้เส้นชั่วโมง12:00 ตรงกับเส้นกราฟสมการเวลาที่ตรงกับตำแหน่งวันและเดือนในปัจจุบันที่ทำการอ่านเวลานาฬิกาแดด จึงจะบอกเวลานาฬิกาแดดได้ใกล้เคียงกับนาฬิกาข้อมือ ส่วนนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้จะใช้การหมุนปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดโดยให้สัญลักษณ์บนหน้าปัดนาฬิกาแดดสัมพันธ์กับสัญลักษณ์บนอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์เป็นช่วงเวลาแทนการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดและการชดเชยเวลาจากสมการเวลาที่ได้ในแต่ละวัน ทำให้นาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรนี้สามารถบอกเวลาได้ใกล้เคียงกับเวลามาตรฐานประเทศไทยโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินสามนาทีซึ่งสะดวกและง่ายต่อการนำไปใช้งานต่อไป

ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยนี้เวลาคำนวณสมการเวลาที่ตำแหน่ง โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร โดยใช้สมการเวลาและใช้โปรแกรม Shadows pro อาจมีค่าแตกกันเล็กน้อยในหน่วยของวินาที เนื่องจากสมการเวลาที่ใช้ในการคำนวณเป็นสมการที่ได้จากการประมาณค่าทางคณิตศาสตร์ ซึ่งในทางปฏิบัติเมื่อทำการทดลองอ่านค่าจากเวลานาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร ผู้วิจัยอาจตัดค่าเวลาในหน่วยของวินาทีทิ้งได้ เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ต้องการความละเอียดไม่เกินสามนาที ถ้าการวิจัยในครั้งต่อไปต้องการความละเอียดยิ่งขึ้นอาจจะไม่ตัดค่าเวลาหน่วยวินาทีจากสมการเวลาได้ ซึ่งอาจมีผลยุ่งยากมากขึ้นเวลาทำการทดลองอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดเพราะต้องทำสเกลละเอียดยิ่งขึ้น

การวางแนวทิศเหนือแท้และการวางหน้าปัดนาฬิกาแดดให้เอียงทำมุมกับแนวดิ่งให้เท่ากับค่าละติจูดของตำแหน่งที่ติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรนั้น อาจจะมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์การทดลอง คือสเกลความละเอียดของเครื่องมือวัดมุมและสเกลความละเอียดในเข็มทิศแม่เหล็กที่ใช้อาจมีผลทำให้การค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรที่ทำการติดตั้งเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ผู้ทดลองควรใช้วิธีการคำนวณจากเงาของดวงอาทิตย์ร่วมด้วย

ควรมีการพัฒนาและทำการทดลองอ่านเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรให้มากขึ้นในหลายช่วงเวลาในรอบปี และมีการทดลองหมุนปรับหน้าปัดเวลานาฬิกาแดดตามสมการเวลาที่ค่าต่าง ๆ และตามค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์หลาย ๆ ค่าในรอบปี

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

จตุรงค์ สุคนธชาติ. (2556). หน่วยที่ 10 ดาราศาสตร์ประมวลสาระชุดวิชา ฟิสิกส์และดาราศาสตร์สำหรับครู. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช บัณฑิตศึกษา. หน้า 10-107 ถึง 10-112

ยุพา วานิชชัย. (2526). *เอกสารคำสอนชุด ดาราศาสตร์เบื้องต้น.* ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ บางแสน. หน้า 3-5

พีรพัฒน์ ศิริสมบูรณ์ลาภ. (2533). *กลศาสตร์ท้องฟ้าทั่วไป.* ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ หน้า 30

ไพเสริฐ ธรรมมานุธรรม. (2547). *ดาราศาสตร์.* คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพฯ. หน้า 2-3

วิจิตร ฤทธิธรรม. (2547). ชุดปฏิบัติการเรื่องการออกแบบ การสร้าง และการใช้นาฬิกาแดด. สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

Anonymous (1981), *"The Astronomical Almanac for the Year 1981,"* issued by the Nautical Almanac Office of the United States Naval Observatory.

Aslaksen, H. *Which day does the sun rise earliest in Singapore.*

Equation of time - problem in astronomy. http://www.ifpan .edu.pl/firststep/aw-works/fsII/mul/mueller.html

R.N. Mayall & M.W. Mayall, Sundial (2nd Ed.) (Sky Pubilshing Corp, Mass) 1973, pp. 55, 96.

R.E. J. Rohr, Sundials-History, Theory and Practice (Univ. Toronto Press,Dover, New York, reprint)1996, p.46 sundials. http://www.shadowspro.com/en/sundials.html

The Analemma. http://www.analemma.com/Pages/framesPage.html

The Accuracy of Sundials. School of Surveying and Spatial Information Systems The University of New South Wales. http://www.gmat.unsw.edu.au/currentstudents/ug/projects/o'brien/o'brien.htm

The errors of an equatorial sundial, The Observatory . http://adsabs.harvard.edu/full/1997Obs...117..344G

United Kingdom Accreditation Service, The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement, M3003 Edition 2, January 2007

Woolf, H. M. (1968), "On the Computation of Solar Evaluation Angles and the Determination of Sunrise and Sunset Times, "National Aeronautics and Space Administration Report NASA TM-X -164, September.

W.H. Press, B.P. Flannery, S.A. Teukolsky & W.T. Vetterling, Numerical Recipes (1st Ed.)(Cambridge University Press) 1986, pp. 52, 515.

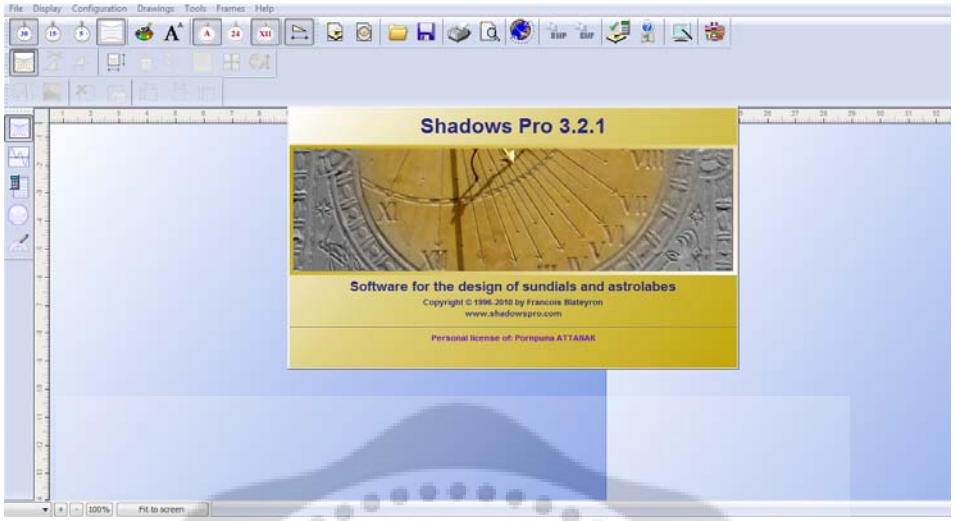
Zimmerman, J. C. (1981), "Sun Pointing Programs and Their Accuracy," Sandia National Laboratories Report SAND81-0761, September.

ภาคผนวก

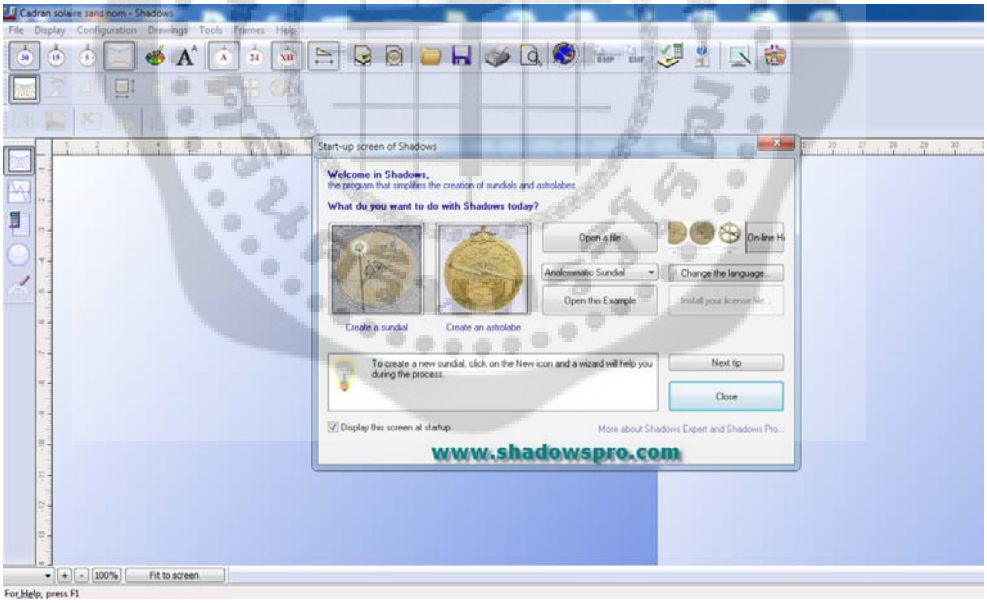
ภาคผนวก ก

โปรแกรม Shadows pro version 3.2.1

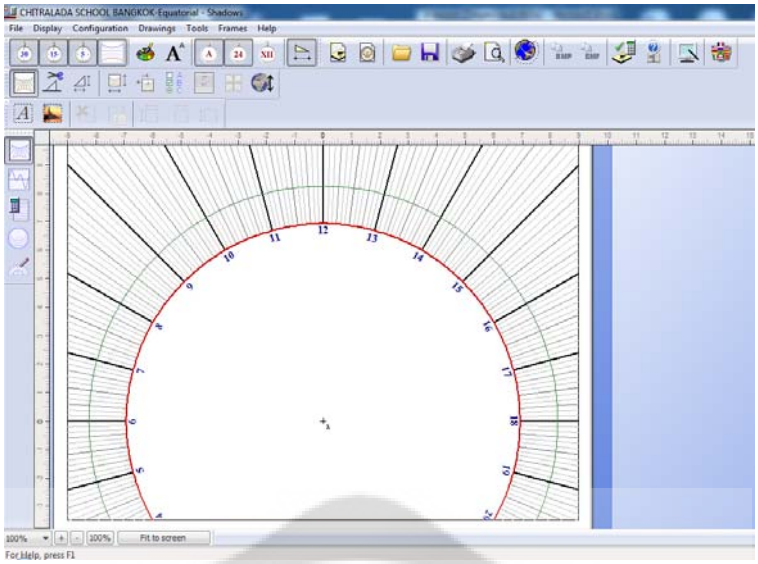
ตัวอย่างแสดงโปรแกรม Shadows pro version 3.2.1



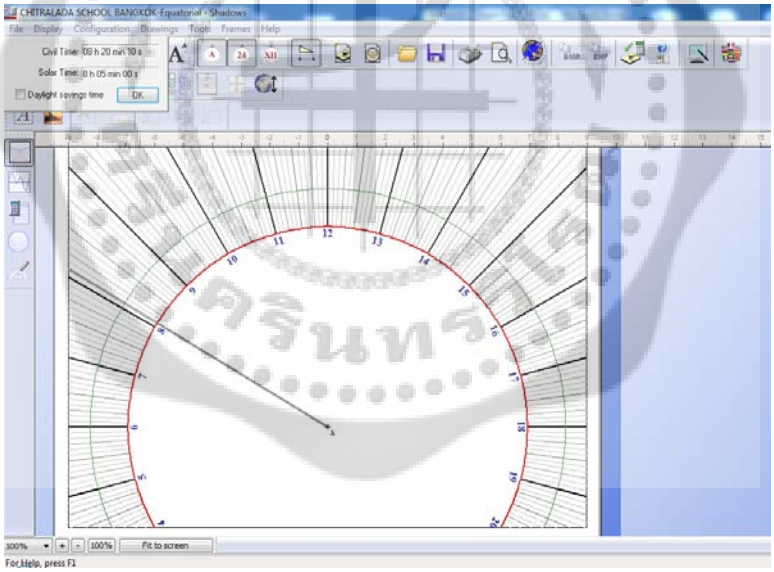
ภาพประกอบ 199 (ก)



ภาพประกอบ 199 (ข)



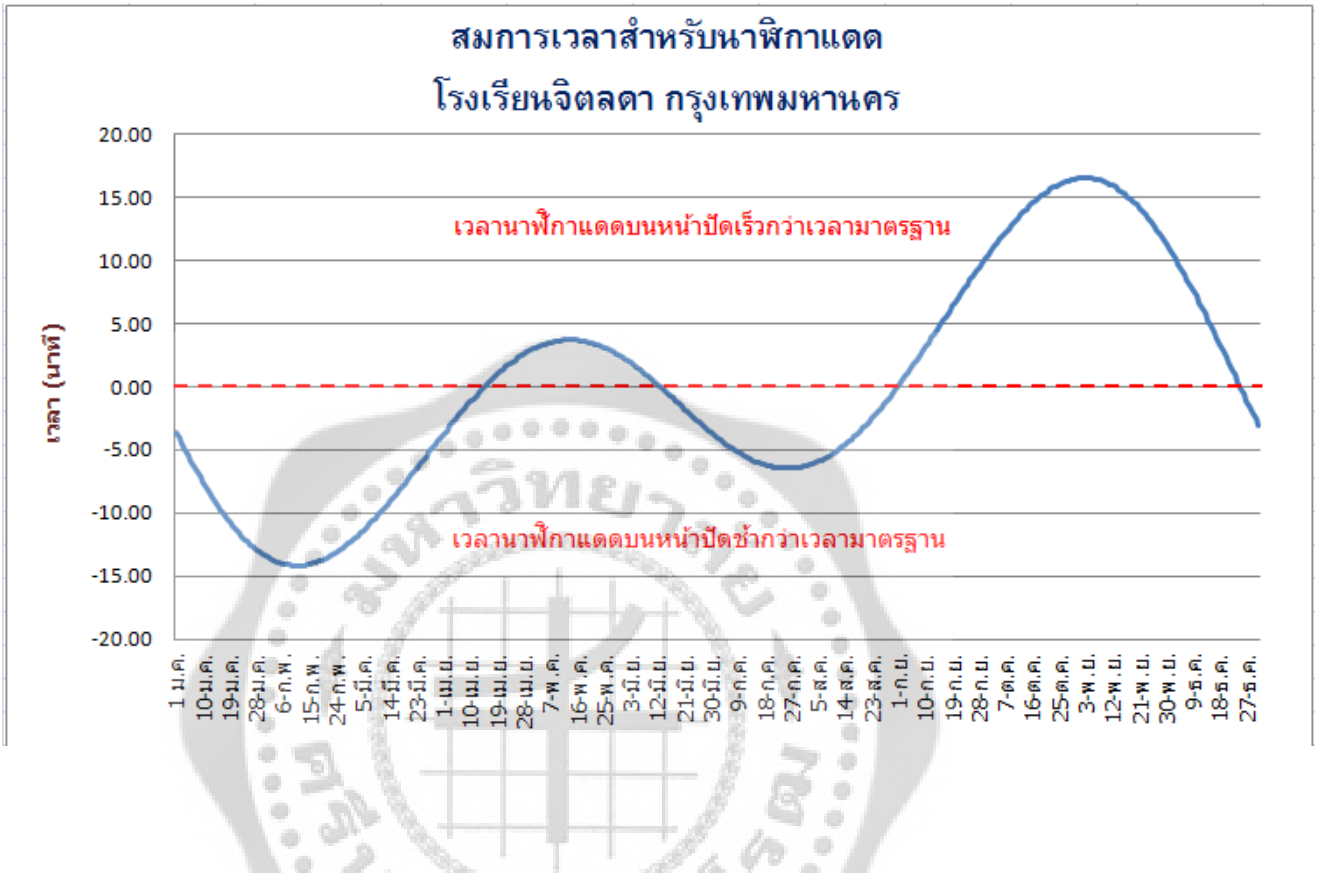
ภาพประกอบ 199 (ค)



ภาพประกอบ 199 (ง)

ภาพประกอบ 199 (ก-ง) แสดงตัวอย่างการใช้งานโปรแกรม Shadows pro version 3.2.1

กราฟแสดงสมการเวลาสำหรับนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร



ภาพประกอบ 200 แสดงสมการเวลาของนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร

ตาราง 16 แสดงสมการเวลาสำหรับนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา เดือน มกราคม-มีนาคม

วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)	วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)	วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)
1 ม.ค.	-3.60	1-ก.พ.	-13.56	1-มี.ค.	-12.23
2-ม.ค.	-4.07	2-ก.พ.	-13.68	2-มี.ค.	-12.03
3-ม.ค.	-4.53	3-ก.พ.	-13.79	3-มี.ค.	-11.82
4-ม.ค.	-4.98	4-ก.พ.	-13.89	4-มี.ค.	-11.60
5-ม.ค.	-5.43	5-ก.พ.	-13.97	5-มี.ค.	-11.38
6-ม.ค.	-5.87	6-ก.พ.	-14.04	6-มี.ค.	-11.14
7-ม.ค.	-6.30	7-ก.พ.	-14.10	7-มี.ค.	-10.90
8-ม.ค.	-6.72	8-ก.พ.	-14.14	8-มี.ค.	-10.66
9-ม.ค.	-7.14	9-ก.พ.	-14.17	9-มี.ค.	-10.40
10-ม.ค.	-7.54	10-ก.พ.	-14.18	10-มี.ค.	-10.15
11-ม.ค.	-7.94	11-ก.พ.	-14.18	11-มี.ค.	-9.88
12-ม.ค.	-8.33	12-ก.พ.	-14.17	12-มี.ค.	-9.62
13-ม.ค.	-8.70	13-ก.พ.	-14.15	13-มี.ค.	-9.34
14-ม.ค.	-9.07	14-ก.พ.	-14.11	14-มี.ค.	-9.07
15-ม.ค.	-9.42	15-ก.พ.	-14.07	15-มี.ค.	-8.78
16-ม.ค.	-9.77	16-ก.พ.	-14.01	16-มี.ค.	-8.50
17-ม.ค.	-10.10	17-ก.พ.	-13.93	17-มี.ค.	-8.21
18-ม.ค.	-10.42	18-ก.พ.	-13.85	18-มี.ค.	-7.92
19-ม.ค.	-10.73	19-ก.พ.	-13.76	19-มี.ค.	-7.63
20-ม.ค.	-11.03	20-ก.พ.	-13.65	20-มี.ค.	-7.33
21-ม.ค.	-11.31	21-ก.พ.	-13.53	21-มี.ค.	-7.03
22-ม.ค.	-11.58	22-ก.พ.	-13.40	22-มี.ค.	-6.74
23-ม.ค.	-11.84	23-ก.พ.	-13.27	23-มี.ค.	-6.43
24-ม.ค.	-12.08	24-ก.พ.	-13.12	24-มี.ค.	-6.13
25-ม.ค.	-12.32	25-ก.พ.	-12.96	25-มี.ค.	-5.83
26-ม.ค.	-12.53	26-ก.พ.	-12.79	26-มี.ค.	-5.53
27-ม.ค.	-12.74	27-ก.พ.	-12.61	27-มี.ค.	-5.23
28-ม.ค.	-12.93	28-ก.พ.	-12.43	28-มี.ค.	-4.93
29-ม.ค.	-13.11			29-มี.ค.	-4.62
30-ม.ค.	-13.27			30-มี.ค.	-4.32
31-ม.ค.	-13.42			31-มี.ค.	-4.03

ตาราง 17 แสดงสมการเวลาสำหรับนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา เดือน เมษายน-มิถุนายน

วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)	วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)	วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)
1-เม.ย.	-3.73	1-พ.ค.	2.99	1-มิ.ย.	2.20
2-เม.ย.	-3.43	2-พ.ค.	3.10	2-มิ.ย.	2.04
3-เม.ย.	-3.14	3-พ.ค.	3.21	3-มิ.ย.	1.88
4-เม.ย.	-2.85	4-พ.ค.	3.30	4-มิ.ย.	1.71
5-เม.ย.	-2.56	5-พ.ค.	3.39	5-มิ.ย.	1.53
6-เม.ย.	-2.28	6-พ.ค.	3.46	6-มิ.ย.	1.35
7-เม.ย.	-2.00	7-พ.ค.	3.53	7-มิ.ย.	1.17
8-เม.ย.	-1.72	8-พ.ค.	3.58	8-มิ.ย.	0.98
9-เม.ย.	-1.45	9-พ.ค.	3.63	9-มิ.ย.	0.78
10-เม.ย.	-1.18	10-พ.ค.	3.67	10-มิ.ย.	0.58
11-เม.ย.	-0.92	11-พ.ค.	3.70	11-มิ.ย.	0.38
12-เม.ย.	-0.66	12-พ.ค.	3.72	12-มิ.ย.	0.17
13-เม.ย.	-0.41	13-พ.ค.	3.72	13-มิ.ย.	-0.04
14-เม.ย.	-0.16	14-พ.ค.	3.72	14-มิ.ย.	-0.25
15-เม.ย.	0.08	15-พ.ค.	3.71	15-มิ.ย.	-0.46
16-เม.ย.	0.32	16-พ.ค.	3.69	16-มิ.ย.	-0.67
17-เม.ย.	0.55	17-พ.ค.	3.67	17-มิ.ย.	-0.89
18-เม.ย.	0.77	18-พ.ค.	3.63	18-มิ.ย.	-1.11
19-เม.ย.	0.99	19-พ.ค.	3.58	19-มิ.ย.	-1.33
20-เม.ย.	1.20	20-พ.ค.	3.52	20-มิ.ย.	-1.54
21-เม.ย.	1.40	21-พ.ค.	3.46	21-มิ.ย.	-1.76
22-เม.ย.	1.60	22-พ.ค.	3.39	22-มิ.ย.	-1.98
23-เม.ย.	1.78	23-พ.ค.	3.30	23-มิ.ย.	-2.19
24-เม.ย.	1.96	24-พ.ค.	3.21	24-มิ.ย.	-2.41
25-เม.ย.	2.14	25-พ.ค.	3.11	25-มิ.ย.	-2.62
26-เม.ย.	2.30	26-พ.ค.	3.01	26-มิ.ย.	-2.83
27-เม.ย.	2.46	27-พ.ค.	2.89	27-มิ.ย.	-3.04
28-เม.ย.	2.60	28-พ.ค.	2.77	28-มิ.ย.	-3.24
29-เม.ย.	2.74	29-พ.ค.	2.64	29-มิ.ย.	-3.44
30-เม.ย.	2.87	30-พ.ค.	2.50	30-มิ.ย.	-3.64
		31-พ.ค.	2.35		

ตาราง 18 แสดงสมการเวลาสำหรับนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา เดือน กรกฎาคม-กันยายน

วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)	วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)	วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)
1-ก.ค.	-3.84	1-ส.ค.	-6.26	1-ก.ย.	0.11
2-ก.ค.	-4.02	2-ส.ค.	-6.19	2-ก.ย.	0.43
3-ก.ค.	-4.21	3-ส.ค.	-6.11	3-ก.ย.	0.76
4-ก.ค.	-4.39	4-ส.ค.	-6.02	4-ก.ย.	1.09
5-ก.ค.	-4.56	5-ส.ค.	-5.92	5-ก.ย.	1.42
6-ก.ค.	-4.73	6-ส.ค.	-5.81	6-ก.ย.	1.76
7-ก.ค.	-4.89	7-ส.ค.	-5.69	7-ก.ย.	2.10
8-ก.ค.	-5.05	8-ส.ค.	-5.56	8-ก.ย.	2.44
9-ก.ค.	-5.20	9-ส.ค.	-5.42	9-ก.ย.	2.78
10-ก.ค.	-5.34	10-ส.ค.	-5.27	10-ก.ย.	3.13
11-ก.ค.	-5.47	11-ส.ค.	-5.11	11-ก.ย.	3.48
12-ก.ค.	-5.60	12-ส.ค.	-4.94	12-ก.ย.	3.83
13-ก.ค.	-5.72	13-ส.ค.	-4.76	13-ก.ย.	4.19
14-ก.ค.	-5.83	14-ส.ค.	-4.58	14-ก.ย.	4.54
15-ก.ค.	-5.93	15-ส.ค.	-4.38	15-ก.ย.	4.90
16-ก.ค.	-6.03	16-ส.ค.	-4.18	16-ก.ย.	5.26
17-ก.ค.	-6.11	17-ส.ค.	-3.97	17-ก.ย.	5.61
18-ก.ค.	-6.19	18-ส.ค.	-3.74	18-ก.ย.	5.97
19-ก.ค.	-6.26	19-ส.ค.	-3.52	19-ก.ย.	6.33
20-ก.ค.	-6.32	20-ส.ค.	-3.28	20-ก.ย.	6.68
21-ก.ค.	-6.37	21-ส.ค.	-3.03	21-ก.ย.	7.04
22-ก.ค.	-6.41	22-ส.ค.	-2.78	22-ก.ย.	7.39
23-ก.ค.	-6.44	23-ส.ค.	-2.52	23-ก.ย.	7.74
24-ก.ค.	-6.46	24-ส.ค.	-2.25	24-ก.ย.	8.09
25-ก.ค.	-6.47	25-ส.ค.	-1.98	25-ก.ย.	8.44
26-ก.ค.	-6.47	26-ส.ค.	-1.70	26-ก.ย.	8.78
27-ก.ค.	-6.46	27-ส.ค.	-1.41	27-ก.ย.	9.12
28-ก.ค.	-6.44	28-ส.ค.	-1.12	28-ก.ย.	9.46
29-ก.ค.	-6.41	29-ส.ค.	-0.82	29-ก.ย.	9.79
30-ก.ค.	-6.37	30-ส.ค.	-0.51	30-ก.ย.	10.12
31-ก.ค.	-6.32	31-ส.ค.	-0.20		

ตาราง 19 แสดงสมการเวลาสำหรับนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา เดือน ตุลาคม-ธันวาคม

วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)	วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)	วันที่ / เดือน	สมการเวลา (นาที)
1-ต.ค.	10.45	1-พ.ย.	16.53	1-ธ.ค.	10.96
2-ต.ค.	10.77	2-พ.ย.	16.54	2-ธ.ค.	10.58
3-ต.ค.	11.08	3-พ.ย.	16.55	3-ธ.ค.	10.18
4-ต.ค.	11.39	4-พ.ย.	16.54	4-ธ.ค.	9.78
5-ต.ค.	11.70	5-พ.ย.	16.51	5-ธ.ค.	9.37
6-ต.ค.	12.00	6-พ.ย.	16.47	6-ธ.ค.	8.94
7-ต.ค.	12.29	7-พ.ย.	16.42	7-ธ.ค.	8.51
8-ต.ค.	12.57	8-พ.ย.	16.35	8-ธ.ค.	8.08
9-ต.ค.	12.85	9-พ.ย.	16.26	9-ธ.ค.	7.63
10-ต.ค.	13.12	10-พ.ย.	16.17	10-ธ.ค.	7.18
11-ต.ค.	13.38	11-พ.ย.	16.06	11-ธ.ค.	6.72
12-ต.ค.	13.63	12-พ.ย.	15.93	12-ธ.ค.	6.25
13-ต.ค.	13.88	13-พ.ย.	15.79	13-ธ.ค.	5.78
14-ต.ค.	14.12	14-พ.ย.	15.64	14-ธ.ค.	5.31
15-ต.ค.	14.34	15-พ.ย.	15.47	15-ธ.ค.	4.83
16-ต.ค.	14.56	16-พ.ย.	15.29	16-ธ.ค.	4.34
17-ต.ค.	14.77	17-พ.ย.	15.09	17-ธ.ค.	3.86
18-ต.ค.	14.97	18-พ.ย.	14.88	18-ธ.ค.	3.37
19-ต.ค.	15.15	19-พ.ย.	14.66	19-ธ.ค.	2.87
20-ต.ค.	15.33	20-พ.ย.	14.42	20-ธ.ค.	2.38
21-ต.ค.	15.50	21-พ.ย.	14.17	21-ธ.ค.	1.89
22-ต.ค.	15.65	22-พ.ย.	13.90	22-ธ.ค.	1.39
23-ต.ค.	15.80	23-พ.ย.	13.62	23-ธ.ค.	0.89
24-ต.ค.	15.93	24-พ.ย.	13.33	24-ธ.ค.	0.40
25-ต.ค.	16.05	25-พ.ย.	13.03	25-ธ.ค.	-0.10
26-ต.ค.	16.15	26-พ.ย.	12.71	26-ธ.ค.	-0.59
27-ต.ค.	16.25	27-พ.ย.	12.39	27-ธ.ค.	-1.08
28-ต.ค.	16.33	28-พ.ย.	12.05	28-ธ.ค.	-1.57
29-ต.ค.	16.40	29-พ.ย.	11.69	29-ธ.ค.	-2.06
30-ต.ค.	16.46	30-พ.ย.	11.33	30-ธ.ค.	-2.54
31-ต.ค.	16.50			31-ธ.ค.	-3.01

ตาราง 20 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน มกราคม 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (วินาที)
1	-21	49.8
2	-22	17.7
3	-22	45.3
4	-23	12.5
5	-23	39.3
6	-24	5.7
7	-24	31.6
8	-24	57
9	-25	21.9
10	-25	46.2
11	-26	10
12	-26	33.2
13	-26	55.8
14	-27	17.7
15	-27	39
16	-27	59.6
17	-28	19.6
18	-28	38.8
19	-28	57.3
20	-29	15.1
21	-29	32.1
22	-29	48.4
23	-30	3.8
24	-30	18.6
25	-30	32.5
26	-30	45.6
27	-30	57.9
28	-31	9.4
29	-31	20.1
30	-31	29.9
31	-31	39

ตาราง 21 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน กุมภาพันธ์ 2556

วันที่	ผลรวมเวลา(นาที)	ผลรวมเวลา(วินาที)
1	-31	47.2
2	-31	54.6
3	-32	1.2
4	-32	6.9
5	-32	11.9
6	-32	16
7	-32	19.3
8	-32	21.8
9	-32	23.5
10	-32	24.4
11	-32	24.6
12	-32	24
13	-32	22.6
14	-32	20.4
15	-32	17.6
16	-32	14
17	-32	9.6
18	-32	4.6
19	-31	58.9
20	-31	52.5
21	-31	45.5
22	-31	37.8
23	-31	29.5
24	-31	20.6
25	-31	11.1
26	-31	1.1
27	-30	50.4
28	-30	39.3

ตาราง 22 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน มีนาคม 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (วินาที)
1	-30	27.6
2	-30	15.4
3	-30	2.8
4	-29	49.6
5	-29	36.1
6	-29	22.1
7	-29	7.7
8	-28	53
9	-28	37.8
10	-28	22.4
11	-28	6.6
12	-27	50.5
13	-27	34.1
14	-27	17.5
15	-27	0.6
16	-26	43.6
17	-26	26.3
18	-26	8.8
19	-25	51.2
20	-25	33.5
21	-25	15.6
22	-24	57.7
23	-24	39.6
24	-24	21.5
25	-24	3.4
26	-23	45.3
27	-23	27.2
28	-23	9.1
29	-22	51
30	-22	33
31	-22	15.1

ตาราง 23 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน เมษายน 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (วินาที)
1	-21	57.3
2	-21	39.6
3	-21	22
4	-21	4.6
5	-20	47.4
6	-20	30.4
7	-20	13.6
8	-19	57
9	-19	40.6
10	-19	24.6
11	-19	8.8
12	-18	53.3
13	-18	38.1
14	-18	23.2
15	-18	8.7
16	-17	54.5
17	-17	40.8
18	-17	27.4
19	-17	14.4
20	-17	1.8
21	-16	49.6
22	-16	37.9
23	-16	26.6
24	-16	15.8
25	-16	5.5
26	-15	55.7
27	-15	46.3
28	-15	37.5
29	-15	29.2
30	-15	21.4

ตาราง 24 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน พฤษภาคม 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (นาที)
1	-15	14.1
2	-15	7.4
3	-15	1.2
4	-14	55.5
5	-14	50.5
6	-14	45.9
7	-14	42
8	-14	38.6
9	-14	35.8
10	-14	33.5
11	-14	31.8
12	-14	30.7
13	-14	30.2
14	-14	30.2
15	-14	30.8
16	-14	32
17	-14	33.7
18	-14	36
19	-14	38.8
20	-14	42.2
21	-14	46.1
22	-14	50.5
23	-14	55.4
24	-15	0.9
25	-15	6.9
26	-15	13.3
27	-15	20.2
28	-15	27.6
29	-15	35.5
30	-15	43.7
31	-15	52.4

ตาราง 25 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน มิถุนายน 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (นาที)
1	-16	1.5
2	-16	11
3	-16	20.9
4	-16	31.1
5	-16	41.6
6	-16	52.5
7	-17	3.7
8	-17	15.1
9	-17	26.8
10	-17	38.7
11	-17	50.9
12	-18	3.2
13	-18	15.7
14	-18	28.4
15	-18	41.1
16	-18	54
17	-19	7
18	-19	20
19	-19	33.1
20	-19	46.1
21	-19	59.2
22	-20	12.2
23	-20	25.1
24	-20	38
25	-20	50.7
26	-21	3.4
27	-21	15.8
28	-21	28.1
29	-21	40.2
30	-21	52.1

ตาราง 26 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน กรกฎาคม 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (วินาที)
1	-22	3.7
2	-22	15
3	-22	26.1
4	-22	36.9
5	-22	47.3
6	-22	57.4
7	-23	7.1
8	-23	16.4
9	-23	25.4
10	-23	33.9
11	-23	41.9
12	-23	49.6
13	-23	56.7
14	-24	3.4
15	-24	9.6
16	-24	15.2
17	-24	20.4
18	-24	25
19	-24	29
20	-24	32.5
21	-24	35.5
22	-24	37.9
23	-24	39.7
24	-24	40.9
25	-24	41.5
26	-24	41.6
27	-24	41
28	-24	39.8
29	-24	38
30	-24	35.7
31	-24	32.7

ตาราง 27 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน สิงหาคม 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (วินาที)
1	-24	29.1
2	-24	24.9
3	-24	20
4	-24	14.6
5	-24	8.6
6	-24	2
7	-23	54.8
8	-23	47
9	-23	38.6
10	-23	29.6
11	-23	20.1
12	-23	10
13	-22	59.4
14	-22	48.2
15	-22	36.5
16	-22	24.2
17	-22	11.5
18	-21	58.2
19	-21	44.5
20	-21	30.2
21	-21	15.5
22	-21	0.4
23	-20	44.8
24	-20	28.8
25	-20	12.3
26	-19	55.5
27	-19	38.3
28	-19	20.7
29	-19	2.7
30	-18	44.4
31	-18	25.8

ตาราง 28 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน กันยายน 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (วินาที)
1	-18	6.9
2	-17	47.7
3	-17	28.2
4	-17	8.5
5	-16	48.5
6	-16	28.3
7	-16	7.9
8	-15	47.4
9	-15	26.6
10	-15	5.7
11	-14	44.7
12	-14	23.6
13	-14	2.3
14	-13	41
15	-13	19.7
16	-12	58.3
17	-12	36.9
18	-12	15.5
19	-11	54.1
20	-11	32.8
21	-11	11.5
22	-10	50.3
23	-10	29.2
24	-10	8.3
25	-9	47.4
26	-9	26.8
27	-9	6.3
28	-8	46.1
29	-8	26
30	-8	6.3

ตาราง 29 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน ตุลาคม 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (วินาที)
1	-7	46.7
2	-7	27.5
3	-7	8.6
4	-6	50
5	-6	31.8
6	-6	13.9
7	-5	56.4
8	-5	39.3
9	-5	22.7
10	-5	6.5
11	-4	50.8
12	-4	35.6
13	-4	20.9
14	-4	6.7
15	-3	53
16	-3	40
17	-3	27.5
18	-3	15.6
19	-3	4.4
20	-2	53.8
21	-2	43.8
22	-2	34.5
23	-2	25.9
24	-2	18
25	-2	10.9
26	-2	4.4
27	-1	58.7
28	-1	53.8
29	-1	49.6
30	-1	46.3
31	-1	43.7

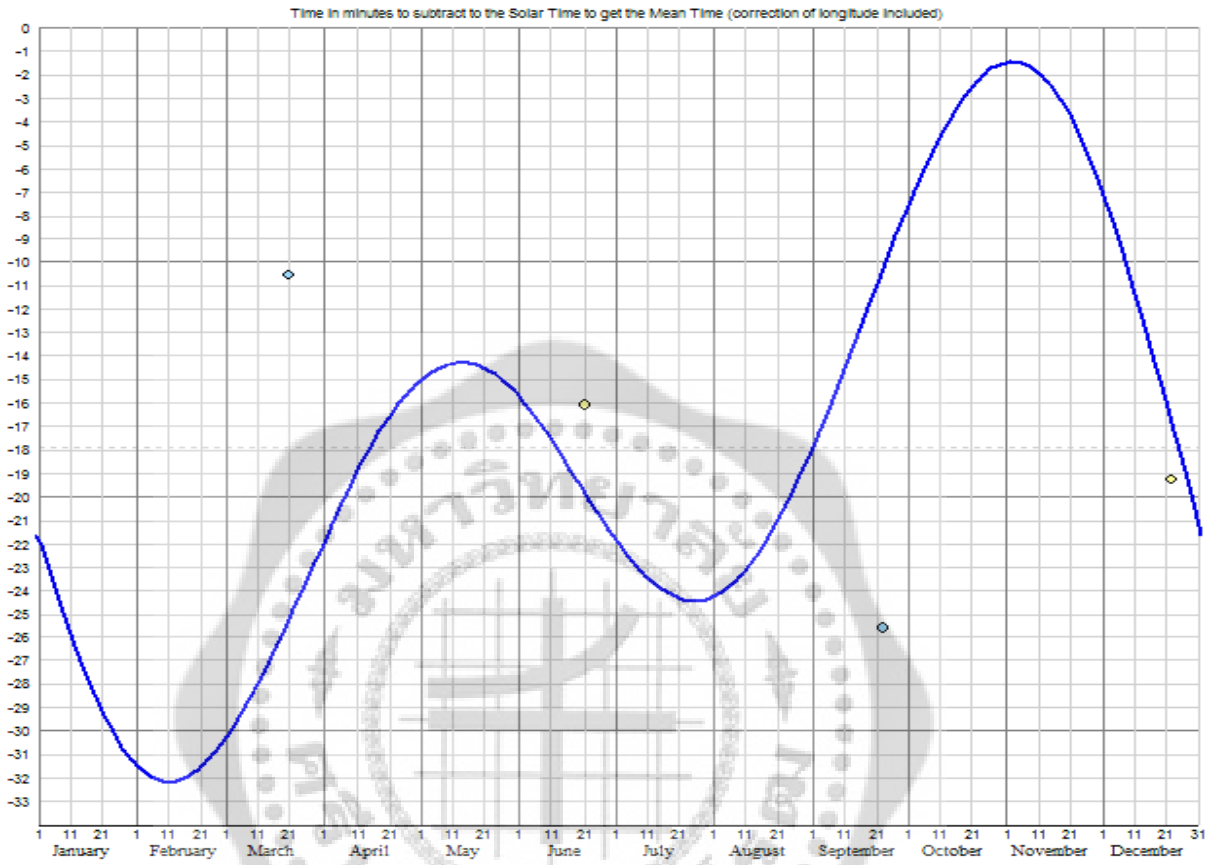
ตาราง 30 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดด โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน พฤศจิกายน 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (วินาที)
1	-1	41.9
2	-1	41
3	-1	40.8
4	-1	41.5
5	-1	43.1
6	-1	45.5
7	-1	48.7
8	-1	52.8
9	-1	57.8
10	-2	3.6
11	-2	10.2
12	-2	17.8
13	-2	26.1
14	-2	35.4
15	-2	45.5
16	-2	56.4
17	-3	8.2
18	-3	20.8
19	-3	34.3
20	-3	48.6
21	-4	3.7
22	-4	19.6
23	-4	36.2
24	-4	53.7
25	-5	11.9
26	-5	30.8
27	-5	50.5
28	-6	10.9
29	-6	32
30	-6	53.7

ตาราง 31 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้ง นาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เดือน ธันวาคม 2556

วันที่	ผลรวมเวลา (นาที)	ผลรวมเวลา (วินาที)
1	-7	16.1
2	-7	39.1
3	-8	2.8
4	-8	27
5	-8	51.7
6	-9	17
7	-9	42.8
8	-10	9.1
9	-10	35.8
10	-11	3
11	-11	30.5
12	-11	58.4
13	-12	26.6
14	-12	55.2
15	-13	23.9
16	-13	53
17	-14	22.2
18	-14	51.6
19	-15	21.2
20	-15	50.8
21	-16	20.5
22	-16	50.3
23	-17	20.1
24	-17	49.8
25	-18	19.5
26	-18	49.1
27	-19	18.5
28	-19	47.8
29	-20	16.9
30	-20	45.8
31	-21	14.4

กราฟแสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดด โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2556

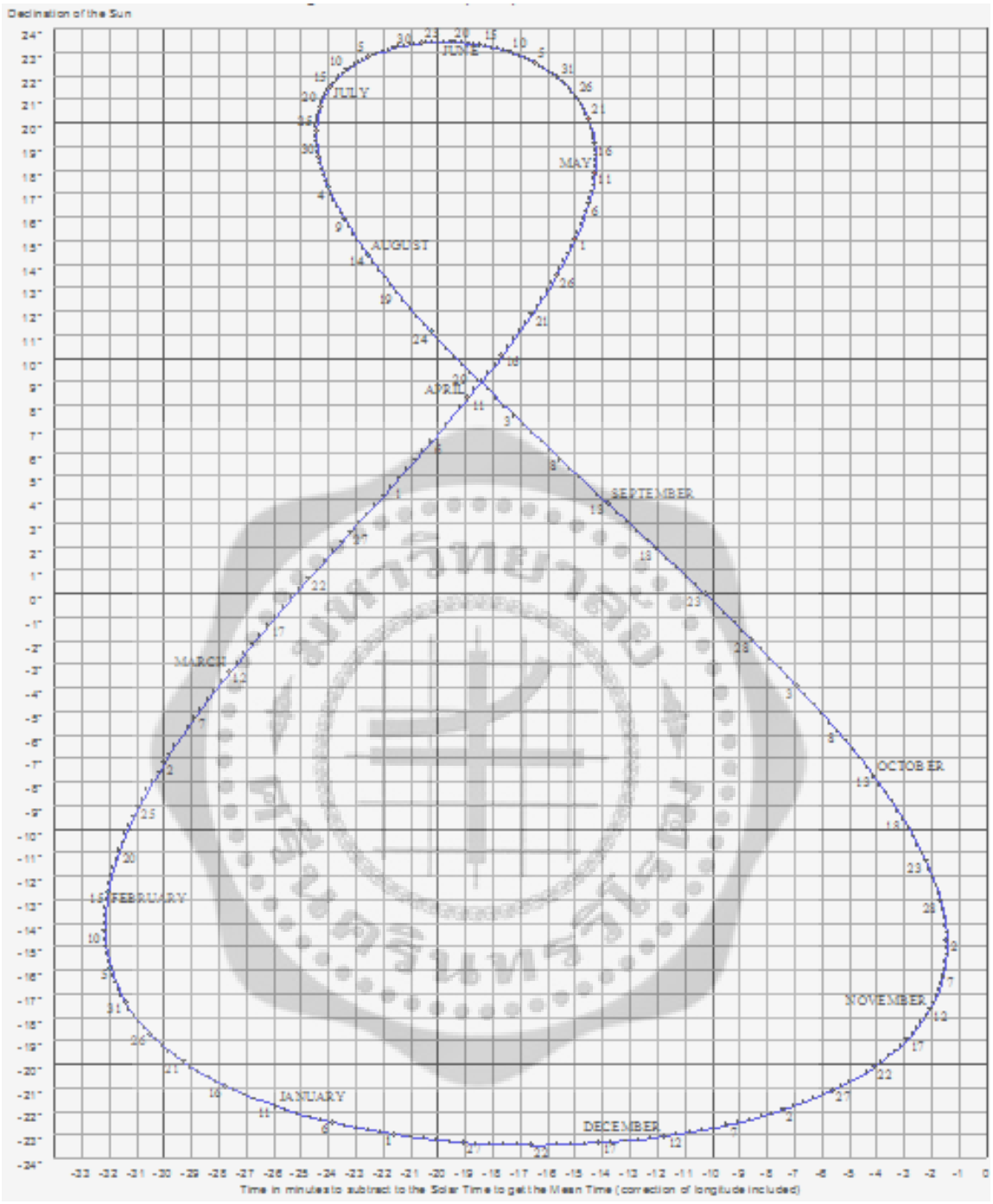


ภาพประกอบ 201 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2556

ตาราง 32 แสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร วันที่ 1, 6, 11, 16, 21 และ 26 ของแต่ละเดือน

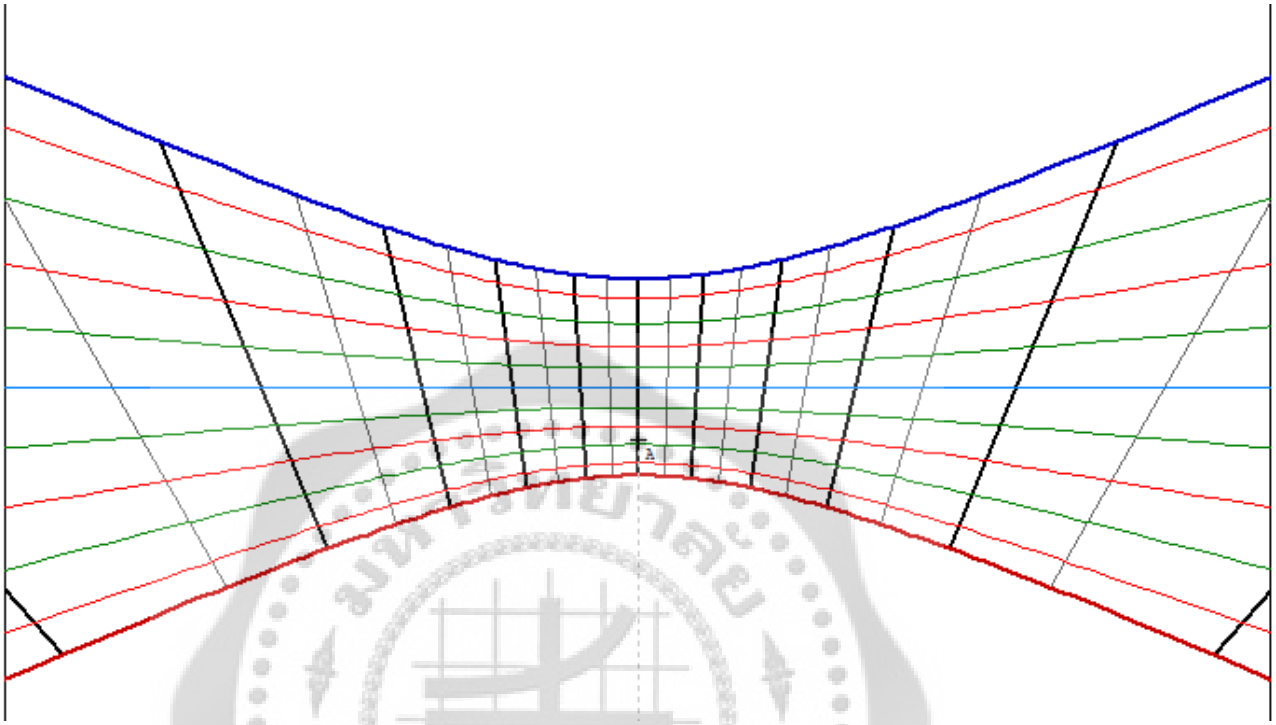
Time in minutes to add to the Solar Time to get the Mean Time

	1	6	11	16	21	26
January	-21 min 35 s	-23 min 50 s	-25 min 55 s	-27 min 44 s	-29 min 17 s	-30 min 30 s
February	-31 min 32 s	-32 min 01 s	-32 min 09 s	-31 min 59 s	-31 min 30 s	-30 min 46 s
March	-30 min 12 s	-29 min 07 s	-27 min 51 s	-26 min 28 s	-25 min 00 s	-23 min 30 s
April	-21 min 42 s	-20 min 15 s	-18 min 54 s	-17 min 39 s	-16 min 34 s	-15 min 40 s
May	-14 min 59 s	-14 min 31 s	-14 min 17 s	-14 min 17 s	-14 min 31 s	-14 min 58 s
June	-15 min 46 s	-16 min 37 s	-17 min 36 s	-18 min 39 s	-19 min 44 s	-20 min 48 s
July	-21 min 48 s	-22 min 42 s	-23 min 27 s	-24 min 00 s	-24 min 20 s	-24 min 26 s
August	-24 min 14 s	-23 min 47 s	-23 min 05 s	-22 min 09 s	-21 min 00 s	-19 min 40 s
September	-17 min 52 s	-16 min 13 s	-14 min 29 s	-12 min 43 s	-10 min 56 s	-9 min 12 s
October	-7 min 32 s	-5 min 59 s	-4 min 36 s	-3 min 25 s	-2 min 29 s	-1 min 49 s
November	-1 min 27 s	-1 min 30 s	-1 min 55 s	-2 min 41 s	-3 min 48 s	-5 min 16 s
December	-7 min 01 s	-9 min 02 s	-11 min 15 s	-13 min 38 s	-16 min 05 s	-18 min 34 s



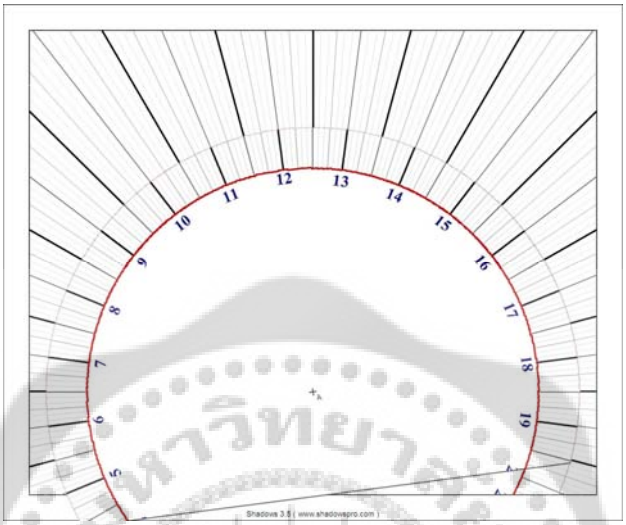
ภาพประกอบ 202 กราฟแสดงผลรวมของสมการเวลากับการชดเชยเวลาเนื่องจากลองจิจูดที่ติดตั้งนาฬิกาแดดกับมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ตลอดปี โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2556

กราฟแสดงแนวเส้นโค้งของมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ตลอดปี 2556

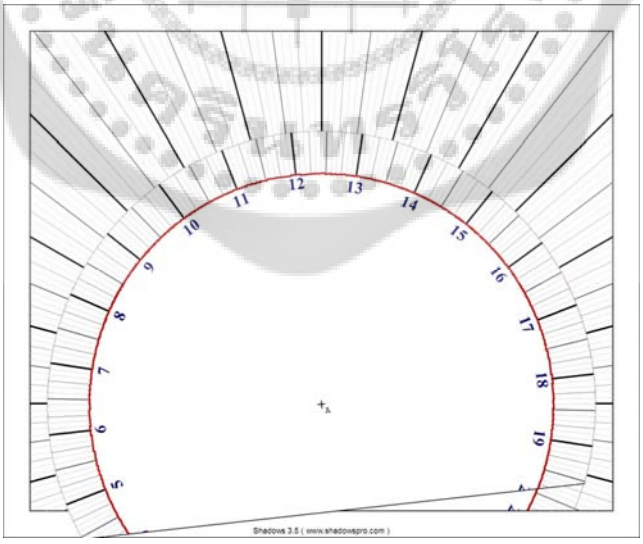


ภาพประกอบ 203 แสดงแนวเส้นโค้งของมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ สำหรับการนำไปใช้ปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตร โรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานครตลอดปี พ.ศ. 2556

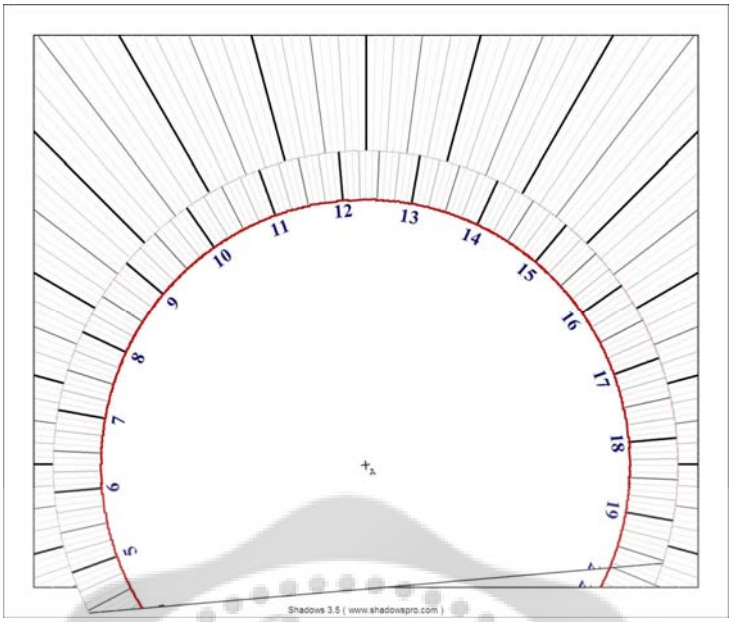
การปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาจากอุปกรณ์ตรวจวัดเงา
และมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ในช่วงวันที่ 21 มีนาคม – 23 กันยายน



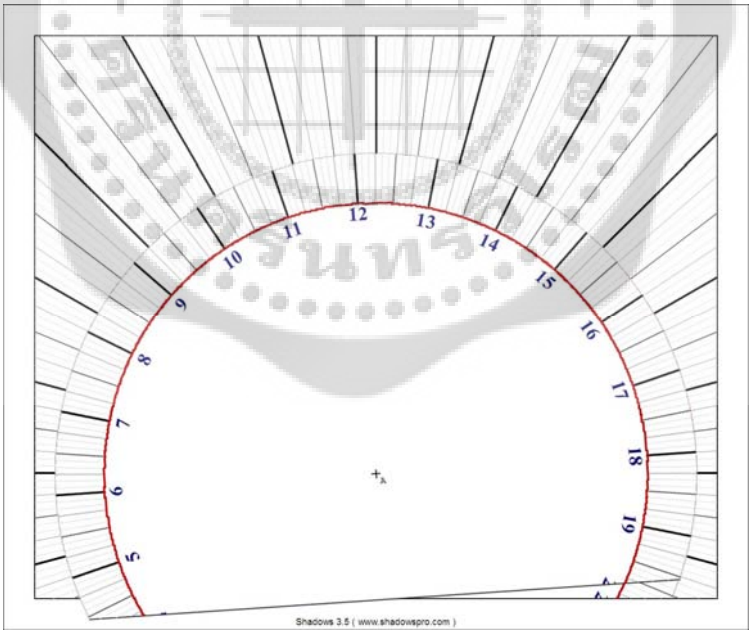
ภาพประกอบ 204 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 30 นาที



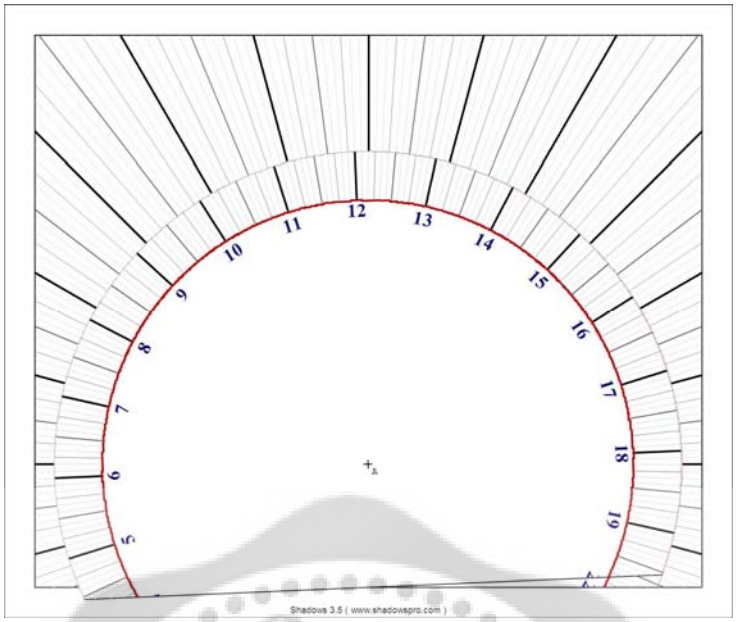
ภาพประกอบ 205 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 25 นาที



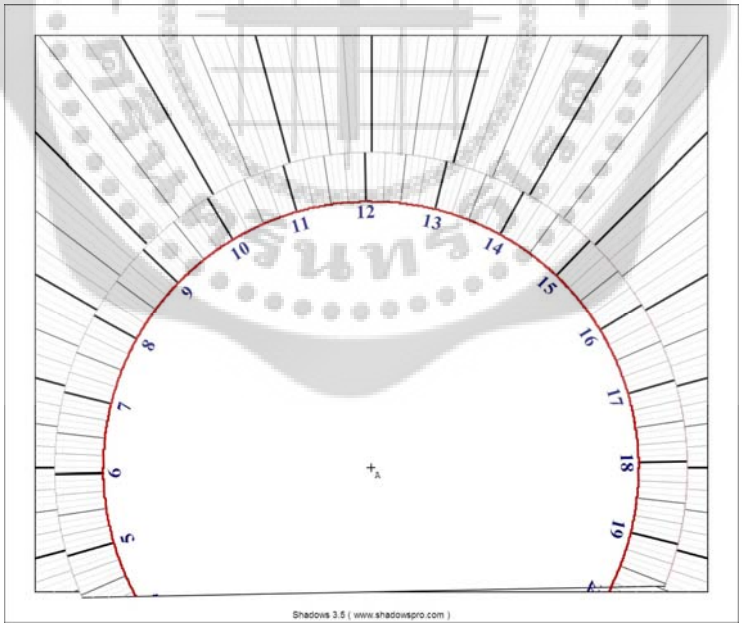
ภาพประกอบ 206 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที



ภาพประกอบ 207 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 15 นาที

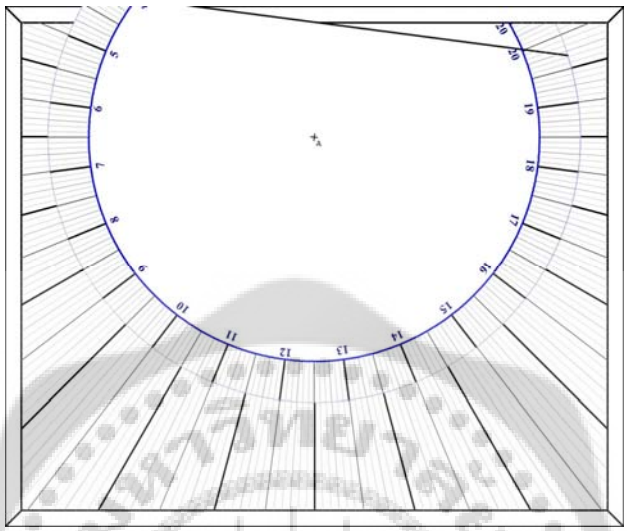


ภาพประกอบ 208 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 10 นาที

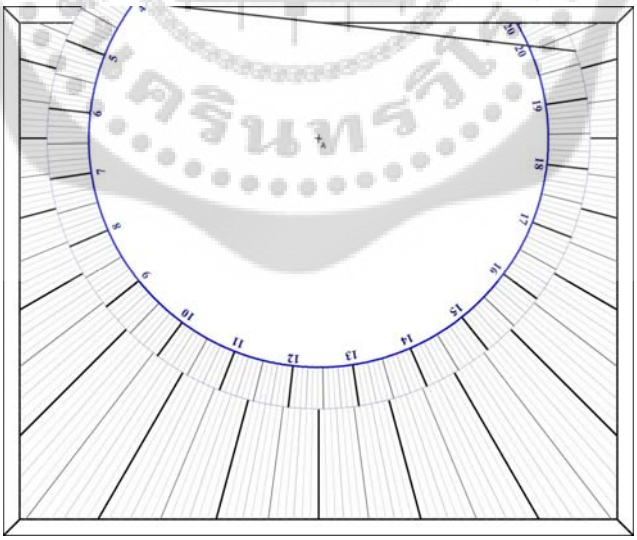


ภาพประกอบ 209 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 5 นาที

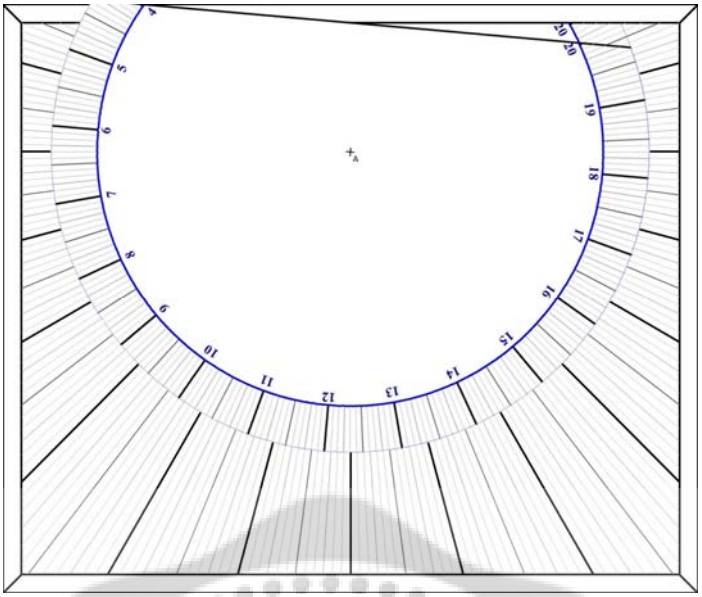
การปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดเพื่อชดเชยเวลาจากอุปกรณ์ตรวจวัดเงา
และมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ ในช่วงวันที่ 24 กันยายน – 20 มีนาคม



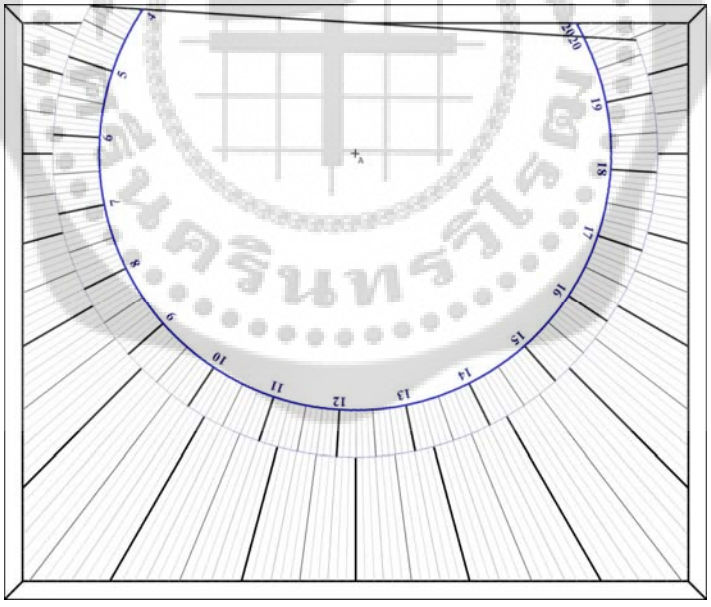
ภาพประกอบ 210 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 30 นาที



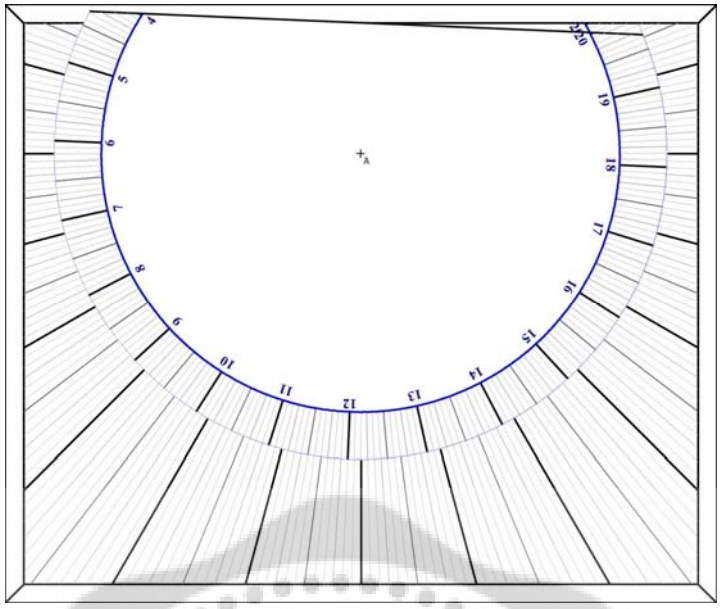
ภาพประกอบ 211 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 25 นาที



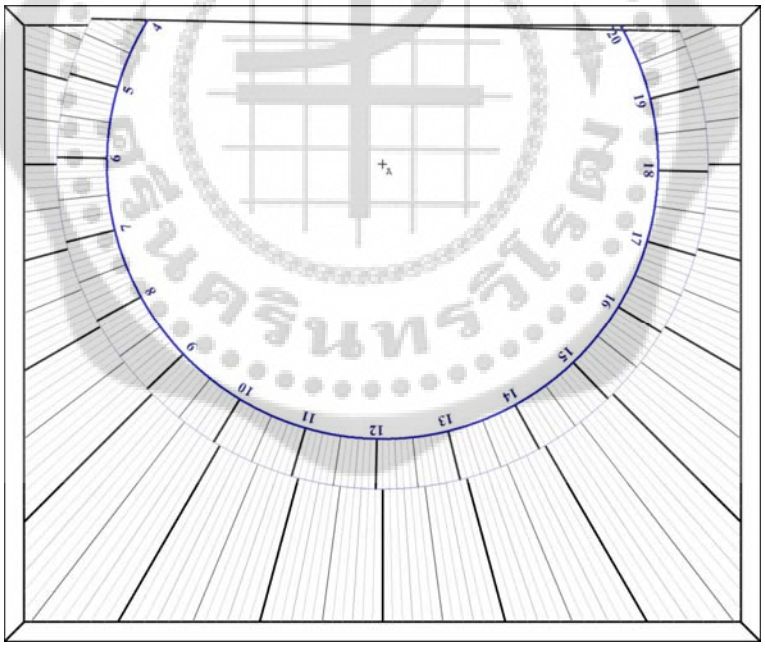
ภาพประกอบ 212 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 20 นาที



ภาพประกอบ 213 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 15 นาที



ภาพประกอบ 214 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 10 นาที



ภาพประกอบ 215 แสดงการชดเชยเวลาบนหน้าปัดนาฬิกาแดด 5 นาที

ตาราง 33 แสดงจำนวนวัน (*N*) ที่ใช้สำหรับการคำนวณมุมเดคลิเนชัน และสมการเวลาตลอดปี

Month	**Day Number, *N***	**Notes**
January	d	
February	d + 31	
March	d + 59	Add 1 if leap year
April	d + 90	Add 1 if leap year
May	d + 120	Add 1 if leap year
June	d + 151	Add 1 if leap year
July	d + 181	Add 1 if leap year
August	d + 212	Add 1 if leap year
September	d + 243	Add 1 if leap year
October	d + 273	Add 1 if leap year
November	d + 304	Add 1 if leap year
December	d + 334	Add 1 if leap year

เมื่อ *d* เป็นจำนวนวันในแต่ละเดือน

Leap year เป็นปีอธิกสุรทิน 2000, 2004 , 2008 ฯลฯ

ที่มา: The Sun’s Position http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter03/chapter03.html

ตาราง 34 แสดงค่ามุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันตลอดปี

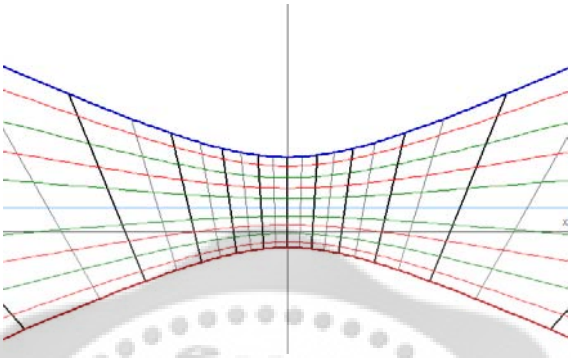
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jly	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	-23.1	-17.3	-7.9	4.2	14.8	21.9	23.2	18.2	8.6	-2.9	-14.2	-21.7
2	-23.0	-17.1	-7.5	4.6	15.1	22.1	23.1	18.0	8.2	-3.3	-14.5	-21.8
3	-22.9	-16.8	-7.1	5.0	15.4	22.2	23.0	17.7	7.8	-3.6	-14.8	-22.0
4	-22.8	-16.5	-6.7	5.4	15.7	22.3	23.0	17.5	7.5	-4.0	-15.1	-22.1
5	-22.7	-16.2	-6.3	5.8	16.0	22.5	22.9	17.2	7.1	-4.4	-15.5	-22.3
6	-22.6	-15.9	-6.0	6.2	16.3	22.6	22.8	16.9	6.7	-4.8	-15.8	-22.4
7	-22.5	-15.6	-5.6	6.5	16.6	22.7	22.7	16.6	6.4	-5.2	-16.1	-22.5
8	-22.3	-15.3	-5.2	6.9	16.9	22.8	22.6	16.4	6.0	-5.6	-16.4	-22.6
9	-22.2	-14.9	-4.8	7.3	17.1	22.9	22.5	16.1	5.6	-6.0	-16.7	-22.7
10	-22.1	-14.6	-4.4	7.7	17.4	23.0	22.4	15.8	5.2	-6.3	-16.9	-22.8
11	-21.9	-14.3	-4.0	8.0	17.7	23.0	22.2	15.5	4.9	-6.7	-17.2	-22.9
12	-21.8	-14.0	-3.6	8.4	17.9	23.1	22.1	15.2	4.5	-7.1	-17.5	-23.0
13	-21.6	-13.6	-3.2	8.8	18.2	23.2	22.0	14.9	4.1	-7.5	-17.8	-23.1
14	-21.4	-13.3	-2.8	9.1	18.4	23.2	21.8	14.6	3.7	-7.8	-18.0	-23.2
15	-21.3	-13.0	-2.4	9.5	18.7	23.3	21.7	14.3	3.3	-8.2	-18.3	-23.2
16	-21.1	-12.6	-2.0	9.8	18.9	23.3	21.5	14.0	3.0	-8.6	-18.6	-23.3
17	-20.9	-12.3	-1.6	10.2	19.1	23.4	21.3	13.7	2.6	-9.0	-18.8	-23.3
18	-20.7	-11.9	-1.3	10.5	19.4	23.4	21.2	13.4	2.2	-9.3	-19.1	-23.4
19	-20.5	-11.6	-0.9	10.9	19.6	23.4	21.0	13.0	1.8	-9.7	-19.3	-23.4
20	-20.3	-11.2	-0.5	11.2	19.8	23.4	20.8	12.7	1.4	-10.1	-19.5	-23.4
21	**-20.1**	**-10.8**	**-0.1**	**11.6**	**20.0**	**23.5**	**20.6**	**12.4**	**1.0**	**-10.4**	**-19.8**	**-23.4**
22	**-19.9**	**-10.5**	**0.3**	**11.9**	**20.2**	**23.5**	**20.4**	**12.0**	**0.6**	**-10.8**	**-20.0**	**-23.4**
23	-19.6	-10.1	0.7	12.3	20.4	23.5	20.2	11.7	0.2	-11.1	-20.2	-23.4
24	-19.4	-9.7	1.1	12.6	20.6	23.4	20.0	11.4	-0.1	-11.5	-20.4	-23.4
25	-19.2	-9.4	1.5	12.9	20.8	23.4	19.8	11.0	-0.5	-11.8	-20.6	-23.4
26	-18.9	-9.0	1.9	13.3	21.0	23.4	19.6	10.7	-0.9	-12.2	-20.8	-23.4
27	-18.7	-8.6	2.3	13.6	21.2	23.4	19.4	10.3	-1.3	-12.5	-21.0	-23.3
28	-18.4	-8.3	2.7	13.9	21.3	23.3	19.2	10.0	-1.7	-12.9	-21.2	-23.3
29	-18.2		3.1	14.2	21.5	23.3	18.9	9.6	-2.1	-13.2	-21.4	-23.3
30	-17.9		3.5	14.5	21.7	23.2	18.7	9.3	-2.5	-13.5	-21.5	-23.2
31	-17.6		3.9		21.8		18.5	8.9		-13.9		-23.1

ภาคผนวก ข

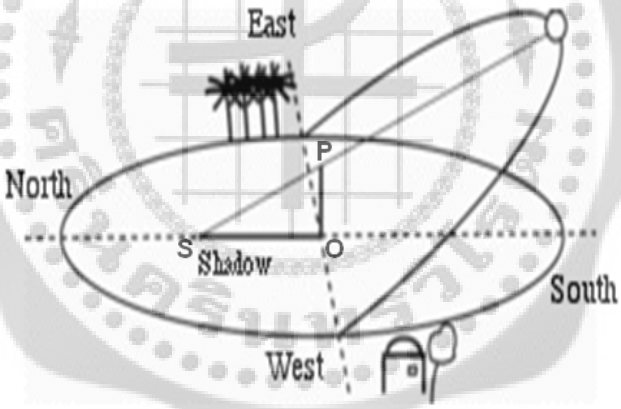
วิธีการคำนวณและการสร้างแนวเส้นโค้งเพื่อแสดงค่ามุมเดคลิเนชัน บนอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดลิเนชันของดวงอาทิตย์ และตัวอย่างการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความไม่แน่นอนรวม

การสร้างแนวเส้นโค้งเพื่อแสดงมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน

ในการสร้างแนวเส้นโค้งของมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์สามารถทำได้โดยการคำนวณหาตำแหน่งปลายของเงาที่เกิดจากสันกำเนิดเงาที่สร้างขึ้นโดยสามารถแสดงแนวเส้นกราฟของมุมเดคลิเนชันดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน ดังภาพประกอบ



ภาพประกอบ (ก)



ภาพประกอบ (ข)

ภาพประกอบ 216 (ก) แสดงแนวเส้นโค้งของมุมเดคลิเนชันดวงอาทิตย์ตลอดปี (ข) แสดงการหาความยาวของเงาที่เกิดจากสันกำเนิดเงา ขณะเวลาใดๆ

ที่มา: http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter03/chapter03.html

http://edu.americanvhs.com/course3.asp?cc=SCI111

วิธีการคำนวณหาความยาวของเงาในแต่ละวัน

การคำนวณหาความยาวของเงาที่เกิดจากสันกำเนิดเงาเพื่อประดิษฐ์อุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ คำนวณได้จากสมการ

$$\overline{OS} = \frac{\overline{OP}}{\tan\alpha} \qquad \text{(ผ.1)}$$

โดย $\overline{OP}$ คือ ความสูงของสันกำเนิดเงา

$\overline{OS}$ คือ ความยาวของเงาที่เกิดขึ้นที่เวลาใดๆ

α คือ มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการหาความยาวของเงาที่เกิดขึ้นในวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556 ที่ตำแหน่งของโรงเรียนจิตรลดา กรุงเทพมหานคร เวลา 11:00 น. โดยใช้สันกำเนิดเงาสูง 3 เซนติเมตร มุมอาซิมุธเท่ากับ $59^{o}\ 08'$ มุมอัลติจูด เท่ากับ $64^{o}\ 58'$ แทนค่าในสมการ (ผ.1) จะได้ความยาวของเงา ($\overline{OS}$) ที่เวลา 11:00 น. เท่ากับ 1.40 เซนติเมตร จากจุดกึ่งกลางสันกำเนิดเงา

ตัวอย่างการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและความไม่แน่นอนรวมจากการอ่านเวลานาฬิกาแดด

วิธีการคำนวณค่าความไม่แน่นอน

ตารางบันทึกผลการทดลองการอ่านค่าเวลาจากนาฬิกาแดดแบบศูนย์สูตรเมื่อมีการปรับหน้าปัดนาฬิกาแดดตามอุปกรณ์ตรวจวัดเงาและมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ วันเสาร์ที่ 20 เดือนเมษายน พ.ศ. 2556

เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)	เวลานาฬิกาแดด (นาฬิกา)	เวลานาฬิกามาตรฐานประเทศไทย (นาฬิกา)	ความคลาดเคลื่อนของเวลา (นาที)
8:00	7:59	1	12:00	12:00	0
8:30	8:29	1	12:25	12:25	0
9:00	8:59	1	13:00	13:00	0
9:30	9:29	1	13:30	13:30	0
10:00	9:59	1	14:00	14:01	1
10:30	10:30	0	14:30	14:31	1
11:00	11:00	0	15:00	15:01	1
11:30	11:30	0			

1. **วิธีการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเวลา ($\bar{X}$)**

สมการ ... $\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} x_j = \frac{x_1 + x_2 + x_3 \cdots x_n}{n}$, n = 15 จะได้

$$\bar{X} = \frac{(1+1+1+1+1+0+0+0+0+0+0+0+1+1+1)}{15}$$

$$\bar{X} = \frac{8}{15} = 0.53$$

ค่าความคลาดเคลื่อนของเวลาเฉลี่ยวันที่ 20 เมษายน เท่ากับ 0.53 นาที

2. **ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)**

$$s(x_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(x_j - \bar{x})^2}$$

สมการ … , n = 15

จะได้ $(SD)^2$ = { [(1-0.53)^2 x 8] + [(0-0.53)2 x 7] } / (15-1)

= 0.2667

และ SD = $(0.2667)^{1/2}$ = 0.52

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาเฉลี่ยวันที่ 20 เมษายน เท่ากับ 0.52 นาที

3. **ความไม่แน่นอนเชิงระบบ (U_1)**

สมการ … $\frac{s(x_j)}{\sqrt{n}}$, n = 15

จะได้ U_1 = 0.52 / $(15)^{1/2}$

= 0.14

ความไม่แน่นอนเชิงระบบของเวลาเฉลี่ย วันที่ 20 เมษายน เท่ากับ 0.14 นาที

4. ความไม่แน่นอนจากการอ่านเวลานาฬิกาแดด (U_2) เท่ากับ 1 นาที

5. ความไม่แน่นอนรวม (U-Combined,U_C)

สมการ … $\sqrt{\sum_{i=1}^{N} u_1^2 + u_2^2}$

จะได้ U_C = (0.14 + 1.00)$^{1/2}$

= 1.01

ความไม่แน่นอนรวมของเวลานาฬิกาแดด วันที่ 20 เมษายน เท่ากับ 1.01 นาที

6. **สรุปผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอน**

หัวข้อการคำนวณ	**สูตร**	**ผลการคำนวณ**
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ($\overline{X}$)	$\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} X_j = \frac{X_1 + X_2 + X_3 \cdots X_n}{n}$	0.53
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	$s(x_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(x_j - \overline{x})^2}$	0.52
ความไม่แน่นอนเชิงระบบ (U_1)	$\frac{s(x_j)}{\sqrt{n}}$	0.14
ความไม่แน่นอนจากการวัด (U_2)	1 นาที	1.00
ความไม่แน่นอนรวม (U-Combined)	$\sqrt{\sum_{i=1}^{N} u_1^2 + u_2^2}$	1.01

ที่มา : United Kingdom Accreditation Service, The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement, M3003 Edition 2, January 2007

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายวีรวัฒน์ หนองห้าง
วัน เดือน ปีเกิด	12 ตุลาคม พ.ศ. 2524
สถานที่เกิด	78 หมู่ 1 บ้านหนองห้าง ตำบลหนองห้าง อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46110
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	199/275 เดอะคอนเน็คเกษตร-นวมินทร์ ถนนเกษตร-นวมินทร์ แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10240
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ครู คศ.1 ช่วยปฏิบัติราชการโรงเรียนจิตรลดา
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนจิตรลดา บริเวณพระตำหนักจิตรลดารโหฐาน พระราชวังดุสิต ถนนราชวิถี แขวงสวนจิตรลดา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร 10303
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2545	วิทยาศาสตรบัณฑิต จาก สถาบันราชภัฏมหาสารคาม
พ.ศ. 2546	ประกาศนียบัตรวิชาชีพครู จาก สถาบันราชภัฏมหาสารคาม