

การปรับข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFRSR สำหรับท้องฟ้าโปร่ง เพื่อการหาค่า
ความลึกเชิงแสงของละอองลอย

ปริญญาานิพนธ์
ของ
อภิญญา จิตรแจ้ง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
มีนาคม 2553

การปรับข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFRSR สำหรับท้องฟ้าโปร่ง เพื่อการหาค่า
ความลึกเชิงแสงของละอองลอย

ปริญญาานิพนธ์
ของ
อภิญญา จิตรแจ้ง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
มีนาคม 2553
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การปรับข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFRSR สำหรับท้องฟ้าโปร่ง เพื่อการหาค่า
ความลึกเชิงแสงของละอองลอย

บทคัดย่อ
ของ
อภิญญา จิตรแจ้ง

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
มีนาคม 2553

อภิญา จิตรแจ้ง. (2553). การปรับข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFRSR สำหรับ
ท้องฟ้าโปร่ง เพื่อการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย. ปรญาณิพนธ์ กศ.ม.
(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการ
ควบคุม: รองศาสตราจารย์อรุณี อินทสร, อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์

งานวิจัยนี้ได้แสดงขั้นตอนวิธีวิเคราะห์ และการแสดงผลของการหาค่าความลึกเชิงแสง
ของละอองลอยในคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์ (MFR-7)
ในช่วงความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร ที่อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย โดยมีการจัดหาข้อมูลรังสี
แสงอาทิตย์ที่ดีในช่วงท้องฟ้าโปร่งด้วยการปรับข้อมูลที่ได้จากการวัด ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงความ
สอดคล้องของค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากข้อมูลการวัดในช่วงที่ท้องฟ้าโปร่ง กับข้อมูล
ที่ได้จากการปรับข้อมูลท้องฟ้าโปร่งที่เหมาะสม โดยได้ทำการหาค่าละอองลอยในชั้นบรรยากาศในช่วง
10 วันต่อเนื่องซึ่งรวมถึงวันที่มีเมฆด้วย และได้ค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบเครื่องมือเท่ากับ 1.002 ± 0.005

CLEAR SKY FITTING OF MULTIFILTER ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER DATA
FOR AEROSOL OPTICAL DEPTH DETERMINATIONS

AN ABSTRACT
BY
APINYA CHITCHAENG

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Master of Education degree in Physics
at Srinakharinwirot University
March 2010

Apinya Chitchaeng. (2010). *Clear Sky Fitting of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer Data for Aerosol Optical Depth Determinations*. Master thesis, M.Ed. (Physics).
Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee:
Assoc.Prof. Arunee Intasorn, Siriluk Ruangrungrote.

The retrieval algorithm of atmospheric column Aerosol Optical depth (AOD) from multi-filter rotating shadow-band radiometer (MFR 7) data at 870 nm at Sri Samrong district in Sukhothai province of Thailand is described and validated. In order to provide good data for the retrieval, clear sky fitting of the measured data was provided. Results show good agreement on retrieval of AODs from measured data of identified clear sky periods and from good data of clear sky fitting data. Finally a 10-day-period of atmospheric column AOD was determined including the cloudy days with the instrumental calibration coefficient of 1.002 ± 0.005 .

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการปฏิญานิพนธ์สำหรับนิสิตในระดับบัณฑิตศึกษา
จาก
งบประมาณเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ประจำปี 2552

ประกาศคุณูปการ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วย ความกรุณา ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทศร ประธานควบคุมปริญญาานิพนธ์ และ อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ กรรมการควบคุมปริญญาานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไข ตลอดจนช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างมาก ตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย นาคะผดุงรัตน์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นประธานและคณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญาานิพนธ์ และความกรุณาให้คำแนะนำต่างๆ ที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์อัคนีวรุช ชะบางบอน ภาควิชาธรณีวิทยา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์มาทำการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำแนวคิด และหลักการต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินการทำปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่าน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ในภาควิชาฟิสิกส์ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกๆ คนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนแก่ผู้วิจัย ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

อภิญญา จิตรแจ้ง

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	2
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศ.....	3
ละอองลอย (Aerosols)	6
เครื่อง MFRSR (Multifilter Rotating Shadowband Radiometer).....	7
ความลึกเชิงแสงของละอองลอย(Aerosol Optical depth) และการวิเคราะห์ ของแลงเลย์(Langley Analysis)	9
การหาค่าคงตัวเพื่อการปรับเทียบของเครื่องมือ MFRSR.....	12
การพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) และการปรับค่าที่เหมาะสม (Empirical Fit) ของรังสีดวงอาทิตย์.....	13
การปรับเส้นกราฟ (Curve fitting)	18
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
3 วิธีดำเนินงานวิจัย	22
ศึกษาวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	22
วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7.....	23
การปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	26
การเปรียบเทียบข้อมูลจากเครื่อง MFR-7 กับข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสม ของรังสีดวงอาทิตย์.....	28
4 ผลการทดลองและการอภิปราย	29
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7.....	29
ผลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	33
ผลการเปรียบเทียบข้อมูลของเครื่อง MFR-7 กับข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสม ของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์.....	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	67
สรุปผลการทดลอง.....	67
ข้อเสนอแนะ.....	68
 บรรณานุกรม.....	 70
 ภาคผนวก.....	 72
โปรแกรม Microsoft Excel.....	73
 ประวัติย่อผู้วิจัย.....	 76

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

- 1 ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงรวม และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ จากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 พร้อมทั้งแสดงค่าปรับเทียบของเครื่องมือ ตั้งแต่วันที่ 11 - 20 มกราคม พ.ศ.2546..... 58
- 2 ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงรวม และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งแสดงค่าสัมประสิทธิ์ การถดถอย a และ b ตั้งแต่วันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ.2546..... 64
- 3 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ จากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ตั้งแต่วันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ.2546..... 65

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 แสดงรูปทางเรขาคณิตของเครื่อง Multifilter Rotating Shadowband Radiometer.....	7
2 แสดงความลึกเชิงแสง (Optical Depths) ขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกตามความยาวคลื่นที่เครื่อง MFRSR ตรวจวัดได้.....	9
3 แสดงกราฟระหว่างลึกลับฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีของสเปกตรัม (Spectral irradiance) กับ มวลอากาศ (air mass).....	11
4 แสดงแสดงอัตราส่วนการแพร่ของรังสีดวงอาทิตย์กับเวลา กับเวลา(เส้นหนา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของรังสีดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นบาง) ของวันที่ทำการทดสอบ.	15
5 แสดงผลการวัดรังสีรวมจากเครื่อง MFRSR(เส้นดำเข้ม) และผลการวัดรังสีแพร่ของรังสีดวงอาทิตย์(เส้นดำ) เทียบกับผลที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมสำหรับรังสีดวงอาทิตย์(เส้นจาง) กับเวลาของวันที่ทำการทดสอบ.....	17
6 แสดงกราฟที่ได้จากการปรับแบบถดถอย.....	19
7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น).....	29
8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546.....	30
9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึกลับฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ติดตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546.....	31
10 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $tm - \tau_{Rayleigh}m$ กับ m	32
11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับค่าโคไซน์ของมุมเซนิตดวงอาทิตย์ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546.....	34
12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546.....	34

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับค่าโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์ ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546.....	35
14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกจากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546.....	35
15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึกลงฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับมวลอากาศ ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546.....	36
16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2546.....	38
17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2546.....	38
18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2546.....	39
19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2546.....	39
20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2546.....	40
21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2546.....	40
22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2546.....	41

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2546.....	46
33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของวันที่ 20 มกราคม พ.ศ.2546.....	47
34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 11 มกราคม พ.ศ.2546.....	48
35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546.....	48
36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2546.....	49
37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2546.....	49
38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 16 มกราคม พ.ศ.2546.....	50
39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546.....	50
40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546.....	51

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศของวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2546.....	51
42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศของวันที่ 20 มกราคม พ.ศ.2546.....	52
43 กราฟแสดงผลการหาค่าเปรียบเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูลที่มีความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 11 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m	53
44 กราฟแสดงผลการหาค่าเปรียบเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูลที่มีความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m	53
45 กราฟแสดงผลการหาค่าเปรียบเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูลที่มีความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m	54
46 กราฟแสดงผลการหาค่าเปรียบเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูลที่มีความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m	54
47 กราฟแสดงผลการหาค่าเปรียบเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูลที่มีความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 16 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m	55
48 กราฟแสดงผลการหาค่าเปรียบเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูลที่มีความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m	55
49 กราฟแสดงผลการหาค่าเปรียบเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูลที่มีความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m	56

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
50 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง $mn - \tilde{\tau}_{Rayleigh}m$ กับ m	56
51 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 20 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่าง $mn - \tilde{\tau}_{Rayleigh}m$ กับ m	57
52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับ มวลอากาศ ของวันที่ 11 มกราคม พ.ศ.2546.....	59
53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับ มวลอากาศ ของวันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546.....	59
54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับ มวลอากาศ ของวันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2546.....	60
55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับ มวลอากาศ ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2546.....	60
56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับ มวลอากาศ ของวันที่ 16 มกราคม พ.ศ.2546.....	61
57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับ มวลอากาศ ของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546.....	61
58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับ มวลอากาศ ของวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546.....	62

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- 59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์
ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับ
มวลอากาศ ของวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2546..... 62
- 60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์
ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับ
มวลอากาศ ของวันที่ 20 มกราคม พ.ศ.2546..... 63
- 61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจาก
ข้อมูลของเครื่อง MFR-7(เส้นตรง) และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้น
บรรยากาศที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมสำหรับรังสีดวงอาทิตย์จากแบบจำลอง
คณิตศาสตร์(เส้นประ) ตั้งแต่วันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ.2546..... 66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

ปัจจุบันสภาพชั้นบรรยากาศของโลก มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากมาย อันเนื่องมาจากปัจจัยต่างๆ ตามธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์ จะเห็นได้จากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ที่ทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศ (Air Pollution) และการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming) ซึ่งเป็นปัญหาใหญ่สำหรับโลกเราที่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงบนผิวโลกอย่างมาก ดังเช่นการที่น้ำแข็งบริเวณขั้วโลกละลาย สภาพภูมิอากาศที่ไม่เสถียร รวมทั้งภัยพิบัติทางธรรมชาติอีกมากมาย เช่น พายุหมุน พายุเฮอริเคน ดังนั้นการศึกษาด้านสภาพภูมิอากาศ (Climatology) และฟิสิกส์ธรณี (Geophysics) จึงมีความสำคัญอย่างมาก

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพชั้นบรรยากาศของโลกก็คือ ละอองลอย (Aerosol) ที่แขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศ โดยละอองลอยสามารถดูดกลืน (Absorption) และกระเจิง (Scattering) รังสีดวงอาทิตย์ก่อนตกลงมาถึงพื้นโลก จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ปริมาณรังสีสุทธิ (Net radiation) ที่โลกได้รับเกิดการเปลี่ยนแปลง เพราะฉะนั้นเราจึงใช้เครื่องวัดรังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiometer) ในการวัด โดยเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์มีหลายชนิดด้วยกัน เครื่อง MFRSR : Multifilter Rotating Shadowband Radiometer เป็นเครื่องวัดรังสีของดวงอาทิตย์ชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถวัดรังสีของแสงอาทิตย์ได้หลายความยาวคลื่น คือช่วงความยาวคลื่น 415 500 615 670 870 และ 940 นาโนเมตร เพราะแต่ละความยาวคลื่นมีความไวต่อโมเลกุลทั้งหลายของชั้นบรรยากาศแตกต่างกัน ละอองลอยก็เป็นโมเลกุลชนิดหนึ่งของชั้นบรรยากาศ ดังนั้นในการศึกษาละอองลอยในชั้นบรรยากาศ จะใช้ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFRSR เพื่อนำมาวิเคราะห์หาละอองลอยในชั้นบรรยากาศของโลก

ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้นำเครื่อง MFRSR ไปติดตั้งที่สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีบรรยากาศ ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ในปี พ.ศ. 2546 เพื่อวิเคราะห์หาละอองลอยในชั้นบรรยากาศ โดยข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง MFRSR นี้ นับว่าน่าสนใจต่อการนำมาวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อหาค่าละอองลอยในชั้นบรรยากาศบริเวณที่วัด เพื่อประโยชน์ต่อการศึกษาละอองลอยในชั้นบรรยากาศของประเทศไทยต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อเรียนรู้การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก และหลักการการทำงานของเครื่อง MFRSR (Multifilter Rotating Shodowband Radiometer)
2. เพื่อศึกษาวิธีการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยด้วยข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่อง MFRSR ในประเทศไทย
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการปรับข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky fitting) เพื่อประโยชน์ต่อการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. เรียนรู้การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก และหลักการการทำงานของเครื่อง MFRSR (Multifilter Rotating Shodowband Radiometer)
2. ศึกษาวิธีการเลือกข้อมูลที่วัดได้ ให้ได้ข้อมูลเฉพาะช่วงสภาพท้องฟ้าโปร่งเท่านั้น และศึกษาแนวทางการคำนวณการปรับหาข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง
3. วิเคราะห์ข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง MFRSR ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศเหนือบริเวณ ณ สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ในช่วงวันที่ 11 - 20 มกราคม พ.ศ.2546 โดยใช้การวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley analysis) พร้อมแสดงผลด้วยกราฟ โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel
4. ตรวจสอบน่าเชื่อถือของข้อมูลท้องฟ้าโปร่งที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง โดยเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง กับข้อมูลการปรับหาข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky fitting) สำหรับ 10 วัน ต่อเนื่องโดยไม่มีการยกเว้นวันที่มีเมฆมาก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ในชั้นบรรยากาศเหนือบริเวณ ณ สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ของประเทศไทย จากการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดจากเครื่อง MFRSR เพื่อเป็นแนวทางในการวิเคราะห์สภาพอากาศของประเทศไทยต่อไป
2. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้คาดหมายความน่าจะเป็นข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง ในการคำนวณความลึกเชิงแสงของละอองลอย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ละอองลอยที่น่าเชื่อถือต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตามหัวข้อต่อไปนี้

- 2.1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศ
- 2.2 ละอองลอย (Aerosols)
- 2.3 เครื่อง MFRSR (Multifilter Rotating Shadowband Radiometer)
- 2.4 ความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical depth) และการวิเคราะห์ของแลงเลย์ (Langley Analysis)
- 2.5 การหาค่าคงตัวเพื่อการปรับเทียบของเครื่องมือ MFRSR
- 2.6 การพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) และการปรับค่าที่เหมาะสม (Empirical Fit) ของรังสีดวงอาทิตย์
- 2.7 การปรับเส้นกราฟ (Curve fitting)
- 2.8 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศ

2.1.1 องค์ประกอบของชั้นบรรยากาศโลก¹

โดยทั่วไปองค์ประกอบของบรรยากาศแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- 1) อากาศแห้ง ประกอบด้วยโมเลกุลของแก๊สต่างๆ ได้แก่ ไนโตรเจน ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สเฉื่อย ปริมาณของแก๊สเหล่านี้ขึ้นกับสถานที่ และสภาพภูมิอากาศ
- 2) ไอน้ำ เกิดจากน้ำบนพื้นโลกเมื่อได้รับพลังงานความร้อน จึงเกิดการระเหย กลายเป็นไอลอยเข้าไปสู่ในชั้นบรรยากาศ ปริมาณของไอน้ำนิยมนบอกเป็นความสูงของคอลัมน์น้ำ
- 3) ฝุ่น เป็นอนุภาคของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศ สามารถบอกปริมาณของฝุ่นได้หลายวิธี เช่น จำนวนอนุภาคของฝุ่นต่อ 1 หน่วยปริมาตรของอากาศ หรือ ในรูปของทัศนวิสัย (Visibility) และสภาพขุ่นมัว (Turbidity) ของบรรยากาศ เป็นต้น

¹ เสริม จันทรังษาย และคณะ. (2548). รายงานวิจัยโครงการ: การจัดทำคู่มือข้อมูลมาตรฐานภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในงานด้านพลังงานทดแทน. หน้า 18.

2.1.2 การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์¹

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดที่โลกได้รับ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และระบบวงจรอุทกวิทยาของน้ำในส่วนต่างๆของโลก โดยที่ผิวของดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิประมาณ 6000°C ซึ่งจะแผ่รังสีออกไปทุกทิศทุกทางในรูปสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของพลังงานของการแผ่รังสีพลังงาน (Electromagnetic spectrum of radiant energy) ที่เดินทางเป็นเส้นตรงจากดวงอาทิตย์มาถึงโลกเป็นระยะทาง 150 ล้านกิโลเมตร หรือ 93 ล้านไมล์ ด้วยความเร็วประมาณ 300,000 km/s หรือ 186,000 mile/s ใช้เวลาเดินทางประมาณ $8\frac{1}{2}$ วินาที ซึ่งพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลกนั้นจะไม่สูญหายระหว่างทาง แต่ขนาดความเข้มของลำแสงจะน้อยลงตามระยะทางที่ห่างจากดวงอาทิตย์ จะทำให้โลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ประมาณ $1/2,000,000$ เท่าของพลังงานความร้อนทั้งหมด

พลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วย

- 1) รังสีคลื่นสั้น (Shortwave radiation) มีรังสีเอ็กซ์ (X-rays) รังสีแกมมา (Gamma rays) และรังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) ประมาณ 9% ของพลังงานทั้งหมด
- 2) รังสีที่มองเห็น (Visible light) มีแสงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า 7 สี ได้แก่ สีม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และสีแดง มีอยู่ประมาณ 41% ของพลังงานทั้งหมด
- 3) รังสีคลื่นยาว (Longwave radiation) ได้แก่ รังสีอินฟราเรด (Infrared rays) ไมโครเวฟ (Microwave radar) คลื่นทีวี และคลื่นวิทยุ มีอยู่ประมาณ 50% ของพลังงานทั้งหมด

2.1.3 ชนิดของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงสู่พื้นโลก²

รังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านทะเลอวกาศลงมาจนถึงพื้นผิวโลกส่วนใหญ่ จะประกอบด้วยรังสีชนิดต่างๆ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

รังสีตรงของดวงอาทิตย์ (Direct solar radiation) หมายถึง รังสีตกกระทบพื้นโลกโดยตรงและไม่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทาง

รังสีแผ่ของดวงอาทิตย์ (Diffuse solar radiation) หมายถึง รังสีที่มีทิศทางเปลี่ยนแปลงไปโดยการกระเจิงจากโมเลกุลของแก๊สต่างๆ และสารแขวนลอยในบรรยากาศ

รังสีรวมของดวงอาทิตย์ (Total or Global Solar radiation)³ หมายถึง รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมด ประกอบด้วยรังสีตรง และรังสีแผ่ของดวงอาทิตย์ ที่ได้รับในแนวระนาบ

¹ กীরติ ลีวัจนกุล. (2543). *อุทกวิทยา*. หน้า 2-5.

² รังสรรค์ อากาศพิภวะกุล. *อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น*. หน้า 45.

³ *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*. (2000). p. 1-4.

2.1.4 ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant)¹

อัตราการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงชั้นบนสุดของบรรยากาศของโลก เรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (S_0) คือ พลังงานแสงอาทิตย์ทุกความยาวคลื่นที่ตกกระทบตั้งฉากบนพื้นที่ 1 หน่วย ต่อ 1 หน่วยเวลา ณ ตำแหน่งห่างจากดวงอาทิตย์ 1 AU นอกบรรยากาศโลก ค่าดังกล่าวมีความสำคัญและจำเป็นต้องใช้ในการคำนวณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลก จากการวัดภาคพื้นดินและการวัดโดยอาศัยบอลลูนและเครื่องบินในระดับสูง พบว่าค่าคงที่ S_0 ที่ยอมรับขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorology Organization, WMO) มีค่าเท่ากับ 1367 W/m^2 หรือ $4,921 \text{ kJ/m}^2\text{-hr}$

2.1.5 มวลอากาศเชิงแสง (Optical air mass)²

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมายังผิวโลกจะถูกดูดกลืน (Absorption) และกระเจิง (Scattering) โดยโมเลกุลของอากาศ ไอน้ำ และฝุ่นละออง ทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ถึงพื้นโลกมีปริมาณลดลง การลดลงนี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับชนิดและปริมาณของอนุภาคต่างๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของบรรยากาศ หรือขึ้นกับมวลอากาศในคอลัมน์ที่รังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่าน (m_{act}) ซึ่งสามารถหาได้จาก

$$m_{act} = \int \rho ds \quad (2-1)$$

เมื่อ m_{act} คือ มวลอากาศเชิงแสงที่รังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่าน

s คือ ทางเดินจริงของรังสีดวงอาทิตย์

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ

สำหรับกรณีที่รังสีดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับผิวโลก จะได้มวลของอากาศ $m_{act,v}$ ดังสมการ

$$m_{act,v} = \int \rho dz \quad (2-2)$$

เมื่อ z ระยะทางในแนวตั้งฉากกับผิวโลก โดยนิยามมวลอากาศสัมพัทธ์ที่รังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่าน (m_r) ว่าเป็นอัตราส่วนของ m_{act} ต่อ $m_{act,v}$ หรือ

$$m_r = \frac{\int \rho ds}{\int \rho dz} \quad (2-3)$$

¹ เสริม จันทร์ฉาย และคณะ. (2548). รายงานวิจัยโครงการ: การจัดทำคู่มือข้อมูลมาตรฐานภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในงานด้านพลังงานทดแทน. หน้า 15.

² แหล่งเดิม. หน้า 18-19.

ค่า m_r นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณการดูดกลืน และการกระเจิงของรังสีดวงอาทิตย์ โดยองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศโลก ถ้าอนุโลมว่า รังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศมาถึงพื้นโลกเป็นเส้นตรง สามารถหา m_r ได้ดังสมการ

$$m_r = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (2-4)$$

โดย θ_z คือ มุมเซนิทดวงอาทิตย์ (Solar zenith angle) ซึ่งได้แก่มุมที่รังสีดวงอาทิตย์ตกสัมพันธ์กับระนาบตั้งฉากกับพื้นโลก

ค่า m_r ที่หาจากสมการนี้จะมีความแม่นยำมากขึ้น เมื่อดวงอาทิตย์อยู่สูงจากขอบฟ้ามากๆ

2.2 ละอองลอย (Aerosols)¹

ละอองลอย คืออนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่ลอยอยู่ในบรรยากาศที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.001-100 μm สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยแบ่งออกได้เป็น

2.2.1 ละอองลอยปฐมภูมิ (Primary aerosol)

เป็นละอองลอยที่เข้าสู่บรรยากาศโดยตรงจากแหล่งกำเนิด ได้แก่ ขี้เถ้า (Fly ash) จากโรงงานอุตสาหกรรม เกลือทะเล (Sea salt) จากพื้นผิวมหาสมุทรและฝุ่น (dust) จากการกัดเซาะเนื่องจากลม

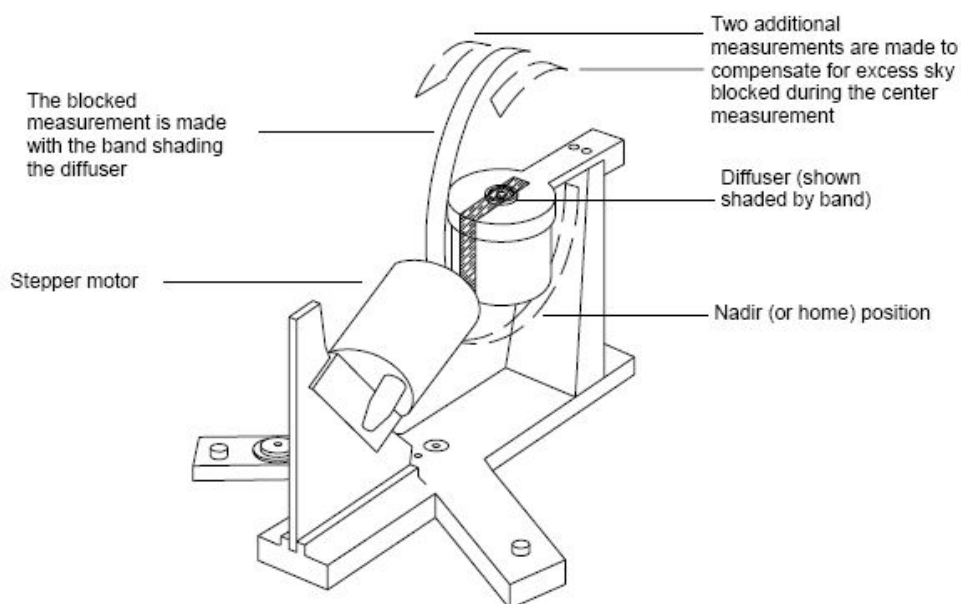
2.2.2 ละอองลอยทุติยภูมิ (Secondary aerosol)

เป็นละอองลอยที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ระหว่างแก๊ส และของเหลว เช่น ละอองลอยซัลเฟต (Sulphate aerosol) ที่เกิดจากไดเมทิลซัลไฟด์ (Dimethyl sulphide) ซึ่งปล่อยออกมาจากแพลงตอน และละอองลอยซัลเฟอร์ (Sulphur aerosol) ซึ่งมาจากการเผาไหม้ของพลังงานเชื้อเพลิง

ละอองลอยสามารถแขวนลอยได้ตั้งแต่ไม่กี่นาที่ถึงหลายๆ สัปดาห์ ละอองลอยสามารถดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ และเป็นแกนกลางในการก่อตัวของก้อนเมฆ ทำให้มีผลต่อปริมาณรังสีสุทธิต่พื้นผิวโลกได้รับ

¹ สมชาย นาคะผดุงรัตน์; และคณะ. (2545). การศึกษาคุณสมบัติทางทัศนศาสตร์ของละอองฝุ่นในบรรยากาศโดยใช้ข้อมูลจากไลดาร์ ณ สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีในบรรยากาศ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย. (เอกสารแนบโครงการวิจัย). ไม่ปรากฏเลขหน้า.

2.3 เครื่อง MFRSR (Multifilter Rotating Shadowband Radiometer)¹



ภาพประกอบ 1 แสดงรูปทางเรขาคณิตของเครื่อง Multifilter Rotating Shadowband Radiometer

ที่มา : *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*. (2000). p.1-4.

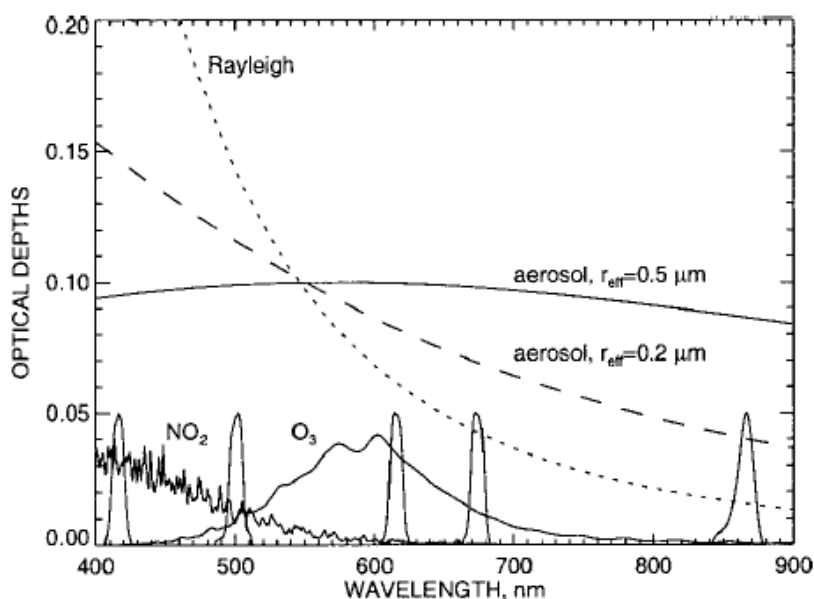
เครื่อง Multifilter Rotating Shadowband Radiometer หรือ เครื่อง MFRSR ดังภาพประกอบ 1 เป็นเครื่องที่สามารถวัดลำรังสีดวงอาทิตย์ (Solar beam) และการแพร่ (Diffuse) ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมาสู่พื้นโลก โดยประกอบด้วยส่วนที่เป็นหัววัดแสง และส่วนที่ยื่นออกมาบังรังสีดวงอาทิตย์ โดยเครื่องมือจะอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของแถบเงา ซึ่งจะควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ เมื่อแถบเงาเคลื่อนที่มาบังหัววัดแสง จะทำให้ได้ค่ารังสีแพร่ของดวงอาทิตย์ออกมา และรังสีรวมของดวงอาทิตย์วัดได้ในขณะที่ไม่มีแถบเงามาบัง ส่วนรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากจะคำนวณจากนำรังสีแพร่ไปหักออกจากรังสีรวมของดวงอาทิตย์ จากนั้นหารด้วยค่าโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์ โดยแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$I_{Direct \perp} = \frac{I_{Total} - I_{Diffuse}}{\cos(z)} \quad (2-5)$$

¹ Alexandrov, Mikhail D.; et al. (2002). Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer. Part I: Retrieval Algorithm. *Journal of The Atmospheric Sciences*. 59: 524-525.

เมื่อ	$I_{Direct\perp}$	คือ ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉาก
	I_{Total}	คือ ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์
	$I_{Diffuse}$	คือ ความเข้มรังสีแผ่ของดวงอาทิตย์
	z	คือ มุมเซนธิรดวงอาทิตย์

โดยเครื่อง MFRSR ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เครื่องที่เรียกว่า MFR-7 สามารถวัดรังสีดวงอาทิตย์ได้ที่มีความยาวคลื่น 7 ช่วง พร้อมกันทุกๆ 1 นาที ตลอดทั้งวัน ได้แก่ ช่วงความยาวคลื่น 415 500 615 670 870 และ 940 nm และอีก 1 ช่วง เป็นการวัดในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (Broadband) โดยในช่วงความยาวคลื่น 940 nm นั้น พบว่าการวัดมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากปริมาณไอน้ำอยู่มาก และพบการดูดกลืนของแก๊ส (Gaseous absorbers) ต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ โดยพบการดูดกลืนของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) มาก ในช่วงความยาวคลื่น 415 และ 500 nm และพบการดูดกลืนของโอโซน (O_3) ในช่วงความยาวคลื่น 500 615 และ 670 nm ส่วนการดูดกลืนของละอองลอย (Aerosol) และการกระเจิงเรย์ลีห์ (Rayleigh scattering) นั้น มีผลต่อทุกช่วงความยาวคลื่นที่เครื่อง MFRSR ตรวจวัดได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 2 ที่แสดงค่าความลึกเชิงแสงเรย์ลีห์ (Rayleigh) โดยวัดที่ความดันอากาศ 1013.25 mb และการคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth) ที่คิดจากขนาดของละอองลอยที่มีรัศมี 0.2 μm และ 0.5 μm ลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศในช่วงความยาวคลื่น 400-900 nm ซึ่งจะสังเกตเห็นว่ามีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.1 ที่ความยาวคลื่น 550 nm นอกจากนี้มีการแสดงการคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของ NO_2 และ O_3 ด้วย



ภาพประกอบ 2 แสดงความลึกเชิงแสง (Optical Depths) ขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกตามความยาวคลื่นที่เครื่อง MFRSR ตรวจวัดได้

ที่มา: Alexandrov, Mikhail D.; et al. (2002). Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer. Part I: Retrieval Algorithm. *Journal of The Atmospheric Sciences*. 59: 525.

2.4 ความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical depth) และการวิเคราะห์แบบแลงเลย์¹ (Langley Analysis)

ความลึกเชิงแสง (Optical Depth) คือ ค่าที่บ่งบอกว่าแสงจะทะลุผ่านวัตถุหนึ่งไปได้มากน้อยเท่าใด โดยปริมาณของแสงที่ส่องผ่านวัตถุจะขึ้นอยู่กับค่าความลึกเชิงแสง ถ้าค่าความลึกเชิงแสงมีค่ามาก แสงทะลุผ่านวัตถุได้น้อย ดังนั้นถ้ามีปริมาณวัตถุหนาแน่นมากค่าความลึกเชิงแสงของวัตถุ ชนิดนั้นก็มีค่ามากด้วย

กระบวนการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Analysis) นั้น เป็นวิธีการหาค่าความลึกเชิงแสง จากการวัดรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนพื้นโลก ซึ่งอาจจะผ่านละอองลอย โมเลกุลของน้ำ หรือชั้นโอโซนในบรรยากาศลงมาด้วย โดยแสดงความสัมพันธ์เบื้องต้น ได้ว่า

$$I = I_0 \exp(-\tau m) \quad (2-6)$$

¹ MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10. (2000). p. 3-5.

- เมื่อ I คือ ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่จุดวัด
 I_0 คือ ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่เหนือชั้นบรรยากาศ
 τ คือ ความลึกเชิงแสงรวมของชั้นบรรยากาศในแนวตั้งฉากกับพื้นโลก
 m คือ มวลอากาศ (Air mass) ที่สัมพันธ์กับรังสีดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลก

มวลอากาศ (Air mass) ที่สัมพันธ์กับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกนั้น สามารถหาได้จาก (Kasten and Young, 1989)

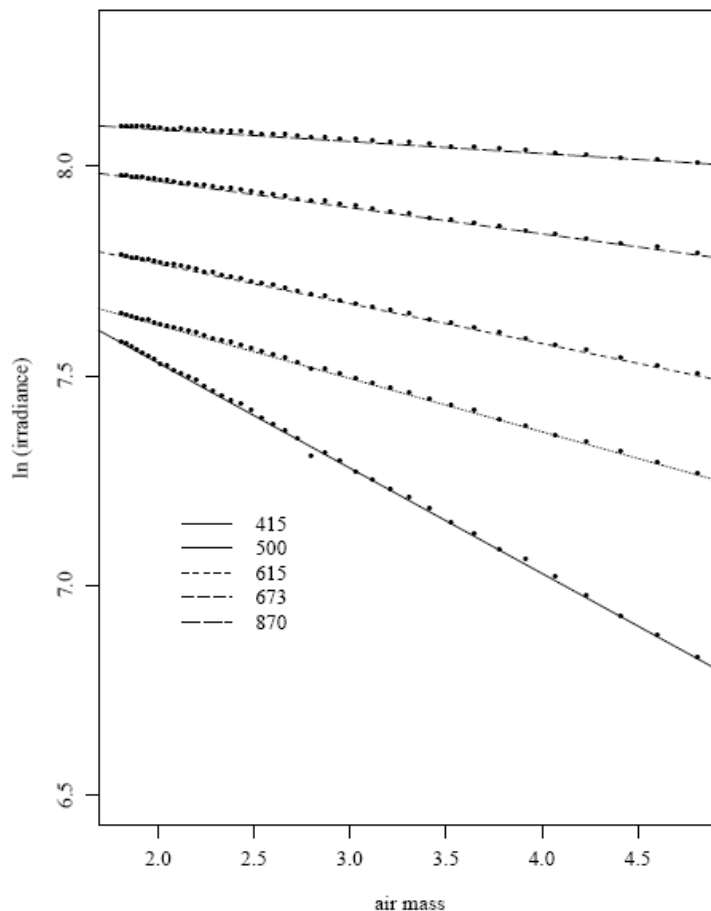
$$m = [\sin(el) + 0.50572(6.07995 + el)^{-1.6364}]^{-1} \quad (2-7)$$

เมื่อ el คือ มุมเงย (Elevation angle) ในหน่วยขององศา
 จากสมการ (2-5) เป็นสมการในรูปเอ็กโพเนนเชียล เมื่อต้องการหาค่าความลึกเชิงแสง (τ) ทำได้โดยการเขียนในเทอมของลอการิทึมธรรมชาติ (Natural logarithm) จะได้

$$\ln I = \ln I_0 - \tau m \quad (2-8)$$

เมื่อพลอตกราฟระหว่าง $\ln I$ กับ m ในสภาพท้องฟ้าที่โปร่งตลอดวัน จะได้กราฟเส้นตรงซึ่งมีค่าความชันเป็นลบ โดยขนาดของความชันเป็นค่าความลึกเชิงแสง (τ) และจุดตัดแกน y คือ $\ln I_0$

กราฟที่ได้จะแสดงดังภาพประกอบ 3 ซึ่งแสดงข้อมูลมวลอากาศ (air mass) ระหว่าง 1.8 – 4.8 ในช่วงเช้าที่สถานี Mauna Loa Observatory จะเห็นว่าแสดงเป็นเส้นตรงที่สมบูรณ์มาก โดยจะเห็นว่าในช่วงความยาวคลื่น 415 และ 500 nm มีแค่หนึ่งจุดที่ไม่อยู่บนเส้น และถ้าเครื่องมือวัดมีสเปกตรัม ค่า I_0 ของทุกความยาวคลื่นที่วัดมาจากระยะทางของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม จะสามารถใช้ได้กับทุกความยาวคลื่นของการวัด I และใช้ในการคำนวณหาค่า m รวมไปถึงการใช้คำนวณหาความลึกเชิงแสง (Optical Depths) ทุกๆ ที่ทุกๆ เวลา ที่มีการตรวจวัดอีกด้วย



ภาพประกอบ 3 แสดงกราฟระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของค่าความเข้มรังสีของสเปกตรัม (Spectral irradiance) กับ มวลอากาศ (Air mass)

ที่มา: *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*. (2000). p. 3-7.

การคำนวณความลึกเชิงแสงรวมทั้งหมดจากการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ หรือจากเครื่องวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ หรือจากเครื่อง MFRSR ค่าของรังสีดวงอาทิตย์เกิดการหายไปจากส่วนประกอบหลายอย่างในชั้นบรรยากาศของโลก เช่น การกระเจิงเรย์ลีห์ (Rayleigh Scattering) การดูดกลืนของโอโซน (Ozone absorption) การดูดกลืนของไอน้ำ (Water vapor absorption) และการสิ้นสุดเนื่องจากละอองลอย (Aerosol extinction) สามารถแจกแจงเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\tau = \tau_{\text{Rayleigh}} + \tau_{\text{ozone}} + \tau_{\text{H}_2\text{O}} + \tau_{\text{aerosol}} \quad (2-9)$$

โดยที่ τ_{Rayleigh} คือ ความลึกเชิงแสงจากการกระเจิงเรย์ลีห์

τ_{ozone}	คือ ความลึกเชิงแสงของชั้นโอโซน
τ_{H_2O}	คือ ความลึกเชิงแสงของน้ำในชั้นบรรยากาศ
$\tau_{aerosol}$	คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย

โดยยกเว้นที่ความยาวคลื่น 940 nm เนื่องจากที่ความยาวคลื่นดังกล่าวจะมีแต่การดูดกลืนของไอน้ำ (Water vapor absorption) เท่านั้น ส่วนของการกระเจิงเรย์ลีห์ สามารถหาได้จาก (Hansen and Travis, 1974)

$$\tau_{Rayleigh} = 0.008569\lambda^{-4} \left(1 + 0.0113\lambda^{-2} + 0.00013\lambda^{-4}\right) \frac{P}{P_0} \quad (2-10)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นในหน่วย (μm) และ P คือ ความดันบรรยากาศ ณ จุดวัด ซึ่งสัมพันธ์กับ ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล P_0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1013.25 mb

2.5 การหาค่าคงตัวเพื่อการปรับเทียบของเครื่องมือ MFRSR¹

เนื่องจากเครื่องมือที่เราใช้วัดอาจมีความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ ซึ่งอาจมาจากประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด หรืออาจมาจากสภาพแวดล้อมบริเวณเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัด หรืออาจมาจากการติดตั้งเครื่องมืออาจมีความเอียง เนื่องจากเครื่อง MFRSR เป็นเครื่องมือที่รับรังสีของดวงอาทิตย์ ถ้าการติดตั้งเครื่องมือมีความเอียง ก็จะมีผลต่อมุมที่รับรังสีของดวงอาทิตย์มีความคลาดเคลื่อนไป เพราะฉะนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลการวัดที่ถูกต้อง จึงควรมีการหาค่าตัวเพื่อการปรับเทียบของเครื่องมือ โดยสมการของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลกที่ผ่านชั้นบรรยากาศอาจแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

$$I = CI_0 \exp(-\tilde{\tau}m) \quad (2-11)$$

เมื่อ $\tilde{\tau}$	คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมของชั้นบรรยากาศซึ่งมีการปรับเทียบ
I_0	คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่เหนือชั้นบรรยากาศ
m	คือ มวลอากาศที่สัมพันธ์กับรังสีดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลก
C	คือ ค่าปรับเทียบของเครื่องมือ

¹ Alexandrov, Mikhail D. and others. (2002). Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer. Part I: Retrieval Algorithm. *Journal of The Atmospheric Sciences*. 59: 526-527.

จากสมการ (2-11) สามารถแสดงในเทอมของค่าความลึกเชิงแสงของชั้นบรรยากาศได้ดังนี้

$$\tilde{\tau}m = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right) - c \quad (2-12)$$

ซึ่งในที่นี้เราจะให้

$$c = -\ln C \quad (2-13)$$

ถ้าให้ τ เป็นค่าความลึกเชิงแสงของชั้นบรรยากาศซึ่งไม่ได้มาจากการปรับเทียบค่าเครื่องมือ นั่นคือ ค่าความลึกเชิงแสงจากสมการ (2-6) สามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ว่า

$$\tau m = -\ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

ดังนั้นสมการ (2-12) จะเขียนใหม่ได้ว่า

$$\tau m = \tilde{\tau}m + c \quad (2-14)$$

เมื่อนำมาพลอตกราฟตามแบบของแลงเลย์ (Langley plot) ระหว่าง τm กับ m ขนาดของความชันคือ $\tilde{\tau}$ และจุดตัดของแกน y คือ c นั่นเอง

2.6 การพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) และการปรับค่าที่เหมาะสม (Empirical Fit) ของรังสีดวงอาทิตย์

2.6.1 การพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky)

จากการวัดรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาสู่พื้นโลกนั้น สภาพท้องฟ้าตลอดทั้งวันอาจจะไม่โปร่งตลอดทั้งวัน บางช่วงเวลาของการวัดอาจจะมีเมฆ เพราะฉะนั้นเราจึงต้องหาผลของการวัดในช่วงเวลาที่ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งจะหาได้จาก

วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ¹ (Normalized diffuse ratio variability Test) โดยหาค่า อัตราส่วนการแพร่ (Diffuse ratio) จาก

$$D = \frac{I_{Diffuse}}{I_{Total}} \quad (2-15)$$

เมื่อ D คือ อัตราการแพร่ของรังสีดวงอาทิตย์
 $I_{Diffuse}$ คือ ความเข้มรังสีแพร่ของดวงอาทิตย์
 I_{Total} คือ ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์

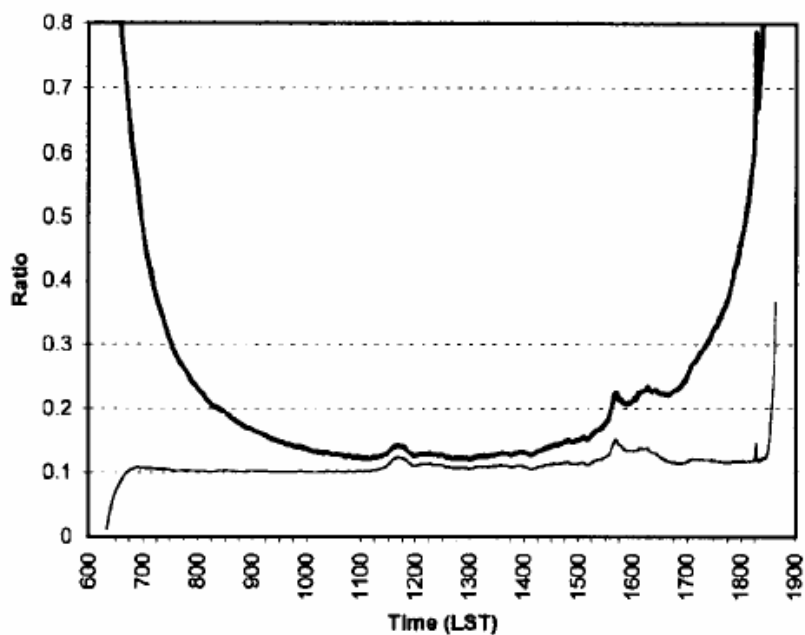
โดยวิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของทั้งในส่วนของรังสีแพร่ และรังสีตรง (Direct shortwave) ของดวงอาทิตย์ ลักษณะพิเศษอีกอย่างหนึ่งของส่วนประกอบของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงสภาพท้องฟ้าโปร่ง คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกมาสู่พื้นโลกจะมีความสม่ำเสมอตลอดเวลา ดังนั้นอัตราส่วนการแพร่จึงสามารถใช้หาการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติไป โดยสามารถหาอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ (Normalized diffuse ratio) ได้ดังนี้

$$D_N = \frac{D}{\mu_0^b} \quad (2-16)$$

โดย D_N คือ อัตราส่วนการแพร่แบบปกติ
 μ_0 คือ ค่าโคไซน์ของมุมเซนิตดวงอาทิตย์ (Solar zenith angle)
 b คือ ค่าคงที่ (Constant)

โดยจากภาพประกอบ 4 มีการแสดงการเพิ่มของรังสีแพร่อย่างเด่นชัด และแสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ โดยจะเห็นได้ว่ามีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่บริเวณประมาณเวลา 11.30 น. ซึ่งการเพิ่มขนาดนี้แสดงถึงการมีเมฆบางๆ บดบังรังสีของดวงอาทิตย์อยู่ และมีหมอกบางๆ ในช่วงเวลาประมาณ 14.10 น. เช่นเดียวกัน เนื่องจากเมฆหมอกนั้นจะทำให้ความเข้มในส่วนรังสีตรงของดวงอาทิตย์เจือจางไป แต่จะเพิ่มการกระเจิงของแสง (Scattering) ในส่วนของรังสีแพร่ของดวงอาทิตย์

¹ Long, Charle N. and Ackerman, Thomas P. (2000). Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurement and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effect. *Journal of Geophysical Research*. 105(D12): 15612-15613.



ภาพประกอบ 4 แสดงอัตราส่วนการแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์กับเวลา กับเวลา(เส้นหนา) และอัตราส่วนการแผ่แบบปกติของรังสีดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นบาง) ของวันที่ทำการทดสอบ

ที่มา: Long, Charle N. & Ackerman, Thomas P. (2000). Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurement and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effect. *Journal of Geophysical Research*. 105(D12): 15613.

สำหรับการหาค่าคงที่ b ได้เลือกใช้ $b = -0.5$ โดยอาศัยจากวิธีการทดสอบรังสีแผ่สูงสุด (Maximun Diffuse Shortwave Test) ที่ประยุกต์ใช้สูตรขอบเขตของการแผ่ที่เกิดขึ้นสำหรับท้องฟ้าโปร่งตามโคไซน์ของมุมเซนนิตรดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นปริมาณที่มีการคำนวณได้เรียบร้อยแล้วโดยมีสมการยกกำลัง

$$D_{\text{lim}} = D_{\text{max}} \mu_0^{0.5} \quad (2-17)$$

โดยที่ D_{lim} คือ ขอบเขตท้องฟ้าโปร่งตามมุมเซนนิตรดวงอาทิตย์
 D_{max} คือ ค่าคงที่
 μ_0 คือ ค่าโคไซน์ของมุมเซนนิตรดวงอาทิตย์

2.6.2 การปรับค่าที่เหมาะสม (Empirical Fit) ของรังสีดวงอาทิตย์¹

ปัจจัยสำคัญที่เป็นการกำหนดปริมาณความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นโลกก็คือ มุมเซนนิทดวงอาทิตย์ (Solar zenith angle) และปัจจัยอื่นอีกเช่น ความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosols optical depth) การสะท้อนกลับของรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก (Surface albedo) และปริมาณไอน้ำในคอลัมน์ชั้นบรรยากาศ (Column water vapor) โดยที่มีปริมาณจำเพาะขึ้นกับแต่ละวัน ดังนั้นจึงต้องมีการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้ค่าโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์ที่ขึ้นกับตัวแปรอิสระต่างๆ โดยรูปแบบของฟังก์ชันอาจแสดงแบบง่าย ๆ เป็นแนวเส้นตรงที่เหมาะสม หรืออาจมีความซับซ้อน ดังเช่น อนุกรมโพลีโนเมียล ที่เป็นเส้นโค้งที่เหมาะสมในการหารังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่เสมือนสภาพท้องฟ้าโปร่งตลอดวัน โดยใช้แทนเงื่อนไขในช่วงท้องฟ้าโปร่งที่ดี พบว่าการปรับค่าแบบโพลีโนเมียลได้ผลดีกว่าแบบเส้นตรง ดังนั้นรูปแบบที่ง่ายอาจแสดงสมการแบบยกกำลัง ดังนี้

$$Y = a\mu_0^b \quad (2-18)$$

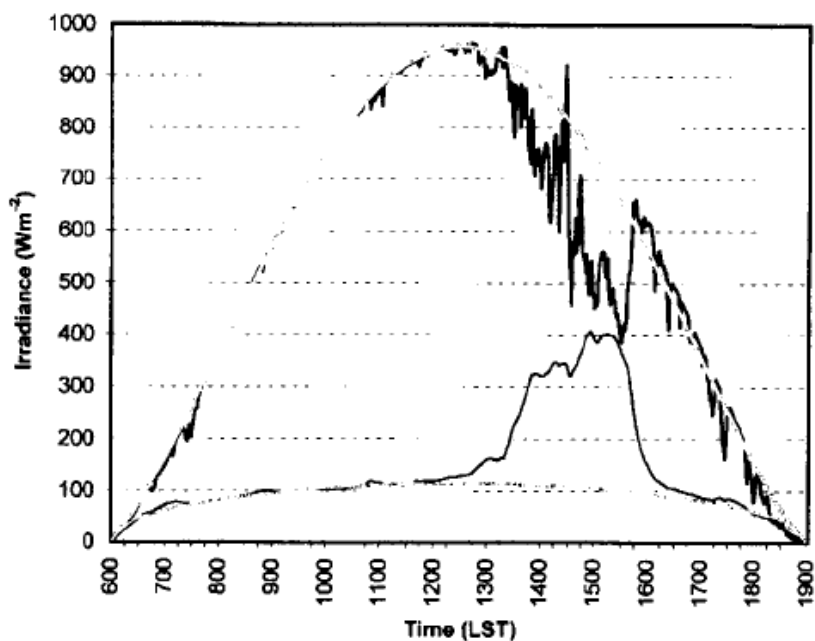
โดย Y คือ ความเข้มรังสีรวม หรืออัตราส่วนการแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงท้องฟ้าโปร่ง

μ_0 คือ ค่าโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์

a และ b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficients)

ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการ (2-18) นี้ หาได้จากหลักการปรับค่ากำลังสองน้อยที่สุด (The principle of least squares) เป็นการทำให้ผลรวมของการแปรปรวนสัมบูรณ์ (Sum of absolute deviation) มีค่าต่ำที่สุดเพื่อการปรับค่าที่ดี ซึ่งหมายถึงการตัดส่วนเกินของข้อมูลที่ไม่เป็นไปตามแบบอย่างจากสมมติฐานของค่าที่เหมาะสม ในกรณีนี้แบบจำลองของสมมุติฐาน คือ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์ กับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ โดยข้อมูลที่เป็นไปตามแบบจำลองของสมมุติฐานนี้จะถือว่าเป็นข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ ในสมมุติฐานของข้อมูลท้องฟ้าโปร่งลำดับแรกจะตัดข้อมูลที่ไม่มีเมฆที่เห็นได้ชัดเจน และลำดับสอง คือการขจัดผลที่ได้จากผลการวัดรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงที่มีเมฆโดยการคำนวณ ตามสมการ (2-18) ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยนั้นจะสามารถคำนวณมาจากทั้งรังสีรวมของดวงอาทิตย์ และอัตราส่วนการแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ประมาณค่าของรังสีรวม และอัตราส่วนการแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์ออกมาได้ โดยข้อมูลผลการวัดในสภาพท้องฟ้าโปร่งที่นำมาคำนวณต้องมีจำนวนของข้อมูลไม่น้อยกว่า 120 ข้อมูล ดังภาพประกอบ 5

¹ Long, Charle N. and Ackerman, Thomas P. (2000). Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurement and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effect. *Journal of Geophysical Research*. 105(D12): 15616-15617.



ภาพประกอบ 5 แสดงผลการวัดรังสีรวมจากเครื่อง MFRSR (เส้นดำเข้ม) และผลการวัดรังสีแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์ (เส้นดำ) เทียบกับผลที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมสำหรับรังสีดวงอาทิตย์ (เส้นจาง) กับเวลาของวันที่ทำการทดสอบ

ที่มา: Long, Charle N. and Ackerman, Thomas P. (2000). Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurement and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effect. *Journal of Geophysical Research*. 105(D12): 15617.

จากภาพประกอบ 5 เป็นตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณการปรับค่าที่เหมาะสมสำหรับรังสีดวงอาทิตย์ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของรังสีรวม a และ b เท่ากับ 1092.4 และ 1.257 ตามลำดับ และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของรังสีแผ่ a และ b เท่ากับ 0.109 และ -0.827 ตามลำดับ จากภาพประกอบนี้แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของแบบจำลองของสมมุติฐานค่าที่เหมาะสมของทั้งรังสีรวมและรังสีแผ่ของดวงอาทิตย์

2.7 การปรับเส้นกราฟ (Curve fitting)

วิธีการทั่วไปที่ใช้การประมาณการเขียนเส้นกราฟจากข้อมูลเบื้องต้น คือ หลักการของกำลังสองน้อยสุด

หลักการของกำลังสองน้อยที่สุด (The principle of least squares)¹

ในการกระจายตัวของตัวแปรจำนวนมาก นิยมกำหนดให้เป็นเชิงเส้น โดยจะมีการสร้างเส้นที่สัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัว ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ในรูปสมการเชิงเส้นดังนี้

$$Y = a + bX \quad (2-19)$$

เมื่อ a และ b คือ ค่าสัมประสิทธิ์

จากการสังเกตจุดหนึ่งที่มีเส้นที่คาดหมายที่ไม่สามารถแทนค่าจุดนั้นได้อย่างสมบูรณ์ จึงทำให้เกิดความผิดพลาดในการคาดหมาย (Prediction error) จากจุดนั้นถึงเส้นที่คาดหมาย โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความผิดพลาดในการคาดหมาย} = \text{จุดจริง} - \text{จุดที่คาดหมาย} = Y_i - \bar{Y}_{x_i} \quad (2-20)$$

เมื่อรวมความผิดพลาดในการคาดหมายทั้งหมดจากสมการที่ (2-18) ทำให้เกิดผลรวมของความผิดพลาดในการคาดหมาย (Total prediction error) ซึ่งผลรวมนี้อาจจะมีปัญหาเรื่องเครื่องหมายได้ จึงมีการยกกำลังสอง แล้วทำให้เส้นตรงที่ได้มีผลรวมของกำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด (Minimizes the sum of the squares of the errors : SSE) ตามสมการดังนี้

$$SSE = \sum (Y_i - \bar{Y}_{x_i})^2 \quad (2-21)$$

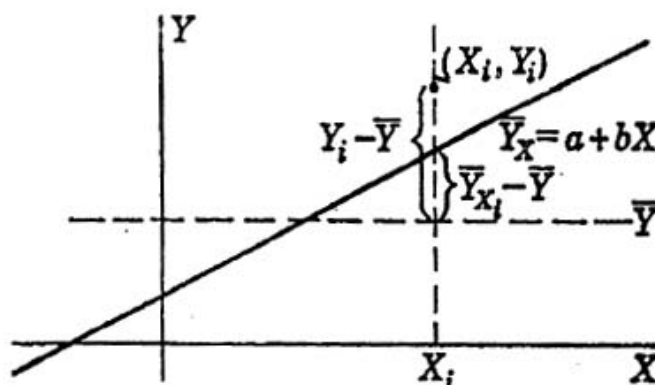
สามารถแสดงให้เห็นว่าผลรวมของกำลังสองนี้ คือค่าที่น้อยที่สุด โดยค่าสัมประสิทธิ์ a และ b สามารถคำนวณได้จาก

$$b = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad (2-22)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (2-23)$$

¹ Lewis-Beck, Michael S. (1993). *Regression Analysis*. pp. 5-6.

ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของ a และ b ได้มาจากการประมาณค่าตามหลักการของกำลังสองน้อยที่สุด



ภาพประกอบ 6 แสดงกราฟที่ได้จากการปรับแบบถดถอย

ที่มา : Bryant, C. (1960). *Statistics Analysis*. p. 143.

เส้นกราฟที่ได้จะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination) หรือ R^2 ที่มีความหมายเป็น¹สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสามารถคำนวณได้จากสมการ (2-24) และภาพประกอบ 6 โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$R^2 = \frac{SSR}{TSS} \quad (2-24)$$

เมื่อ TSS (Total sum of squares) คือ ผลรวมของผลต่างระหว่าง Y_i กับ \bar{Y} ยกกำลังสอง

$$TSS = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (2-25)$$

SSR (Regression sum of squares) คือ ผลรวมของผลต่างระหว่าง \bar{Y}_{x_i} กับ \bar{Y} ยกกำลังสอง

¹ สุนันท์ ทวีตา. (2547). การศึกษาสัดส่วนของสารยึดเหนี่ยวในชั้นตัวอย่างเซอร์คอนแบบอัดเม็ดที่มีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยการวัดการวาวรังสีเอกซ์. ปรินูญานิพนธ์ กศ.ม. (ฟิลิสิกส์). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. หน้า 26-28.

$$SSR = \sum (\bar{Y}_{x_i} - \bar{Y})^2 \quad (2-26)$$

ดังนั้น

$$R^2 = \frac{\sum (\bar{Y}_{x_i} - \bar{Y})^2}{\sum (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2} \quad (2-27)$$

จะเห็นได้ว่า R^2 คือสัดส่วนของผลรวมทั้งหมดยกกำลังสองที่เกี่ยวกับค่า Y ของเส้นที่ได้จากการปรับแบบถดถอย และ $0 \leq R^2 \leq 1$

จากสมการ (2-19) จะได้

$$TSS = SSR + SSE$$

นั่นคือ

$$R^2 = \frac{SSR}{TSS} = \frac{TSS - SSE}{TSS} \quad (2-28)$$

ดังนั้นถ้าค่าจากการทดลองทุกค่าอยู่บนเส้นกราฟปรับเทียบที่ได้แสดงว่า

$$\sum (Y_i - \bar{Y})^2 = \sum (\bar{Y}_{x_i} - \bar{Y})^2 \quad (2-29)$$

นั่นคือ $R^2 = 1$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเส้นกราฟปรับเทียบ

2.8 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 1976 ไมเคิล คิง (Michael D.King) และ เดล ไบรน์ (Dale M. Byrne) ใช้เครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiometer) ที่วัดได้ 8 ความยาวคลื่นของรังสีดวงอาทิตย์ ที่ตกกระทำกับหัววัดที่ทุก ๆ มุมเซนติ โดยนำข้อมูลมาคำนวณความลึกเชิงแสงรวมออกจากการพลอตกราฟที่เหมาะสม จากกราฟที่ได้สามารถบอกถึงจากการดูดกลืนแสงของโอโซนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ และปริมาณโอโซนที่อยู่ในชั้นบรรยากาศ และยังแสดงให้เห็นถึงความลึกเชิงแสงรวมจากรังสีตรงของรังสีดวงอาทิตย์ได้ จากกระบวนการนี้ทำให้เกิดหลักการหาโอโซนทั้งหมดที่อยู่ในชั้นบรรยากาศในแต่ละวัน เมื่อวิธีการวัดอื่นๆ วัดไม่ได้ การพิจารณาการดูดกลืนแสงของโอโซนนี้ อาจทำให้การหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยมีความแม่นยำยิ่งขึ้น โดยนำการกระเจิงของโมเลกุลและประมาณการดูดกลืนแสงของโอโซนลบออกจากความลึกเชิงแสงรวม เทคนิคนี้ยังได้อธิบายถึงการประมาณการดูดกลืนของแสงที่ความยาวคลื่นซึ่งมีการดูดกลืนของโมเลกุลอื่นในชั้นโอโซนอีกด้วย

ในปี 1988 เลบารอน (B. A. Lebaron) และคณะ ได้ใช้เครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ RSP (Rotating shadowband photometer) วัดส่วนประกอบรังสีตรงของดวงอาทิตย์จากการสูญหายไป โดยโมเลกุลต่างๆ ในชั้นบรรยากาศในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง และคำนวณหาส่วนรังสีที่สูญหายไป เปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ในการหารังสีดวงอาทิตย์ที่สูญหายไป ในบรรยากาศ จากผลการวัดการสูญหายของรังสีดวงอาทิตย์เกิดจากผลกระทบของละอองลอยในชั้นสตราโตสเฟียร์ ดังนั้นจึงได้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญหายของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากชั้นบรรยากาศของโลก และสัมประสิทธิ์การสูญหายนี้สามารถใช้ประโยชน์ในการประเมินเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของทัศนวิสัยเหนือขึ้นไปในชั้นบรรยากาศได้

ในปี 2000 ชาร์ลส ลอง (Charles N. Long) และ โทมัส อัคเคอร์แมน (Thomas P. Ackerman) ได้เสนอวิธีการในการวัดรังสีรวม และรังสีแพร่ของดวงอาทิตย์ จากเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ในความยาวคลื่นกว้าง (Broadband pyranometer) ช่วงระยะเวลาที่ท้องฟ้าโปร่ง และวิธีการหาท้องฟ้าโปร่งได้ยืนยันโดย ภาพถ่ายของท้องฟ้า (Whole Sky Imager) ข้อมูลจากเครื่องไลดาร์ (Lidar data) รายงานการสังเกต และรูปแบบที่เทียบเคียงกัน การหาผลการวัดรังสีดวงอาทิตย์ในท้องฟ้าโปร่ง ได้ใช้ฟังก์ชันการปรับค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม ซึ่งหาได้จากการนำค่าโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์ขึ้นกับตัวแปรอิสระ ความเหมาะสมของฟังก์ชันนี้ได้ก่อให้เกิดการประมาณค่าของรังสีรวม รังสีแพร่และรังสีตรงของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้าโปร่งอย่างต่อเนื่อง การประมาณท้องฟ้าโปร่งโดยใช้การประมาณผลกระทบของเมฆที่มีต่อรังสีคลื่นสั้นที่ตกลงมา โดยดูจากความแตกต่างระหว่างปริมาณที่วัดได้ กับปริมาณที่วัดได้จากท้องฟ้าโปร่ง โดยแสดงให้เห็นว่าการคำนวณผลกระทบของเมฆจากวิธีการนี้ทำให้ความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด และค่าความผิดพลาดมุมเซนนิทดวงอาทิตย์ลดลง ดังนั้นข้อมูลผลการวัดเกี่ยวกับความเข้มของรังสีแพร่ และรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ตกลงมา สามารถใช้วิธีการนี้ในการหาช่วงเวลาของท้องฟ้าโปร่ง และผลกระทบของเมฆได้

ในปี 2001 มิเกล อเล็กซานดรอฟ (Mikhail D. Alexandrov) และคณะ ได้เสนอกระบวนการในการวิเคราะห์ข้อมูลจากเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFRSR (Multifilter rotating shadowband radiometer) ในช่วงท้องฟ้าโปร่ง และมีเมฆบางส่วน อย่างมีเหตุผล โดยวิธีการนี้ใช้การวิเคราะห์แบบแลงเลย์ และความสอดคล้องกันระหว่าง รังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก และรังสีแพร่ตามแนวราบของพื้นโลกรวมกัน ด้วยเทคนิคการถดถอยที่เกิดขึ้นในระยะเวลาตลอดทั้งวัน ประกอบด้วยค่าเฉลี่ยขนาดอนุภาคละอองลอย ความลึกเชิงแสงของละอองลอย ของแก๊สไนโตรเจน และของชั้นโอโซน ด้วยค่าคงที่การเปรียบเทียบเครื่องมือค่าหนึ่ง เปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์แบบแลงเลย์กับการวิเคราะห์ที่มีการหาค่าคงที่ของการเปรียบเทียบเครื่องมือ และลดปัจจัยที่ทำให้เกิดความผิดพลาดของเครื่องมือเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำมากขึ้น

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

- 3.1 ศึกษาวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7
 - 3.2.1 การพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่งของข้อมูลจากเครื่อง MFR-7
 - 3.2.2 การคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ
 - 3.2.3 การหาค่าเปรียบเทียบของเครื่องมือ
- 3.3 การปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์
- 3.4 การเปรียบเทียบข้อมูลของเครื่อง MFR-7 กับข้อมูลจากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้

3.1 ศึกษาวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ศึกษาเอกสาร ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานของเครื่อง MFR-7 และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7 การแปลงผลข้อมูลดิบ และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยกราฟ โดยการดำเนินการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel โดยลักษณะของข้อมูลในการวิเคราะห์ได้แสดงตัวอย่างไว้ในภาคผนวก

ข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้รับความอนุเคราะห์จากคณะผู้วิจัย ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7 ที่ติดตั้งอยู่ที่ สถานีตรวจวัดรังสีในบรรยากาศ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย พ.ศ. 2546

เครื่อง Multifilter Rotating Shadowband Radiometer หรือ เครื่อง MFRSR เป็นเครื่องที่สามารถวัดลำรังสีดวงอาทิตย์ (Solar beam) และการแพร่ (Diffuse) ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมาสู่พื้นโลก โดยเครื่อง MFRSR ประกอบด้วยส่วนที่เป็นหัววัดแสง และส่วนที่ยื่นออกมาบังรังสีดวงอาทิตย์ โดยเครื่องมือจะอาศัยหลักการเคลื่อนที่ของแถบเงา ซึ่งจะควบคุมโดยไมโครโปรเซสเซอร์ เมื่อแถบเงาเคลื่อนที่มาบังหัววัดแสง จะทำให้ได้ค่าความเข้มรังสีแพร่ของดวงอาทิตย์ออกมา และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์วัดได้ในขณะที่ไม่มีแถบเงามาบัง ส่วนค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์จะคำนวณจากนำความเข้มรังสีแพร่ หักออกจากความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากนั้นหารด้วยค่าโคไซน์ของมุมเซนนิธดวงอาทิตย์

โดยเครื่อง MFRSR ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ได้แก่ เครื่องที่เรียกว่า MFR-7 สามารถวัดรังสีดวงอาทิตย์ได้ที่ความยาวคลื่น 7 ช่วง พร้อมกันทุกๆ 1 นาที ตลอดทั้งวัน ได้แก่ ช่วงความยาวคลื่น 415

500 615 670 870 และ 940 *nm* และอีก 1 ช่วง เป็นการวัดในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (Broadband) ในการวิจัยครั้งนี้ได้นำข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์ เฉพาะในช่วงความยาวคลื่น 870 *nm* มาวิเคราะห์หาความลึกเชิงแสงของละอองลอย เนื่องจากความยาวคลื่นดังกล่าวไม่มีผลกระทบจากปริมาณไอน้ำ โอโซน และแก๊สต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ตั้งแต่เวลาประมาณ 7.00 -18.00 น. ของวันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ. 2546

ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7 ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลที่ได้จากช่องสัญญาณที่รับความยาวคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่น 870 *nm* โดยในแต่ละวันมีข้อมูลประมาณ 686-690 นาที โดยประกอบด้วยส่วนของรังสีรวม รังสีแพร่ และรังสีตรงที่ตกตั้งฉากของดวงอาทิตย์ และค่าโคไซน์ของมุมเซนิธดวงอาทิตย์ของแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่เครื่องวัดได้ ซึ่งในบางช่วงเวลาในการตรวจวัด อาจจะมีเมฆมาบังรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังตัวเครื่อง ซึ่งมีผลต่อการตรวจวัด ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาหาเฉพาะข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7 ในสภาพท้องฟ้าโปร่งเท่านั้น เพื่อนำไปหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยตามการวิเคราะห์แบบแลงเลย์

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

3.2.1 การพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่งของข้อมูลจากเครื่อง MFR-7

การพิจารณาช่วงเวลาที่เมฆมาบังรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ทำการตรวจวัด โดยนำรังสีรวมของดวงอาทิตย์มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสี กับช่วงเวลาต่างๆ ของวันซึ่งจะมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ แล้วพิจารณากราฟในแต่ละช่วงเวลาว่าท้องฟ้าโปร่งหรือไม่ ในขั้นต้นพยายามเลือกวันที่มีท้องฟ้าโปร่งที่สุดเพื่อจะได้ทดสอบการปรับค่าที่เหมาะสม (Empirical Fit) ของรังสีดวงอาทิตย์ โดยการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

เนื่องจากการพิจารณาข้อมูลสภาพท้องฟ้าโปร่งเบื้องต้นพบว่าในวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546 เป็นวันที่ท้องฟ้าโปร่งเกือบทั้งวันแต่ก็มีบางส่วนมีเมฆบัง จึงทำการตัดข้อมูลในการตัดข้อมูลในส่วนที่มีเมฆมาบังรังสีดวงอาทิตย์ออก ก่อนที่จะนำข้อมูลรังสีตรงของดวงอาทิตย์ไปคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย โดยใช้วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ ดังนี้

: นำข้อมูลในส่วนของรังสีแพร่ และรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากเครื่อง MFR-7 ในช่วงความยาวคลื่น 870 *nm* ของทุกช่วงเวลา หาอัตราส่วนการแพร่ของรังสีดวงอาทิตย์ ตามสมการ (2-15) ดังนี้

$$D = \frac{I_{Diffuse}}{I_{Total}}$$

: หาค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ ตามสมการ (2-16) ดังนี้

$$D_N = \frac{D}{\mu_0^b}$$

เมื่อ D_N คือ การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ

D คือ อัตราส่วนการแพร่

μ_0 คือ ค่าโคไซน์ของมุมเซนิทดวงอาทิตย์ (Solar zenith angle)

b คือ ค่าคงที่ (Constant)

เลือกใช้ค่า $b = -0.5$ ตามวิธีทดสอบรังสีแพร่สูงสุดในหัวข้อ 2.6

: เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่และการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติเทียบกับเวลา เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลหาช่วงเวลาที่มีเมฆจากค่าความเป็นปกติของอัตราส่วนการแพร่

: ตัดข้อมูลในในช่วงเวลาที่มีเมฆมารบกวนในการวัดออกไป โดยสังเกตจากเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติเทียบกับเวลา ต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรงแนวเดียวกัน แล้วจึงนำข้อมูลที่เหลืออยู่นี้ไปคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยต่อไป

3.2.2 การคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ

เมื่อได้ข้อมูลในช่วงที่สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky) แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์แบบแลนเลย์ เพื่อหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย

: หามวลอากาศที่สัมพันธ์กับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกตามสมการ (2-7) ดังนี้

$$m = [\sin(el) + 0.50572(6.07995 + el)^{-1.6364}]^{-1}$$

เขียนในรูปโคไซน์ของมุมเซนิทดวงอาทิตย์ จะได้ว่า

$$m = [\cos(z) + 0.50572(96.07995 - z)^{-1.6364}]^{-1}$$

เมื่อ z คือ มุมเซนิทดวงอาทิตย์ ในหน่วยขององศา

: เขียนความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ กับ m จากข้อมูลที่นับว่าท้องฟ้าโปร่งตลอดวันที่ทำการศึกษา แล้วเลือกเขียนกราฟในช่วงของมวลอากาศน้อยกว่า 2.5 และทำการปรับกราฟเส้นตรงตามสมการ (2-8) จะได้ค่าความชันเป็นลบ โดยขนาดของความชัน คือค่าความลึกเชิงแสงรวมของชั้นบรรยากาศ (τ) และจุดตัดแกน y คือ $\ln I_0$ ดังนี้

$$\ln(I) = \ln(I_0) - \tau m \quad (3-1)$$

: เพื่อหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ต้องหาค่า τ_{rayleigh} ก่อน โดยการหาค่าความลึกเชิงแสงจากการกระเจิงเรย์ลีห์ ตามสมการ (2-10)

$$\tau_{\text{Rayleigh}} = 0.008569 \lambda^{-4} (1 + 0.0113 \lambda^{-2} + 0.00013 \lambda^{-4}) \frac{P}{P_0}$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นในหน่วย (μm) และ P คือ ความดันบรรยากาศ ณ จุดวัดที่จังหวัดสุโขทัย เฉลี่ยในเดือนมกราคม พ.ศ.2546 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1008.8 mb สัมพันธ์กับความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล P_0 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1013.25 mb

: คำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ จากสมการ (2-9)

$$\tau = \tau_{\text{Rayleigh}} + \tau_{\text{ozane}} + \tau_{\text{H}_2\text{O}} + \tau_{\text{aerosol}}$$

เนื่องจากค่าความลึกเชิงแสงของโอโซน และค่าความลึกเชิงแสงของไอน้ำที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าน้อยมากจึงตัดทิ้งดังภาพประกอบ 2 ในหัวข้อ 2.3 ดังนั้นจะได้

$$\tau = \tau_{\text{aerosol}} + \tau_{\text{Rayleigh}} \quad (3-2)$$

ดังนั้น สามารถเขียนสมการ (3-2) ได้เป็น

$$\tau m - \tau_{\text{Rayleigh}} m = \tau_a m \quad (3-3)$$

เมื่อ τ_a คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ

3.2.3 การหาค่าปรับเทียบของเครื่องมือ

: หาค่าคงตัวเพื่อการปรับเทียบของเครื่องมือ จากหัวข้อ 2.5 การหาค่าคงตัวเพื่อการปรับเทียบของเครื่องมือ MFRSR จากสมการ (2-14)

$$m = \tilde{m} + c \quad (3-4)$$

เมื่อ \tilde{m} คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมของชั้นบรรยากาศที่มีการปรับเทียบเครื่องมือ และ $c = -\ln C$ โดย C คือ ค่าปรับเทียบของเครื่องมือ จากสมการ (3-2) เขียนสมการ (3-4) ใหม่ได้เป็น

$$m = \tilde{m}_a + \tilde{m}_{Rayleigh} + c$$

$$m - \tilde{m}_{Rayleigh} = \tilde{m}_a + c \quad (3-5)$$

เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $m - \tilde{m}_{Rayleigh}$ กับ m จะได้ความชัน คือค่า \tilde{m}_a และจุดตัดแกน y คือค่า c

3.3 การปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์

: ปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับท้องฟ้าโปร่ง สามารถดำเนินการได้โดยนำข้อมูลจากเครื่อง MFR-7 ที่ตัดข้อมูลในช่วงที่มีเมฆออกแล้ว โดยมีข้อมูลไม่น้อยกว่า 120 ข้อมูล ตามหัวข้อ 2.6.2 มาทำการปรับค่าที่เหมาะสมของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ สำหรับท้องฟ้าโปร่งที่ดี ตามสมการ (2-18) ดังนี้

$$Y = a\mu_0^b \quad (3-6)$$

โดย Y คือ ความเข้มรังสีรวม หรืออัตราส่วนการแพร่ของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงท้องฟ้าโปร่ง μ_0 คือ ค่าโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์ a กับ b คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficients)

: หาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ของรังสีรวมของดวงอาทิตย์ โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับค่าโคไซน์ของมุมเซนนิชดวงอาทิตย์ จากนั้นทำการปรับกราฟเส้นโค้ง พร้อมทั้งแสดงสมการของกราฟออกมาตามสมการ (3-6)

: คำนวณหาค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม ($I_{Total\langle fit \rangle}$) โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b กลับไปแทนในสมการ (3-6) และนำค่าที่คำนวณได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา เทียบกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่อง MFR-7 กับเวลา เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสม

: ดำเนินการในทำนองเดียวกัน ตามสมการ (3-6) กับข้อมูลของอัตราการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

: นำค่าอัตราการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม และค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม มาหาค่าความเข้มรังสีแผ่ของรังสีดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม ($I_{Diffuse\langle fit \rangle}$) โดยใช้สมการ (2-15) ดังนี้

$$D_{fit} = \frac{I_{Diffuse\langle fit \rangle}}{I_{Total\langle fit \rangle}}$$

$$I_{Diffuse\langle fit \rangle} = D_{fit} \cdot I_{Total\langle fit \rangle} \quad (3-7)$$

โดยในที่นี้ D_{fit} คือ อัตราการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม

$I_{Diffuse\langle fit \rangle}$ คือ ความเข้มรังสีแผ่ของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม

$I_{Total\langle fit \rangle}$ คือ ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม

: หาค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกจากการปรับค่าที่เหมาะสม ($I_{Direct\perp\langle fit \rangle}$) โดยนำค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม ($I_{Total\langle fit \rangle}$) ลบด้วยค่าความเข้มรังสีแผ่ของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม ($I_{Diffuse\langle fit \rangle}$) แล้วหารด้วยโคไซน์ของมุมเซนนิชดวงอาทิตย์ ดังนี้

$$I_{Direct\perp\langle fit \rangle} = \frac{I_{Total\langle fit \rangle} - I_{Diffuse\langle fit \rangle}}{\cos(z)} \quad (3-8)$$

: นำค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกจากการปรับค่าที่เหมาะสมไปหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย โดยการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ ตามข้อ 3.2.2 และข้อ 3.2.3

3.4 การเปรียบเทียบข้อมูลจากเครื่อง MFR-7 กับข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์

: นำค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลท้องฟ้าโปร่งเปรียบเทียบกับค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศที่ได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ โดยเริ่มดำเนินการจากข้อมูลในวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546

: ดำเนินการตามข้อ 3.2 โดยใช้ข้อมูลของเครื่อง MFR-7 ในวันที่ 11,12 และ 14 - 20 มกราคม พ.ศ.2546 เพื่อหาค่าความลึกเชิงแสงรวม ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ และหาค่าปรับเทียบของเครื่องมือ ในแต่ละวัน

: ดำเนินการตามข้อ 3.3 โดยใช้ข้อมูลของเครื่อง MFR-7 ในวันที่ 11,12, และ 14 - 20 มกราคม พ.ศ.2546 เพื่อหาค่าความลึกเชิงแสงรวม และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พร้อมทั้งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ในแต่ละวัน

: นำค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศสำหรับค่าที่วิเคราะห์จากข้อมูลการวัดและค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ.2546 มาเปรียบเทียบกัน

: พล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศสำหรับค่าที่วิเคราะห์จากข้อมูลการวัดและค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ.2546

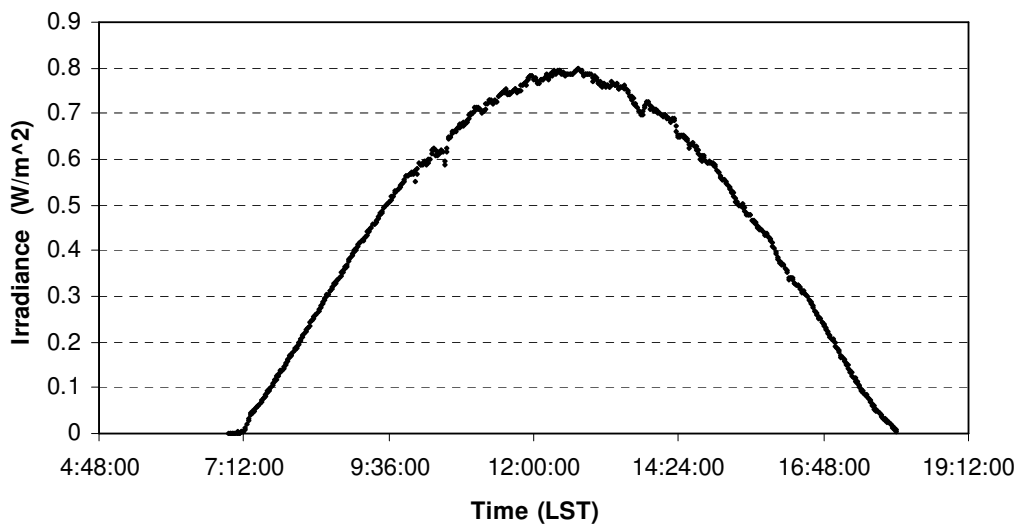
บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7

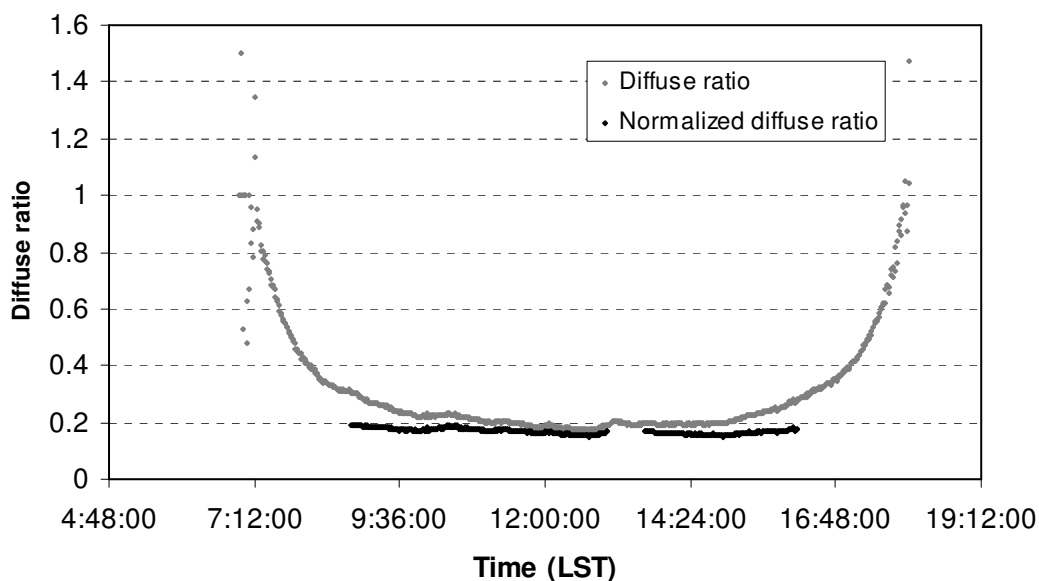
4.1.1 ผลการพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่งของข้อมูลจากเครื่อง MFR-7

ผลการพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่งของข้อมูลจากเครื่อง MFR-7 ในวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546 ณ ศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ที่ความยาวคลื่น 870 nm พบว่าเมื่อนำความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสี กับช่วงเวลาต่างๆ ได้ผลดังภาพประกอบ 7 โดยจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำและไม่พบการตกของเส้นกราฟ แสดงว่าสภาพท้องฟ้าค่อนข้างโปร่งตลอดทั้งวัน ซึ่งข้อมูลในวันดังกล่าวเหมาะที่จะนำมาหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย และการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกัน



ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลาของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)

เมื่อนำข้อมูลมาคัดเลือกเพื่อให้ได้ข้อมูลท้องฟ้าโปร่งเท่านั้น ด้วยวิธีทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ โดยนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ (D) กับ อัตราส่วนการแพร่แบบปกติ (D_N) เทียบกับเวลา ตามหัวข้อ 3.2.1 ได้ผลดังภาพประกอบ 8 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา ค่อนข้างเป็นแนวเส้นเดียวกันตลอด แต่จะมีข้อมูลบางส่วนที่ถูกตัดออกไป คือส่วนที่ไม่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน ซึ่งมีค่าประมาณ 0.2 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เกิดขึ้นเนื่องจากมีเมฆบนท้องฟ้ามาบดบังบ้างเล็กน้อย



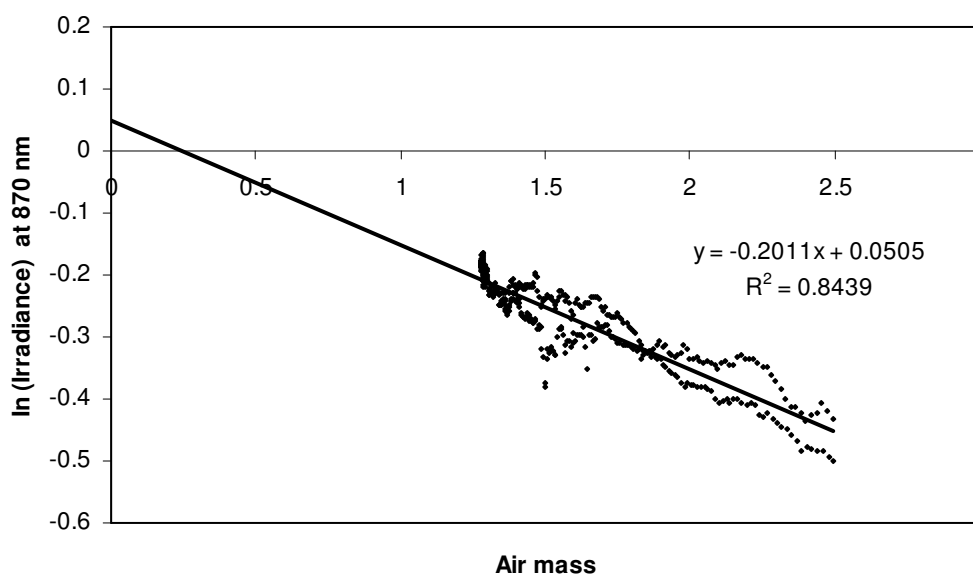
ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546

4.1.2 ผลการคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ

จากข้อมูลในช่วงสภาพท้องฟ้าโปร่ง ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546 เมื่อนำมาวิเคราะห์แบบแลงเลย์ โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ล็อกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก กับมวลของอากาศที่น้อยกว่า 2.5 แล้วทำการปรับกราฟเส้นตรงตามสมการ (3-1) ดังภาพประกอบที่ 9 ได้กราฟเส้นตรงที่มีค่าความชันเป็นลบ โดยขนาดของความชัน คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมของชั้นบรรยากาศ (τ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.2011 และจุดตัดแกน y คือ $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0505 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.8439

ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงจากการกระเจิงเรย์ลีห์ ($\tau_{Rayleigh}$) ในช่วงความยาวคลื่น 870 nm ตามสมการ (2-10) ได้ค่า $\tau_{Rayleigh}$ มีค่าเท่ากับ 0.0151

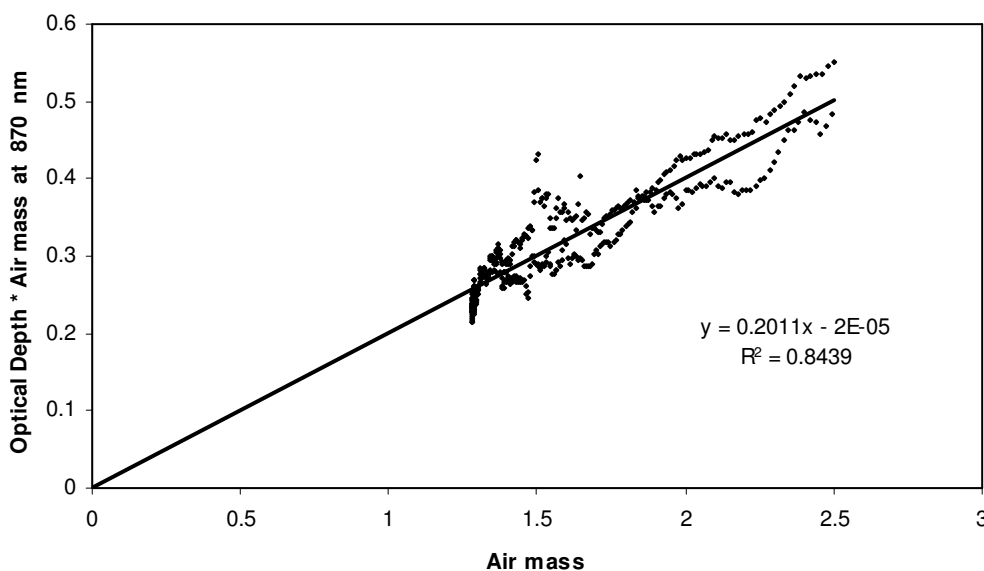
ดังนั้นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546 ตามสมการ (3-2) จะมีค่า τ_a เท่ากับ $0.2011 - 0.0151$ คือ 0.1860



ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างล็อกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546

4.1.3 ผลการหาค่าคงตัวเพื่อการปรับเทียบของเครื่องมือ

ผลการหาค่าคงตัวเพื่อการปรับเทียบของเครื่องมือ จากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 ในวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546 ตามหัวข้อ 3.2.3 ได้ผลดังภาพประกอบ 10 โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการ (3-5) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m ค่าของ $\tilde{\tau}_a$ เป็นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ได้มาจากการปรับเทียบเครื่องมือ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.1860 และค่า c มีค่าเท่ากับ -0.00002 ซึ่งเมื่อนำมาหาค่า C หรือค่าปรับเทียบเครื่องมือ ตามสมการ (2-13) ได้ค่าเท่ากับ 1.00002



ภาพประกอบ 10 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m

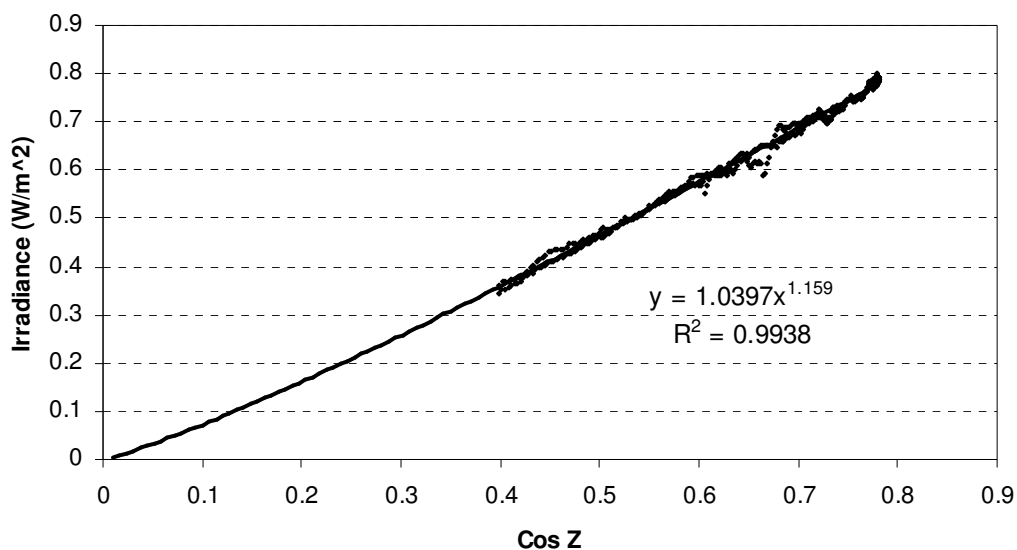
4.2 ผลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์

ผลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ตามหัวข้อ 3.3 ที่ดำเนินการโดยนำข้อมูลจากเครื่อง MFR-7 ที่ตัดข้อมูลในช่วงที่มีเมฆออกแล้ว โดยมีข้อมูลไม่น้อยกว่า 120 ข้อมูล มาทำการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ สำหรับท้องฟ้าโปร่งที่ดีตามสมการ (3-6) ได้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ของรังสีรวมของดวงอาทิตย์ ตามการปรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับค่าโคไซน์ของมุมเซนิตดวงอาทิตย์ ในภาพประกอบ 11 ได้สัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ออกมา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.0397 และ 1.1590 ตามลำดับ

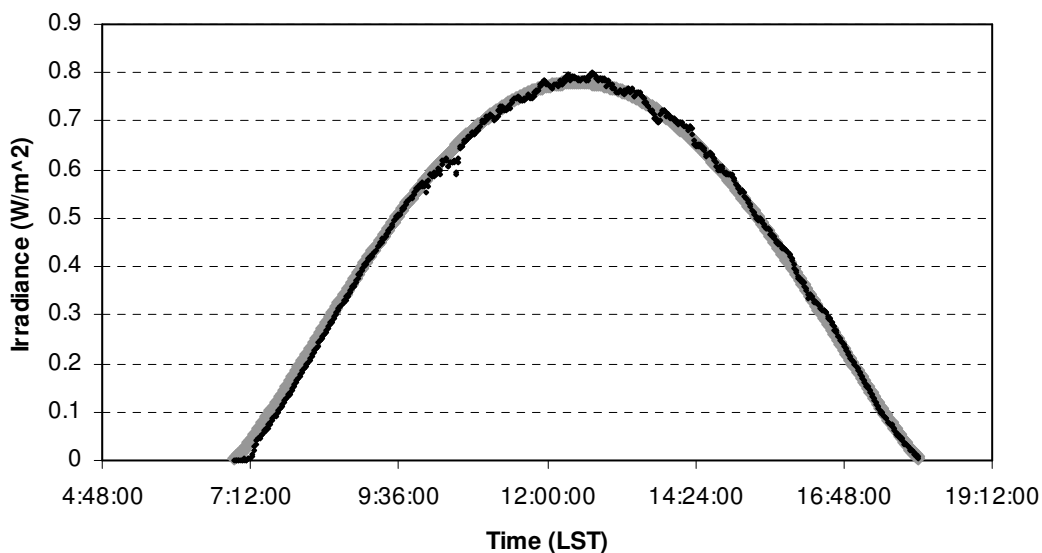
เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a กับ b กลับไปแทนในสมการ (3-6) จะได้สมการของความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม แล้วนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการปรับค่า กับเวลา เทียบกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่อง MFR-7 กับเวลา ดังภาพประกอบ 12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟทั้งสองทับกันพอดี แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ สามารถทำนายความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสมได้

ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ของอัตราการแพร่ของดวงอาทิตย์ ดังภาพประกอบ 13 มีค่าเท่ากับ 0.1575 และ -0.6402 ตามลำดับ เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ของอัตราการแพร่ของดวงอาทิตย์ ไปแทนในสมการ (3-6) จะได้อัตราการแพร่ของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม หาค่าความเข้มรังสีแพร่ของดวงอาทิตย์ที่เหมาะสม ตามสมการ (3-7) แล้วนำไปหาความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่เหมาะสมตามสมการ (3-8) เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่เหมาะสม กับเวลา เทียบกับความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่วัดได้จากเครื่อง MFR-7 กับเวลา ดังภาพประกอบ 14 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟเกือบซ้อนทับกันพอดี

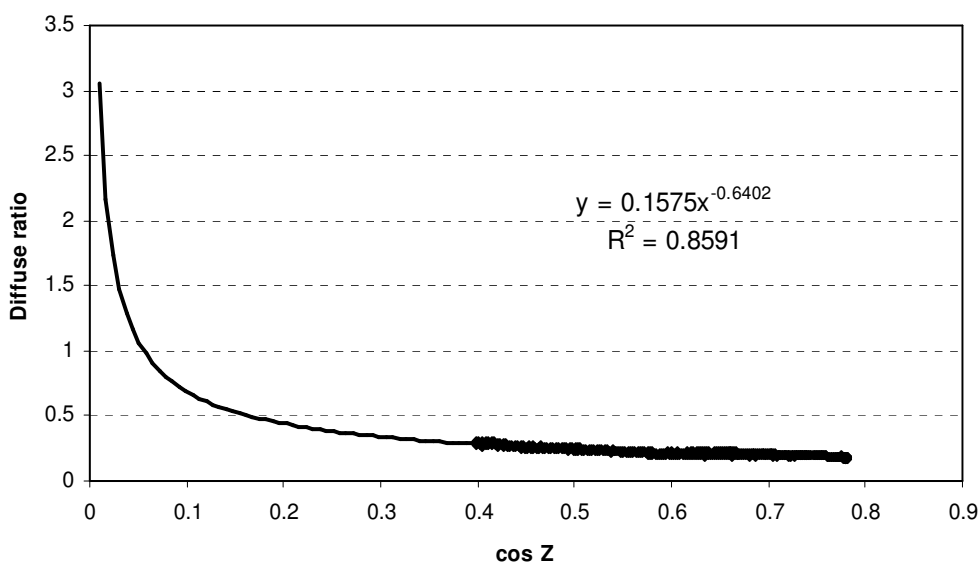
นำค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกจากการปรับค่าที่เหมาะสม ไปหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ โดยการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ ได้ดังภาพประกอบ 15 จะว่าได้ค่าความลึกเชิงแสงรวม (τ) ที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 0.2000 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็น 0.9977 ดังนั้นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546 มีค่า 0.2000 - 0.0151 เท่ากับ 0.1849



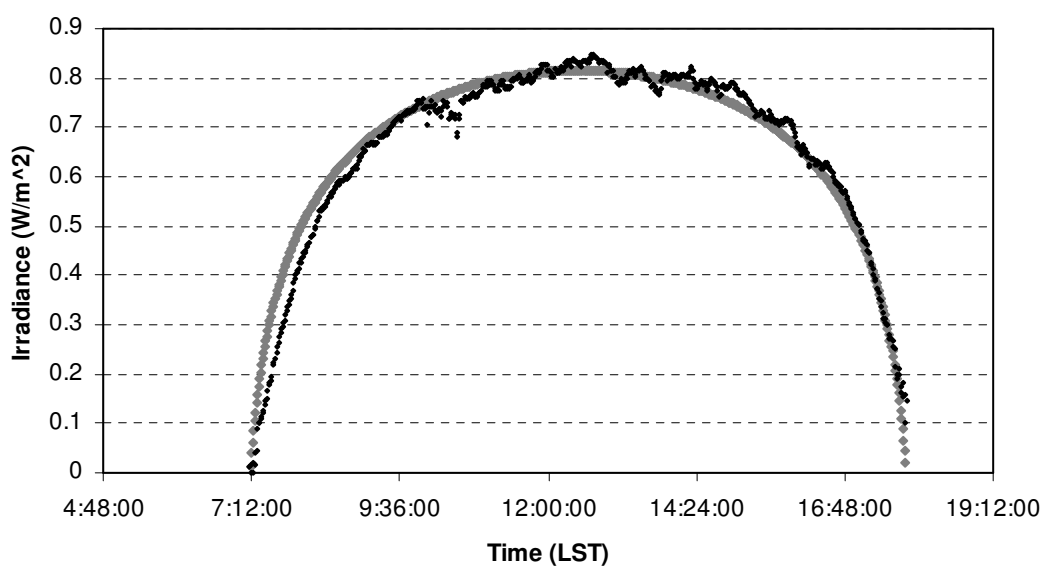
ภาพประกอบ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับค่าโคไซน์ของมุมเซนิทดวงอาทิตย์ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546



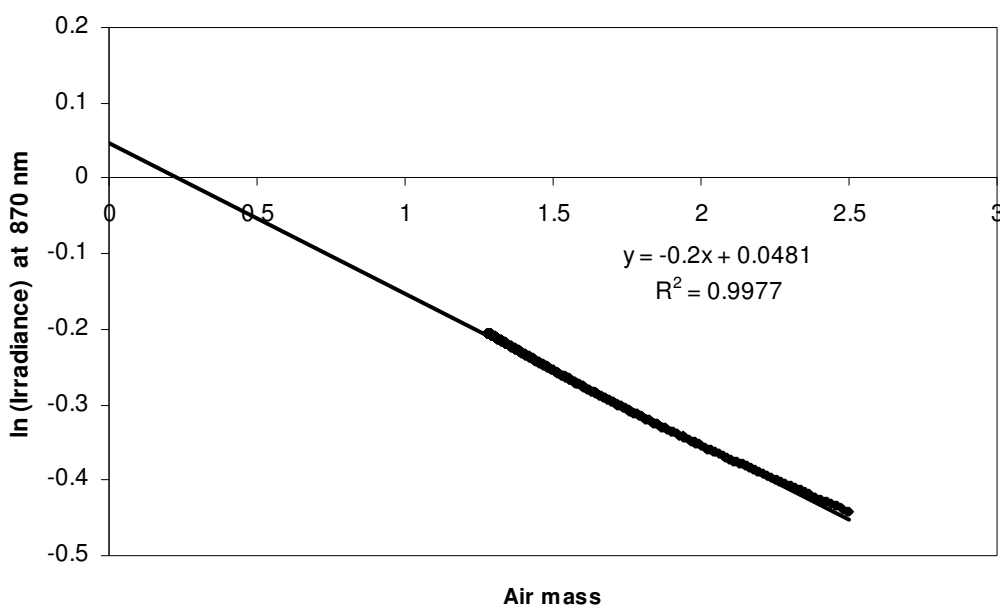
ภาพประกอบ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับค่าโคไซน์ของมุมเซนิตดวงอาทิตย์ ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลก กับเวลา(เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกจากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับมวลอากาศ ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546

4.3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลของเครื่อง MFR-7 กับข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์

ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลท้องฟ้าโปร่งของเครื่อง MFR-7 ในวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546 มีค่าเท่ากับ 0.1860 และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546 มีค่าเท่ากับ 0.1849 จะเห็นว่าค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ มีค่าใกล้เคียงกับค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง จึงเหมาะที่จะนำวิธีการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์มาใช้คำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในวันที่สภาพของท้องฟ้ามีเมฆได้

ผลการพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่งของข้อมูลจากเครื่อง MFRSR ในวันที่ 11, 12 และ 14 - 20 มกราคม พ.ศ.2546 พบว่าเมื่อนำความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา และเปรียบเทียบกับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลาดังภาพประกอบที่ 16 - 24 จะเห็นได้ว่ากราฟของความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสมสามารถนำมาแทนข้อมูลช่วงท้องฟ้าที่มีเมฆได้

ผลทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ โดยแสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์กับเวลา ของแต่ละวันได้ตั้งภาพประกอบ 25 - 33 จะเห็นได้ว่า ภาพประกอบที่ 26 ของวันที่ 17 มกราคม 2546 ที่เป็นวันที่มีเมฆตลอดทั้งวัน เมื่อตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก จะเหลือข้อมูลน้อยมากเพียง 64 ข้อมูลไม่ถึง 120 ข้อมูล แต่ก็นำมาทดลองดำเนินการตามกระบวนการทุกประการเพื่อใช้ศึกษา และตรวจสอบผลการทดลองต่อไป

ผลการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ล็อกฐานธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก กับมวลของอากาศที่น้อยกว่า 2.5 แล้วทำการปรับกราฟเส้นตรง ของแต่ละวันได้ตั้งภาพประกอบที่ 34 - 42 โดยค่าความชันของกราฟจะเป็นค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศของแต่ละวัน

ผลการหาค่าสัมประสิทธิ์การปรับเทียบของเครื่องมือจากการเขียนกราฟตามสมการ (3-5) ได้ตั้งภาพประกอบ 43 - 51 โดยค่าความชันของกราฟจะเป็นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศของแต่ละวัน และจุดตัดแกน y ของกราฟที่ได้จะเป็นค่าปรับเทียบของเครื่องมือ

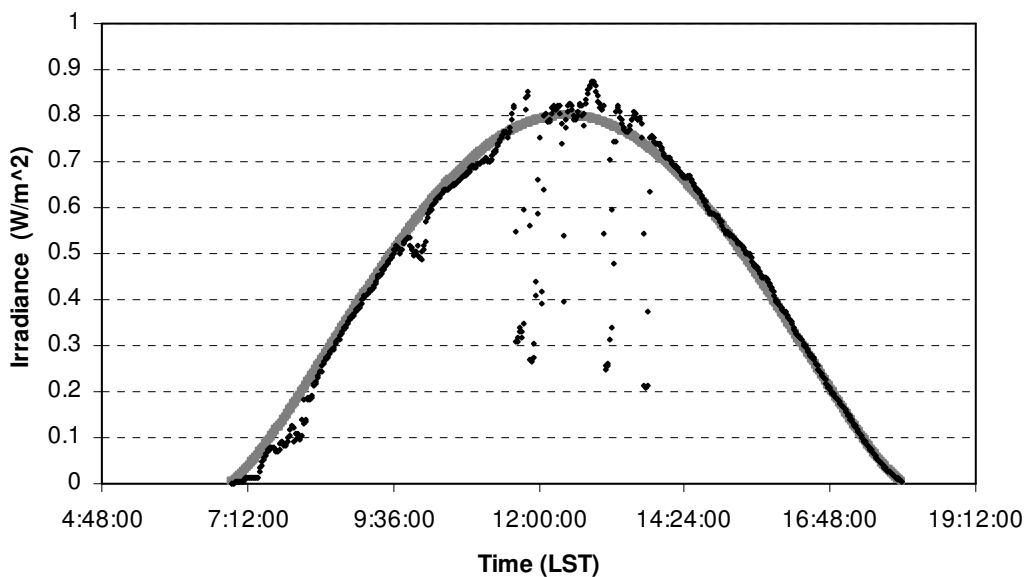
ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงรวม(τ) ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย(τ_a) จากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 พร้อมทั้งแสดงค่าปรับเทียบของเครื่องมือ ตั้งแต่วันที่ 11 - 20 มกราคม พ.ศ.2546 แสดงได้ดังตาราง 1

ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศที่ได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยการวิเคราะห์แบบแลงเลย์จะได้กราฟเส้นตรง ดังภาพประกอบ 52 - 60 โดยค่าความชันของกราฟจะเป็นค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์

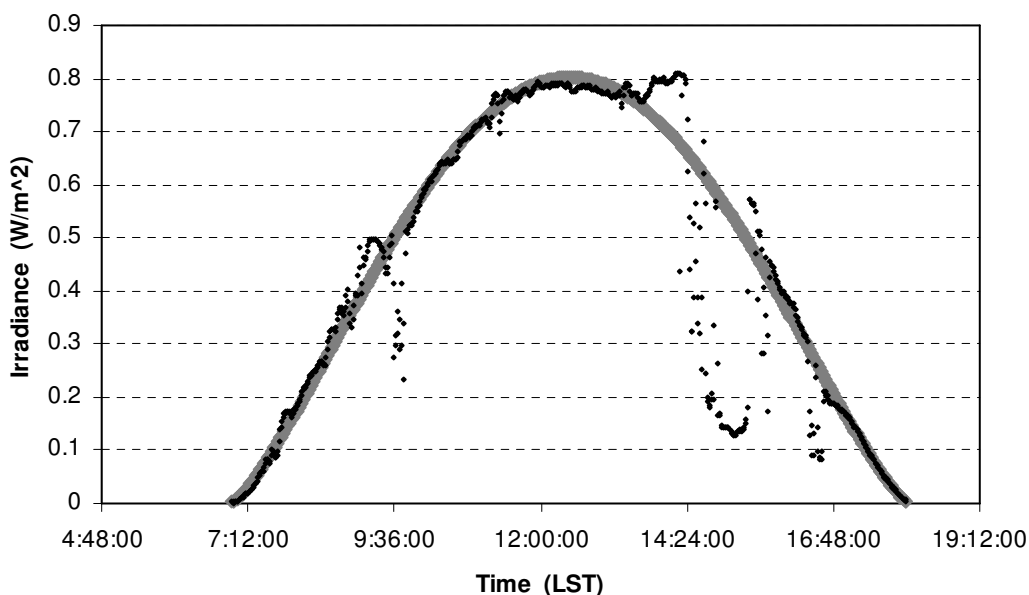
ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้ และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้ พร้อมทั้งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ตั้งแต่วันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ.2546 แสดงได้ดังตาราง 2

ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศที่ได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ ตั้งแต่วันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ. 2546 แสดงได้ดังตาราง 3

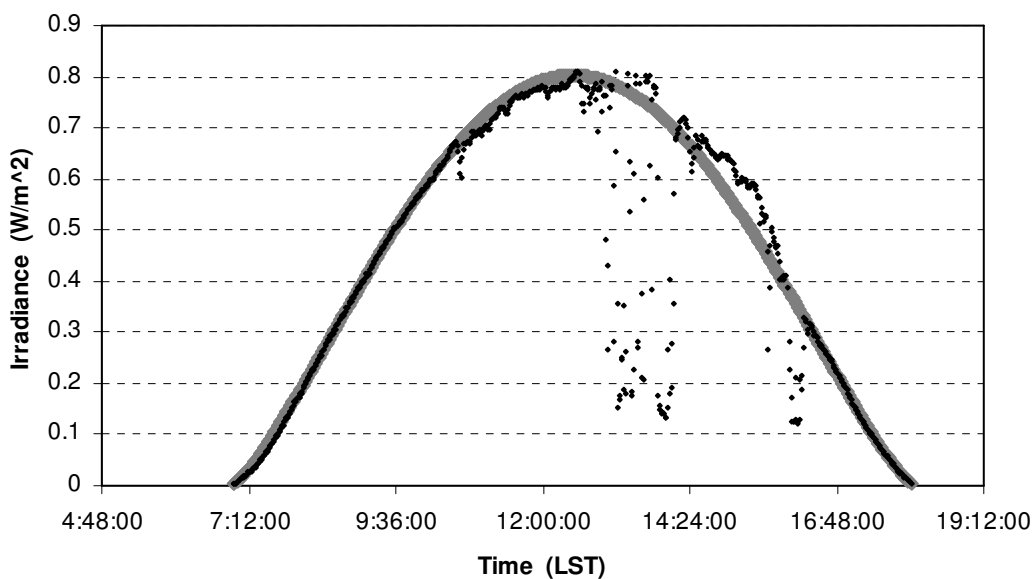
ผลการเขียนกราฟแสดงค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศที่ได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ ตั้งแต่วันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ.2546 ได้ตั้งภาพประกอบ 61 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟทั้งสองเส้นที่ได้เกือบทับกันสนิททำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์น่าเชื่อถือ และสามารถนำแบบจำลองนี้ไปหาคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 ในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆในวันอื่นๆ



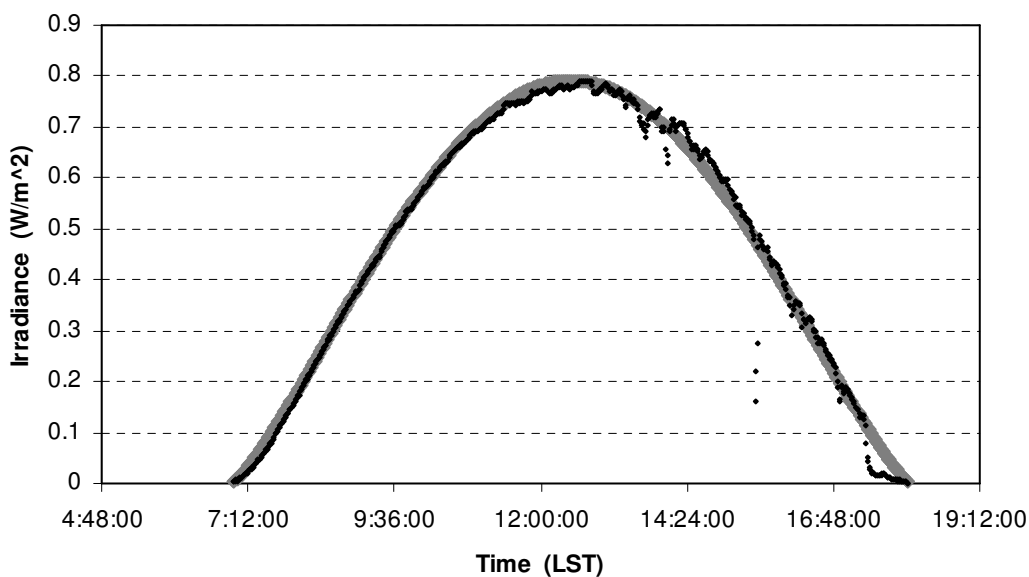
ภาพประกอบ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 11 มกราคม พ.ศ. 2546



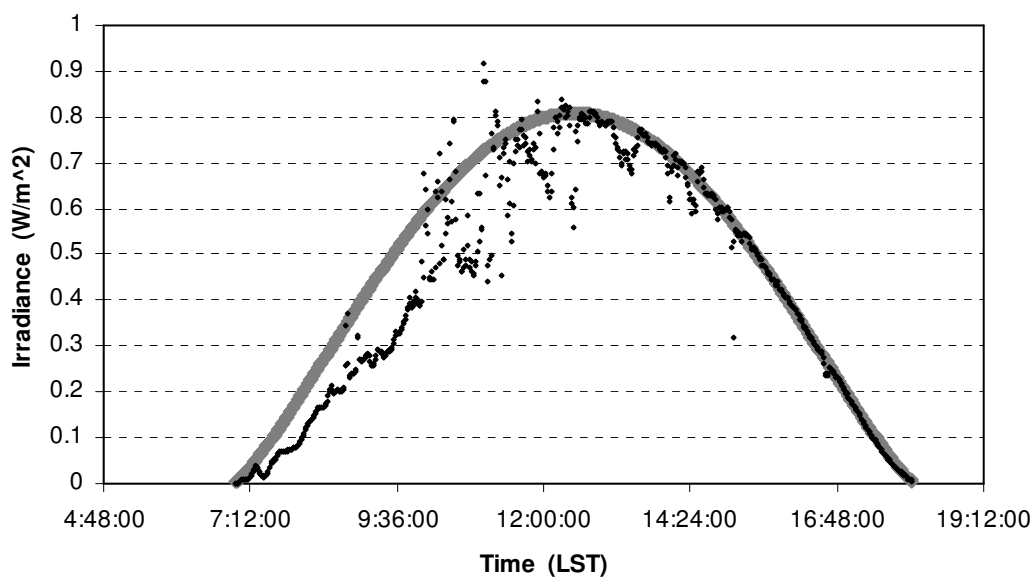
ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 12 มกราคม พ.ศ. 2546



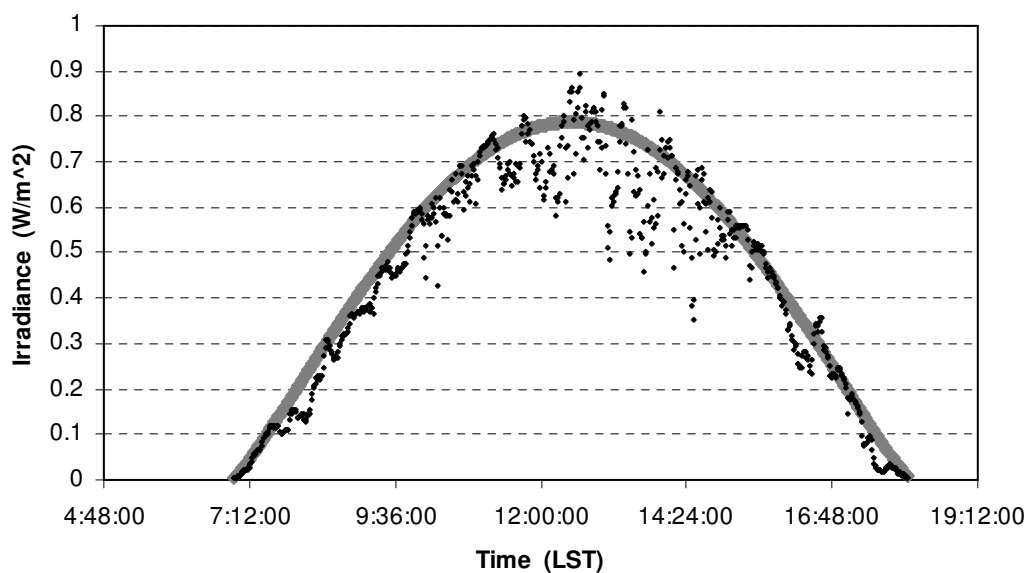
ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2546



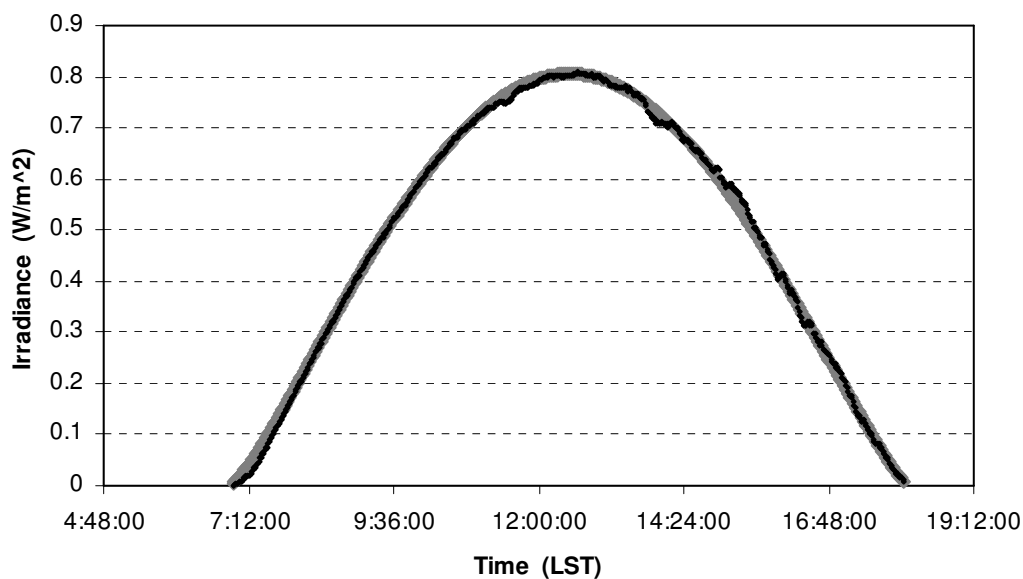
ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ. 2546



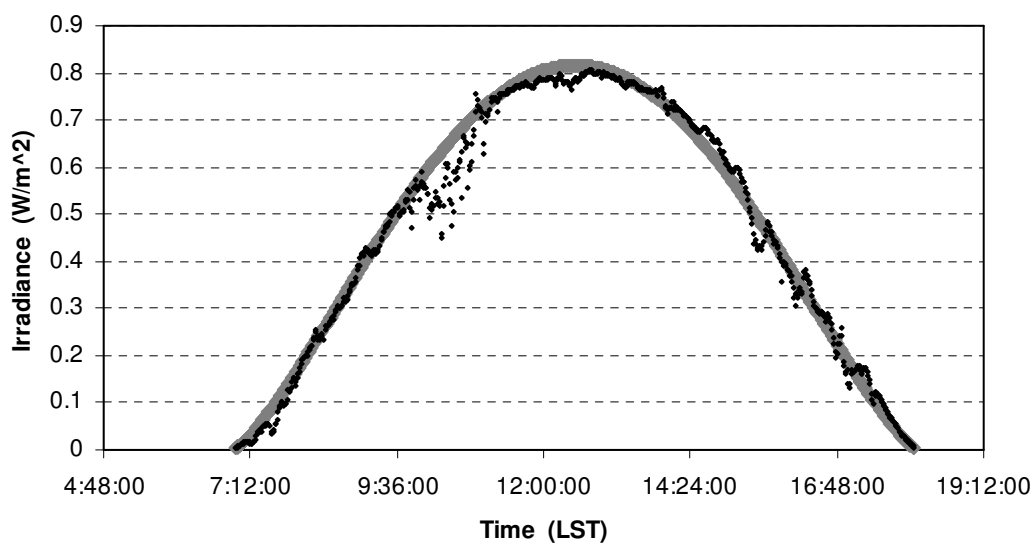
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2546



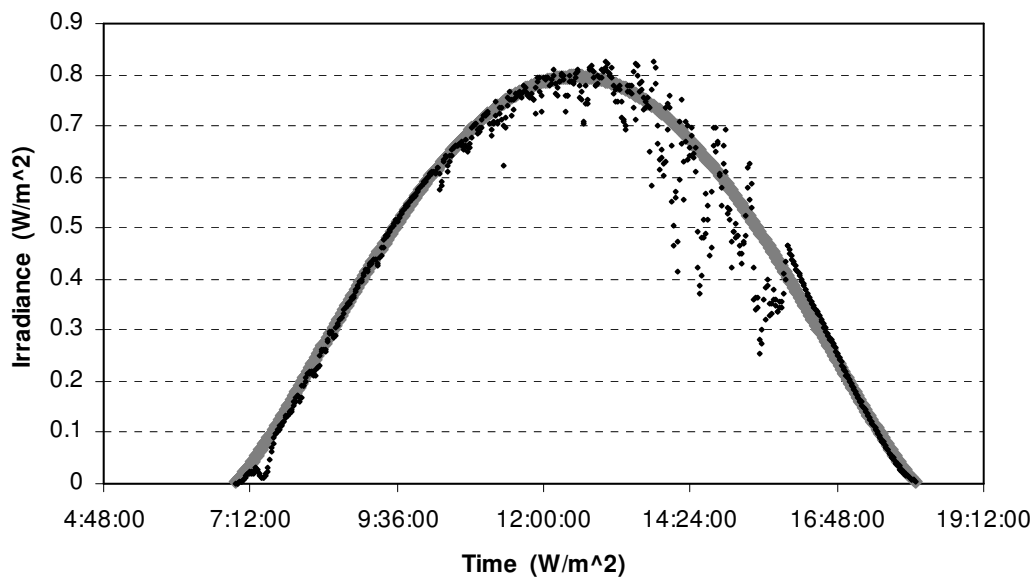
ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2546



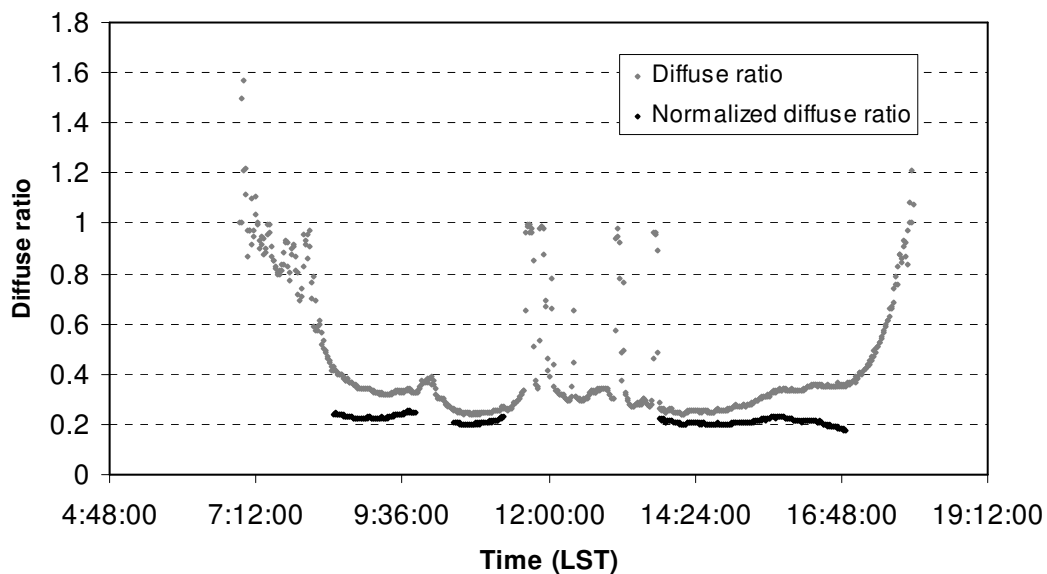
ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2546



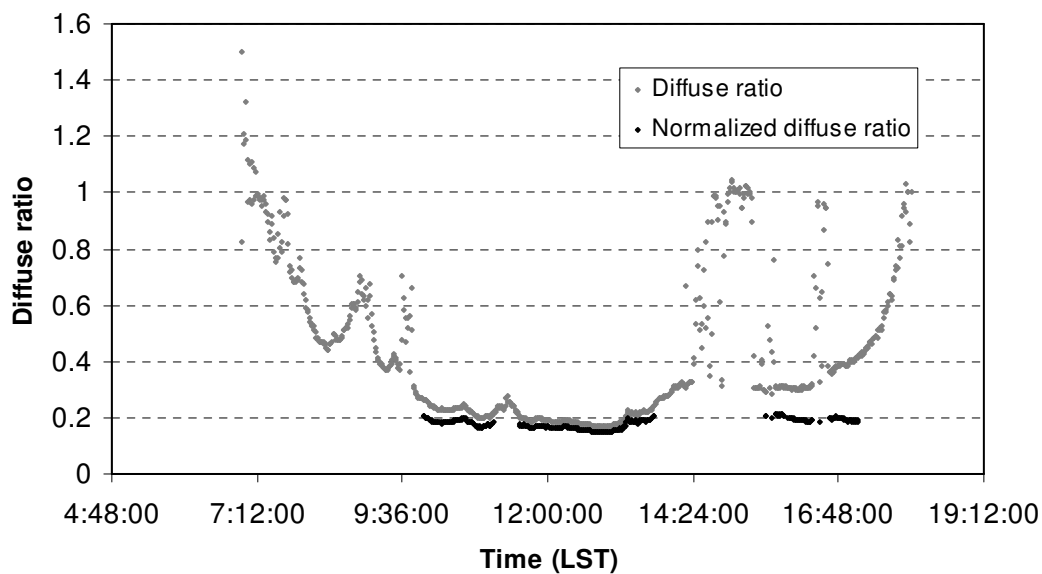
ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 19 มกราคม พ.ศ. 2546



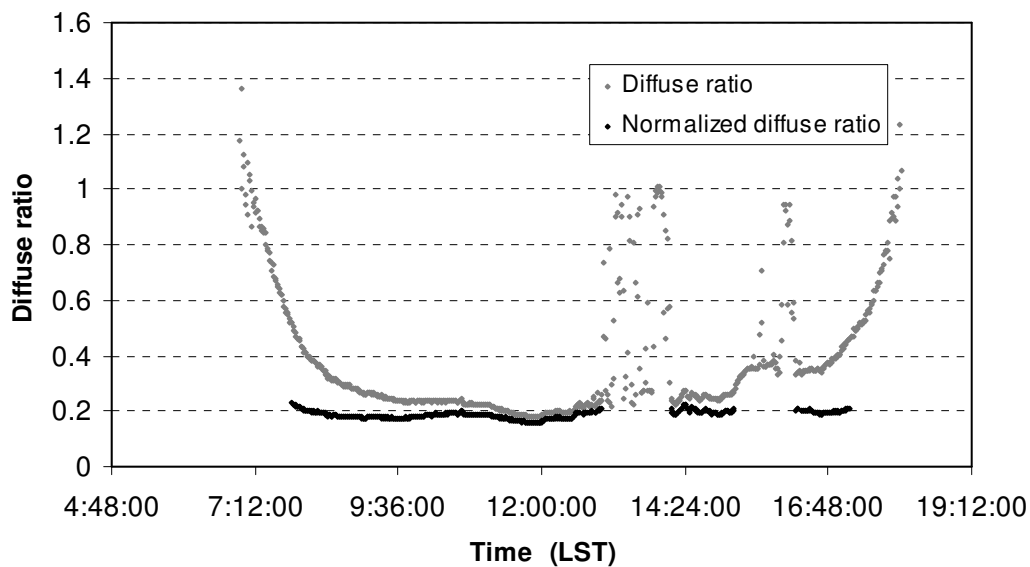
ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีดำ) และความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์จากการปรับค่าที่เหมาะสม กับเวลา(เส้นสีเทา) ของวันที่ 20 มกราคม พ.ศ. 2546



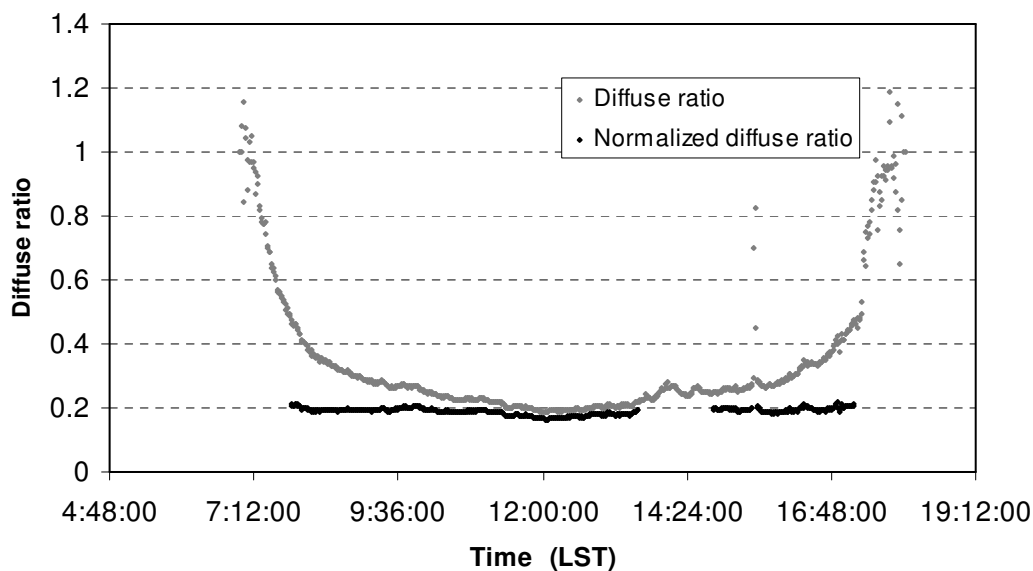
ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของ วันที่ 11 มกราคม พ.ศ.2546



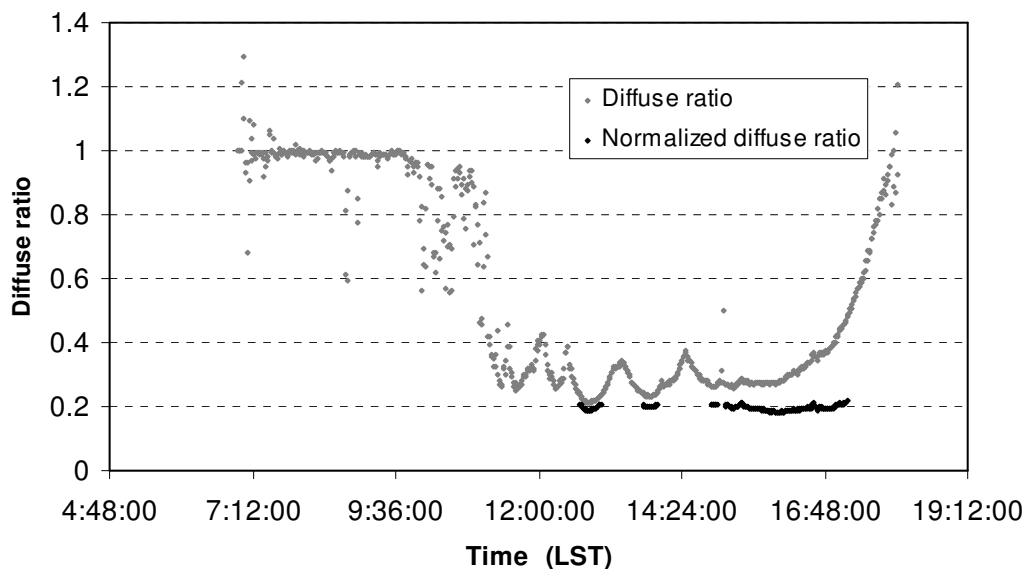
ภาพประกอบ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของ วันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546



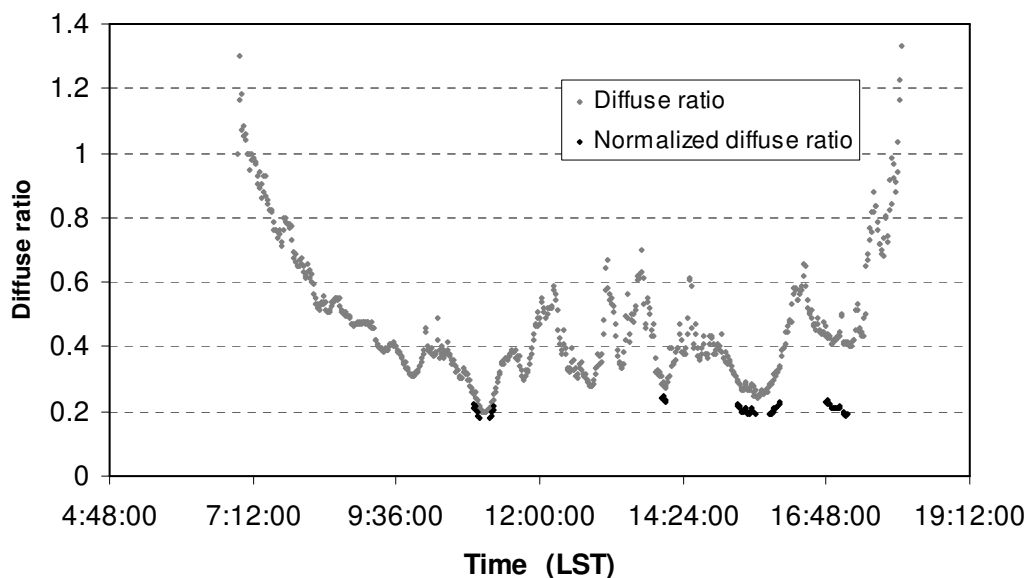
ภาพประกอบ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของ วันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2546



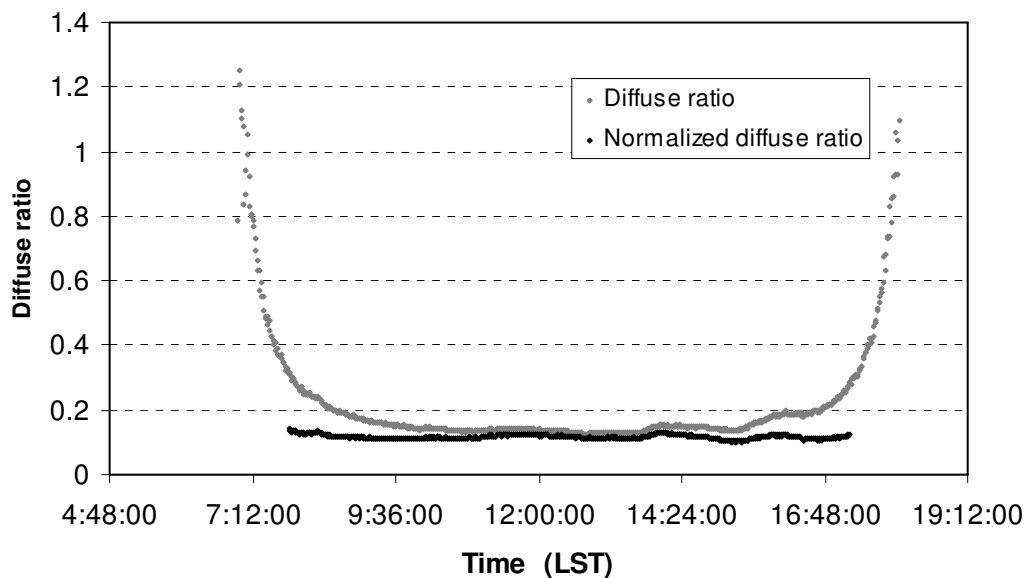
ภาพประกอบ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของ วันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2546



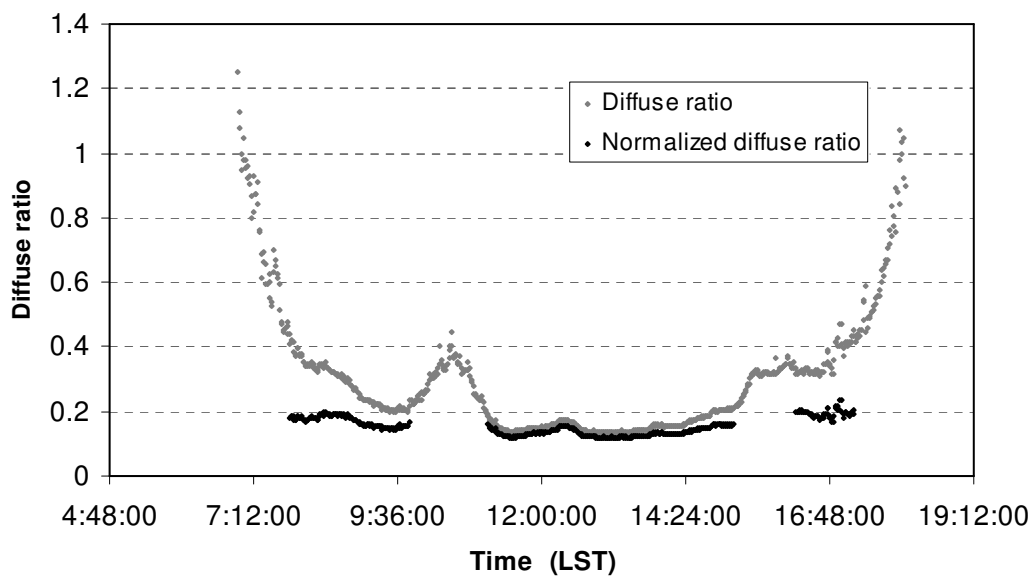
ภาพประกอบ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของ วันที่ 16 มกราคม พ.ศ.2546



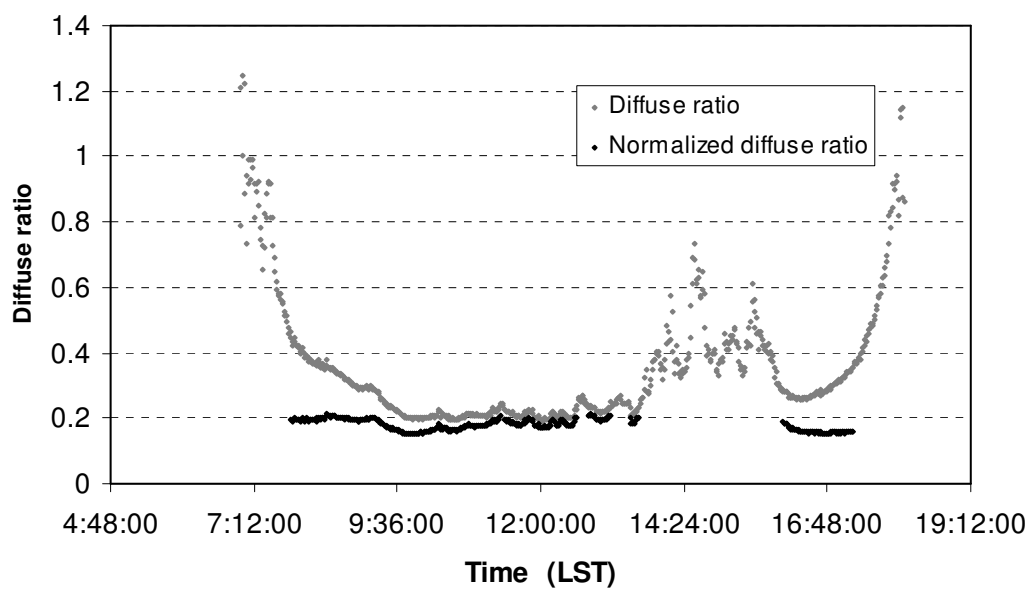
ภาพประกอบ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของ วันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546



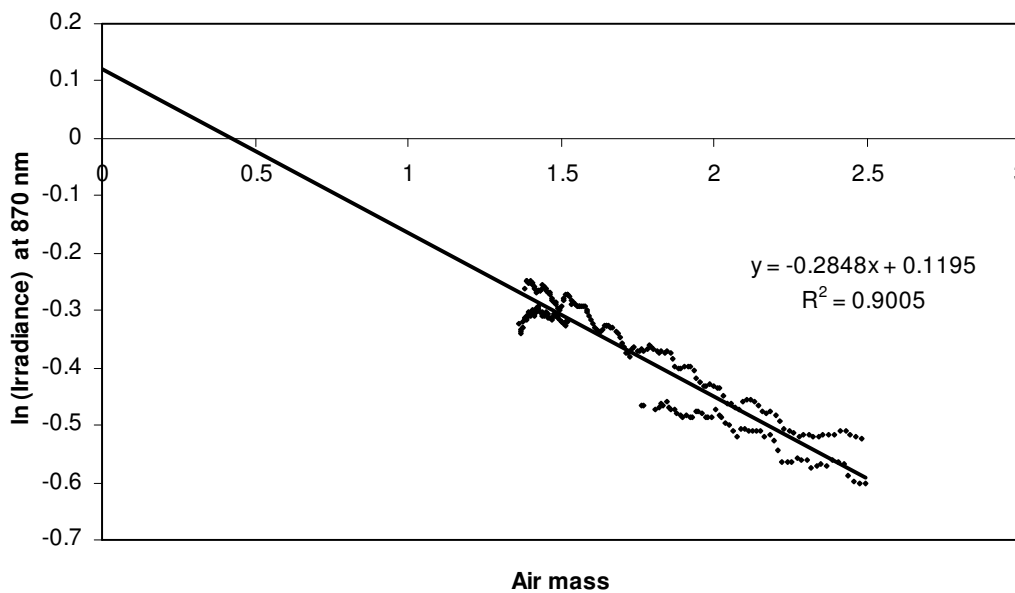
ภาพประกอบ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของ วันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546



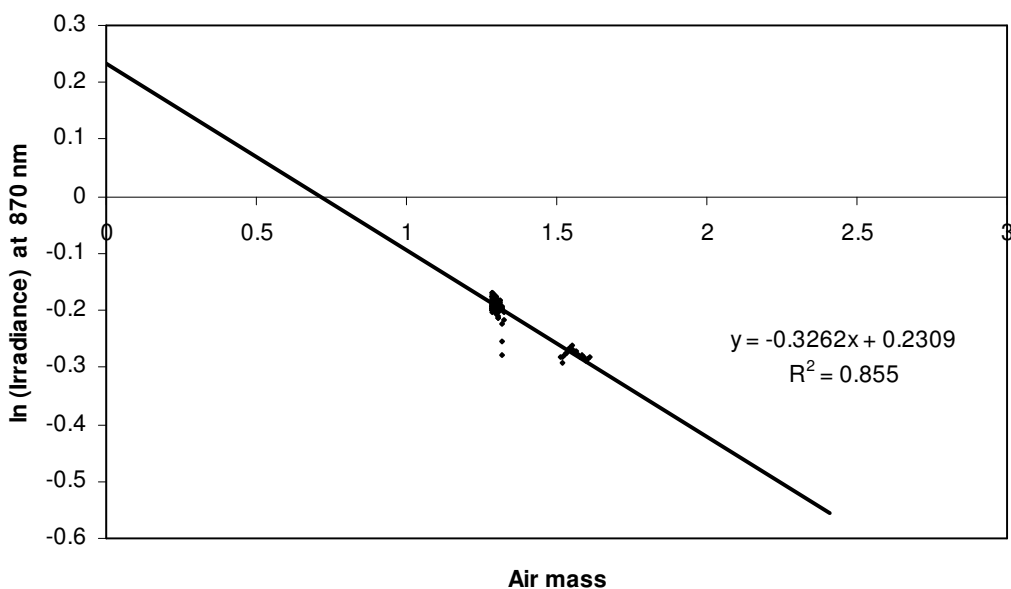
ภาพประกอบ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของ วันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2546



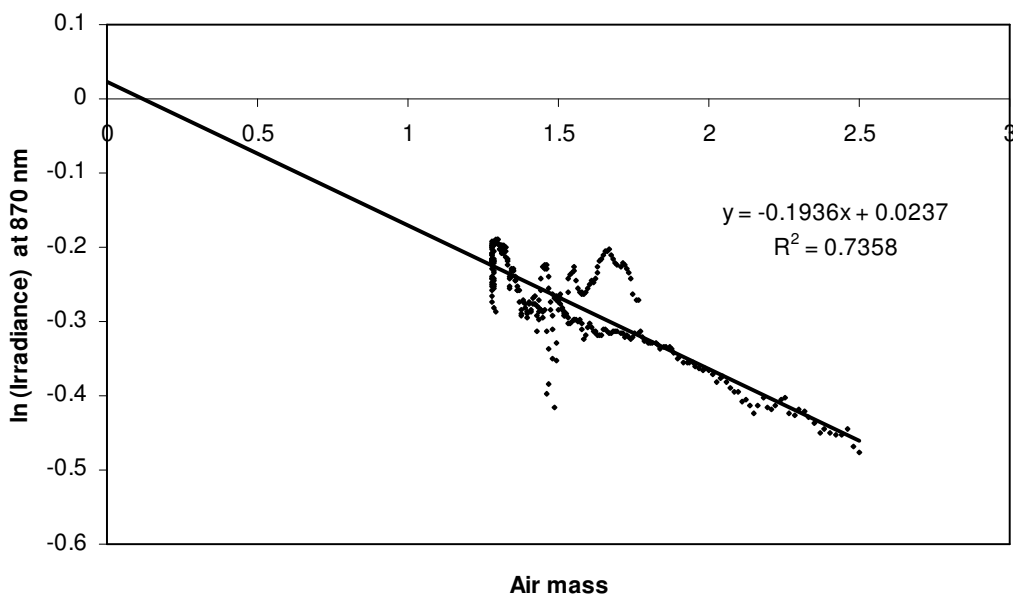
ภาพประกอบ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ของดวงอาทิตย์ กับเวลา (เส้นสีเทา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติของดวงอาทิตย์ กับเวลา(เส้นสีดำ) ของวันที่ 20 มกราคม พ.ศ.2546



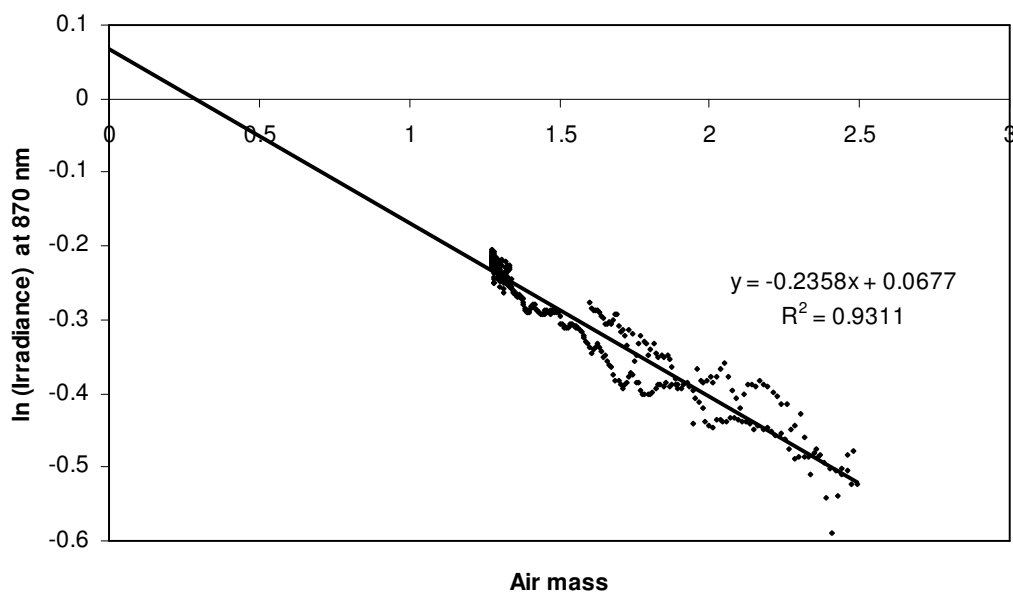
ภาพประกอบ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 11 มกราคม พ.ศ.2546



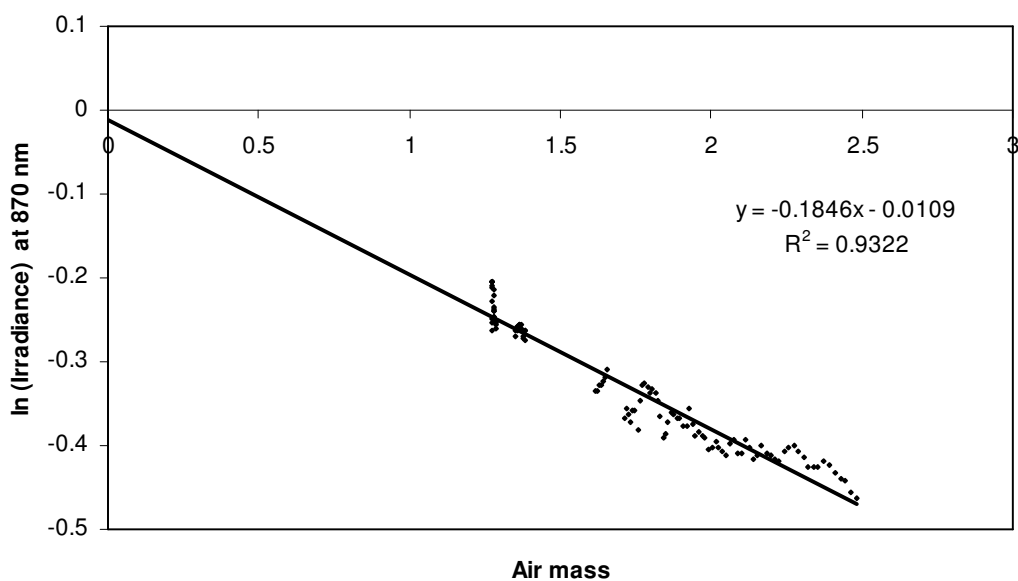
ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546



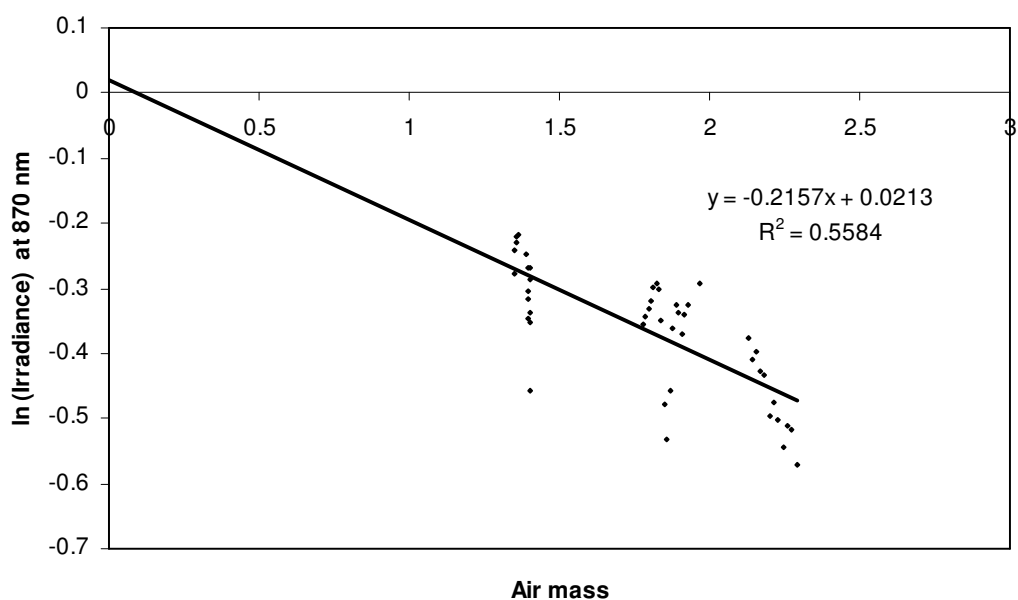
ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2546



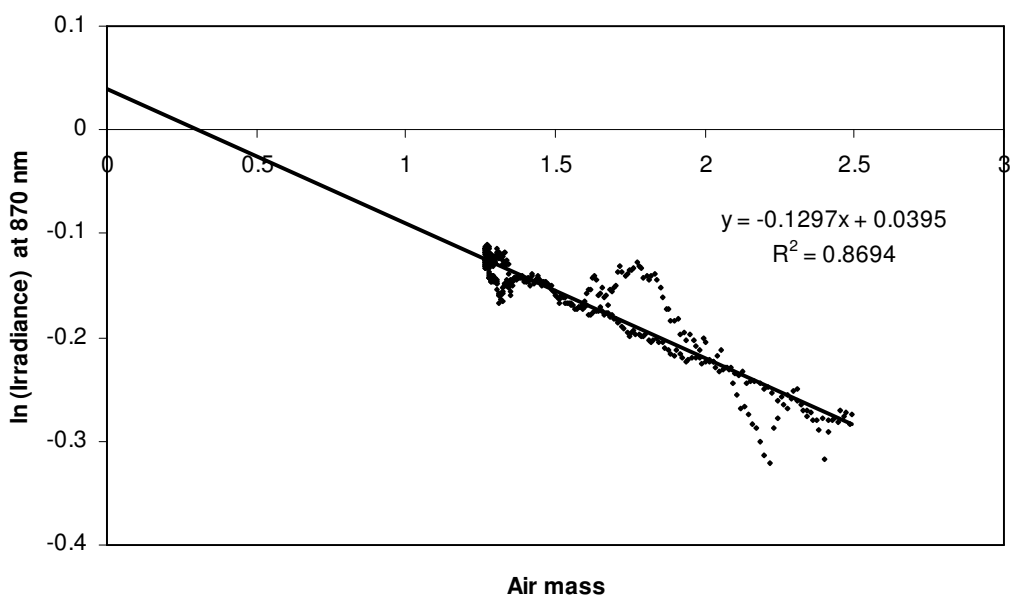
ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2546



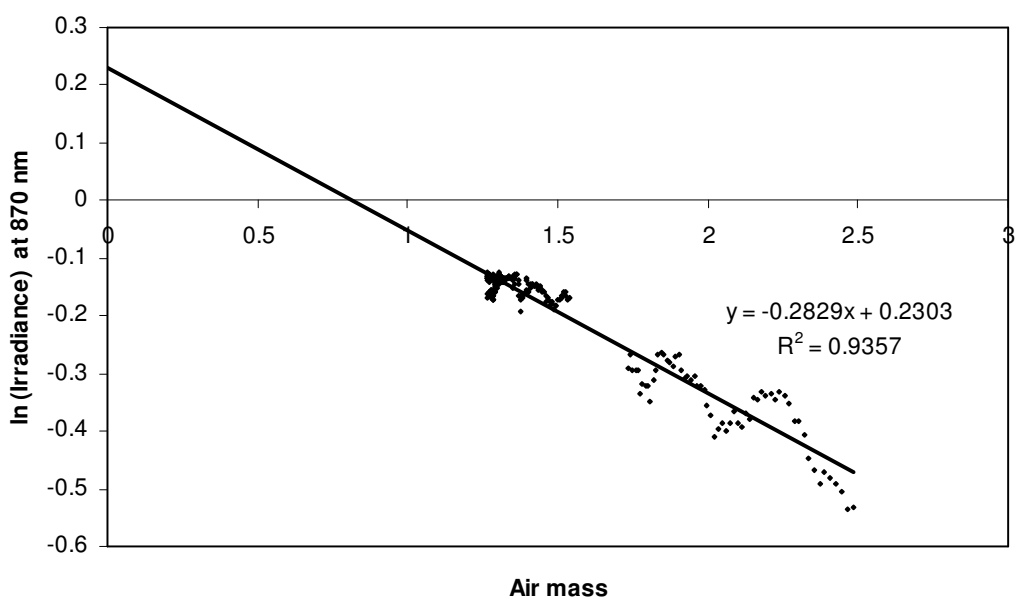
ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 16 มกราคม พ.ศ.2546



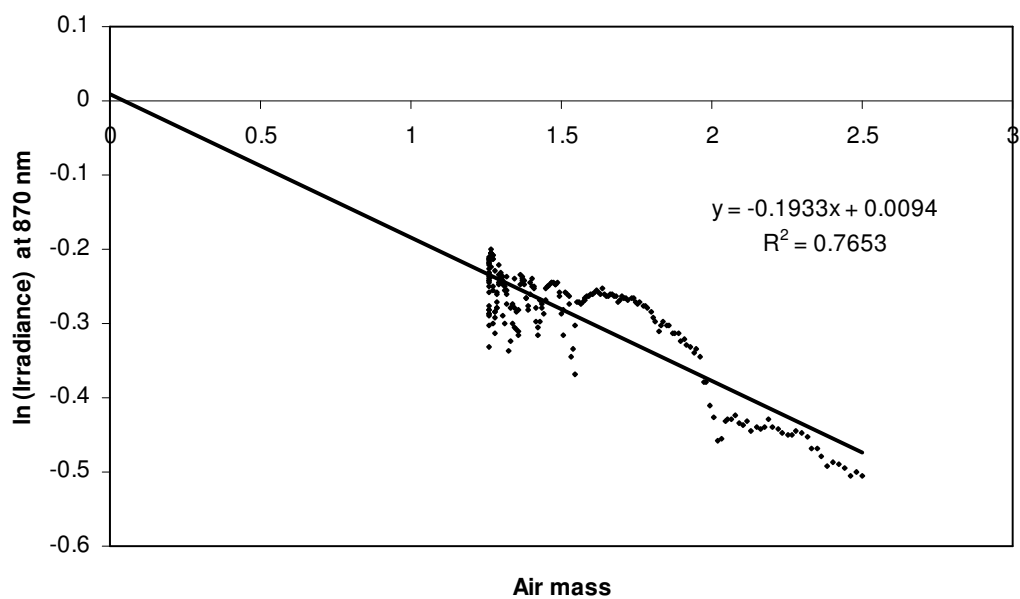
ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546



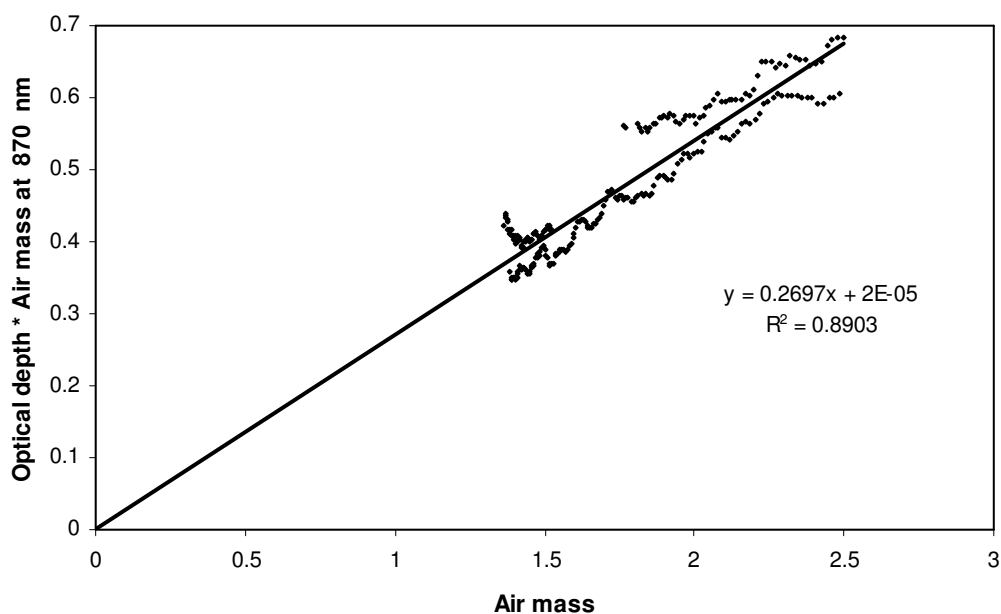
ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546



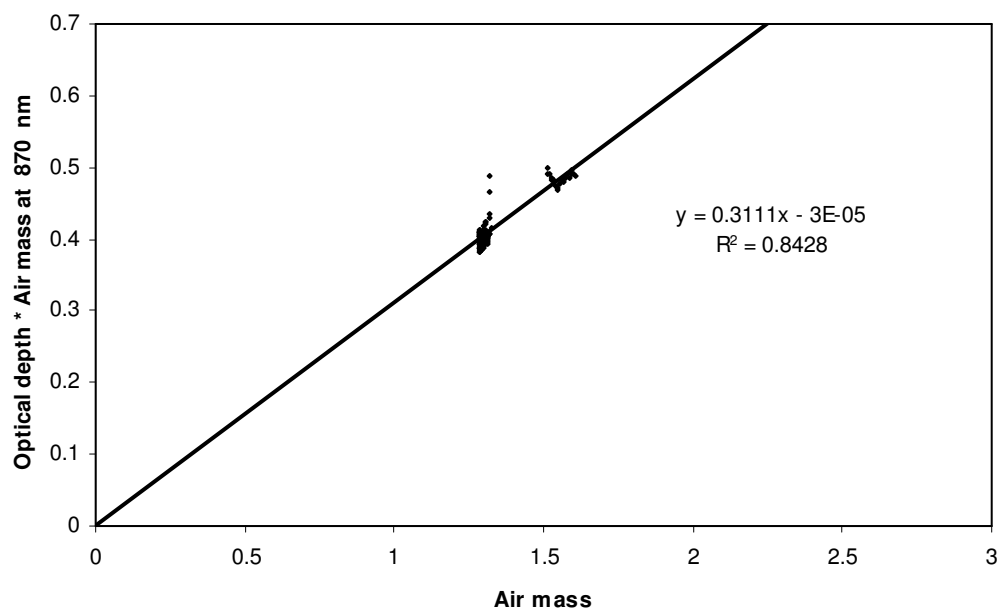
ภาพประกอบ 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2546



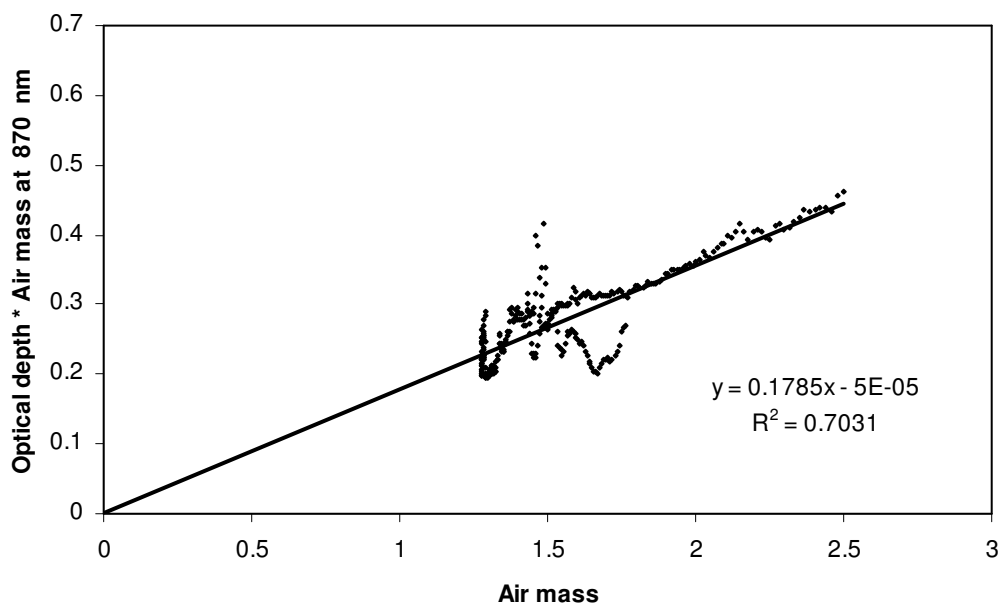
ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ความยาวคลื่น 870 nm กับมวลอากาศ ของวันที่ 20 มกราคม พ.ศ.2546



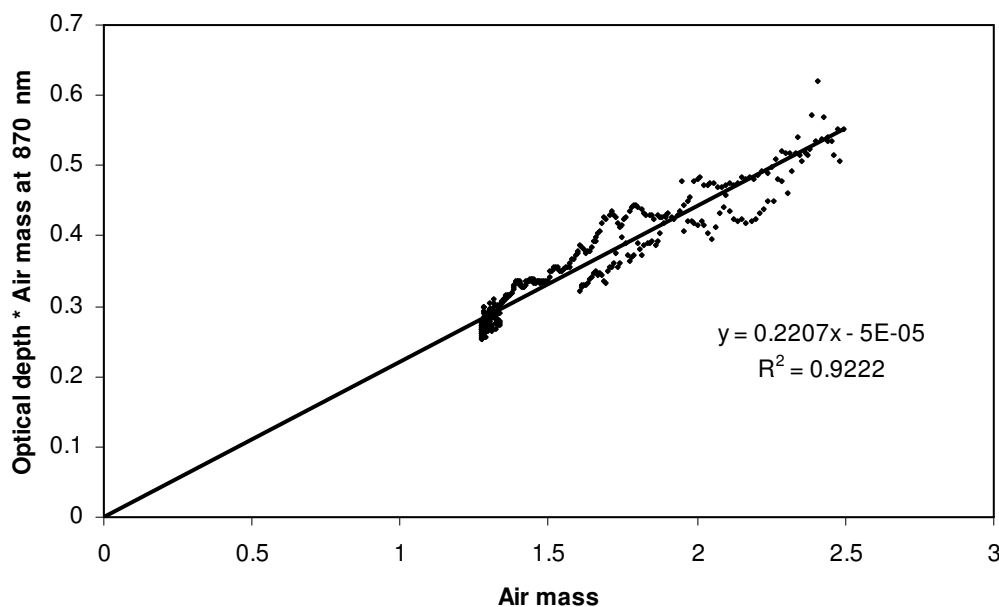
ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 11 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m



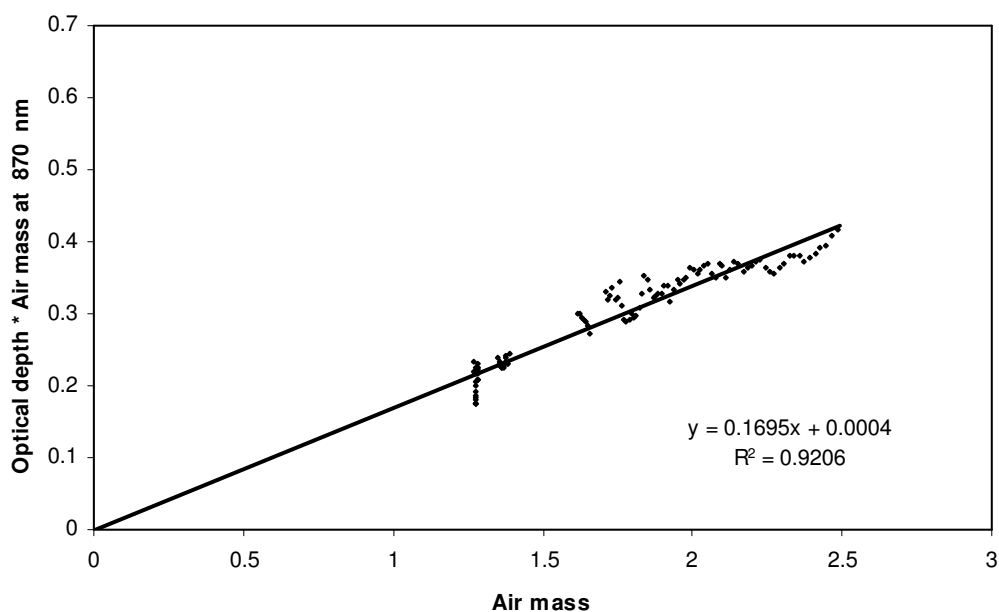
ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m



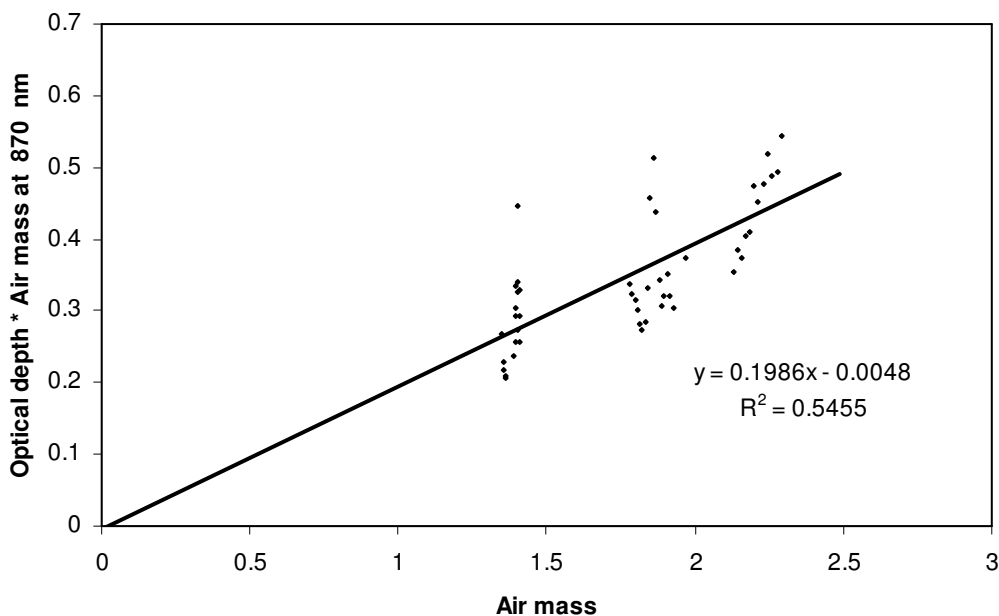
ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m



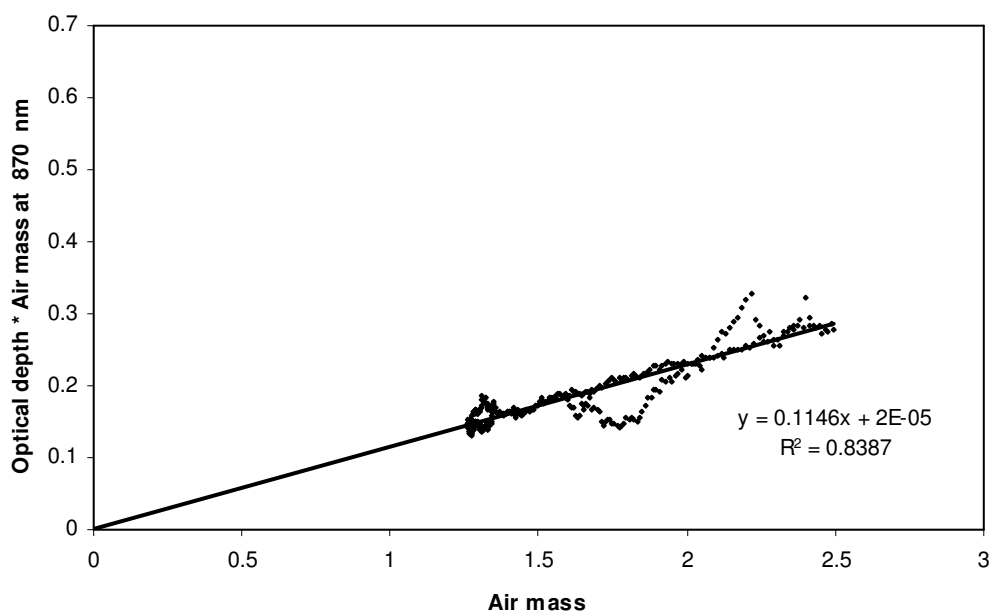
ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m



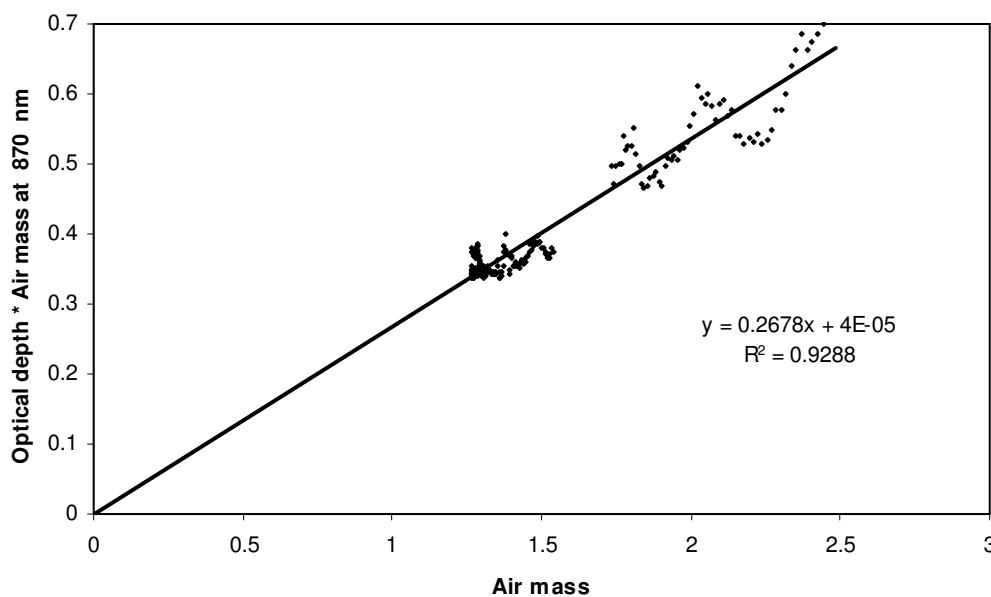
ภาพประกอบ 47 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 16 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m



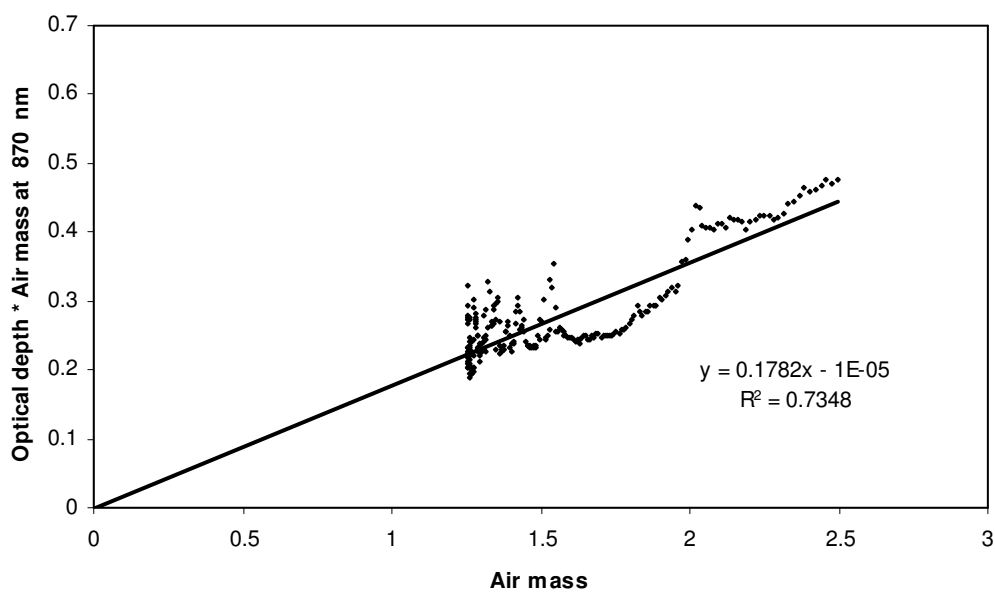
ภาพประกอบ 48 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m



ภาพประกอบ 49 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m



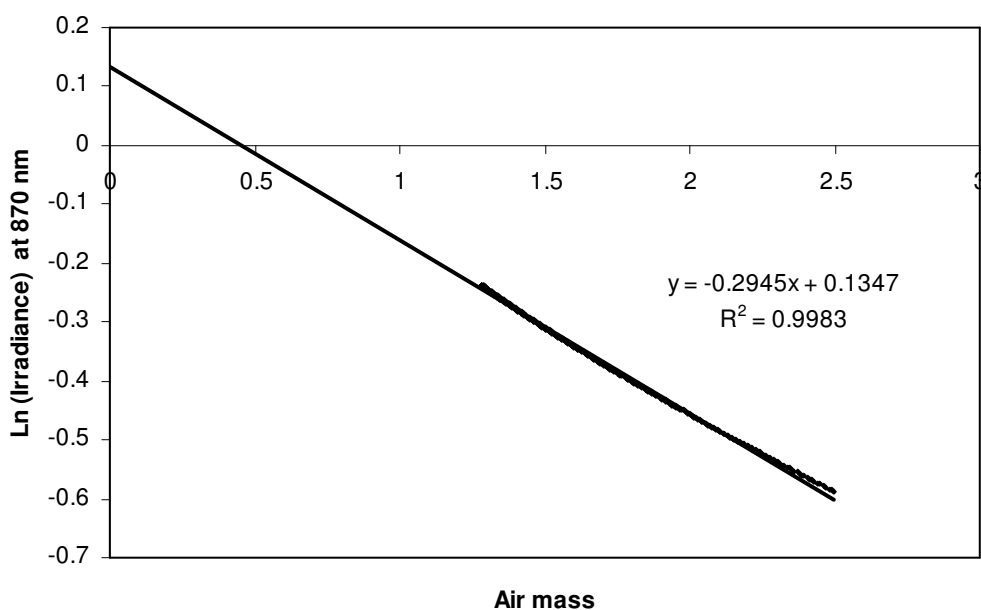
ภาพประกอบ 50 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m



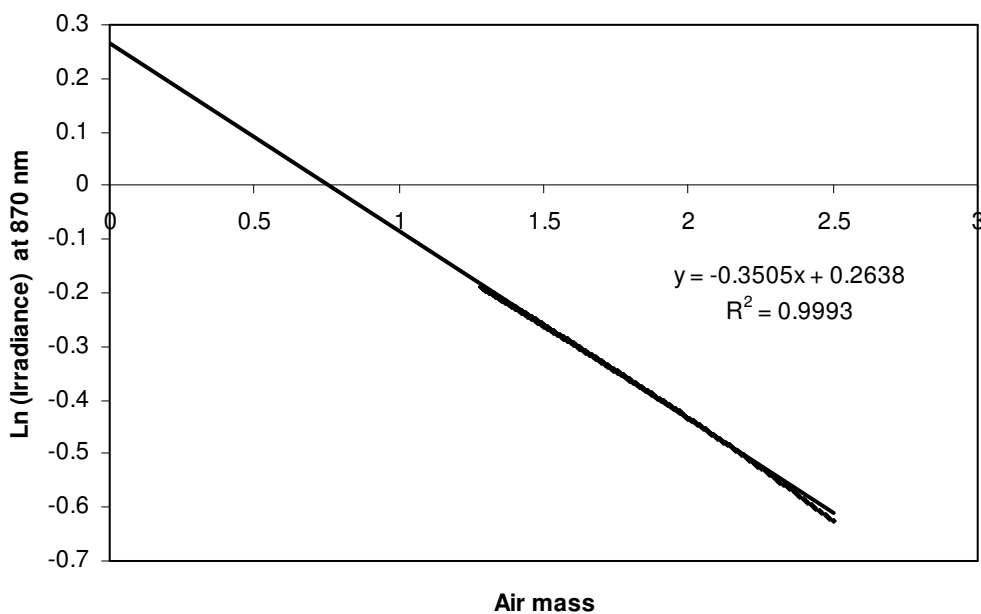
ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงผลการหาค่าปรับเทียบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ MFR-7 ของข้อมูล
 ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 20 มกราคม พ.ศ.2546 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์
 ระหว่าง $\tau m - \tilde{\tau}_{Rayleigh} m$ กับ m

ตาราง 1 ผลการหาค่าความถี่เชิงแสงรวม และค่าความถี่เชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ
จากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 พร้อมทั้งแสดงค่าเปรียบเทียบของเครื่องมือ ตั้งแต่วันที่ 11 - 20
มกราคม พ.ศ.2546

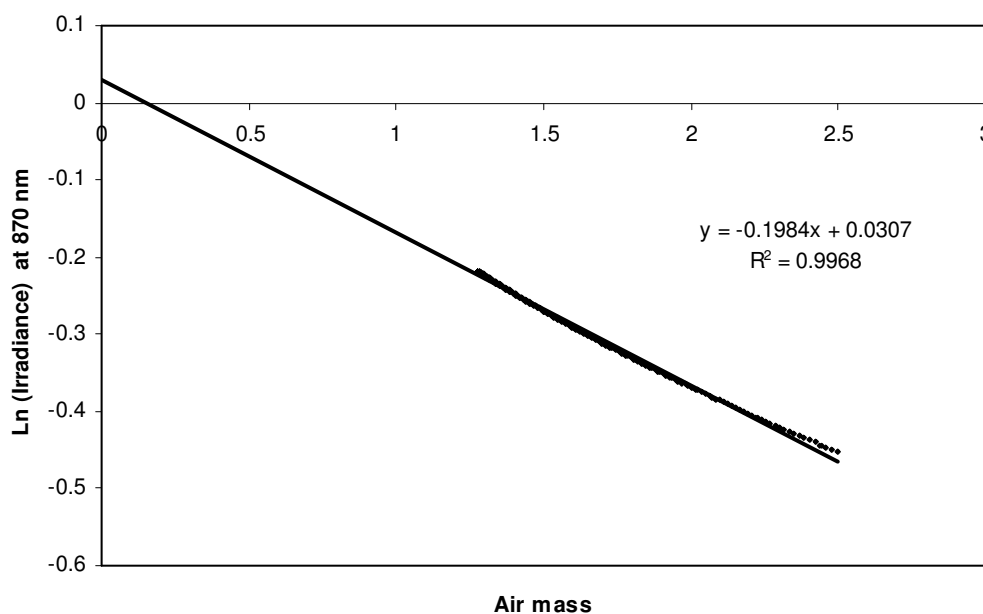
วันที่ในเดือน มกราคม พ.ศ. 2546	ค่าความถี่เชิงแสง รวมในชั้น บรรยากาศ	ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสินใจ (R^2)	ค่าความถี่เชิงแสง ของละอองลอย	ค่าเปรียบเทียบของ เครื่องมือ
11	0.2848	0.9005	0.2697	0.99998
12	0.3262	0.8550	0.3111	1.00003
13	0.2011	0.8439	0.1860	1.00002
14	0.1936	0.7358	0.1785	1.00005
15	0.2358	0.9311	0.2207	1.00005
16	0.1846	0.9322	0.1695	0.99996
17	0.2137	0.5584	0.1986	1.00481
18	0.1297	0.8694	0.1146	0.99998
19	0.2829	0.9357	0.2678	0.99996
20	0.1933	0.7653	0.1782	0.99999



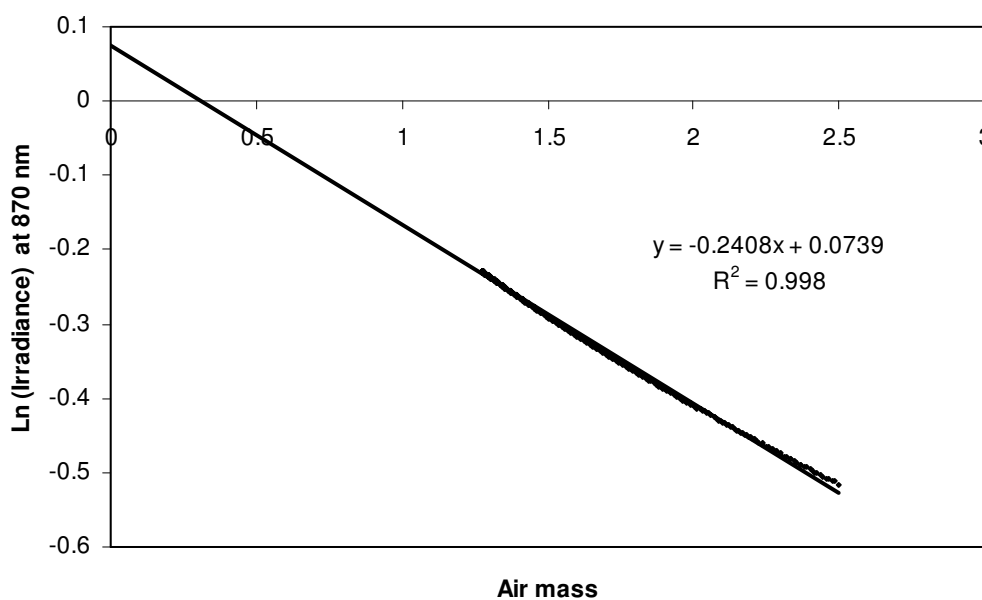
ภาพประกอบ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับมวลอากาศ ของวันที่ 11 มกราคม พ.ศ.2546



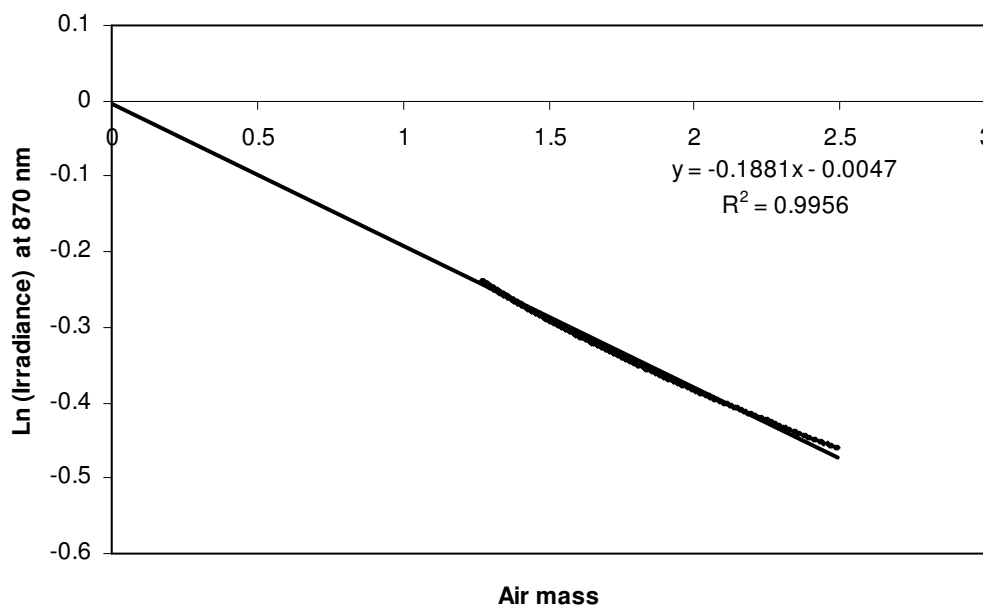
ภาพประกอบ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับมวลอากาศ ของวันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546



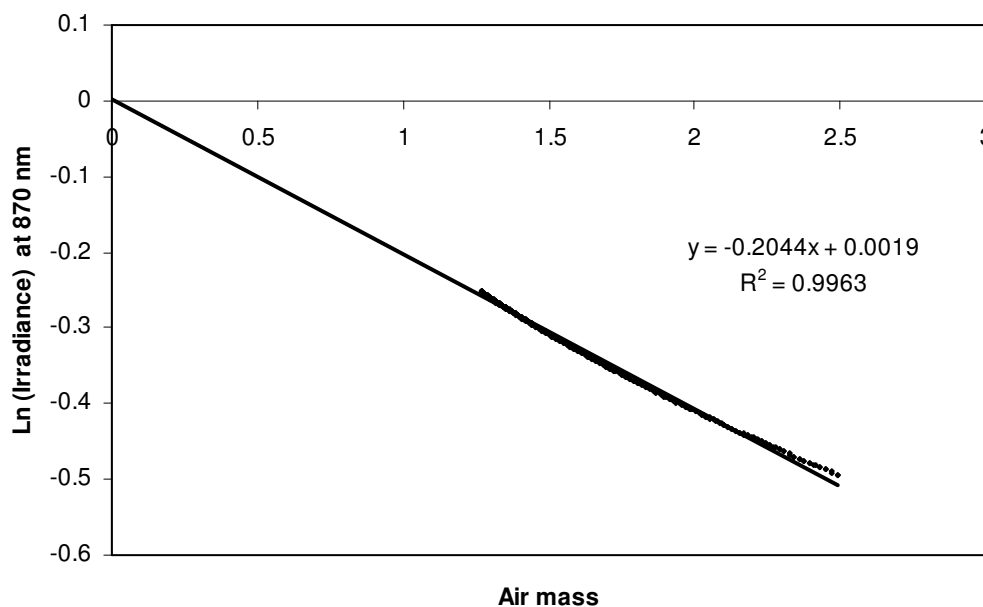
ภาพประกอบ 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับมวลอากาศ ของวันที่ 14 มกราคม พ.ศ.2546



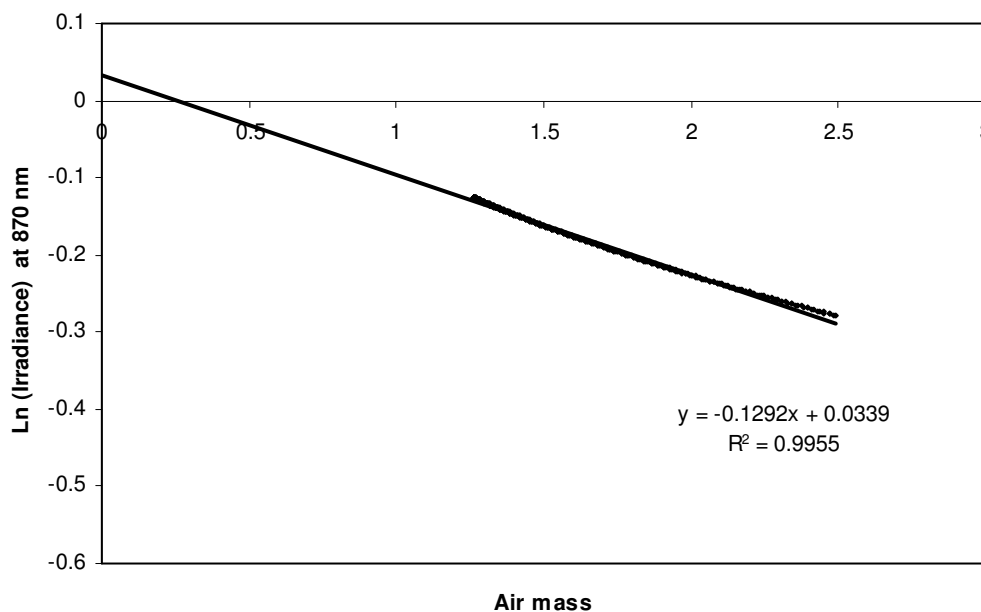
ภาพประกอบ 55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับมวลอากาศ ของวันที่ 15 มกราคม พ.ศ.2546



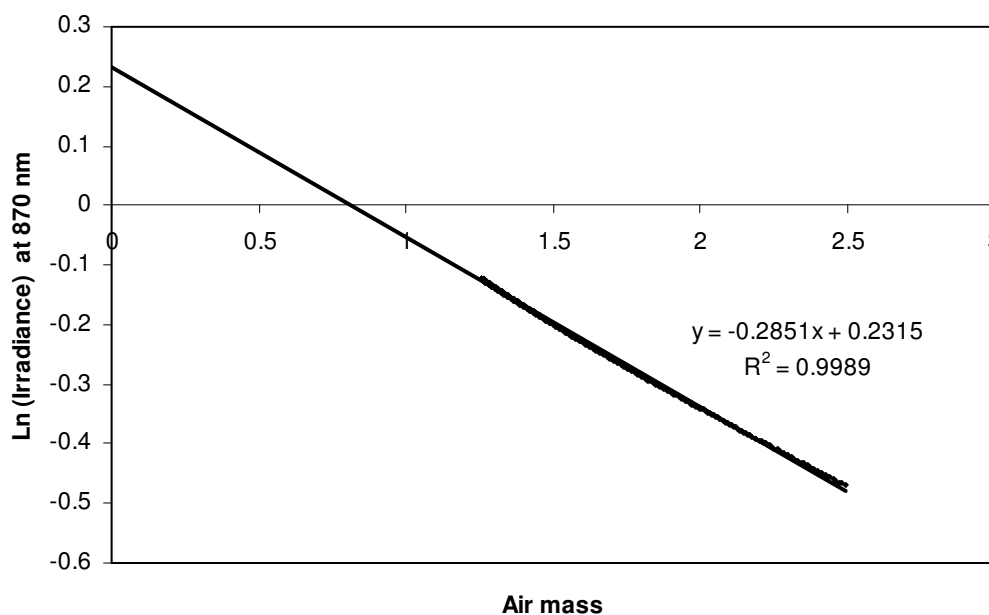
ภาพประกอบ 56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับมวลอากาศ ของวันที่ 16 มกราคม พ.ศ.2546



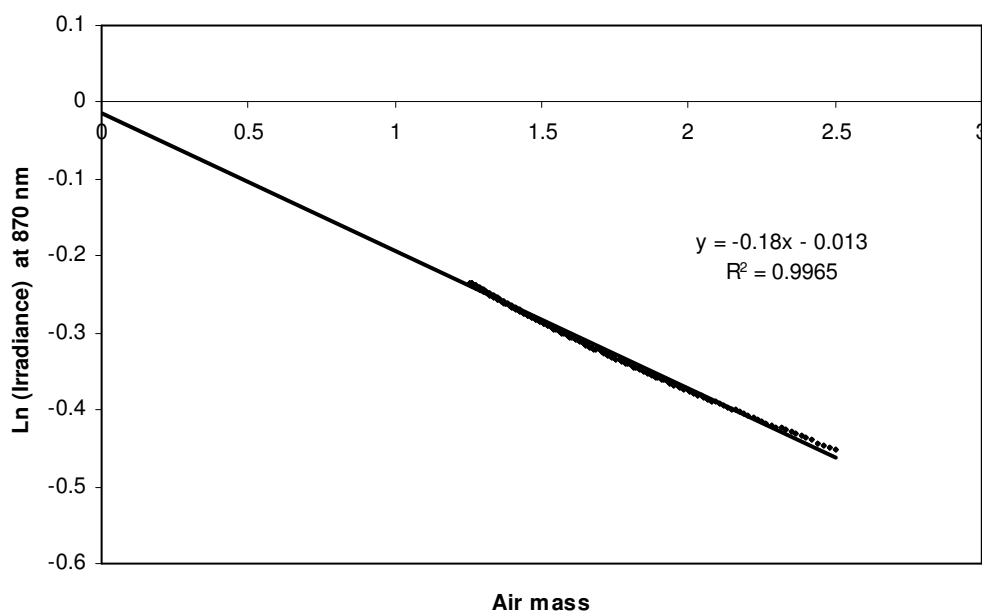
ภาพประกอบ 57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับมวลอากาศ ของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546



ภาพประกอบ 58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับมวลอากาศ ของวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546



ภาพประกอบ 59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับมวลอากาศ ของวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2546



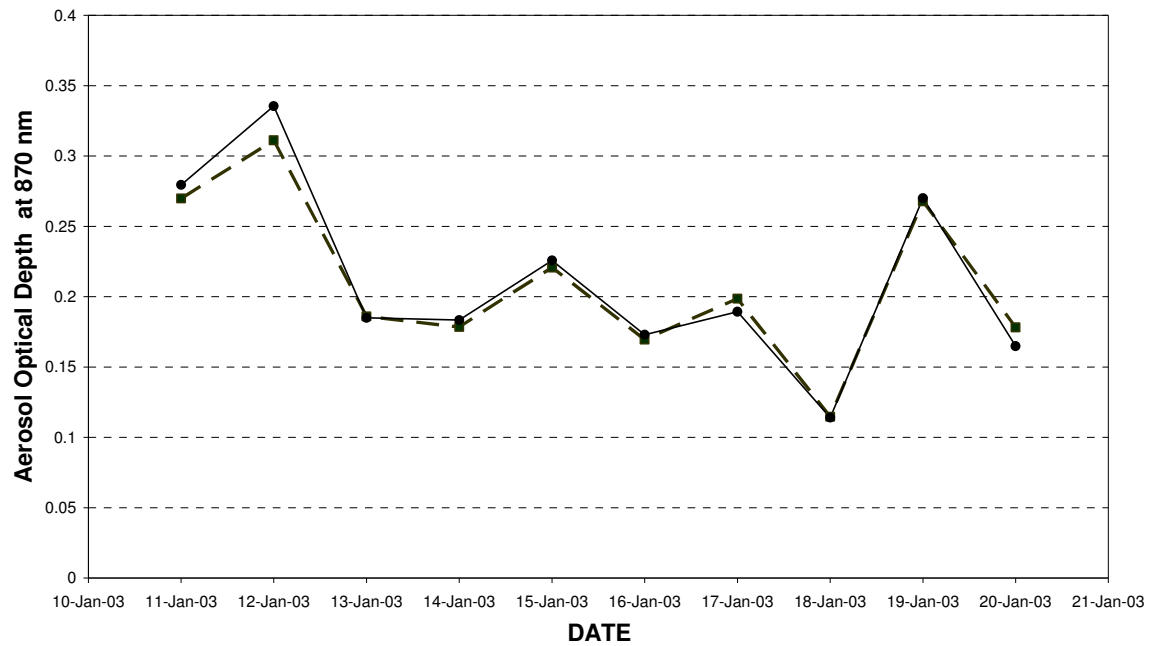
ภาพประกอบ 60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ได้จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ กับมวลอากาศ ของวันที่ 20 มกราคม พ.ศ.2546

ตาราง 2 ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงรวม และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ พร้อมทั้ง แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ตั้งแต่วันที่ 11-20 มกราคม พ.ศ.2546

วันที่ใน เดือน มกราคม พ.ศ. 2546	ค่าสัมประสิทธิ์การ ถดถอยของรังสีรวม ของดวงอาทิตย์		ค่าสัมประสิทธิ์การ ถดถอยของอัตราการ แพร่ของดวงอาทิตย์		ค่าความลึกเชิง แสงรวม ตามแบบจำลอง คณิตศาสตร์	ค่าความลึกเชิง แสงของ ละอองลอย ตามแบบจำลอง คณิตศาสตร์
	a	b	a	b		
11	1.0867	1.2386	0.1945	-0.6789	0.2945	0.2794
12	1.0524	1.1554	0.1336	-1.2272	0.3505	0.3354
13	1.0397	1.1590	0.1575	-0.6402	0.2000	0.1849
14	1.0564	1.1729	0.1813	-0.5259	0.1984	0.1833
15	1.0461	1.1923	0.1730	-0.6639	0.2408	0.2257
16	1.0646	1.1830	0.2063	-0.4017	0.1881	0.1730
17	1.0620	1.1795	0.2125	-0.4543	0.2044	0.1893
18	1.0465	1.1315	0.1193	-0.4361	0.1292	0.1141
19	1.0869	1.2497	0.1100	-1.0027	0.2851	0.2700
20	1.0221	1.1536	0.1773	-0.5046	0.1800	0.1648

ตาราง 3 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ ตั้งแต่วันที่ 11 - 20 มกราคม พ.ศ.2546

วันที่ในเดือน มกราคม พ.ศ.2546	ค่าความลึกเชิงแสงของ ละอองลอยจากข้อมูลของ เครื่อง MFR-7	ค่าความลึกเชิงแสงของ ละอองลอยตามแบบจำลอง คณิตศาสตร์	ค่าความแตกต่าง
11	0.2697	0.2794	0.0097
12	0.3111	0.3354	0.0243
13	0.1860	0.1849	0.0011
14	0.1785	0.1833	0.0048
15	0.2207	0.2257	0.0050
16	0.1695	0.1730	0.0035
17	0.1986	0.1893	0.0093
18	0.1146	0.1141	0.0005
19	0.2678	0.2700	0.0022
20	0.1782	0.1648	0.0134



ภาพประกอบ 61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้น
 บรรยากาศจากข้อมูลของเครื่อง MFR-7(เส้นตรง) และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้น
 บรรยากาศจากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์
 (เส้นประ) ตั้งแต่วันที่ 11 - 20 มกราคม พ.ศ.2546

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการนำข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง MFR-7 ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ที่ช่วงความยาวคลื่น 870 nm ของวันที่ 11 - 20 มกราคม พ.ศ.2546 ซึ่งประกอบด้วยปริมาณของรังสีรวม รังสีแพร่ และรังสีตรงของดวงอาทิตย์ มาวิเคราะห์และคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ ได้ผลการทดลองตามบทที่ 4 โดยพบว่า

5.1.1 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546 นับว่าเป็นวันที่ท้องฟ้าโปร่งเมื่อพิจารณาจากภาพประกอบ 7 เมื่อนำมาวิเคราะห์และคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ของวันเดียวกันตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่าค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากข้อมูลทั้งสองแบบมีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าเท่ากับ 0.1860 และ 0.1849 ตามลำดับ จึงแสดงให้เห็นว่าการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ สามารถใช้ในการคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศได้อย่างแม่นยำ

5.1.2 จากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์นี้ไปคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศในระหว่างวันที่ 11 - 20 มกราคม พ.ศ.2546 โดยในแต่ละวันอาจมีเมฆมาบังระหว่างทำการวัด ดังภาพประกอบ 16 - 24 พบว่าวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546 เป็นวันที่มีเมฆมากที่สุด และมีข้อมูลไม่ถึง 120 ข้อมูล ตามที่กำหนดเอาไว้สำหรับการดำเนินการตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่ก็ได้ลองนำมาดำเนินการทดลองต่อเพื่อทดสอบผล และวันที่ 13 และ 18 มกราคม พ.ศ.2546 เป็นวันที่สภาพท้องฟ้าค่อนข้างโปร่งมากที่สุด และจากการนำค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศในวันที่ 11 - 20 มกราคม พ.ศ.2546 เปรียบเทียบกับค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแต่ละวัน ได้ดังภาพประกอบ 61 จะเห็นได้ว่าลักษณะของเส้นกราฟของค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยทั้งสอง มีลักษณะใกล้เคียงกันและเกือบทับกันพอดี โดยเฉพาะผลการทดลองในวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546 ซึ่งเป็นวันที่มีข้อมูลการวัดน้อยกว่า 120 ข้อมูล ก็ได้ผลออกมาใกล้เคียงกัน จึงแสดงได้ว่าการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถนำมาใช้หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศในวันที่มีเมฆมาบังระหว่างทำการตรวจวัดได้

5.1.3 ค่าการเปรียบเทียบเครื่อง MFR-7 ในระหว่างวันที่ 11 - 20 มกราคม พ.ศ.2546 ดังตาราง 1 จะเห็นได้ว่าค่าการเปรียบเทียบเครื่องมือมีค่าประมาณ 1 ซึ่งแสดงว่าเครื่อง MFR-7 ที่ใช้ใน งานวิจัยครั้งนี้ มีการติดตั้งและปรับองศาของเครื่องได้ถูกต้อง ข้อมูลที่ได้จึงมีความแม่นยำสูงและ น่าเชื่อถือ

5.1.4 จากการคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.4 โดยวันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546 มีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.31 และวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546 มีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.11 และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 - 0.4 โดยวันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546 มีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศมากที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.34 และวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546 มีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศน้อยที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.11

5.1.5 จากการเปรียบเทียบการคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ จากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 กับค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศที่ได้จากข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ในตาราง 3 พบว่าวันที่ 12 มกราคม พ.ศ.2546 มีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่มีความแตกต่างมากที่สุด คือประมาณ 0.0243 และวันที่ 18 มกราคม พ.ศ.2546 มีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยใกล้เคียงกันมากที่สุด คือประมาณ 0.0005 และวันที่ 17 มกราคม พ.ศ.2546 ซึ่งมีข้อมูลเหลือเพียง 64 ข้อมูลก็ยังได้ค่าความแตกต่างประมาณ 0.0093 เท่านั้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศของโลก โดยนำข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่อง MFR-7 มีข้อเสนอแนะดังนี้

5.2.1 การพิจารณาข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง โดยใช้วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ ถ้าตัดข้อมูลในส่วนที่มีเมฆมาบังการวัดออกได้หมด จะทำให้การนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศ ตามการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ใกล้เคียง 1 มากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

5.2.2 จากงานวิจัยนี้ได้นำข้อมูลการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งสามารถนำแบบจำลองคณิตศาสตร์นี้ไปคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในชั้นบรรยากาศจากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 ที่ความยาวคลื่นอื่นๆ ได้ และ

สามารถนำไปใช้กับวันที่มีเมฆบดบังมากเกือบทั้งวันก็ได้ ถึงแม้ว่าข้อมูลไม่ถึง 120 ข้อมูล ทำให้หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ต่อเนื่องกันทุกวันได้โดยไม่ต้องเว้นวันที่มีเมฆมาก แต่มีข้อควรระวัง คือ ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยนี้ต้องเป็นค่าเฉลี่ยทั้งวันเพราะการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์เป็นการปรับที่มีความสมมาตรระหว่างช่วงเช้าและช่วงบ่ายในแต่ละวันดังนั้นจึงไม่สามารถนำมาใช้หาค่าความแตกต่างของความลึกเชิงแสงของละอองลอยในตอนเช้าและตอนบ่ายได้

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- กีรติ ลีวีจันกุล. (2543). *อุทกวิทยา (Hydrology)*. พิมพ์ครั้งที่ 1. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต.
- รังสรรค์ อากาศัพพะกุล. (2547). *อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น (Introduction to meteorology)*. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมชาย นคะผดุงรัตน์; และคณะ. (2545). *เอกสารแนบโครงการวิจัย: การศึกษาคูณสมบัติทางทัศนศาสตร์ของละอองฝุ่นในบรรยากาศโดยใช้ข้อมูลจากไลดาร์ ณ สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีในบรรยากาศ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย พ.ศ. 2545*. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เสริม จันท์ฉาย; และคณะ. (2548). *รายงานวิจัยโครงการ: การจัดทำคู่มือข้อมูลมาตรฐานด้านภูมิอากาศและแสงอาทิตย์สำหรับใช้พลังงานทดแทน*. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สุนันท์ ทวีตา. (2547). *การศึกษาสัดส่วนของสารยึดเหนี่ยวในชั้นตัวอย่างเซอร์คอนแบบอัดเม็ดที่มีผลต่อการวิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยการวัดการวาวรังสีเอกซ์*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- Alexandrov, Mikhail D.; et al. (2001). Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer. Part I: Retrieval Algorithm. *Journal of the atmospheric sciences*. 59: 524-525.
- Deming, W. Edwards. (1943). *Statistical Adjustment of Data*. 1st ed. New York: Dover Publication, Inc.
- King, Michael D.; & Byrne, Dale M. (1976). A Method for Total Ozone Content from the Spectral Variation of Total Optical Depth Obtained with a Solar Radiometer. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 33: 2242-2251.
- Lebaron, B. A.; Michalsky, J. J.; & Harrison, L. (1989). Rotating Shadowband Photometer Measurement of Atmospheric Turbidity: a Tool for Estimating Visibility. *Atmospheric Environment*. 23(1): 255-263.
- Lewis-Beck, Michael S. (1993). *Regression Analysis*. London: Sage.
- Long, Charle N.; & Ackerman, Thomas P. (2000). Identification of clear skies from broadband pyranometer measurement and calculation of downwelling shortwave cloud effects. *Journal of Geophysical Research*. 105(D12): 15,609-15,626.
- MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*. (2000). Massachusetts: Yankee Environmental Systems, Inc.

ภาคผนวก

ภาคผนวก
โปรแกรม Microsoft Excel

แสดงตัวอย่างข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่อง MFR-7 ที่ความยาวคลื่น 870 nm ทุก 1 นาที และผลการ
คำนวณข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546

ข้อมูลจากเครื่อง MFR-7					การหาท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)		หาค่าความลึกเชิงแสงรวม	
Time	COS Z	Total 870 (W/m ²)	Diffuse 870 (W/m ²)	DirNorm870 (W/m ²)	D	D _N	Airmass (m)	ln I
8:47:59	0.3982	0.3462	0.1059	0.6062	0.3059	0.1930	2.4986	-0.5005
8:49:00	0.4014	0.3507	0.1071	0.6096	0.3054	0.1935	2.4790	-0.4950
8:49:59	0.4046	0.3546	0.1063	0.6164	0.2998	0.1907	2.4598	-0.4839
8:51:00	0.4078	0.3582	0.1080	0.6164	0.3015	0.1925	2.4409	-0.4839
8:51:59	0.4109	0.3610	0.1084	0.6176	0.3003	0.1925	2.4224	-0.4819
8:53:00	0.4141	0.3646	0.1093	0.6196	0.2998	0.1929	2.4043	-0.4787
8:53:59	0.4172	0.3659	0.1097	0.6169	0.2998	0.1936	2.3864	-0.4830
8:55:00	0.4203	0.3703	0.1084	0.6258	0.2927	0.1898	2.3688	-0.4687
8:56:00	0.4234	0.3764	0.1097	0.6326	0.2914	0.1896	2.3516	-0.4579
8:57:00	0.4265	0.3821	0.1110	0.6386	0.2905	0.1897	2.3347	-0.4485
8:58:00	0.4296	0.3845	0.1101	0.6414	0.2863	0.1877	2.3181	-0.4441
8:58:59	0.4327	0.3877	0.1097	0.6452	0.2830	0.1861	2.3017	-0.4382
.
.
.
15:59:00	0.4333	0.4040	0.1050	0.6892	0.2599	0.1711	2.2983	-0.3722
16:00:00	0.4303	0.3969	0.1033	0.6816	0.2603	0.1707	2.3146	-0.3833
16:01:00	0.4272	0.3916	0.1050	0.6701	0.2681	0.1752	2.3312	-0.4003
16:01:59	0.4241	0.3869	0.1059	0.6620	0.2737	0.1782	2.3481	-0.4125
16:03:00	0.4210	0.3808	0.1016	0.6621	0.2668	0.1731	2.3653	-0.4123
16:03:59	0.4178	0.3757	0.1016	0.6549	0.2704	0.1748	2.3827	-0.4233
16:05:00	0.4147	0.3741	0.1059	0.6460	0.2831	0.1823	2.4005	-0.4370
16:05:59	0.4116	0.3713	0.1021	0.6534	0.2750	0.1764	2.4186	-0.4256
16:07:00	0.4084	0.3697	0.1016	0.6556	0.2748	0.1756	2.4371	-0.4222
16:08:00	0.4053	0.3692	0.0991	0.6655	0.2684	0.1709	2.4559	-0.4072
16:08:59	0.4021	0.3671	0.1021	0.6583	0.2781	0.1764	2.4750	-0.4181
16:10:00	0.3989	0.3600	0.1008	0.6489	0.2800	0.1768	2.4945	-0.4325

โดย DirNorm870 คือ ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ($I_{Direct\perp}$)

แสดงตัวอย่างข้อมูลจากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์ทุก 1 นาที และผลการคำนวณข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ของวันที่ 13 มกราคม พ.ศ.2546

ข้อมูลจากการปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองคณิตศาสตร์						หาค่าความลึกเชิงแสงรวม	
Time	COS Z	Total (fit) (W/m ²)	Diffuse Ratio(fit)	Diffuse (fit) (W/m ²)	DirNorm(fit) (W/m ²)	Airmass (m)	ln I (fit)
8:47:59	0.3982	0.3577	0.2840	0.1016	0.6431	2.4986	-0.4415
8:49:00	0.4014	0.3610	0.2825	0.1020	0.6452	2.4790	-0.4382
8:49:59	0.4046	0.3643	0.2811	0.1024	0.6473	2.4598	-0.4350
8:51:00	0.4078	0.3676	0.2797	0.1028	0.6493	2.4409	-0.4318
8:51:59	0.4109	0.3709	0.2783	0.1032	0.6514	2.4224	-0.4287
8:53:00	0.4141	0.3742	0.2770	0.1036	0.6534	2.4043	-0.4256
8:53:59	0.4172	0.3775	0.2756	0.1040	0.6554	2.3864	-0.4225
8:55:00	0.4203	0.3807	0.2743	0.1044	0.6573	2.3688	-0.4195
8:56:00	0.4234	0.3840	0.2730	0.1048	0.6593	2.3516	-0.4166
8:57:00	0.4265	0.3873	0.2718	0.1052	0.6612	2.3347	-0.4137
8:58:00	0.4296	0.3905	0.2705	0.1056	0.6631	2.3181	-0.4108
8:58:59	0.4327	0.3938	0.2693	0.1060	0.6650	2.3017	-0.4080
.
.
.
16:00:00	0.4303	0.3912	0.2703	0.1057	0.6635	2.3146	-0.4102
16:01:00	0.4272	0.3879	0.2715	0.1053	0.6616	2.3312	-0.4131
16:01:59	0.4241	0.3847	0.2728	0.1049	0.6597	2.3481	-0.4160
16:03:00	0.4210	0.3814	0.2741	0.1045	0.6577	2.3653	-0.4189
16:03:59	0.4178	0.3781	0.2754	0.1041	0.6558	2.3827	-0.4219
16:05:00	0.4147	0.3749	0.2767	0.1037	0.6538	2.4005	-0.4249
16:05:59	0.4116	0.3716	0.2780	0.1033	0.6518	2.4186	-0.4280
16:07:00	0.4084	0.3683	0.2794	0.1029	0.6498	2.4371	-0.4311
16:08:00	0.4053	0.3650	0.2808	0.1025	0.6477	2.4559	-0.4343
16:08:59	0.4021	0.3617	0.2822	0.1021	0.6456	2.4750	-0.4375
16:10:00	0.3989	0.3584	0.2837	0.1017	0.6435	2.4945	-0.4408

โดยค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ของรังสีรวมของดวงอาทิตย์ เท่ากับ 1.0397 และ 1.1590 และค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย a และ b ของอัตราการแผ่ของดวงอาทิตย์ เท่ากับ 0.1575 และ -0.6402 ตามลำดับ

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายอภิญา จิตรแจ้ง
วันเดือนปีเกิด	13 มิถุนายน 2525
สถานที่เกิด	อ.เมือง จ.ลพบุรี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	58 หมู่ 6 ต.ถนนใหญ่ อ.เมือง จ.ลพบุรี 15000
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	นักอุดมศึกษาปฏิบัติการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักอุดมศึกษาการbin กรมอุดมศึกษา ชั้น 6 บริษัทวิทยุการบินแห่งประเทศไทย จำกัด ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เลขที่ 99 ถ.บางนา-ตราด กม.15 ต.ราชาเทวะ อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2544	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนพิบูลวิทยาลัย
พ.ศ. 2548	วท.บ. (สาขาวิชาฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2553	กศ.ม. (สาขาวิชาฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ