

การวัดทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยใช้เทคนิค
DIFFERENCETIAL IMAGE MOTION MONITOR (DIMM)
ณ หอดูดาวแห่งชาติ
ASTRONOMICAL SEEING MEASUREMENT AT THAI
NATIONAL OBSERVATORY BY DIFFERENCETIAL IMAGE
MOTION MONITOR (DIMM)



สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การวัดทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยใช้เทคนิค
DIFFERENTIAL IMAGE MOTION MONITOR (DIMM)
ณ หอดูดาวแห่งชาติ
ASTRONOMICAL SEEING MEASUREMENT AT THAI
NATIONAL OBSERVATORY BY DIFFERENTIAL IMAGE
MOTION MONITOR (DIMM)



นางสาวจิตสุภา แพน้อย

12884273

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 149490
รับเดือนปี. ๘ อ.ก. 2561

สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ASTRONOMICAL SEEING MEASUREMENT AT THAI
NATIONAL OBSERVATORY BY DIFFERENCETIAL IMAGE
MOTION MONITOR (DIMM)



A COOPERATIVE EDUCATION SUBMITTED IN PARTIAL
FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา

การวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยใช้เทคนิค Differential Image Motion Monitor (DIMM) ณ หอดูดาวแห่งชาติ
Astronomical Seeing Measurement at Thai National Observatory by Differential Image Motion Monitor (DIMM)

ชื่อนักศึกษา

นางสาวจิตสุภา แพน้อย รหัสนักศึกษา 56051122

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.กวางปัญญา สุวรรณสุขโข

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

นายอภิชาติ เหล็กงาม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
สหกิจศึกษานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ประธาน บุณศิริ กรรมการ	
อ.สุรชาติ กมลดีลก กรรมการ	
ดร.กวางปัญญา สุวรรณสุขโข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	
นายอภิชาติ เหล็กงาม กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

และสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อสหกิจศึกษา	การวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยใช้เทคนิค Differential Image Motion Monitor (DIMM) ณ หอดูดาวแห่งชาติ
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิตสุภา แพน้อย รหัสนักศึกษา 56051122
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.คางปัญญา สุวรรณสุโข
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	นายอภิชาติ เหล็กงาม

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการวัดทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ (Astronomical Seeing Measurement) โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า Differential Image Motion Monitor (DIMM) ทำการออกแบบอุปกรณ์ที่จะต่อเข้ากับกล้องแบบผสมชนิดชนิดขมิดท์ แคสสิเกรน ขนาด 8 นิ้วประกอบด้วยแผ่นสไลด์ที่ยึดตัวกล้องกับฐานตั้งกล้อง (Plate slide) ชิ้นส่วนที่ใช้ยึดกล้องเข้ากับตัวกล้องหลัก (Finder base) ฝาปิดกล้องที่เจาะรู 2 รู (Mask 2 hold) แผ่นเชื่อมระหว่างฐานตั้งกล้องกับเสาตั้งกล้อง (Plate slot) และสตอปเปอร์ (Stopper) ออกแบบโดยโปรแกรม Solidwork ติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ CCD และอุปกรณ์ต่าง ๆ เก็บข้อมูลโดยโปรแกรม Seeing monitor analyser จำนวน 45 วันโดยเก็บข้อมูลที่มุม Altitude ระหว่าง 60° - 90° จากขอบฟ้าได้ข้อมูลทั้งหมด 13,694 ข้อมูล ทำการเปรียบเทียบค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่ได้จากเทคนิค DIMM เทคนิคดาวเหนือ (Polaris Seeing) และ STV ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน และศึกษาความสัมพันธ์ของมวลอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมกับค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์พบว่าเมื่ออุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมีผลทำให้ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์เพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Astronomical Seeing Measurement at Thai National Observatory by Differential Image Motion Monitor (DIMM)	
Student	Miss Jitsupa Paenoi	Student ID 56051122
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)	
Department	Physics	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2016	
Advisor	Dr.Kajpanya Suwansukko	
Co-advisor	Mr.Apichat Leckngam	

Abstract

This research was studied astronomical seeing measurement using Differential Image Motion Monitor (DIMM) technique. Solidwork programming was used to design Plate slide, Finder base, Mask 2 holes, Plate slot and Stopper. These equipments were assembled to 8-inches Schmidt Cassegrain Catadioptric Telescope. CCD camera and control tools were installed to the telescope and seeing monitor program was used to store data. Seeing data was collected at altitude between 60°- 90° from the horizon. Data set of 13,694 were analyzed and compared. The results shown that astronomical seeing using DIMM had being similar direction with Polaris and STV seeing technique. Finally, relation between airmass, temperature, humidity and wind speed were studied. The experimental results shown that these four parameters have being effect to seeing value.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์บุญรักษา สุนทรธรรม ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ดร.ศรัณย์ โปษยะจินดา รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทำสหกิจศึกษา คณบดี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่อนุญาตและให้การสนับสนุน การฝึกประสบการณ์สหกิจศึกษา นายอภิชาติ เหล็กงาม ผู้อำนวยการสำนักปฏิบัติการและวิศวกรรม สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) เป็นที่ปรึกษาร่วม และดร.กวางปัญญา สุวรรณสุข กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีเมตตาและให้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างต่อเนื่อง ตลอดจนการปรับปรุงแก้ไขงานจนมีคุณภาพ รวมถึง ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประธาน บุรณศิริ และอาจารย์สุรชาติ กมลดีลภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เป็นคณะกรรมการที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในรายงานฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ พี่แดน วิศวกรที่กรุณาให้คำแนะนำและดูแลช่วยเหลือโดยตลอด พี่พงษ์ พี่แจ๊คและพี่ริน ที่ช่วยออกแบบและจัดทำชิ้นงานประกอบกล้องโทรทรรศน์ จนสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ พี่เหน่ง พี่แคน พี่ช่วง พี่นุ และพี่นิคม ฝ่ายเทคนิคดาราศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำ พี่เกด และพี่หญิงที่ช่วยดูแลด้านการติดต่อและประสานงาน พี่เม็ค พี่แดง พี่กั้ง พี่ไฉ พี่เอก พี่แชมป์ พี่นัท พี่ตังและเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติทุกคน ที่ให้การดูแลช่วยเหลือทำให้งานวิจัยครั้งนี้ลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณคุณยาย คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนมาโดยตลอด และขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ที่เป็นกำลังใจตลอดมา

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และคณาจารย์ทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย และสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ได้ให้ออกาสฝึกประสบการณ์การเรียนรู้ทางดาราศาสตร์อย่างดียิ่ง คุณประโยชน์อันเกิดจากรายงานฉบับนี้ขอบอบแต่ ผู้มีพระคุณทุกท่านดังที่กล่าวมา

จิตสุภา แพน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขต	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทศนิยมวิสัยทางดาราศาสตร์	4
2.2 Point Spread Function (PSF)	4
2.3 กำลังการแยก (Angular Resolution)	6
2.4 Full Width at Half Maximum (FWHM)	8
2.5 ระบบการทำ Differential Image Motion Monitor (DIMM)	8
2.6 เทคนิคการทำ DIMM	9
2.7 ปัจจัยสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลต่อทศนิยมวิสัยทางดาราศาสตร์	13
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	18
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	18
3.2 การเตรียมการศึกษาวิจัย	20
3.3 ขั้นตอนการวิจัย	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
เอกสารอ้างอิง	63
ภาคผนวก	67
ภาคผนวก ก	68
ภาคผนวก ข	78
ภาคผนวก ค	88
ภาคผนวก ง	126
ภาคผนวก จ	130
ภาคผนวก ฉ	132



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงการแจกแจงความถี่ของค่า Astronomical Seeing ที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยเทคนิค DIMM	39
4.2 แสดงการแจกแจงความถี่ของค่า Astronomical Seeing ที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยเทคนิคดาวเหนือ	40
4.3 แสดงค่า FWHM โดยเทคนิค DIMM ที่ได้จากการเก็บข้อมูล	42
4.4 แสดงค่า FWHM โดยเทคนิคดาวเหนือที่ได้จากการเก็บข้อมูล	43
4.5 ตารางแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในเดือน มีนาคม 2560	58
4.6 ตารางแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของความชื้นในเดือน มีนาคม 2560	59
4.7 ตารางแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของความเร็วลม ในเดือน มีนาคม 2560	60
ง1 แสดงตารางวางแผนข้อมูลดาวสำหรับโปรแกรม ACP ใช้ใน วันที่ 7 มีนาคม – 12 มีนาคม 2560	126
ง2 ตารางวางแผนข้อมูลดาวสำหรับโปรแกรม ACP ใช้ใน วันที่ 12 มีนาคม – 23 มีนาคม 2560	127
ง3 ตารางวางแผนข้อมูลดาวสำหรับโปรแกรม ACP ใช้ใน วันที่ 24 มีนาคม – 31 มีนาคม 2560	127
ง4 ตารางแสดงการขึ้นตกของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ในเดือนมีนาคม และเดือนเมษายนจังหวัดเชียงใหม่ CHIANG MAI PROVINCE ละติจูด 18°47'00"เหนือ ลองจิจูด 98°59'00" ตะวันออก	129
จ1 แสดงสมการการคาดการณ์ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ในเดือนมีนาคม จำนวน 25 วัน	130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Point Spread Function (PSF) ในสองมิติ	5
2.2 Surface Plot แสดงพื้นผิวและความเข้มของ Airy Disk (PSF)	5
2.3 กราฟ log-log แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงและ Angular resolution ณ Diffraction limit ที่ความยาวคลื่นต่างๆ เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ดาราศาสตร์ต่าง ๆ เช่น กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล และดวงตามนุษย์	7
2.4 ฟังก์ชันการทำงานทั่วไปของ DIMM ก) แสงจากดาวผ่านช่องเปิดสองช่องช่องหนึ่งมี ปริซึมกั้นอยู่(Hartmann mask) ปรากฏภาพสองภาพบนซีซีดี ข) ภาพดาวสอง ตำแหน่งบนซีซีดี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนย้ายตามแนวยาว (σ_y) และ แนวขวาง (σ_x) ถูกประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์เป็นค่า seeing	12
2.5 แสดงวิธีการวัด FWHM ด้วยเทคนิค DIMM ในหน่วย arcsec (ฟิลิปดา)	12
2.6 (ซ้าย) แสดงผลของภาพที่สมบูรณ์จากแสงดาวที่ปราศจากบรรยากาศ (ขวา) แสดงการหักเหของแสงดาวผ่านชั้นความแปรปรวนของบรรยากาศ ซึ่งมีผลต่อข้อมูลภาพที่ได้ตามระยะการเปิดหน้ากล้องที่ต่างกัน	14
2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดันอากาศ ที่ระยะความสูงตามชั้นบรรยากาศ	14
2.8 แสดงแบบจำลองความแปรปรวนของ Kolmogorov	15
2.9 แสดงการประมาณค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ตามมาตราของ PICKERING จากซ้ายไปขวาแสดงค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่แย่ที่สุด (>5) จนถึงดีที่สุด (<0.5)	15
3.1 กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้ในการศึกษาและหาค่า Astronomical Seeing	18
3.2 ฐานตั้งกล้องที่ใช้ในการศึกษาและหาค่า Astronomical Seeing	18
3.3 กล้องถ่ายภาพซีซีดีที่ใช้ในการศึกษาและหาค่า Astronomical Seeing	19
3.4 กล้องถ่ายภาพซีซีดีที่ติดกับกล้องเล็งใช้ในการศึกษาและหาค่า Astronomical Seeing	19
3.5 ชุดกล้องถ่ายภาพซีซีดีที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบค่า Astronomical Seeing	19
3.6 Plate slide	20
3.7 Finder base	20
3.8 Mask 2 Hole	20
3.9 Plate slot	21
3.10 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ในการใช้งานจริง	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับกล่องโทรทรรศน์	22
3.12 แผนภาพแสดงการใช้โปรแกรมเพื่อควบคุมและสั่งการกล่องโทรทรรศน์	23
3.13 แสดงหน้าต่างแรกหลังจากกดเปิดโปรแกรม Autoslew	25
3.14 เลือก Balance กล้อง	25
3.15 การ Balance กล้องจะต้องให้ซีดีสีแดงตรงกัน	26
3.16 เลือก TUNE motor	26
3.17 แสดงกราฟการ Tune motor	27
3.18 การตั้งค่า Location	27
3.19 การหาตำแหน่ง Home ของแกน RA และ DE	28
3.20 เลือกทิศให้ตรงกับการตั้งกล้อง	28
3.21 การตั้งตำแหน่ง Park	29
3.22 หน้าต่างโปรแกรม Seeing monitor analyser และการตั้งค่า Parameter	30
3.23 แสดงขั้นตอนการเลือกกล้องถ่ายภาพซีซีดี	31
3.24 ความละเอียดที่เลือกใช้ในการถ่ายภาพ	31
3.25 แสดงการเชื่อมต่อโปรแกรมกับกล่องโทรทรรศน์	32
3.26 เลือกประเภทของกล้องโทรทรรศน์	32
3.27 แสดงการเก็บค่า Seeing	33
3.28 แสดงกราฟค่า Seeing แต่ละช่วงเวลา	33
3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า FWHM กับเวลา โดยเทคนิคดาวเหนือ	35
3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า FWHM กับเวลา โดยเทคนิค DIMM	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 แสดงค่า FWHM โดยเทคนิค DIMM ตั้งแต่ วันที่ 3 มีนาคม – 30 มีนาคม 2560	42
4.2 แสดงค่า FWHM โดยเทคนิคดาวเหนือ ตั้งแต่ วันที่ 3 มีนาคม – 30 มีนาคม 2560	43
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2560	45
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2560	45
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2560	46
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2560	46
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2560	47
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2560	47
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 3 มีนาคม 2560	48
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 3 มีนาคม 2560	48
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 4 มีนาคม 2560	49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 4 มีนาคม 2560	49
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 5 มีนาคม 2560	50
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 5 มีนาคม 2560	50
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 6 มีนาคม 2560	51
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 6 มีนาคม 2560	51
4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 8 มีนาคม 2560	52
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 8 มีนาคม 2560	52
4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 14 มีนาคม 2560	53
4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 14 มีนาคม 2560	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 15 มีนาคม 2560	54
4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 15 มีนาคม 2560	54
4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Altitude ตั้งแต่ 0° - 90° กับค่า Airmass	55
4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Altitude ตั้งแต่ 60° - 90° กับค่า Airmass ช่วงที่ใช้ในการศึกษาค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM	55
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Altitude ตั้งแต่ 60° - 90° กับค่า Airmass ช่วงที่ใช้ในการศึกษาค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือ	55
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing กับค่า Airmass และ Ro	56
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม	57
4.28 กราฟแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในเดือน มีนาคม 2560	58
4.29 กราฟแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของความชื้นในเดือน มีนาคม 2560	59
4.30 กราฟแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในเดือน มีนาคม 2560	60
ก1 แสดงการจัดเตรียมชิ้นงานก่อนนำเข้าเครื่อง CNC	68
ก2 ขั้นตอนการทำ Plate slide โดยเครื่อง CNC	68
ก3 ทดสอบ Plate slide ที่ทำเสร็จแล้ว	69
ก4 ขั้นตอนการทำ Finder base	69
ก5 แสดงตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ที่ทำเสร็จแล้ว	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก6 ขั้นตอนการทำเสาตั้งกล้องโทรทรรศน์	70
ก7 แสดงการทดสอบระบบก่อนขึ้นไปทำการติดตั้งจริง	71
ก8 แสดงการทดสอบระบบก่อนขึ้นไปทำการติดตั้งจริง	71
ก9 แสดงการทดสอบระบบก่อนขึ้นไปทำการติดตั้งจริง	72
ก10 แสดงการทดสอบระบบก่อนขึ้นไปทำการติดตั้งจริง	72
ก11 ขั้นตอนการติดตั้งระบบจริง ณ หอดูดาวแห่งชาติ บนยอดดอยอินทนนท์	73
ก12 รูปการณ์ติดตั้งที่สำเร็จแล้ว	73
ก13 แสดงสถานที่ทดสอบการติดตั้งระบบสถานที่จริงที่ติดตั้งระบบ	74
ก14 ทักษะภาพในการเก็บข้อมูลจริง	74
ก15 แสดงสถานที่ทดสอบการติดตั้งระบบสถานที่จริงที่ติดตั้งระบบ	75
ก16 แบบ drawing ของ plate slide ออกแบบโดยโปรแกรม Solidwork	75
ก17 แบบ drawing ของ finder base ออกแบบโดยโปรแกรม Solidwork	76
ก18 แบบ drawing ของ stopper ออกแบบโดยโปรแกรม Solidwork	76
ก19 แบบ drawing ของ mask 2 hole ออกแบบโดยโปรแกรม Solidwork	77
ค1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 3 มีนาคม 2560	88
ค2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 4 มีนาคม 2560	89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 5 มีนาคม 2560	90
ค4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 6 มีนาคม 2560	91
ค5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 7 มีนาคม 2560	92
ค6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 8 มีนาคม 2560	93
ค7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 10 มีนาคม 2560	94
ค8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 11 มีนาคม 2560	95
ค9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 12 มีนาคม 2560	96
ค10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 13 มีนาคม 2560	97
ค11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 14 มีนาคม 2560	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 15 มีนาคม 2560	99
ค13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 16 มีนาคม 2560	100
ค14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 17 มีนาคม 2560	101
ค15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 18 มีนาคม 2560	102
ค16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 20 มีนาคม 2560	103
ค17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 21 มีนาคม 2560	104
ค18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 22 มีนาคม 2560	105
ค19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 23 มีนาคม 2560	106
ค20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิต่ำ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 24 มีนาคม 2560	107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 25 มีนาคม 2560	108
ค22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 26 มีนาคม 2560	109
ค23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 27 มีนาคม 2560	110
ค24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 29 มีนาคม 2560	111
ค25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 30 มีนาคม 2560	112
ค26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 3 มีนาคม 2560	113
ค27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 4 มีนาคม 2560	113
ค28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 5 มีนาคม 2560	114
ค29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 6 มีนาคม 2560	114

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 7 มีนาคม 2560	115
ค31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 8 มีนาคม 2560	115
ค32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 10 มีนาคม 2560	116
ค33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 11 มีนาคม 2560	116
ค34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 12 มีนาคม 2560	117
ค35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 13 มีนาคม 2560	117
ค36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 14 มีนาคม 2560	118
ค37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 15 มีนาคม 2560	118
ค38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 16 มีนาคม 2560	119
ค39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 17 มีนาคม 2560	119

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 18 มีนาคม 2560	120
ค41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 20 มีนาคม 2560	120
ค42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 21 มีนาคม 2560	121
ค43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 22 มีนาคม 2560	121
ค44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 23 มีนาคม 2560	122
ค45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 24 มีนาคม 2560	122
ค46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 25 มีนาคม 2560	123
ค47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 26 มีนาคม 2560	123
ค48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 27 มีนาคม 2560	124

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 29 มีนาคม 2560	124
ค50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 30 มีนาคม 2560	125
ง1 กราฟแสดงตำแหน่งดาวตามค่า RA DE ที่ระบุ ณ วันที่ 7 มีนาคม 2560	128



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ทัศนวิสัยของท้องฟ้า(Seeing) หรือทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์(Astronomical Seeing) จะบอกถึงคุณภาพของท้องฟ้าในการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ ซึ่งมีความสำคัญและมีผลต่อข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยทางดาราศาสตร์ เช่น ข้อมูลทางโฟโตเมตรี และสเปกโตรสโกปี รวมถึงภาพถ่ายวัตถุท้องฟ้าต่าง ๆ ที่ถ่ายได้จากกล้องโทรทรรศน์ที่ตั้งอยู่บนพื้นโลก หรือแม้แต่การสังเกตการณ์ท้องฟ้าหรือการดูดาวท้องฟ้าจริง ดังนั้น ทัศนวิสัยของท้องฟ้าดี จะช่วยให้ได้ข้อมูลทางดาราศาสตร์ที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์มีคุณภาพและมีความสมบูรณ์ ดังนั้น ก่อนการจัดสร้างหอดูดาวจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการทดสอบค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า (Seeing Test) หรือการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ (Astronomical Seeing Measurement) ซึ่งก่อนการก่อสร้างหอดูดาวแห่งชาติบริเวณสถานีทวนสัญญาณ ทีโอที(กม.44) ยอดดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ ได้มีการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ (Astronomical Seeing Measurement) และค่าความสว่างท้องฟ้าที่เป็นฉากหลังอย่างเป็นระบบ ผลการตรวจวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ ได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 0.8 อาร์ควินาที ตลอดช่วงระยะเวลาสองปีทำการตรวจวัด ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ดีมาก ใกล้เคียงกับหอดูดาวที่ติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่อื่น ๆ ที่ตั้งอยู่ที่ระดับความสูงใกล้เคียงกัน ซึ่งนับว่าเป็นสถานที่ที่มีค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการจัดสร้างหอดูดาวสถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน) มีพันธกิจหลักในการพัฒนาและส่งเสริมงานวิจัยทางด้านดาราศาสตร์ จึงได้ดำเนินการก่อสร้างหอดูดาวแห่งชาติขึ้น และติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เมตร ณ สถานที่ดังกล่าว เพื่อสนับสนุนงานการศึกษาวิจัยทางด้านดาราศาสตร์ เมื่อหอดูดาวแห่งชาติสร้างเสร็จได้มีการติดตั้ง Seeing Monitor สำหรับการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ ซึ่งใช้เทคนิคการวัดโดยวัดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งดาวเหนือ(Polaris Seeing) ซึ่งค่าที่ได้มีความคลื่อนพอสมควรและยังไม่เพียงพอต่อการวิจัยที่ต้องอาศัยข้อมูลที่ละเอียด

การทดสอบค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า หรือการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ ที่นิยมใช้และเป็นที่ยอมรับในระดับสากลมีสองวิธี คือ การใช้เทคนิคการวัดโดยวัดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งดาวเหนือ (Polaris Seeing) และการใช้เทคนิค Differential Image Motion Monitor (DIMM) เนื่องจากประเทศ

ไทยอยู่ในตำแหน่งละติจูดที่ต่ำ ทำให้ตำแหน่งของดาวเหนืออยู่ใกล้กับขอบฟ้า ซึ่งจะมีผลต่อค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่วัดได้ อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากบริเวณใกล้ขอบฟ้ามีความแปรปรวนของมวลอากาศ (Airmass) ค่อนข้างมาก ดังนั้น ตำแหน่งที่จะได้ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่ดีที่สุด คือตำแหน่งกลางฟ้าที่มีค่า Airmass ใกล้เคียง 1 ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จึงทำการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ โดยใช้เทคนิค DIMM ซึ่งเทคนิคนี้จะใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กและกล้องถ่ายภาพซีซีดี พร้อมโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณหาค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ โดยทำการถ่ายภาพดาวช่วงเวลาสั้นๆที่อยู่พิกัดบริเวณกลางฟ้าในช่วงอัลติจูดประมาณ 60-90 องศา และวัดตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของดาวที่ปรากฏสองดวงจากดาวดวงเดียวกัน ที่ถูกแยกออกโดยช่องเปิดบนหน้ากล้องโทรทรรศน์ 2 ช่อง ค่าที่ได้จะเป็น Full-Width Half-Maximum (FWHM) ของภาพดาวที่ถ่ายได้จากซีซีดี ซึ่งวิธีนี้จะไม่มีความกระทบของระบบทัศนศาสตร์ของกล้องโทรทรรศน์หรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากระบบกลไกติดตามดาวของกล้อง

ปัจจุบันได้มีนักวิจัยใช้กล้องโทรทรรศน์ที่ติดตั้งอยู่ ณ หอดูดาวแห่งชาติ ทำการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาวิจัยทางดาราศาสตร์อย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องมีการวัดค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า หรือ ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์อย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกัน ในขณะที่เดียวกัน จะศึกษาความสัมพันธ์ของมวลอากาศ, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, และความเร็วลม กับค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่วัดได้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ออกแบบและติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ CCD และอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อติดตั้งระบบ DIMM ณ หอดูดาวแห่งชาติ
- 2) ศึกษาการหาค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า (Seeing Test) หรือ การวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ (Astronomical Seeing Measurement) โดยเทคนิค DIMM และการใช้โปรแกรม ACP ซึ่งเป็นโปรแกรมควบคุมกล้องโทรทรรศน์ให้ทำงานในโหมดโรโบติก เพื่อควบคุมให้กล้องโทรทรรศน์ทำงานตามแผนงานที่กำหนดไว้ในแต่ละคืนร่วมกับการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ โดยเทคนิค DIMM
- 3) ศึกษาเปรียบเทียบค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยเทคนิค DIMM และเทคนิคการใช้ดาวเหนือ (Polaris Seeing)
- 4) ศึกษาความสัมพันธ์ของมวลอากาศ (Airmass), อุณหภูมิ (Temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และความเร็วลม (Wind Speed) กับค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษาครั้งนี้ แบ่งออกได้ดังนี้

ตัวแปรอิสระ ได้แก่ มวลอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม

ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์

ตัวแปรควบคุม ได้แก่ ดาวที่ใช้ในการทดสอบ ตำแหน่งดาว เวลาและสถานที่ในการเก็บข้อมูล

2) สถานที่

หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา (หอดูดาวแห่งชาติ) กม.44 ยอดดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ (Location: Doi Intanon, Amphur Jom Thong, Chiangmai Province.) ละติจูด (Latitude) $18^{\circ} 34' 25.8''$ เหนือ (N) ลองจิจูด (Longitude) $98^{\circ} 27' 55.9''$ ตะวันออก (E) ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Altitude) 2,420 เมตร (meter above sea level)

3) ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย

ตั้งแต่เดือน มกราคม 2560 ถึงเดือน เมษายน 2560

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ข้อมูลค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า (Seeing) หรือค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ โดยใช้เทคนิค DIMM (Differential Image Motion Monitor) อย่างต่อเนื่อง สำหรับหอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา (หอดูดาวแห่งชาติ) สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ (องค์การมหาชน)

2) ได้ระบบการทำงานอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องในการวัดค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า หรือค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยเทคนิค DIMM เมื่อใช้งานร่วมกับโปรแกรม ACP

3) นักวิจัยสามารถนำค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า หรือค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ ไปใช้อ้างอิงหรือวิเคราะห์ข้อมูลในงานศึกษาวิจัยทางดาราศาสตร์ได้

4) ได้ทดสอบระบบการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการทำงานอัตโนมัติอย่างต่อเนื่องในการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพ มีเสถียรภาพและความสมบูรณ์ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

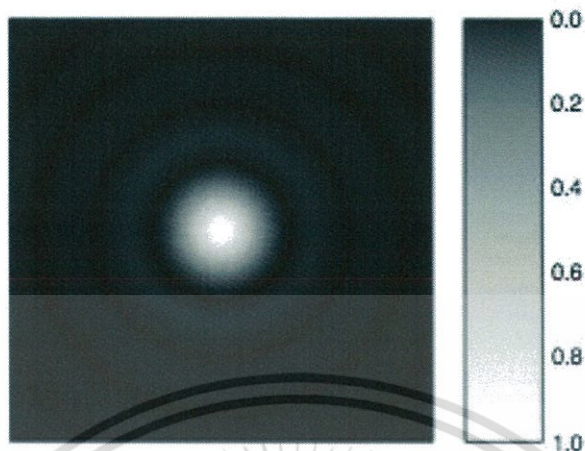
การศึกษาค่าวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยใช้เทคนิค DIMM ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา (หอดูดาวแห่งชาติ) ครั้งนี้ ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย ในประเด็นต่อไปนี้

2.1 ทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์

ทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์จะบอกถึงคุณภาพของท้องฟ้าในการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ มีความสำคัญและมีผลต่อข้อมูลการศึกษาวิจัยทางดาราศาสตร์ เช่น ข้อมูลทางโฟโตเมตรีและสเปกโตรสโกปี รวมถึงภาพถ่ายวัตถุท้องฟ้าต่าง ๆ ที่ถ่ายได้จากกล้องโทรทรรศน์ที่ตั้งอยู่บนพื้นโลก หรือแม้แต่การสังเกตการณ์ท้องฟ้าหรือการดูดาว หากทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ดี ข้อมูลทางดาราศาสตร์ที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์ที่ตั้งอยู่บนพื้นโลกจะมีความสมบูรณ์และมีคุณภาพ สามารถนำไปวิเคราะห์ที่ศึกษาวิจัยทางดาราศาสตร์ได้ หอดูดาวที่ติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่เพื่อการวิจัย จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งชุดอุปกรณ์และระบบเพื่อทำการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์เสมอ สำหรับวิธีการหรือเทคนิคที่ใช้ในการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ ที่นิยมใช้และเป็นที่ยอมรับในระดับสากลมีสองวิธี คือ การใช้เทคนิคการวัดโดยวัดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งดาวเหนือและการใช้เทคนิค DIMM การใช้เทคนิคการวัดโดยวัดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งดาวเหนือจะมีข้อจำกัดและค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่วัดได้อาจมีความคลาดเคลื่อน โดยเฉพาะหอดูดาวที่ตั้งอยู่ที่ตำแหน่งละติจูดต่ำ ๆ ใกล้เส้นศูนย์สูตรโลก ตำแหน่งของดาวเหนือจะอยู่ใกล้กับขอบฟ้า และบริเวณใกล้ขอบฟ้ามีความแปรปรวนของมวลอากาศค่อนข้างมาก ตำแหน่งที่จะได้ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่ดีที่สุด คือตำแหน่งกลางฟ้าที่มีความมวลอากาศใกล้เคียง 1 ดังนั้น การวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่นิยมใช้อีกวิธีหนึ่งคือ การใช้เทคนิค DIMM

2.2 Point Spread Function (PSF)

ในทางดาราศาสตร์พบว่า แหล่งกำเนิดแสงเป็นจำนวนมาก จะเป็นแหล่งกำเนิดแสงแบบจุดเดี่ยว (point source) เนื่องจากวัตถุบนท้องฟ้ามีระยะที่ไกลมาก จึงไม่สามารถสังเกตเห็นขนาดเชิงมุมได้ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าแหล่งกำเนิดแสงจะเป็นเพียงจุด จะพบว่าแสงที่ตกกระทบลงบนฉากรับกลับไม่เป็นจุดเดี่ยว แต่กลับตกลงบนฉากรับของ Point Spread Function (PSF) ในสองมิติบนระนาบของภาพนั้น ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 Point Spread Function (PSF) ในสองมิติ
PSF เรียกอีกชื่อหนึ่งคือ Airy Pattern หรือ Airy Disk สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Surface Plot แสดงพื้นผิวและความเข้มของ Airy Disk (PSF)
การที่แสงจาก point source มีการกระจายตัวออกเป็น PSF เป็นสาเหตุให้กล้องโทรทรรศน์มีขีดจำกัดของกำลังการแยก (angular resolution)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กำลังการแยก (Angular Resolution)

Angular resolution เป็นความสามารถในการแยกรายละเอียดของวัตถุที่เห็นออกจากกันมีหน่วยเป็นมุม เช่น arcsec องศา หรือ เรเดียน ในทางดาราศาสตร์ทั่ว ๆ ไป มักจะใช้ในหน่วยของ arcsec ค่า Resolving power คือ ค่าระยะห่างเชิงมุมที่น้อยที่สุด ที่ทัศนุปกรณ์ชิ้นนั้น ๆ จะสามารถแยกแยะออกจากกันได้ สำหรับสายตามนุษย์ทั่ว ๆ ไป มี angular Resolution อยู่ที่ประมาณ 1 arcsec ($1/60^\circ$) นั้นหมายความว่า มนุษย์จะไม่สามารถมองเห็นรายละเอียดที่เล็กกว่า 1 arcsec ได้ ขนาดเชิงมุมของวัตถุชิ้นนั้นขึ้นอยู่กับทั้งขนาดของวัตถุ และระยะทางที่สังเกต โดยเราสามารถคำนวณขนาดเชิงมุมได้จากสมการที่ (2.1)

$$\tan \theta = \frac{s}{d} \quad \text{-----} \quad (2.1)$$

เมื่อ θ = ระยะห่างเชิงมุมหรือขนาดเชิงมุม, s = ระยะห่างหรือขนาดของวัตถุ, d = ระยะห่างถึงวัตถุ
Angular resolution นอกจากขึ้นอยู่กับคุณภาพของทัศนุปกรณ์หรือชิ้นเลนส์ที่ใช้แล้ว ยังมีปัจจัยภายนอกอุปกรณ์ เช่น สภาพท้องฟ้า อุณหภูมิที่แตกต่างกันภายในอุปกรณ์ ชั้นบรรยากาศ ฯลฯ เราสามารถเพิ่ม Angular resolution ได้โดยการพัฒนาทัศนุปกรณ์และสภาพบรรยากาศในการสังเกต (seeing) แต่ก็สามารถพัฒนา Angular resolution ของทัศนุปกรณ์หนึ่งๆ ขึ้นไปได้ถึงเพียงขีดจำกัดหนึ่งเท่านั้น เมื่อลด Angular resolution จะพบว่า การแทรกสอดของแสงเริ่มเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เราไม่สามารถลด Angular resolution ลงไปได้อีก เรียกขีดจำกัด Angular resolution ที่ทัศนุปกรณ์หนึ่งสามารถที่จะมีได้ในทางทฤษฎีนี้ เรียกว่า Diffraction Limit

เนื่องจาก Diffraction Limit เป็นเพียงขอบเขตทางทฤษฎี และเกิดขึ้นจากสมบัติความเป็นคลื่นและการแทรกสอดของแสง ค่านี้จึงไม่ขึ้นกับคุณสมบัติใดๆ ในตัวกล้องโทรทรรศน์ แต่เพียงขึ้นอยู่กับขนาดรูรับแสง และความยาวคลื่นแสงที่วัดหรือสังเกต โดยสามารถคำนวณ Diffraction Limit (R ในหน่วย radian) ได้ดังสมการที่ (2.2)

$$R = \frac{\lambda}{D} \quad \text{-----} \quad (2.2)$$

เมื่อ R = Diffraction Limit, λ = ความยาวคลื่นที่สังเกต และ D = เส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสง

รูปที่ 2.3 แสดงถึง Angular resolution ณ Diffraction limit ที่ความยาวคลื่นและรูรับแสงต่างๆ อย่างไรก็ตาม กล้องโทรทรรศน์บนโลกมักจะมี Angular resolution ที่กว้างกว่า (แยกว่า) Diffraction limit อยู่มาก เนื่องจากปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถใช้ประสิทธิภาพของทัศนูปกรณ์ได้เต็มที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สภาพชั้นบรรยากาศของโลก ที่มักจะเป็นขีดจำกัดของกล้องโทรทรรศน์ภาคพื้นดินส่วนใหญ่ เป็นเหตุผลว่าทำไมกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล แม้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 2.4 เมตร (ซึ่งเท่ากับกล้องโทรทรรศน์ที่ติดตั้งอยู่ที่หอดูดาวแห่งชาติ) แต่กลับสามารถถ่ายภาพได้ความละเอียดที่สูงกว่ากล้องโทรทรรศน์บนโลกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกว้างกว่าอย่างมาก

2.4 Full Width at Half Maximum (FWHM)

เนื่องจาก PSF เป็นฟังก์ชันที่มีลักษณะแผ่ออกไปเป็นวงกว้าง และในทางทฤษฎีแล้วจะสามารถแผ่ออกไปไม่มีที่สิ้นสุด การนิยามระยะทางหนึ่งเพื่อจะบอกถึงขอบเขตของ PSF ที่เราสนใจจึงมีประโยชน์อย่างยิ่งในทางดาราศาสตร์นั้น นิยามที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ Full Width at Half Maximum (FWHM) FWHM คือ ขอบเขตของฟังก์ชันที่มีค่าความเข้มไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดของฟังก์ชันนั้นๆ หากเราวัดค่าสูงสุดของ PSF แล้ว ขอบเขต FWHM จะเป็นบริเวณวงกลมที่มีความเข้มของแสงอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุด นอกจากนี้ การที่แสงไม่ได้ตกลงบนจุดเดียว ๆ แต่กลับกระจายตัวออกเป็นวงกว้างนี้ ทำให้การวัดความเข้มของแสงซับซ้อนยิ่งขึ้น เนื่องจากแสงไม่ได้ตกลงบน Pixel เดียวบน CCD แต่เนื่องจากว่าแหล่งกำเนิดแสงทุกความเข้มของแสง มีการกระจายตัวของแสงเป็น PSF เหมือนกัน ถึงแม้ว่าความเข้มสูงสุด บริเวณกึ่งกลางจะไม่เท่ากันแต่ยังคงมี FWHM และลักษณะการกระจายของแสงที่คล้ายคลึงกัน

จากหลักการนี้ ทำให้เราสามารถเปรียบเทียบความเข้มของแสงของแหล่งกำเนิดแสงสองแหล่งได้ หากเราวาดวงกลมที่รัศมีหนึ่งจากศูนย์กลางของ PSF และเรารวมความเข้มของแสงทั้งหมดที่สามารถวัดได้ภายในวงกลมนั้น อัตราส่วนของความเข้มแสงที่วัดได้จากวงกลมรอบแหล่งกำเนิดแสงสองแหล่ง จะเท่ากับอัตราส่วนของความสว่างของแหล่งกำเนิดแสงทั้งสอง หลักการนี้ทำให้นำไปสู่การเปรียบเทียบความสว่างของดาวได้ โดยเรียกว่าเทคนิค Aperture Photometry

2.5 ระบบการทำ Differential Image Motion Monitor (DIMM)

ระบบการทำ DIMM จะเป็นการทดสอบสภาพทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยการใช้กล้องโทรทรรศน์รับแสงจากดาว โดยเลือกใช้ดาวที่มีค่าความสว่างและตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ให้มาตกลงบนอุปกรณ์รับภาพ (ซีซีดี) และเก็บค่าที่ได้นำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป ซึ่งเราจะทำการสร้างดาวจำลองโดยการเจาะฝาปิดกล้องเป็นสองช่อง แล้วนำไปปิดหน้ากล้อง เพื่อแยกแสงดาวที่มาจากดาวดวงเดียวกัน ให้เป็นสองดวง ผลที่ได้คือภาพปรากฏที่หน้ากล้องเป็นดาวสองดวงที่มีความสว่างปรากฏใกล้เคียงกัน

2.6 เทคนิคการทำ DIMM

เทคนิคนี้ คือการประมาณระยะห่างระหว่างดาวสองดวงที่อยู่ใกล้ๆกัน ซึ่งเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของเซลล์อากาศโดยที่การวัดจะทำการถ่ายดาวด้วยกล้องสองตัวโดยให้การเคลื่อนไหวสัมพันธ์กัน แต่ในความเป็นจริงเงื่อนไขดังกล่าวเป็นไปได้ยาก จึงใช้การสร้างดาวจำลองจากฝาปิดกล้องที่เจาะรูให้แสงผ่านสองรู ปรับโฟกัสให้เข้าใกล้กัน แล้วทำการถ่ายภาพด้วยกล้อง CCD โดยใช้เวลาเปิดหน้ากล้องประมาณ 6-24 มิลลิวินาที ซึ่งเรียกรูนี้ว่าการวัดค่าโดยการเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวของภาพถ่าย ด้วยวิธีนี้ การคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของกล้องสองตัวจะหายไป (Operation Manual STV p51: Seeing Monitor)

เงื่อนไขของการสำรวจที่จะให้ได้ค่าที่ดีมีดังนี้

1. ดาวที่มีความสว่างพอเหมาะ ความสูงจากเส้นขอบฟ้าก็จะเป็นอีกปัจจัยอันเนื่องมาจากดัชนีหักเหของมวลอากาศ ตามทฤษฎีแล้วที่จุดกลางฟ้าจะให้ค่าที่ดีที่สุด
2. ความเร็วลม เป็นตัวกำหนดการเคลื่อนไหวของมวลอากาศ หากลมสงบมวลอากาศมีการเคลื่อนที่น้อยจะทำให้ได้ภาพที่นิ่ง ตัวอย่างเช่น เวลาที่ใช้ถ่ายภาพอยู่ในช่วง 2-100 มิลลิวินาที หากความเร็วลมอยู่ที่ไม่เกิน 6.44 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ค่าที่ได้จะออกมาค่อนข้างดี แต่หากความเร็วลมเกิน 48.28 กิโลเมตรต่อชั่วโมงแล้ว จะได้ค่าที่ไม่ดี
3. นอกจากนี้ปัจจัยทางด้านสภาพอากาศ เช่น ความชื้นในอากาศก็ยังมีผลต่อค่าที่วัดได้ ความสัมพันธ์ของค่า FWHM กับเงื่อนไขอื่นๆสามารถเขียนได้ดังนี้

$$FWHM(\lambda) = 0.98 \frac{\lambda}{r_0} \quad \text{----- (2.3)}$$

โดยที่ λ คือ ความยาวคลื่นของแสงในหน่วยเซนติเมตร
 r_0 คือ รัศมีของพื้นที่วงกลม ซึ่งในพื้นที่นั้นภาพถ่ายที่ได้มี *Angular resolution* เท่ากัน พื้นที่กว้างที่สุดที่สภาพบรรยากาศยังคงที่อยู่

โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไป

$$r_0(\lambda) = \left[0.423 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \sec(\zeta) \int_0^\infty C_n^2(h) dh \right]^{-3/5} \quad \text{----- (2.4)}$$

$$C_T^2 = 1.6 \varepsilon_\theta \varepsilon^{-1/3} \quad (2.6)$$

$$C_N^2(h) = \left(80 \times 10^{-6} \frac{P(h)}{T^2(h)} \right)^2 C_T^2(h) \quad (2.7)$$

$$r_0(\lambda, h) = \left(0.423 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \int_0^\infty C_N^2(h) dh \right)^{-3/5} \quad (2.8)$$

$$\varepsilon_{FWHM} = 0.98 \frac{\lambda}{r_0} \quad (2.9)$$

$$FWHM = 0.96 \frac{\lambda}{r_0} = \frac{1}{4.97 * 10^6 - 6} \lambda^{-1/5} \left[\frac{\sigma \cos \gamma}{K} \right]^{3/5} \quad (2.10)$$

$$\sigma_l^2(d) = 2 \lambda^2 r_0^{-5/3} [0.179 D^{-1/3} - 0.0968 d^{-1/3}] \quad (2.11)$$

$$\sigma_t^2(d) = 2 \lambda^2 r_0^{-5/3} [0.179 D^{-1/3} - 0.145 d^{-1/3}] \quad (2.12)$$

$$K_l = 2 (0.179 D^{-1/3} - 0.0968 d^{-1/3}) \quad (2.13)$$

$$K_t = 2 (0.179 D^{-1/3} - 0.145 d^{-1/3}) \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประมาณค่า FWHM

$$FWHM = \frac{1}{2} (FWHM_l + FWHM_r) \quad \text{----- (2.14)}$$

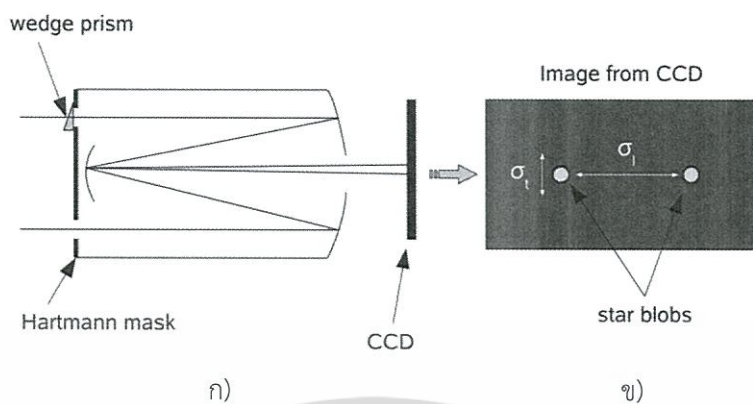
การกำหนดขนาดของหน้ากล้องย่อยเพื่อทำ DIMM โดยใช้กล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสงแบบ ชมิดท์ คาสซิเกรน (Schmidt-Cassegrain Telescope) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้ากล้อง 20.32 เซนติเมตร (8.00 นิ้ว) และสร้างหน้ากล้องย่อยโดยให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น 20 % ของเส้นผ่านศูนย์กลางตัวกล้อง ซึ่งขนาดในที่นี่คือ 4.06 เซนติเมตร (1.60 นิ้ว) และมีระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของหน้ากล้องย่อยทั้งสองเป็น 80 % ของเส้นผ่านศูนย์กลางตัวกล้อง ซึ่งในที่นี่คือ 16.26 เซนติเมตร (6.40 นิ้ว) (แต่สำหรับการศึกษาในครั้งนี้ใช้ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรูหน้ากล้องย่อยทั้งสองเป็น 15.00 เซนติเมตร (5.91 นิ้ว) เนื่องจากมีความหนาของขอบหน้ากล้อง เพื่อให้แสงตกลงหน้ากล้องห่างกันเพียงพอที่จะแยกแสงออกเป็นสองลำ ปรากฏเป็นดาวสองดวงบนหน้ากล้อง

การเลือกดาวที่เหมาะสมในการทำ DIMM เนื่องจากหลักการข้างต้นคือ การนำดาวดวงเดียวมาแยกเป็นสองดวงด้วยหน้ากล้องย่อย จึงต้องเลือกดาวที่มีความสว่างพอเหมาะ เนื่องจากดาวที่สว่างจนเกินไปจะทำให้ทัศนวิสัยของท้องฟ้า ไม่มีผลต่อการรวมแสงของกล้อง และดาวที่มืดเกินไปจะทำให้การรวมแสงใช้เวลานาน ความสว่างของดาวที่เหมาะสมคือ อยู่ในช่วงความสว่างปรากฏ (Appearance Magnitude) 2.0 – 3.5

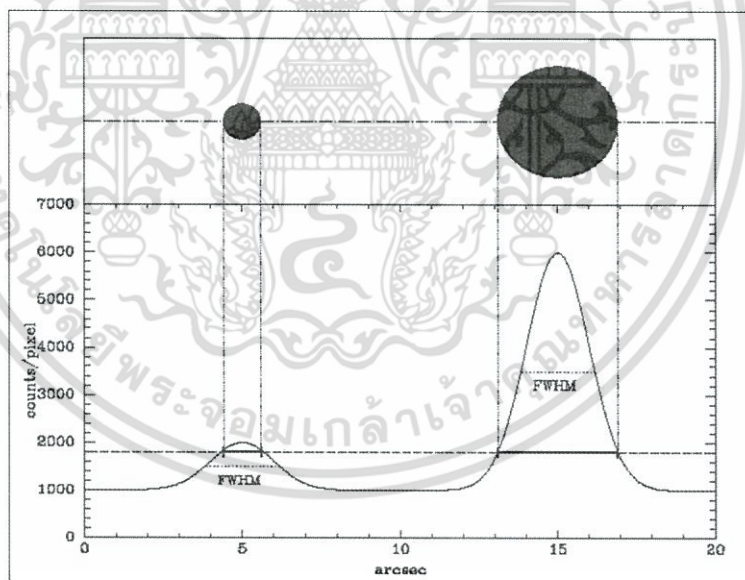
นอกจากนี้การใช้ดาวมาทำ DIMM นั้นต้องเป็นดาวที่มองเห็นผ่านกล้องโทรทรรศน์ปกติเป็นดวงเดียว ซึ่งอาจเป็นดาวเดี่ยว หรือดาวคู่ที่ไม่สามารถแยกออกได้อย่างชัดเจน (เห็นผ่านกล้องโทรทรรศน์เป็นดวงเดียว) เพื่อให้แสงที่ตกลงยังกล้องมาเป็นลำแสงเดี่ยว

สรุปการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ด้วยเทคนิค DIMM นี้ จะใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็ก รับแสงจากดาว โดยเลือกดาวที่มีค่าความสว่างปรากฏ (Appearance Magnitude) 2.0 – 3.5 และตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน มีค่า airmass ใกล้เคียง 1 ซึ่งจะเป็นดาวที่อยู่พิสัยบริเวณกลางฟ้าในช่วงอัลติจูดประมาณ 60-90 องศา แสงจากดาวดวงที่ศึกษาจะถูกแยกออกโดยแผ่นปิดบริเวณหน้ากล้องที่ทำการเจาะช่องเปิดสองช่องเป็นวงกลม ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน ทำให้ภาพที่ปรากฏเป็นดาวสองดวงตกกระทบลงบนอุปกรณ์รับภาพ (กล้องถ่ายภาพซีซีดี) และประมวลผลข้อมูลภาพโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ ได้ค่าเป็น FWHM ในหน่วย arcsec หรือ ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์

ซึ่งวิธีนี้จะไม่แสดงผลกระทบของระบบทัศนศาสตร์ของกล้องโทรทรรศน์ หรือความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากระบบกลไกติดตามดาวของกล้องโทรทรรศน์



รูปที่ 2.4 ฟังก์ชันการทำงานทั่วไปของ DIMM ก) แสงจากดาวผ่านช่องเปิดสองช่องช่องหนึ่งมีปริซึมกั้นอยู่(Hartmann mask) ปรากฏภาพสองภาพบนซีซีดี ข) ภาพดาวสองตำแหน่งบนซีซีดี ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเคลื่อนย้ายตามแนวยาว (σ_x) และแนวขวาง (σ_y) ถูกประมวลผลด้วยซอฟต์แวร์เป็นค่า seeing



รูปที่ 2.5 แสดงวิธีการวัด FWHM ด้วยเทคนิค DIMM ในหน่วย arcsec (ฟิลิปดา)

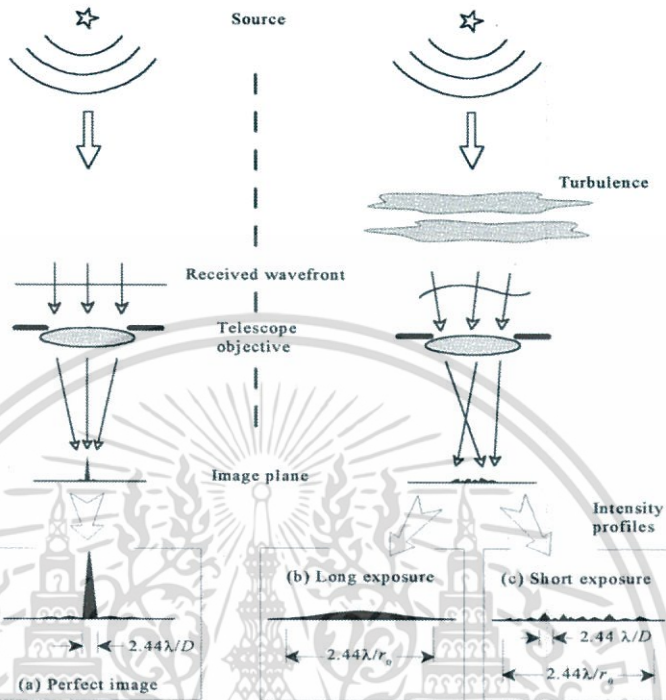
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ปัจจัยสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่มีผลต่อทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์

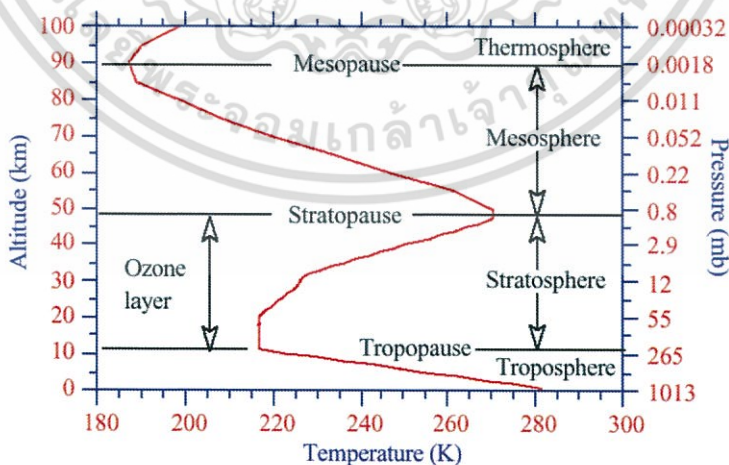
ดาวเคราะห์โลกของเราจะถูกห่อหุ้มด้วยชั้นแก๊สต่างๆ เรียกว่า “บรรยากาศ” ซึ่งถูกรักษาไว้ให้อยู่กับตัวดาวด้วยความโน้มถ่วงของโลก ที่ระดับความสูงต่าง ๆ จากระดับพื้นโลกขึ้นไป บรรยากาศของโลกก็จะยิ่งเบาบางลง นี่เป็นเหตุผลที่ว่าทำไมเราถึงติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่บนยอดภูเขาที่สูงจากระดับน้ำทะเลมาก ๆ เนื่องจากบรรยากาศมีผลต่อค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของภาพถ่ายหรือข้อมูลทางดาราศาสตร์ที่ได้จากกล้องโทรทรรศน์

บรรยากาศโลกจะมีมวลอากาศเป็นองค์ประกอบซึ่งลักษณะของมวลอากาศที่มีลักษณะอากาศภายในกลุ่มก้อนขนาดใหญ่มากมีความขึ้นคล้ายคลึงกัน ตลอดจนส่วนต่าง ๆ ของอากาศเท่ากันมวลอากาศจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่ออากาศส่วนนั้นอยู่กับที่ และมีการสัมผัสกับพื้นผิวโลก ซึ่งจะเป็นพื้นดินหรือพื้นน้ำก็ได้ โดยสัมผัสอยู่เป็นเวลานานๆ จนมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับพื้นผิวโลกในส่วนนั้นๆ เราเรียกบริเวณพื้นผิวโลกนั้นว่า แหล่งกำเนิด เมื่อเกิดมวลอากาศขึ้นแล้วมวลอากาศนั้นจะเคลื่อนที่ไปยังบริเวณอื่นๆ มีผลทำให้ลักษณะของลมฟ้าอากาศบริเวณนั้น ๆ เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากมีสภาพแวดล้อมใหม่ มวลอากาศสามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะไกล ๆ และยังคงคุณสมบัติส่วนใหญ่เอาไว้ มวลอากาศจึงมีผลต่อค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ด้วย

ความแปรปรวนของบรรยากาศจะมีผลต่อแสงดาว และความสมบูรณ์ของภาพถ่าย แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 (ซ้าย) แสดงผลของภาพที่สมบูรณ์จากแสงดาวที่ปราศจากบรรยากาศ (ขวา) แสดงการหักเหของแสงดาวผ่านชั้นความแปรปรวนของบรรยากาศ ซึ่งมีผลต่อข้อมูลภาพที่ได้ตามระยะเวลาเปิดหน้ากล้องที่ต่างกัน



รูปที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความดันอากาศ ที่ระยะความสูงตามชั้นบรรยากาศ

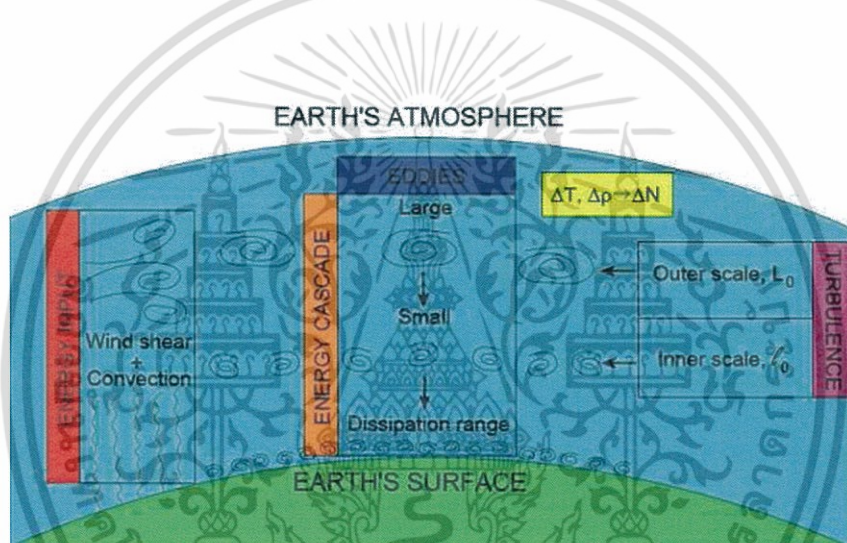
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Kolmogorov Turbulence

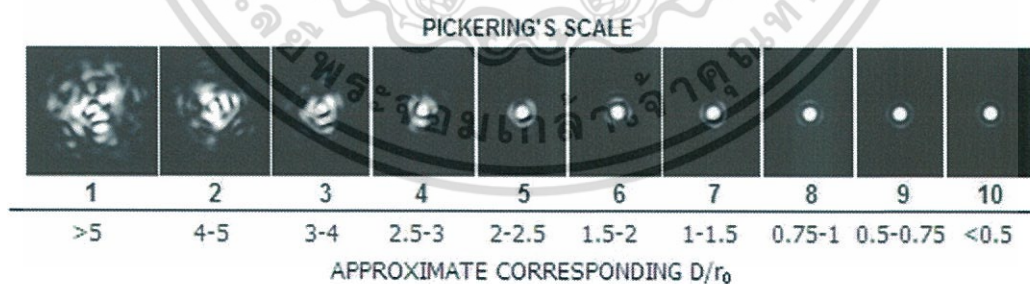
Kolmogorov ได้เสนอแบบจำลองทางสถิติที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง เพื่ออธิบายความแปรปรวนของบรรยากาศและอธิบายถึงปรากฏการณ์ที่สังเกตได้มากที่สุด ตามแบบจำลองนี้บรรยากาศเป็นสื่อกลางที่มีการไหลเวียนของอากาศไม่เป็นชั้น แต่มีความแปรปรวนเนื่องจากมีค่า Reynolds number สูง ค่า Reynolds number ถูกกำหนดไว้เป็น

$$Re = v \frac{L}{\nu}, \quad \text{----- (2.14)}$$

โดยที่ v คือความเร็วลักษณะ, L คือขนาดลักษณะของกระแสและ ν คือความหนืดของของไหล



รูปที่ 2.8 แสดงแบบจำลองความแปรปรวนของ Kolmogorov



รูปที่ 2.9 แสดงการประมาณค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ตามมาตราของ PICKERING

จากซ้ายไปขวาแสดงค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่แย่ที่สุด (>5) จนถึงดีที่สุด (<0.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Dome. Fuji เป็นพื้นที่สูงอันดับที่สองของที่ราบสูงแอนตาร์กติก ซึ่งคาดหวังว่าจะมีค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ที่ดีที่สุดของโลกแห่งหนึ่ง. อย่างไรก็ตามการทดสอบไซต์ที่โดมฟูจิยังคงอยู่ในระยะเริ่มแรก มีจุดมุ่งหมายเพื่อตรวจสอบค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์เหนือโดมฟูจิ และกำหนดความสูงของพื้นผิว ชั้นขอบ วิธีการการตรวจจับการเคลื่อนไหวของภาพถูกใช้เพื่อวัดการมองเห็นในระยะมองเห็น (472 นาโนเมตร) ที่ความสูง 11 เมตรเหนือพื้นผิวหิมะที่โดมฟูจิในช่วงฤดูร้อนของปี 2012/2013 ผลค่า seeing ต่ำกว่า 0.2 ระดับท้องถิ่นต่ำกว่า 0.3 มิลลิวินาทีใกล้เคียงกับเวลาที่ท้องถิ่น 18 ชั่วโมง (H. Okinawa et al. 2013).

การตรวจวัดคุณภาพของสภาพแวดล้อม และสภาพทางดาราศาสตร์ ของสถานที่ตั้งสำหรับกล้อง Discovery Chanel ซึ่งตั้งอยู่ที่ความสูง 2361 เมตร บริเวณ Happy Jack รัฐแอริโซนา ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการทำให้ DIMM ด้วยกล้องโทรทรรศน์ชนิด Schmidt – Cassegrain ขนาด 35.56 เซนติเมตร (14 นิ้ว) และการตรวจวัดสภาพอากาศ โดยการใช้สถานีตรวจวัดอากาศ ตั้งแต่เดือน มกราคม ปี พ.ศ.2546 จนถึงเดือน พฤษภาคม ปี พ.ศ.2547 ได้ค่าเฉลี่ยของ FWHM เป็น 0.84 arcsec โดยค่าเฉลี่ย 25 เปอร์เซ็นต์ที่ดีที่สุดมีค่า 0.62 arcsec (Thomas A., Bida, Edward W., Site testing for Discovery Channel Telescope, 2004)

การวัดค่า seeing ด้วยวิธีการ DIMM ที่ภูเขาสมุทรสวงครามอำเภอวังทองจังหวัดพิษณุโลก ละติจูดและลองจิจูดของพื้นที่ที่เลือกไว้สำหรับหอดูดาวคือ 16 50 .59 'D N และ 100 24 .08' D E ตามลำดับ ระดับความสูงประมาณ 180 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล และระยะทางประมาณ 15 กิโลเมตรทางตะวันออกเฉียงเหนือจากตัวเมืองพิษณุโลก โดยใช้สถิติแบบ FWHM อุณหภูมิและความชื้นซึ่งวัดและคำนวณเป็นเวลา 20 คืนระหว่างวันที่ 8 ธันวาคม 2547 ถึง 4 มกราคม 2549 มีดังต่อไปนี้สูงสุด FWHM ต่ำสุด FWHM และค่าเฉลี่ย FWHM เท่ากับ 3.6, 0.8 และ 1.7 วินาทีตามลำดับ; อุณหภูมิสูงสุดอุณหภูมิ ต่ำสุดและอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.2, 17.4 และ 22.8 องศาเซลเซียสตามลำดับ ความชื้นสัมพัทธ์สูงสุด ความชื้นต่ำสุดความชื้นเฉลี่ย 80, 55 และ 68.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของ seeing ที่ได้ไม่แตกต่างจากค่าเฉลี่ยที่ Siding Springs ในออสเตรเลีย Kitt Peak ในสหรัฐอเมริกา Devasthal ใน India และ South Pole ในแอนตาร์กติกาซึ่งเป็นหอส่องเหตุการณ์ที่มีชื่อเสียงในโลก

ทฤษฎีการทำ DIMM ถือว่ามาตรฐานและใช้วัดค่า ทักษะวิสัยทางดาราศาสตร์อย่างกว้างขวางเป็นที่ยอมรับ การทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ใช้ระเบียบวิธีทางตัวเลขโดยการประมาณค่า Z-tiles นั้นมีเงื่อนไขสองประการ คือหนึ่งสัญญาณรบกวนมีผลต่อการอ่านค่าของกล้อง CCD ทำให้ภาพที่ได้ผิดเพี้ยนหากไม่มีการกำจัดออกไป ประการที่สองคือการเลือกใช้ค่าความเร็วชัดเตอร์ของกล้อง ที่ไม่เร็วเพียงพอที่จะถ่ายภาพให้สมบูรณ์ได้ อันเป็นผลเนื่องมาจากความแปรปรวนของมวลอากาศและกระแสลมสามารถแก้ไขโดยการวัดค่าความเร็วของชัดเตอร์ที่สั้นและยาวเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด. สุดท้ายผลจากมวลอากาศมีผลต่อภาพถ่ายที่ได้คือ ขนาดจะถูกย่อลงราว 10 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่าเมื่อนำไปเทียบกับค่าทางทฤษฎี จึงทำให้ได้วิธีการคำนวณแบบใหม่เพื่อที่จะได้ใช้ค่า FWHM (A.TOKOVININ, From Differential Image Motion to Seeing, The Astronomical Society of the Pacific, 114:115

หอสังเกตการณ์แห่งชาติ (NAOC) เป็นหนึ่งในหอสังเกตการณ์ทางแสงที่ใหญ่ที่สุดในประเทศจีนซึ่งเป็นที่ตั้งของกล้องโทรทรรศน์แสง 9 ดวงรวมทั้งกล้องโทรทรรศน์ไฟเบอร์ออปติก (LAMOST) ขนาดใหญ่ในท้องฟ้าขนาดใหญ่และลำแสงขนาด 2.16 เมตร การวิจัยจากกล้องโทรทรรศน์เหล่านี้มุ่งเน้นไปที่ดาวฤกษ์กาแล็คซี่และดาวเคราะห์นอกระบบโดยใช้การวัดด้วยแสงหลายสีและการสังเกตการณ์ทางสเปกโตรสโกปี ดังนั้นสิ่งสำคัญคือต้องจัดเตรียมเงื่อนไขการสังเกตของไซต์ไว้อย่างละเอียด เพื่อให้นักดาราศาสตร์ใช้สถานที่เหล่านี้ การตรวจวัดได้จากการใช้ค่า DIMM ค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานของ Seeing นานกว่า 1 ปีมีค่าอยู่ที่ 1.9 ฟลิปดา และ 1.7 ฟลิปดา ตามลำดับ และ 80 เปอร์เซ็นต์ของคืนที่มีค่า Seeing อยู่ต่ำกว่า 2.6 ฟลิปดา

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

การศึกษาวิจัยการหาค่าทัศนวิสัยท้องฟ้าด้วยเทคนิค DIMM ครั้งนี้ได้ใช้เครื่องมือในการศึกษาประกอบไปด้วย ดังนี้คือ

3.1.1. กล้องโทรทรรศน์แบบผสมชนิดชนิดคาสซิเกรน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหน้ากล้อง 8 นิ้ว ยี่ห้อ MEADELX200-ACF 8" F/10



รูปที่ 3.1 กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้ในการศึกษาและหาค่า Astronomical Seeing

3.1.2. ฐานตั้งกล้องแบบอ็ควาทอเรียล ยี่ห้อ ASA DIRECT DRIVE MOUNT DDM60



รูปที่ 3.2 ฐานตั้งกล้องที่ใช้ในการศึกษาและหาค่า Astronomical Seeing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3. กล้องถ่ายภาพซีซีดี ZWO ASI120MM-S USB2.0 Mono Camera



รูปที่ 3.3 กล้องถ่ายภาพซีซีดีที่ใช้ในการศึกษาและหาค่า Astronomical Seeing

3.1.4. กล้องถ่ายภาพซีซีดี CELESTRON SKYRIS 618 CCD CAMERA-MONOCROME



รูปที่ 3.4 กล้องถ่ายภาพซีซีดีที่ติดกับกล้องเล็งใช้ในการศึกษาและหาค่า Astronomical Seeing

3.1.5. อุปกรณ์สำหรับวัดค่าทัศนวิสัยดาราศาสตร์โดยใช้เทคนิค DIMM ยี่ห้อ SBIG รุ่น STV (ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้ในการสำรวจ เพื่อใช้หาสถานที่ที่เหมาะสมในการเป็นหอดูดาวแห่งชาติ



รูปที่ 3.5 ชุดกล้องถ่ายภาพซีซีดีที่ใช้ในการศึกษาและเปรียบเทียบค่า Astronomical Seeing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมการศึกษาวิจัย

ขั้นตอนเตรียมการศึกษาวิจัยการหาค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ประกอบด้วย การประกอบอุปกรณ์และการปรับตั้งค่าอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้คือ

3.2.1 การออกแบบชิ้นส่วนบางชิ้นของกล้องโดยใช้โปรแกรม Solidwork

3.2.1.1 แผ่นสไลด์ที่ยึดตัวกล้องกับฐานตั้งกล้อง (Plate slide)



รูปที่ 3.6 Plate slide

3.2.1.2 ชิ้นส่วนที่เชื่อมต่อกล้องเล็กกับตัวกล้องหลัก (Finder base)



รูปที่ 3.7 Finder base

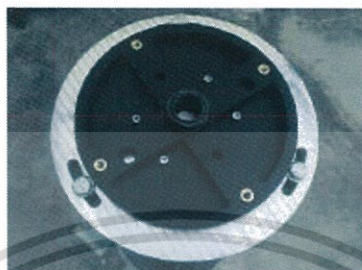
3.2.1.3 ฝาปิดหน้ากล้องที่เจาะรู 2 รู (Mask 2 Hole) (รายละเอียดในภาคผนวก)



รูปที่ 3.8 Mask 2 Hole

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

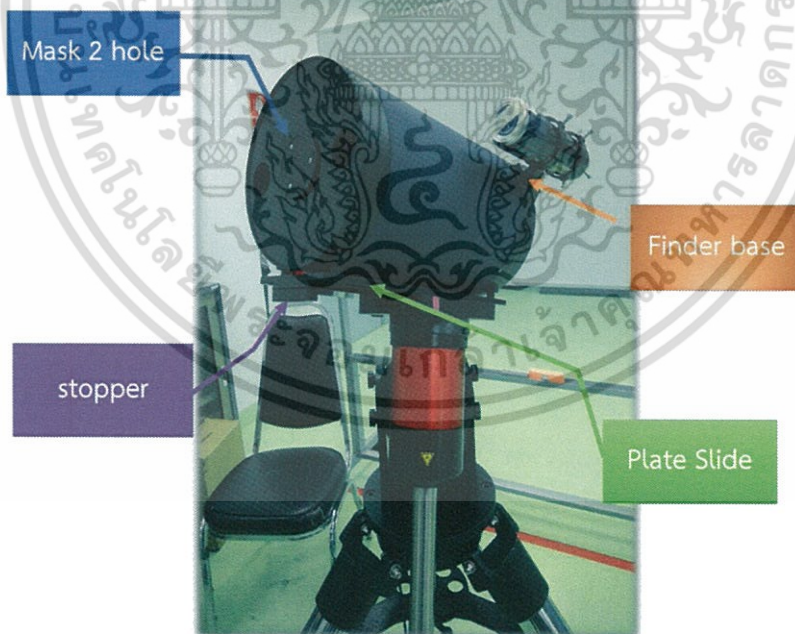
3.2.1.4 แผ่นเชื่อมระหว่างฐานตั้งกล้องกับเสาตั้งกล้อง(Pire) (Plate slot)



รูปที่ 3.9 Plate slot

3.2.1.5 Stopper

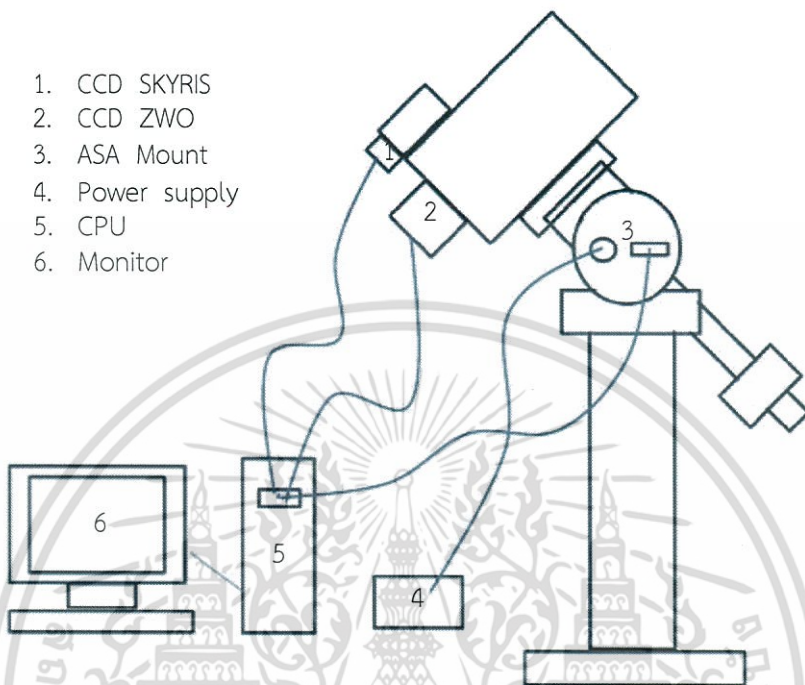
กล้องโทรทรรศน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ติดตั้งบนฐานตั้งกล้องแบบอ็ควาทอเรียล



รูปที่ 3.10 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ในการใช้งานจริง

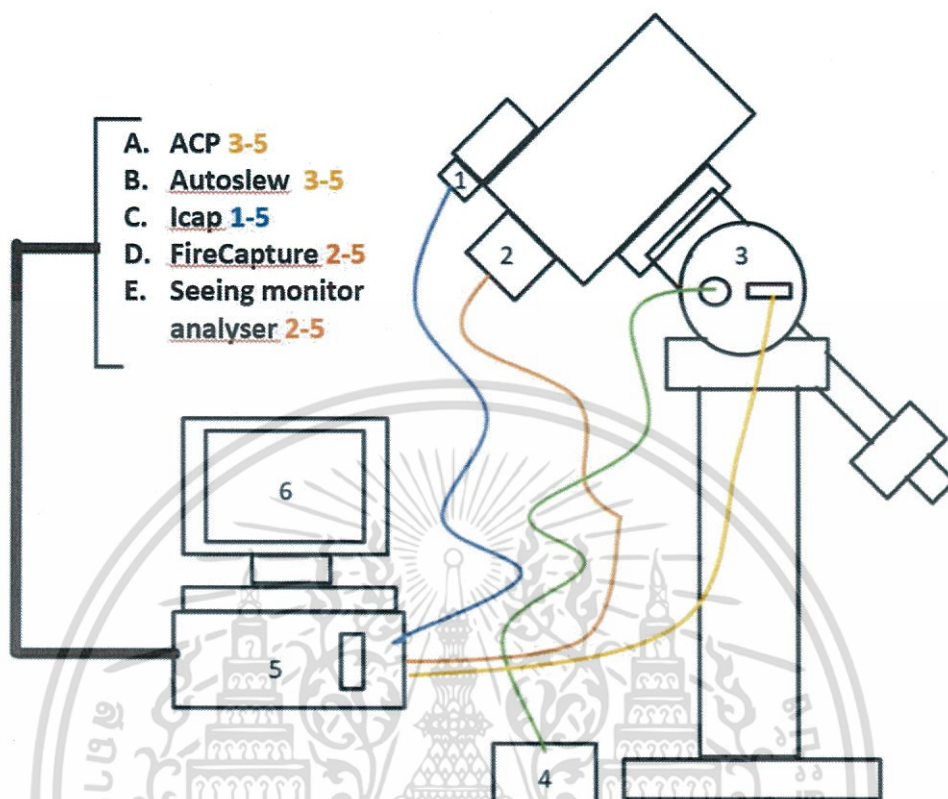
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. CCD SKYRIS
2. CCD ZWO
3. ASA Mount
4. Power supply
5. CPU
6. Monitor



รูปที่ 3.11 แผนภาพแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ เข้ากับกล้องโทรทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แผนภาพแสดงการใช้โปรแกรมเพื่อควบคุมและสั่งการกล้องโทรทรรศน์

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย 3 ตอน

ตอนที่ 1 การหาค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM

ตอนที่ 2 เปรียบเทียบกราฟข้อมูลค่า Astronomical Seeing ที่ได้จากเทคนิค DIMM กับเทคนิคดาวเหนือ

ตอนที่ 3 หาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อค่า Astronomical Seeing ทั้ง 2 วิธี (ตอนที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 ตอนที่ 1 การหาค่า Seeing โดยเทคนิค DIMM ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการติดตั้งระบบ DIMM
2. การAlignment กล้อง
3. การใช้โปรแกรมSeeing monitor analyser ในการเก็บค่า Astronomical Seeing
4. การเก็บค่า Astronomical Seeing โดยใช้กล้องถ่ายภาพซีซีดี (Santa Barbara Instrument Group) รุ่น STV

1. ขั้นตอนการติดตั้งระบบ DIMM

การติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้สำหรับการหาค่าทัศนวิสัยท้องฟ้าด้วยเทคนิค DIMM สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนด้วยกันกล่าวคือ การติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์ การติดตั้งโปรแกรม และการ Alignment กล้องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1. การติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์

การติดตั้งระบบฮาร์ดแวร์เป็นขั้นตอนแรกของการติดตั้งกล้องโทรทรรศน์ ประกอบด้วย การติดตั้งเสาฐานตั้งกล้อง ฐานตั้งกล้อง ท่อกล้องและอุปกรณ์ต่อพ่วงต่าง ๆ เช่น กล้องถ่ายภาพซีซีดี ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.1.1. ติดตั้งเสาสำหรับวางฐานตั้งกล้องเพื่อให้ท่อกล้องสูงขึ้นจากพื้นพ้นจากสิ่งกีดขวางต่าง

1.1.2. ติดตั้งฐานตั้งกล้องแบบออคิวทอรีลบนเสาฐานตั้งกล้อง ปรับฐานตั้งกล้องให้หันไปทาง

ทิศเหนือ ปรับมุมฐานตั้งกล้องให้เท่ากับละติจูดที่กล้องตั้งอยู่ ระบบขับเคลื่อนประกอบด้วยเฟืองสำหรับขับเคลื่อนแกนเดคลิเนชัน (Declination; DEC) และแกนไรซ์แอสเซนชัน (Right Ascension; RA) ควบคุมผ่านโปรแกรมสั่งการ Autoslew และ TheSky ใส่แกนเคาท์เตอร์เวตและคัมน้ำหนัก

1.1.3. ติดตั้งท่อกล้องบนฐานตั้งกล้องใส่ฝาปิดหน้ากล้องที่มีช่องเปิด 2 ช่อง (สำหรับเทคนิค DIMM)

1.1.4. ทำการปรับสมดุลของกล้องทั้งแกน RA และแกน DEC

1.2. การติดตั้งโปรแกรม

1.2.1. ติดตั้งโปรแกรมที่ใช้ควบคุมฐานตั้งกล้อง Autoslew และโปรแกรมTheSky6

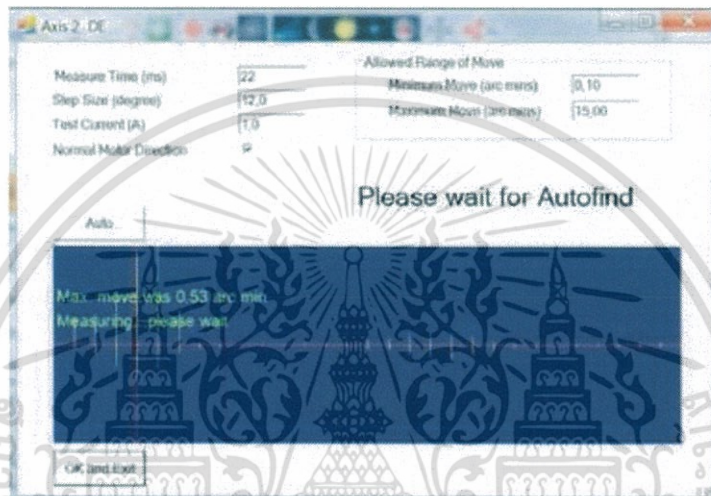
โปรแกรมสำหรับถ่ายภาพ iCap 2.3 โปรแกรม ZWO ASI120MM-S โปรแกรมที่ใช้ในการ

หาค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า Seeing Monitor Analyser โปรแกรมควบคุมฐานตั้งกล้องอัตโนมัติ ACP

2. การทำ Alignment กล้อง

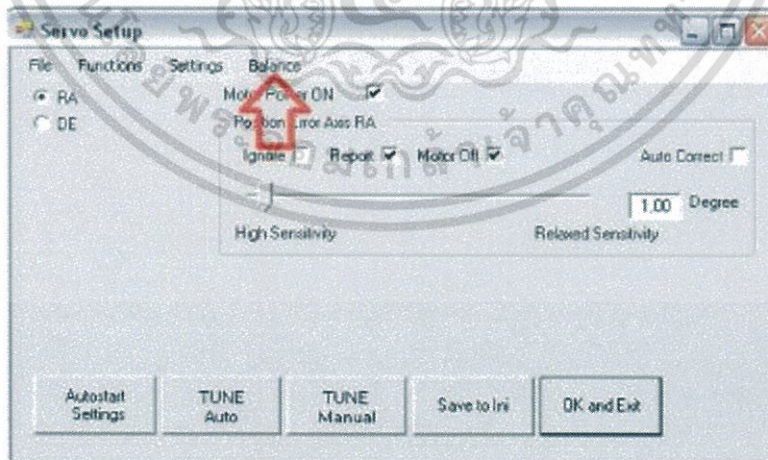
2.1 เปิดโปรแกรม Autoslew

2.2 กดที่ปุ่ม Motor is OFF สีแดงโปรแกรมจะขึ้นหน้าต่าง ดังรูปที่ 1 จากนั้นจะเปลี่ยนเป็น Motor is ON สีเขียว



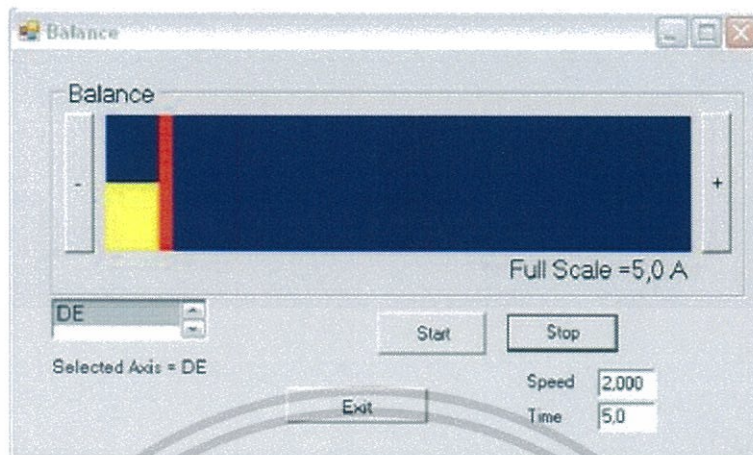
รูปที่ 3.13 แสดงหน้าต่างแรกหลังจากกดเปิดโปรแกรม Autoslew

2.3 Balance แกน RA และแกน DE; ไปที่ Drive → Servo – Setup →



รูปที่ 3.14 เลือก Balance กล้อง

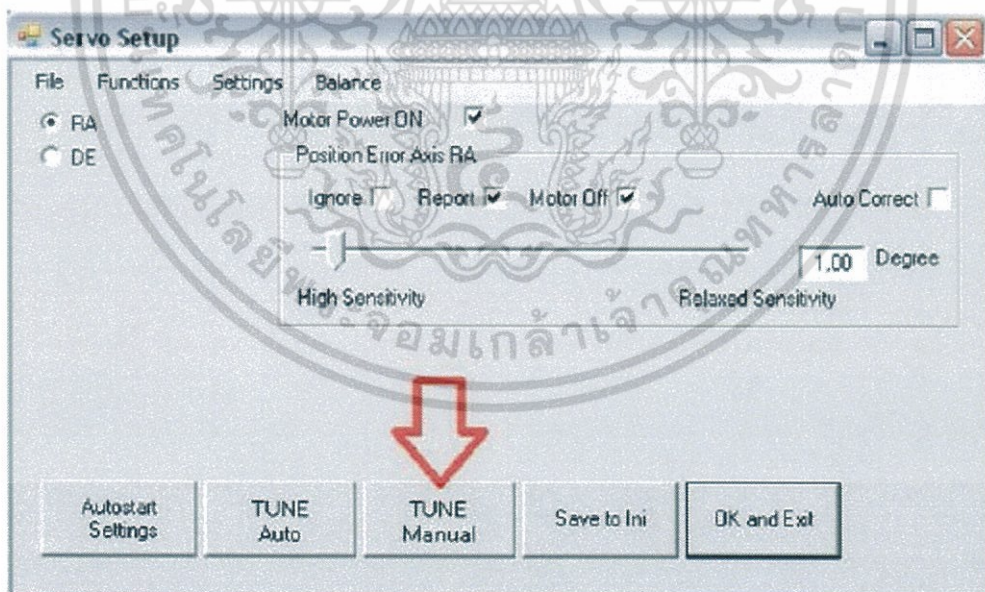
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 การ Balance กล้องจะต้องให้ขีดสีแดงตรงกัน

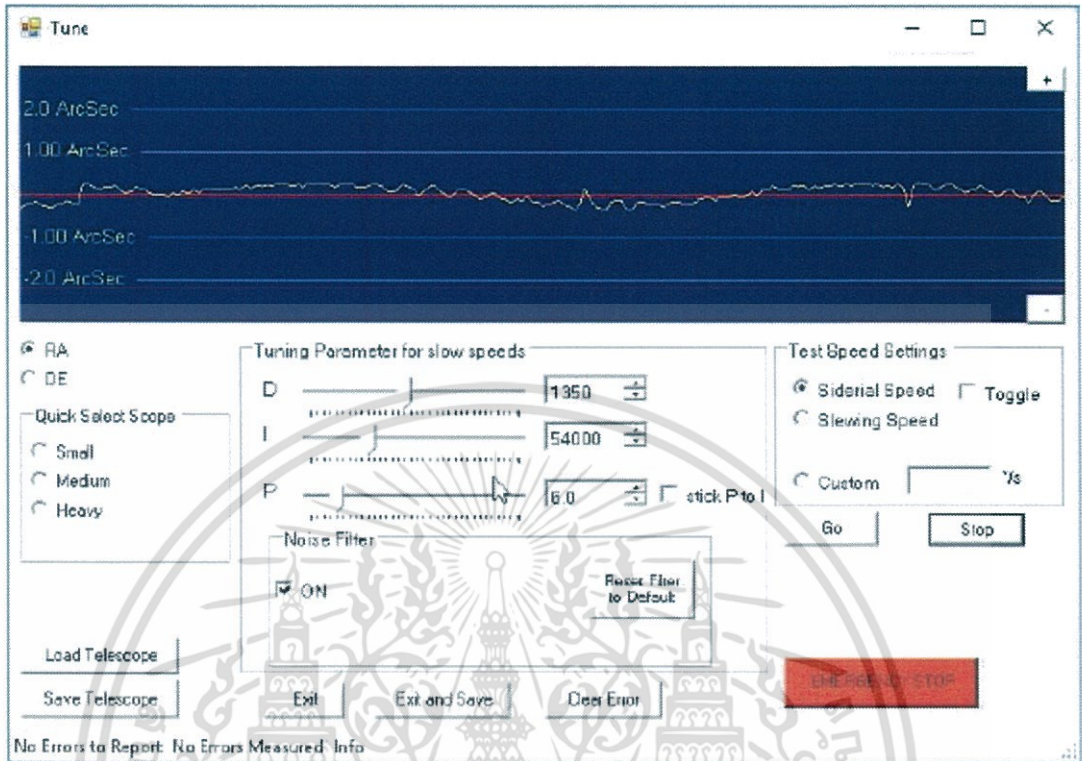
Balance จนกว่าขีดสีแดงจะตรงกันเป็นเส้นเดียวดังรูป

- 2.4 Tune motor; ไปที่ Drive → Servo - Setup → TUNE Auto หลังจาก tune ให้ลองหมุน กล้องไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ เพื่อดูการทำงานของมอเตอร์ถ้าหยุดไปแล้วมีเสียงให้ Tune ใหม่อีกครั้ง โดยให้ Tune แบบ Manual ดังรูปที่ 3.16 ปรับค่า PID → Go สังเกตกราฟ ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 เลือก TUNE motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงกราฟการ Tune motor

2.5 Set location; Mount → Location ตั้งค่า Latitude Longitude ตามตาแหน่งที่ตั้งกล้อง ดังรูปที่ 3.18

The 'Location of Telescope' dialog box contains the following fields and options:

- Latitude:** A text field containing '18.57389' and a radio button for 'N' (selected) over 'S'.
- Longitude:** A text field containing '-098.49222' and radio buttons for 'W' (selected) over 'E'.
- Height above SL:** A text field containing '242'.
- Buttons:** 'OK' and 'Cancel' at the bottom.
- Other Elements:** A globe icon, a 'Get From GPS' button, and a 'Deg Min Sec' column header for the coordinate fields.

รูปที่ 3.18 การตั้งค่า Location


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

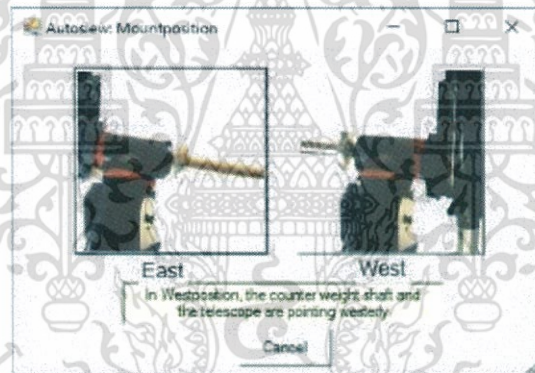
2.6 เลือก Ep. เป็น 2000 

2.7 Home find →  ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 การหาตำแหน่ง Home ของแกน RA และ DE

2.8 Set Park1; หมุนกล้องไปที่จุด Zenith โดยมี Az: 270° และ Alt: 0° →  → 
→ Mount → Set current Pierside → East ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 เลือกทิศให้ตรงกับที่ตั้งกล้อง

2.9 Set Park2; หมุนกล้องไปในตำแหน่งที่ต้องการตั้ง Park2 → Set New Home → Mount
→ Park position → Set new Park position → P2 → use current telescope

position as future park 2 → East →   ดังรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parkpositionen X

Zenith	P2
Azimuth <input type="text" value="180.00"/>	Azimuth <input type="text" value="180.00"/>
Altitude <input type="text" value="90.00"/>	Altitude <input type="text" value="70.00"/>
<input type="radio"/> West <input checked="" type="radio"/> East use current telescope position as future park 1	<input type="radio"/> West <input checked="" type="radio"/> East use current telescope position as future park 2
<input type="text" value="enter new nam"/>	<input type="text" value="enter new nam"/>

รูปที่ 3.21 การตั้งตำแหน่ง Park

2.10 Pointing Model (ภาคผนวก)

Polar Adjust; Start Pointing file selected 7 stars N → Selected object → slew

→ Synch →  → Next star → 7 stars → Stop Pointingfile → Calculat

Config → Use now, save use on next start → select and slew to a star in the

South close to the meridian. → polar adjust → Move star Now → now use a

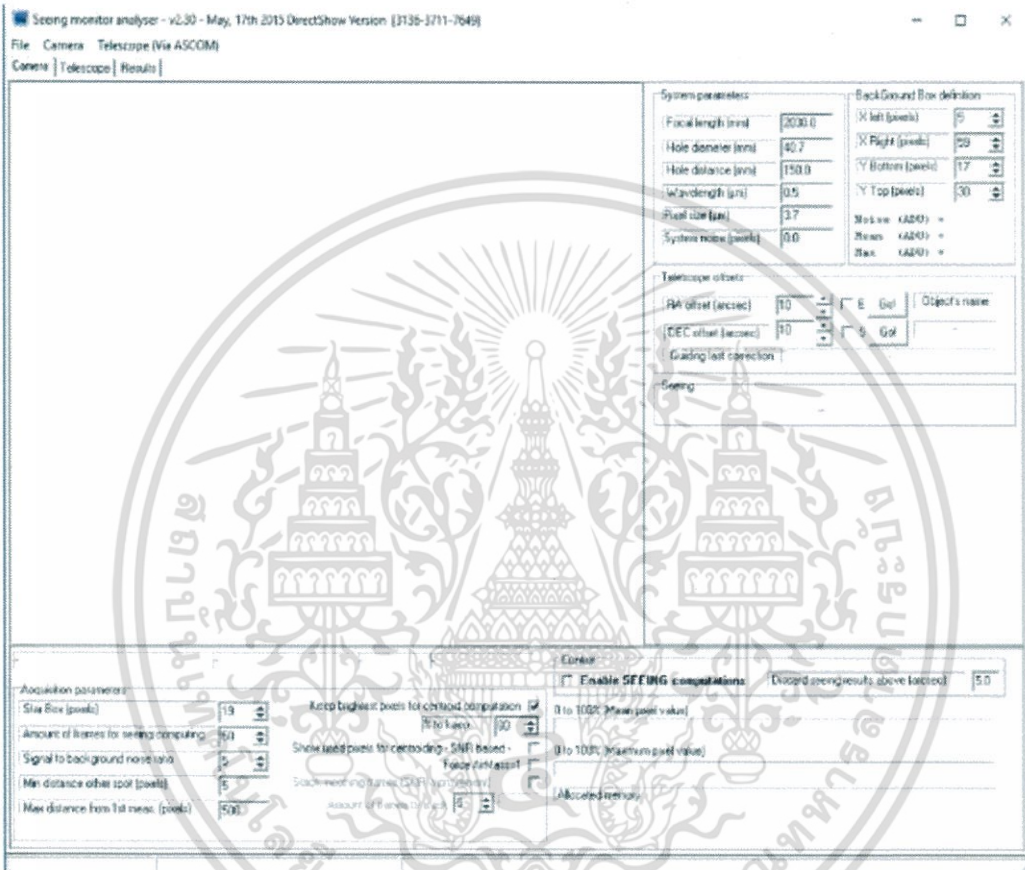
new file pointing → Clear old Configuration (3arcmin - 10 arcmin)

2.11 Create a pointing model after polar alignment → Create large pointing 15 - 40 star

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

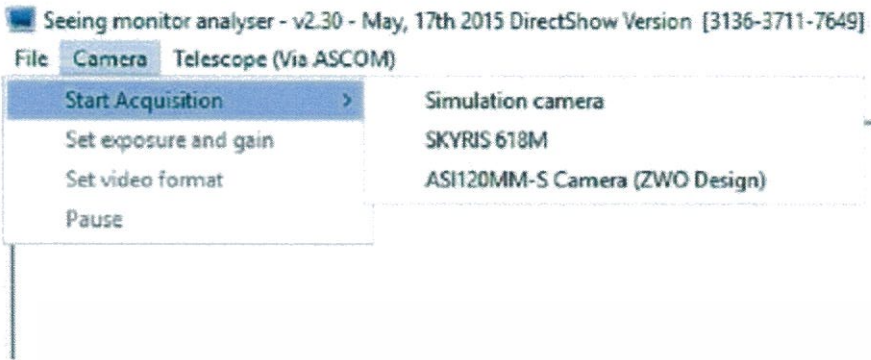
3. การใช้โปรแกรมเก็บค่า Seeing

3.1 เปิดโปรแกรมที่ใช้หาค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า Seeing Monitor Analyser และทำการตั้งค่า Parameter ดังรูปที่ 3.22

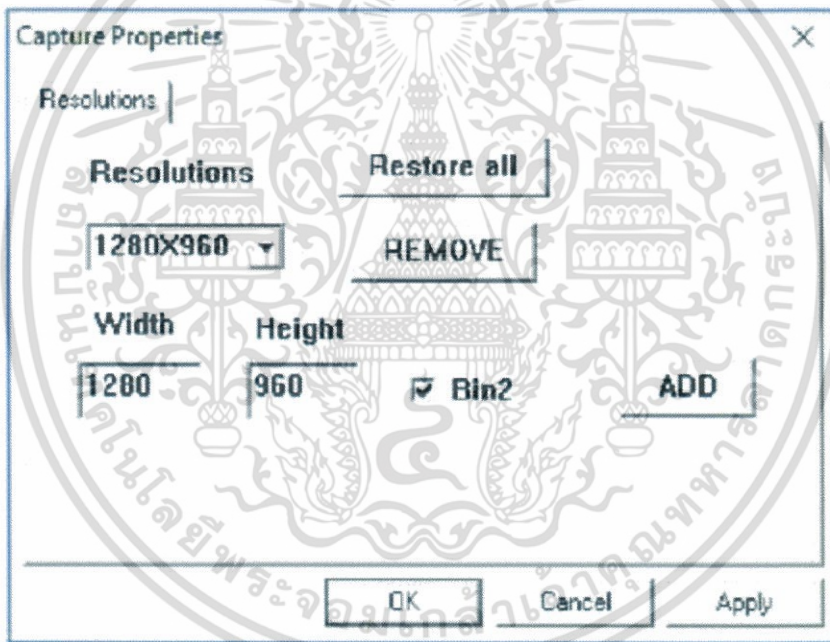


รูปที่ 3.22 หน้าต่างโปรแกรม Seeing monitor analyser และการตั้งค่า Parameter

3.2 เลือกกล้องถ่ายภาพซีซีดีที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ใช้ ASI120MM-S Camera (ZWO Design) ดังรูปที่ 3.23 หลังจากเลือกกล้องถ่ายภาพซีซีดีแล้วจะปรากฏหน้าต่างให้เลือกความละเอียดในการถ่ายภาพ ดังรูปที่ 3.24



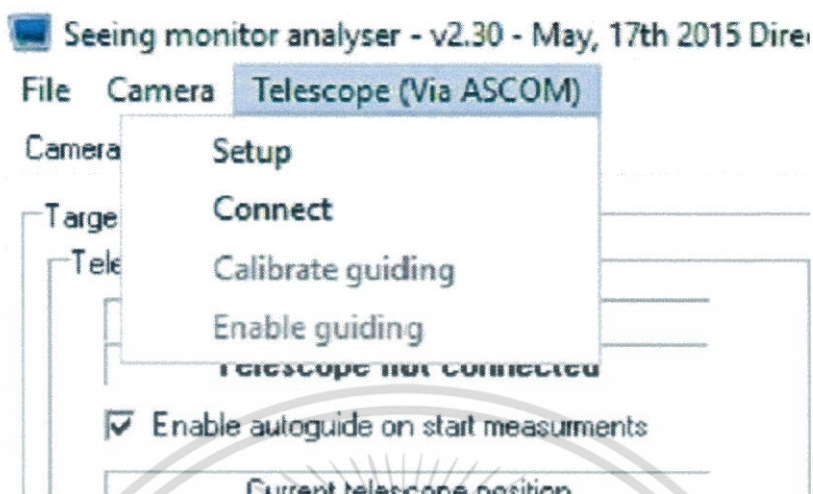
รูปที่ 3.23 แสดงขั้นตอนการเลือกกล้องถ่ายภาพซีซีดี



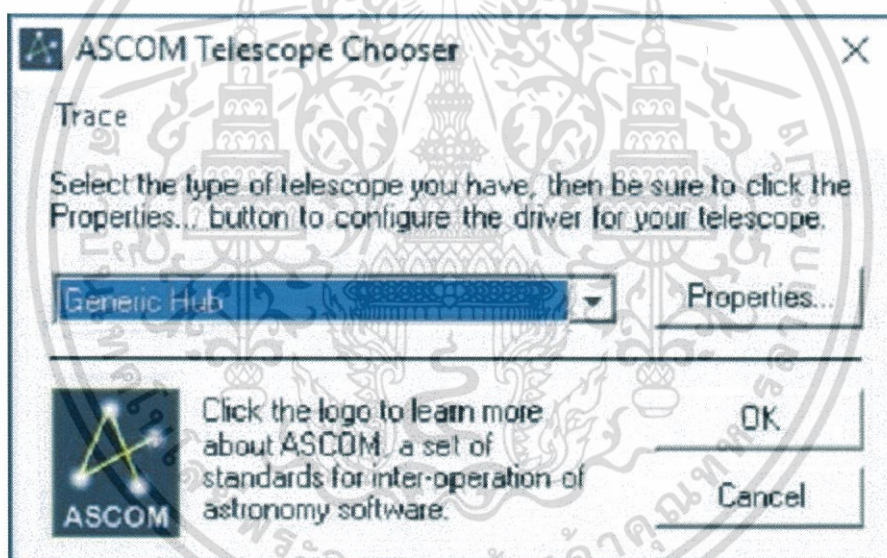
รูปที่ 3.24 ความละเอียดที่เลือกใช้ในการถ่ายภาพ

3.3 เชื่อมต่อโปรแกรมกับกล้องโทรทรรศน์โดยไปที่ Telescope (via ASCOM) → Setup → Generic Hub or Port Hub → OK → Connect ดังรูปที่ 3.25 และ รูปที่ 3.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



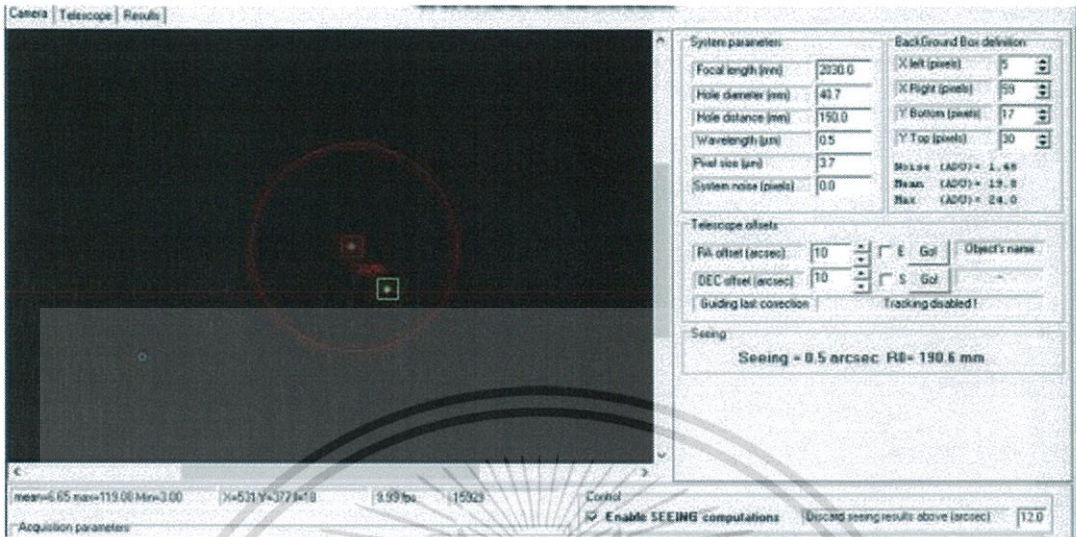
รูปที่ 3.25 แสดงการเชื่อมต่อโปรแกรมกับกล้องโทรทรรศน์



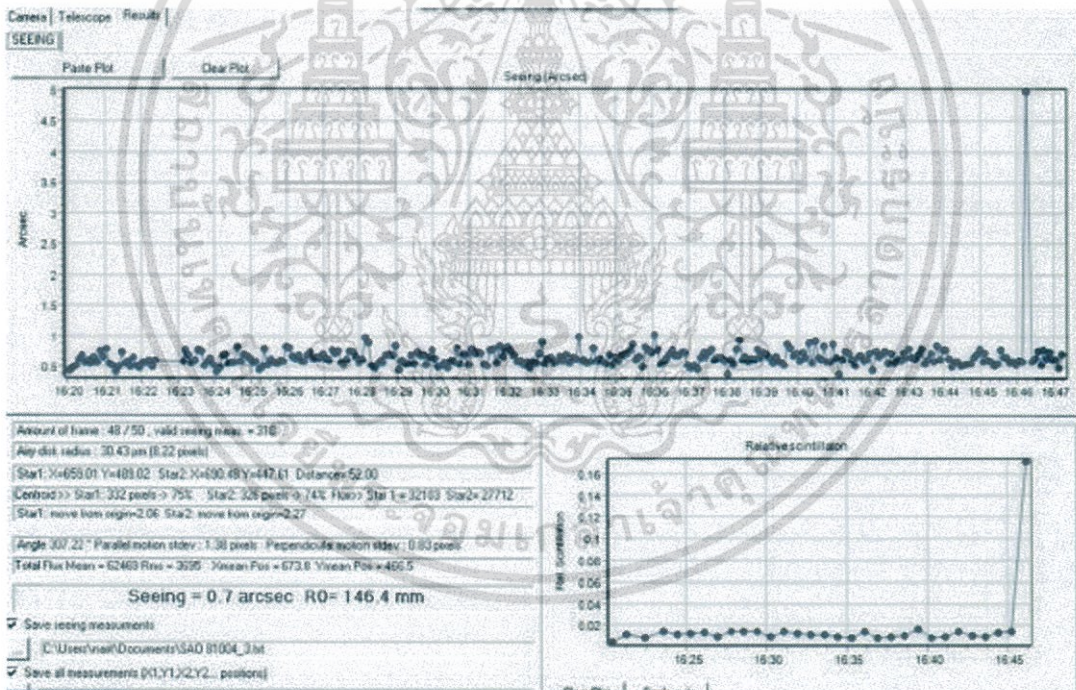
รูปที่ 3.26 เลือกประเภทของกล้องโทรทรรศน์

3.4 ดาวจะปรากฏบนหน้าจอสองดวงจากนั้นกด Enable โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าและเฉลี่ยค่า Seeing ออกมาในหน่วย arcsec ดังแสดงในรูป 3.27 และถ้าทำการเก็บค่าอย่างต่อเนื่องจะได้กราฟ ดังรูปที่ 3.10 เลือกสถานที่เก็บค่าแล้วกดบันทึกค่า Seeing ข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกไว้ใน Server

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.27 แสดงการเก็บค่า Seeing



รูปที่ 3.28 แสดงกราฟค่า Seeing แต่ละช่วงเวลา

3.5 นำค่า Seeing ที่ได้จากการเก็บข้อมูลในข้อที่ 3.4 มาแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลาโดยใช้โปรแกรม Matlab

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การเก็บค่า Astronomical Seeing โดยใช้เครื่องถ่ายภาพซีซีดี รุ่น STV

การปรับตั้งเครื่องถ่ายภาพ ซีซีดี รุ่น STV (Santa Barbara Instrument Group) ยี่ห้อ SBIG

การศึกษาวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์ในการทำ DIMM โดยเลือกใช้กล้องถ่ายภาพ ซีซีดี รุ่น STV (Santa Barbara Instrument Group) ยี่ห้อ SBIG เนื่องจากมีขนาดเล็กและสามารถแสดงผลทางจอของเครื่องได้โดยตรง ซึ่งเมื่อใช้กล้องโทรทรรศน์ในการค้นหาดาวที่ใช้ในการศึกษาแล้ว กระบวนการในการเก็บข้อมูล

โดยใช้กล้องถ่ายภาพ CCD รุ่น STV จะมีขั้นตอนการปรับตั้งเครื่องถ่ายภาพ ซีซีดี ดังต่อไปนี้

- 1.1 ปรับตั้งค่า Date/Time ปรับโดยเทียบเวลาสากลจาก Universal Time โดยลบ 7 ชั่วโมงจากเวลาสากล (Universal Time)
- 1.2 ปรับตั้งค่า CCD Temperature ให้มีค่าเป็น -10 องศาเซลเซียส โดยให้ตัว CCD ทำงานที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อลดสัญญาณรบกวนในการส่งถ่ายข้อมูล
- 1.3 ปรับตั้งค่า Grid โดยปรับให้เป็น on
- 1.4 ปรับตั้งค่า Night-Vision โดยปรับให้เป็น on
- 1.5 ปรับตั้งค่า Filter โดยปรับให้เป็น RGB + Clear
- 1.6 ปรับตั้งค่า Filter โดยปรับให้เป็น Clear
- 1.7 ปรับตั้งค่า Units โดยปรับให้เป็นหน่วย Inches (ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกับขนาดของหน้ากล้องโทรทรรศน์ โดยในการทดสอบนี้ใช้กล้องโทรทรรศน์แบบผสมขนาด 8 นิ้ว)
- 1.8 ปรับตั้งค่า Focal Length โดยปรับให้เป็น 80 ซึ่งคำนวณหาค่า Focal Length ได้จากขนาดความยาวโฟกัสคูณขนาดหน้าเลนส์ ($10 \times 8 = 80$) ดังนั้นค่า Focal Length เท่ากับ 80
- 1.9 ปรับตั้งค่า Aperture Diameter โดยปรับให้เป็น 8 ซึ่งหมายถึงค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเลนส์หน้ากล้อง
- 1.10 ปรับตั้งค่า Telescope โดยปรับให้เป็น Reflector (ซึ่งเป็นการเลือกชนิดของกล้องโทรทรรศน์)
- 1.11 ปรับตั้งค่า Beep โดยปรับให้เป็น on เพื่อให้มีเสียงเตือน
- 1.12 ปรับตั้งค่า Video โดยปรับให้เป็น NTSC
- 1.13 บันทึกค่า seeing ทุก 5 นาที แล้วสลับกับซีซีดีถ่ายภาพ ZWO
- 1.14 นำค่า Seeing ที่ได้มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing ที่ได้จาก STV และ ZWO เทียบกับเวลาเพื่อเทียบเคียงค่า Seeing ที่ได้จากโปรแกรม SMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

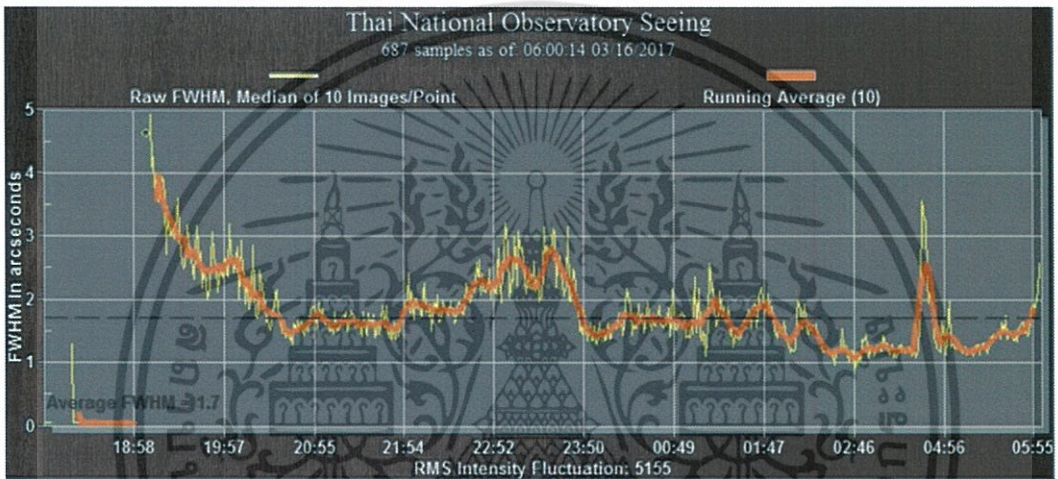
ตอนที่ 2 เปรียบเทียบกราฟข้อมูลที่ได้จากเทคนิค DIMM กับเทคนิคดาวเหนือ

2.1 นำข้อมูลค่า Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือ จากฐานข้อมูลที่มีอยู่มาพล็อตกราฟค่า Seeing เทียบกับเวลา ในวันที่เก็บข้อมูลทั้ง 2 วิธี

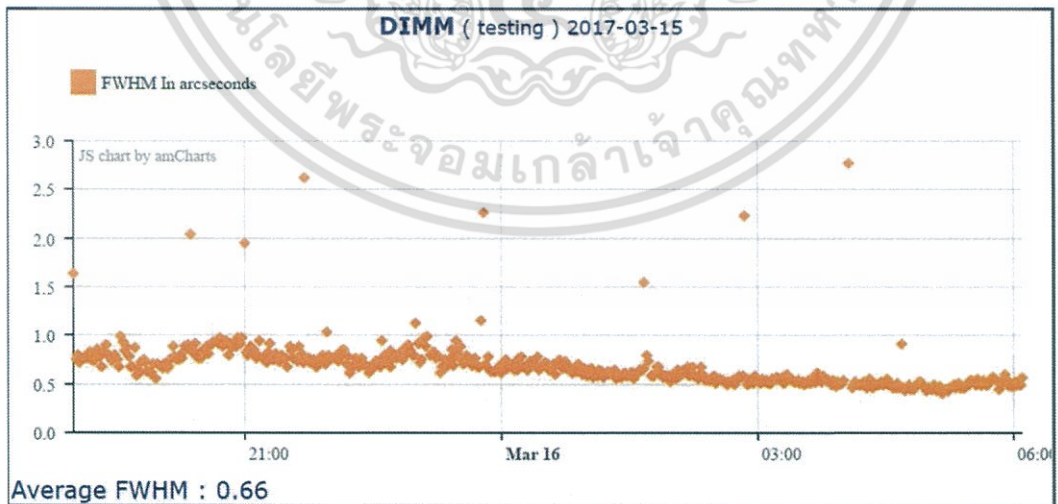
2.2 เปรียบเทียบกราฟ Seeing ที่ได้จาก DIMM กับดาวเหนือ

2.3 วิเคราะห์หาแนวโน้ม สังเกตแนวโน้มของกราฟทั้ง 2 วิธี

ตัวอย่าง แนวโน้มค่า Seeing ที่ได้จากเทคนิคดาวเหนือและเทคนิค DIMM ในวันที่ 16 มีนาคม 2560



รูปที่ 3.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า FWHM กับเวลา โดยเทคนิคดาวเหนือ



รูปที่ 3.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า FWHM กับเวลา โดยเทคนิค DIMM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 หาความสัมพันธ์ปัจจัยที่มีผลต่อค่า Seeing ทั้ง 2 วิธี

3.1 นำข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลมที่ได้จากฐานข้อมูลตรวจวัดสภาพอากาศ Weather station มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลมเทียบกับเวลา ในวันที่เก็บข้อมูลค่า Seeing

3.2 นำข้อมูล Airmass และ Ro จากฐานข้อมูลโปรแกรมที่ใช้เก็บค่า Seeing มาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing โดยเทคนิค DIMM กับ Airmass และ Ro

3.3 พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Altitude กับ Airmass

3.4 หาความสัมพันธ์จากกราฟปัจจัยที่มีผลต่อค่า seeing ที่ได้จากการแปลผลจากข้อที่ 3.1 – 3.3




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยเทคนิคDIMMและเปรียบเทียบกับข้อมูลการหาค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยเทคนิคดาวเหนือ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น ความเร็วลม และค่า Airmass ซึ่งได้นำข้อมูลมาประมวลและวิเคราะห์ผลข้อมูลออกตามชนิดและการใช้งานของข้อมูลแต่ละประเภท

ผลการเก็บข้อมูล Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน 2560 จำนวน 45 วัน



จำนวนข้อมูลทั้งหมด	13,694 ข้อมูล
ค่าสูงสุด (Maximum)	2.48 arcsec
ค่าต่ำสุด (Minimum)	0.29 arcsec
ค่าเฉลี่ย (Mean)	1.09 arcsec
ค่ามัธยฐาน (Median)	0.60 arcsec
ค่าฐานนิยม (Mode)	0.60 arcsec
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)	0.32 arcsec
ค่าเฉลี่ยของ 5 เปอร์เซ็นต์ที่ดีที่สุด	0.40 arcsec
ค่าเฉลี่ยของ 25 เปอร์เซ็นต์ที่ดีที่สุด	0.50 arcsec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการเก็บข้อมูล Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ – เมษายน 2560 จำนวน 45 วัน

จำนวนข้อมูลทั้งหมด	9,641 ครั้ง
ค่าสูงสุด (Maximum)	5.00 arcsec
ค่าต่ำสุด (Minimum)	0.30 arcsec
ค่าเฉลี่ย (Mean)	2.28 arcsec
ค่ามัธยฐาน (Median)	1.70 arcsec
ค่าฐานนิยม Mode)	1.50 arcsec
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)	0.93 arcsec
ค่าเฉลี่ยของ 5 เปอร์เซ็นต์ที่ดีที่สุด	1.10 arcsec
ค่าเฉลี่ยของ 25 เปอร์เซ็นต์ที่ดีที่สุด	1.30 arcsec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงการแจกแจงความถี่ของค่า Astronomical Seeing ที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยเทคนิค DIMM

ค่า FWHM (arcsec)	ความถี่	ความถี่สะสม	อัตราส่วนเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมด
0.2	2	2	0.01
0.3	68	70	0.50
0.4	850	920	6.21
0.5	1811	2731	13.22
0.6	2365	5096	17.27
0.7	2284	7380	16.68
0.8	1645	9025	12.01
0.9	1428	10453	10.43
1	1034	11487	7.55
1.1	692	12179	5.05
1.2	408	12587	2.98
1.3	300	12887	2.19
1.4	187	13074	1.37
1.5	134	13208	0.98
1.6	114	13322	0.83
1.7	78	13400	0.57
1.8	65	13465	0.48
1.9	60	13525	0.44
2	50	13575	0.37
2.1	37	13612	0.27
2.2	38	13650	0.28
2.3	36	13686	0.26
2.4	8	13694	0.06
รวม			100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงการแจกแจงความถี่ของค่า Astronomical Seeing ที่ได้จากการเก็บข้อมูลโดยเทคนิคดาวเหนือ

ค่า FWHM (arcsec)	ความถี่	ความถี่สะสม	อัตราส่วนเมื่อเทียบกับข้อมูลทั้งหมด
0.3	19	19	0.20
0.5	34	53	0.35
0.7	9	62	0.09
0.9	112	174	1.16
1.1	618	792	6.41
1.3	1200	1992	12.45
1.5	1350	3342	14.00
1.7	1166	4508	12.09
1.9	912	5420	9.46
2.1	726	6146	7.53
2.3	561	6707	5.82
2.5	504	7211	5.23
2.7	377	7588	3.91
2.9	330	7918	3.42
3.1	352	8270	3.65
3.3	286	8556	2.97
3.5	221	8777	2.29
3.7	187	8964	1.94
3.9	178	9142	1.85
4.1	156	9298	1.62
4.3	119	9417	1.23
4.5	120	9537	1.24
4.7	77	9614	0.80
4.9	27	9641	0.28
รวม			100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางแสดงข้อมูลค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM ตั้งแต่ วันที่ 3 มีนาคม – 30 มีนาคม 2560 พบว่าค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.34 arcsec ซึ่งวัดได้ในวันที่ 25 มีนาคม 2560 ค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.3 arcsec ในวันที่ 25 มีนาคม 2560 และพบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 1.18 arcsec ในวันที่ 22 มีนาคม 2560 และค่าเฉลี่ยต่ำสุด 0.54 arcsec ในวันที่ 21 มีนาคม 2560 เมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับ เวลา จะได้กราฟตามรูปที่ 4.1

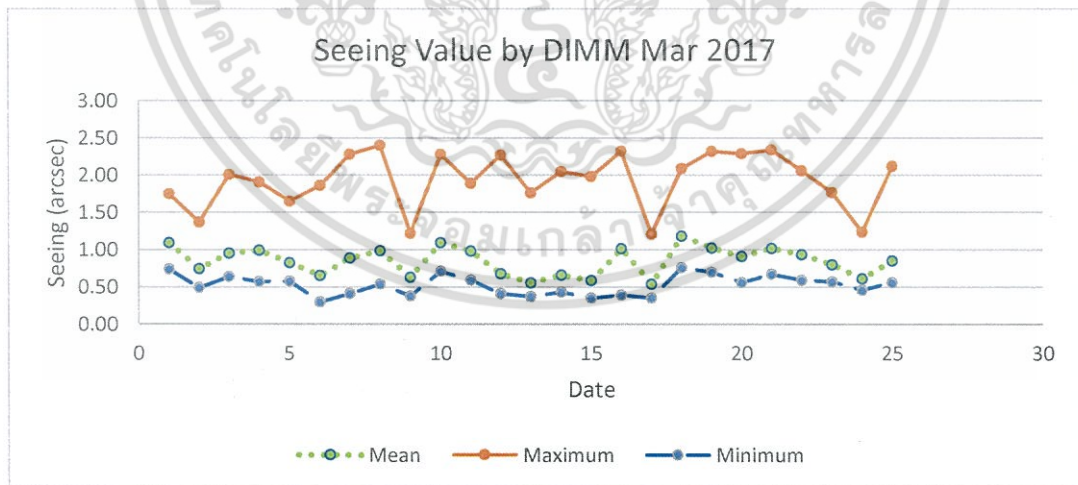
จากตารางแสดงข้อมูลค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือ ตั้งแต่ วันที่ 3 มีนาคม – 30 มีนาคม 2560 พบว่าค่าสูงสุดมีค่าเท่ากับ 5 arcsec ซึ่งวัดได้ในวันที่ 22 - 23 มีนาคม 2560 ค่าต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 0.3 arcsec ในวันที่ 11 มีนาคม 2560 และพบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดคือ 4.53 arcsec ในวันที่ 24 มีนาคม 2560 และค่าเฉลี่ยต่ำสุด 0.55 arcsec ในวันที่ 12 มีนาคม 2560 เมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับ เวลา จะได้กราฟตามรูปที่ 4.2

จากข้อมูลค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM และเทคนิคดาวเหนือ ตั้งแต่ วันที่ 3 มีนาคม – 30 มีนาคม 2560 พบว่าค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเฉลี่ยที่ได้จากเทคนิคดาวเหนือมีค่าสูงกว่าเทคนิค DIMM

ตอนที่ 1 ศึกษาการหาค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า หรือการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ โดยเทคนิค DIMM และการใช้โปรแกรม ACP ร่วมกับการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ โดยเทคนิค DIMM

ตารางที่ 4.3 แสดงค่า FWHM โดยเทคนิค DIMM ที่ได้จากการเก็บข้อมูล

Date	FWHM		
	Mean	Maximum	Minimum
3 03 2017	1.09	1.75	0.74
4 03 2017	0.74	1.37	0.49
5 03 2017	0.95	2.01	0.64
6 03 2017	1.00	1.91	0.57
7 03 2017	0.83	1.65	0.58
8 03 2017	0.65	1.86	0.3
10 03 2017	0.89	2.28	0.41
11 03 2017	0.99	2.4	0.54
12 03 2017	0.63	1.22	0.38
13 03 2017	1.10	2.28	0.71
14 03 2017	0.98	1.89	0.59
15 03 2017	0.68	2.27	0.41
16 03 2017	0.56	1.76	0.37
17 03 2017	0.66	2.05	0.43
18 03 2017	0.59	1.98	0.35
20 03 2017	1.02	2.32	0.39
21 03 2017	0.54	1.21	0.35
22 03 2017	1.18	2.09	0.76
23 03 2017	1.02	2.32	0.7
24 03 2017	0.91	2.29	0.56
25 03 2017	1.02	2.34	0.67
26 03 2017	0.94	2.06	0.59
27 03 2017	0.80	1.77	0.57
29 03 2017	0.61	1.24	0.46
30 03 2017	0.85	2.12	0.56

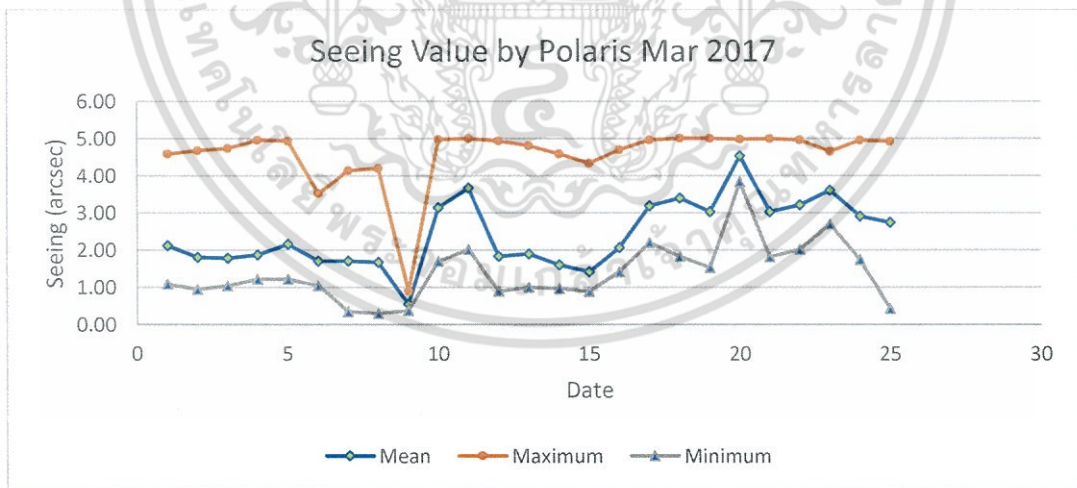


รูปที่ 4.1 แสดงค่า FWHM โดยเทคนิค DIMM ตั้งแต่ วันที่ 3 มีนาคม – 30 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงค่า FWHM โดยเทคนิคดาวเหนือที่ได้จากการเก็บข้อมูล

Date	FWHM		
	Mean	Maximum	Minimum
03 03 2017	2.12	4.58	1.09
04 03 2017	1.81	4.67	0.95
05 03 2017	1.79	4.73	1.04
06 03 2017	1.88	4.95	1.22
07 03 2017	2.16	4.93	1.22
08 03 2017	1.70	3.51	1.04
10 03 2017	1.71	4.13	0.35
11 03 2017	1.68	4.19	0.30
12 03 2017	0.55	0.90	0.38
13 03 2017	3.14	4.97	1.70
14 03 2017	3.66	4.99	2.02
15 03 2017	1.84	4.93	0.90
16 03 2017	1.90	4.80	1.00
17 03 2017	1.60	4.58	0.97
18 03 2017	1.41	4.33	0.89
20 03 2017	2.06	4.69	1.42
21 03 2017	3.18	4.96	2.20
22 03 2017	3.39	5.00	1.83
23 03 2017	3.02	5.00	1.53
24 03 2017	4.53	4.98	3.83
25 03 2017	3.02	4.99	1.82
26 03 2017	3.21	4.96	2.02
27 03 2017	3.60	4.65	2.70
29 03 2017	2.91	4.95	1.75
30 03 2017	2.74	4.92	0.43



รูปที่ 4.2 แสดงค่า FWHM โดยเทคนิคดาวเหนือ ตั้งแต่ วันที่ 3 มีนาคม - 30 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

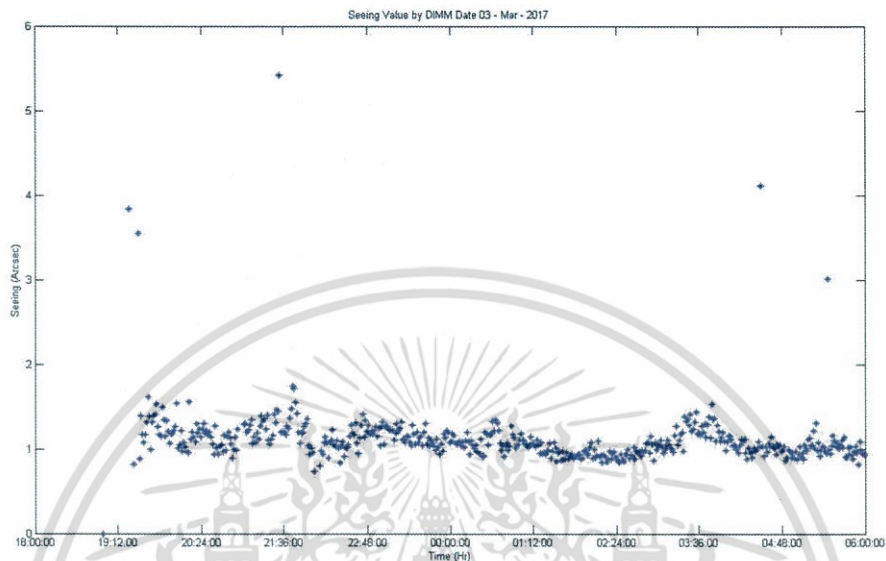
จากตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM พบว่าค่าที่มากที่สุดที่วัดได้ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 3 มีนาคม – 30 มีนาคม พ.ศ. 2560 มีค่าอยู่ในช่วง 2.4 arcsec จำนวน 8 ค่ามีค่าน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 0.2 arcsec จำนวน 2 ค่า และมีค่าความถี่สูงสุดที่ 0.6 arcsec จำนวน 2,365 ค่า

จากตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือ พบว่าค่าที่มากที่สุดที่วัดได้ในแต่ละวันตั้งแต่วันที่ 3 มีนาคม – 30 มีนาคม พ.ศ. 2560 มีค่าอยู่ในช่วง 4.9 arcsec จำนวน 27 ค่ามีค่าน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 0.3 arcsec จำนวน 19 ค่า และมีค่าความถี่สูงสุดที่ 1.5 arcsec จำนวน 1,350 ค่า

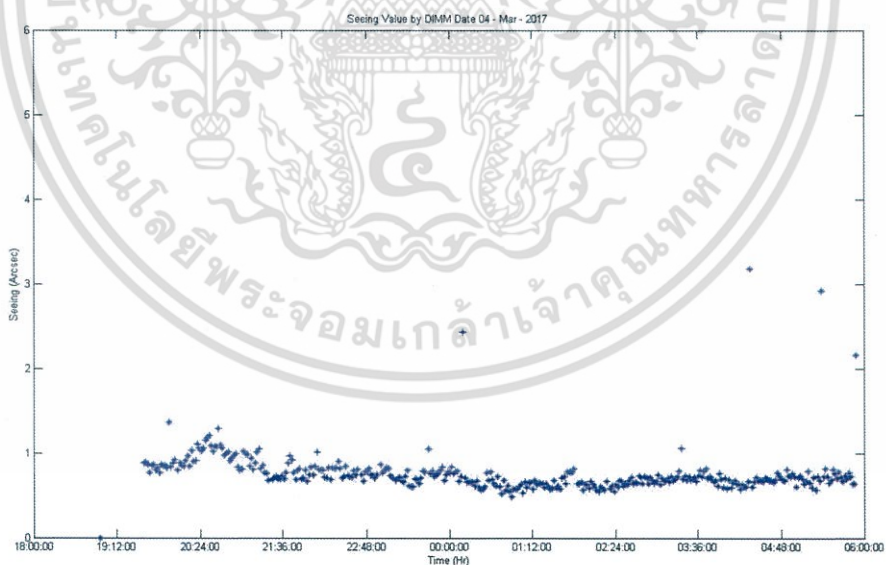


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างผลการศึกษาค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM จำนวน 6 วันจากการเก็บข้อมูลทั้งหมด 45 วัน (รายละเอียดในภาคผนวก)

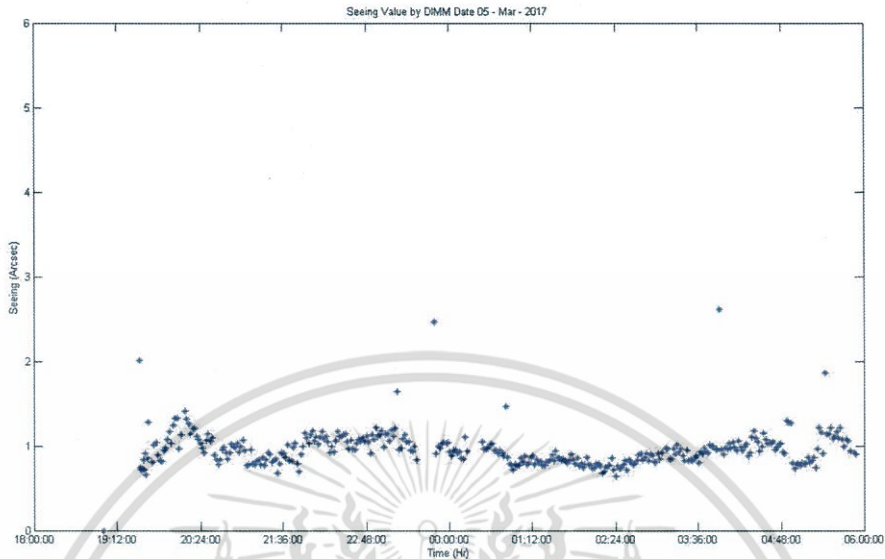


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2560

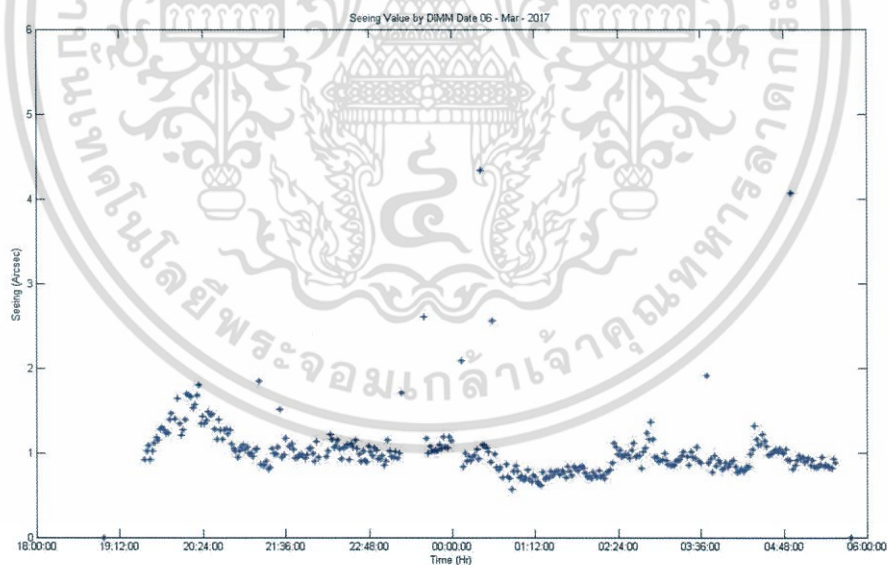


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

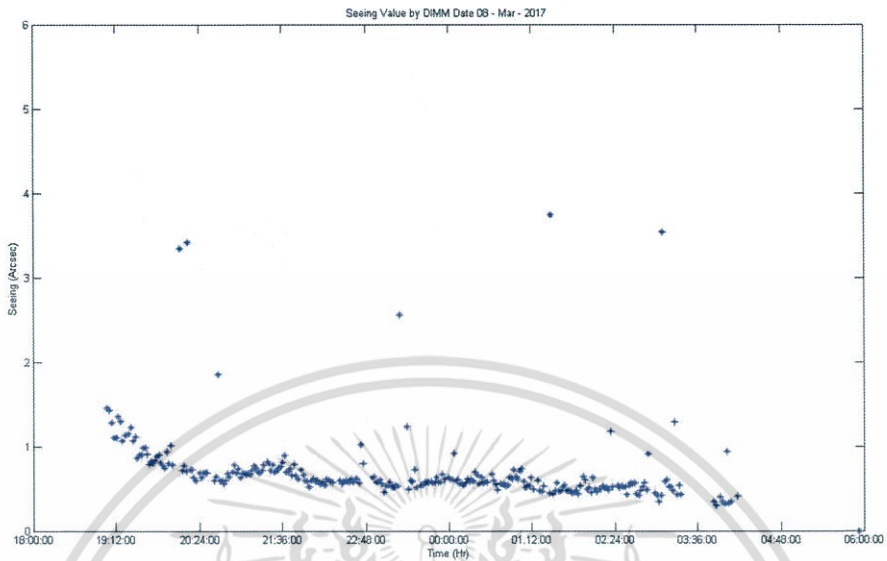


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2560

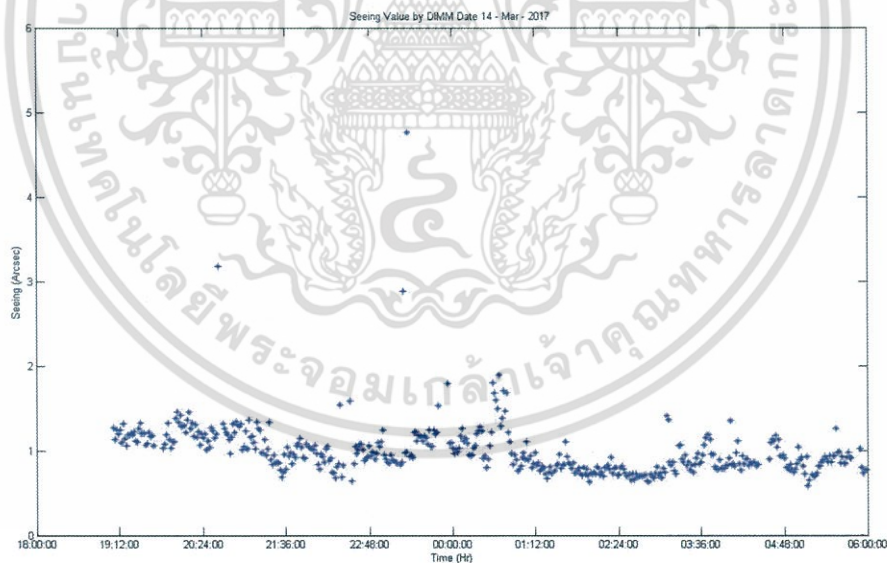


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา
ณ วันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2560

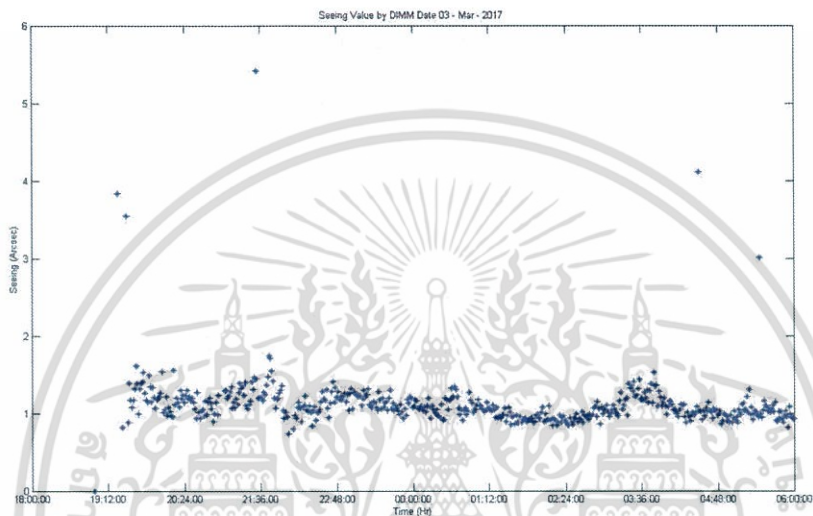


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา
ณ วันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2560

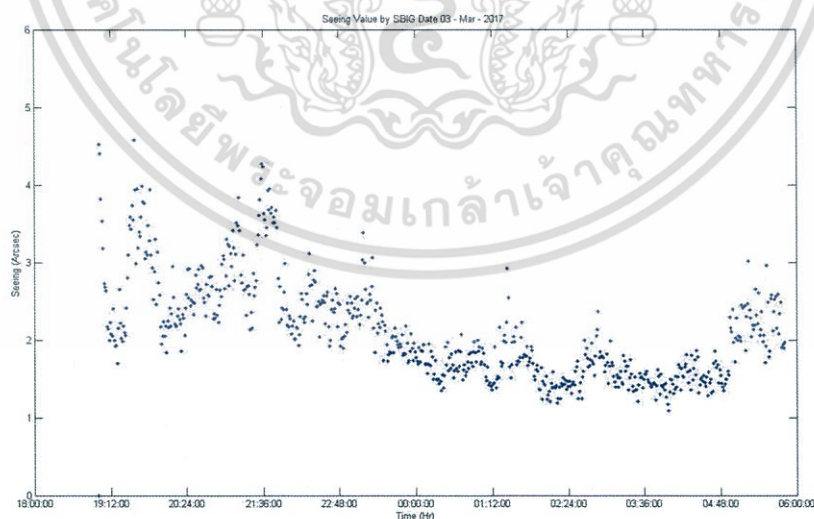
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ศึกษาเปรียบเทียบค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยเทคนิค DIMM และเทคนิคการ วัดโดยวัดความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งดาวเหนือหรือเทคนิคดาวเหนือ (Polaris Seeing)

ตัวอย่าง ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยเทคนิค DIMM และ เทคนิคดาวเหนือ จำนวน 7 วันจากการเก็บข้อมูลทั้งหมด 45 วัน (รายละเอียดในภาคผนวก)

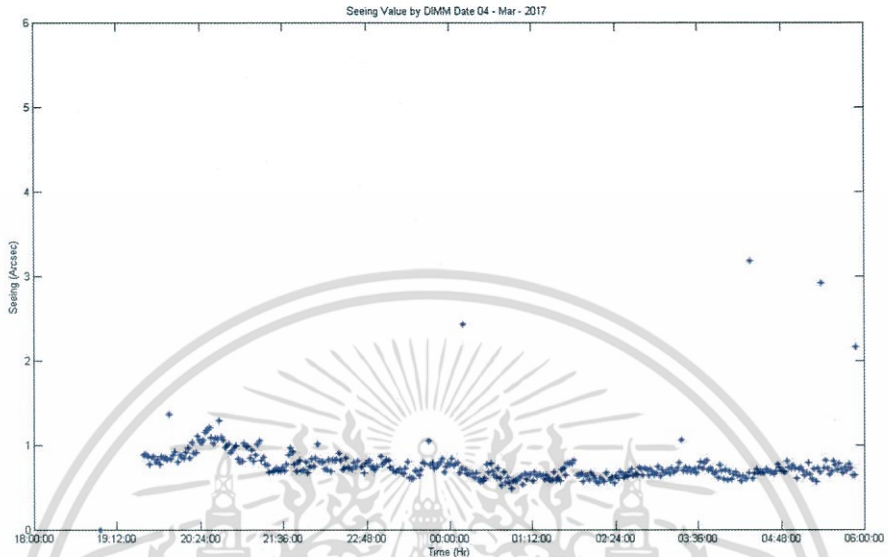


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 3 มีนาคม 2560

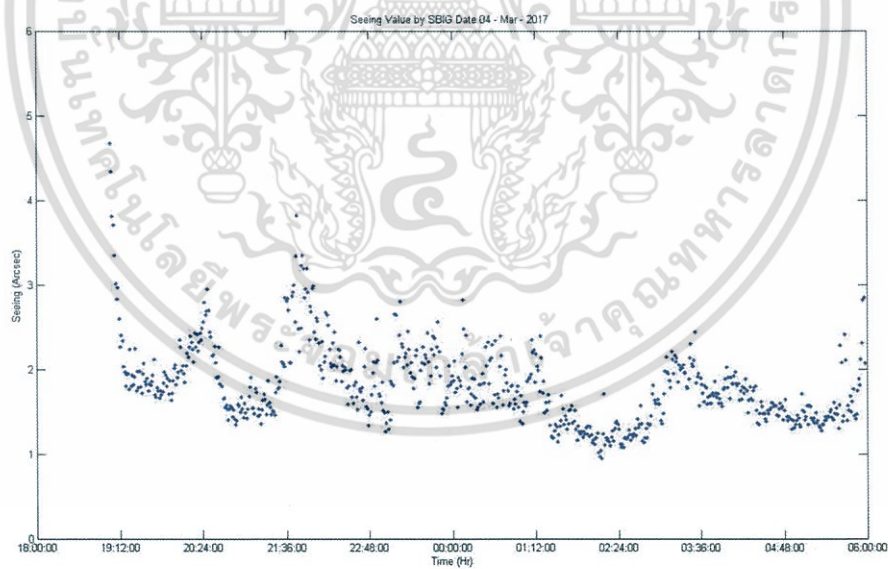


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 3 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

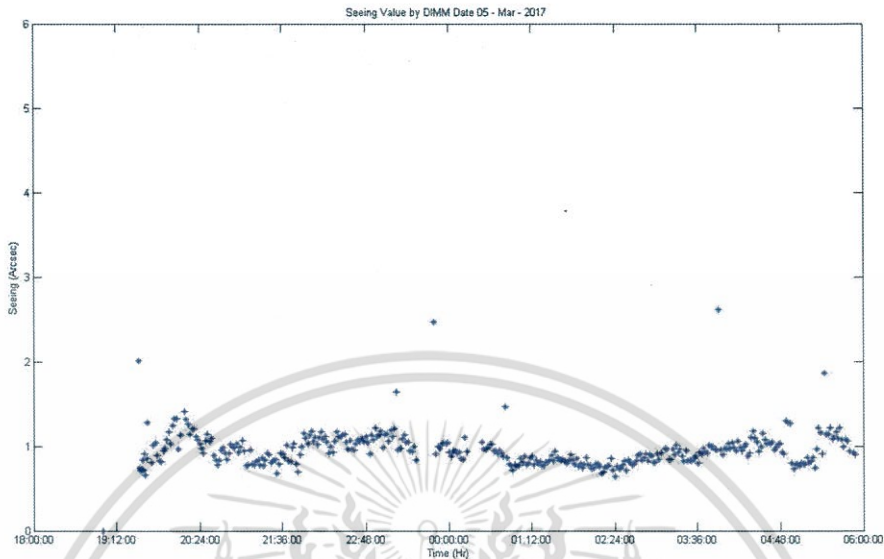


รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา
ณ วันที่ 4 มีนาคม 2560

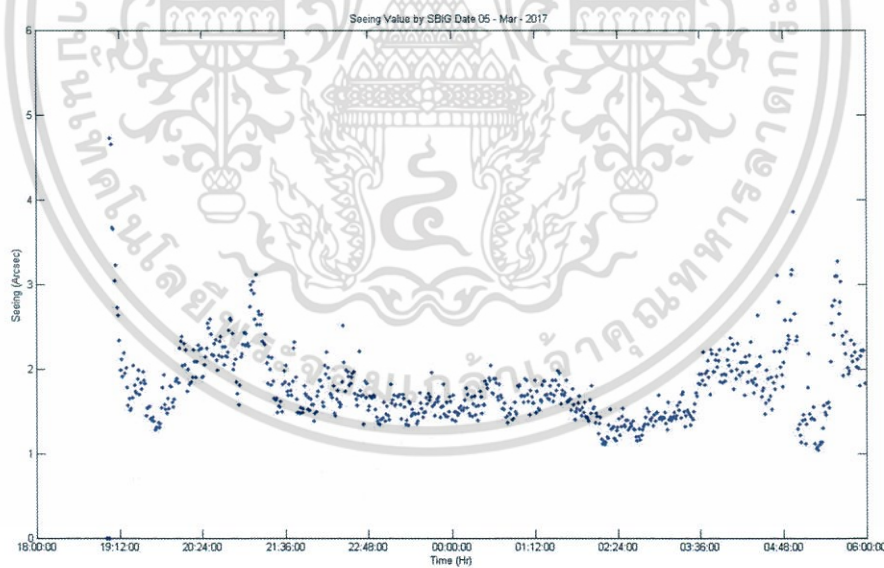


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา
ณ วันที่ 4 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

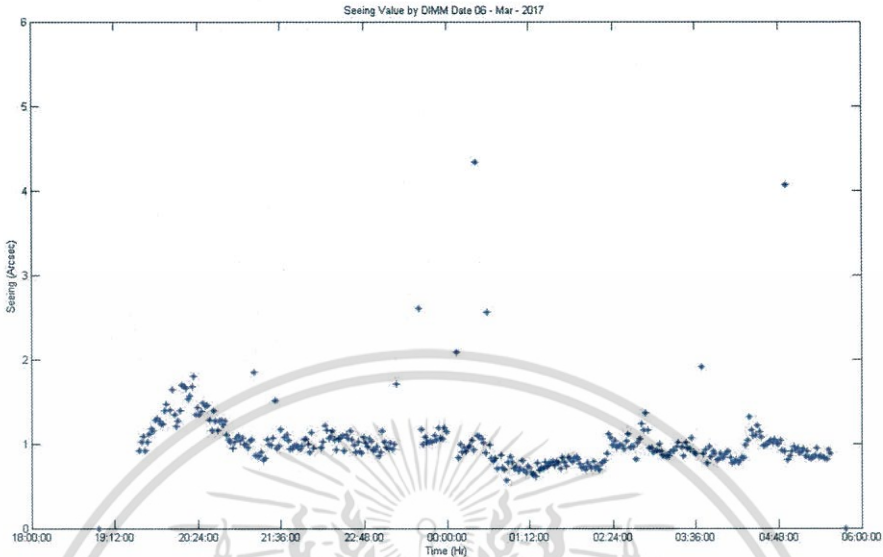


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 5 มีนาคม 2560

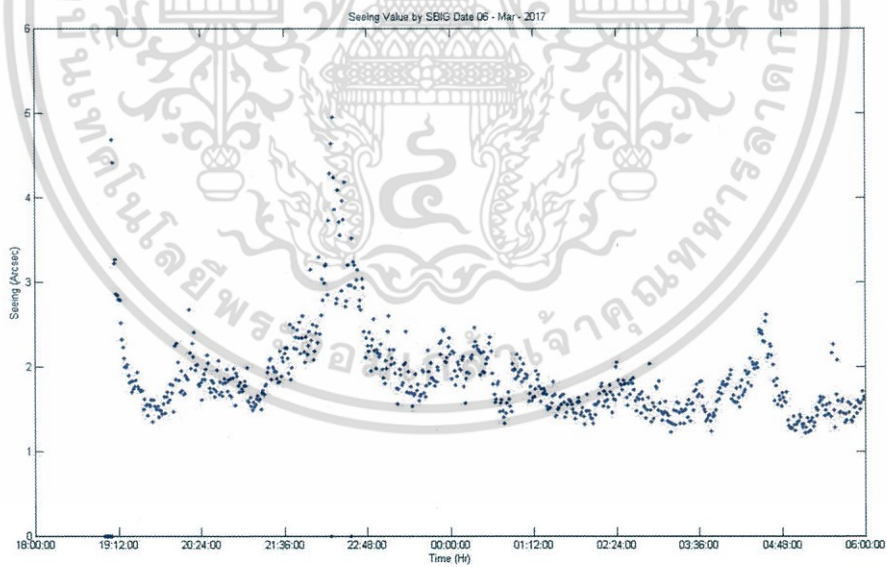


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 5 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

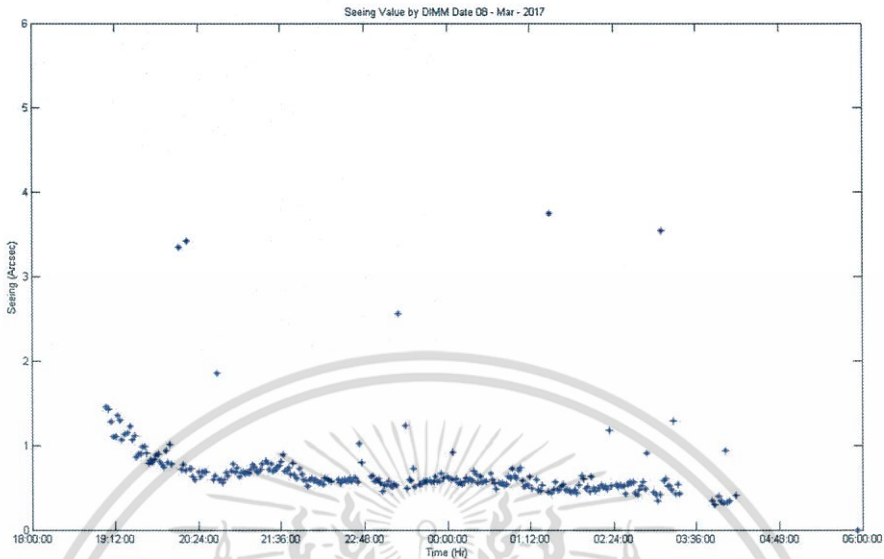


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 6 มีนาคม 2560

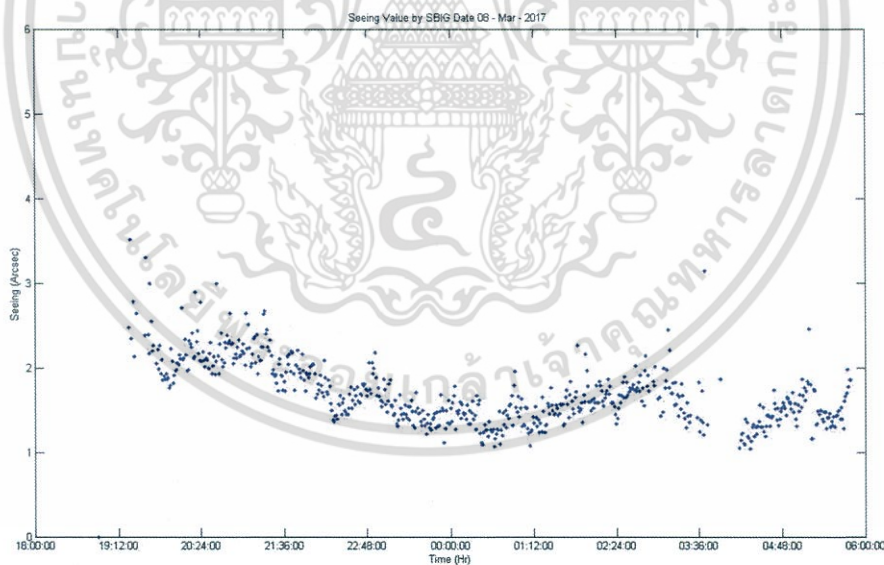


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 6 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

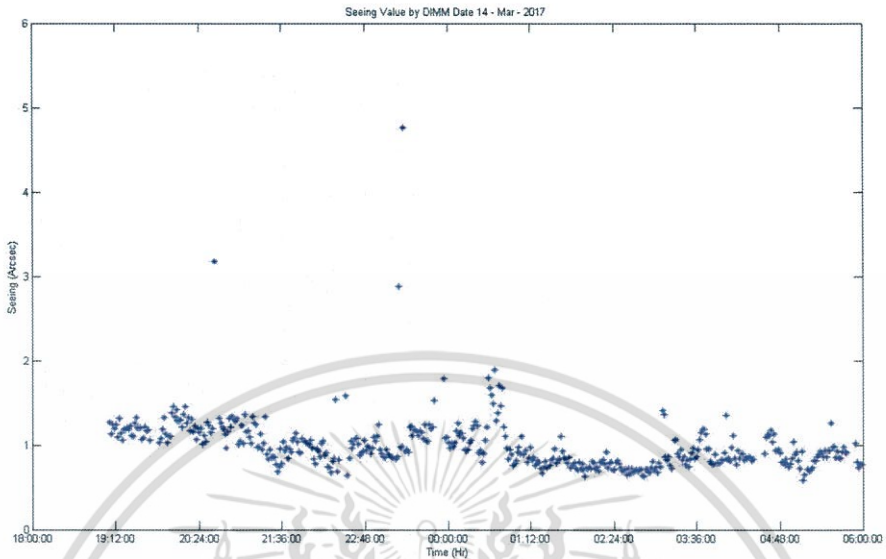


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 8 มีนาคม 2560

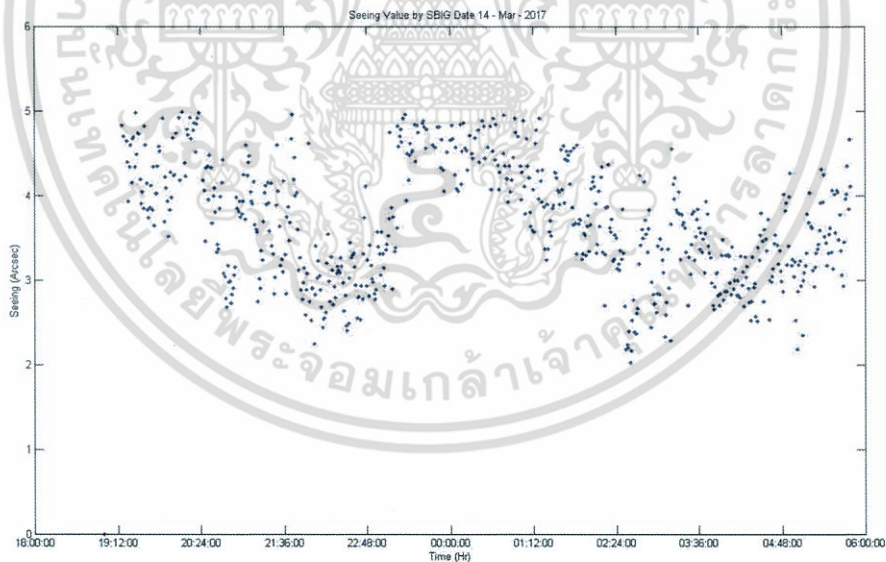


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 8 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

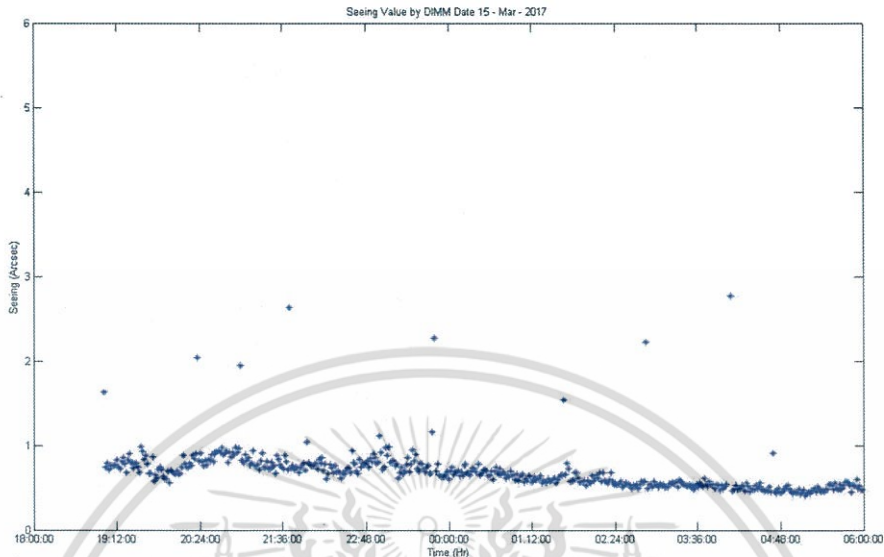


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา
ณ วันที่ 14 มีนาคม 2560

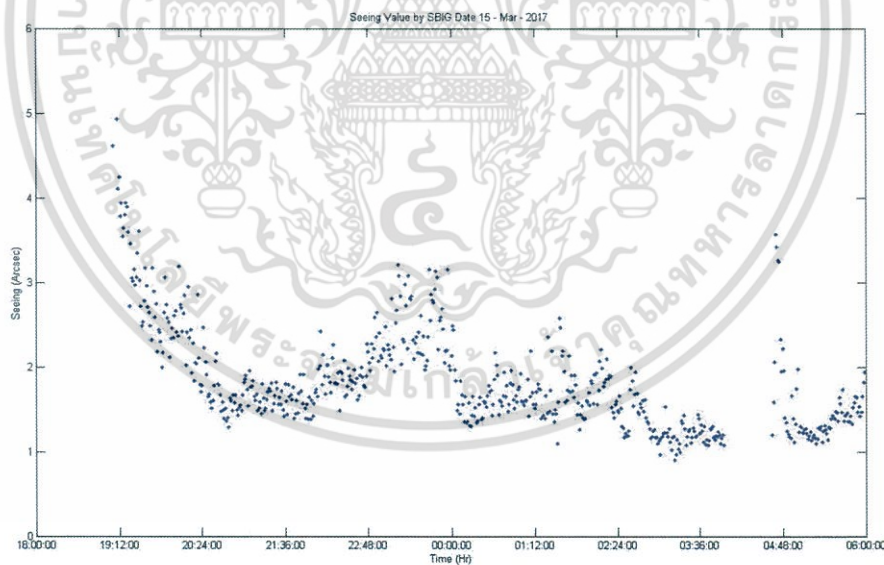


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา
ณ วันที่ 14 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



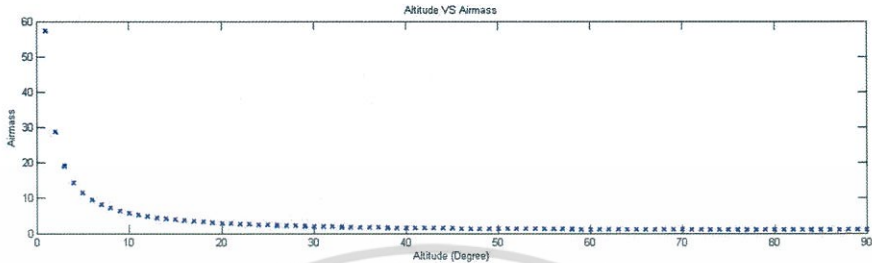
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM กับเวลา ณ วันที่ 15 มีนาคม 2560



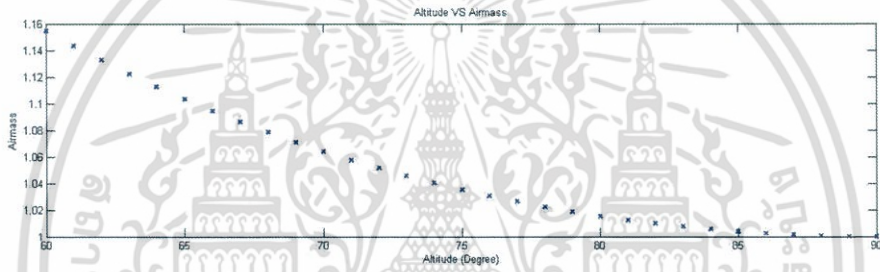
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือกับเวลา ณ วันที่ 15 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

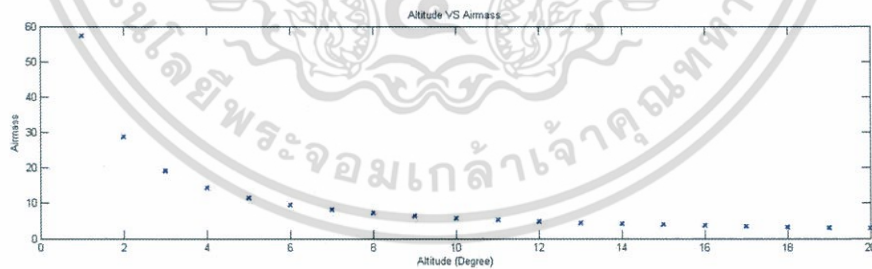
ตอนที่ 3 ศึกษาความสัมพันธ์ของมวลอากาศ, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมกับค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์



รูปที่ 4.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Altitude ตั้งแต่ 0° - 90° กับค่า Airmass



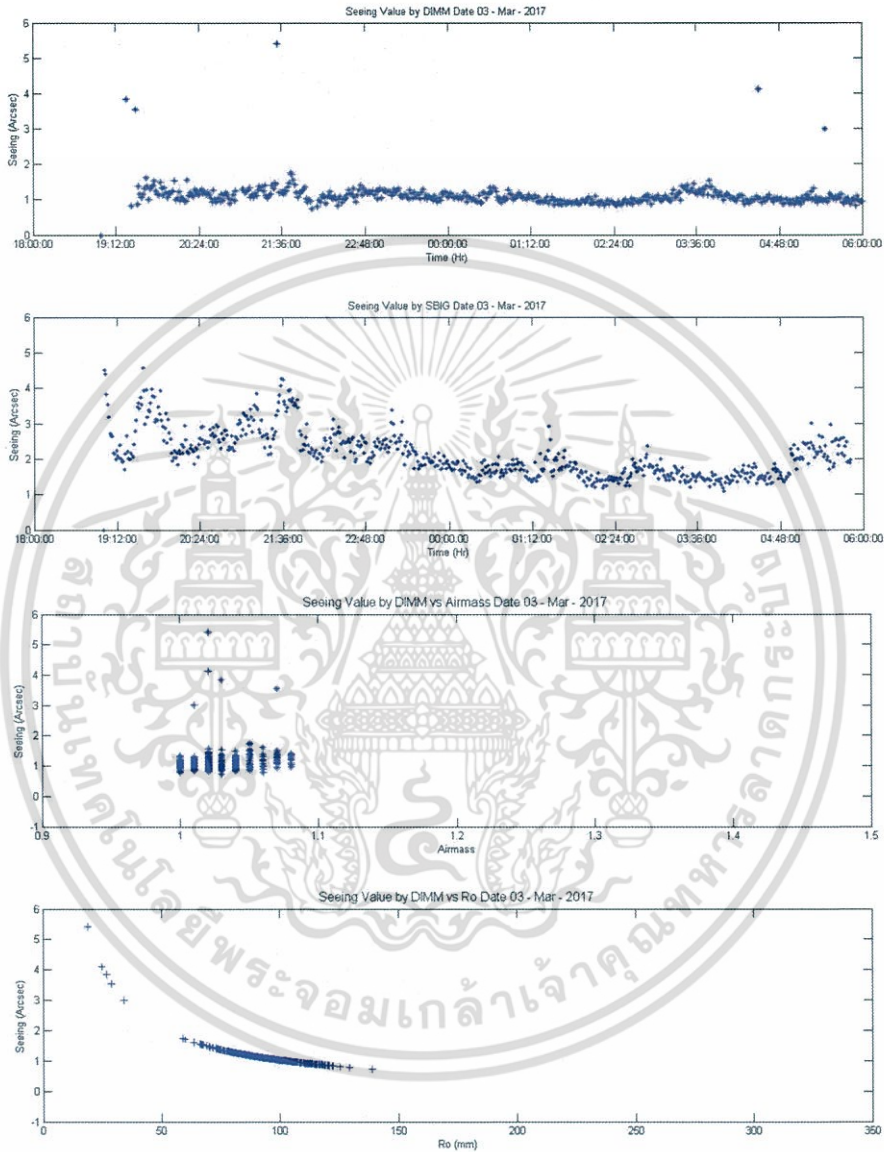
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Altitude ตั้งแต่ 60° - 90° กับค่า Airmass ช่วงที่ใช้ในการศึกษาค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิค DIMM



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Altitude ตั้งแต่ 60° - 90° กับค่า Airmass ช่วงที่ใช้ในการศึกษาค่า Astronomical Seeing โดยเทคนิคดาวเหนือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

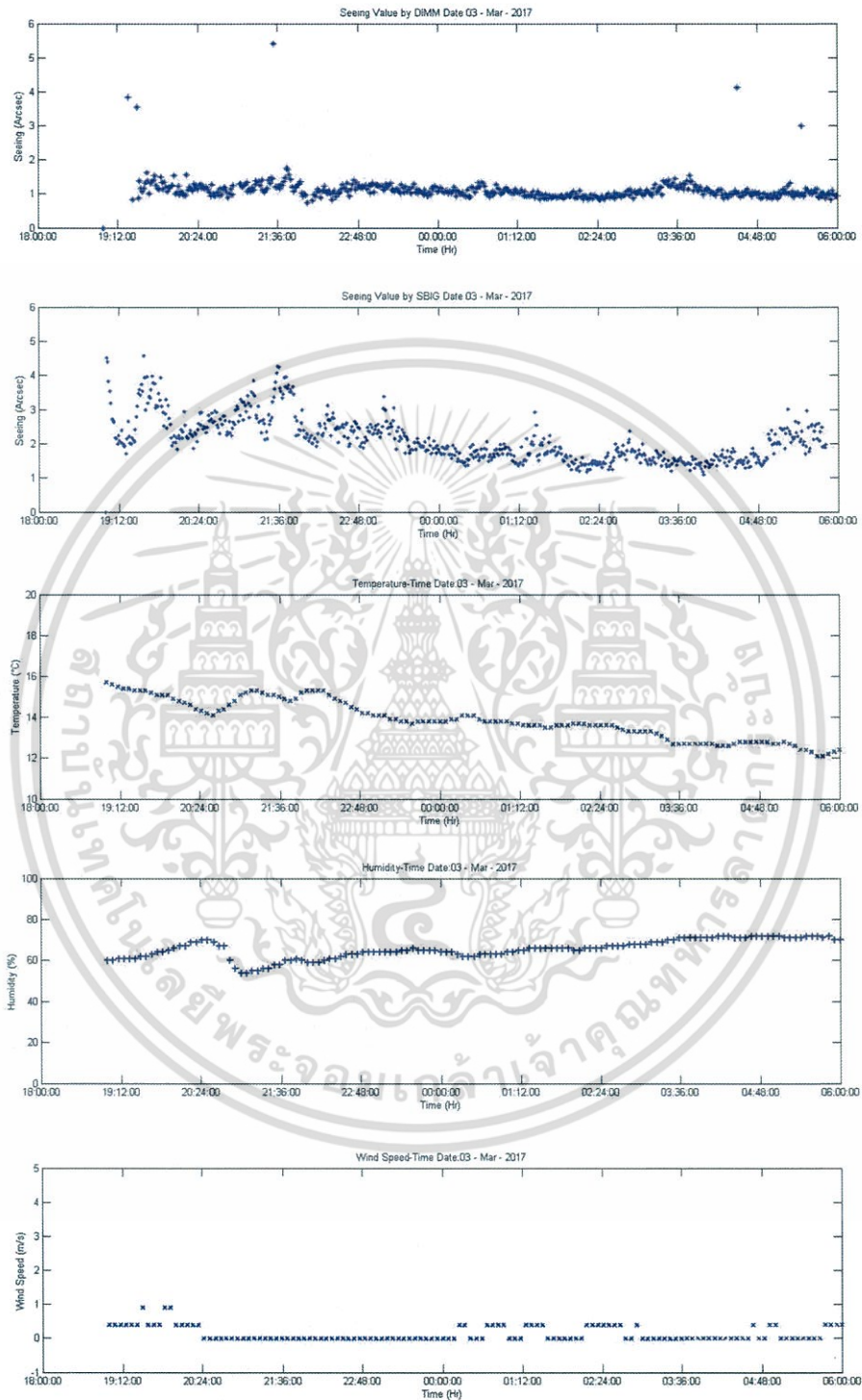
ตัวอย่าง กราฟศึกษาความสัมพันธ์ของมวลอากาศ, อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม กับค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ จำนวน 1 วัน จากการเก็บข้อมูลทั้งหมด 45 วัน (รายละเอียดในภาคผนวก)



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing กับค่า Airmass และ Ro

จากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Astronomical Seeing กับค่า Ro พบว่า Astronomical Seeing แปรผันตามค่า Airmass ส่วนค่า Ro แปรผกผันกับค่า Astronomical Seeing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

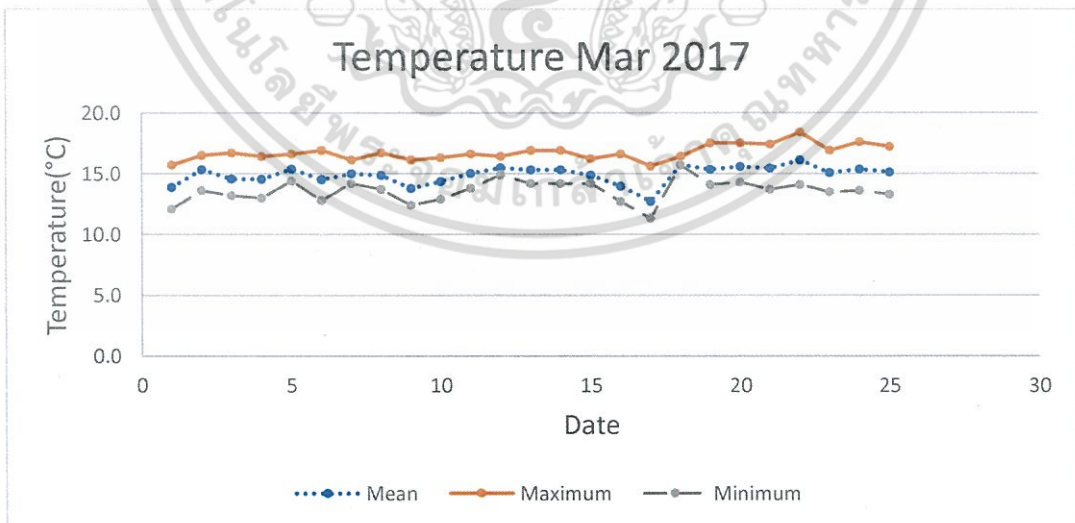


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในเดือน มีนาคม 2560

Date	Temperature		
	Mean	Maximum	Minimum
3 03 2017	13.9	15.7	12.1
4 03 2017	15.3	16.5	13.6
5 03 2017	14.6	16.7	13.2
6 03 2017	14.5	16.4	13.0
7 03 2017	15.4	16.6	14.4
8 03 2017	14.5	16.9	12.8
10 03 2017	15.0	16.1	14.2
11 03 2017	14.9	16.7	13.7
12 03 2017	13.8	16.1	12.4
13 03 2017	14.3	16.3	12.9
14 03 2017	15.0	16.6	13.8
15 03 2017	15.5	16.4	14.9
16 03 2017	15.3	16.9	14.2
17 03 2017	15.3	16.9	14.2
18 03 2017	14.9	16.2	14.2
20 03 2017	14.0	16.6	12.7
21 03 2017	12.7	15.6	11.3
22 03 2017	15.7	16.4	15.7
23 03 2017	15.3	17.5	14.1
24 03 2017	15.6	17.5	14.3
25 03 2017	15.4	17.4	13.7
26 03 2017	16.1	18.4	14.1
27 03 2017	15.1	16.9	13.5
29 03 2017	15.4	17.6	13.6
30 03 2017	15.1	17.2	13.3

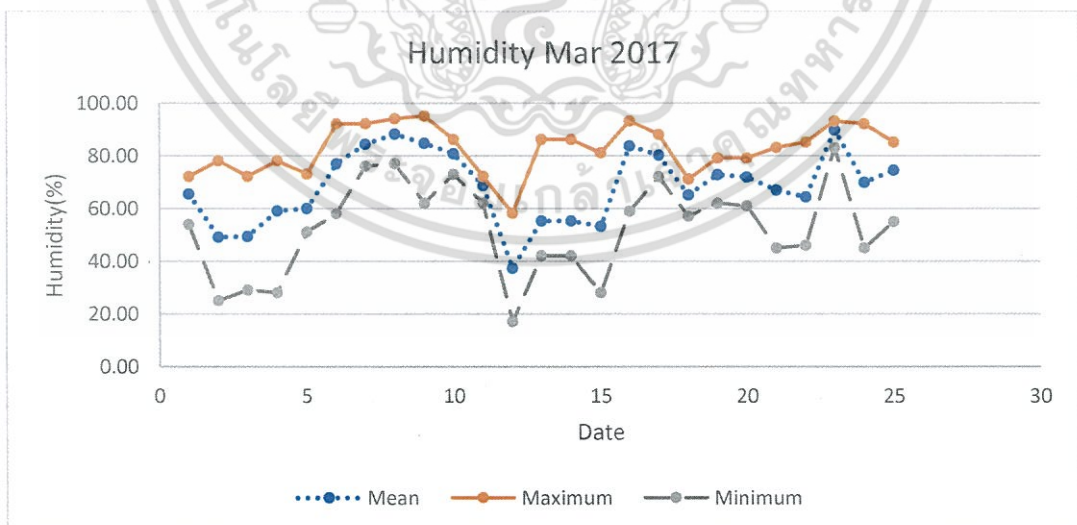


รูปที่ 4.28 กราฟแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในเดือน มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของความชื้นในเดือน มีนาคม 2560

Date	Humidity		
	Mean	Maximum	Minimum
3 03 2017	65.46	72.00	54.00
4 03 2017	49.17	78.00	25.00
5 03 2017	49.36	72.00	29.00
6 03 2017	59.04	78.00	28.00
7 03 2017	59.97	73.00	51.00
8 03 2017	76.89	92.00	58.00
10 03 2017	84.37	92.00	76.00
11 03 2017	88.16	94.00	77.00
12 03 2017	84.69	95.00	62.00
13 03 2017	80.78	86.00	73.00
14 03 2017	68.60	72.00	62.00
15 03 2017	37.30	58.00	17.00
16 03 2017	55.26	86.00	42.00
17 03 2017	55.26	86.00	42.00
18 03 2017	53.20	81.00	28.00
20 03 2017	83.71	93.00	59.00
21 03 2017	80.22	88.00	72.00
22 03 2017	65.08	71.00	57.00
23 03 2017	72.68	79.00	62.00
24 03 2017	71.81	79.00	61.00
25 03 2017	66.84	83.00	45.00
26 03 2017	64.29	85.00	46.00
27 03 2017	89.65	93.00	83.00
29 03 2017	69.76	92.00	45.00
30 03 2017	74.45	85.00	55.00

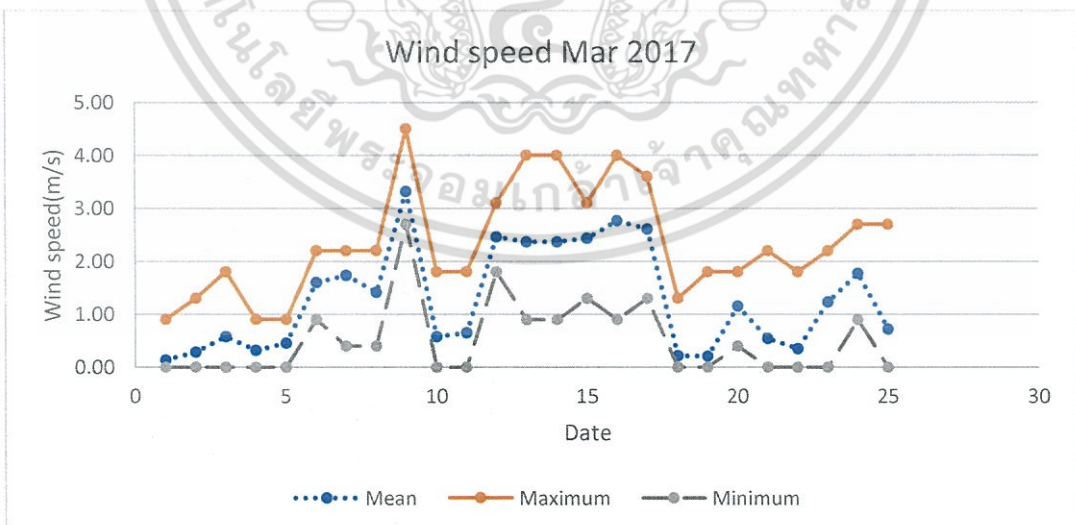


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ในเดือน มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของความเร็วลม ในเดือน มีนาคม 2560

Date	FWHM		
	Mean	Maximum	Minimum
3 03 2017	0.14	0.90	0.00
4 03 2017	0.29	1.30	0.00
5 03 2017	0.58	1.80	0.00
6 03 2017	0.32	0.90	0.00
7 03 2017	0.45	0.90	0.00
8 03 2017	1.60	2.20	0.90
10 03 2017	1.74	2.20	0.40
11 03 2017	1.42	2.20	0.40
12 03 2017	3.32	4.50	2.70
13 03 2017	0.58	1.80	0.00
14 03 2017	0.65	1.80	0.00
15 03 2017	2.46	3.10	1.80
16 03 2017	2.37	4.00	0.90
17 03 2017	2.37	4.00	0.90
18 03 2017	2.44	3.10	1.30
20 03 2017	2.77	4.00	0.90
21 03 2017	2.61	3.60	1.30
22 03 2017	0.21	1.30	0.00
23 03 2017	0.21	1.80	0.00
24 03 2017	1.15	1.80	0.40
25 03 2017	0.54	2.20	0.00
26 03 2017	0.35	1.80	0.00
27 03 2017	1.23	2.20	0.00
29 03 2017	1.77	2.70	0.90
30 03 2017	0.72	2.70	0.00



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงค่าสูงสุด ต่ำสุด และค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในเดือน มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในเดือน มีนาคม 2560 พบว่าค่าอุณหภูมิ ค่าที่มากที่สุดวัดได้ในวันที่ 29 มีนาคม 2560 มีค่าเท่ากับ 17.6°C และค่าที่น้อยที่สุดวัดได้ในวันที่ 21 มีนาคม 2560 มีค่าเท่ากับ 11.3°C ตามลำดับ

โดยพบว่าค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 16.1°C ในวันที่ 26 มีนาคม 2560 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 12.7°C ในวันที่ 21 มีนาคม 2560

จากตารางที่ 4.6 แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของความชื้นสัมพัทธ์ในเดือน มีนาคม 2560 พบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์ ค่าที่มากที่สุดวัดได้ในวันที่ 12 มีนาคม 2560 มีค่าเท่ากับ 95% และค่าที่น้อยที่สุดวัดได้ในวันที่ 15 มีนาคม 2560 มีค่าเท่ากับ 17% ตามลำดับ

โดยพบว่าค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 89.65% ในวันที่ 27 มีนาคม 2560 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 37.3% ในวันที่ 15 มีนาคม 2560 เช่นกัน

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในเดือน มีนาคม 2560 พบว่าค่าสูงสุดวัดได้ในวันที่ 12 มีนาคม 2560 มีค่าเท่ากับ 4.50 m/s และค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 m/s (ไม่มีลม) 13 วัน และพบว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดของความเร็วลมมีค่าเท่ากับ 3.32 m/s ในวันที่ 12 มีนาคม 2560 และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.14 m/s ในวันที่ 3 มีนาคม 2560 จากข้อมูลพบว่าวันที่มีความเร็วลมสูงสุดและมีค่าเฉลี่ยความเร็วลมสูงสุดตรงกับวันที่มีความชื้นสูงสุด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลศึกษาวิจัยการหาค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า หรือการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยเทคนิค DIMM ณ หอดูดาวเฉลิมพระเกียรติ 7 รอบพระชนมพรรษา (หอดูดาวแห่งชาติ) กม. 44 อุทยานแห่งชาติ ดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่ (Location: Doi Intanon, Amphur Jom Thong, Chiangmai Province.) ละติจูด (Latitude) $18^{\circ} 34' 25.8''$ เหนือ (N) ลองจิจูด (Longitude) $98^{\circ} 27' 55.9''$ ตะวันออก (E) ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล (Altitude) 2,420 เมตร (meter above sea level) โดยได้เริ่มปฏิบัติงานตั้งแต่วันที่ 24 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 9 เมษายน 2560 ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่า

5.1.1 ได้ทำการออกแบบชิ้นส่วนอุปกรณ์จำนวน 5 ชิ้น ได้แก่ Plate slide, Plate slot, Mask 2 hold, Finder base และ Stopper นำมาติดตั้งร่วมกับกล้องโทรทรรศน์ CCD และอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นชุดอุปกรณ์เชื่อมโยงเป็นระบบที่สามารถเก็บข้อมูลการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ โดยเทคนิค DIMM

5.1.2 ได้ใช้โปรแกรม ACP ควบคุมกล้องโทรทรรศน์ให้ทำงานในโหมดโรบोटิก เพื่อควบคุมให้กล้องโทรทรรศน์ทำงานตามแผนงานที่กำหนดไว้ในแต่ละคืนร่วมกับการศึกษาค่าทัศนวิสัยของท้องฟ้า (Seeing Test) หรือการวัดค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ (Astronomical Seeing Measurement) โดยเทคนิค DIMM ได้อย่างต่อเนื่อง

5.1.3 การศึกษาเปรียบเทียบค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยเทคนิค DIMM ร่วมกับการใช้โปรแกรม ACP ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้ 13,694 ข้อมูล และโดยเทคนิคการใช้ดาวเหนือ (Polaris Seeing) จำนวนข้อมูล 9,641 ข้อมูล นำมาวิเคราะห์ พบว่าค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ โดยใช้เทคนิค DIMM มีค่าสูงสุด 2.48 arcsec ค่าต่ำสุด 0.29 arcsec ค่าเฉลี่ย 1.09 arcsec ค่ามัธยฐาน 0.60 arcsec ค่าฐานนิยม 0.60 arcsec ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.32 arcsec ค่าเฉลี่ยของ 5 เปอร์เซ็นต์ที่ดีที่สุด 0.40 arcsec ค่าเฉลี่ยของ 25 เปอร์เซ็นต์ที่ดีที่สุด 0.50 arcsec ตามลำดับ และโดยใช้เทคนิคดาวเหนือ ค่าสูงสุด 5.00 arcsec ค่าต่ำสุด 0.30 arcsec ค่าเฉลี่ย 2.28 arcsec ค่ามัธยฐาน 1.70 arcsec ค่าฐานนิยม 1.50 arcsec ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.93 arcsec ค่าเฉลี่ยของ 5 เปอร์เซ็นต์ที่ดีที่สุด 1.10 arcsec ค่าเฉลี่ยของ 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ดีที่สุด 1.30 arcsec ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 การศึกษาความสัมพันธ์ของมวลอากาศ (Airmass), อุณหภูมิ (Temperature), ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และความเร็วลม (Wind Speed) กับค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ (Astronomical Seeing) พบว่า Astronomical Seeing แปรผันตามค่ามวลอากาศส่วนค่า R_0 แปรผกผันกับค่า Astronomical Seeing ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 16.1°C ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 12.7°C ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเท่ากับ 89.65% และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 37.3% ค่าเฉลี่ยสูงสุดของความเร็วลมมีค่าเท่ากับ 3.32 m/s และมีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.14 m/s ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า Astronomical Seeing

5.2 ข้อเสนอแนะ

ถ้าสามารถเก็บข้อมูลค่า Astronomical Seeing ได้อย่างต่อเนื่องและมีจำนวนมากพอ จะสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการการทำนายค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์เบื้องต้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- A. G. de Gurtubai, A. d. (2013). TNG DIMM working on Roque de los Muchachos. *Monthly Notices*, 506-515.
- A. Tokovinin, V. K. (2007). Accurate seeing measurements with MASS and DIMM. *MN LATEX* , 1-13.
- Carillet, M. (2013). Astronomical imaging atmospheric turbulence adaptive optics. *EAS Publications Series*, 59-76.
- Chayan Boonyarak, P. K. (2006). Seeing Test at Samorkraeng Mountain . *NU Science*, 29-37.
- Eugene B. Senetaa, B. O. (2017, February 11). *Atmospheric Spatial and Temporal Seeing Monitor Using Portable Amateur Astronomy Equipment*. Retrieved from SPIE.DIGITAL LIBRARY:
<http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?articleid=847493>
- Fried, D. L. (1966). Optical Resolution Through a Randomly Inhomogeneous Medium for Very Long and Very Short Exposures. *JOURNAL OF THE OPTICAL SOCIETY OF AMERICA*, 1372-1379.
- Fried, D. L. (1980). This Week's Citation Classic . 96.
- Ghedina Adrianoa, P. M. (2015). Atmospheric monitoring at the site of the Telescopio Nazionale Galileo. *EDP Sciences*, 1-6. doi: 10.1051/epjconf/20158902004
- H. Okita, T. I. (2013). Excellent daytime seeing at Dome Fuji on the Antarctic plateau. *Astronomy&Astronomy*, 1-4.
- H.PEDERSEN, F. (2017, January 12). *Seeing Measurements with a Differential Image Motion Monitor*. Retrieved from www.eso.org:
<https://www.eso.org/sci/publications/messenger/archive/no.53-sep88/messenger-no53-8-9.pdf>
- Hickson, P. (2008). *Fundamentals of Atmospheric and Adaptive Optics*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- John Bally, D. T. (1995). A Hartmann Differential Image Motion Monitor (H-DIMM) for Atmospheric Turbulence Characterisation. *Publ*, 22-27.
- Li-Yong Liu, Y.-Q. Y. (2010). Seeing measurements for the Guoshoujing Telescope (LAMOST) site with DIMM . *Research in Astron*, 1061-1070.
- M.Sarazin, F. (1989). The ESO differential image motion monitor. *Astronomy And Astrophysics*, 294-300.
- Manual. (2000). *Operating Manual STV Video Camera and Autoguider*.
- Manual. (2006). *TheSkySix User's Guide*.
- Manual. (2011). *Introduction Manual Software Autoslew*.
- Manual. (2016). *Autoslew Software Manual Beginner's guide for mounts with incremental encoders* .
- Manual, O. (2015). *Seeing Monitor Software*.
- Manual, O. (2016). *ZWO ASI120 Manual*.
- Manual, O. (2017, February 22). *Analysis of Pointing Model* . Retrieved from istarion.net: <http://istarion.net/Picturepages/Other/Testreports/Other%20ASA%20tests/Analysis%20of%20Pointing%20Model.pdf>
- Martin GRABNER, V. K. (2012, APRIL). Measurement of the Structure Constant of Refractivity at Optical Wavelengths Using a Scintillometer. *RADIOENGINEERING*, 21, 455-458.
- Nickola, M. (2012). *Astronomical seeing conditions as determined by turbulence modelling and optical measurement*. Faculty of Natural & Agricultural Sciences University of Pretoria .
- R. Conan, R. A. (2003). WAVEFRONT OUTER SCALE MEASUREMENTS AT SAN PEDRO MARTIR OBSERVATORY. ITS IMPACT ON ADAPTIVE OPTICS PERFORMANCES. *RevMexAA (Serie de Conferencias)*, 31-36.
- R. W. Wilson, N. O., & Azzaro, M. (1999). The seeing at the William Herschel Telescope. 379-387.

Schmidt, J. J. (2007). *Design and Implementation of a Seeing Monitor for the Large Binocular Telescope*. Bochum.

SUN Gang, W. N.-Q. (2012). Profile and Character of Atmospheric Structure Constant of Refractive Index C_n^2 . *ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCE LETTERS*, 5, 270-272.

T. CHERUBINI, S. B. (2008). Modeling Optical Turbulence and Seeing over Mauna Kea: Verification and Algorithm Refinement. *APPLIED METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY*, 3034-3043.

Tokovinin, A. (2002). From Differential Image Motion to Seeing. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, 1156-1166.

VERNIN, J. (1994). Measuring Astronomical Seeing: The DAVIAC DIMM. *Publication of the Astronomical Society of the Pacific*, 265-272.

ศรัณย์ โปษยะจินดา, (2556). *บันทึกการจัดตั้งหอดูดาวแห่งชาติ*. เชียงใหม่.

มติพล ตั้งมติธรรม, (2556). *คู่มือการศึกษาดาราศาสตร์เชิงปฏิบัติการ*. เชียงใหม่.

ศุภฤกษ์ คฤหานนท์, (2552). *รายงานการทดสอบสถานที่ตั้ง ตามโครงการทดสอบสถานที่ตั้งหอดูดาวแห่งชาติบริเวณสถานีทวนสัญญาณ ทีโอที (กม.44) ยอดดอยอินทนนท์ จังหวัดเชียงใหม่*. เชียงใหม่.

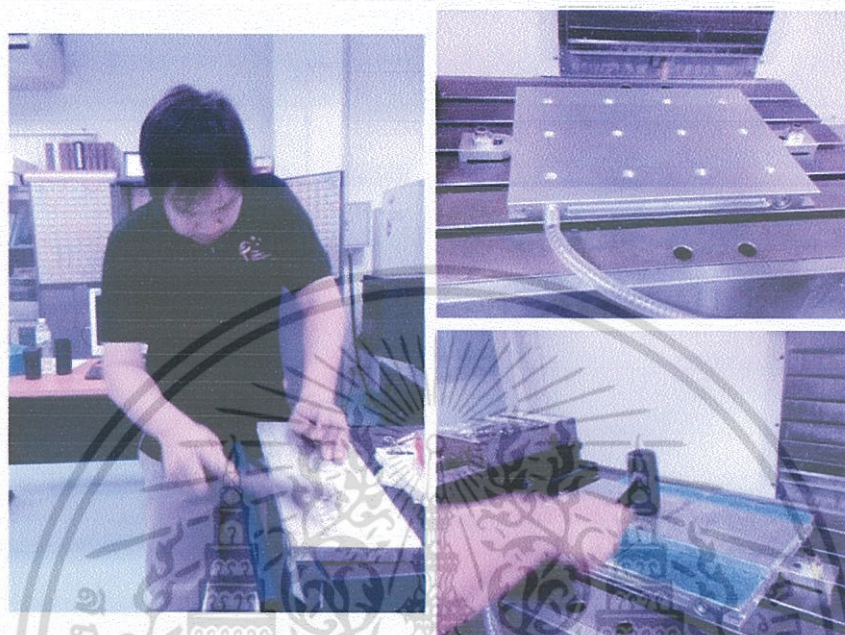
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



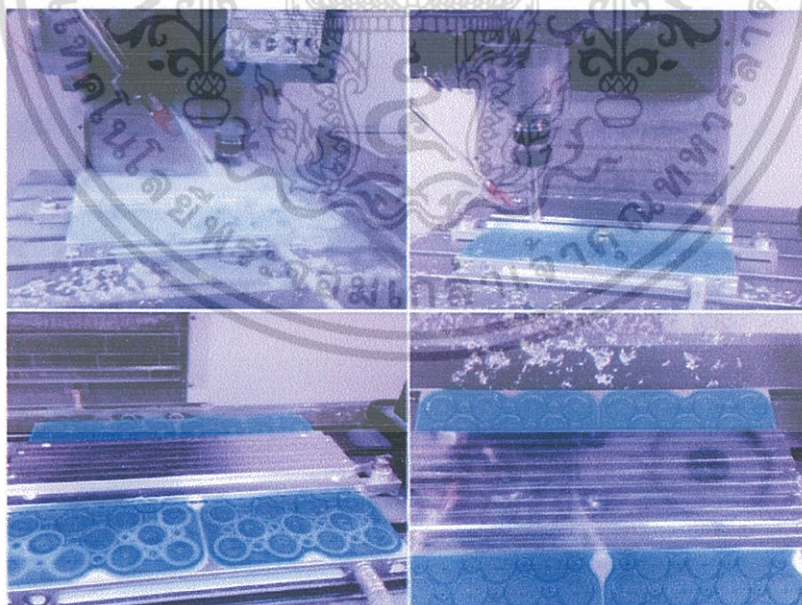
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
รูปการออกแบบอุปกรณ์และการติดตั้งระบบ DIMM

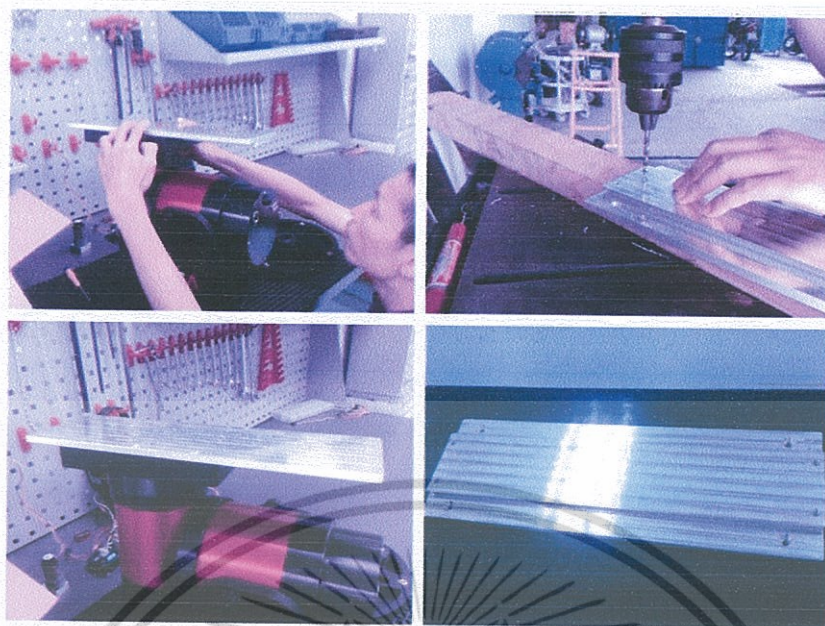


รูปที่ ก1 แสดงการจัดเตรียมชิ้นงานก่อนนำเข้าเครื่อง CNC

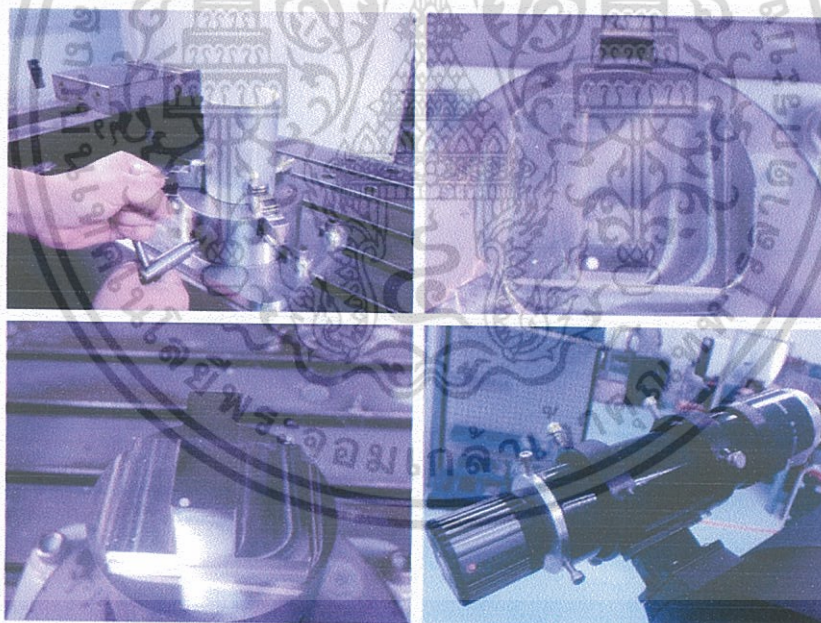


รูปที่ ก2 ขั้นตอนการทำ Plate slide โดยเครื่อง CNC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

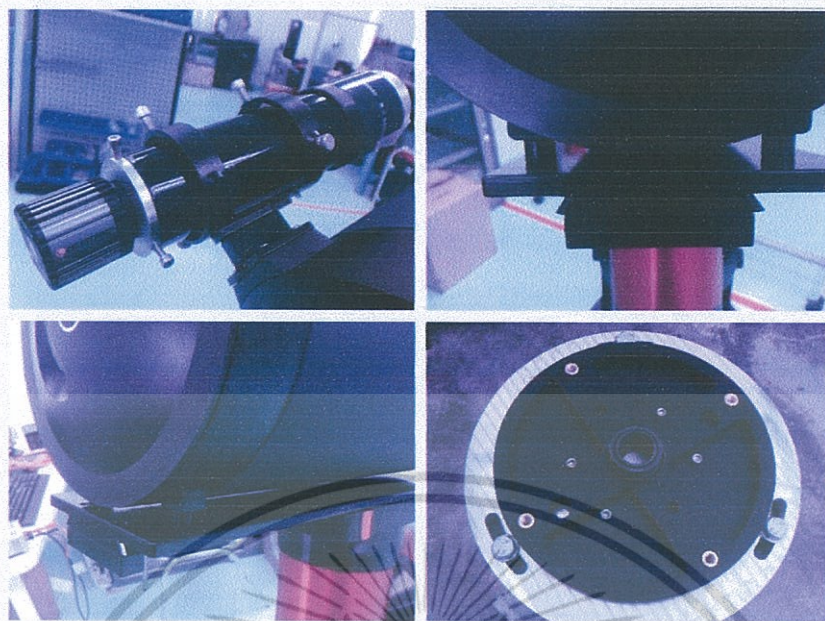


รูปที่ ก3 ทดสอบ Plate slide ที่ทำเสร็จแล้ว



รูปที่ ก4 ขั้นตอนการทำ Finder base

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

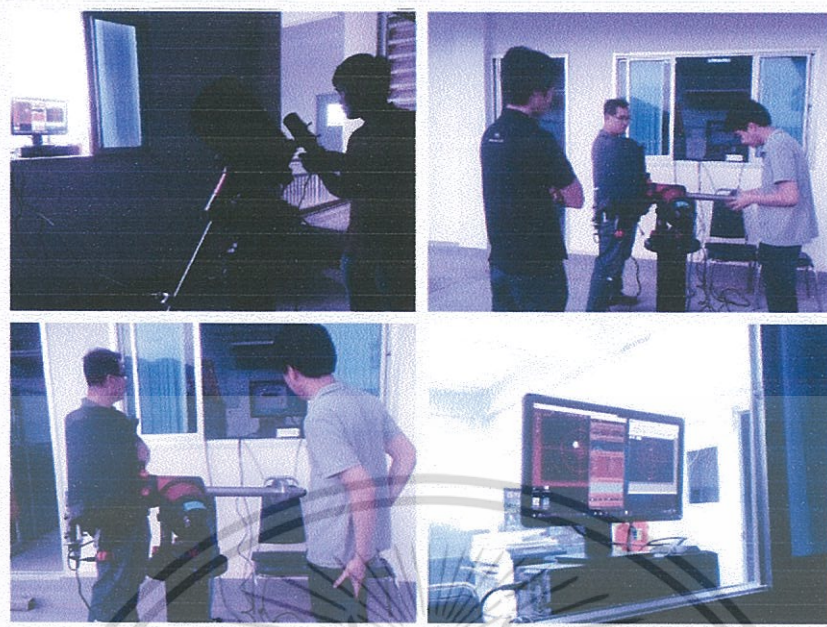


รูปที่ ก5 แสดงตำแหน่งการติดตั้งของอุปกรณ์ที่ทำเสร็จแล้ว

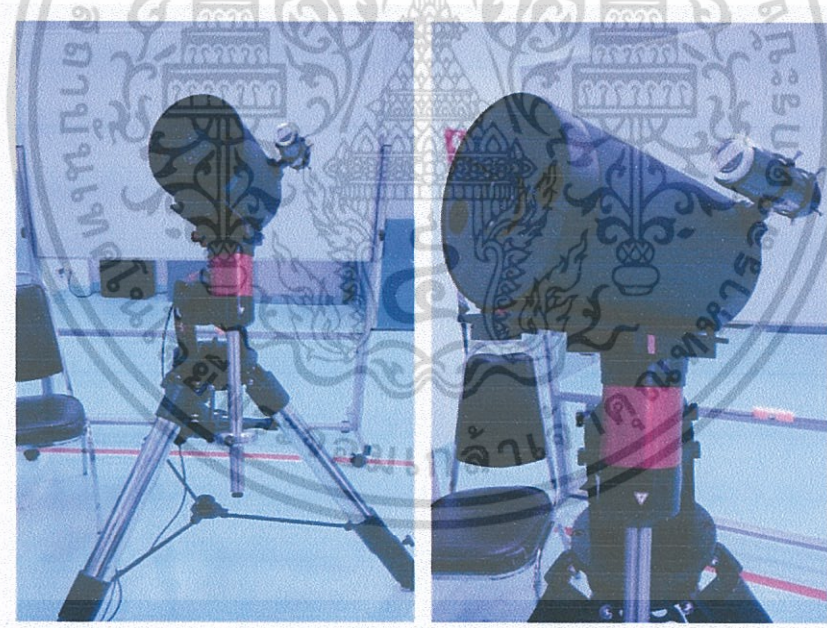


รูปที่ ก6 ขั้นตอนการทำเสาตั้งกล้องโทรทรรศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก7 แสดงการทดสอบระบบก่อนขึ้นไปทำการติดตั้งจริง

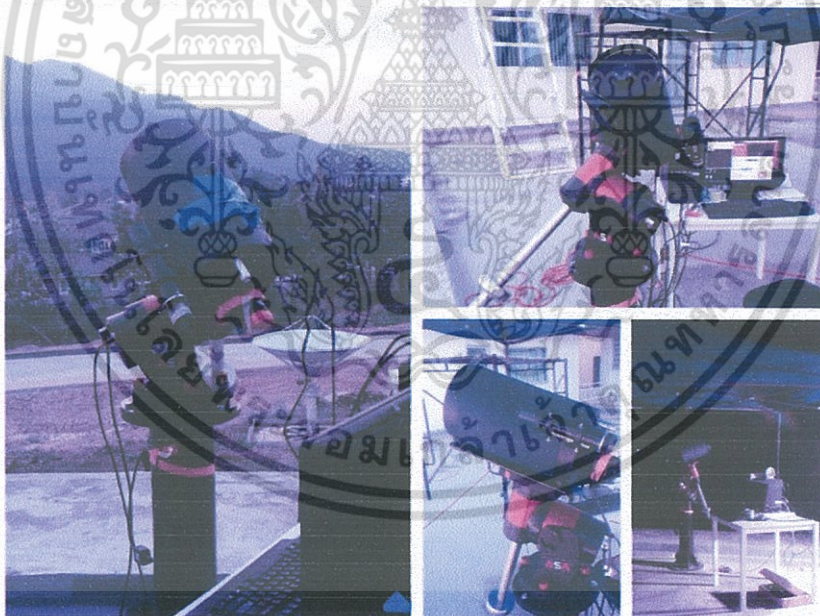


รูปที่ ก8 แสดงการทดสอบระบบก่อนขึ้นไปทำการติดตั้งจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

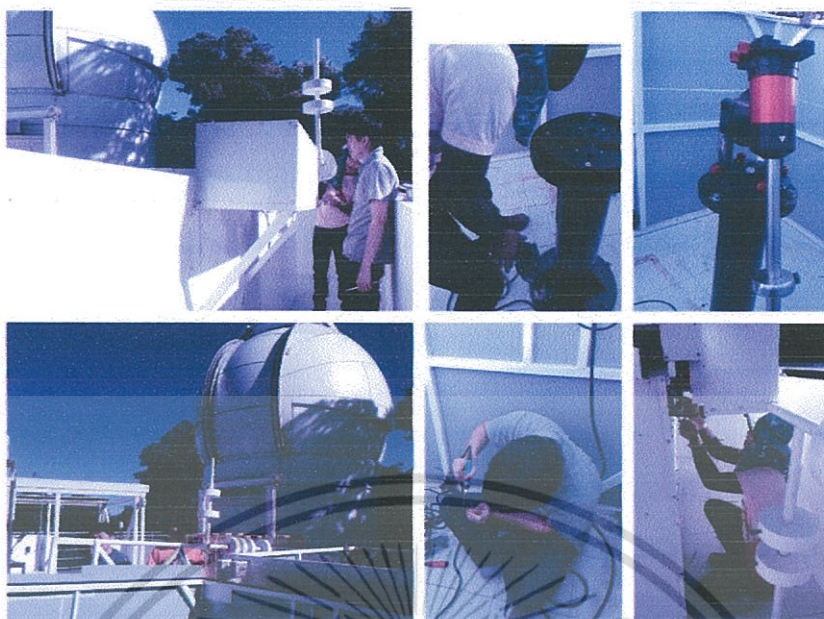


รูปที่ ก9 แสดงการทดสอบระบบก่อนขึ้นไปทำการติดตั้งจริง

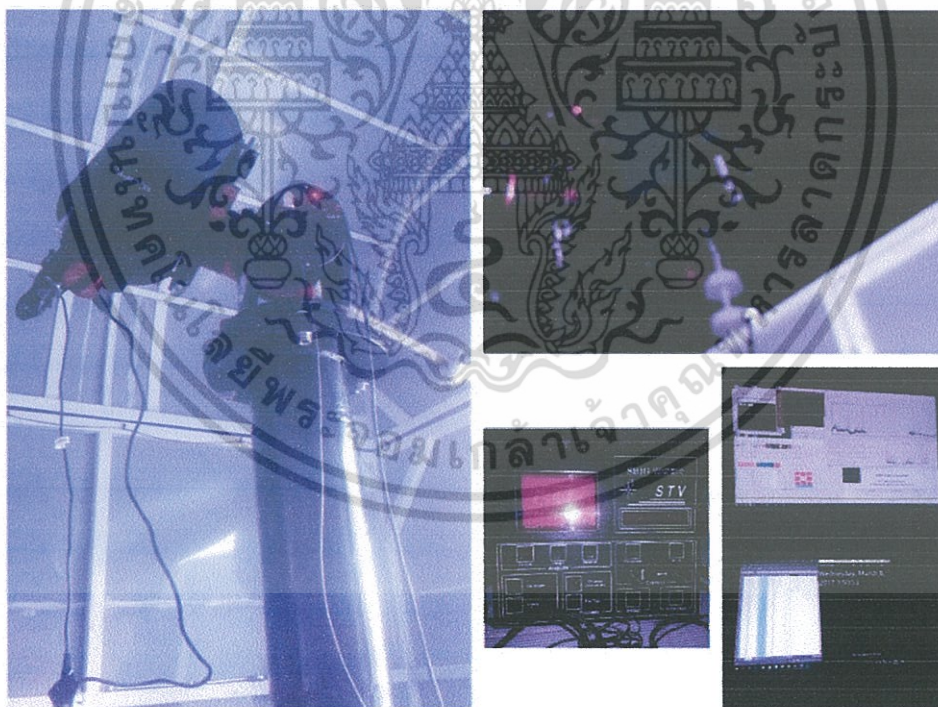


รูปที่ ก10 แสดงการทดสอบระบบก่อนขึ้นไปทำการติดตั้งจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก11 ขั้นตอนการติดตั้งระบบจริง ณ หอดูดาวแห่งชาติ บนยอดดอยอินทนนท์



รูปที่ ก12 รูปการณ์ติดตั้งที่สำเร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

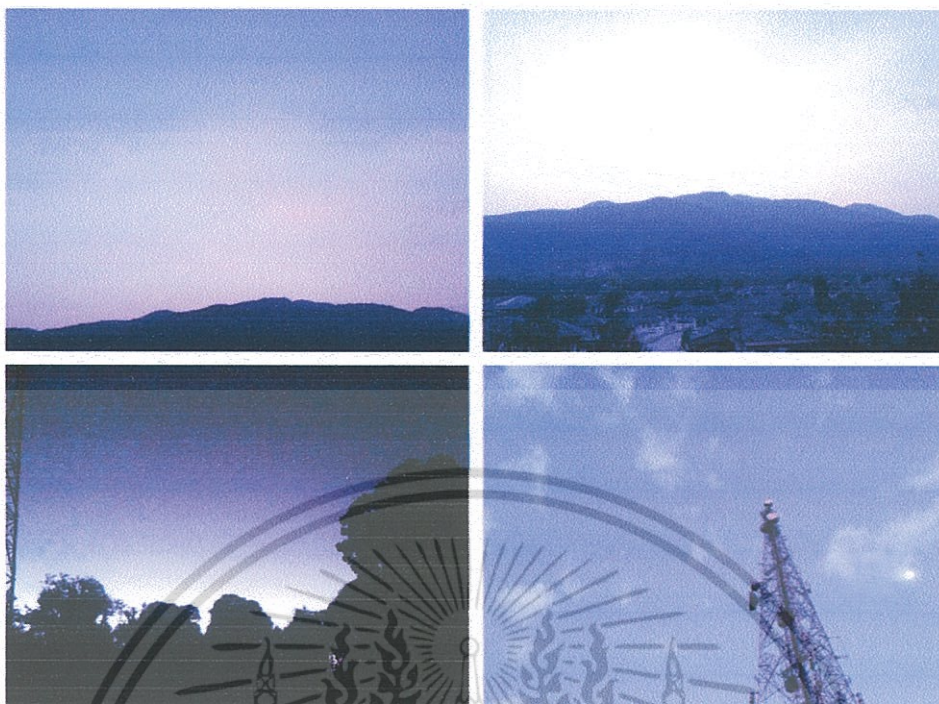


รูปที่ ก13 แสดงสถานที่ทดสอบการติดตั้งระบบสถานที่จริงที่ติดตั้งระบบ



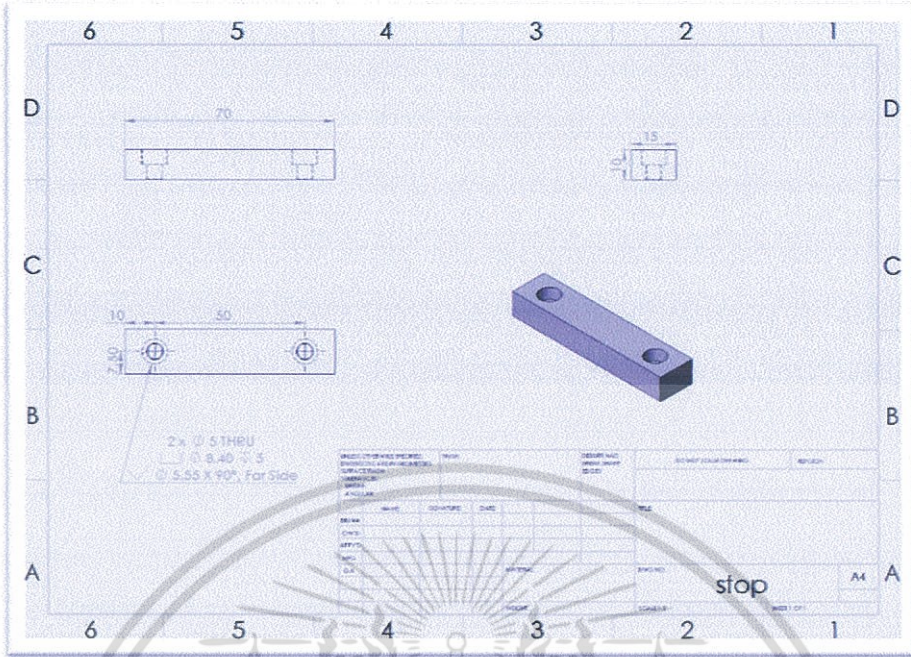
รูปที่ ก14 ทักษะภาพในการเก็บข้อมูลจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

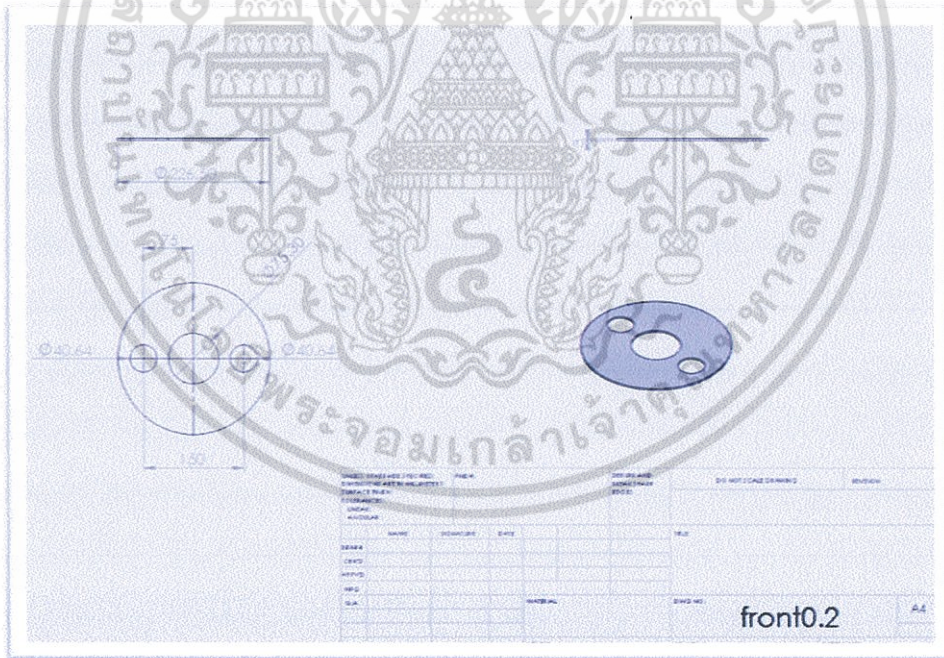


รูปที่ ก15 แสดงสถานที่ทดสอบการติดตั้งระบบสถานที่จริงที่ติดตั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก18 แบบ drawing ของ stopper ออกแบบโดยโปรแกรม Solidwork



รูปที่ ก19 แบบ drawing ของ mask 2 hole ออกแบบโดยโปรแกรม Solidwork

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การทำ Pointing model

Analysis of Pointing Model

Encoder Resolution Factor (ERF)

First I measured the ERF using the "3Point-method" with five measurements. I have set-up three points in Sequence as indicated in figure 1.

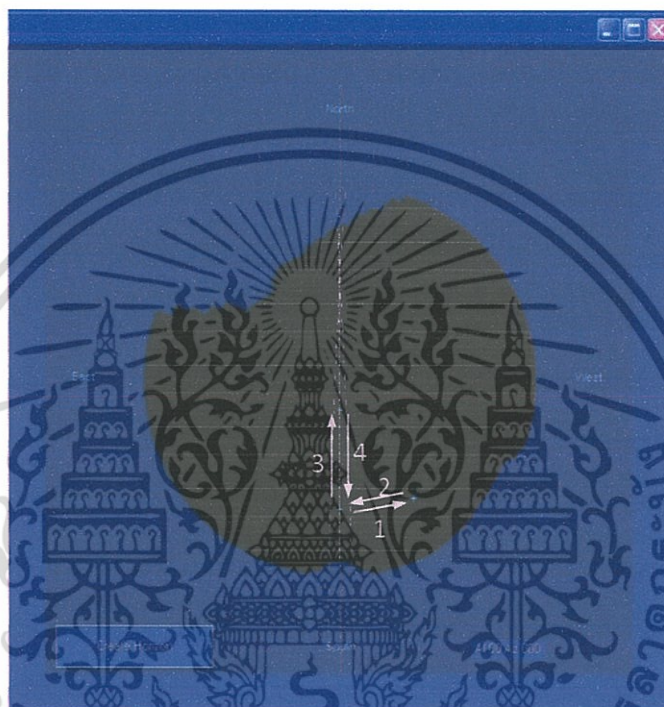


Figure 1: Pointing file for ERF measurement

"Leg" 1 and 2 corresponds to a movement in RA only and "leg" 3 and 4 corresponds to a movement in DEC only.

After renaming the 5 plate solved FIT files (Sequence put them in some sort of angle order, while the "optimize encoder resolution only" function in Autoslew requires the files to be in the order they are taken) a pox file was created in Sequence.

The pox-file was loaded into Autoslew and when calculating the configuration, the "Optimize encoder resolution only" option was chosen.

The resulting ERF was

$$\text{ERF}_{\text{RA}} = 1.0005497$$

$$\text{ERF}_{\text{DEC}} = 1.0015603$$

This is consistent with the values I obtained during last fall when I measured these factors a number of times.

Pointing Model

Using the above obtained ERF (the other parameters in the Advanced Pointing Control window was set to zero), I set out to create a 174 point pointing file (figure 2).

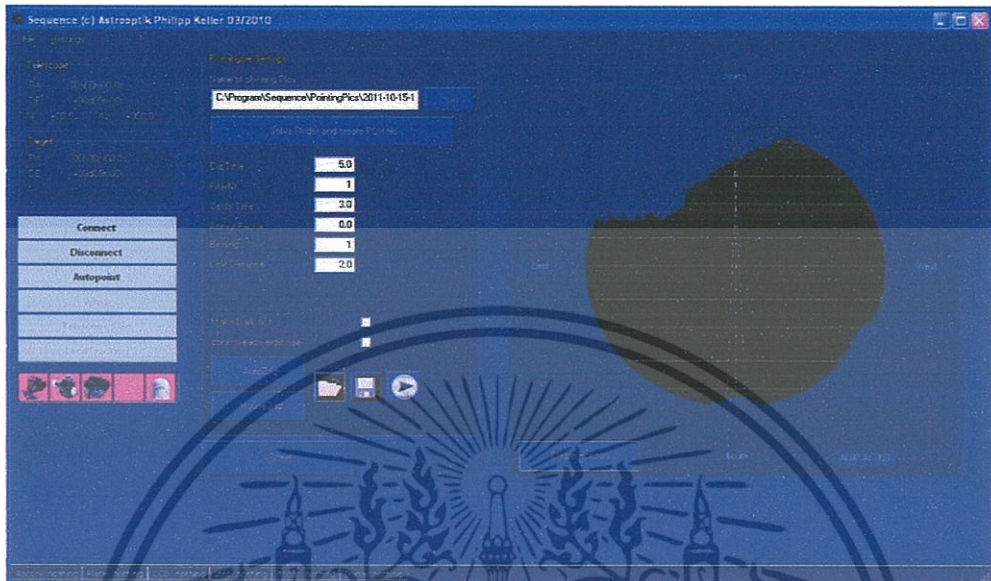


Figure 1: a 174 point grid in Sequence

After Sequence had plate solved all these 174 images successfully a pox-file was created and loaded into Autoslew.

The Calculate Configuration option was chosen with the following result.

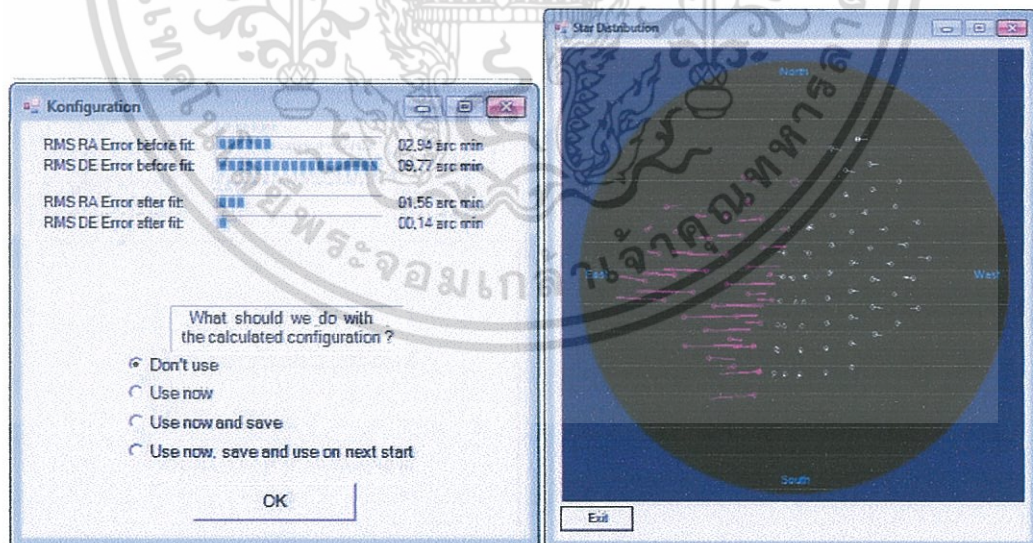


Figure 2: The error after correction by the calculated pointing model.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

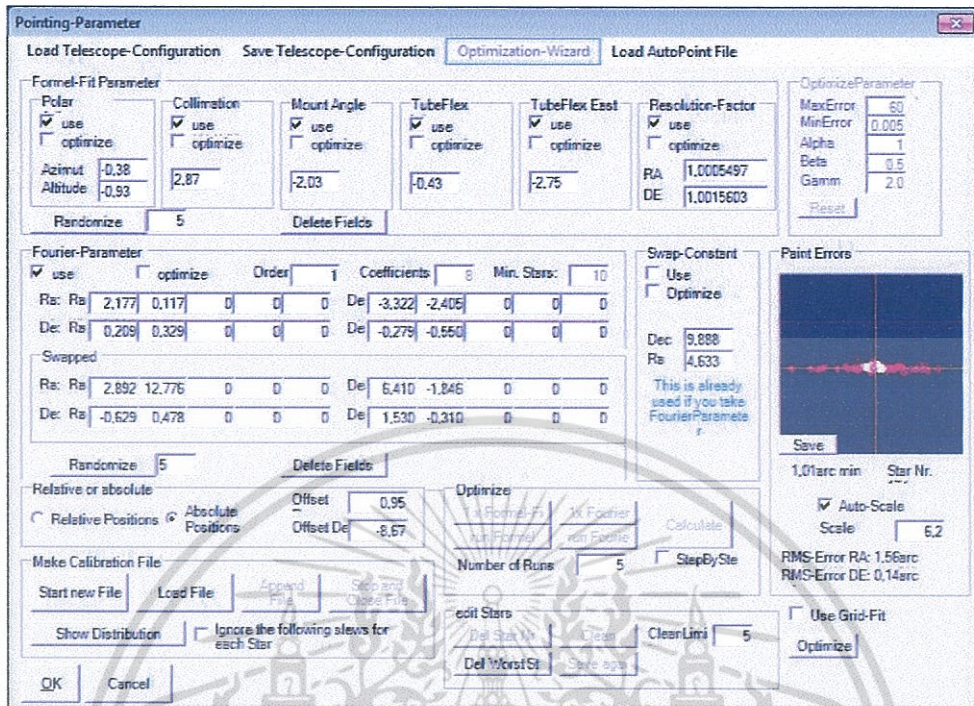


Figure 3: Note the difference in error distribution of the west side (yellow) compared to the east side (red) Some observations from this result (figure 2 and 3).

1. The corrected RMS DE Error is very good – 0.14 arcmin = 8.4 arcsec (Figure 2 left).
2. The correct RMS RA Error is not as good – 1.56 arcmin. There should be room for improvements (Figure 2 left).
3. The measured error before the Pointing Model correction is larger for DEC than for RA, yet the Pointing Model is able to correct for most of the DEC error (9.77 arcmin to 0.14 arcmin) but only for roughly 50% of the RA error (2.94 arcmin to 1.56 arcmin). This should indicate that most of the DEC error is “reproducible”, while a large portion of the RA error is not (Figure 2 left).
4. From the star distribution window (Figure 2 right) one also see that the errors are much smaller on the west side (yellow dots) compared to the east side (red dots). This difference is probably due to the fact that the set-up was synched on the west side before the Sequence run, and that this pointing file is not compensated for “Collimation” and “Mount Angle” errors.
5. In the Pointing Parameter window (Fell! Hittar inte referenskälla. Paint Errors) one also see that the errors on the East (red dots) are larger and more distributed than on the West side (yellow).

Thus the main conclusion is that there seem to be some connection between the “high” RA error and the distribution of errors on the east side.

In order to illustrate this further let’s look at the Star Distribution and their errors before correction by the Pointing Model (Figure 4).

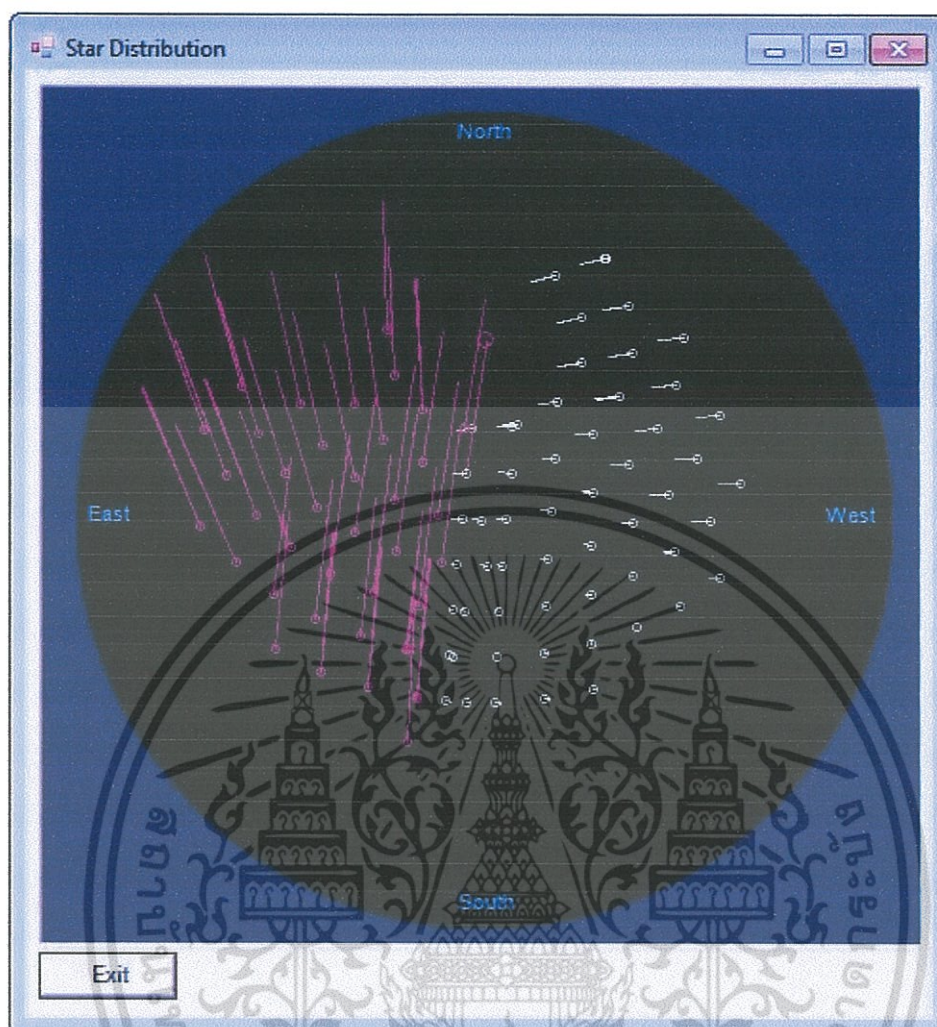


Figure 4: Error distribution before Pointing Model correction.

That the errors are larger on the east side is maybe not that strange, since here there is no correction for “Collimation” and “Mount Angle” and the mount was synched on the west side. We also note that the errors on the west side (yellow) are “well behaved” in the sense that the change in error seem to be smooth as one goes from the meridian to the west and from south to north.

However, on the east side, things look a little different. It seems as if the red dots are divided into two groups and that the direction of the error changes abruptly between the two groups. Also there is one point that has an error vector pointing the other direction. This is illustrated in Figure 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

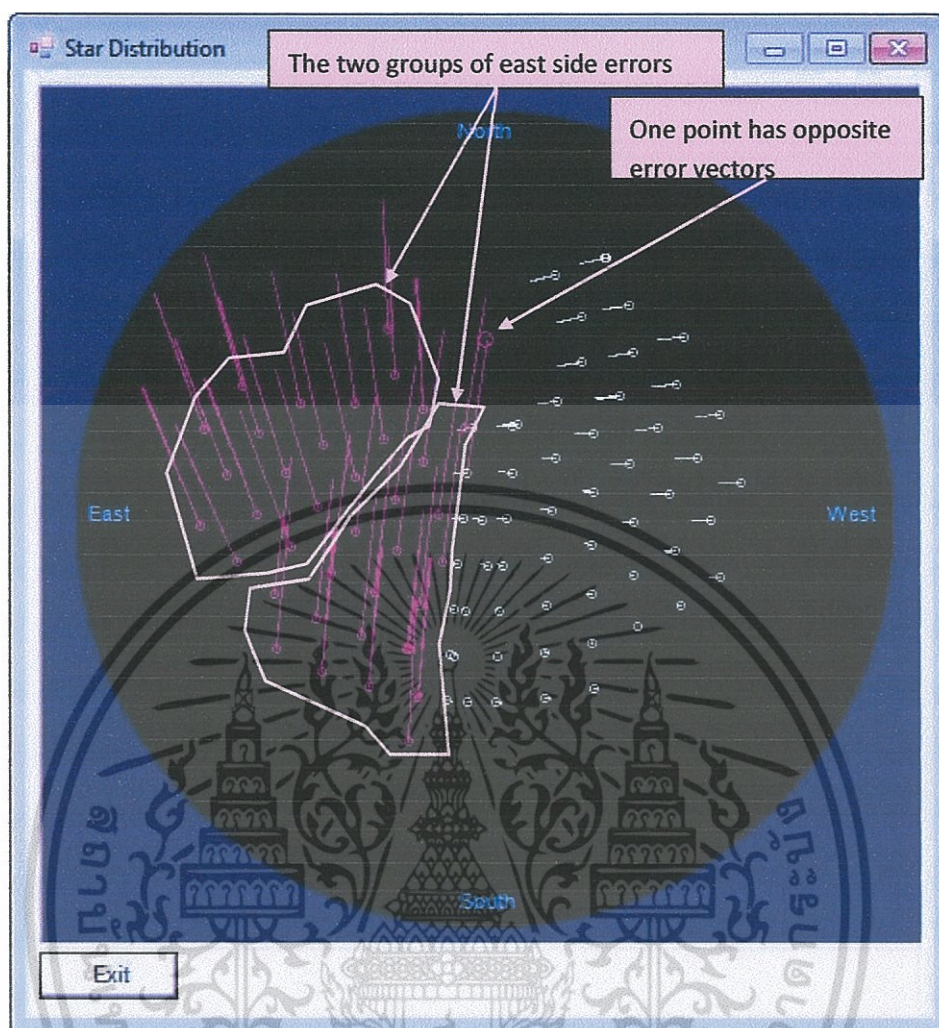


Figure 5: The error vectors on the east side are divided into two groups with different direction of the error and there is one point with error vector pointing in the opposite direction.

By simply placing the grid image (from Sequence) on top of the Star Distribution image (from Autoslew) on top of each other and setting the transparency to 40-50% we obtain (Figure 6). From this we can see which point in the Star Distribution window corresponds to which point in the grid.

We note that the “lonely” point (with a completely different error vector) does not correspond to a grid point. Thus my conclusion is that this point is the Pole and the associated error vector is the PA error in RA and DEC. We know this uncorrected error (Figure 2) to be 2.94 and 9.77 for RA and DEC respectively. In the corrected Star Distributed window (Figure 2) we note that this point has a zero error vector, which is consistent with this being the pole (which should have very small error when the pointing model is applied).

We also note that the meridian is included in the west side.

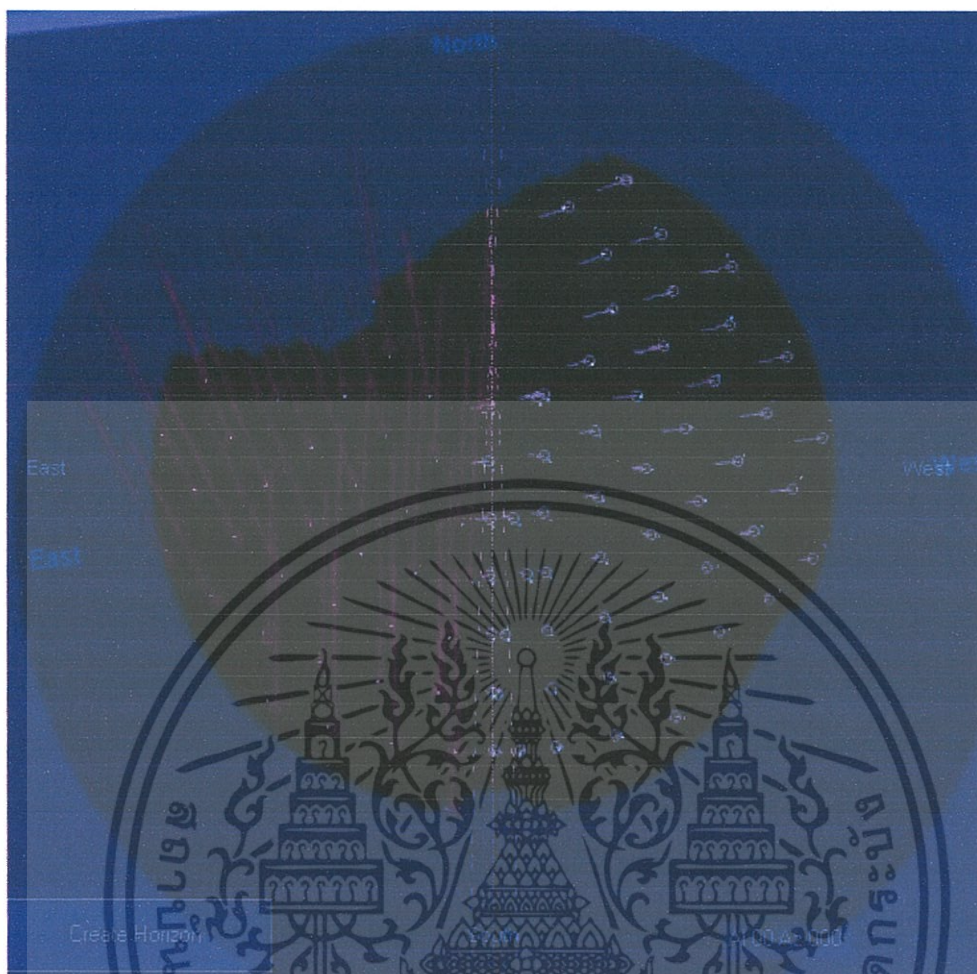


Figure 6: Star Distribution window and grid on top of each other

Since I was away during the creation of the pointing file, I do not know the order of the points, however using Sequence simulated play of current grid I find that the points were slewed to in the order indicated in (Figure 7).

One possibility for the two groups on the east side could be that something shifted between the two groups. Like a loose filter changing position after group 1 was measured, but not for group 1. However as can be seen from the order of points (Figure 7) the two groups are mixed in time. This rule out the possibility that the two east groups were measured at different times (group 1 first and then group 2).

Something can still flex/be loose but then shifts the same as soon as a certain RA is passed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

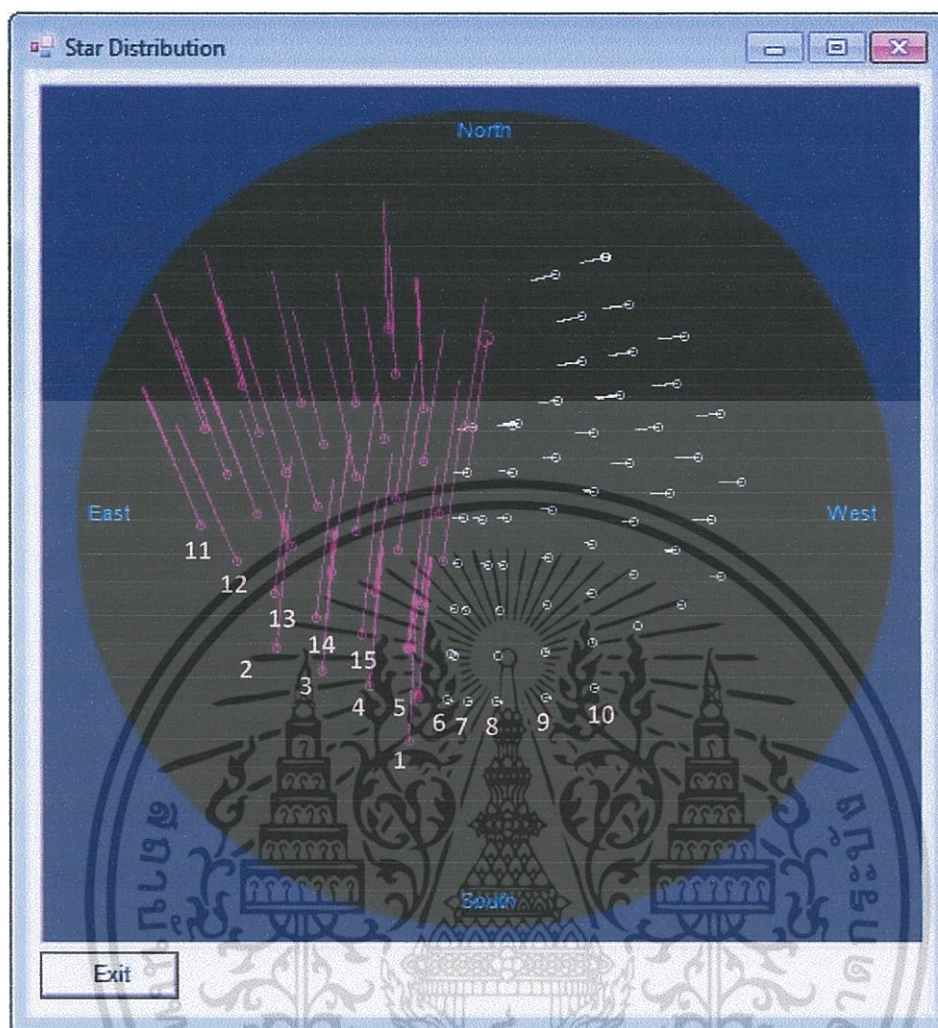


Figure 7: the order of the points (first 15 only). The continuation is along RA one DEC at the time. Then it returns the other way back so there are two measurements for each point.

If we look into the Point Errors in the Pointing Parameter window before correction (Figure 8) and look at the red dots before corrections, we see one group that it is close to each other and one group that is more distributed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

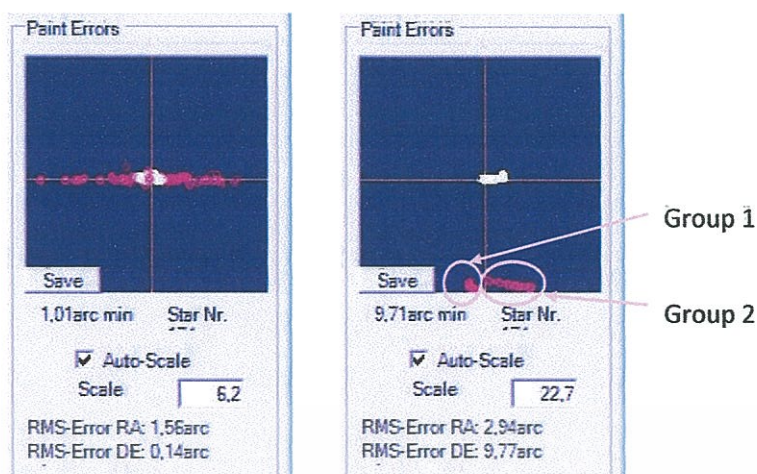


Figure 8: Point error in the Pointing Parameter window with corrections (left) and before corrections (right) If we remove the red group that seems to be bad what do we get then? Below (Figure 9) we see the corrected error (RMS DE and RA error after fit) improved for both RA and DEC compared to the case where the “bad” red group was included (Figure 2). Using only the “good” points the errors are down to 18 arcsec for RA and 3 arcsec for DEC, which is excellent.

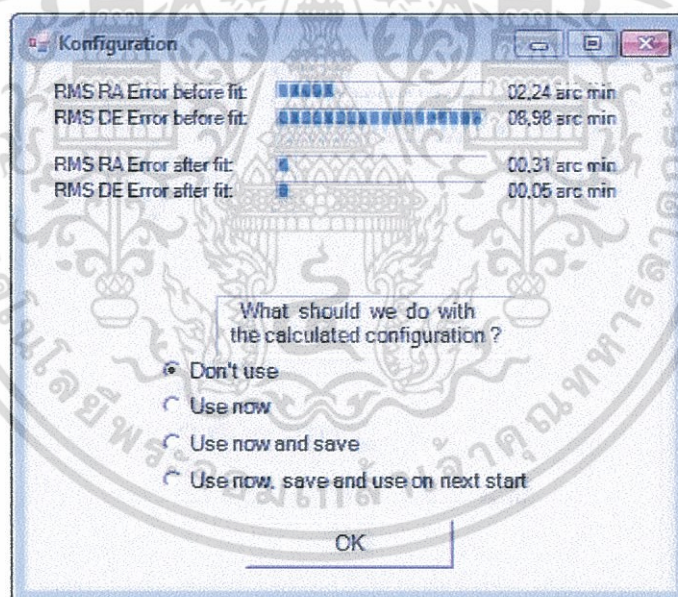


Figure 9: RMS errors before and after corrections using only “good” points

From the Star Distribution window (Figure 10) we now see that it is the east side that exhibits the largest “after-correction” errors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

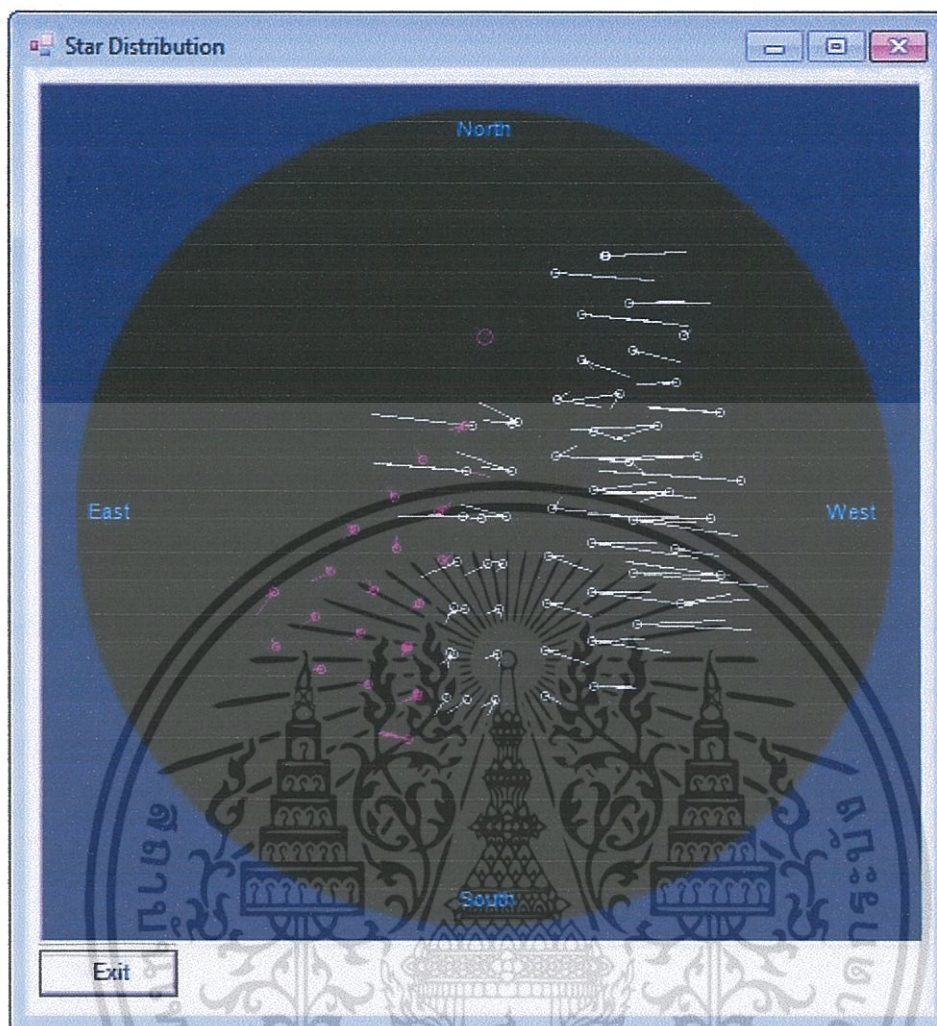


Figure 10: Star Distribution window after correction using only "good" points

More over if we compare the "Paint Errors" part of the Advanced Pointing parameter window (Figure 11) we note a few things.

1. The "bad" points correspond to the group of red points that is spread out (Figure 11 a and b).
2. Using only the "good" points makes the corrected error on the west side be more spread out than on the east side.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

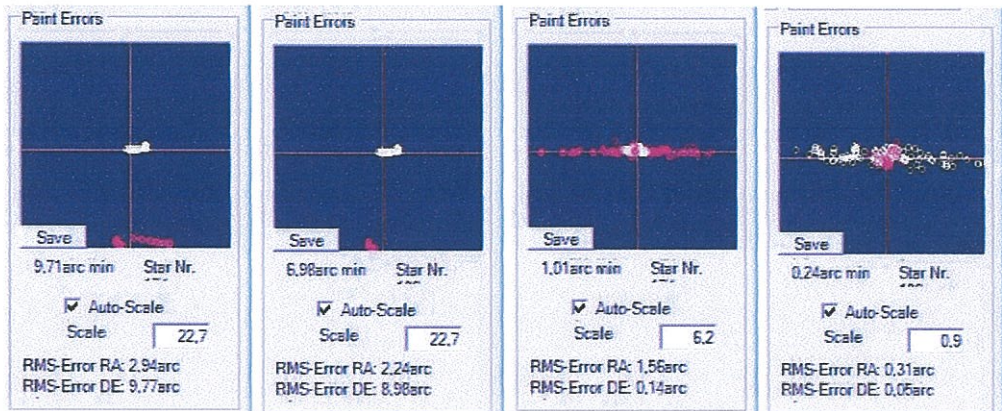


Figure 11: From left to right we see the (a) error distribution for the uncorrected using all points, (b) the uncorrected using "good" points, (c) corrected using all points and, (d) corrected using "good" points.

Conclusions

It seems that something happened every time the mount/OTA slew past a certain RA/Az, causing a slight shift in the image.

The errors of the "bad" points seem to be more distributed (spread) than the rest of the errors, so whatever happens when the RA/Az is passed is not exactly reproducible.

After checking for loose things in the set-up I found that some filters were loose in their filter cells, including the Luminance filter which was used for this pointing file. Could this be the cause?

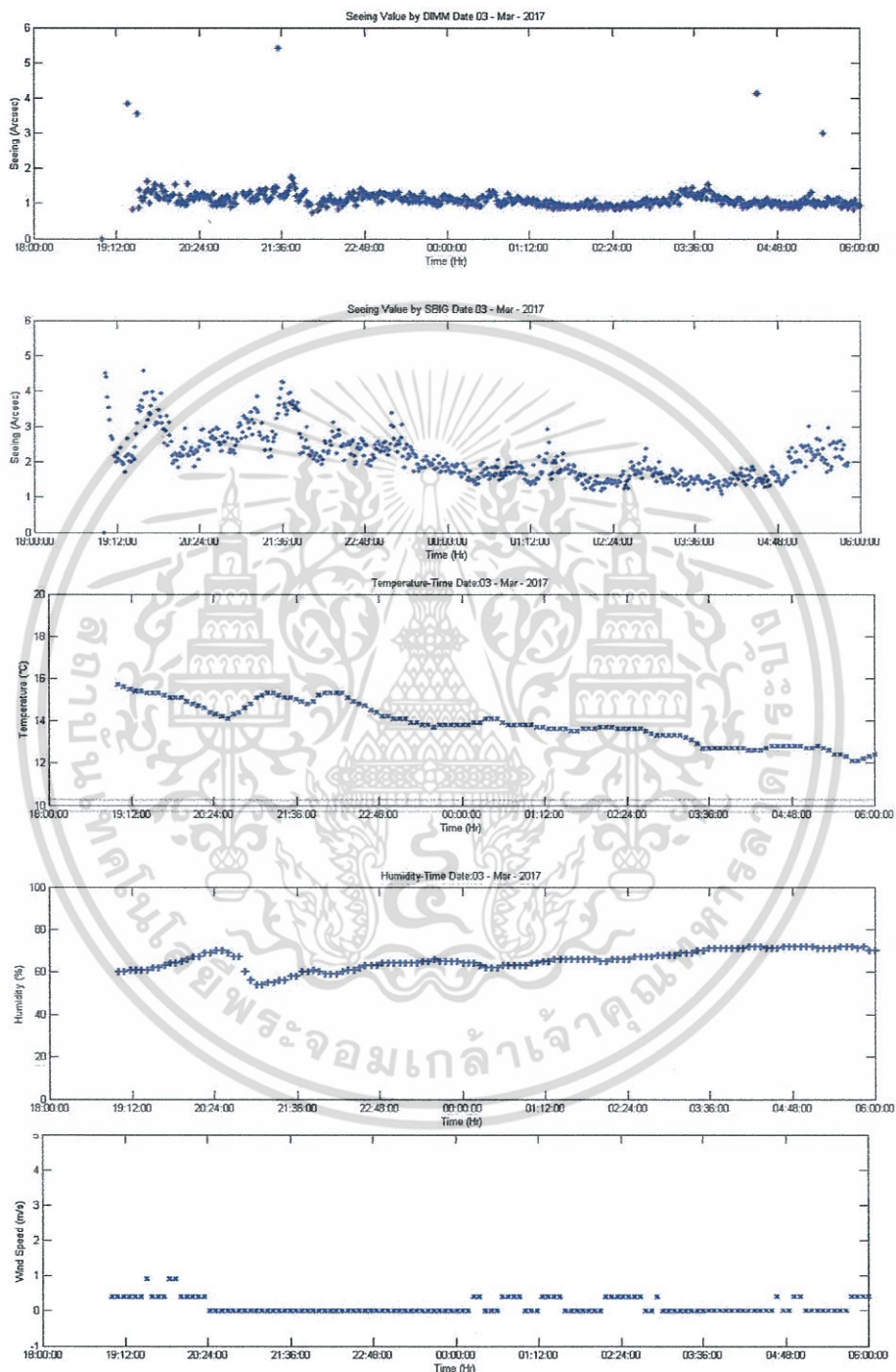
Next night out

1. Try some unguided images using a pointing model based on all points, especially close to the "bad" points.
2. Try some unguided images using a pointing model based on only the "good" points.
3. Make a new pointing model and "babysit" the set-up to see if anything strange happens to the east.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

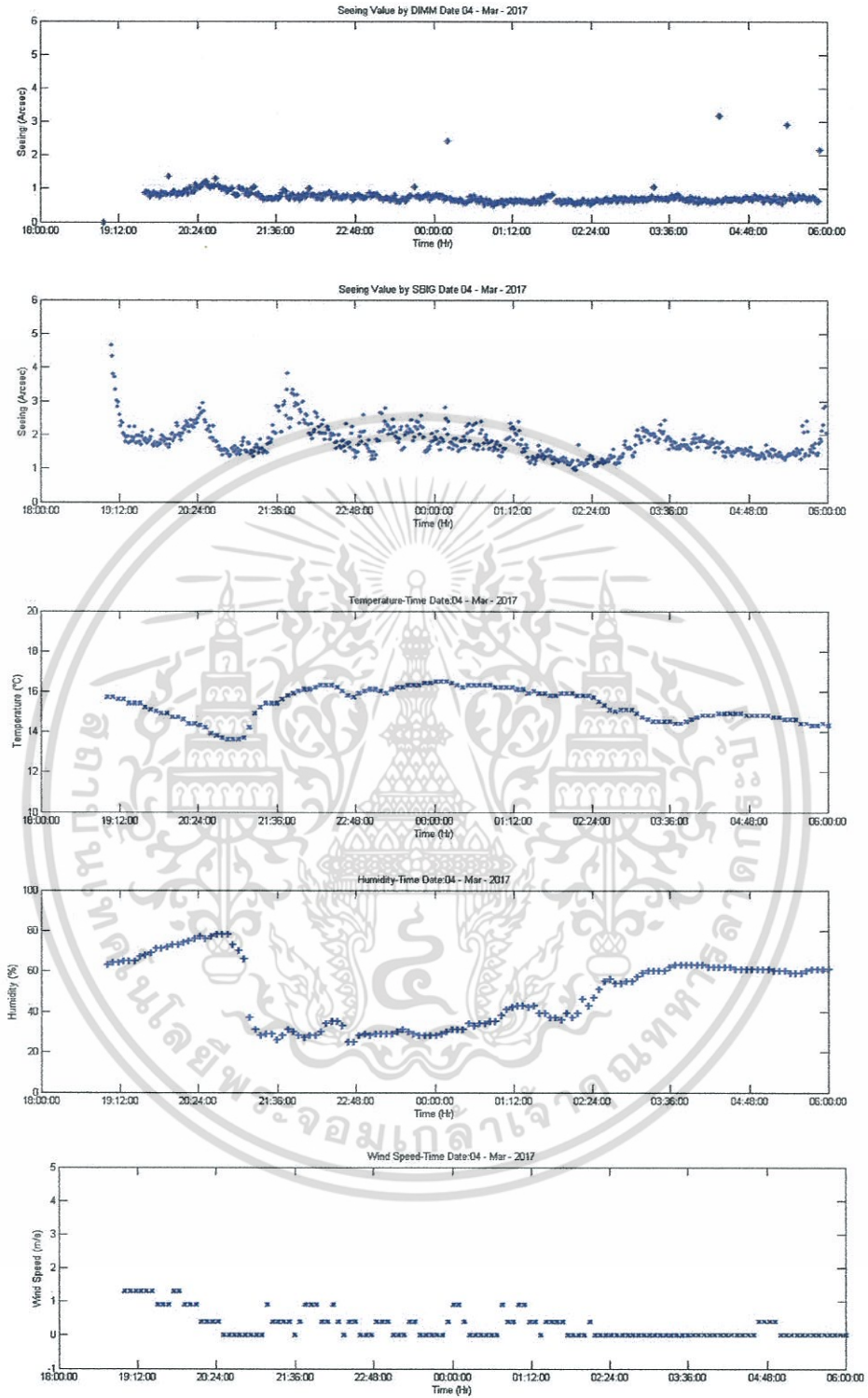
ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการศึกษาค่า Astronomical Seeing



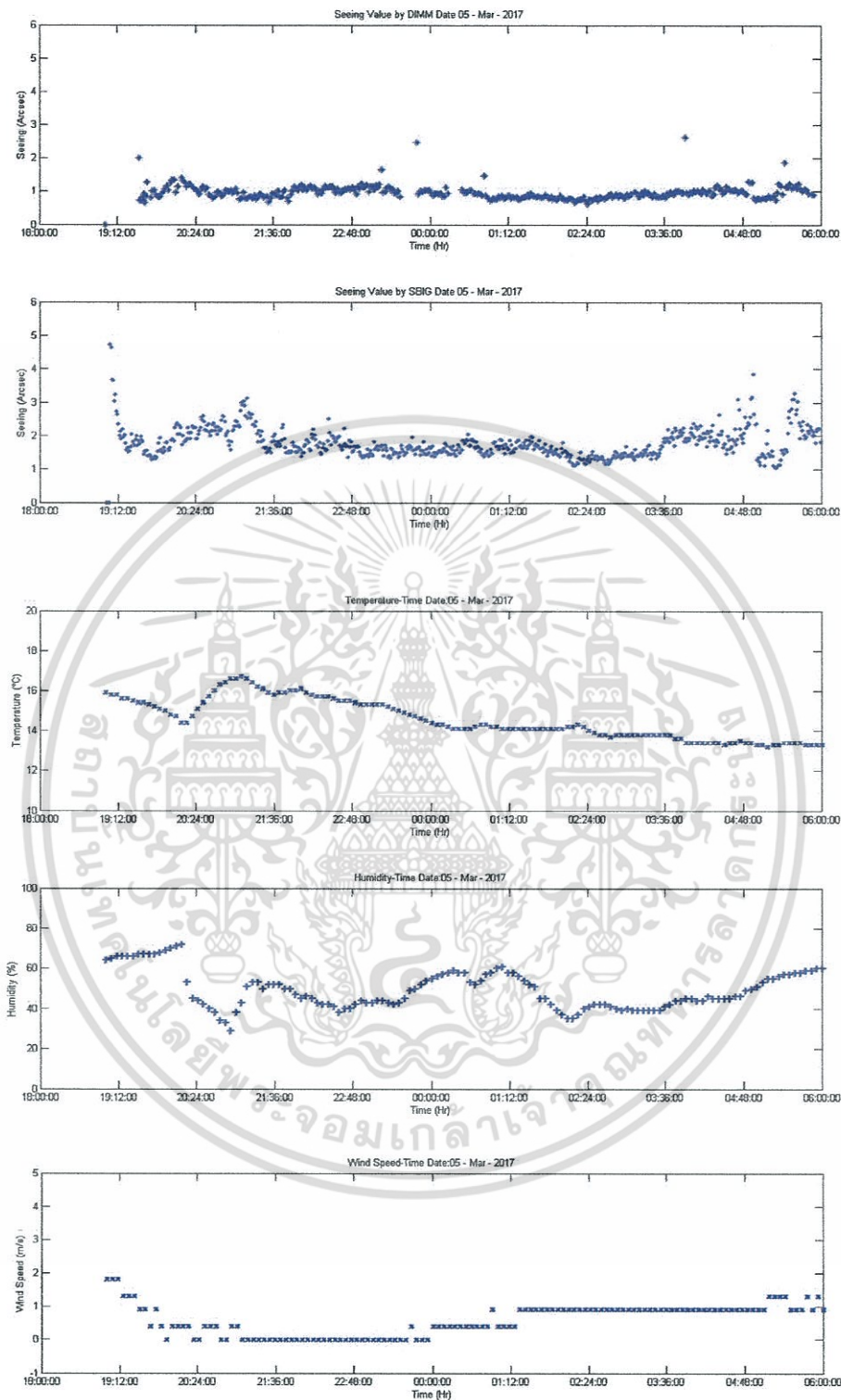
รูปที่ ค1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 3 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



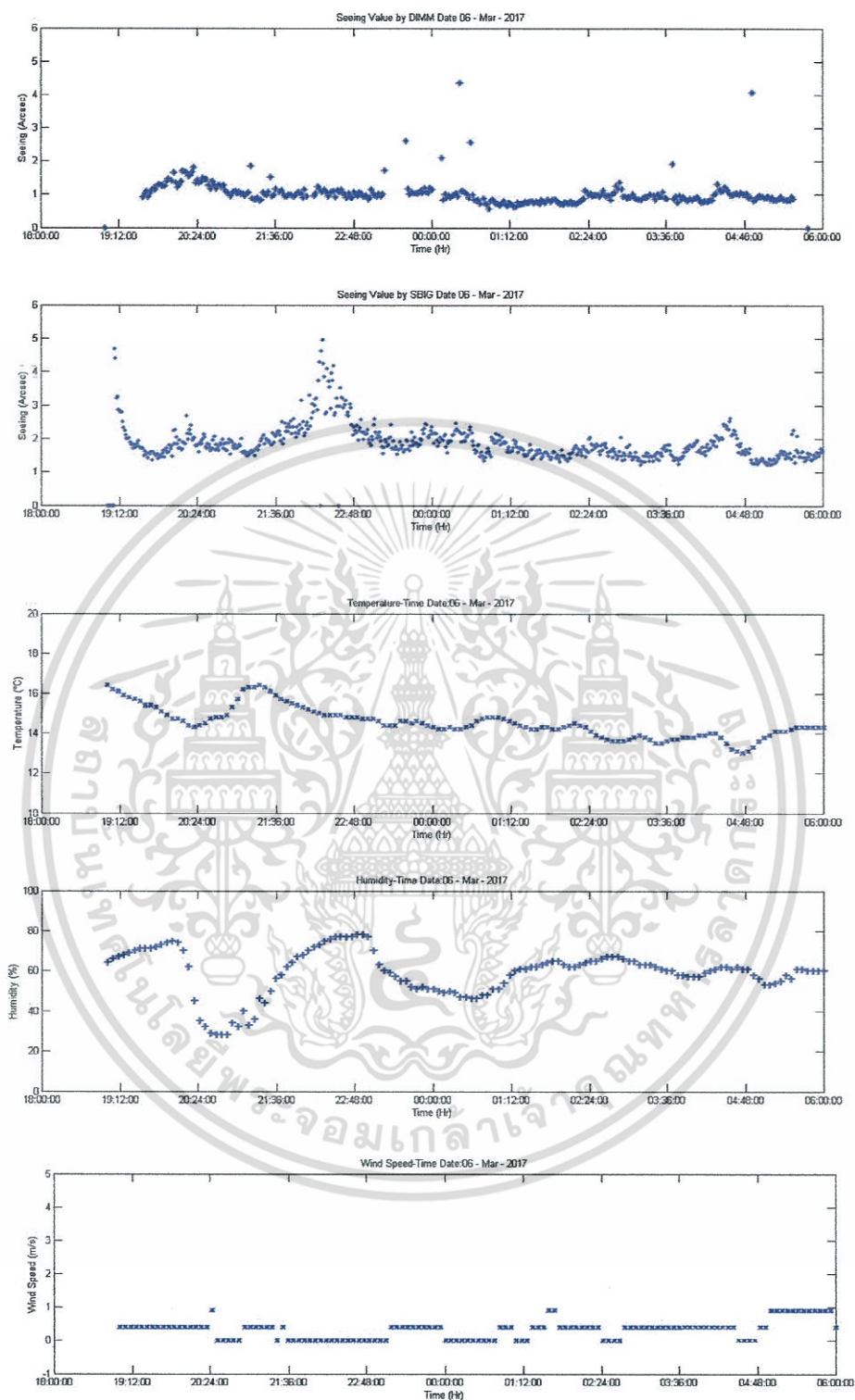
รูปที่ ค2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 4 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



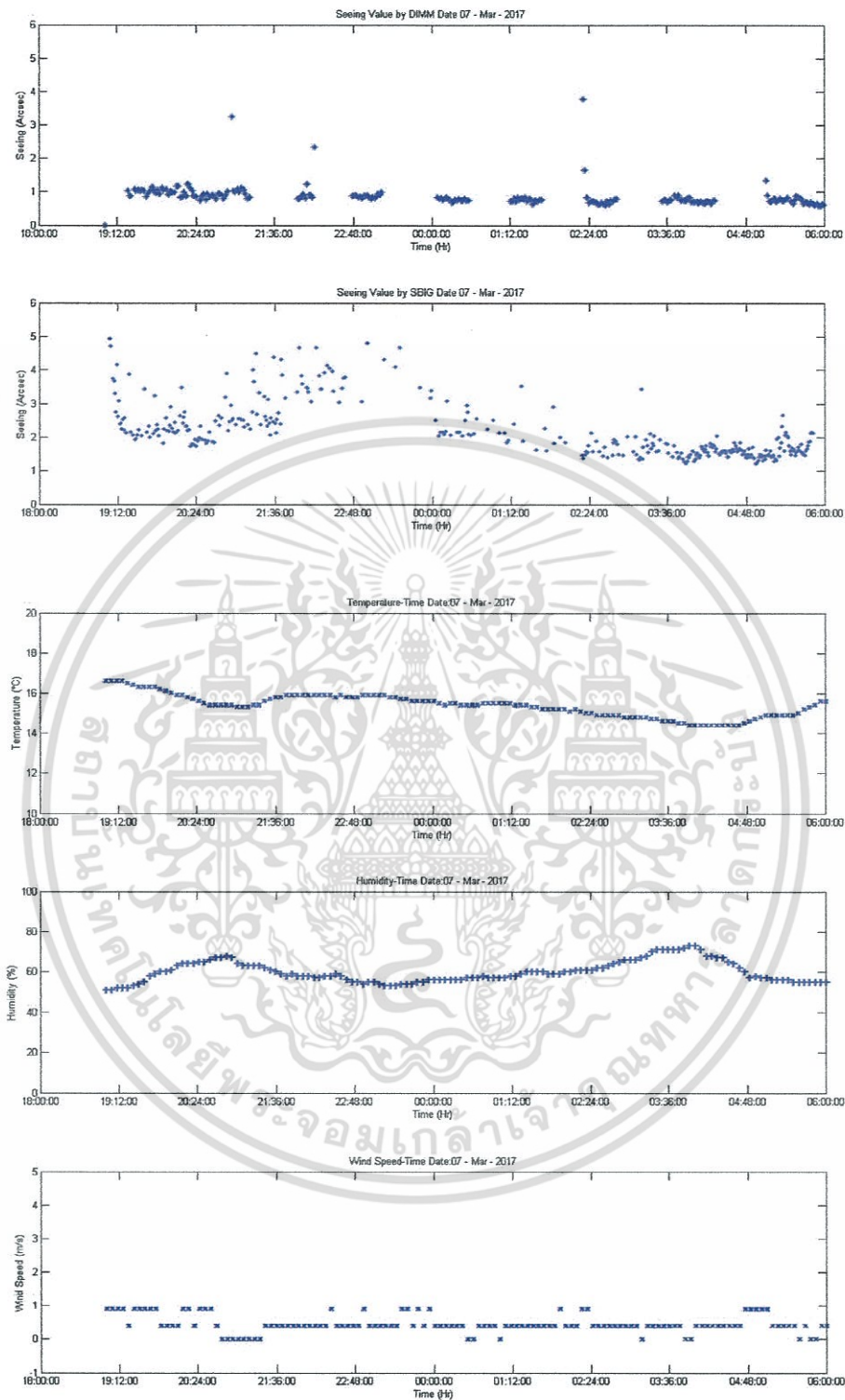
รูปที่ ค3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 5 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



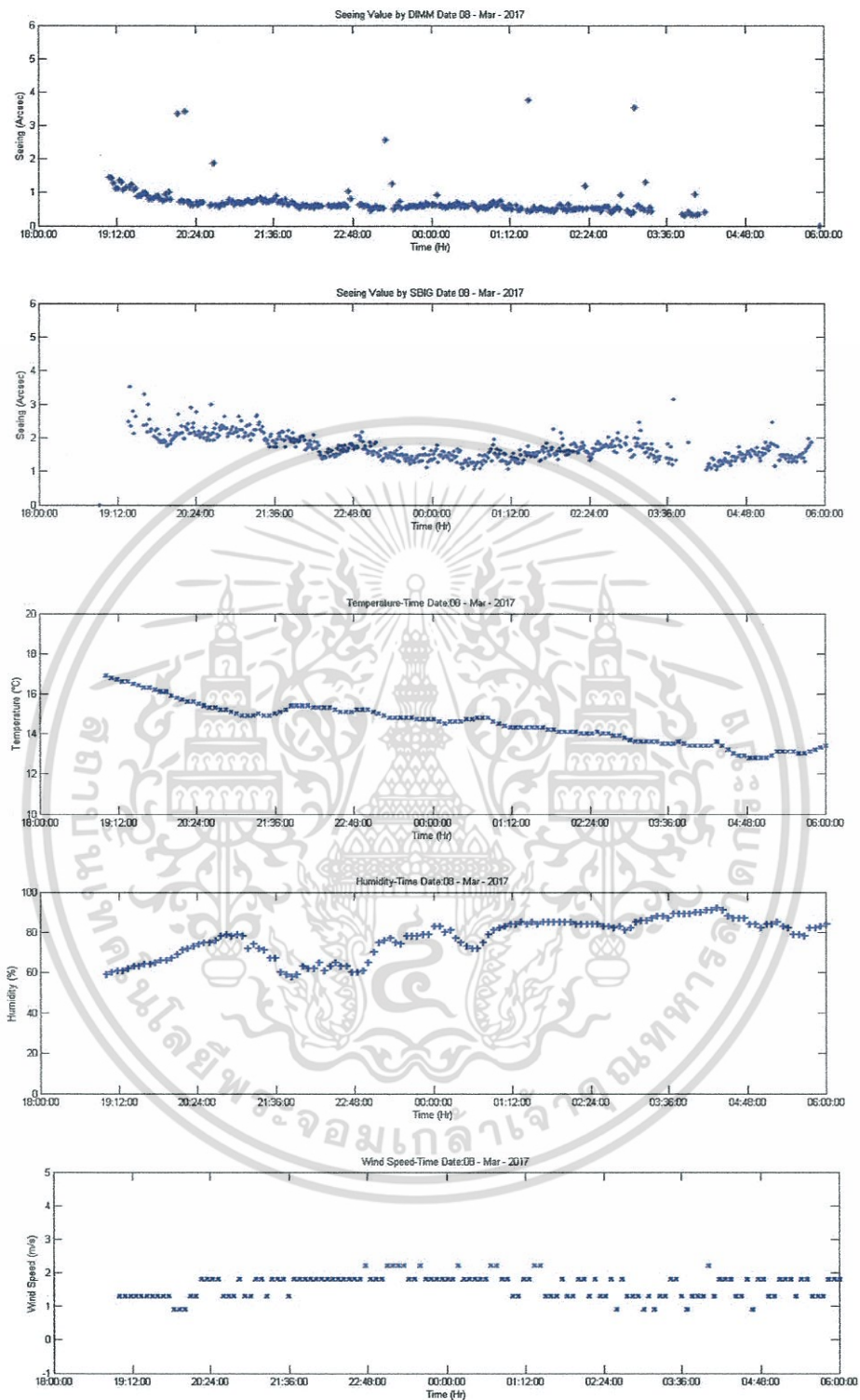
รูปที่ ค4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 6 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



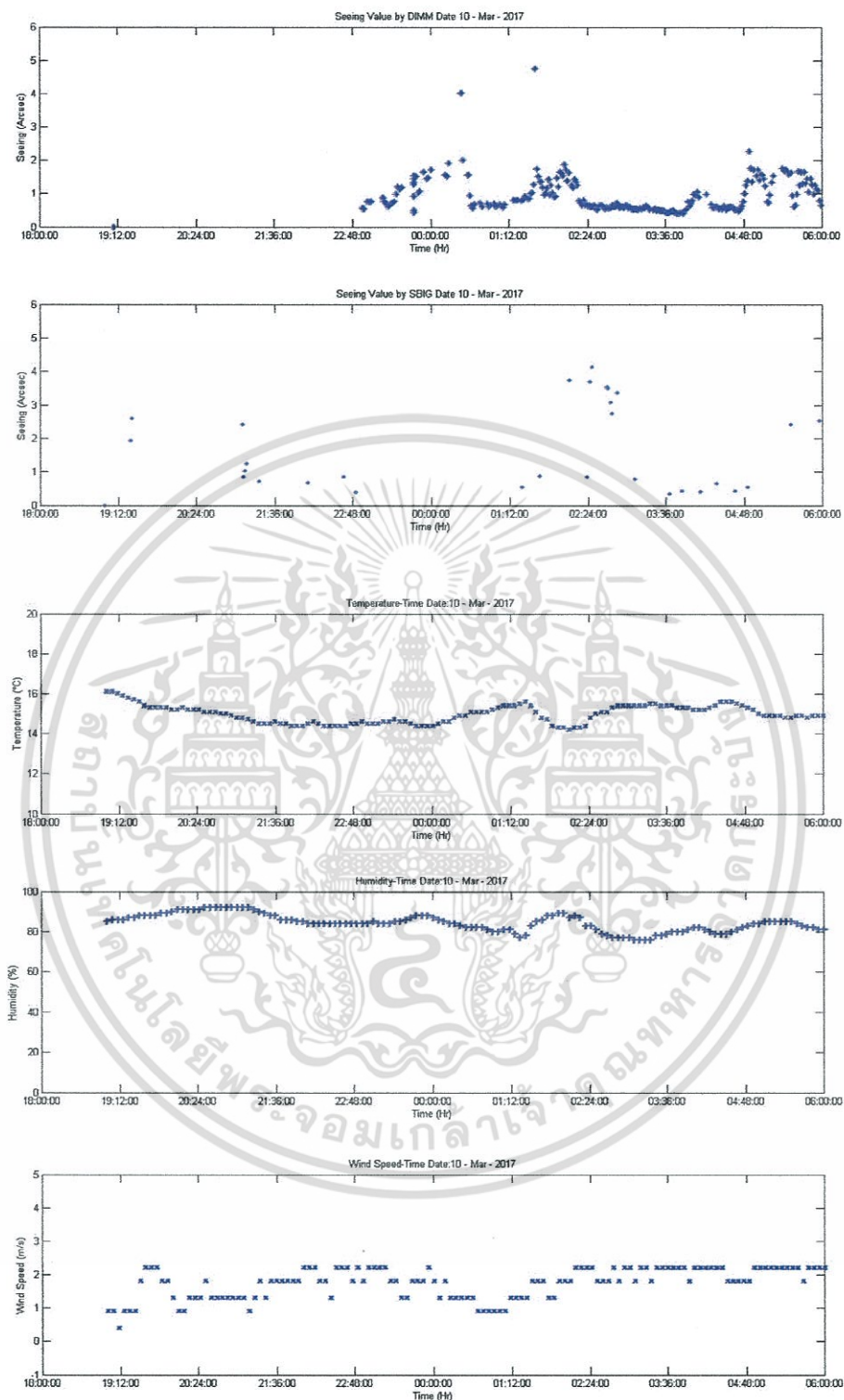
รูปที่ ค5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 7 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



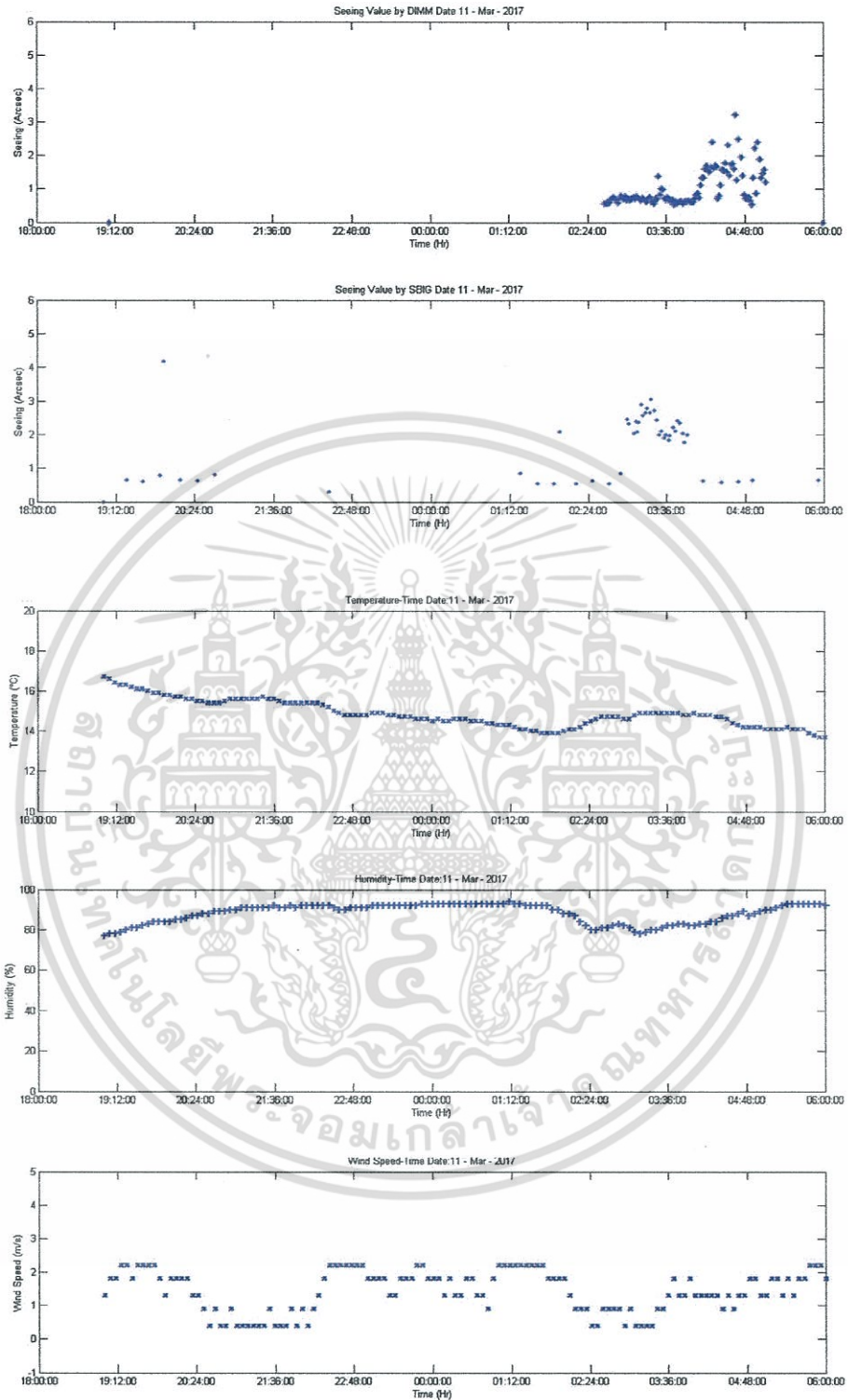
รูปที่ ค6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 8 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



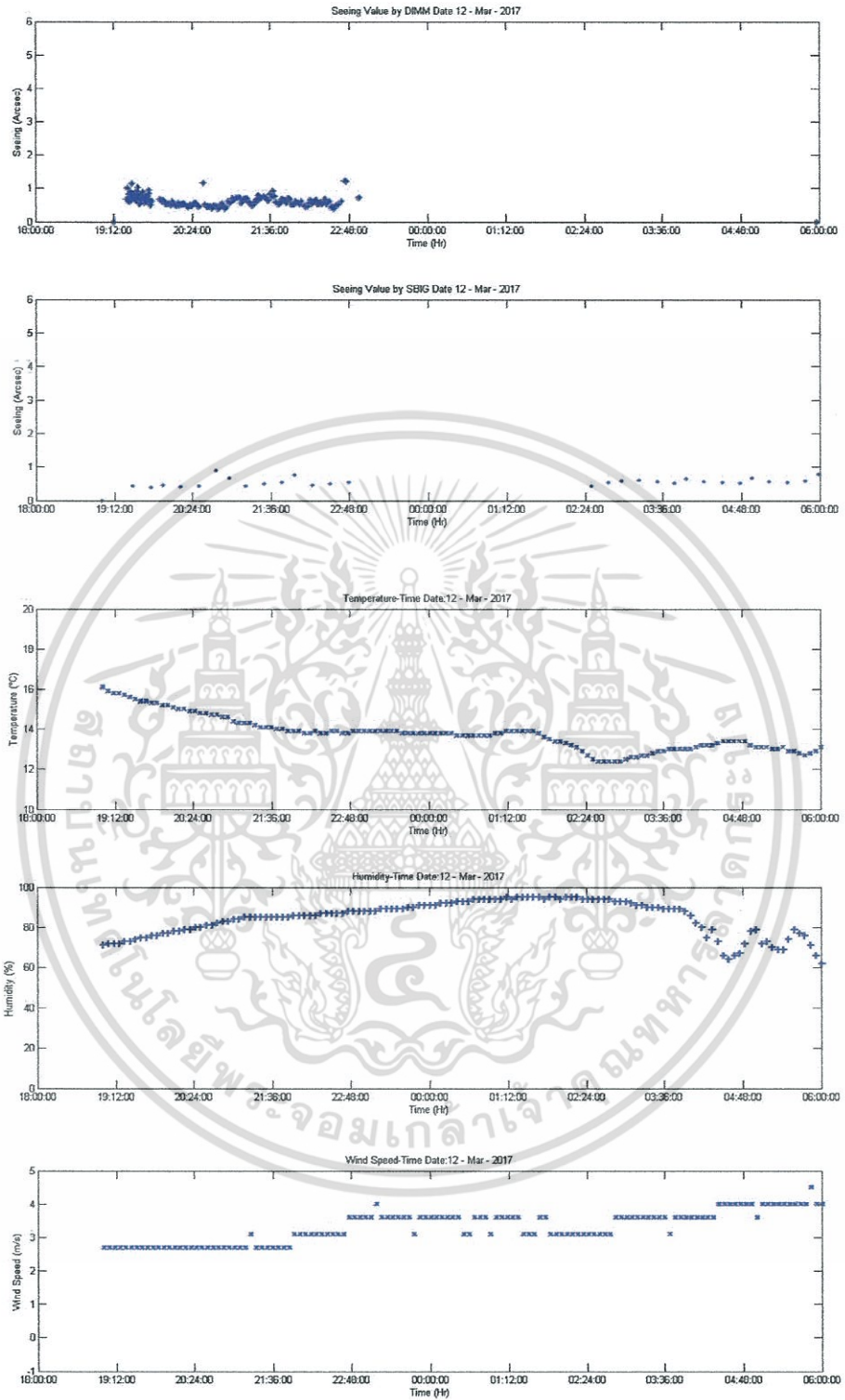
รูปที่ ค7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 10 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



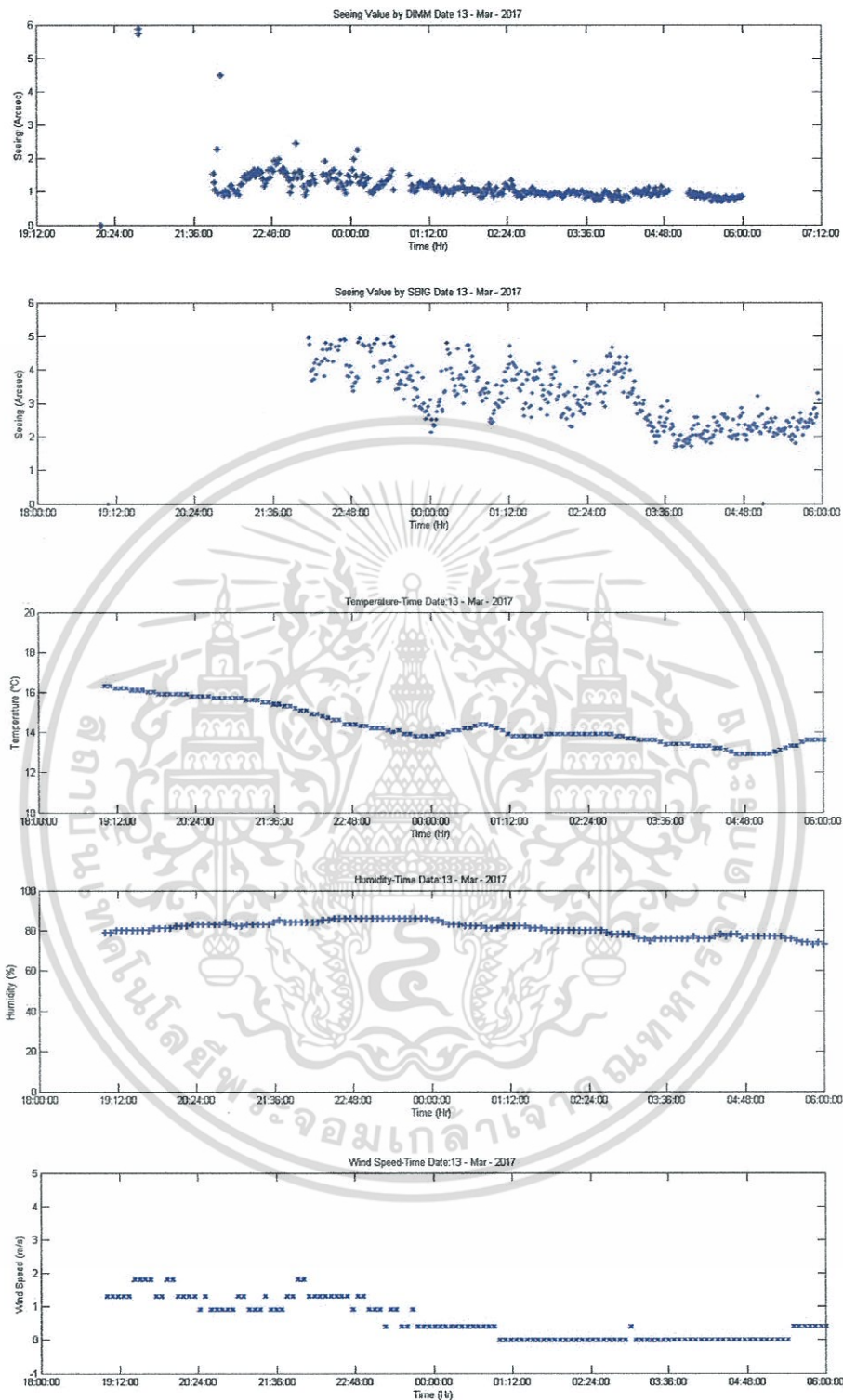
รูปที่ ค8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 11 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



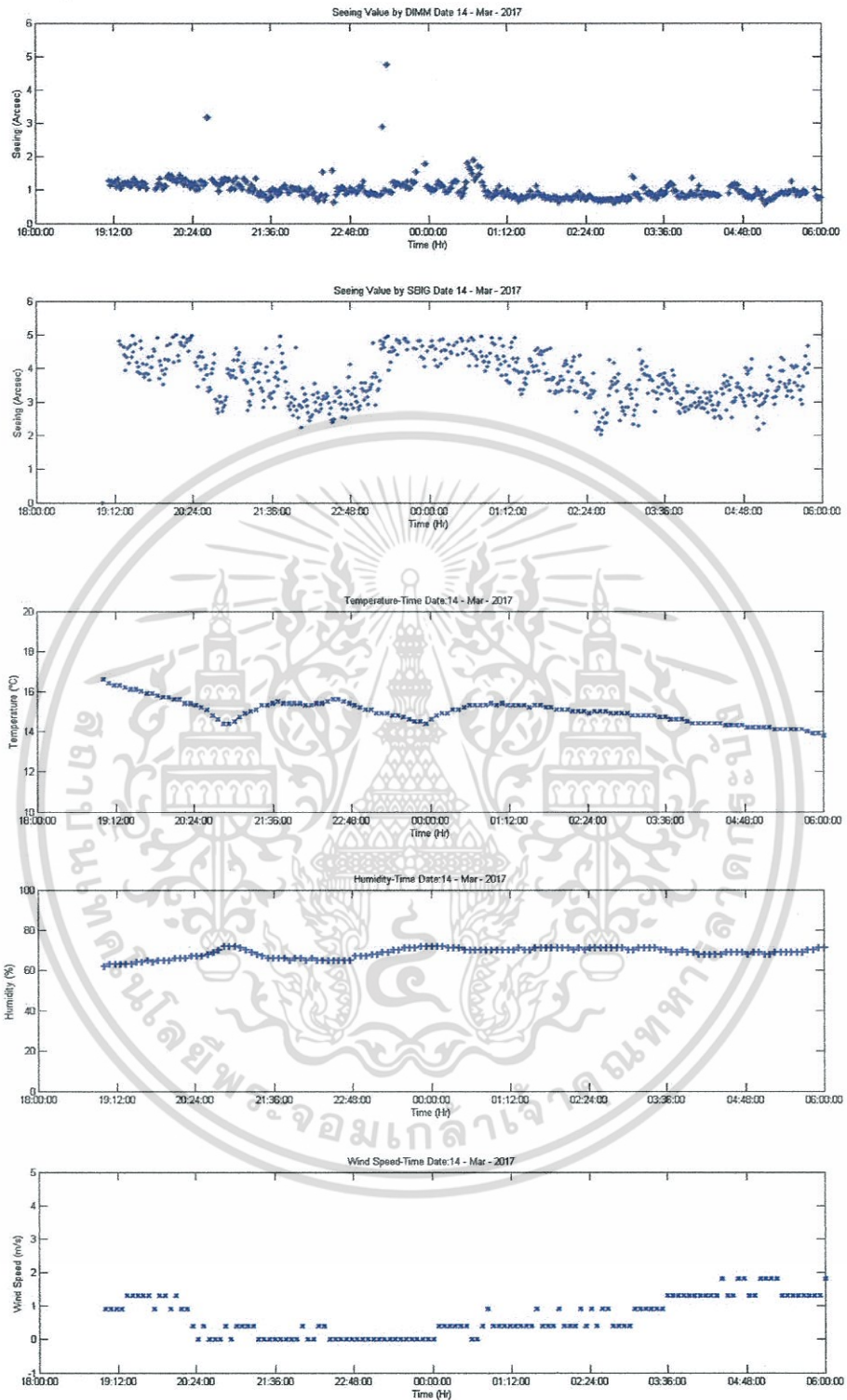
รูปที่ ค9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 12 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



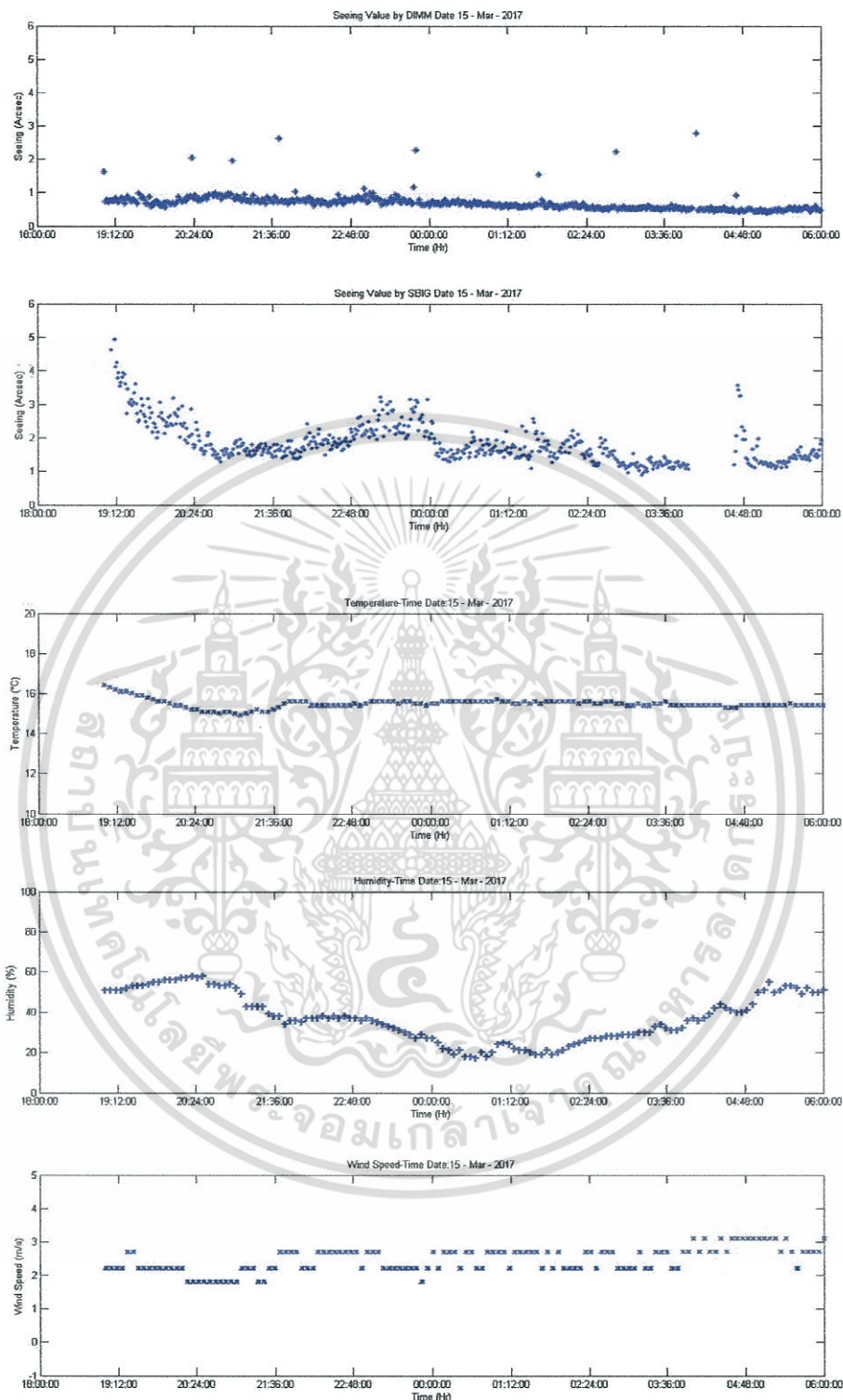
รูปที่ ค10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 13 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



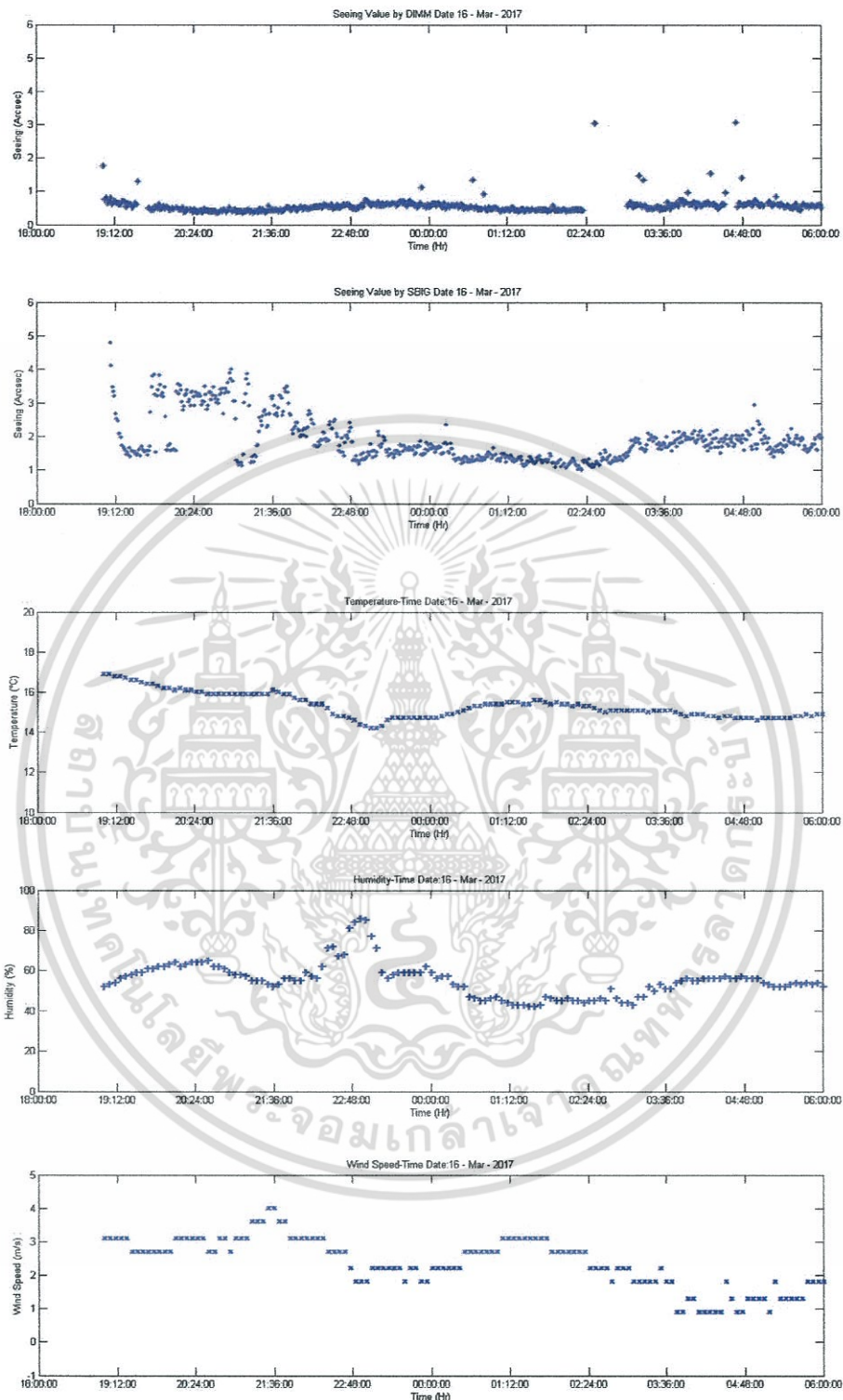
รูปที่ ค11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 14 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



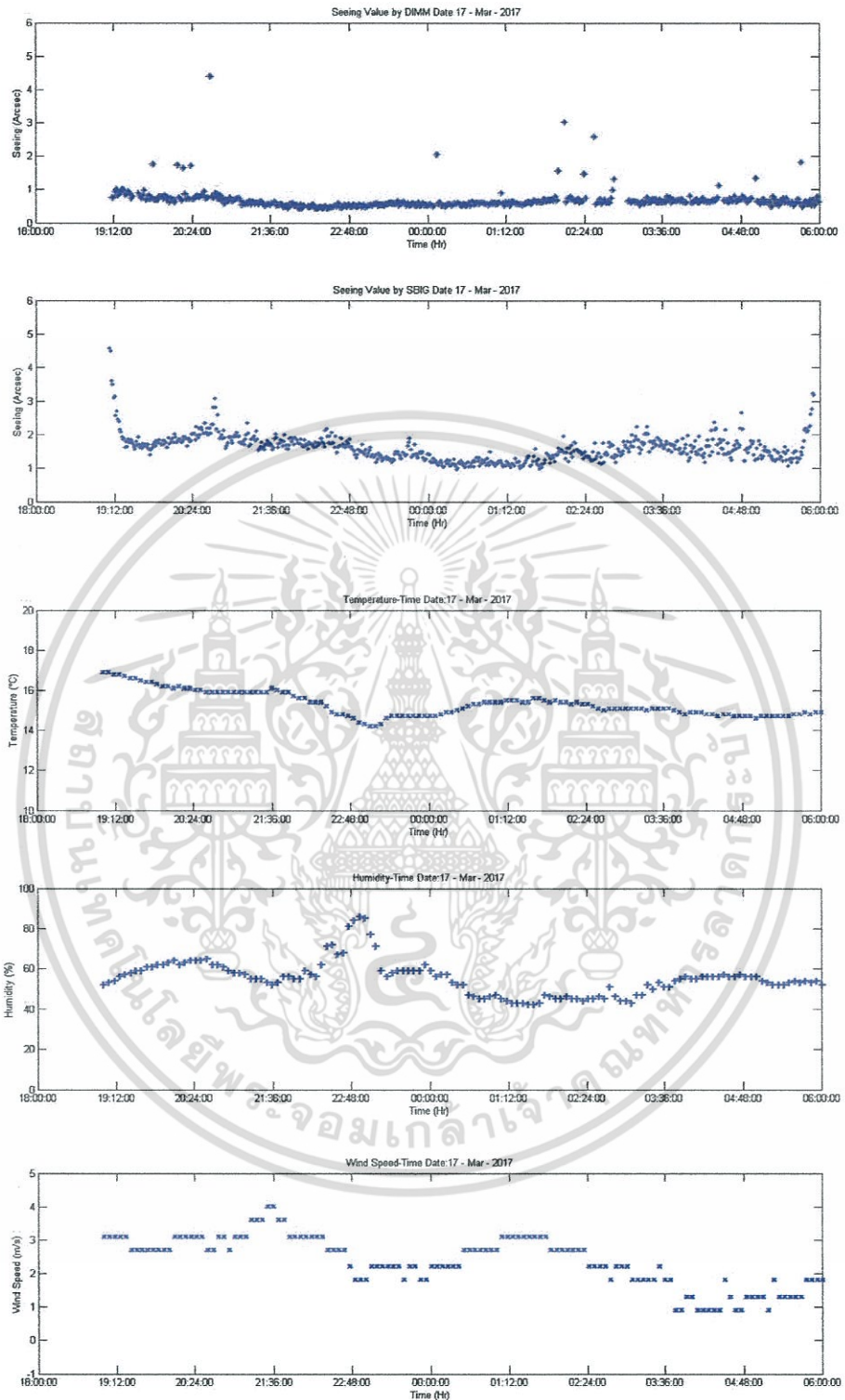
รูปที่ ค12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 15 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



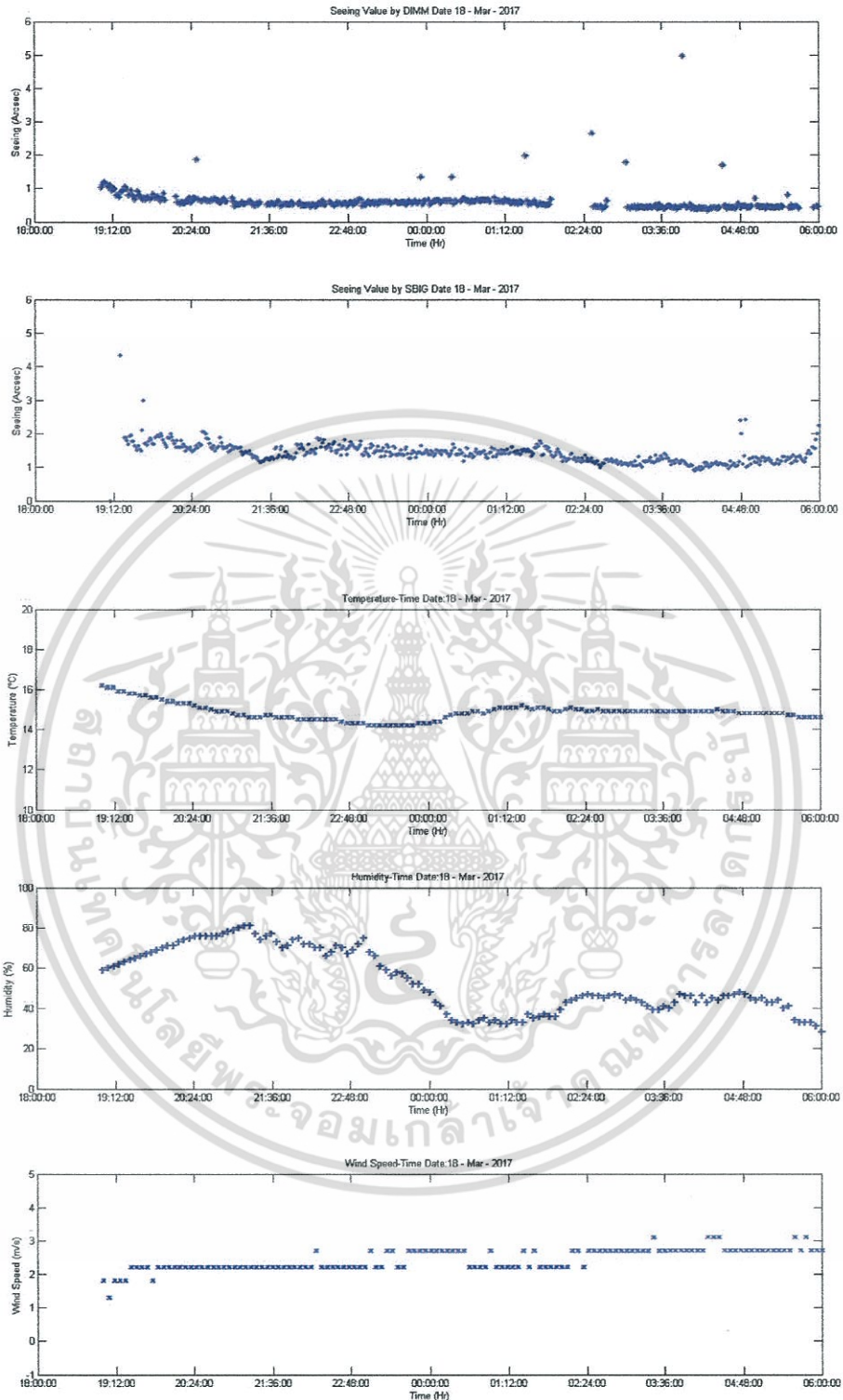
รูปที่ ค13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 16 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



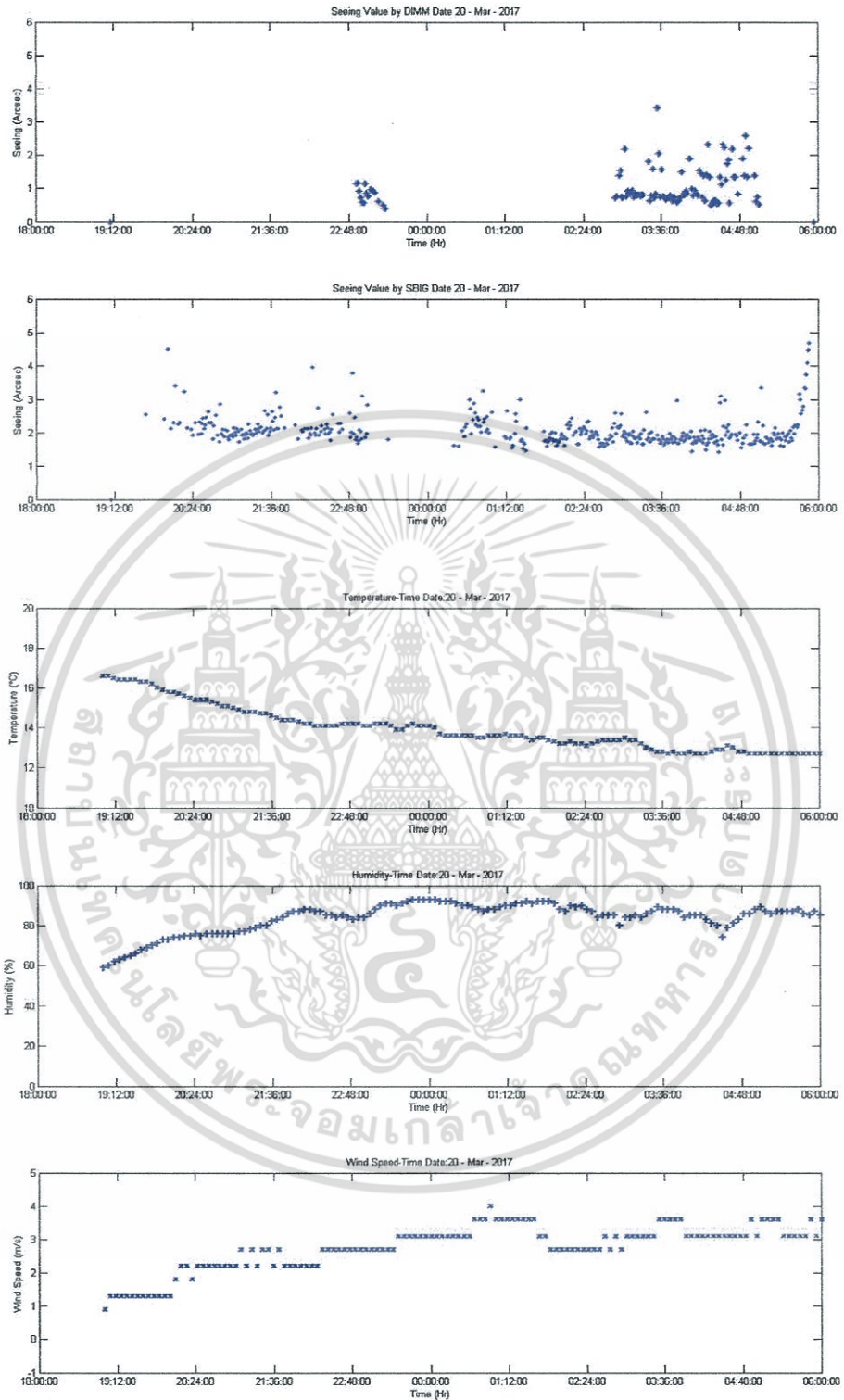
รูปที่ ค14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 17 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



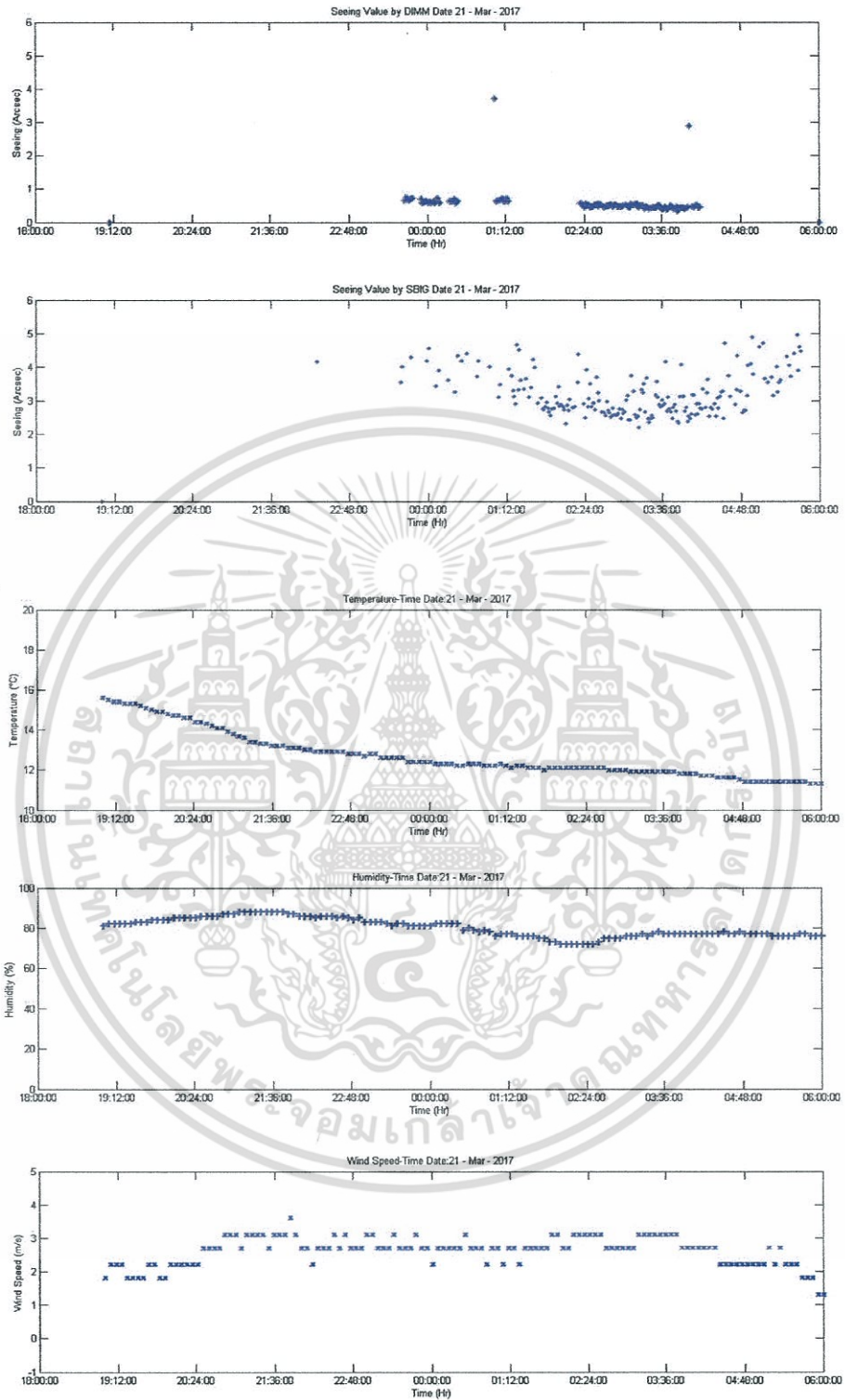
รูปที่ ค15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 18 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



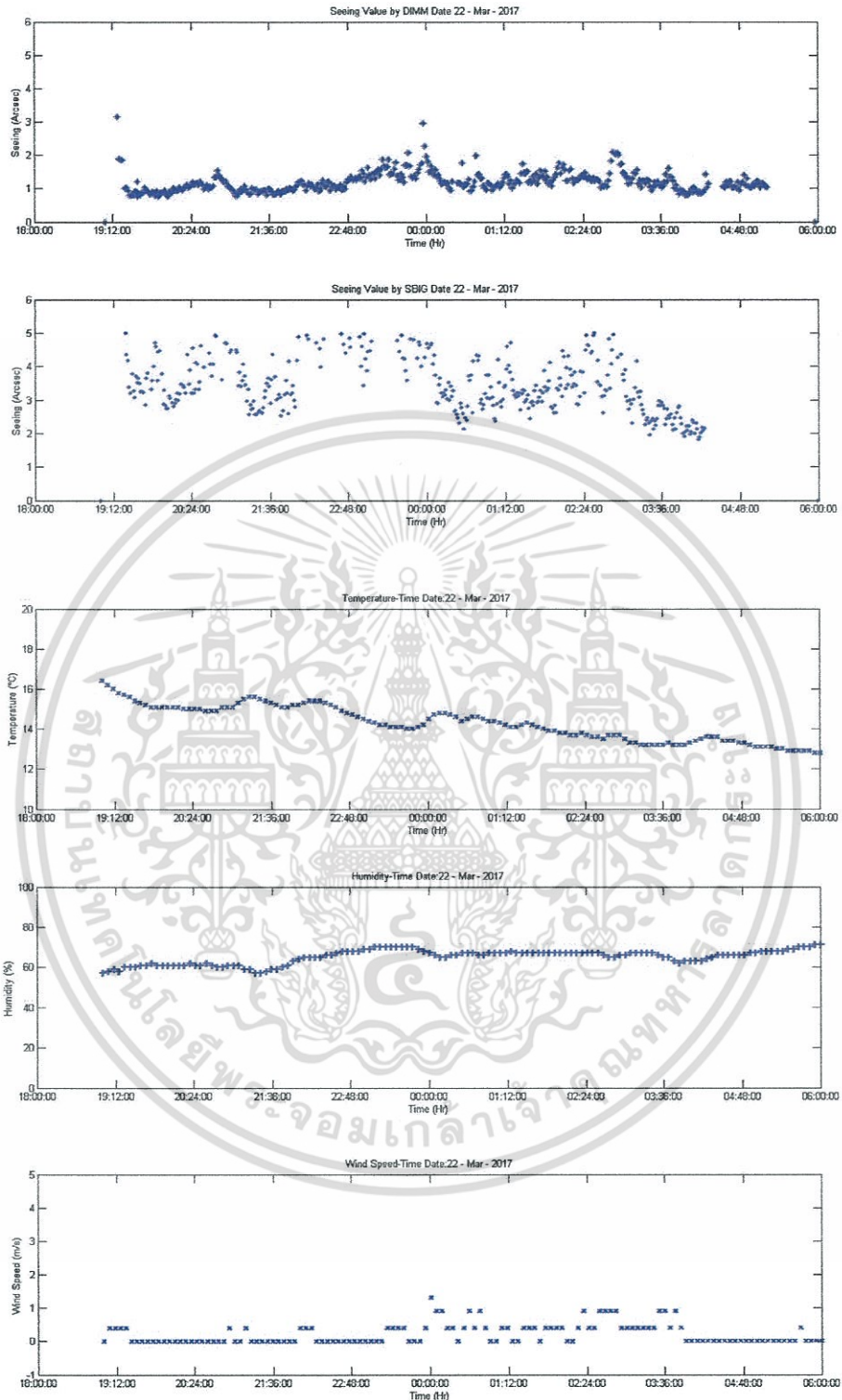
รูปที่ ๑๖ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 20 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



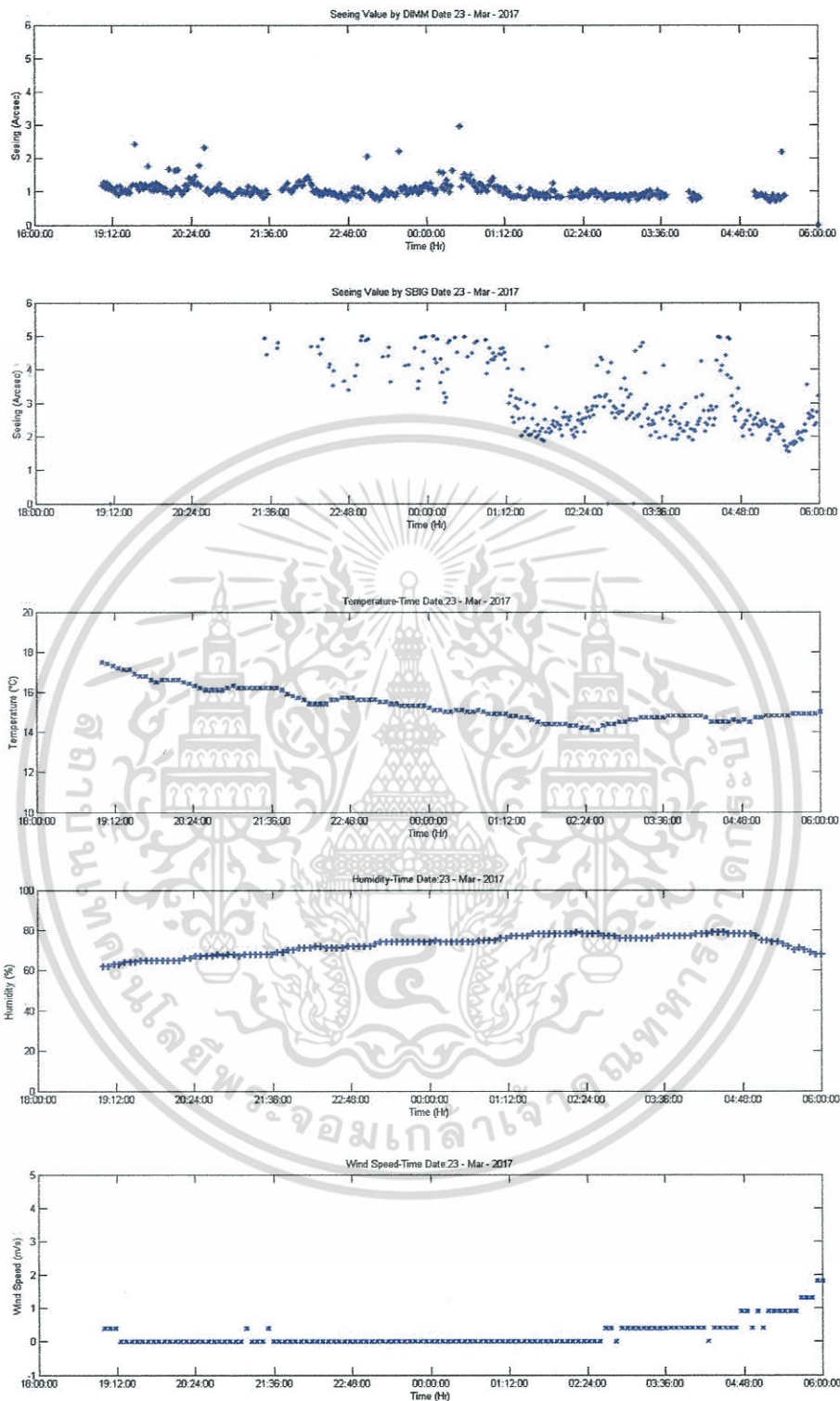
รูปที่ ๑๗ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 21 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



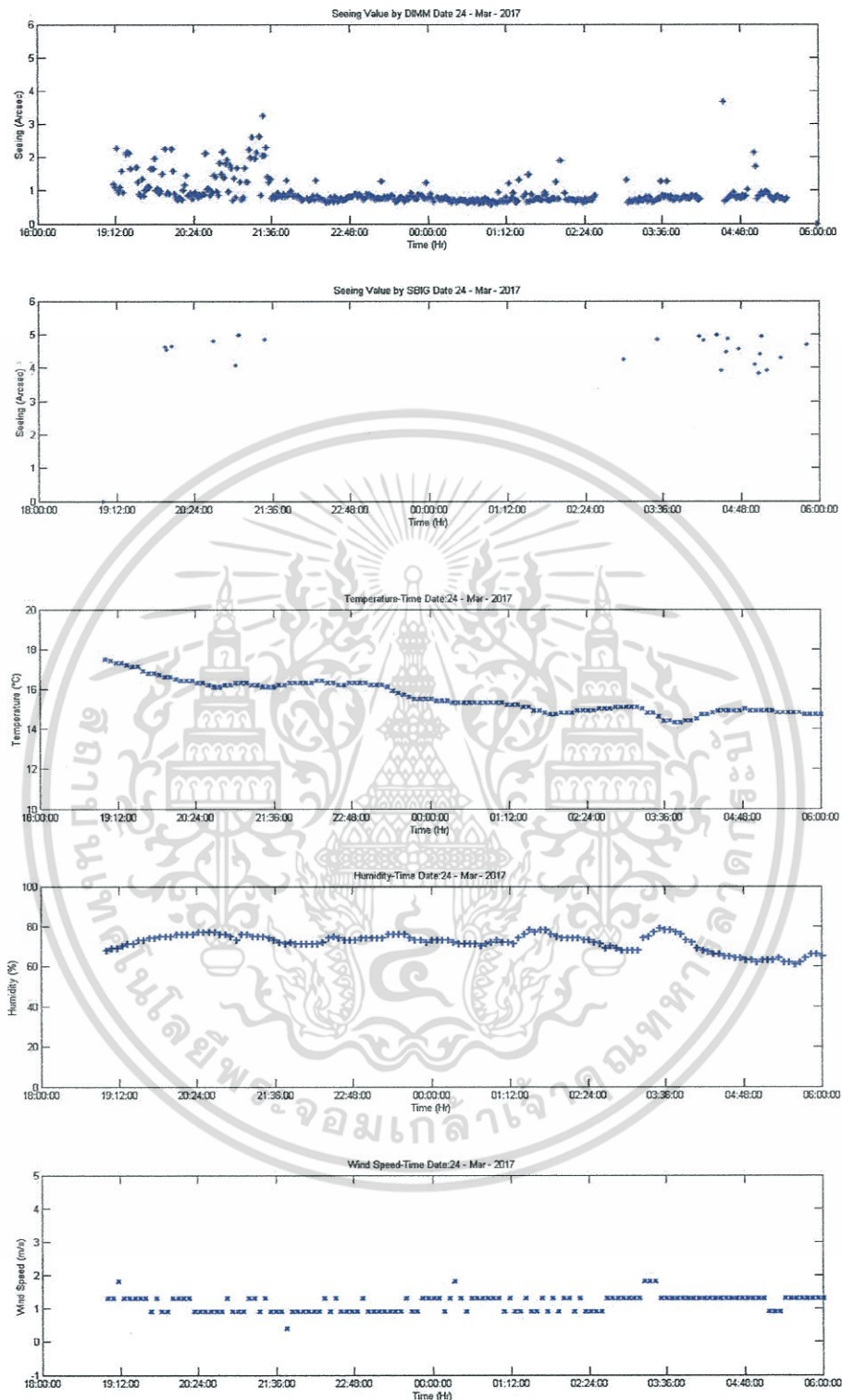
รูปที่ ค18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 22 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



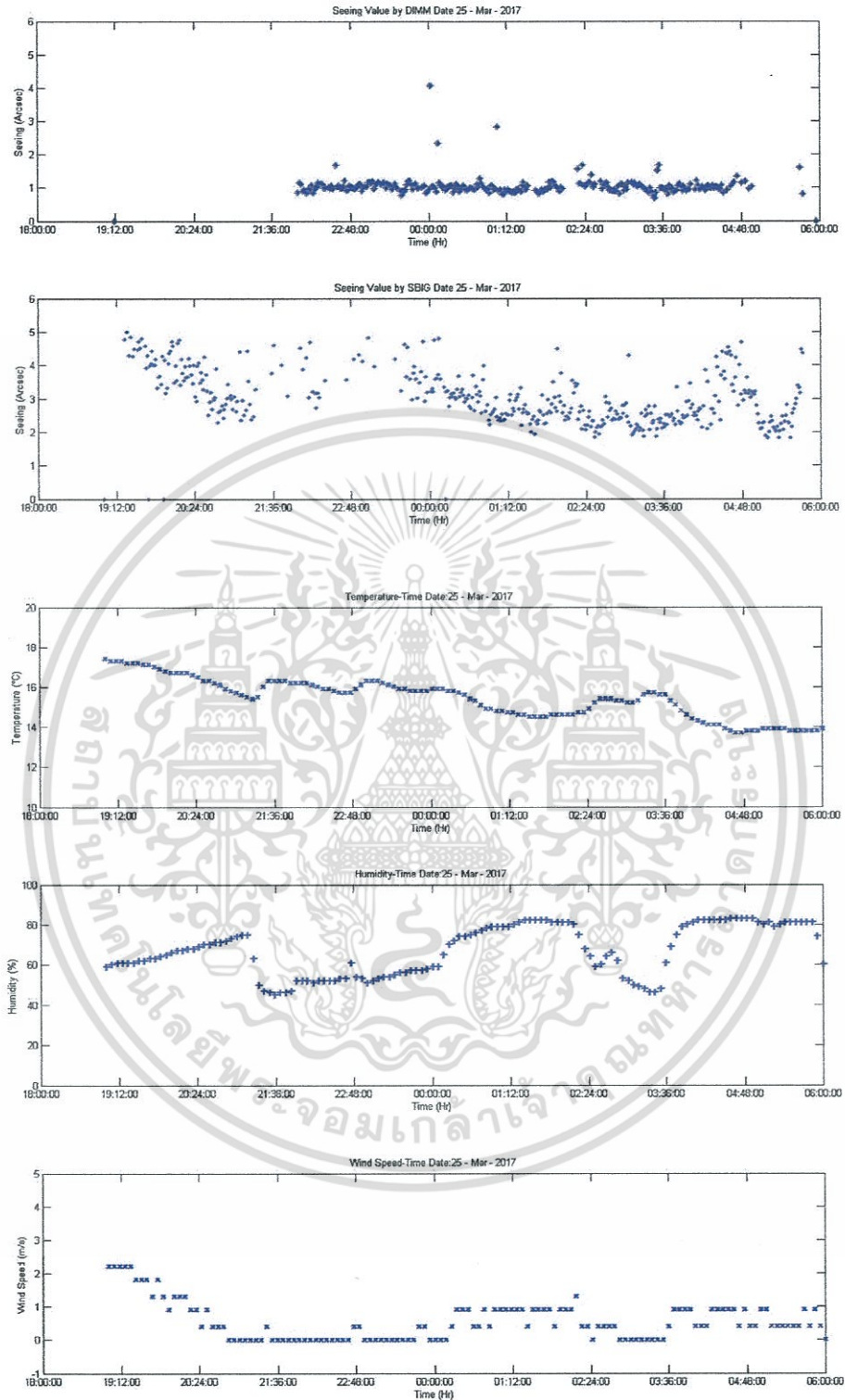
รูปที่ ค19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 23 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



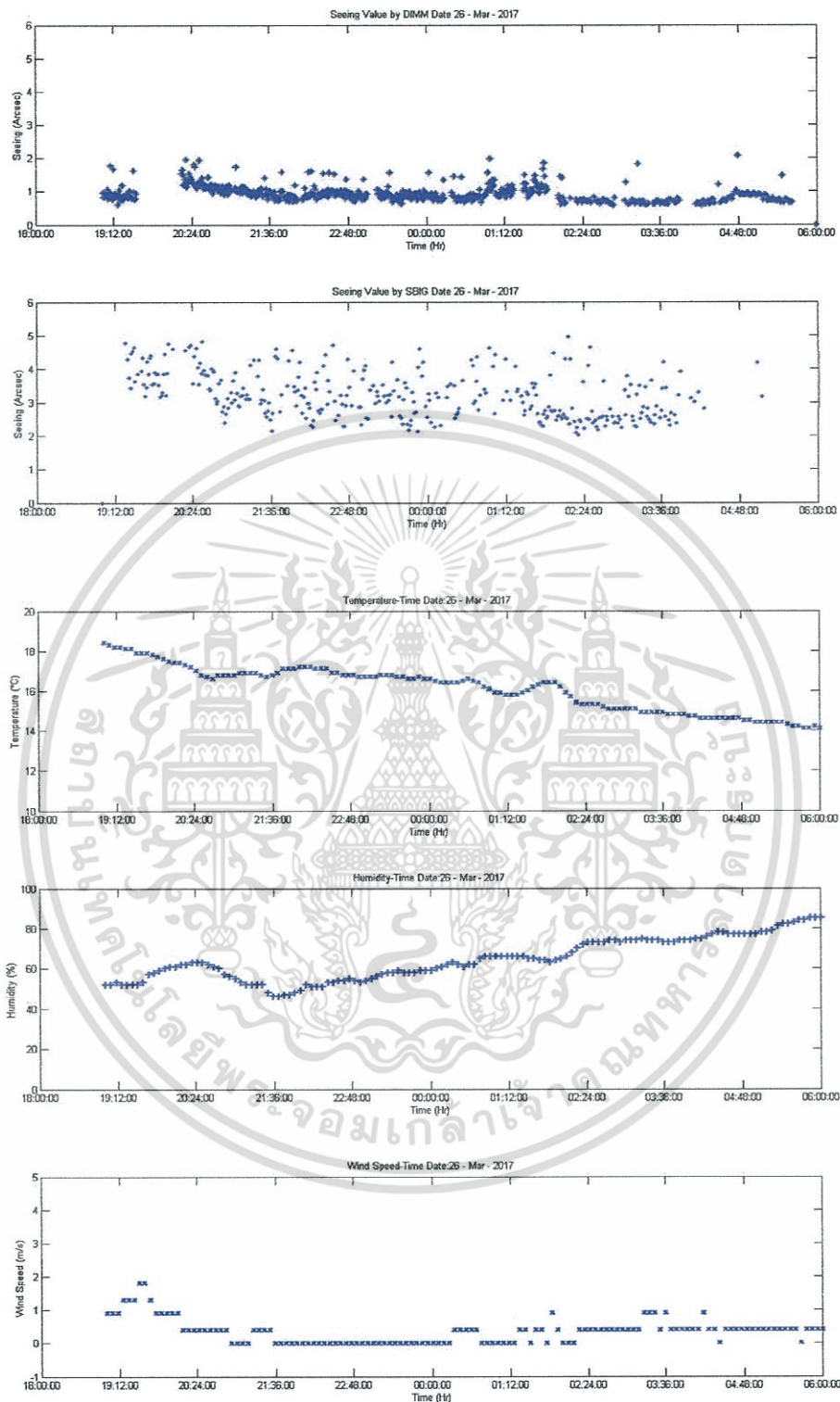
รูปที่ ค20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 24 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



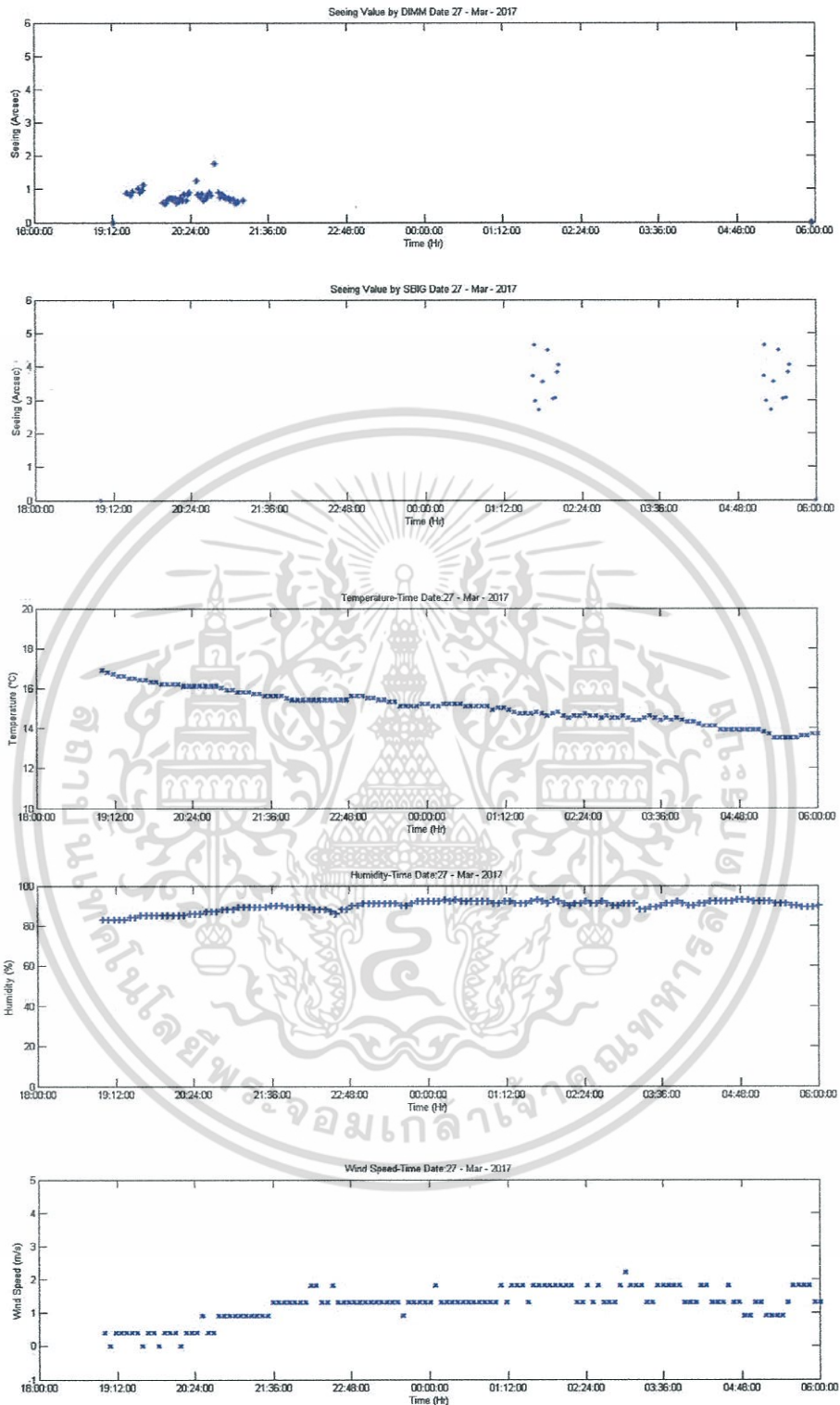
รูปที่ ค21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 25 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



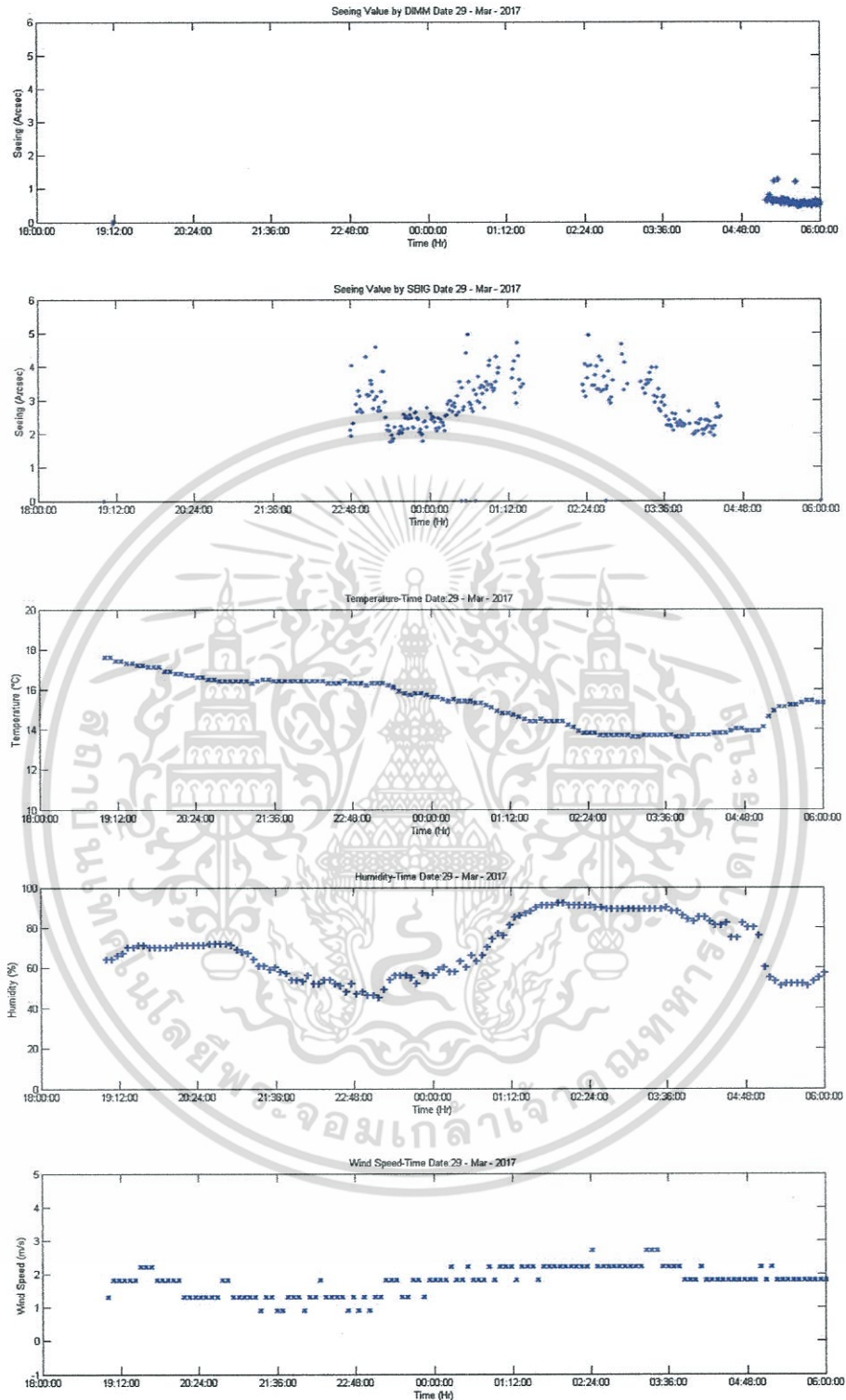
รูปที่ ค22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 26 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



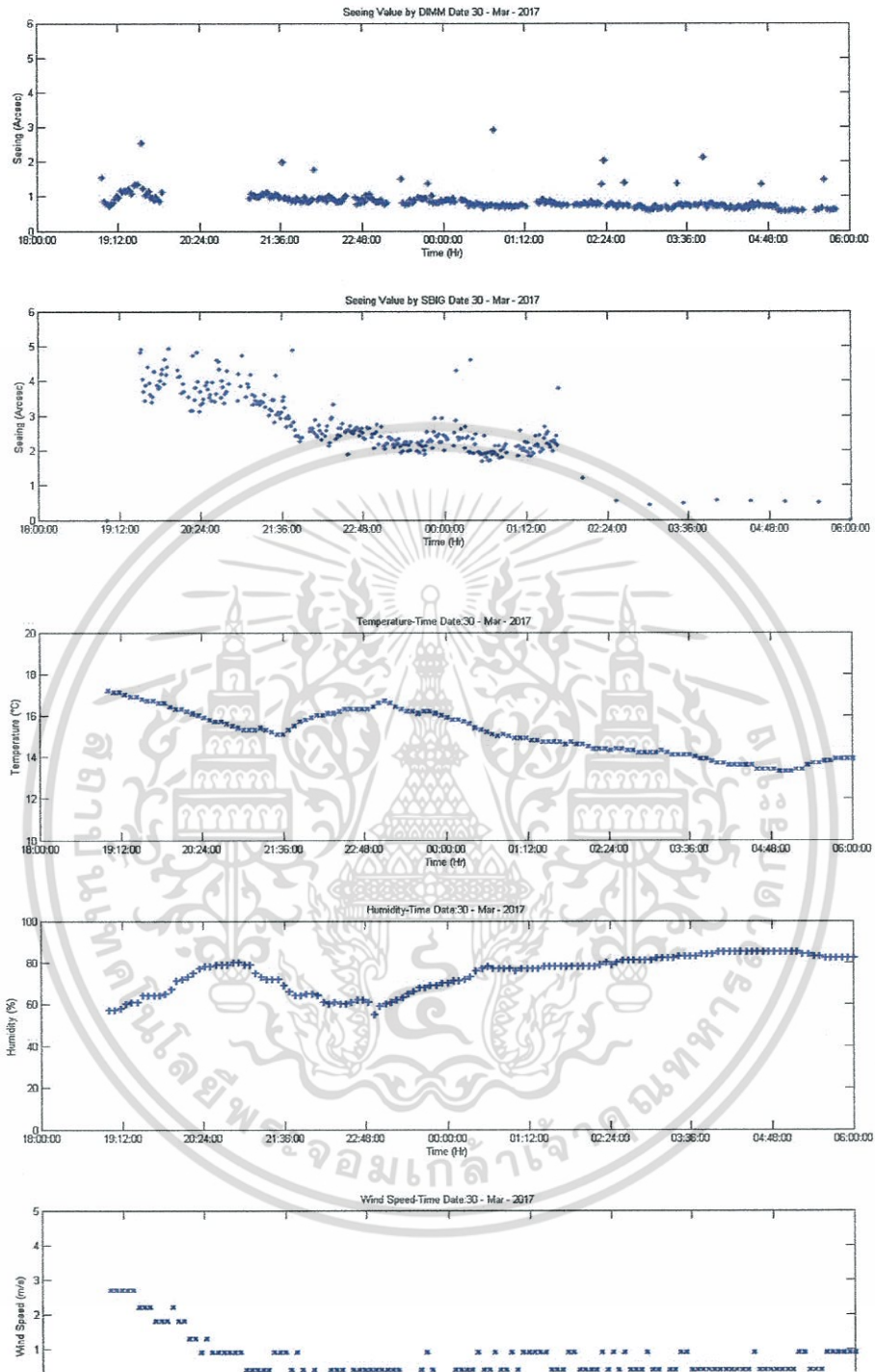
รูปที่ ค23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 27 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



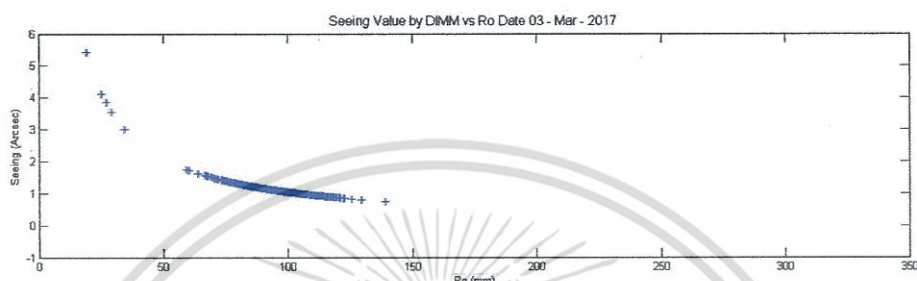
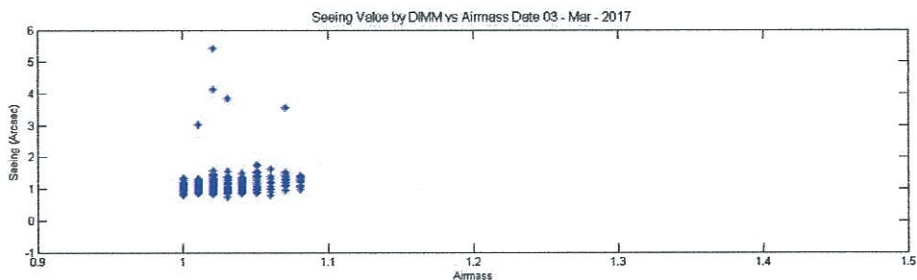
รูปที่ ค24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 29 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

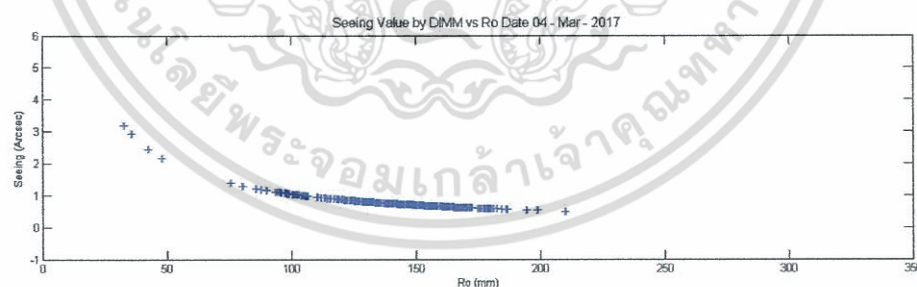
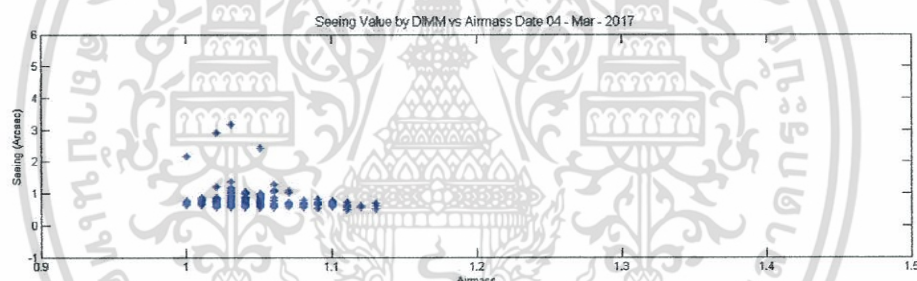


รูปที่ ค25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ณ วันที่ 30 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

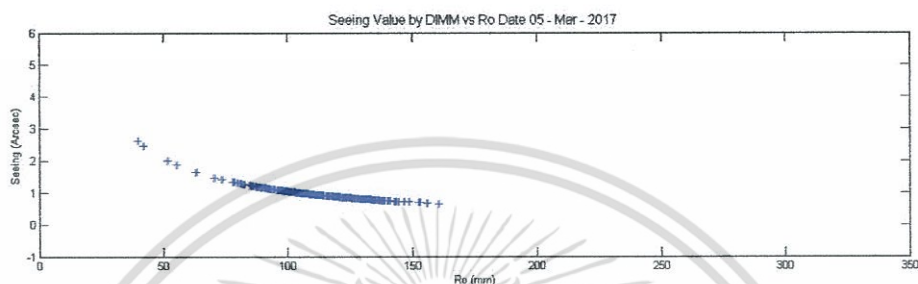
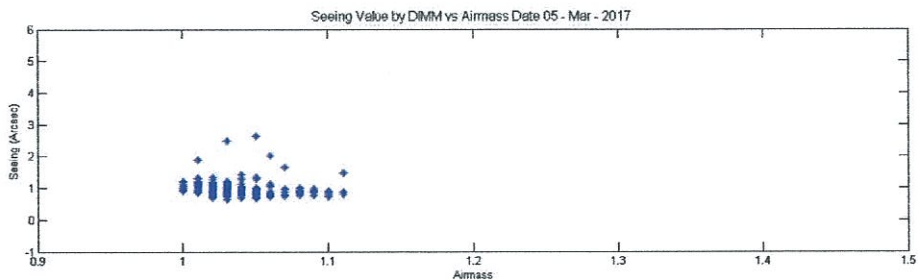


รูปที่ ค26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 3 มีนาคม 2560

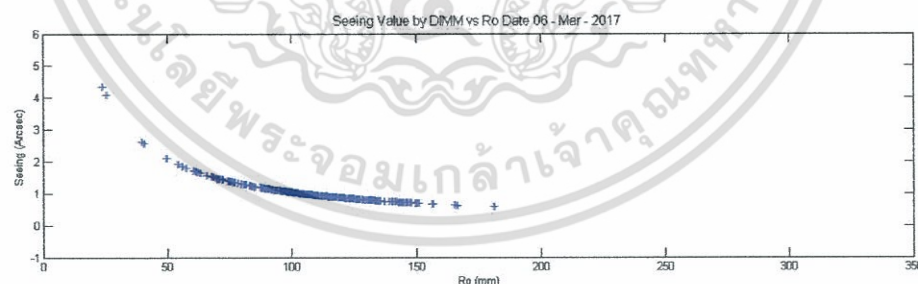
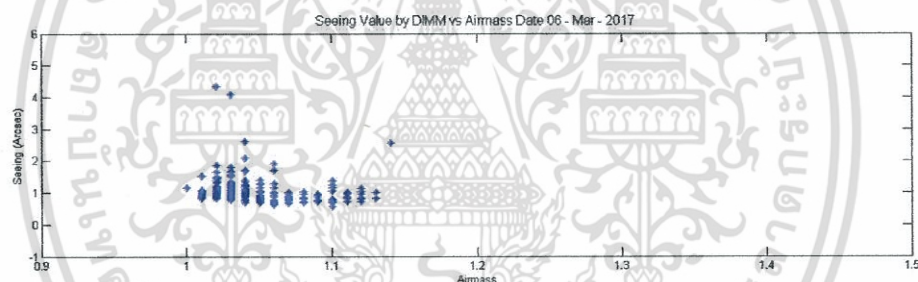


รูปที่ ค27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 4 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

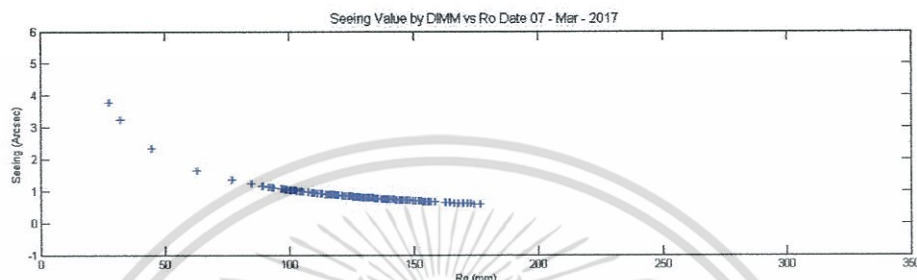
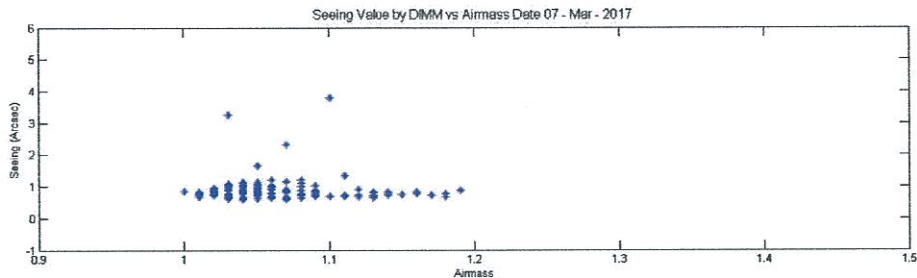


รูปที่ ค28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 5 มีนาคม 2560

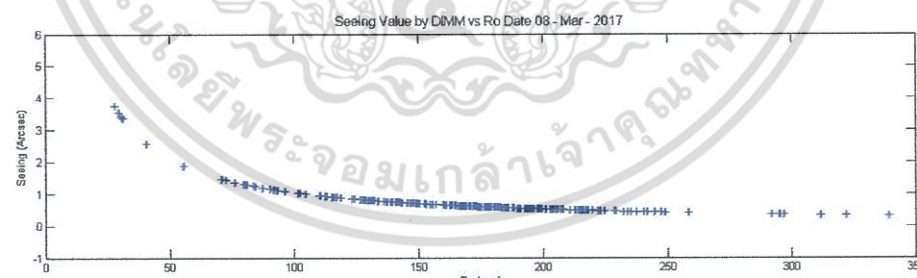
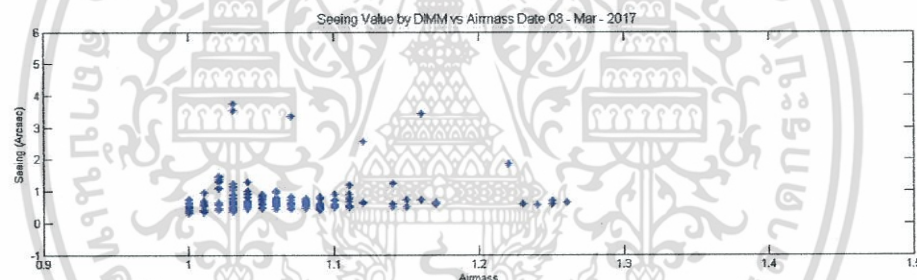


รูปที่ ค29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 6 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

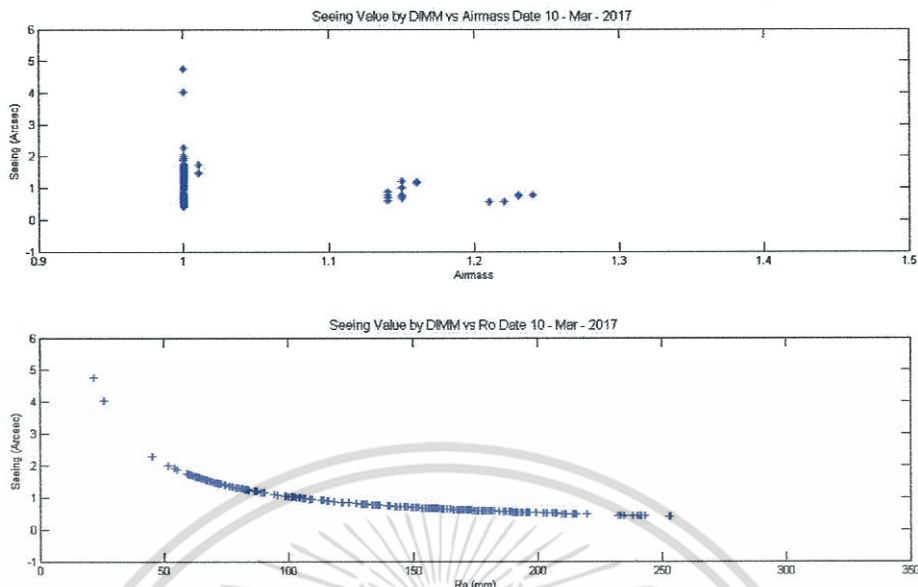


รูปที่ ค30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 7 มีนาคม 2560

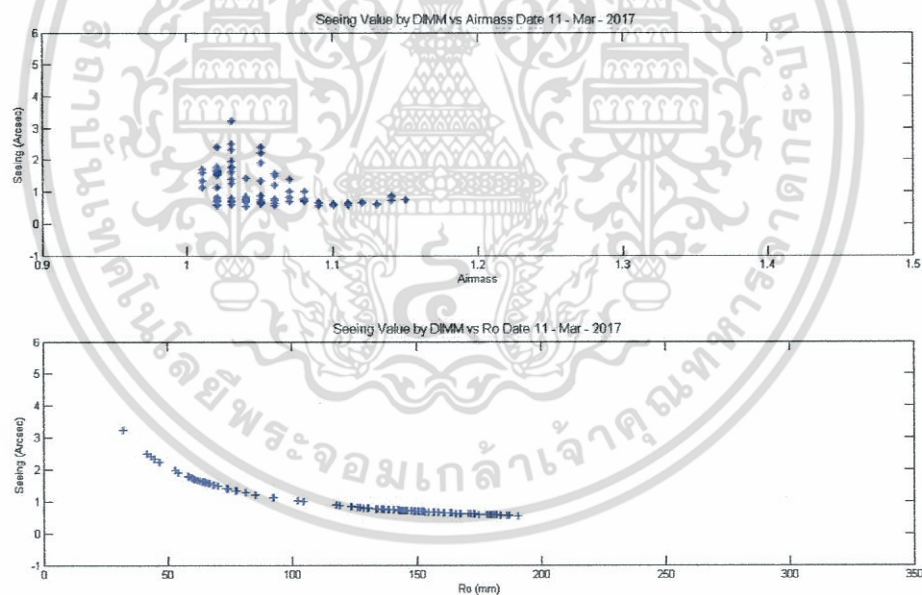


รูปที่ ค31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 8 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

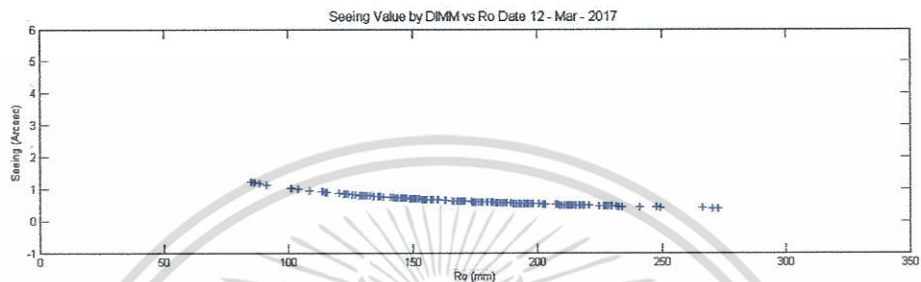
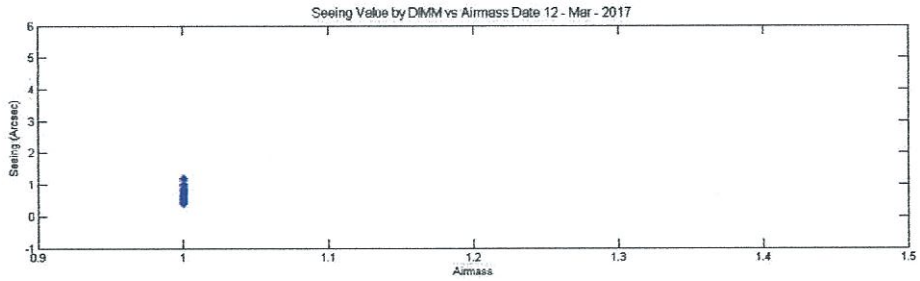


รูปที่ ค32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 10 มีนาคม 2560

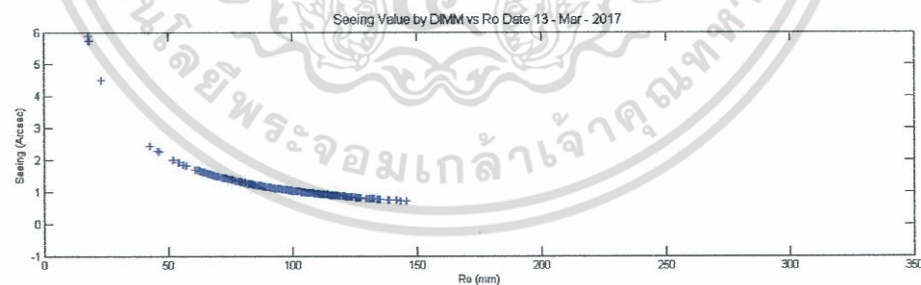
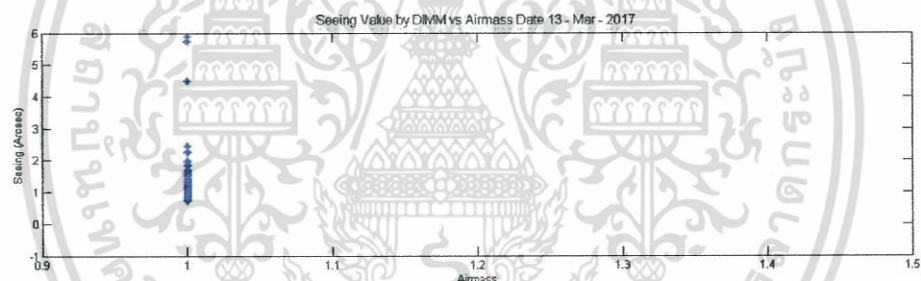


รูปที่ ค33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 11 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

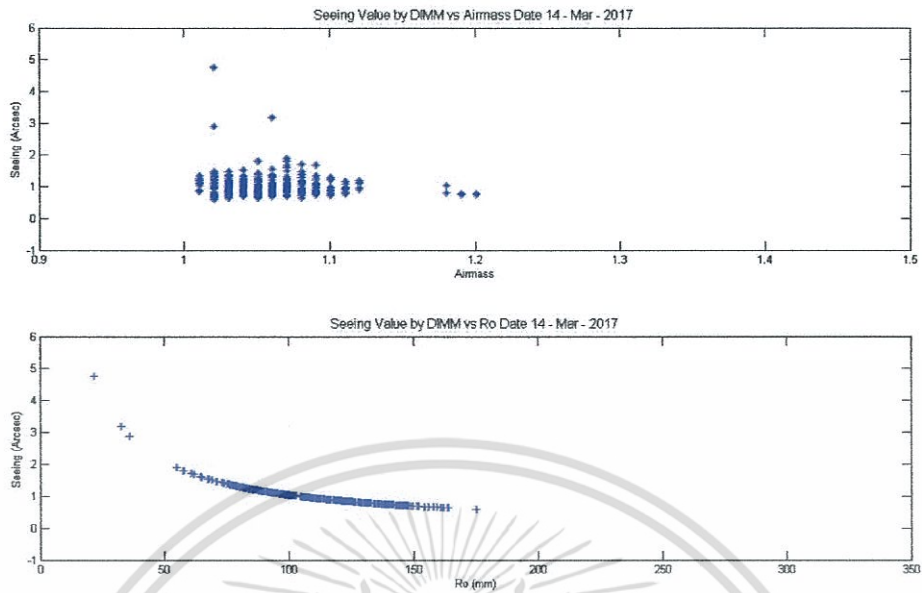


รูปที่ ค34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 12 มีนาคม 2560

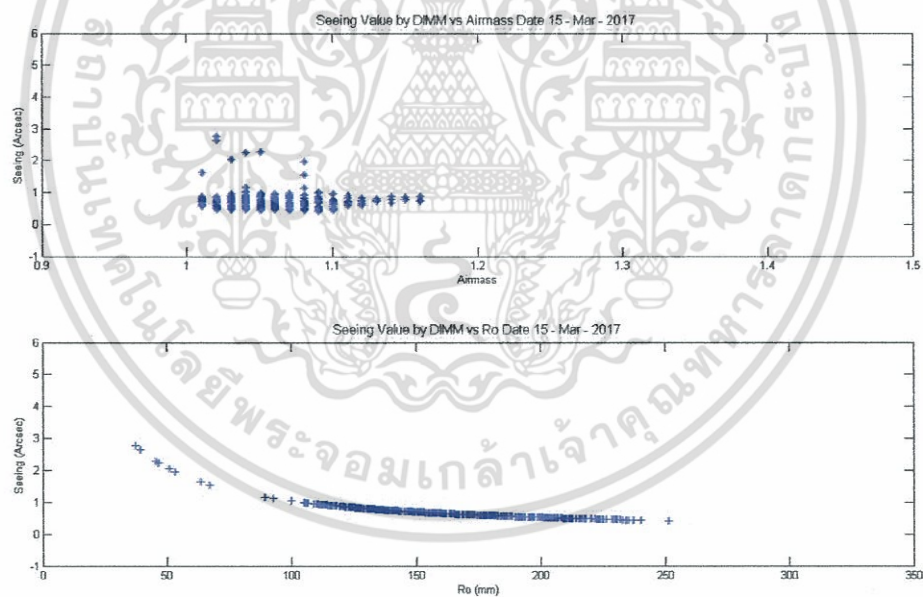


รูปที่ ค35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 13 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

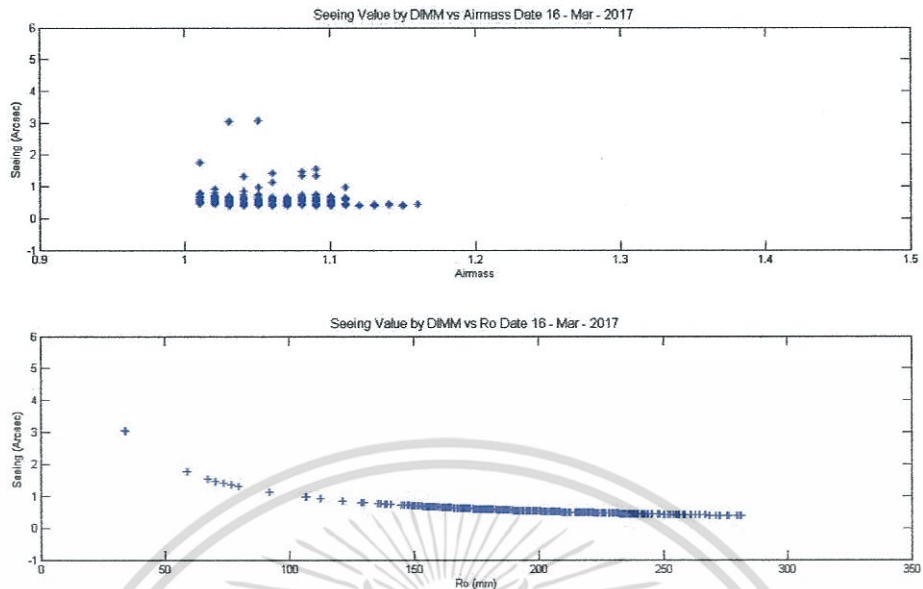


รูปที่ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 14 มีนาคม 2560

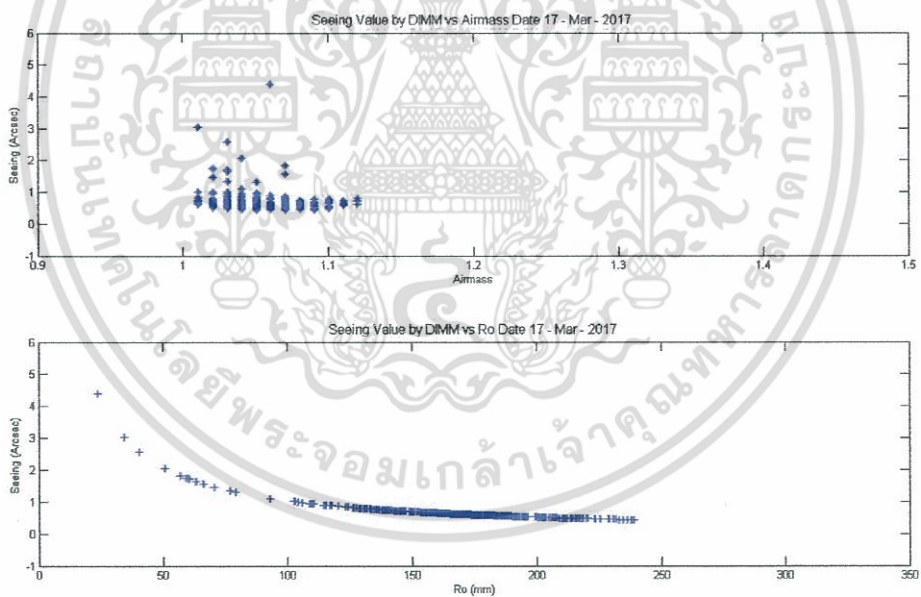


รูปที่ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 15 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

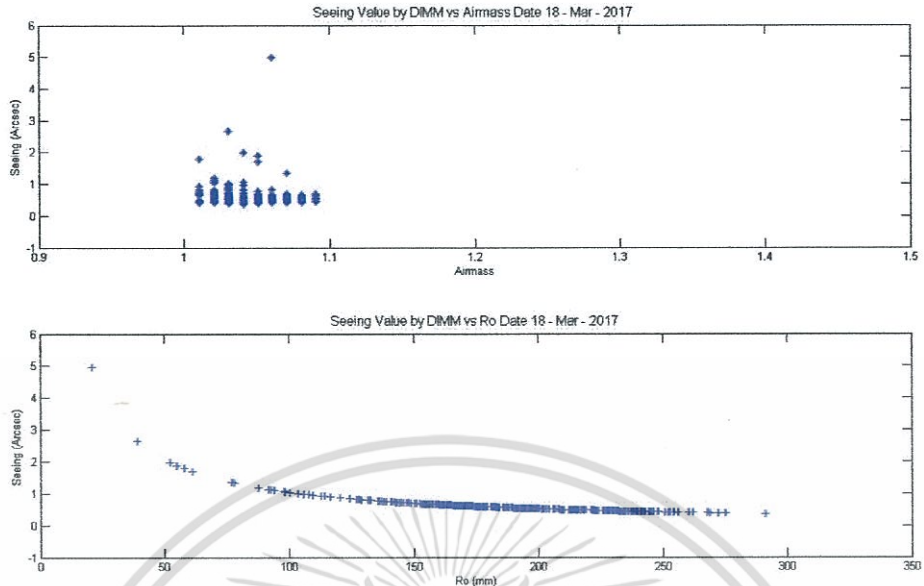


รูปที่ ค38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 16 มีนาคม 2560

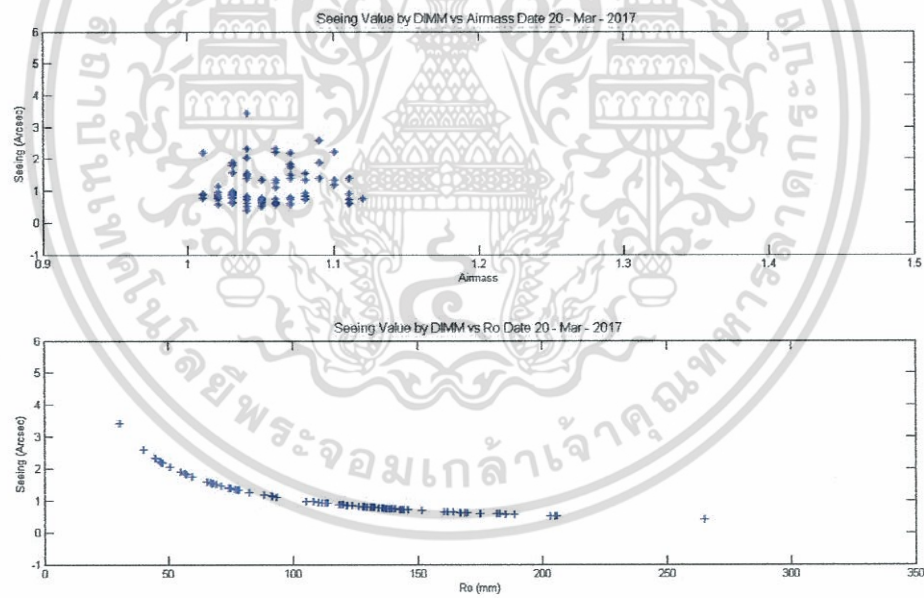


รูปที่ ค39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 17 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

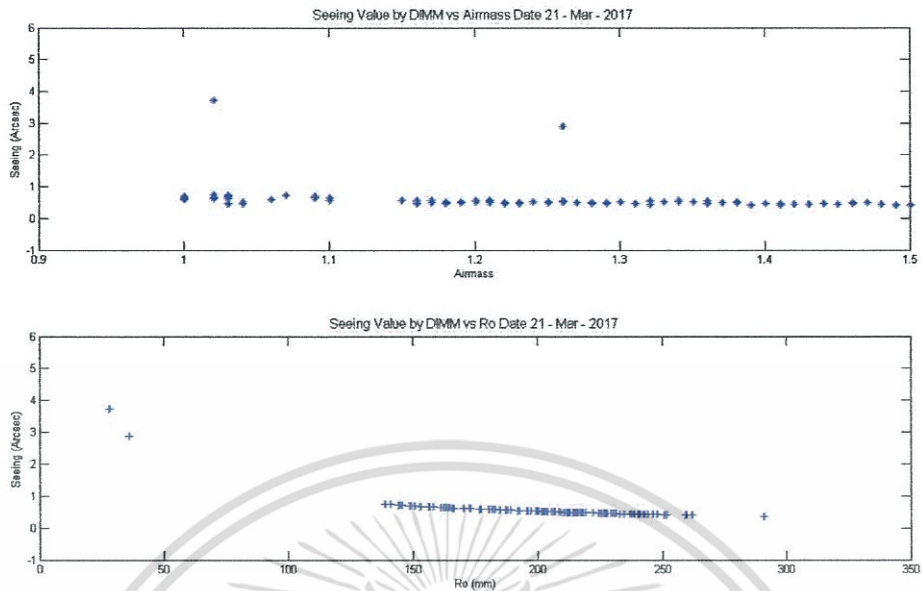


รูปที่ ค40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 18 มีนาคม 2560

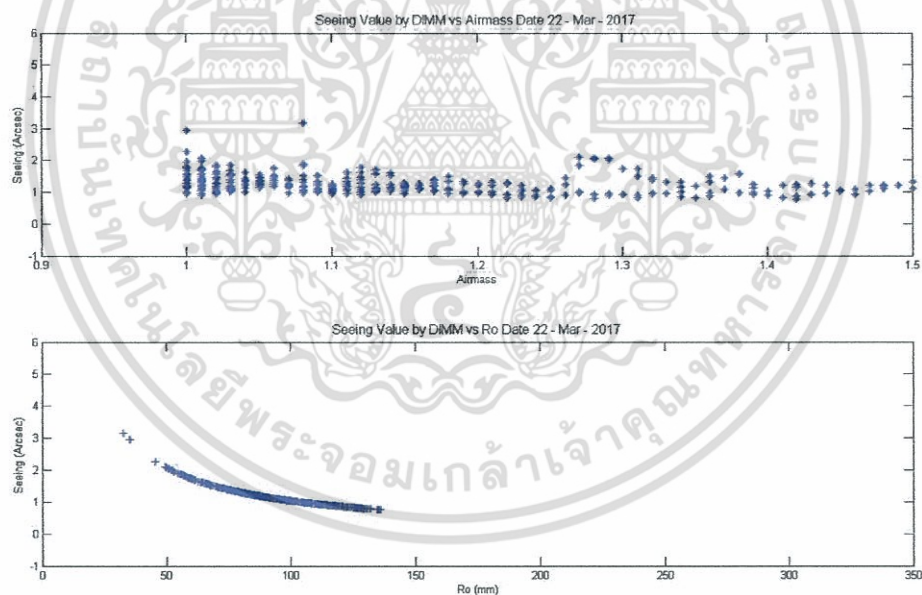


รูปที่ ค41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 20 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

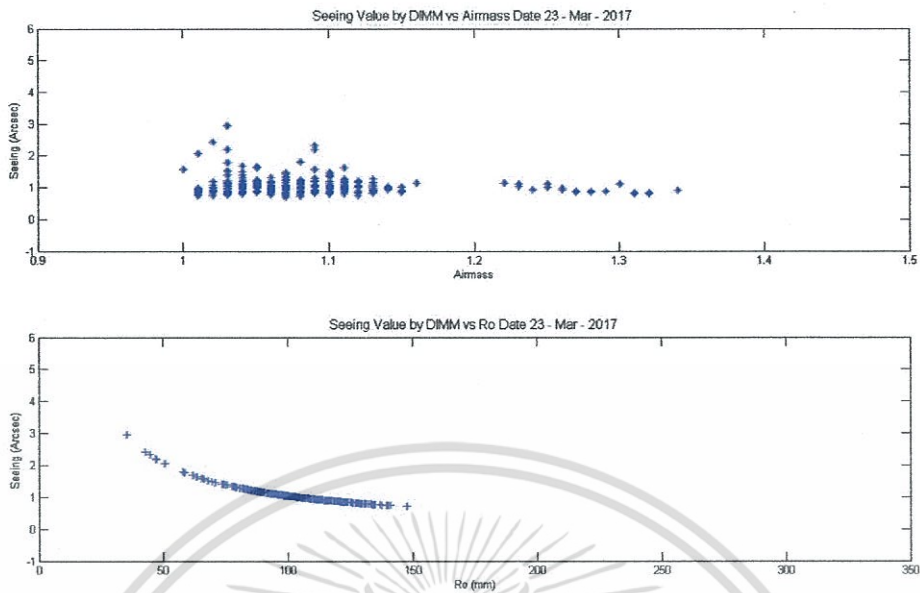


รูปที่ ค42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 21 มีนาคม 2560

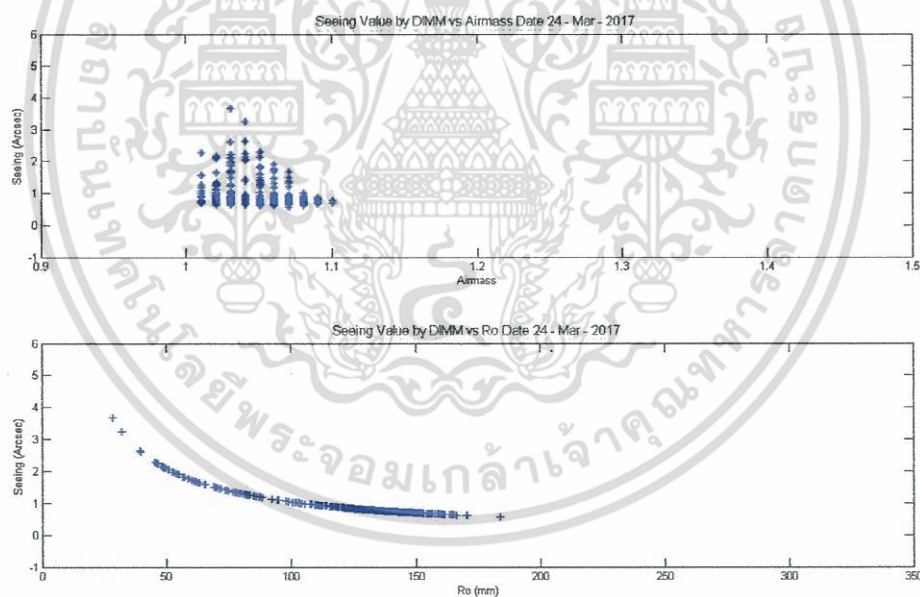


รูปที่ ค43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 22 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

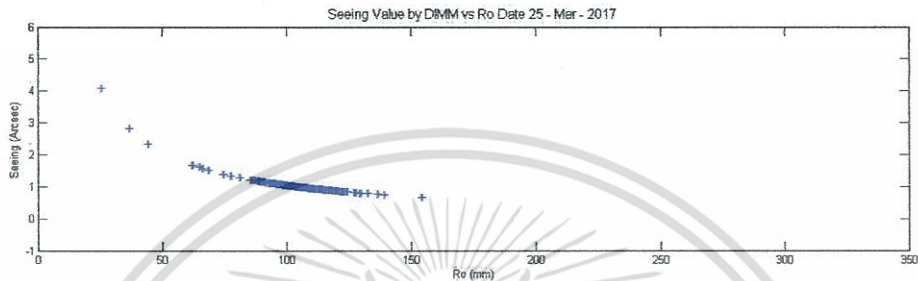
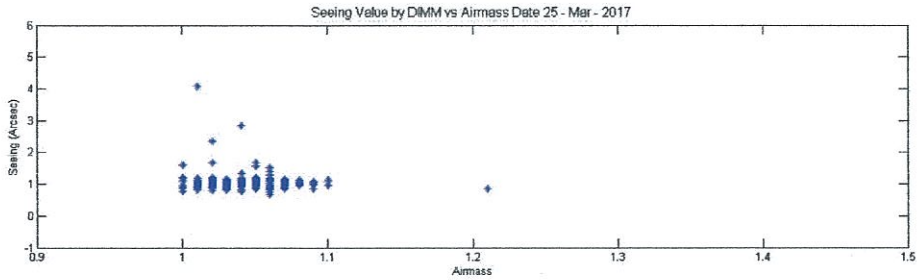


รูปที่ ค44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 23 มีนาคม 2560

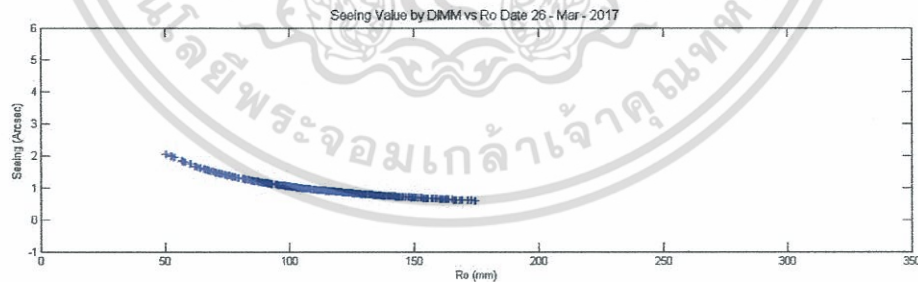
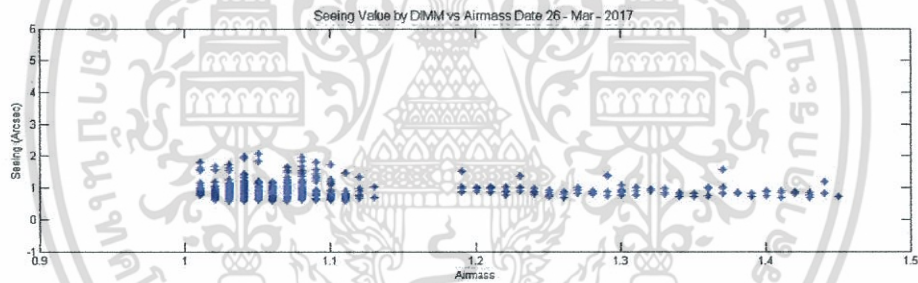


รูปที่ ค45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 24 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

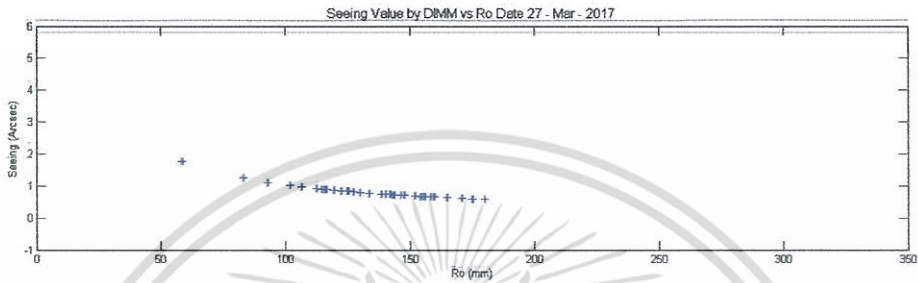
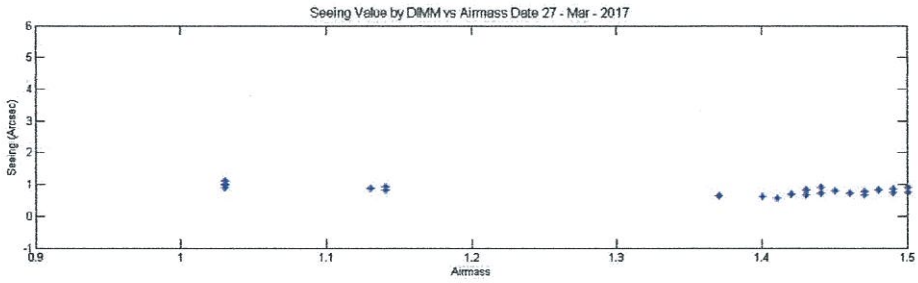


รูปที่ ค46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 25 มีนาคม 2560

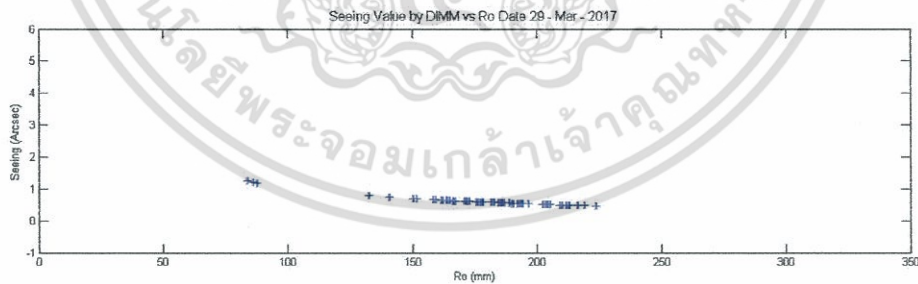
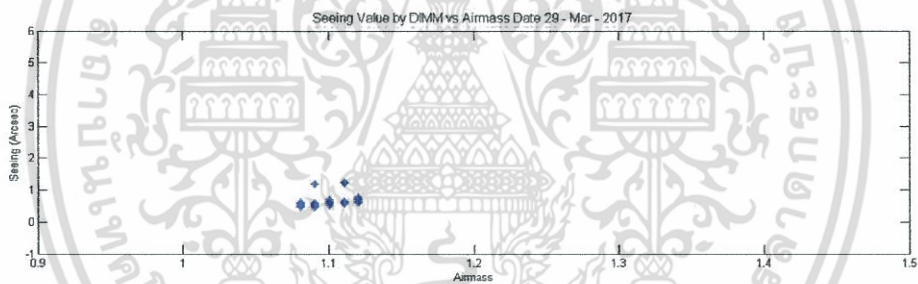


รูปที่ ค47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 26 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

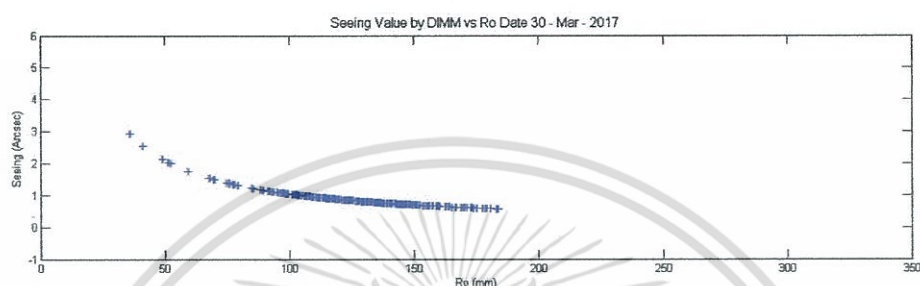
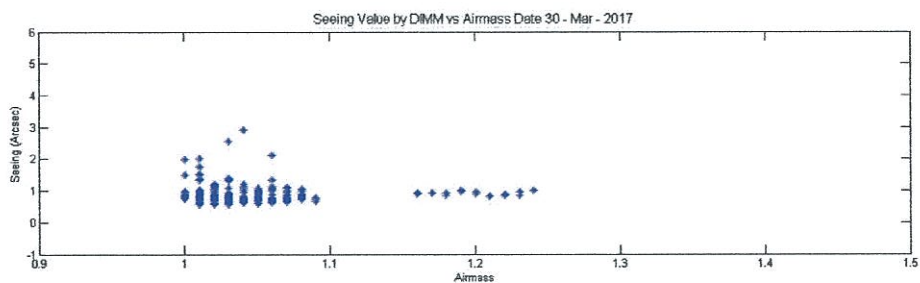


รูปที่ ค48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 27 มีนาคม 2560



รูปที่ ค49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 29 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Seeing กับค่า Airmass และ Ro ณ วันที่ 30 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ตารางวางแผนข้อมูลดาวสำหรับโปรแกรม ACP

ตารางที่ ง1 แสดงตารางวางแผนข้อมูลดาวสำหรับโปรแกรม ACP ใช้ในวันที่ 7 มีนาคม – 12 มีนาคม 2560

NO	NAME	RA	DEC	UTC	MAG
1	Hassaleh	56:59.6	09:57.6	12:00-12:30	2.65
2	Alnath	26:17.5	28:37:13	12:30-13:00	1.65
3	Tejat	22:59.9	30:12.6	13:00-13:30	2.85
4	Alhena	37:42.8	23:56.3	13:30-14:00	1.9
5	Alhena(1)	37:42.8	23:56.3	14:00-14:30	1.9
6	Wasat	20:08.9	58:57.9	14:30-15:00	3.5
7	Tarf	17:26.7	07:53.8	15:00-15:30	3.5
8	Tarf(1)	17:26.7	07:53.8	15:30-16:00	3.5
9	Hydrobius	56:18.0	52:45.7	16:00-16:30	3.1
10	Algenubi	46:49.4	41:40.3	16:30-17:00	2.95
11	Algenubi(1)	46:49.4	41:40.3	17:00-17:30	2.95
12	Algenubi(2)	46:49.4	41:40.3	17:30-18:00	2.95
13	Zosma	15:01.1	25:47.7	18:00-18:30	2.55
14	Zosma(1)	15:01.1	25:47.7	18:30-19:00	2.55
15	Denebola	11:48:58	14:35:01	19:00-19:30	2.1
16	Denebola(1)	11:48:58	14:35:01	19:30-20:00	2.1
17	Vindemiatrix	03:01.9	10:52:03	20:00-20:30	2.85
18	Vindemiatrix(1)	03:01.9	10:52:03	20:30-21:00	2.85
19	Muphrid	55:30.3	18:47.1	21:00-21:30	2.65
20	Muphrid (1)	55:30.3	18:47.1	21:30-22:00	2.65
21	Muphrid (2)	55:30.3	18:47.1	22:00-22:30	2.65
22	Alphekka	35:25.0	39:28.1	22:30-23:00	2.2
23	Alphekka(1)	35:25.0	39:28.1		2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๒ ตารางวางแผนข้อมูลดาวสำหรับโปรแกรม ACP ใช้ในวันที่ 12 มีนาคม – 23 มีนาคม 2560

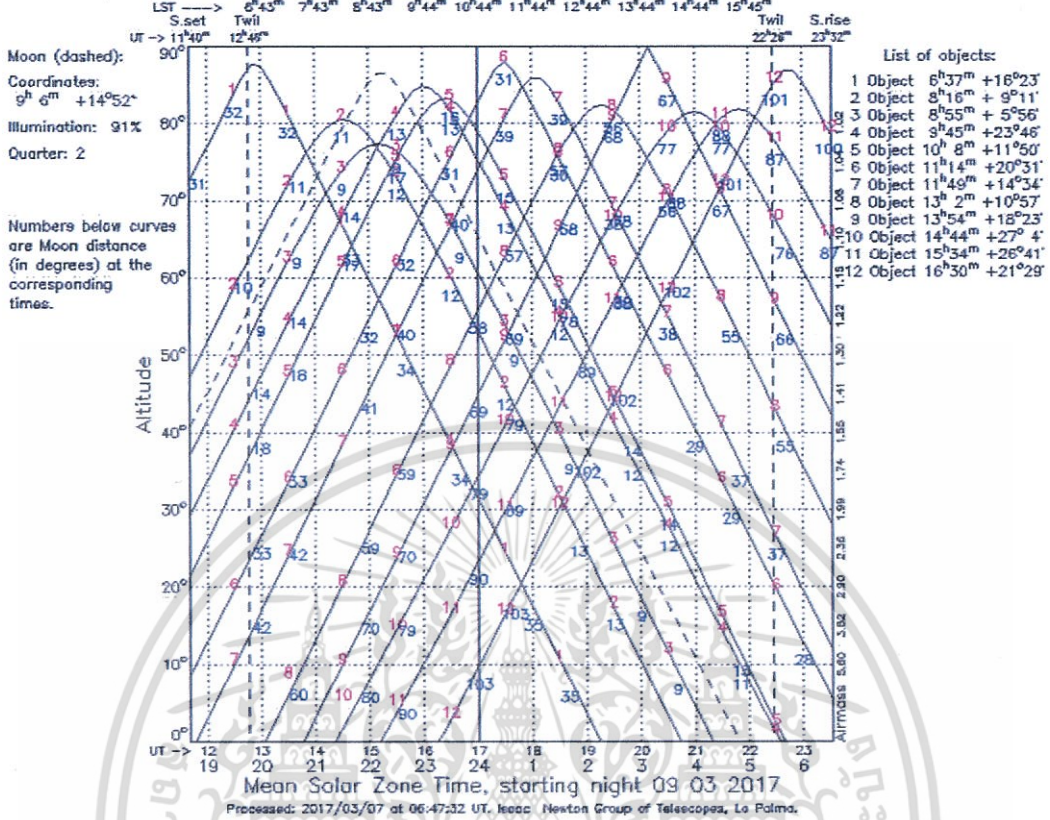
NO	NAME	RA	DE	M	UTC	TIME	The sky6
1	A_Tau	37:38.7	08:32.9	2.95	12:00	19:00	SAO77336
2	B_Tejat	6:22:57	30:47.7	2.85	12:30	19:30	SAO78297
3	C_Alhena	37:42.7	16:23:56	1.9	13:00	20:00	Alhena
4	D_Wasat	20:07.4	58:56.2	3.5	14:00	21:00	Wasat
5	E_Traf	16:30.9	11:07.1	3.5	14:30	21:30	SAO116569
6	F_Hydrobius	55:23.5	56:44.1	3.1	15:30	22:00	SAO117264
7	G_Algenubi	45:51.0	46:27.3	2.95	16:00	23:00	SAO81004
8	H_Adhafera	16:41.4	23:25:08	3.4	17:00	0:00	Adhafera
9	I_Zosma	14:06.6	31:24.4	2.55	17:30	0:30	Zosma
10	J_Denebola	49:02.9	34:17.3	2.1	18:30	1:30	Denebola
11	K_Vindemiatrix	02:10.3	57:33.8	2.85	19:00	2:00	Vindemiatrix
12	L_Muphrid	13:54:41	18:23:48	2.65	20:00	3:00	Muphrid
13	M_Izar	14:44:39	04:27.5	2.5	21:00	4:00	Izar
14	N_Alphacca	34:41.4	42:52.1	2.2	22:00	5:00	Alphecca

ตารางที่ ๓ ตารางวางแผนข้อมูลดาวสำหรับโปรแกรม ACP ใช้ในวันที่ 24 มีนาคม – 31 มีนาคม 2560

NO	The sky6	RA	DE	TIME	UTC	M
1	Athena	37:42.7	23:57.3	19:00-20:00	12:00-13:00	1.9
2	Gomeisa	07:27:09.043	17:21.5	20:00-21:00	13:00-14:00	2.89
3	SAO116569	16:30.9	11:08.0	21:00-22:00	14:00-15:00	3.53
4	SAO81004	45:51.1	46:27.3	22:00-23:00	15:00-16:00	2.95
5	Algieba	19:58.4	50:29.4	23:00-23:30	16:00-16:30	2
6	Zosma	14:06.5	31:25.4	23:30-1:00	16:30-18:00	2.55
7	Porrina	41:39.6	-01:26:57.750	1:00-2:00	18:00-19:00	2.74
8	Vindemiatrix	02:10.6	57:32.9	2:00-3:00	19:00-20:00	2.85
9	Izar	44:59.2	04:27.2	3:00-4:00	20:00-21:00	2.5
10	Alphecca	34:41.3	42:52.9	4:00-5:00	21:00-22:00	2.2
11	Kornephoros	30:13.2	29:22.6	5:00-6:00	22:00-23:00	2.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Altitudes, Thai National Observatory 98.4853E 18.5725N, 2457 m above sea level



รูปที่ ๓1 กราฟแสดงตำแหน่งดาวตามค่า RA DE ที่ระบุ ณ วันที่ 7 มีนาคม 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 ตารางแสดงการขึ้นตกของดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ในเดือนมีนาคม และเดือน
เมษายน จังหวัดเชียงใหม่ CHIANG MAI PROVINCE ละติจูด $18^{\circ} 47' 00''$ เหนือ ลองจิจูด 98°
 $59' 00''$ ตะวันออก

วันที่ DATE	มีนาคม - MARCH								เมษายน - APRIL							
	ดวงอาทิตย์				ดวงจันทร์				ดวงอาทิตย์				ดวงจันทร์			
	SUN				MOON				SUN				MOON			
	ขึ้น	แฉิมท	ตก	แฉิมท	ขึ้น	แฉิมท	ตก	แฉิมท	ขึ้น	แฉิมท	ตก	แฉิมท	ขึ้น	แฉิมท	ตก	แฉิมท
RISE	AZ	SET	AZ	RISE	AZ	SET	AZ	RISE	AZ	SET	AZ	RISE	AZ	SET	AZ	
h. m.	o	h. m.	o	h. m.	o	h. m.	o	h. m.	o	h. m.	o	h. m.	o	h. m.	o	
1	06:43	098	18:30	262	08:36	088	21:09	274	06:18	085	18:38	275	09:44	073	23:01	288
2	06:43	097	18:30	263	09:21	083	22:08	279	06:18	085	18:38	276	10:39	071	-	-
3	06:42	097	18:30	263	10:08	079	23:08	283	06:17	084	18:38	276	11:36	070	00:02	290
4	06:41	097	18:31	264	10:58	075	-	-	06:16	084	18:39	276	12:34	071	00:59	290
5	06:40	096	18:31	264	11:50	072	00:08	287	06:15	083	18:39	277	13:32	072	01:54	289
6	06:40	096	18:31	264	12:44	070	01:08	289	06:14	083	18:39	277	14:28	075	02:44	286
7	06:39	095	18:32	265	13:41	070	02:07	290	06:13	083	18:39	278	15:23	079	03:30	283
8	06:38	095	18:32	265	14:39	071	03:03	290	06:13	082	18:40	278	16:17	083	04:14	279
9	06:37	094	18:32	266	15:37	073	03:56	288	06:12	082	18:40	278	17:09	087	04:55	275
10	06:37	094	18:32	266	16:34	076	04:46	285	06:11	081	18:40	279	17:59	092	05:34	270
11	06:36	094	18:33	267	17:29	080	05:33	282	06:10	081	18:40	279	18:49	096	06:13	266
12	06:35	093	18:33	267	18:23	085	06:16	278	06:10	081	18:40	280	19:39	100	06:52	262
13	06:34	093	18:33	267	19:15	089	06:57	273	06:09	080	18:41	280	20:28	104	07:31	258
14	06:33	092	18:34	268	20:06	093	07:37	269	06:08	080	18:41	280	21:18	106	08:12	255
15	06:32	092	18:34	268	20:56	098	08:16	264	06:07	079	18:41	281	22:07	109	08:54	252
16	06:32	092	18:34	269	21:46	101	08:55	260	06:06	079	18:42	281	22:56	110	09:38	251
17	06:31	091	18:34	269	22:35	105	09:35	257	06:06	079	18:42	282	23:45	110	10:24	250
18	06:30	091	18:35	269	23:24	107	10:16	254	06:05	078	18:42	282	-	-	11:12	250
19	06:29	090	18:35	270	-	-	10:58	252	06:04	078	18:42	282	00:32	110	12:02	251
20	06:28	090	18:35	270	00:14	109	11:43	250	06:04	078	18:43	283	01:18	108	12:54	253
21	06:28	089	18:35	271	01:03	110	12:31	250	06:03	077	18:43	283	02:04	105	13:48	256
22	06:27	089	18:35	271	01:51	110	13:20	250	06:02	077	18:43	283	02:48	102	14:42	260
23	06:26	089	18:36	272	02:39	109	14:12	252	06:02	076	18:44	284	03:32	098	15:39	264
24	06:25	088	18:36	272	03:26	107	15:06	254	06:01	076	18:44	284	04:17	093	16:37	269
25	06:24	088	18:36	272	04:12	104	16:01	258	06:00	076	18:44	284	05:02	088	17:37	275
26	06:23	087	18:36	273	04:57	100	16:58	262	06:00	075	18:44	285	05:49	083	18:38	280
27	06:23	087	18:37	273	05:42	095	17:56	267	05:59	075	18:45	285	06:39	078	19:42	284
28	06:22	087	18:37	274	06:28	090	18:55	272	05:58	075	18:45	285	07:32	074	20:47	288
29	06:21	086	18:37	274	07:14	085	19:55	277	05:58	074	18:45	286	08:28	071	21:50	290
30	06:20	086	18:37	274	08:02	080	20:57	282	05:57	074	18:46	286	09:27	070	22:52	290
31	06:19	085	18:38	275	08:52	076	21:59	286								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

สมการการคาดการณ์ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์

ตารางที่ จ1 แสดงสมการการคาดการณ์ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์ในเดือนมีนาคม จำนวน 25 วัน

Date	Temperature	Humidity
3	$y = 0.0547x + 0.3766$ $R^2 = 0.0168$	$y = -0.0061x + 1.5331$ $R^2 = 0.0051$
4	$y = 0.0022x + 0.6369$ $R^2 = 0.0883$	$y = -0.0608x + 1.6754$ $R^2 = 0.1555$
5	$y = 0.0093x + 0.841$ $R^2 = 0.0015$	$y = 0.0026x + 0.8516$ $R^2 = 0.01$
6	$y = 0.0234x + 0.6795$ $R^2 = 0.0038$	$y = -0.0013x + 1.0937$ $R^2 = 0.0031$
7	$y = 0.1334x - 1.174$ $R^2 = 0.0506$	$y = 0.0032x + 0.6823$ $R^2 = 0.0029$
8	$y = 0.1246x - 1.1581$ $R^2 = 0.0734$	$y = -0.0115x + 1.5229$ $R^2 = 0.1972$
10	$y = -0.5348x + 9.0023$ $R^2 = 0.1272$	$y = 0.0856x - 6.0608$ $R^2 = 0.2564$
11	$y = -0.9567x + 15.021$ $R^2 = 0.3243$	$y = 0.0948x - 6.92$ $R^2 = 0.4994$
12	$y = -0.0141x + 0.8102$ $R^2 = 0.0038$	$y = 0.0019x + 0.447$ $R^2 = 0.0039$
13	$y = 0.2463x - 2.3035$ $R^2 = 0.1914$	$y = 0.0525x - 3.1124$ $R^2 = 0.5599$
14	$y = 0.1007x - 0.512$ $R^2 = 0.044$	$y = -0.0153x + 2.0517$ $R^2 = 0.0226$
15	$y = 0.0422x + 0.0476$ $R^2 = 0.0015$	$y = 0.0018x + 0.634$ $R^2 = 0.0076$
16	$y = -0.0199x + 0.8531$ $R^2 = 0.0063$	$y = 0.0005x + 0.5182$ $R^2 = 0.0009$
17	$y = 0.1603x - 1.7428$ $R^2 = 0.0495$	$y = -0.0008x + 0.7517$ $R^2 = 0.0002$
18	$y = 0.1818x - 2.0868$ $R^2 = 0.0802$	$y = -0.0004x + 0.6374$ $R^2 = 0.0005$
20	$y = -0.0597x + 1.871$ $R^2 = 0.0009$	$y = -0.0321x + 3.8117$ $R^2 = 0.0515$
21	$y = 0.3903x - 4.1854$ $R^2 = 0.7559$	$y = 0.0139x - 0.5537$ $R^2 = 0.1904$
22		$y = 0.0537x - 2.2843$ $R^2 = 0.368$
23	$y = 0.0663x + 0.0212$ $R^2 = 0.0362$	$y = -0.0135x + 2.0234$ $R^2 = 0.041$
24	$y = 0.1847x - 1.9717$ $R^2 = 0.1542$	$y = 0.0055x + 0.5156$ $R^2 = 0.0037$
25	$y = 0.0516x + 0.2654$ $R^2 = 0.0105$	$y = -0.0031x + 1.2576$ $R^2 = 0.0119$
26	$y = 0.0971x - 0.6601$ $R^2 = 0.203$	$y = -0.0089x + 1.4735$ $R^2 = 0.151$
27	$y = 0.5565x - 8.1401$ $R^2 = 0.0921$	$y = -0.0098x + 1.6686$ $R^2 = 0.002$
29	$y = -0.1098x + 2.2623$ $R^2 = 0.2581$	$y = -0.0014x + 0.6709$ $R^2 = 0.0026$
30	$y = 0.0813x - 0.3835$ $R^2 = 0.1181$	$y = -0.0094x + 1.5348$ $R^2 = 0.1156$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางคาดการณ์ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยใช้อุณหภูมิและความชื้นในการคาดการณ์จะได้สมการ
คาดการณ์ดังนี้

สมการคาดการณ์ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยใช้อุณหภูมิ

$$y=0.034T+0.35$$

สมการคาดการณ์ค่าทัศนวิสัยทางดาราศาสตร์โดยใช้ความชื้น

$$y=0.006H+0.27$$

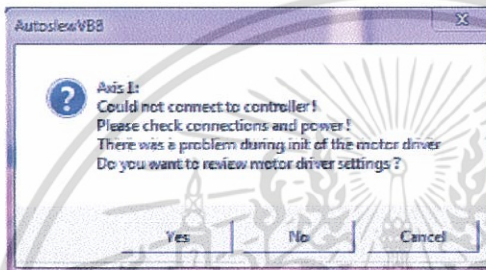


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

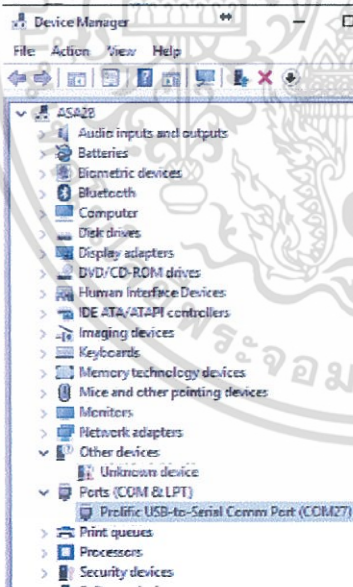
ปัญหาที่พบบ่อยระหว่างการศึกษ

1. Motor เสียงดัง Balance telescope Tune moter PID
 - P ค่าgain ส่วนขยาย I กับ D
 - D เบรก เมื่อ I มีค่ามากเกินไป
 - I ขึ้นกับเวลาถ้า Pไม่เข้าใกล้ 0 นานเท่าไร จะเข้ามาช่วย
2. ต่อTheSky6 ไม่ได้



Press Cancel.

Open your Windows Device Manager:



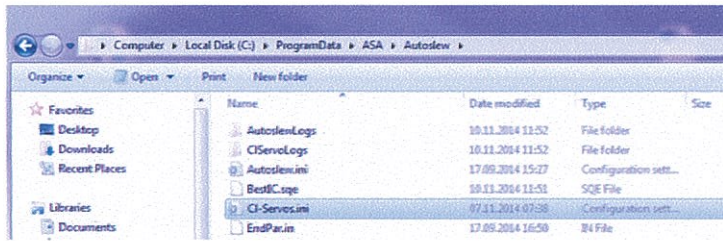
When you connect your mount to a usb port of your computer, it will be displayed as „Prolific USB-to-Serial Comm (COMXX)“.

Remember the displayed comport number. (27 in this case).

- เปลี่ยน Com port ในNote pad หรือ update scope

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Open the following directory:



Open the file "CI-Servos.ini" with your editor.

```

CI-Servos.ini - Notepad
File Edit Format View Help
[Servos - Change in INI]
Warn only on major Errors=True
Time (ms) frequency the controller checks for errors=1000
Baudrate (default is 115200)=115200
Comport=27
Latency Time for USB FTDI communication (default is 1)=5
USB Buffer Size for USB FTDI communication (default is 10)=10
Current Limit (A)=7
Current Peak Limit (A)=12
Current Peak Time (s)=2

[Controller Error Settings]
Error threshold for Phase Current (A)=13
If voltage > 48V then Ignore=True
If voltage > 48V then Report=False
If voltage > 48V then shut down Controller=False
If voltage < 12V then Ignore=True
If voltage < 12V then Report=False
If voltage < 12V then shut down controller=False
Temperature threshold for Controller=80
  
```



Look for the line "Comport" and replace the current value with the comport number shown by your device manager.

Save the file and close it. At the next start of Autoslew communication between Autoslew and your mount should work.

Attention: Do not edit any of the other values in the "CI-Servos.ini"-File. This could lead to malfunctions of your mount.

Tip: Always use the same USB port to connect your mount to your computer. This ensures that the comport number does not change.

3. Home แล้วตำแหน่งเพี้ยน

- Set park1 แล้วไม่ Home point ดาวเลย
- ทำตามขั้นตอน Home Find → set park1 → หมุนกล้องไป Zenith →  →  → Mount → Set current Pierside → East
- Alignment กล้องให้ตรง point ดาวแล้วอยู่กลางกล้องทุกดวงโดยไม่ต้องทำ pointing model คือเปิดกล้องมา point ดาวตรงเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Pier สั่นเกินไปไม่เห็นดาวเหนือ

- เอาตุ้มน้ำหนักมาเสริมที่ฐานให้สูงขึ้น
- ต่อ Pier ให้สูงขึ้น
- Point ดาวโดยใช้ดาวเหนือ Star diff ,Polar alignment หรือ หมุนกล้องไปที่ดาวที่รู้ค่า RA DE โดยใช้ดาวที่มีค่า DE เป็น 0 (Mintka เข็มขัดนายพราน) on motor track ดาวทิ้งไว้ แล้วดูว่าดาวเลื่อนไปทางไหน ปิดมอเตอร์ปรับฐานให้ดาวอยู่ตรงกลางกล้องหลัก ทำจนกว่าtrackดาวแล้วดาวอยู่กลางกล้องไม่ขยับไปไหนจึงถือว่าใช้ได้

5. ไฟตก ไฟดับ

- ติด UPS ไว้ในโดม เพราะมอเตอร์ที่ใช้จำเป็นต้องมีไฟเลี้ยงตลอดเวลา

6. ACP Delay

- ตรวจสอบความเร็วเน็ตและความเร็วคอมพิวเตอร์
- หาความสัมพันธ์ของการDelay แล้วทดเวลาในตารางดาว (4 min delay 1 min)

7. ACP ไม่Run ตามเวลาที่กำหนด

- เปลี่ยนจาก Normal เป็น Day/Night

8. ควรปิดโดมที่ความชื้นไม่เกิน 87% (ยอดดอยอินทนนท์) หรืออุณหภูมิกับDew point ต่างกันไม่เกิน 2° ถ้าจำเป็นต้องใช้กล้องต้องมีคนอยู่กับกล้องตลอดเวลา

9. คลายน็อตที่แกน RA DE ถ้าจะหมุนกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

