

ความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ขึ้นกับความยาวคลื่นในปี 2546  
ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

ปริญญาานิพนธ์  
ของ  
ภูวกฤต ใจหอม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
ตุลาคม 2553

ความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ขึ้นกับความยาวคลื่นในปี 2546  
ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

ปริญญาานิพนธ์  
ของ  
ภูวกฤต ใจหอม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
ตุลาคม 2553  
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ขึ้นกับความยาวคลื่นในปี 2546  
ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

บทคัดย่อ  
ของ  
ภูวกฤต ใจหอม

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
ตุลาคม 2553

ภูวกฤต ใจหอม. (2553). ความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ขึ้นกับความยาวคลื่นในปี 2546

ณ อำเภอสรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย. ปริญญาโท กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ:

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม:

รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทศร, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์.

ได้ขั้นตอนวิธีวิเคราะห์ ความลึกเชิงแสงของละอองลอยในบรรยากาศ (AOD) ที่อำเภอสรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ด้วยข้อมูลเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง MFR-7 ที่ความยาวคลื่น 5 ค่า คือ 415 500 615 673 และ 870 นาโนเมตร โดยมีการพิจารณาค่าการกระเจิงแบบเรย์ลีและปริมาณตลอดคอลัมน์ในบรรยากาศของ  $\text{NO}_2$  และโอโซน มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของ AOD สำหรับช่วงละ 5 วันของเดือนมกราคมและมกราคม 2546 ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณตลอดคอลัมน์ในบรรยากาศของ  $\text{NO}_2$  และโอโซนอยู่ในช่วง 4-20 DU และ 250-370 DU ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์อัสโตรอม  $\beta$  และ  $\alpha$  โดยเฉลี่ยหาได้จากการปรับด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 0.097-0.380 และ 0.910 -1.442 ตามลำดับ

WAVELENGTH DEPENDENCE OF AEROSOL OPTICAL DEPTH IN 2003 AT SRI  
SAMRONG DISTRICT OF SUKHOTHAI PROVINCE IN THAILAND

AN ABSTRACT  
BY  
POOVAKIT JAIHOM

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Master of Education Degree in Physics  
at Srinakharinwirot University  
October 2010

Poovakit Jaihom. (2010). *Wavelength Dependence of Aerosol Optical Depth in 2003 Sri Samrong District of Sukhothai Province in Thailand*. Master thesis, M.Ed. (Physics). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assoc. Prof. Arunee Intasorn, Assist. Prof. Siriluk Ruangrungrrote.

The dependence on wavelength of the atmospheric Aerosol Optical Depth (AOD) at Sri Samrong district of Sukhothai province in Thailand were retrieved using multi-filter rotating shadowband radiometer (MFR-7) data at 5 distinct wavelengths of 415, 500, 615, 673 and 870 nm with the consideration of Rayleigh scattering and atmospheric column NO<sub>2</sub> and Ozone contents. The diurnal variations of AOD were accurately studied for 5-day-period in January and March 2003. Results show that the range of atmospheric column amounts of NO<sub>2</sub> and Ozone are 4-20 DU and 250-370 DU, respectively. Mean Ångström's parameters of  $\beta$  and  $\alpha$  determined via a least-square fitting method are in a range of 0.097-0.380 and 0.910-1.442, respectively.

## ประกาศคุณูปการ

ปริญญาโทสำเร็จได้ด้วยดีเป็นเพราะผู้วิจัยได้รับความกรุณาอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ อรุณีย์ อินทร ประธานกรรมการควบคุมปริญญาโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ กรรมการควบคุมปริญญาโท ท่านทั้งสองได้เสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้ คำปรึกษาแนะนำในการจัดทำงานวิจัยนี้ทุกขั้นตอน อีกทั้งทำให้ผู้วิจัยได้รับประสบการณ์ในการ ทำงานวิจัยในการคิดวิเคราะห์และรู้ถึงคุณค่าของงานวิจัยที่จะช่วยให้การทำงานในด้านต่าง ๆ เป็นไปอย่างมีคุณค่ามากขึ้น และท่านทั้งสองยังเป็นแบบฉบับของอาจารย์ที่ทุ่มเทให้กับศิษย์และ งานด้านวิชาการอย่างไม่เหน็ดเหนื่อย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยในการศึกษาตามหลักสูตร การศึกษามหาบัณฑิต ซึ่งทำให้ผู้วิจัยรู้ว่าการศึกษาระดับปริญญาโทของผู้วิจัยนั้นมีได้สิ้นสุดลง เพียงการทำปริญญาโทฉบับนี้ให้สำเร็จลงได้ หากผู้วิจัยได้ซึมซับเอากระบวนการเรียนรู้ที่ถูก จุดประกายขึ้นในระยะเวลา 2 ปีที่ผ่านมา ให้กลายเป็นการเรียนรู้ที่ต้องสืบเนื่องต่อไปอย่างไม่สิ้นสุด และจะต้องนำเอาความรู้นั้นไปยังประโยชน์ให้แก่ผู้อื่นต่อไป อีกด้วยจึงจะสมตามเจตนารมณ์ของ หลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิตอย่างสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และอาจารย์ทุกท่านจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ อนุเคราะห์ข้อมูลดิบสำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ และคณะครูโรงเรียนบ้านดงเมย อำเภอบุณฑริก จังหวัดอุบลราชธานี ที่ได้ให้ผู้วิจัยศึกษาต่อ

ท้ายสุดผู้วิจัยขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้ทั้งกำลังใจและ กำลังใจที่ดีเยี่ยมตลอดระยะเวลาที่ศึกษาและทำงานวิจัย

ภูวกฤต ใจหอม

## สารบัญ

บทที่	หน้า
<b>1 บทนำ</b> .....	1
ภูมิหลัง .....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย .....	4
ขอบเขตของการวิจัย .....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย .....	5
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	5
<b>2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b> .....	6
บรรยากาศของโลก .....	6
ละอองลอย .....	10
การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ .....	13
เครื่องมือ MFR-7 .....	14
สมการและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ละอองลอย .....	17
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	29
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย</b> .....	33
ศึกษาเครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล .....	33
การวิเคราะห์ข้อมูล .....	34
<b>4 ผลการวิจัย</b> .....	43
ข้อมูลดิบที่ได้จากการวัด .....	43
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	52
<b>5 สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย</b> .....	130
สรุปผลการวิจัย .....	130
วิจารณ์ผลการวิจัย .....	130
ข้อเสนอแนะ .....	132
<b>บรรณานุกรม</b> .....	133



## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก.....	137
ประวัติย่อผู้วิจัย .....	141

## บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของโอโซน (Ozone absorption cross-sections) ที่อุณหภูมิต่าง ๆ .....	25
2	แสดงตัวอย่างข้อมูลของความลึกเชิงแสงของการกระเจิงเรย์ลีตามความยาวคลื่นต่าง ๆ .....	36
3	แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 415 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	43
4	แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 500 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	45
5	แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 615 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	47
6	แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 670 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	49
7	แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 870 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	51
8	แสดงข้อมูลของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนทั้งคอลัมน์ในเดือน มกราคม และมีนาคม พ.ศ.2546 .....	128
9	แสดงข้อมูลของความลึกเชิงแสงของละอองลอย สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของ อังสตรอมเฉลี่ย ( $\beta$ ) และอังสตรอมเอ็กซ์โพเนนท์เฉลี่ย ( $\alpha$ ) ทุกความยาวคลื่น ตั้งแต่ 415-870 nm ของฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน(มีนาคม) พ.ศ.2546...	129

## บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 เครื่อง MFR-7 .....	14
2 ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน กระจกของเรย์ลีและละออง ลอย ที่ห้องสัญญาณที่ความยาวคลื่นต่างๆของเครื่อง MFRSR ที่ส่งผลต่อการ คำนวณความลึกเชิงแสง .....	16
3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ (เส้นหนา) กับเวลา และการเปลี่ยนแปลง ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ (เส้นบาง) กับเวลา ของวันที่ 1 เดือนเมษายน พ.ศ.2537 .....	18
4 ภาคตัดขวาง (Cross-Section) ของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ..	26
5 แสดงกราฟที่ได้จากการปรับแบบถดถอย .....	28
6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 22 เมษายน พ.ศ. 2546 .....	53
7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	53
8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	54
9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	54
10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	55
11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	55
12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	56
13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	56
14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	57
15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	57



## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.1213 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.0648 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9689$ ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	63
27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.1280 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.0649 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9698$ ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	63
28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2135 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.1394 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9695$ ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	64
29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.1406 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.1045 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9497$ ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	64
30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2006 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.1059 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9875$ ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	65
31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2626 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.0741 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9847$ ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	65

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.3224 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.1591 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9362$ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	66
33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2695 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.0728 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9804$ ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	66
34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.3966 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.2057 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9623$ ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	67
35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.4319 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.2168 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9656$ ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	67
36 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.1062 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	68
37 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.1129 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	68

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
38 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.1984 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	69
39 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.1255 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	69
40 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.1855 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	70
41 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.2475 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546	70
42 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.3073 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546	71
43 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.2544 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546	71

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
44	กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.3815 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546	72
45	กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า $\tau_a$ มีค่าเท่ากับ 0.4168 และค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546	72
46	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5801 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.8347 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9874$ ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	73
47	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6374 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.9066 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9866$ ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	73
48	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.788 $\ln I_0$ เท่ากับ 1.0237 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9876$ ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	74
49	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6551 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.9668 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9824$ ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	74



## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.8506 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.9540 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9916$ ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	75
51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.1525 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.9930 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9717$ ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	75
52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.3541 $\ln I_0$ เท่ากับ 1.2578 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9533$ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	76
53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.1745 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.9955 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9863$ ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	76
54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.3501 $\ln I_0$ เท่ากับ 1.2000 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9728$ ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	77
55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.5127 $\ln I_0$ เท่ากับ 1.2923 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9737$ ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	77

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
<p>56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 2.00 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.0599 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7049</math> ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	78
<p>57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 2.20 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.0814 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7045</math> ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	79
<p>58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 1.90 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.1033 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 0.99999</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7012</math> ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	79
<p>59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 2.15 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.0776 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7045</math> ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	80

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
60	<p>กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 2.50 ซึ่งจะได้ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.0791 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7038</math> ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	80
61	<p>กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 2.55 ซึ่งจะได้ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.3018 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.1179</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7199</math> ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	81
62	<p>กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 2.55 ซึ่งจะได้ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.2627 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7354</math> ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	81
63	<p>กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 2.70 ซึ่งจะได้ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.1799 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7120</math> ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	82

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
<p>64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 2.10 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.2413 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7102</math> ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	82
<p>65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 415 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q</math> เท่ากับ 2.15 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (<math>\tau_{NO_2}</math>) เท่ากับ 0.3090 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0001</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7157</math> ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	83
<p>66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลัทธิธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2614 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.6585 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9786</math> ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	84
<p>67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลัทธิธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2805 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.6789 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9808</math> ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	85
<p>68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลัทธิธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.3908 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.7687 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9836</math> ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	85

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2993 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.7360 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9733$ ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	86
70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.3998 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.7265 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9916$ ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	86
71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5480 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.7190 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9905$ ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	87
72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6538 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.8619 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9475$ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	87
73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5296 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.6900 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9876$ ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	88
74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6966 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.8739 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9731$ ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	88

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
<p>75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.7152 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.8239 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9857</math> ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	89
<p>76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm <math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.575 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0315 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.8849</math> ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	90
<p>77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm <math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.600 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0374 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.8294</math> ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	90
<p>78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm <math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.475 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0356 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7693</math> ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	91

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
<p>79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a870}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a870} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.575 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0391 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9367</math> ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	91
<p>80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a870}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a870} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.625 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0357 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.8847</math> ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	92
<p>81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a870}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a870} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.800 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0398 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7188</math> ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	92
<p>82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a870}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a870} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.800 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0380 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.8210</math> ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	93

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
83	<p>กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.700 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0345 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7203</math> ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	93
84	<p>กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.550 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0428 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7011</math> ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	94
85	<p>กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย (<math>q'\tau_{a_{870}}</math>) ของความยาวคลื่น 615 nm</p> <p><math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a_{870}} m</math> กับ มวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า <math>q'</math> เท่ากับ 1.625 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน (<math>\tau_{O_3}</math>) เท่ากับ 0.0381 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0923</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.7003</math> ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	94
86	<p>กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมของค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.3697 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.8119 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9804</math> ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	95



## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.4027 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.8506 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9806$ ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	96
88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5389 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.9599 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9860$ ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	96
89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.4309 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.9232 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9786$ ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	97
90 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5751 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.9079 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9916$ ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	97
91 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.7882 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.9136 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9878$ ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	98
92 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.9415 $\ln I_0$ เท่ากับ 1.1134 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9454$ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	98

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
93 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.762 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.8697 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9879$ ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	99
94 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.9752 $\ln I_0$ เท่ากับ 1.1127 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.976$ ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	99
95 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.085 $\ln I_0$ เท่ากับ 1.1559 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9757$ ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	100
96 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$ กับมวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2099 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9417$ ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	100
97 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$ กับมวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2377 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9461$ ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	101
98 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$ กับมวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.3706 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9709$ ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	101

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
99 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$ กับ มวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2660 ค่าคงตัวการ ปรับเทียบ $C = 1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9457$ ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	102
100 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$ กับ มวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.5084 ค่าคงตัวการ ปรับเทียบ $C = 1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9893$ ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	102
101 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$ กับ มวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.5659 ค่าคงตัวการ ปรับเทียบ $C = 0.9573$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9392$ ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	103
102 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$ กับ มวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.7456 ค่าคงตัวการ ปรับเทียบ $C = 1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9156$ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	103
103 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$ กับ มวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.6695 ค่าคงตัวการ ปรับเทียบ $C = 0.8498$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9156$ ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	104
104 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$ กับ มวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.7815 ค่าคงตัวการ ปรับเทียบ $C = 1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9631$ ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	104

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
<p>105 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง <math>(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}</math> กับมวลอากาศเชิงแสง <math>m</math> (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.8812 ค่าคงตัวการปรับเทียบ <math>C = 1.0000</math> และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9636</math> ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....</p>	105
<p>106 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2032 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.4974 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9746</math> ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	105
<p>107 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2186 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.5104 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9767</math> ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	106
<p>108 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.3218 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.5969 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9799</math> ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	106
<p>109 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2319 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.5574 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9597</math> ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	107
<p>110 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก <math>\ln I</math> กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.3219 <math>\ln I_0</math> เท่ากับ 0.5553 และมีค่าจากการปรับกราฟ <math>R^2 = 0.9896</math> ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....</p>	107

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
111 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.4386 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.5381 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9884$ ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	108
112 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5278 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.6599 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9409$ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	108
113 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.4298 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.5195 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9845$ ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	109
114 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5781 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.6809 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9667$ ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	109
115 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึอกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก $\ln I$ กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6439 $\ln I_0$ เท่ากับ 0.7081 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9710$ ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	110
116 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{0.3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศเชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.1484 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C = 0.9952$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9534$ ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	110

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
117 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศ เชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.1617 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C =$ $1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9581$ ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	111
118 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศ เชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2655 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C =$ $1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9707$ ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	111
119 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศ เชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.1744 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C =$ $1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9308$ ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	112
120 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศ เชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2656 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C =$ $1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9848$ ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	112
121 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศ เชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.3705 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C =$ $0.9770$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9615$ ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	113
122 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศ เชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.4706 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C =$ $1.0000$ และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9268$ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	113

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ		หน้า
123	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{0.3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศ เชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.374 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C =$ 1.0004 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9812$ ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	114
124	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{0.3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศ เชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.5191 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C =$ 1.0000 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9591$ ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	114
125	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{0.3} m)_{673}$ กับ มวลอากาศ เชิงแสง $m$ (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.5867 ค่าคงตัวการปรับเทียบ $C =$ 1.0000 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9653$ ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	115
126	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับ ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้อังสตรอมเอ็กโพเนนท์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 0.9756 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient : $\beta$ ) เท่ากับ 0.0987 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9335$ ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	116
127	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับ ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้อังสตรอมเอ็กโพเนนท์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 1.1048 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient : $\beta$ ) เท่ากับ 0.1013 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9564$ ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	117

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
128 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์เอ็กโพเนนต์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 0.9104 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient: $\beta$ ) เท่ากับ 0.1826 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9479$ ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	118
129 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์เอ็กโพเนนต์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 1.0970 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient: $\beta$ ) เท่ากับ 0.1125 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9485$ ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	119
130 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์เอ็กโพเนนต์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 1.3918 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient: $\beta$ ) เท่ากับ 0.1568 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9039$ ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 .....	120
131 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์เอ็กโพเนนต์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 1.2881 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient: $\beta$ ) เท่ากับ 0.2201 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9652$ ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	121
132 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์เอ็กโพเนนต์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 1.3120 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient: $\beta$ ) เท่ากับ 0.2740 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9512$ ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	122
133 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์เอ็กโพเนนต์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 1.4420 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient: $\beta$ ) เท่ากับ 0.2141 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9552$ ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	123



## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
134 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์เอ็กโปเนนต์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 1.0620 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient: $\beta$ ) เท่ากับ 0.3418 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9539$ ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	124
135 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD, $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ค่าสัมประสิทธิ์เอ็กโปเนนต์ (Angstrom exponent: $\alpha$ ) เท่ากับ 1.0550 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient: $\beta$ ) เท่ากับ 0.3800 และมีค่าจากการปรับกราฟ $R^2 = 0.9380$ ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	125
136 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยกับความยาวคลื่น ซึ่งแสดงความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm ในวันที่ 22, 23, 24, 26 และ 27 เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ..	126
137 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยกับความยาวคลื่น ซึ่งแสดงความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm ในวันที่ในวันที่ 3-7 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2546 .....	126
138 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom turbidity coefficient) กับวันที่ 22, 23, 24, 26, 27 มกราคม และ 3-7 มีนาคม พ.ศ. 2546	127
139 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้งคอลัมน์กับวันที่ 22, 23, 24, 26, 27 มกราคมและ 3-7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	127
140 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์กับกับวันที่ 22, 23, 24, 26, 27 มกราคม และ 3-7 มีนาคม พ.ศ. 2546 .....	128

# บทที่ 1

## บทนำ

### ภูมิหลัง

พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตบนโลกมาก โดยพลังงานนี้เป็นสิ่งจำเป็นต่อหลายกระบวนการต่างๆ ของสิ่งมีชีวิต เช่น การสังเคราะห์แสงของพืช เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีความสำคัญต่อมนุษย์ เพราะพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณมหาศาลไม่รู้จึกหมดสิ้นตราบเท่าที่ดวงอาทิตย์ยังแผ่รังสีอยู่ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีอันตรายต่อสภาวะแวดล้อม ไม่ทำให้สภาวะแวดล้อมเป็นพิษ และที่สำคัญที่สุดก็คือ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่ต้องไปซื้อหาเหมือนพลังงานชนิดอื่นๆ โดยทั่วไปการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นประโยชน์อาจใช้ใน 2 ลักษณะสำคัญ คือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของความร้อนและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ปัจจุบันเราสามารถวัดพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลกซึ่งความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่โลกได้รับนั้นส่งผลต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่เกิดขึ้นบนโลกได้ ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นผิวโลกจะไม่แน่นอนขึ้นกับหลายปัจจัย ซึ่งละอองลอยเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์

ละอองลอย<sup>1</sup>(Aerosols) เป็นสิ่งสกปรกที่ปะปนในบรรยากาศ(Atmospheric impurities) แขนงลอยอยู่ในอากาศ มีทั้งขนาดที่มองเห็นและมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ทั้งเกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ และกิจกรรมของมนุษย์ กรณีที่เกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติที่สำคัญเช่น การระเบิดของภูเขาไฟ การพัดพาอนุภาคของแข็งจากพื้นดินโดยกระแสลมและละอองเกลือจากทะเล เป็นต้น สำหรับละอองลอยที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญได้แก่ละอองลอยที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ และการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ ละอองลอยในบรรยากาศมีปริมาณมากน้อยโดยเปลี่ยนแปลงไปตามสถานที่และฤดูกาลในรอบปี ละอองลอยมีผลกระทบต่อปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งรังสีดวงอาทิตย์จะเดินทางผ่านบรรยากาศของโลกลงมายังพื้นดินจะถูกละอองลอยดูดกลืนและกระเจิง ทำให้ปริมาณรังสีที่ตกกระทบพื้นผิวโลกมีค่าลดลง ละอองลอยจึงมีผลต่อสมดุลของพลังงานในบรรยากาศของโลกซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาวะบรรยากาศโลก นอกจากนี้

---

<sup>1</sup>วิลเลียมส์ ตั้งเจริญ. (2540). *อุตุนิยมวิทยา*. หน้า 10.

ละอองลอยในบรรยากาศยังเป็นแกนกลาง (Nucleus) ของการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำของไอน้ำในบรรยากาศ ละอองลอยจึงมีผลต่อการเกิดเมฆและฝนเนื่องจากละอองลอยแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ดังนั้นละอองลอยจึงทำให้รังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมีค่าลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่บรรยากาศมีมลพิษสูงจากการศึกษาของสายันต์โพธิ์เกตุ<sup>1</sup> ได้วิจัยพบว่าละอองลอยมีบทบาทสำคัญที่ทำให้ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ลดลงถึง 20% และที่สำคัญละอองลอยยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยรวมและสุขภาพของมนุษย์อีกด้วย

การหาปริมาณของละอองลอยในชั้นบรรยากาศสามารถหาจากการคำนวณเป็นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth: AOD) ซึ่งความลึกเชิงแสงของละอองลอยนี้จะแสดงถึงการหมดสิ้น (Extinction) ของแสงอาทิตย์ที่เกิดจากละอองลอยทำให้ทราบถึงปริมาณและชนิดของละอองลอยในชั้นบรรยากาศได้ โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) และอังสตรอมเอ็กซ์โพเนนท์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) ตามลำดับ จากงานวิจัย ของวิริญญา ศรีสงเปลือย<sup>2</sup> ได้ศึกษาขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลการหาปริมาณไนโตรเจนของคอลัมน์บรรยากาศสุทธิโดยเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรองในประเทศไทย ในขณะใดขณะหนึ่งของแต่ละวัน ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย โดยใช้ข้อมูลท้องฟ้าโปร่งด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง MFR-7 ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ได้ถูกอธิบายพร้อมหาค่าการแจกแจงไนโตรเจนในบรรยากาศสุทธิจากการนำค่าที่เกิดจากการกระเจิงแบบเรย์ลีลบออกจากค่าความลึกเชิงแสงของบรรยากาศ รวมทั้งทำการปรับค่าการสิ้นสุดสุทธิระหว่างการดูดกลืนไนโตรเจนไดออกไซด์กับการสิ้นสุดเนื่องจากละอองลอย ได้แสดงผลข้อมูลการแปรผันของไนโตรเจนไดออกไซด์ในเวลากลางวัน กลางคืน และเต็มวัน รวม

<sup>1</sup>สายันต์ โพธิ์เกตุ. (2542). การศึกษาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (ฟิลิปปินส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.

<sup>2</sup>วิริญญา ศรีสงเปลือย. (2553). ขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลการหาปริมาณไนโตรเจนของคอลัมน์บรรยากาศสุทธิโดยเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรองในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ กศ.ม. (ฟิลิปปินส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

จำนวน 5 วัน ในฤดูหนาวและฤดูร้อน ปี 2546 และสามารถสรุปได้ว่า แนวโน้มความหนาแน่นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงเวลาเย็นสูงกว่าช่วงเช้า โดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์รายวัน 8-55 DU และหาค่าอัตรอมเอ็กโพเนนซ์ของละอองลอยได้ค่าประมาณ 0.1-0.6 ซึ่งสัมพันธ์กับอนุภาคฝุ่นดิน สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากการวัดด้วยเครื่อง MFR-7 ที่ความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm ตามลำดับโดยมีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆที่เคยทำมาแล้ว โดยงานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ละเอียดมากขึ้น ในทั้ง 5 ความยาวคลื่นซึ่งจะมีการพิจารณาความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนด้วย เพื่อให้ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ถูกต้องมากขึ้น

ในต่างประเทศมีการศึกษาเกี่ยวกับละอองลอยโดย แฟรงค์ กิโรโมและกิแกน<sup>1</sup>ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความลึกเชิงแสงของละอองลอยในอากาศของทะเลทรายโมเจฟตอนใต้ของแคลิฟอร์เนียพบว่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยเหนือทะเลทรายโมเจฟมีค่าใกล้เคียงกับที่พบในเมือง (บริเวณเหมืองโรเจอร์ที่อยู่ใกล้กับเมืองลอสแอนเจลิส) และท้องถิ่นที่มีการถูกรบกวนบริเวณทะเลสาบบริสโทล (Bristol)

สำหรับประเทศไทยการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับละอองลอยยังอยู่ในระยะเริ่มต้นโดยมีการติดตั้งเครื่อง MFR-7 ซึ่งเป็นชนิดหนึ่งของเครื่อง Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer (MFRSR) ณ สถานีวิจัยรังสีในชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรงจังหวัดสุโขทัย ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2539 (ค.ศ.1996) โดยความร่วมมือของ Frontier Research Center for Global Change (FRCGC) แห่งประเทศญี่ปุ่นกับจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย MFR-7 เป็นเครื่องมือที่ออกแบบมาเพื่อทำการตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์รังสีรวมและรังสีแพร่ ในเวลาเดียวกัน และสามารถทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มมีแสงอาทิตย์จนถึงดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm ได้และเพื่อให้ได้เทคนิคที่เหมาะสมและน่าเชื่อถือในการวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากการวัดด้วยเครื่อง MFR-7 และได้ความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ขึ้นกับความยาวคลื่นของปี พ.ศ. 2546 (ค.ศ.2003) ซึ่งในประเทศไทยมีข้อมูลดิบอยู่แต่ยังไม่ได้นำไปวิเคราะห์ผลนับว่าเป็นการใช้ประโยชน์ไม่คุ้มค่าเท่าที่ควร

<sup>1</sup>Frank, T. D.; Girolamo, L.D.& Geegan, Shannon. (2007). *The spatial and temporal variability of aerosol optical depths in Mojave Desert of southern California*. Remote Sensing of Environment.Vol 107.pp 54-64. (Online).

## ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

1. เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย
2. เพื่อหาค่าอังกstromเอ็กโพเนนท์(Angstrom Exponent)และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังกstrom(Angstrom's turbidity coefficient) ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย
3. เพื่อให้ได้เทคนิคในการวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยจากการวัดด้วยเครื่อง MFR-7อย่างละเอียดและน่าเชื่อถือ
4. เพื่อประยุกต์หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องมาใช้ประโยชน์ในการอธิบายเหตุและผลของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น

## ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น บรรยากาศของโลกลักษณะของละอองลอย และวิธีวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย เป็นต้น
2. ศึกษาข้อมูลและประสิทธิผลของการวัดสัญญาณแสงที่ตกกระทบเนื่องจากละอองลอยในชั้นบรรยากาศด้วยเครื่อง MFR-7 ณ สถานีวิจัยชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ในเดือนมกราคม ซึ่งเป็นฤดูหนาว และ เดือนมีนาคม ซึ่งเป็นฤดูร้อน พ.ศ.2546
3. นำข้อมูลที่เก็บรวบรวม มาคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย โอโซน และไนโตรเจนไดออกไซด์ ใน 5 ค่าความยาวคลื่นได้แก่ 415 500 615 673 และ 870 nm
4. หาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังกstrom (Angstrom's turbidity coefficient) และอังกstromเอ็กโพเนนท์ (Angstrom Exponent)
5. เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังกstrom (Angstrom's turbidity coefficient) และค่าอังกstromเอ็กโพเนนท์ (Angstrom Exponent) ระหว่างช่วงของฤดูหนาว(มกราคม)และฤดูร้อน(มีนาคม)
6. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้และเปรียบเทียบข้อมูลกับแหล่งข้อมูลใกล้เคียงที่หาได้จากเทคนิคที่แตกต่างกัน

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ได้ความรู้ความเข้าใจในทฤษฎีทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับบรรยากาศของโลก และหลักการทำงานของเครื่อง MFR-7 ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
2. ได้เทคนิคในการวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยอย่างละเอียดจากการวัดด้วยเครื่อง MFR-7
3. สามารถวิเคราะห์ สรุปผล ถึงค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและปริมาณของละอองลอยในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย
4. เกิดทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และสามารถนำความรู้ที่เกี่ยวข้องไปประยุกต์ใช้ให้เกิดความเข้าใจเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศ

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ละอองลอย (Aerosols) หมายถึง อนุภาคของแข็ง ของเหลว หรือของผสมระหว่างของแข็งและของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.001-100 ไมโครเมตร
2. MFR-7 หมายถึงเป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งของเครื่อง Multi-Filter Rotating Shadow band Radiometer (MFRSR) ที่ใช้วัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์
3. ค่าความลึกเชิงแสง (Optical depth) หมายถึง ค่าที่บ่งบอกว่าแสงจะทะลุผ่านวัตถุหนึ่งไปได้มากน้อยเพียงใด ปริมาณของแสงที่ส่องผ่านวัตถุจะขึ้นอยู่กับค่าความลึกเชิงแสง เช่น ค่าความลึกเชิงแสงที่สูง ความเข้มแสงที่ทะลุผ่านยิ่งลดน้อยลง
4. ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol optical depth: AOD) หมายถึง การหมดสิ้น (Extinction) ของแสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นจากละอองลอยในชั้นบรรยากาศ และเป็นดัชนีที่แสดงถึงปริมาณละอองลอยที่มีอยู่ทั้งคอลัมน์ของบรรยากาศของประเทศไทย
5. การกระเจิง (Scattering) ของแสงในบรรยากาศ หมายถึง กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อคลื่นแสงเคลื่อนที่ไปตกกระทบโมเลกุลหรืออนุภาคต่างๆ ในบรรยากาศ แล้วเกิดการกระเจิงออกมา โดยแสงจะมีการกระเจิงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุลหรืออนุภาคที่คลื่นแสงไปตกกระทบ
6. การดูดกลืน (Absorption) หมายถึง กระบวนการเมื่อแสงตกกระทบอิเล็กตรอนในอนุภาคซึ่งอยู่ในชั้นบรรยากาศ อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นให้เปลี่ยนระดับพลังงานจากสถานะพื้น (Ground state) ไปสู่สถานะกระตุ้น (Excited state) โดยแสงที่มีพลังงานเท่ากับพลังงานกระตุ้นจะถูกดูดกลืนจากอนุภาคในบรรยากาศและปล่อยพลังงานออกมาเพื่อกลับสู่สถานะพื้น

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อต่อไปนี้

1. บรรยากาศของโลก (Atmosphere)
2. ละอองลอย (Aerosols)
3. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar radiation)
4. เครื่องมือ MFR-7
5. สมการ และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ละอองลอย
6. การวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression analysis)
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### บรรยากาศของโลก

บรรยากาศ(Atmosphere)<sup>1</sup> หมายถึงอากาศที่หุ้มห่อโลกเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโลกเช่นเดียวกับพื้นดินและพื้นน้ำ โดยอากาศมีคุณสมบัติ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และรู้สึกได้เมื่อมีการเคลื่อนไหว

#### ส่วนประกอบของบรรยากาศ

1. ส่วนประกอบที่มีปริมาณคงที่ได้แก่ โมเลกุลของแก๊สต่าง ๆ ดังนี้
  - 1.1 แก๊สไนโตรเจน ( $N_2$ ) เป็นแก๊สที่มีอยู่ในบรรยากาศมากที่สุด แก๊สชนิดนี้ไม่มีสี ไม่มีกลิ่นและไม่มีรส เป็นส่วนประกอบสำคัญของโปรตีนซึ่งเป็นสารที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิต การสร้างไนโตรเจนไม่สามารถทำได้โดยตรงต้องอาศัยพืชช่วยสร้างวัฏจักรไนโตรเจน (Nitrogen cycle) เมื่อไนโตรเจนในบรรยากาศรวมตัวกับธาตุอื่น ๆ จะช่วยเจือจางออกซิเจนในบรรยากาศ ลดการสันดาปในบรรยากาศได้
  - 1.2 แก๊สออกซิเจน ( $O_2$ ) แก๊สชนิดนี้เป็นผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิต มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอื่น มีสมบัติช่วยให้ไฟติด นอกจากนี้ออกซิเจนยังเป็น

---

<sup>1</sup> ดวงพร นพคุณ. (2536). ภูมิอากาศวิทยา. หน้า 12

ส่วนประกอบของน้ำโดยมีอยู่ในน้ำ 89% โดยน้ำหนักสามารถรวมตัวกับธาตุอื่นๆได้เกือบทุกชนิดทำให้เกิดสารประกอบออกไซด์ขึ้น ออกไซด์ของสารประกอบบางชนิดจัดเป็นมลพิษ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เป็นต้น

1.3 แก๊สอาร์กอน (Ar) เป็นแก๊สเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุอื่น เกิดจากการสลายตัวของธาตุโพแทสเซียมภายในโลก

## 2. ส่วนประกอบที่มีปริมาณไม่คงที่

2.1 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide, CO<sub>2</sub>) แก๊สชนิดนี้ส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการหายใจของสิ่งมีชีวิต การเผาเปื้อยของอินทรีย์สารในดิน การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังเกิดจากน้ำพุร้อนและการระเบิดของภูเขาไฟพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการสังเคราะห์แสงประมาณ 3% ของทั้งหมด คาร์บอนไดออกไซด์บางส่วนจะละลายในมหาสมุทรกลายเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO<sub>3</sub>) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างสัตว์ทะเล แก๊สนี้ยังสามารถก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกได้แม้มีอยู่ในบรรยากาศเพียง 0.036% แต่แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ก็มีความสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิตเพราะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบในการสังเคราะห์แสงของพืชซึ่งเป็นผู้ผลิตที่สำคัญในระบบนิเวศ

2.2 ไอน้ำ (Vapor) โมเลกุลของไอน้ำจะแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของอากาศเข้าสู่บรรยากาศโดยกระบวนการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ รวมถึงกระบวนการคายน้ำของพืชซึ่งมีปริมาณไม่คงที่แต่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของอากาศอย่างมาก

2.3 ละอองลอย (Aerosols) เป็นอนุภาคของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ การบอกปริมาณละอองลอยมีหลายวิธีเช่นการบอกจำนวนอนุภาคของละอองลอยต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศหรือบอกในรูปของทัศนวิสัย (Visibility) และสภาพความขุ่นมัว (Turbidity) ของบรรยากาศ เป็นต้น ละอองลอยแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

2.3.1 ละอองลอยประเภทอินทรีย์สาร เป็นละอองลอยที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตได้แก่ เกสรดอกไม้ สปอร์พืช แบคทีเรียและเมล็ดพืชขนาดเล็ก เป็นต้น

2.3.2 ละอองลอยประเภทอนินทรีย์สาร ได้แก่ ละอองลอยจากภูเขาไฟละอองลอยจากการแตกกระจายของหิน เขม่าจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นต้น

2.3.3 โอโซน (Ozone) เป็นแก๊สสีฟ้าอ่อนกลิ่นฉุนไม่เสถียรแตกตัวง่ายเกิดจากแก๊สออกซิเจนดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต(Ultraviolet) ทำให้แยกออกเป็นอะตอมออกซิเจนเดี่ยวๆ แล้วรวมกันกลายเป็นโอโซน (O<sub>3</sub>) ดังนั้นโอโซนจึงมีปริมาณน้อยมากที่บริเวณใกล้ผิวโลกแต่จะมีมาก



ในส่วนล่างของบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) โอโซนจะทำหน้าที่ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตไว้จำนวนหนึ่งเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก

## โครงสร้างบรรยากาศ<sup>1</sup>

การแบ่งบรรยากาศออกเป็นชั้นๆตามแนวตั้ง อาจใช้สมบัติด้านใดด้านหนึ่งในการแบ่งก็ได้ ได้แก่ ส่วนประกอบของอากาศ ความกดอากาศ หรืออุณหภูมิของอากาศแต่โดยส่วนใหญ่จะใช้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นเกณฑ์ในการแบ่งชั้นบรรยากาศ ซึ่งแบ่งเป็น 4 ชั้นคือ

### 1. โทรโพสเฟียร์ (Troposphere)

เป็นบรรยากาศชั้นล่างสุดอยู่ติดกับผิวพื้นโลก คำว่า Troposphere มาจากคำภาษากรีกว่า Tropos หมายถึงเป็นชั้นที่มีการเปลี่ยนแปลง ประกอบด้วยโมเลกุลหรือน้ำหนักแก๊สของบรรยากาศ รวมทั้ง ไอน้ำ เมฆ และละอองน้ำในอากาศ อยู่ถึง 75% จึงมีปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงของลมฟ้าอากาศเกิดขึ้น มีไอน้ำและเมฆมาก ในชั้นนี้อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูงของพื้นที่ในอัตราโดยเฉลี่ย  $6.5^{\circ}\text{C}$  ต่อ 1 กิโลเมตร เรียกว่าอัตราเปลี่ยนอุณหภูมิตามความสูง (Lapse Rate) ยกเว้นใกล้ขั้วโลกในฤดูหนาว เกิดอุณหภูมิลดลงตามความสูง แทนที่อุณหภูมิลดลงตามความสูงกลับเพิ่มขึ้นตามความสูง เป็นชั้นที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างโลกกับบรรยากาศมากที่สุด ความเร็วลมเพิ่มขึ้นตามความสูงเพราะไม่มีสิ่งกีดขวาง ความร้อนที่ได้รับเป็นการพาความร้อนจากอากาศที่อยู่เบื้องล่างขึ้นไป ชั้นบนสุดเรียกว่า โทรโปพอส (Tropopause) เป็นแนวแบ่งเขตระหว่างชั้นโทรโพสเฟียร์กับบรรยากาศชั้นถัดไป ระดับความสูงของโทรโปพอสจะแตกต่างกันตามที่ตั้งของละติจูดที่ศูนย์สูตรจะมีความสูงประมาณ 16 ถึง 17 กิโลเมตร อุณหภูมิลดต่ำสุดคือ  $-80^{\circ}\text{C}$  ส่วนที่ขั้วโลกจะมีความสูงประมาณ 8 ถึง 9 กิโลเมตร อุณหภูมิลดต่ำสุดคือ  $-60^{\circ}\text{C}$  จะเห็นได้ว่าบนสุดของชั้นโทรโพสเฟียร์ ที่ศูนย์สูตรจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ขั้วโลก เขตละติจูดกลางซึ่งอยู่ระหว่างเขตร้อนกับเขตขั้วโลก โทรโปพอสจะเกิดช่วงขาด หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงกระทันหันไม่ต่อเนื่องกัน อาจเป็นแนวซ้อนหรือเหลื่อมกันได้

### 2. สตราโตสเฟียร์(Stratosphere)

เป็นชั้นบรรยากาศอยู่ถัดจากโทรโปพอสขึ้นไป คำว่า Stratosphere มาจากคำในภาษาละตินว่า Stratum หมายถึงบรรยากาศชั้นที่อยู่ในแนวนอน อยู่ถัดจากโทรโปพอสขึ้นไปจนถึงระดับความสูงประมาณ 50 กิโลเมตร ที่เรียกว่าสตราโตพอส (Stratopause) ซึ่งเป็นแนวแบ่งเขต

<sup>1</sup> วิไลลักษณ์ ตั้งเจริญ. (2540). *อุตุนิยมวิทยา*. หน้า 10.

ระหว่างชั้นสตราโตสเฟียร์กับบรรยากาศชั้นถัดไป โดยชั้นล่างของสตราโตสเฟียร์ ขึ้นไปจนถึงระดับความสูงประมาณ 25 กิโลเมตร อุณหภูมิจะคงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยมากแต่เหนือระดับนี้ขึ้นไป อุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้นตามความสูง ชั้นล่างความเร็วลมจะลดลงตามความสูงแต่ชั้นบนความเร็วลมเพิ่มขึ้นตามความสูง โดยฤดูร้อนเป็นลมตะวันออก ส่วนฤดูหนาวเป็นลมตะวันตก บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ไม่มีเมฆ ไม่มีพายุเกิดขึ้น การไหลถ่ายเทของอากาศในแนวตั้งมีน้อย ส่วนใหญ่เป็นการไหลถ่ายเทของอากาศในแนวนอนเป็นชั้นที่มีแก๊สโอโซน ซึ่งโอโซนจะดูดคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ ในระดับความสูงต่ำกว่า 35 กิโลเมตร มีแก๊สโอโซนอยู่ถึง 90% และจะมีมากสุดในระดับความสูง 25 กิโลเมตร จึงทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น ชั้นนี้มีความสำคัญต่อนักอุตุนิยมวิทยา เพราะเป็นชั้นที่มีการพยากรณ์อากาศสำหรับการบิน

### 3. เมโซสเฟียร์ (Mesosphere)

อยู่ถัดจากสตราโตสเฟียร์ขึ้นไปจนถึงระดับความสูง 80 กิโลเมตร คำว่า Mesosphere มาจากคำในภาษากรีกว่า Meso หมายถึงบรรยากาศชั้นกลาง ชั้นนี้อุณหภูมิของอากาศจะลดลงตามความสูงไปจนถึงเมโซพอส (Mesopause) ซึ่งเป็นแนวแบ่งเขตระหว่างเมโซสเฟียร์กับบรรยากาศชั้นถัดไป อุณหภูมิจะลดเหลือ ประมาณ  $-83$  ถึง  $-93$  °C

### 4. เทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere)

ตั้งแต่ 80-500 กิโลเมตรอยู่ถัดจากเมโซพอสขึ้นไปเป็นบรรยากาศชั้นสูง คำว่า Thermosphere มาจากคำในภาษากรีกว่า Therme หมายถึงบรรยากาศชั้นที่มีความร้อน ชั้นนี้อุณหภูมิของอากาศจะเพิ่มขึ้นตามความสูงความหนาแน่นของอากาศจะเบาบางมาก ชั้นล่างของเทอร์โมสเฟียร์เรียกว่า ไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) อยู่ในระดับความสูง 100 ถึง 400 กิโลเมตร มีคุณสมบัติเป็นสื่อไฟฟ้าอะตอมหรือโมเลกุลไม่เป็นกลางมีลักษณะเป็นไอออน มีประจุไฟฟ้าช่วยในการสะท้อนคลื่นวิทยุได้ทั้งคลื่นสั้น คลื่นปานกลางและคลื่นยาว รวมทั้งสะท้อนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ไม่สะท้อนคลื่นโทรทัศน์ ในบรรยากาศชั้นไอโอโนสเฟียร์มีปรากฏการณ์ทางแสงที่เกิดขึ้นจากอนุภาคประจุไฟฟ้าไอออนและอิเล็กตรอนจะกระทบกับโมเลกุลของแก๊สในอากาศทำให้โมเลกุลเหล่านี้เปล่งแสงออกมาใกล้ขั้วโลกเหนือเรียกว่า แสงออโรราเหนือ (Aurora Borealis) และแสงออโรราใต้ (Aurora Australis) ใกล้ขั้วโลกใต้

นอกจากนี้ยังมีบรรยากาศชั้นเอ็กโซสเฟียร์ (Exosphere) โดยใช้แก๊สเป็นเกณฑ์แบ่งชั้นบรรยากาศ ซึ่งมาจากคำในภาษากรีกว่า Outermost หมายถึงบรรยากาศชั้นนอกสุด ไม่มีขอบเขตที่แน่นอนโดยเชื่อกันว่าอยู่ห่างจากพื้นผิวโลกประมาณ 500-1,000 กิโลเมตร บรรยากาศในชั้นนี้มี

ความหนาแน่นน้อย แก๊สที่มีอยู่ในบรรยากาศชั้นนี้เป็นพวกแก๊สเบาที่มีโอกาสหลุดเข้าไปอยู่ในอวกาศภายนอกได้ เช่น แก๊สฮีเลียม และแก๊สไฮโดรเจน

## ละอองลอย (Aerosols)

ละอองลอย<sup>1</sup> หมายถึงอนุภาคของแข็งหรือของเหลว หรือของผสมระหว่างของแข็งและของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ แต่ไม่รวมถึงเมฆ และหมอกซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกัน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.001-100 ไมโครเมตร อาจเกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติหรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

### ประเภทของละอองลอย

#### 1. แบ่งตามกระบวนการเกิดมี 2 ชนิดคือ

1.1 ละอองลอยปฐมภูมิ (Primary aerosols) เป็นอนุภาคของแข็งหรือของเหลวเข้าสู่บรรยากาศโดยตรง เช่น ละอองลอยจากทะเลทรายหรือผิวดินที่แห้งแล้งปราศจากสิ่งปกคลุม คาร์บอนไฟฟอสที่ เป็นเขม่าดำ (Black Carbon, BC) เป็นต้น

1.2 ละอองลอยทุติยภูมิ (Secondary Aerosols) เกิดจากปฏิกิริยาของมลพิษในบรรยากาศเช่น  $\text{SO}_3$   $\text{H}_2\text{SO}_4$   $\text{NO}_3$  สารประกอบซัลเฟตและสารประกอบไนเตรต เป็นต้น

#### 2. ชนิดของละอองลอยยังแบ่งตามที่มาได้ 2 ประเภทคือ

2.1 เกิดจากกระบวนการธรรมชาติ (Natural process) เช่น ละอองลอยจากภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น

2.2 เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ (Anthropogenic process) เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อการขับเคลื่อนยานพาหนะ การเร่งปฏิกิริยาด้วยการเผาไหม้เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยละอองลอยที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อละอองลอยที่เกิดตามธรรมชาติได้

### สารประกอบของละอองลอย

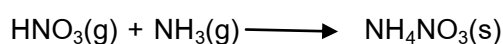
1. ไดเมทิลซัลไฟด์ (Dimethylsulfide, DMS) เป็นแหล่งที่มาหลักของซัลเฟอริ์ในบรรยากาศ มีปริมาณขึ้นกับฤดูกาลและวัฏจักรการเจริญของสิ่งมีชีวิตในทะเล ส่วนใหญ่เป็นออกซิเดชันทำให้ได้

<sup>1</sup> ชาติกริต โชติอมรศักดิ์. (2540). *บรรยากาศเบื้องต้น*. หน้า 20.

ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethyl sulfoxide, DMSO) และไดเมทิลซัลโฟน (Dimethyl sulfone, DMSO<sub>2</sub>) กระบวนการเคมีที่เริ่มจากสถานะแก๊สคือ DMS และได้ผลผลิตเป็นละอองลอยในบรรยากาศคือกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) และมีเทนซัลโฟเนต (Methanesulphonate, MSA) แก๊สไดเมทิลซัลไฟด์นี้จะไปกระตุ้นให้อิอน้ำในบรรยากาศรวมตัวกันเกิดเป็นก้อนเมฆ ขณะเดียวกันก็จะไปแทนที่แก๊สเรื้อนกระจกในบรรยากาศที่ถูกแปลงก็ตอนตั้งมาใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง

2. ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO<sub>2</sub>) จากภูเขาไฟและอุตสาหกรรม SO<sub>2</sub> ในบรรยากาศจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปกรดซัลฟูริก (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ซึ่งเชื่อว่าในชั้นสตราโตสเฟียร์ SO<sub>2</sub> จะถูกออกซิไดซ์ไปเป็น SO<sub>3</sub> โดยไอโซนหรือโมเลกุลของ SO<sub>2</sub> อาจจะถูกแสงกระตุ้นแล้วจึงทำปฏิกิริยากับ O<sub>2</sub> ให้สารตัวกลาง SO<sub>4</sub> ที่ว่องไวซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ SO<sub>2</sub> ต่อไปหรือแม้กระทั่งอนุภาคของแข็งในบรรยากาศก็อาจจะมีส่วนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเป็น SO<sub>3</sub> และทำปฏิกิริยากับน้ำฝนให้กรด H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ต่อไป ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur dioxide, SO<sub>2</sub>) ถูกใช้เป็นสารออกซิไดซ์รีดิวซ์ หรือเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ การผลิตกรดซัลฟูริกสารป้องกันการเน่าเสียการมควันสารฟอกขาว และสำหรับการจุ่มแซกรีฟิซมมนุษย์มักได้รับ SO<sub>2</sub> จากการทำงาน เช่นในโรงงานผลิตแร่ทองแดงการผลิตถ่านหินหรือน้ำมัน การผลิตกรดซัลฟูริก โรงงานทำกระดาษการผลิตปุ๋ย และใช้ป้องกันอาหารไม่ให้เน่าเสีย เป็นต้น โดยผ่านทางหายใจการกินอาหารหรือดื่มน้ำและผ่านทางผิวหนังถ้า SO<sub>2</sub> เข้าสู่สิ่งแวดล้อมจะถูก เปลี่ยนเป็นกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (Sulfur trioxide) และซัลเฟต (Sulfates) และเมื่อละลายน้ำจะได้เป็นกรดซัลฟูรัส (Sulfurous acid) และถูกดูดซับได้ในดินแต่ไม่ทราบปริมาณที่ชัดเจน

3. ออกไซด์ของไนโตรเจนและแอมโมเนีย NO และ NO<sub>2</sub> สามารถเกิดได้ตามธรรมชาติ เช่น จากภูเขาไฟระเบิด การเกิดฟ้าผ่าและฟ้าแลบ และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ เช่นเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมการทำกรดไนตริก โรงงานผลิตระเบิด การเผาผลาญเชื้อเพลิงการผลิตฟิล์มการผลิตเซลล์ลอยด์ และที่สำคัญคือจากควันของรถยนต์ เป็นต้น



แอมโมเนียมีความสำคัญในการทำให้อะอองลอยกรดซัลฟูริกในบรรยากาศเป็นกลาง และยังมีส่วนในการสร้างละอองลอยของแข็งขึ้นใหม่ด้วยสมดุลระหว่างสถานะของแข็ง ของเหลว และแก๊สของแอมโมเนีย กรดไนตริก ไนเตรท กรดซัลฟูริก ซัลเฟตและน้ำเป็นเรื่องที่สำคัญในการศึกษาเคมีของบรรยากาศ

4. คาร์บอนอินทรีย์และเขม่าดำ (Organic carbon and black carbon) ละอองลอยในบรรยากาศที่มาจากการเผาไหม้คือการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil fuel burning) และการเผาไหม้ของชีวมวล (Biomass burning) การเกิดละอองลอยในบรรยากาศขึ้นกับสภาวะที่เกิดการเผาไหม้เช่นอุณหภูมิประสิทธิภาพการเผาไหม้และชนิดของเชื้อเพลิงโดยทั่วไปอุณหภูมิสูงให้เขม่าดำ (Black carbon, BC) มากกว่าและมีสัดส่วนของคาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon, OC) น้อยลง แหล่งของการเผาไหม้ชีวมวล เช่น เกิดไฟไหม้ในฤดูแล้ง การเผาชีวมวลที่เกี่ยวกับการเกษตร ทั้งหมดนี้ล้วนให้คาร์บอนอินทรีย์และเขม่าดำในอัตราต่างๆกัน

5. สารอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOC) สารอินทรีย์ไอระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) คือกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ในที่อุณหภูมิและความดันปกติ โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนและไฮโดรเจนอาจมีออกซิเจนหรือ คลอรีนร่วมด้วย สามารถระเหยเป็นไอได้ที่อุณหภูมิห้องในชีวิตประจำวันเราได้รับ VOCs จากผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น สีทาบ้านควันบุหรี่น้ำยาฟอกสีสารตัวทำละลายในพืชมจากตู้ฟ้นสีรถยนต์โรงงานอุตสาหกรรม น้ำยาซักแห้ง น้ำยาสำหรับย้อมผม และน้ำยาตัดผม สารฆ่าแมลง และปะปนในอากาศน้ำดื่ม เครื่องดื่ม อาหาร โดยสารอินทรีย์ไอระเหยที่สะสมไว้มากนาน ๆจะมีผลกระทบทางชีวภาพและเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

### อิทธิพลของละอองลอยต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศ

1. อิทธิพลโดยตรง (Direct effect) คือทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกลดลง เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่มายังบรรยากาศโลก รังสีส่วนหนึ่งจะถูกละอองลอยดูดกลืน (Absorption) และกระเจิง (Scattering) ทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ซึ่งรังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นโลกจะมีปริมาณลดลง ส่วนรังสีดวงอาทิตย์อีกส่วนหนึ่งจะถูกสะท้อนกลับ(Reflection) กลับไปสู่อวกาศ ส่งผลกระทบต่อสมดุลพลังงานของโลกเนื่องจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ลดลงจะส่งผลกระทบต่ออัตราการระเหยของน้ำ การสังเคราะห์แสงของพืช และอุณหภูมิของพื้นผิวโลก ที่ร้ายแรงกว่านี้ละอองลอยที่เกิดจากการระเบิดของภูเขาไฟยังสามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวโลกจากการสะสมความร้อนที่เกิดจากการระเบิดซึ่งละอองลอยประเภทนี้จะสามารถลอยค้างในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ได้นานหลายปี

2. อิทธิพลโดยอ้อม (Indirect effect) ละอองลอยมีความสำคัญต่อกระบวนการหมุนเวียนของน้ำอย่างมากเพราะละอองลอยทำหน้าที่เป็นแกนกลางการกลั่นตัวของไอน้ำ เรียกว่าไฮโดรสคอปิกนิวเคลียไอ (Hydroscopic nuclei) ทำให้เกิดเมฆหมอกและน้ำฟ้าในเขตที่มีความกดอากาศต่ำจะมีปริมาณละอองลอยในอากาศมาก เนื่องจากการไหลเวียนของอากาศร้อนที่ลอยตัวสูงขึ้นนำพา

ละอองลอย เช่นละอองลอยเขม่าควันจากพื้นดินขึ้นไปแขวนลอยในอากาศถ้ามีปริมาณมากก็จะทำให้เกิดหมอกแดด (Haze) หรือสภาพฟ้าหลัวทำให้ทัศนวิสัยต่ำ

### การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)<sup>1</sup>

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่มีแสงสว่างในตัวเอง อยู่ในศูนย์กลางของระบบสุริยะ ประกอบด้วยมวลที่มีความหนาแน่นมากและแก๊สร้อนมาก อุณหภูมิในใจกลางสูงประมาณ 15 ล้านเคลวิน(K) ในขณะที่อุณหภูมิผิวดวงอาทิตย์ประมาณ 6000 K แหล่งพลังงานมหาศาลของดวงอาทิตย์นี้เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่น (Nuclear fusion) ซึ่งเกิดมาแล้ว 4,600 ล้านปี และยังคงเกิดต่อเนื่อง ทำให้ปริมาณไฮโดรเจนที่ใจกลางลดน้อยลง ขณะที่ปริมาณฮีเลียมจะเพิ่มขึ้น พลังงานมหาศาลจากใจกลางจะกระจายออกโดยรอบผ่านแถบการแผ่รังสี (Zone of radiation) ผ่านออกมายังแถบการพา (Zone of convection) พลังงานส่งผ่านต่อจากภายในดวงอาทิตย์สู่บรรยากาศของดวงอาทิตย์ต่อไป โดยผ่านชั้นของโฟโตสเฟียร์(Photosphere) ชั้นโครโมสเฟียร์ (Chromosphere) และชั้นคอโรนา (Corona) ตามลำดับ

### การแผ่รังสีดวงอาทิตย์นอกโลก (Extraterrestrial solar radiation)

ดวงอาทิตย์จะปล่อยพลังงานออกมาเป็นการแผ่รังสีคลื่นสั้น (Shortwave radiation) คือ รังสีอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet region) รังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมาที่มีช่วงความยาวคลื่น 290-400 นาโนเมตร ช่วงที่มองเห็นได้ด้วยตา (Visible region) เป็นช่วงความยาวคลื่น 400 – 700 นาโนเมตร และช่วงใกล้อินฟราเรด(Near infrared region) เป็นช่วงความยาวคลื่น 700- 3,500 นาโนเมตร การแผ่รังสีลงมาที่ผิวโลกมีหลายลักษณะเนื่องจากผ่านบรรยากาศโลกแบ่งได้ดังนี้

1. การแผ่รังสีตรง (Direct radiation) เป็นการแผ่รังสีแบบลำแสง (Beam radiation) ซึ่งโลกได้รับรังสีโดยตรง และรังสีไม่มีการเปลี่ยนแปลงทิศทาง
2. การแผ่รังสีแบบแพร่ (Diffuse radiation) ผิวโลกได้รับรังสีหลังจากที่รังสีเปลี่ยนทิศทางไปจากเดิมแล้วซึ่งเกิดจากการสะท้อน(Reflection) และการกระเจิง(Scattering) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบกับบรรยากาศโลก
3. การแผ่รังสีรวม (Total radiation) คือ ผลรวมของการแผ่รังสีตรงและการแผ่รังสีแบบแพร่

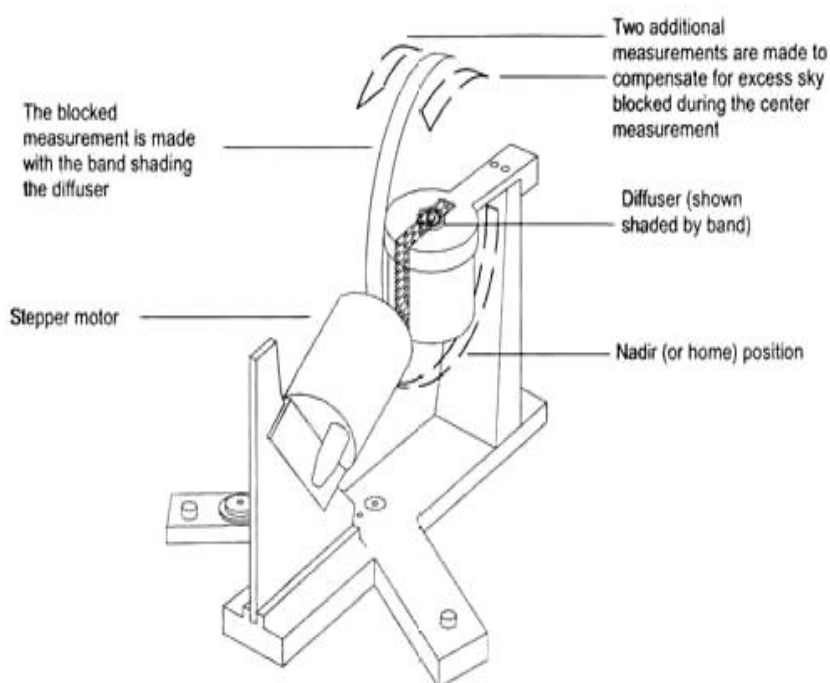
<sup>1</sup>ดวงพร นพคุณ. (2536). *เล่มเดิม*. หน้า 24.

## เครื่องมือ MFR-7

ในการศึกษาปริมาณละอองลอยในบรรยากาศที่มีผลต่อการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยนี้ข้อมูลที่จะวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่วัดด้วยเครื่อง Multi-Filter Rotation Shadow band Radiometer (MFRSR) ชนิดที่เรียกว่า MFR-7 ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.2

### ส่วนประกอบของเครื่องมือ MFR-7

1. ส่วนตรวจวัด (Detector Assembly) ทำหน้าที่เป็นส่วนที่วัดปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์
2. สเตปปีงมอเตอร์(Stepping motor) ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมการเคลื่อนที่ของแถบเงาติดตั้งอยู่บนจุดปรับละติจูด(Latitude adjustment)
3. ตัวเชื่อมสัญญาณ(Signal connector) ทำหน้าที่เป็นจุดที่เชื่อมต่อสัญญาณไปยังส่วนประมวลผล
4. แถบเงา (Shadow band) เป็นแถบโลหะที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้งของวงกลมถูกควบคุมโดยสเตปปีงมอเตอร์ การวางตัวของแถบเงาจะติดตั้งตามแนวเส้นเมริเดียนท้องถิ่น



ภาพประกอบ 1 เครื่อง MFR-7

ที่มา: <http://www.yesinc.com/products/data/mfr7/index.htm>. Retrieved February 27, 2010.

## หลักการทำงานเบื้องต้น<sup>1</sup>

เครื่องมือเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง MFR-7 เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ได้แก่การแผ่รังสีแบบแพร่และการแผ่รังสีรวม ได้พร้อมกันในเวลาเดียว สามารถทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มมีแสงอาทิตย์จนดวงอาทิตย์ตกดิน มีช่องสัญญาณ 7 ช่อง ดังนี้

ช่องสัญญาณที่ 1 เรียกว่าช่องสัญญาณของแถบความยาวคลื่นกว้าง (Broadband) จะทำการตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นจาก 415 ถึง 940 nm โดยจะได้ค่ารังสีรวม รังสีแบบแพร่ และรังสีตรง

ช่องสัญญาณที่ 2-7 เป็นการวัดความเข้มรังสีในช่วงความยาวคลื่นแคบ (Narrowband) ในช่วงความยาวคลื่นจาก 415 ถึง 940 nm

โดยการเคลื่อนที่ของแถบเงาจะได้รังสีต่างๆ ดังนี้

1. แถบเงาจะเคลื่อนที่กลับไปมาโดยทำมุมระหว่าง 0 – 80 องศา ณ ตำแหน่งต่ำที่สุด ดวงอาทิตย์แผ่รังสีผ่านชั้นบรรยากาศแล้วตกกระทบมาบนจุดรับแสง เมื่อนำมาแปลผลเป็นข้อมูลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะได้ค่าของรังสีรวม

2. เมื่อแถบเงาเคลื่อนมาบังจุดรับแสงในทิศทางตั้งฉากกับเครื่องมือแล้วเกิดการบังดวงอาทิตย์อย่างสมบูรณ์ ยังบริเวณด้านข้างของเครื่องมือทั้งสองด้าน นำค่ามาแปลผลเป็นข้อมูลโดยเครื่องคอมพิวเตอร์จะได้ค่าของรังสีแบบแพร่

3. เมื่อนำค่ารังสีรวมและรังสีแบบแพร่ที่ได้จากการวัดมาประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ (Microprocessor) จะได้ค่ารังสีตรง (Beam or Direct Radiation) ซึ่งคำนวณจากรังสีรวมลบด้วยรังสีแบบแพร่ โดยรังสีตรงคือรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง มีทิศทางที่แน่นอนที่เวลาใดเวลาหนึ่งเมื่อตกกระทบบนผิวรับแสง ทิศของรังสีตรงจะอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ส่วนรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกตรงตั้งฉากจะคำนวณจากนำรังสีแพร่ไปหักออกจากรังสีรวมของดวงอาทิตย์ จากนั้นหารด้วยค่าโคไซน์ของมุมเซนนิทของดวงอาทิตย์ โดยแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

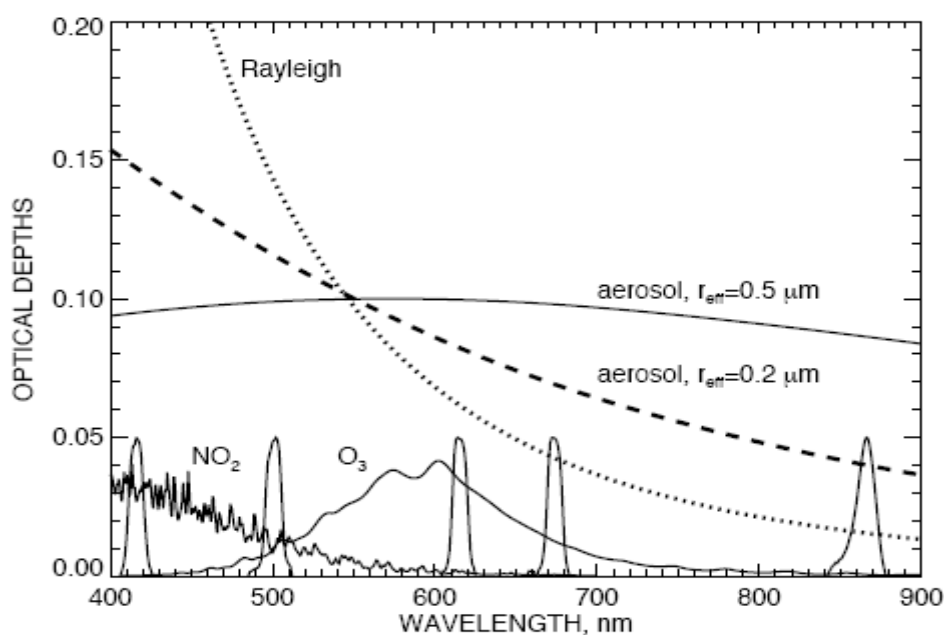
$$I_{\text{Direct } \perp} = \frac{I_{\text{Total}} - I_{\text{Diffuse}}}{\text{COS}(Z)} \quad (2-1)$$

<sup>1</sup>Yankee Environmental System, Inc. (2000). *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*. pp. 1-8.



$I_{\text{Direct } \perp}$	คือ ความเข้มรังสีตรงตั้งฉากของดวงอาทิตย์
$I_{\text{Total}}$	คือ ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์
$I_{\text{Diffuse}}$	คือ ความเข้มรังสีแพร่ของดวงอาทิตย์
Z	คือ มุมเซนนิทของดวงอาทิตย์

จากภาพประกอบ 2 เป็นกราฟแสดงความลึกเชิงแสงของ การกระเจิงเรย์ลี ไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซนและละอองลอยที่ช่องสัญญาณต่างๆ คือความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm จากการวัดของรังสีดวงอาทิตย์ของเครื่อง MFRSR ชนิด MFR-7 พบว่า ที่ความยาวคลื่น 415 500 nm พบความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ชัดเจน ที่ความยาวคลื่น 500 615 670 nm พบความลึกเชิงแสงของโอโซนที่ชัดเจน ความลึกเชิงแสงของละอองลอยและการกระเจิงของเรย์ลี จะปรากฏทุกช่องสัญญาณของเครื่อง MFR-7 โดยความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ในภาพประกอบมีรัศมี 0.2 ไมโครเมตร และ 0.5 ไมโครเมตร ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2 ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน กระเจิงของเรย์ลีและละอองลอยที่ช่องสัญญาณที่ความยาวคลื่นต่างๆของเครื่อง MFRSR ที่ส่งผลต่อการคำนวณความลึกเชิงแสง

ที่มา: Alexandrov, Mikhail D; et al. (2000). *Remote Sensing of Atmospheric Aerosol and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer Part I: Retrieval Algorithm*. Atmospheric Science. (59). p. 525. (Online).

## สมการ และตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ละอองลอย

### การพิจารณาท้องฟ้าโปร่ง (Clear sky)

ท้องฟ้าโปร่ง หมายถึงท้องฟ้าไม่มีเมฆมาบดบัง โดยผู้สังเกตสามารถสังเกตเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้อย่างชัดเจน ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะถูกต้องและน่าเชื่อถือขึ้นขึ้นอยู่กับ การเลือกข้อมูลของวันที่มีท้องฟ้าโปร่งเป็นสิ่งสำคัญ แต่บางครั้งการตรวจวัดอาจมีเมฆมาบดบัง เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์จะทำให้ผลการวิเคราะห์คลาดเคลื่อนไป ดังนั้นจึงต้องทำการทดสอบช่วงเวลา ที่ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งมีวิธีทดสอบได้จาก

### 1. การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่เชิงปกติ<sup>1</sup> (Normalized diffuse ratio variability Test)

โดยหาอัตราส่วนรังสีแบบแพร่ (Diffuse ratio) ได้จาก

$$D_{\downarrow} = \frac{I_{\text{Diffuse}}}{I_{\text{Total}}} \quad (2-2)$$

เมื่อ  $D_{\downarrow}$  คือ อัตราส่วนการแพร่(Diffuse ratio)

$I_{\text{Diffuse}}$  คือ ความเข้มรังสีแบบแพร่ของดวงอาทิตย์

$I_{\text{Total}}$  คือ ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์

การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่เชิงปกติ จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของรังสีแบบแพร่ และรังสีตรงของดวงอาทิตย์ โดยรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงท้องฟ้าโปร่งที่ตกมาสู่พื้นโลกจะมีความสม่ำเสมอตลอดเวลา การทดสอบนี้จึงใช้หาการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติได้ มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$D_n = \frac{D_{\downarrow}}{\mu^b} \quad (2-3)$$

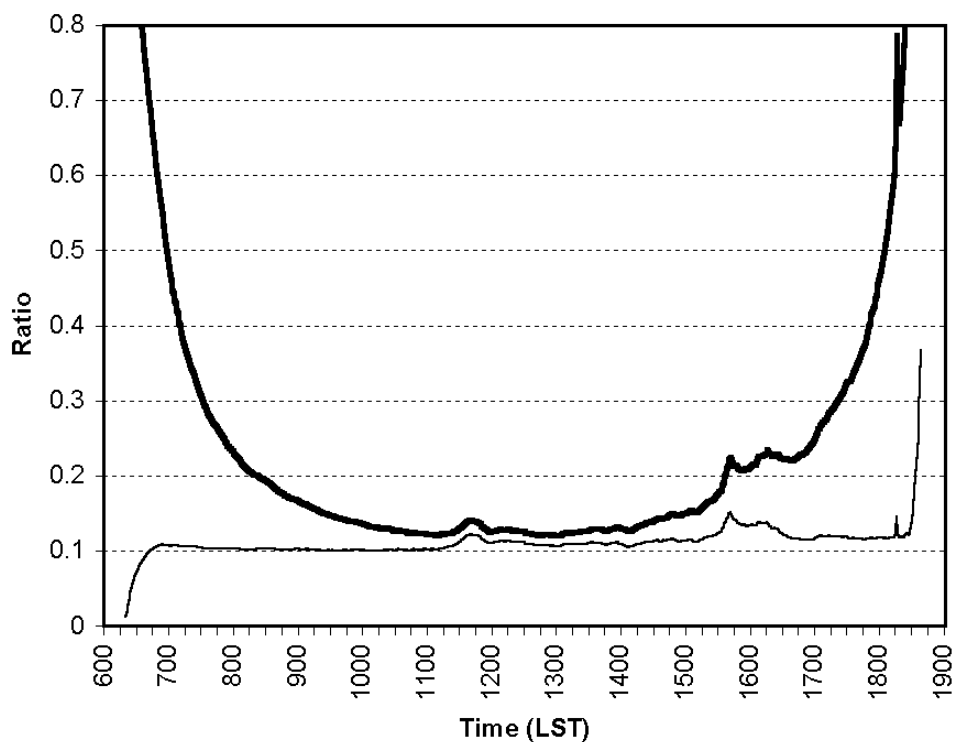
<sup>1</sup>Long ,Charles N. & Ackerman ,Thomas P. (2000, june 27). *Identification of clear skies from broadband pyranometer measuments and calculation of downwelling shortwave cloud effects.*Journal of Geophysics .12(105). pp. 15609-15626. (Online).

เมื่อ  $D_n$  คือ อัตราส่วนการแพร่เชิงปกติ(Normalized Diffuse Ratio)

$D_d$  คือ อัตราส่วนการแพร่(Diffuse ratio)

$\mu$  คือ โคไซน์ของมุมเซนนิทของดวงอาทิตย์

$b$  คือ ค่าคงตัว



ภาพประกอบ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่ (เส้นหนา) กับเวลา และการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นบาง) กับเวลา ของวันที่ 1 เดือนเมษายน พ.ศ.2537 (ค.ศ. 1994)

ที่มา : Long ,Charles N. &Ackerman ,Thomas P. (2000). *Identification of clear skies from broadband pyranometer measuments and calculation of downwelling shortwave cloud effects*. Journal of Geophysics Vol.105 No.D.12 pp. 15609-15626. (Online).

จากภาพประกอบ 3 พบว่าที่เส้นหนาซึ่งเป็นอัตราส่วนการแพร่มีการเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดกว่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ จากภาพที่เวลา 11.30 น.และ14.10 น. กราฟ

เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแสดงว่ามีเมฆหมอกบาง ๆ มาบดบัง ทำให้ความเข้มของรังสีตรงของดวงอาทิตย์เจือจางไป แต่จะเพิ่มการกระเจิงของแสงในส่วนของรังสีแบบแพร่

การหาค่าคงตัว  $b$  โดยใช้  $b = -0.5$  หาได้จากวิธีการทดสอบรังสีแพร่สูงสุด (Maximum diffuse shortwave test) ในสูตรขอบเขตของการแพร่ที่เกิดขึ้นสำหรับท้องฟ้าโปร่งตามโคไซน์ของมุมเซนิตดวงอาทิตย์ ซึ่งคำนวณได้เรียบร้อยแล้วโดยสมการยกกำลัง

$$D_{\text{lim}} = D_{\text{max}} \mu^{0.5} \quad (2-4)$$

$D_{\text{lim}}$  คือ ขอบเขตท้องฟ้าโปร่งตามมุมเซนิตของดวงอาทิตย์

$D_{\text{max}}$  คือ ค่าคงตัว

$\mu$  คือ โคไซน์ของมุมเซนิตของดวงอาทิตย์

#### มวลอากาศเชิงแสง(Solar air mass:m)

$m$  คือ มวลอากาศเชิงแสง หรือเรียกสั้น ๆ ว่า มวลอากาศ โดยเทียบกับมวลอากาศหนึ่งหน่วย(Unit air mass) ในทิศทางเซนิต (Zenith) การคำนวณมวลอากาศนั้นต้องพิจารณาความโค้งของชั้นบรรยากาศ เพราะเมื่อดวงอาทิตย์ขึ้นและลับขอบฟ้า มุมของดวงอาทิตย์จากตำแหน่งทั้งสองเท่ากับ 90 องศาจะทำให้  $m$  มีค่าไม่สิ้นสุด (Infinite) ในขณะที่ความยาวของทางเดินจะไม่เป็นเช่นนั้น ดังนั้นสมควรจึงพิจารณาความโค้งของโลกด้วยจะได้

$$m = \left[ \cos(Z) + 0.50572(9607995 - Z)^{-1.6364} \right]^{-1} \quad (2-5)$$

$$m = \left[ \sin(e) + 0.50572(607995 + e)^{-1.6364} \right]^{-1} \quad (2-6)$$

เมื่อ  $m$  คือ มวลอากาศเชิงแสง

$e$  คือ มุมเงยของดวงอาทิตย์ (Solar elevation angle)

$Z$  คือ มุมเซนิต (Zenith angle)

โดยที่  $Z = 90 - e$

### ความลึกเชิงแสง(Optical depth)<sup>1</sup>

ความลึกเชิงแสง คือการหมดสิ้นของปริมาณแสงเมื่อผ่านวัตถุขวางกั้น นิยามจากส่วนของรังสีที่ถูกกระเจิงหรือดูดกลืนบนทางเดินของแสง ความลึกเชิงแสงบอกปริมาณของแสงที่หายจากลำแสงโดยการกระเจิงหรือการดูดกลืนระหว่างที่แสงผ่านตัวกลาง ดังนั้น ความลึกเชิงแสง  $\tau'$  ถูกนิยามโดยสมการต่อไปนี้

$$I = I_0 e^{-\tau' m} \quad (2-7)$$

- เมื่อ  $I$  คือ ความเข้มรังสีที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ซึ่งผ่านบรรยากาศมากระทบพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉาก มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ )
- $I_0$  คือ ความเข้มรังสีที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เหนือบรรยากาศโลกมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร( $W/m^2$ )
- $m$  คือ มวลอากาศเชิงแสง
- $\tau'$  คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ(Total atmospheric optical Depth)

ความลึกเชิงแสง แสดงความสามารถของตัวกลางที่มีรังสีผ่าน โดยถูกวัดด้วยทางของแสงแนวตั้ง(Vertical optical path)  $dz$  และ  $\tau'$  จะวัดจากด้านบนของบรรยากาศ สามารถนิยามตามสมการต่อไปนี้

$$\tau' = \int_0^Z K dz = N \sigma \quad (2-8)$$

- เมื่อ  $K$  คือ สัมประสิทธิ์การหมดสิ้น(Extinction coefficient)
- $\sigma$  คือ ภาคตัดขวาง (Cross section)
- $N$  คือ ความหนาแน่นตลอดคอลัมน์(Column density)

---

<sup>1</sup>Yankee Environmental System, Inc. (2000). *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*. p.5.

### การวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley analysis)<sup>1</sup>

ในการวิเคราะห์แบบแลงเลย์เพื่อคำนวณหาความเข้มข้นสีดวงอาทิตย์ที่กระทบพื้นโลก โดยอาศัยกฎของเบียร์ แลมเบิร์ต โบเกอร์ (Beer-Lambert-Bouguer law) จากสมการที่ (2-7) สามารถเขียนความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\ln I = \ln I_0 - \tau' m \quad (2-9)$$

### ความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol optical depth: AOD)

ความลึกเชิงแสงของละอองลอย หมายถึงการหมดสิ้นของปริมาณแสงที่ผ่านเข้ามาในละอองลอยในชั้นบรรยากาศ ซึ่งละอองลอยจะก่อตัวกันเป็นกลุ่มอาจมีหลายชนิด เช่น ฝุ่นต่างๆ คาร์บอนเป็นต้น โดยปริมาณของแสงที่ส่องผ่านวัตถุจะขึ้นอยู่กับค่าความลึกเชิงแสง ยิ่งมีค่าความลึกเชิงแสงสูง แสงที่ทะลุผ่านยิ่งลดน้อยลง

ค่าความลึกเชิงแสงรวมตลอดคอลัมน์ (Total column optical depth) ของชั้นบรรยากาศสามารถคำนวณได้จากการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ในสมการที่ (2-7) โดยพิจารณาองค์ประกอบของการกระเจิงแบบเรย์ลี (Rayleigh scattering) โอโซน (Ozone) น้ำ (Water) และละอองลอย (Aerosol) ของบรรยากาศจะได้ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$\tau_{\text{Total}} = \tau_{\text{R}} + \tau_{\text{O}_3} + \tau_{\text{H}_2\text{O}} + \tau_{\text{a}} + \tau_{\text{NO}_2} \quad (2-10)$$

$\tau_{\text{Total}}$  คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมในบรรยากาศ

$\tau_{\text{R}}$  คือ ค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงเรย์ลี

$\tau_{\text{O}_3}$  คือ ค่าความลึกเชิงแสงของโอโซน

$\tau_{\text{H}_2\text{O}}$  คือ ค่าความลึกเชิงแสงของน้ำ

$\tau_{\text{a}}$  คือ ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย

$\tau_{\text{NO}_2}$  คือ ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์

<sup>1</sup>Yankee Environmental System, InC. (2000). *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*. p. 5.

โดย

$$\tau_R = 0.008569\lambda^{-4}(1+0.0113\lambda^{-2}+0.00013\lambda^{-4})\frac{P}{P_0} \quad (2-11)$$

เมื่อ  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นในหน่วยไมโครเมตร

$P$  คือ ความดันบรรยากาศ ณ สถานีตรวจวัดขณะทำการตรวจวัด

$P_0$  คือ ความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล (1013.25 มิลลิบาร์)

### การหาค่าคงตัวของเครื่องเปรียบเทียบ (Calibration constant: C) ของเครื่องมือ MFR-7<sup>1</sup>

เครื่องมือที่ทำการวัดไม่สามารถวัดได้อย่างสมบูรณ์ อาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบสู่หัววัดในทุกทิศทาง หัววัดจึงไม่อาจวัดปริมาณรังสีได้ทันที การหาค่าคงตัวของเครื่องเปรียบเทียบของเครื่องมือจึงเป็นวิธีการที่จะทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือและการติดตั้งเครื่องมือ

ในการหาการเปรียบเทียบเครื่องมือจะต้องพิจารณาความสอดคล้องขององค์ประกอบการวัดระหว่างรังสีตรงและรังสีแบบแพร่ และทำการคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและค่าคงตัวของเครื่องเปรียบเทียบของเครื่องมือจากช่องสัญญาณนั้น ปริมาณรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่องมือ MFR-7 สามารถนำมาทำการวิเคราะห์ เพื่อหาค่าคงตัวของเครื่องเปรียบเทียบเครื่องมือได้ โดยสมการ

$$I_i = C_i I_{i0} e^{\left[\frac{-\tau_i}{\mu}\right]} = C_i I_{i0} e^{-\tau_i \mu} \quad (2-12)$$

เมื่อ  $\mu$  คือ ส่วนกลับของมวลอากาศ(Inverse of air mass)

$\tau_i$  คือ ค่าความลึกเชิงแสงในชั้นบรรยากาศ(Atmospheric optical depth)ที่ช่องสัญญาณ  $i$

$i$  คือ เลขที่ของช่องสัญญาณ(Channel)

---

<sup>1</sup>Mikhail D. Alexandrov; et al. (2000). *Remote Sensing of Atmospheric Aerosol and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer Part I : Retrieval Algorithm*. Atmospheric Science. Vol 59. pp 524-543. (Online).

$I_i^0$  คือ ความเข้มรังสีเหนือชั้นบรรยากาศ (Top of atmosphere solar intensities) ที่ช่องสัญญาณ  $i$

$C_i$  คือ ค่าคงตัวของการปรับเทียบ (Calibration constant) ที่ช่องสัญญาณ  $i$   
ค่าความลึกเชิงแสง  $\tau_i$  จากสมการที่ (2-7) สามารถเขียนได้ในรูป

$$\tau_i = -\ln\left(\frac{I_i}{I_i^0}\right) \cdot \mu - c_i \mu \quad (2-13)$$

โดยที่  $c_i = -\ln C_i$

กำหนดให้สัญลักษณ์  $\tau'_i$  แทนความลึกเชิงแสงก่อนทำการปรับเทียบจากสมการ (2-8) จะได้ว่า

$$\tau'_i = -\ln\left(\frac{I_i}{I_i^0}\right) \cdot \mu \quad (2-14)$$

นั่นคือ  $= \tau_i + c_i \mu$

$$\tau'_i m = \tau_i m + c_i \quad (2-15)$$

**สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom's turbidity coefficient) และ อังสตรอมเอ็กซ์โพเนนท์ (Angstrom exponent)<sup>1</sup>**

อังสตรอม (Angstrom) ได้เสนอสูตรการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (aerosol optical depth) โดยอาศัยสมการที่เสนอโดย Lundholm ซึ่งเขียนได้ดังนี้

---

<sup>1</sup>Jacovides, C.P.: et al. (2005, February 3). Spectral aerosol optical depth and Angstrom parameters in the polluted Athens atmosphere. *Theoretical and Applied Climatology*. (81): 161-167. (Online).



$$\tau = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (2-16)$$

- เมื่อ  $\tau$  คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosols optical depth)
- $\beta$  คือ สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom's turbidity coefficient)
- $\alpha$  คือ อังสตรอมเอ็กซ์โพเนนท์ (Angstrom exponent)

$\beta$  จะเป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณของละอองลอยในบรรยากาศในแนวตั้ง ส่วน  $\alpha$  จะมีความสัมพันธ์กับขนาดของละอองลอยที่กระจายอยู่โดยทั่วไป  $\beta$  จะแปรค่าอยู่ในช่วง 0-0.5 โดย  $\beta$  มีค่ามากแสดงว่ามีปริมาณของละอองลอยในแนวตั้งมาก และ  $\alpha$  จะแปรค่าจาก 0-4 เมื่อละอองลอยมีขนาดเล็กมาก  $\alpha$  จะมีค่าเข้าใกล้ 4 และเมื่อละอองลอยขนาดใหญ่  $\alpha$  จะมีค่าเข้าใกล้ 0 สำหรับสภาพละอองลอยโดยทั่วไปที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ  $\alpha$  จะมีค่าเท่ากับ  $1.3 \pm 0.5$

### สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโอโซน<sup>1</sup>

จากสมการ

$$\tau_{O_3}(\lambda) = B \varepsilon(\lambda) \quad (2-17)$$

- เมื่อ  $\tau_{O_3}(\lambda)$  คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซนที่ความยาวคลื่น  $\lambda$
- $\varepsilon(\lambda)$  คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของโอโซน (Ozone absorption coefficient) ที่ความยาวคลื่น  $\lambda$  มีหน่วยเป็น  $\text{cm}^2/\text{molecules}$
- B คือ ปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์ (Total column ozone amounts) มีหน่วยเป็น  $\text{molecules} / \text{cm}^2$  หรือหน่วยด็อบสัน (Dobson units : DU) โดย 1 DU เท่ากับ  $2.687 \times 10^{16}$  molecules of ozone  $\text{cm}^{-2}$

---

<sup>1</sup>Hansell, Richard A.; et al. (2003). *Surface aerosol radiative forcing derived from collocated ground-based radiometric observations during PRIDE, SAFARI, and ACE-Asia*. Applied optics . (42). p 5538. (Online).

สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของโอโซนแสดงตามตาราง 1 ตามความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm

ตาราง 1 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของโอโซน(Ozone absorption cross-sections)ที่อุณหภูมิห้อง

Wavelength(nm)	Ozone absorption cross-sections ( $10^{-24}$ cm <sup>2</sup> /molecule)
415	14.000
500	1197.800
615	4303.000
673	1508.600
870	49.584

ที่มา : Yankee Environmental System, Inc. (2000). *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*. unpagged.

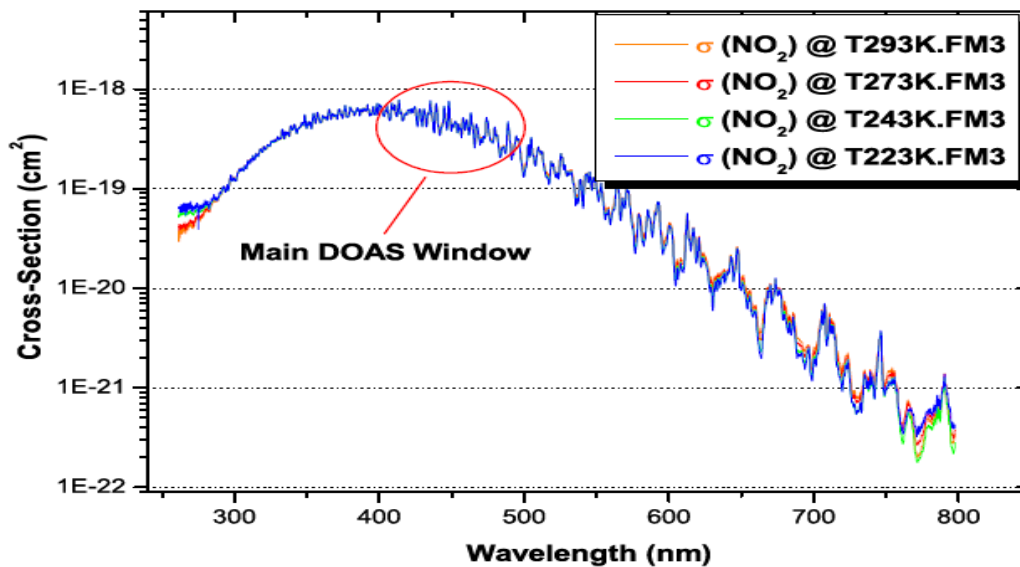
สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์  
จากสมการ

$$\tau_{\text{NO}_2}(\lambda) = M\chi(\lambda) \quad (2-18)$$

เมื่อ  $\tau_{\text{NO}_2}(\lambda)$  คือ ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น  $\lambda$   
 $M$  คือ ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ที่คอลัมน์มีหน่วยเป็น molecules / cm<sup>2</sup>  
 $\chi(\lambda)$  คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น  $\lambda$  มีหน่วยเป็น cm<sup>2</sup>/molecules

พิจารณาจากภาพประกอบ 4 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 400 - 500 nm จำแนกตามอุณหภูมิต่าง ๆ ดังที่ปรากฏในกราฟ พบว่าที่ความยาว

คลื่น 415 nm และ 500 nm มีค่าภาคตัดขวาง (Cross-Section) ประมาณเท่ากับ  $6.03 \times 10^{-19}$  และ  $1.02 \times 10^{-19} \text{ cm}^2/\text{molecules}$  ตามลำดับ ค่าทั้งสองจะนำไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ที่คอลัมน์ ซึ่งความยาวคลื่นทั้งสองได้รับผลกระทบจากการดูดกลืนของไนโตรเจนไดออกไซด์



ภาพประกอบ 4 ภาคตัดขวาง (Cross-Section) ของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ

ที่มา: Erlangung des akademischen Grades eines, & der Naturwissenschaften. (2006, February). Temperature Dependent Absorption Cross-Sections of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> in the 240 - 790 nm range determined by using the GOME-2 Satellite Spectrometers for use in Remote Sensing Applications. p.130. (online).

### การวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression Analysis)<sup>1</sup>

สมการที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว (X,Y) โดยมีความสัมพันธ์ในลักษณะเชิงเส้น (Linear) โดยมีสูตรการคำนวณต่างๆ ไป คือ

$$Y_i = a + bX_i + e_i \quad i = 1,2,3... n \quad (2-19)$$

<sup>1</sup> Dick R. W. (2005). *The Application of regression analysis*. pp. 1-2.

- เมื่อ  $Y$  คือ ตัวแปรตาม  
 $X$  คือ ตัวแปรอิสระหรือตัวแปรต้น  
 $a$  คือ จุดตัดกันแกน  $Y$  (เท่ากับ  $Y$  เมื่อ  $X$  เป็นศูนย์)  
 $b$  คือ ความชันของเส้นกราฟ  
 $e_i$  คือ ความคลาดเคลื่อน

การหาค่าของ  $a$  และ  $b$  ที่นิยมคือวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least squares method) เนื่องจากจะให้ค่าผลรวมกำลังสองของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยที่สุด โดยเส้นถดถอยของกำลังสองน้อยที่สุด ต้องผ่านจุดที่เป็นค่าเฉลี่ยของตัวแปรอิสระ และ ตัวแปรตาม ( $\bar{X}, \bar{Y}$ )

$$\text{เมื่อ } \bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (2-20)$$

$$\text{และ } \bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} \quad (2-21)$$

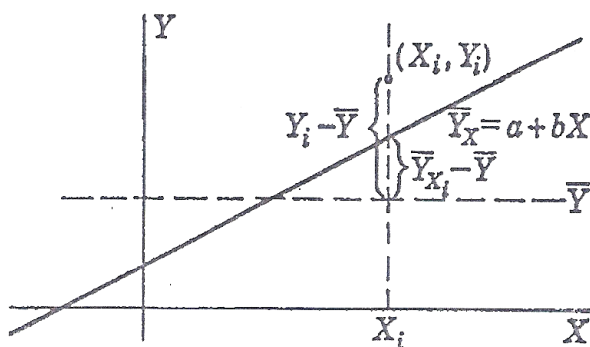
ดังนั้นเส้นกราฟกำลังสองน้อยที่สุดคือ ( $\bar{X}, \bar{Y}$ )

ความชันของเส้นกราฟหาได้จากสูตร

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

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

โดยกราฟที่ได้จะมีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination:  $R^2$ ) หมายถึง สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดที่แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงเส้น โดยคำนวณได้ดังนี้



ภาพประกอบ 5 แสดงกราฟที่ได้จากการปรับแบบถดถอย

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

จากภาพประกอบ 2.5 เมื่อ SST (Total sum of squares) คือผลรวมของผลต่างระหว่าง  $Y_i$  กับ  $\bar{Y}$  ยกกำลังสอง

$$SST = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (2-24)$$

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

$$SSR = \sum (\bar{Y}_{x_i} - \bar{Y})^2 \quad (2-25)$$

SSE (Error sum of squares) คือผลรวมของผลต่างระหว่าง  $Y_i$  กับ  $\bar{Y}_{x_i}$  ยกกำลังสอง

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

เมื่อ  $SST = SSR + SSE$

โดยสัมประสิทธิ์การตัดสินใจหาได้จาก

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{SST - SSE}{SST}$$

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

ดังนั้น  $R^2$  คือสัดส่วนของผลรวมทั้งหมดยกกำลังสองที่เกี่ยวกับค่า  $Y$  ของเส้นที่ได้จากการปรับแบบถดถอย โดย  $0 \leq R^2 \leq 1$

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พ.ศ. 2543 เฮย์วูด และบัวเชอร์ (Haywood; & Boucher. 2000: 513-543) ได้นำเสนอผลการตรวจวัดละอองลอยซึ่งส่งผลต่อการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์(Tropospher) พบว่าพลังงานรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากการลดทอนของละอองลอยที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์อยู่ในช่วง  $-0.26$  ถึง  $-0.82 \text{ W/m}^2$  โดยจำแนกได้เป็นพลังงานรังสีดวงอาทิตย์จากการลดทอนของเขม่าดำของเชื้อเพลิงฟอสซิลวัดได้  $0.16 \text{ W/m}^2$  พลังงานรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากการลดทอนของเขม่าดำซึ่งเกิดจากการผสมภายในของละอองลอยซัลเฟต (Sulphate aerosol) วัดได้  $0.42 \text{ W/m}^2$  พลังงานรังสีดวงอาทิตย์จากการลดทอนของเขม่าอินทรีย์เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งน้อยที่สุดวัดพลังงานรังสีดวงอาทิตย์วัดได้  $-0.02$  และ  $-0.04 \text{ W/m}^2$  พลังงานรังสีดวงอาทิตย์จากการลดทอนของเขม่าดำของการเผาไหม้ชีวมวลและเขม่าอินทรีย์วัดได้  $-0.14$  ถึง  $-0.74 \text{ W/m}^2$  พลังงานรังสีดวงอาทิตย์จากการลดทอนของฝุ่นแร่วัดได้  $0.09$  ถึง  $-0.46 \text{ W/m}^2$

พ.ศ. 2543 อเล็กซานดรอฟ และคณะ(Alexandrov; et al. 2000: 524-543) ได้วิเคราะห์และแสดงผลละอองลอยและแก๊สเฉื่อยในชั้นบรรยากาศโดยเฉลี่ย จากเครื่อง MFR-7 ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งและมีเมฆบดบังบางส่วนโดยนำข้อมูลไปวิเคราะห์ด้วยวิธีการของแลงเลย์ (Langley pproach) โดยใช้ความสอดคล้องระหว่างปริมาณรังสีโดยตรงตั้งฉากและรังสีแพร่จากชุดของเวลาในแต่ละวันที่ได้มาพร้อมกัน เพื่อหาขนาดอนุภาคของละอองลอยเฉลี่ยทั้งคอลัมน์ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย ในโตรเจนไดออกไซด์ และโอโซน ตลอดจนค่าคงตัวของการปรับเทียบเครื่องมือ เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับเทียบของแลงเลย์ที่เป็นแบบเดิม โดยแสดงให้เห็นคุณสมบัติของวิธีการเหล่านี้พบว่าความเสถียรภาพของการปรับเทียบนั้นเป็นสิ่งสำคัญมากและการตอบสนองที่ลดลงของข้อมูลที่ได้อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการปรับเทียบ

พ.ศ. 2547 โอกันโจบิ และคณะ (Ogunjobi; et al. 2004: 1313-1323) ได้วิเคราะห์ความลึกเชิงแสงของละอองลอยในกรณีของพายุฝุ่นจากเอเชียและการเผาไหม้ชีวมวลที่เมืองกวางจู (Kwangju) ประเทศเกาหลีใต้ โดยสเปกตรัมรายวันของความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_a$ ) ข้อมูลที่วัดได้จาก MFR- 7 ที่เมืองกวางจูวิเคราะห์จากเดือนมกราคม พ.ศ.2542 (ค.ศ. 1999) ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2550 (ค.ศ. 2007) ทั้งหมด 277 วัน ความลึกเชิงแสงที่ได้มาแสดงแนวโน้ม

ชั่วคราวที่ชัดเจน โดยปริมาณฝุ่นมากที่สุดอยู่ในช่วงฤดูใบไม้ผลิและละอองลอยจากการเผาไหม้ชีวมวลในช่วงต้นฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วงของแต่ละปี ผลการวิจัยบ่งบอกว่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 501 nm ( $\tau_{501}$ ) เพิ่มขึ้นจากฤดูใบไม้ร่วงโดยเฉลี่ยที่  $0.45 \pm 0.02$  และมากกว่า 0.7 ในวันที่ 7 เดือนเมษายน พ.ศ. 2543 (ค.ศ.2000) และ วันที่ 13 เดือนเมษายน พ.ศ. 2544 (ค.ศ.2001) การเปลี่ยนแปลงตามเวลาของสเปกตรัมอังสตรอม เอ็กโปเนนท์ (Angstrom exponents:  $\alpha$ ) เฉลี่ยแต่ละวัน การเปลี่ยนแปลงที่น่าสนใจของค่า  $\alpha$  ที่ความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่มีขนาดใหญ่มีค่าสูงกว่าละอองลอยที่มีการสะสมความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่มากแปรผันตรงกับค่า  $\alpha$  ที่มากตาม ในต้นเดือนมิถุนายนและเดือนตุลาคมซึ่งเป็นลักษณะพิเศษที่เด่นของละอองลอยเขม่าควันจากการเผาไหม้ของชีวมวล การจำแนกขนาดของละอองลอยโดยการสำรวจมลพิษต่างๆ โดยผลจากการจำแนกขนาดของละอองลอย แสดงว่าปริมาณของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ของฝุ่นและอนุภาคละเอียดของละอองลอยจากการเผาไหม้ชีวมวลตามลำดับ มีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ความลึกเชิงแสงของละอองลอยก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ลักษณะการโคจรของมวลอากาศในวันที่ 7-8 เดือนเมษายนและ 19-20 เดือนตุลาคม พ.ศ. 2543 (ค.ศ.2000) บ่งบอกว่าการเคลื่อนที่ของอนุภาคฝุ่นของเอเชียและการเผาไหม้ชีวมวลสู่กวางจู

พ.ศ. 2548 แวนเฮลเลมอนท์ และคณะ (Vanhellemont; et al. 2005: 2413-2417) ได้ทำการหมดสิ้น (Extinction) ของแสงเนื่องจากละอองลอยและเมฆสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลกโดยการวัด GOMOS (Global ozone monitoring by occultation of stars) ในดาวเทียมสำรวจทรัพยากรของยุโรป (European environmental satellite: envisat) พบว่าละอองลอยในชั้นสตราโตสเฟียร์มีผลต่อการทำให้โอโซนแถบละติจูดกลางลดลง เมฆสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลกในอีกด้านหนึ่งจะเป็นตัวดำเนินการที่สำคัญในการทำลายโอโซนบริเวณขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ทุกปี ความสำคัญนี้ได้แสดงปริมาณที่สมบูรณ์ของละอองลอยหรือเมฆบริเวณขั้วโลกในชั้นสตราโตสเฟียร์ วิธีการแบบ GOMOS บนดาวเทียมสำรวจทรัพยากรของยุโรปได้ให้ชุดข้อมูลการลดทอนของละอองลอยอย่างมหาศาล ในการโคจรตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ.2545 ในรายงานฉบับนี้ได้รายงานค่าเฉลี่ยของละอองลอย/เมฆในชั้นสตราโตสเฟียร์บริเวณขั้วโลก

พ.ศ. 2549 ฟรังค์; กิโรลาโม; และ กีแกน (Frank; Girolamo; & Geegan. 2006: 54-64) ได้หาความลึกเชิงแสงของละอองลอยในอากาศที่แปรผันตามเวลา ในทะเลทรายโมเจฟตอนใต้ของแคลิฟอร์เนีย ได้กำหนดขอบเขตการค้นคว้านท้องฟ้าที่สูงปานกลาง ( $17.6 \times 17.6 \text{ km}^2$ ) เป็นอันดับแรกเพื่อศึกษาความลึกเชิงแสงของละอองลอยเหนือทะเลทรายโมเจฟตอนใต้ของแคลิฟอร์เนีย โดยใช้ข้อมูลจากดาวเทียม MISR ช่วงเดือนมีนาคม พ.ศ.2543 (ค.ศ.2000) ถึง ตุลาคม พ.ศ.2548 (ค.ศ. 2005) ได้แสดงให้เห็นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยตามฤดูกาลเหนือทะเลทรายโมเจฟทั้งหมดและการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของละอองลอยตามฤดูกาลในอากาศจากค่าเฉลี่ยของ

ความลึกเชิงแสงของละอองลอยเหนือสวนสาธารณะ ที่ทำการของทหาร ทะเลสาบที่แห้งแล้ง และ เมืองพลาياس (playas) ความแตกต่างที่มีนัยสำคัญทางสถิติจากค่าเฉลี่ยของความลึกเชิงแสงของ ละอองลอยเหนือทะเลทรายโมเจฟสามารถให้เหตุผลว่าใกล้เคียงกับในตัวเมือง (เช่น ที่ทะเลสาบโรเจอร์ (Rogers) ที่อยู่ใกล้กับบริเวณเมืองหลวง ลอสแอนเจลิส) และท้องถิ่นชนบท(เช่น การถลุงแร่ที่ ทะเลสาบบริสตอล (Bristol)) โมเจฟทางตะวันตกใกล้ๆกับบ่อน้ำมันโรเจอร์และบ่อน้ำมันฮาร์เบอร์ได้ แสดงรูปแบบที่เป็นการสนับสนุนค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่สูงตามฤดูกาลโดยตลอดทั้งปี มากสุด ขณะที่ผล จากสถานี AERONET ณ บ่อน้ำมันเก่าโรเจอร์ไม่ควรใช้เป็นตัวแทนของสถานี

พ.ศ.2550 กาแซดซีส และคณะ (Kazadzis; et al. 2007: 2091-2101) ได้วัดปริมาณความ ลึกเชิงแสงของละอองลอยโดยใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตในเมืองธีสซาโลนิกิ (Thessaloniki) ประเทศ กรีซ ( 40.5 N, 22.9 E) ระยะเวลา 9 ปี ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2540 (ค.ศ.1997) ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ.2548(ค.ศ.2005) โดยเครื่องบริเวอ์ เอ็มเค ทรี สเปกโตรเรดิโอมิเตอร์ (Brewer MK III spectroradiometer) เป็นเครื่องวัดแสงที่สามารถแยกสีออกมาเป็นสีเดี่ยว แบบทวิคูณ และโดยวัด รังสีรวมและรังสีตรงได้ ชุดข้อมูลถูกเปรียบเทียบกับการวัดรวมกันกับเครื่องสเปกโตรเรดิโอมิเตอร์ อีกรุ่น คือ ซีเมล (CIMEL) ซึ่งเป็นเครื่องวัดพลังงานรังสีที่ตรวจวัดแสงของดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ โดยวัดรังสีตรงที่ความยาวคลื่น 340 380 440 500 670 870, and 1020 nm) โดยแสดง ความสัมพันธ์ที่ 0.93 และ 0.98 ตามลำดับ พบว่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่เปลี่ยนตามฤดู ที่ 340 nm เป็น 0.52 และ 0.28 สำหรับเดือนสิงหาคมและธันวาคม ตามลำดับ ลักษณะการโคจรของ มวลอากาศทั้ง 4 วันมีอิทธิตต่อแนวยาวของการเคลื่อนที่จากแหล่งต่างๆต่อปริมาณละอองลอยเหนือ เมืองธีสซาโลนิกิ เป็นการแสดงว่าฤดูที่สังเกต โดยมวลอากาศกับความลึกเชิงแสงที่สูงมีจุดกำเนิด จากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ และตะวันออกเฉียงระหว่างช่วงฤดูร้อน แนวโน้มที่ลดลงนี้พบในการบันทึก การวัดละอองลอยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน ซึ่งเป็นลักษณะคุณภาพของอากาศ ระดับ 4 ในบริเวณเมืองของเมืองธีสซาโลนิกิ

พ.ศ. 2551 ลีโนเบล และคณะ (Lenoble; et al. 2008: 161-179) ได้ทำการวัดความลึกเชิง แสงของละอองลอยเนื่องจากอัลตราไวโอเล็ตในตอนใต้ของเทือกเขาเอลป์ของฝรั่งเศส โดยแสง อัลตราไวโอเล็ตแบบรวมและแพร่ จากเครื่องวัดประจำวันในสถานี Briancon ถูกใช้ในการหาการแผ่ รังสีของแสงอาทิตย์โดยตรงและความลึกเชิงแสงของละอองลอย สำหรับวันที่ท้องฟ้าโปร่ง พ.ศ. 2545 2546 และ 2548 (ค.ศ. 2002 2003 and 2005) ข้อมูลจากดาวเทียม MODIS และโมเดล GOCART ผลที่ได้ยืนยันข้อมูลเหล่านั้นในการวิเคราะห์เบื้องต้นคือ พ.ศ.2545 และ 2546 ผลปรากฏ ว่าบรรยากาศสะอาดมากในฤดูหนาวความลึกเชิงแสงของละอองลอยอยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 0.1 ความ ชื้นเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในฤดูใบไม้ผลิ ในเดือนกุมภาพันธ์มีความลึกเชิงแสงของละอองลอยประมาณ



0.2-0.3 ในกลางฤดูร้อนบางค่าไปถึง 0.4 ซึ่งคล้ายกันทั้งปี และค่อนข้างสูงในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2546

ในประเทศไทย เนตรนภา ชิวปรีชา (Chiwpreech. 2005: 75-86) ได้ศึกษาปริมาณโอโซนในบรรยากาศของประเทศไทย โดยสถานีนครปฐมข้อมูลที่วัดได้จากเครื่อง MFR-7 ใช้ข้อมูลจำนวน 2 ปี ใช้วิธีของคิง (King) และบรายน์ (Bryne) สถานีกรุงเทพฯ ข้อมูลที่วัดได้จากดีอบสันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Dobson spectrophotometer) ใช้ข้อมูลจำนวน 26 ปี พ.ศ.2522-2548 (ค.ศ. 1976-2005) และสถานีสงขลาข้อมูลที่วัดได้จากบรูเวอร์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Brewer spectrophotometer) ใช้ข้อมูลจำนวน 9 ปี โดย การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดพบว่าลักษณะการแปรค่าของปริมาณโอโซนตามฤดูกาลในรอบปีของทั้ง 3 สถานีมีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือโอโซนจะมีค่าต่ำในช่วงต้นปีและปลายปี และมีค่าสูงสุดในช่วงกลางปี โดยค่าเฉลี่ยรายปีของสถานีนครปฐม กรุงเทพฯ และสงขลาเท่ากับ  $262 \pm 7$  DU,  $257 \pm 8$  DU และ  $261 \pm 5$  DU ตามลำดับ และการแจกแจงของปริมาณโอโซนที่กรุงเทพฯ และสงขลามีลักษณะคล้ายกัน โดยปริมาณโอโซนในช่วง 265-270 DU จากนั้นผู้วิจัยได้เปรียบเทียบปริมาณโอโซนที่ได้จากการวัดทั้ง 3 สถานีกับข้อมูลจากดาวเทียม EP/TOMS ผลการเปรียบเทียบพบว่าค่าจากการวัดทั้ง 3 สถานีมีค่าสอดคล้องกับค่าจากดาวเทียมสุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการสร้างแผนที่ปริมาณโอโซนจากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศและพบว่ารังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทยถูกดูดกลืนโดยโอโซน 2.5-4.4%

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาเครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล
2. การวิเคราะห์ข้อมูล
  - 2.1 พิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่งของข้อมูลจากเครื่อง MFR-7
  - 2.2 คำนวณหามวลอากาศเชิงแสง (Solar air mass)
  - 2.3 คำนวณความลึกเชิงแสงของการกระเจิงเรย์ลี
  - 2.4 คำนวณความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)
  - 2.5 คำนวณความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์และความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)
  - 2.6 คำนวณความลึกเชิงแสงของโอโซนและความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 615 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)
  - 2.7 คำนวณความลึกเชิงแสงของโอโซน ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ และความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 500 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)
  - 2.8 คำนวณความลึกเชิงแสงของโอโซน และความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 673 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)
  - 2.9 คำนวณสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) และ อังสตรอมเอ็กซ์โพเนนต์ (Angstrom Exponent:  $\alpha$ ) ของฤดูหนาว (มกราคม)
  - 2.10 ดำเนินการเหมือนเดิมตั้งแต่ข้อ 2.1-2.9 ของฤดูร้อน (มีนาคม)
  - 2.11 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยในแต่ละวันของฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน (มีนาคม) กับความยาวคลื่น
  - 2.12 ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ข้อมูลของฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน (มีนาคม) และทำการสรุปผลการวิจัยต่อไป

#### ศึกษาเครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ศึกษาข้อมูลดิบปี พ.ศ.2546 ซึ่งได้จากเครื่อง Multi-Filter Rotating Shadow band radiometer (MFRSR) ชนิดที่เรียกว่า MFR-7 ได้ข้อมูลปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ประกอบด้วย การแผ่รังสีรวมและรังสีแบบแพร่ ซึ่งสามารถทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มมีแสงของดวงอาทิตย์จนดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้า MFR-7 มี 7 ช่องสัญญาณโดยที่ช่องสัญญาณที่ 1 เป็นของความยาวคลื่นกว้าง

(Broadband) สำหรับช่องสัญญาณที่ 2-7 เป็นของความยาวคลื่นแคบ (Narrowband) โดยมีความยาวคลื่น 415 500 615 673 870 และ 980 nm ตามลำดับและมีความกว้างของช่องสัญญาณ (FWHM) 10 nm ข้อมูลที่นำมาศึกษาในครั้งนี้ มาจากการเครื่อง MFR-7 ที่ติดตั้ง ณ สถานีวิจัยชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

### การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทุกขั้นตอนได้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

#### 1. พิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่งของข้อมูลจากเครื่อง MFR-7

1.1 นำข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7 พ.ศ.2546 มาทดสอบหาวันที่มีสภาพท้องฟ้าค่อนข้างโปร่ง โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา เพื่อทำการเลือกข้อมูลของวันที่มีท้องฟ้าค่อนข้างโปร่งซึ่งกราฟที่ได้จะมีลักษณะระฆังคว่ำ ลักษณะการกระจายของข้อมูลจะราบเรียบ

1.2 นำข้อมูลในส่วนของรังสีแบบแพร่ และรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากเครื่อง MFR-7 ของทุกช่วงเวลา ในวันที่สภาพท้องฟ้าค่อนข้างโปร่ง หาอัตราส่วนการแพร่ของรังสีดวงอาทิตย์ตามสมการที่ (2-2) ดังนี้

$$D_{\downarrow} = \frac{I_{\text{Diffuse}}}{I_{\text{Total}}}$$

เมื่อ  $D_{\downarrow}$  คือ อัตราส่วนการแพร่ (Diffuse ratio)

$I_{\text{Diffuse}}$  คือ ความเข้มรังสีแบบแพร่ของดวงอาทิตย์

$I_{\text{Total}}$  คือ ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์

#### 1.3 หาค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่เชิงปกติตามสมการที่ (2-3)

$$D_n = \frac{D_{\downarrow}}{\mu b}$$

เมื่อ  $D_n$  คือ อัตราส่วนการแพร่เชิงปกติ (Normalized Diffuse Ratio)

$D_{\downarrow}$  คือ อัตราส่วนการแพร่ (Diffuse ratio)

$\mu$  คือ โคไซน์ของมุมเซนนิทของดวงอาทิตย์

b คือ ค่าคงตัว ( $b = -0.5$  หาได้จากวิธีการการเปรียบเทียบเกี่ยวกับสูตรขอบเขตของการแพร่สำหรับท้องฟ้าโปร่งตามโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์<sup>1</sup>)

1.4 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่กับเวลาและการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่เชิงปกติเทียบกับเวลา เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลหาช่วงเวลาที่มิเมฆจากค่าความเป็นปกติของอัตราส่วนการแพร่

1.5 ตัดข้อมูลในช่วงเวลาที่มีเมฆมารบกวนในการวัดออกไป โดยสังเกตจากเส้นกราฟการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนแบบปกติเทียบกับเวลา ต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรงแนวเดียวกัน โดยปริมาณข้อมูลของช่วงท้องฟ้าโปร่งที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีจำนวนข้อมูล 120 ขึ้นไป

2. หามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) สัมพันธ์กับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกตามสมการที่ (2-5)

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

3. กำหนดความลึกเชิงแสงของการกระเจิงเรย์ลีจากสมการที่ (2-11)

$$\tau_R = 0.00856\lambda^{-4} (1 + 0.0113\lambda^{-2} + 0.00013\lambda^{-4}) \frac{P}{P_0}$$

$\lambda$  คือความยาวคลื่นในหน่วยไมโครเมตร ( $\mu\text{m}$ ) และ  $P$  คือความดันบรรยากาศ ณ จุดวัดที่จังหวัดสุโขทัย ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1008.8 มิลลิบาร์ (mbar) และ  $P_0$  คือความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1013.25 มิลลิบาร์ (mbar) และสามารถคำนวณ  $\tau_R$  ตามความยาวคลื่นดังนี้

---

<sup>1</sup>Long ,C. N. & Ackerman ,T. P. (2000, june 27) . *Identification of clear skies from broadband pyranometer measuments and calculation of downwelling shortwave cloud effects.* Journal of Geophysics.12 (105) . pp. 15609-15626. (Online) .

ตาราง 2 แสดงตัวอย่างข้อมูลของความลึกเชิงแสงของการกระเจิงเรย์ลีตามความยาวคลื่นต่างๆ

ความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) (nm)	$\tau_R$
415	0.3077
500	0.1409
615	0.0626
673	0.0432
870	0.0151

4. ความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)

4.1 ทำการหาค่า  $\ln I$  ของความเข้มรังสีตรงตั้งฉากที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของความยาวคลื่น 870 nm

4.2 คำนวณ  $\ln I_0$  และ ความลึกเชิงแสงรวมในบรรยากาศ ( $\tau'$ ) ก่อนการปรับเทียบเครื่องมือ โดยการเขียนกราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) และทำการปรับกราฟสมการเส้นตรง (Linear fit) ตามสมการที่ (2-9)

$$\ln I = \ln I_0 - \tau' m$$

จะได้ความชัน (Slope) คือค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศก่อนการปรับเทียบ;  $\tau'$  และจุดตัด  $\ln I_0$

4.3 เนื่องจากที่ความยาวคลื่น 870 ได้รับผลกระทบจากการดูดกลืนของการกระเจิงของเรย์ลี และละอองลอย ดังนั้นสามารถเขียนสมการที่ (2-15) ได้ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$\ln I_0 - \ln I = (\tau_R + \tau_a) m + c_{870} \quad (3-1)$$

$$\text{โดย } \tau = \tau_R + \tau_a \text{ และ } \tau' m = \ln I_0 - \ln I$$

4.4 แทนค่า  $\ln I_0$  ที่ได้จากข้อ 4.2 และ  $\tau_{R870}$  ซึ่งเท่ากับ 0.0151 ในสมการที่ (3-1) โดยเขียนใหม่ได้ตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\ln I_0 - \ln I - \tau_R m = \tau_a m + c_{870} \quad (3-2)$$

4.5 ทำการเขียนกราฟระหว่าง  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) และทำการปรับกราฟสมการเชิงเส้น จะได้ ความชัน (Slope) คือค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol optical depth: AOD) และจุดตัดคือ  $c_{870} = -\ln C_{870}$  ซึ่ง  $C$  เป็นค่าคงตัวของ การเปรียบเทียบเครื่องมือที่ช่องสัญญาณ 870 nm

5. คำนวณความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ที่ความยาวคลื่น 415 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)

5.1 ทำการหาค่า  $\ln I$  ของความเข้มรังสีตรงตั้งฉากที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ของความยาวคลื่น 415 nm

5.2 คำนวณ  $\ln I_0$  และ ความลึกเชิงแสงรวมในบรรยากาศ ( $\tau'$ ) ก่อนการปรับเทียบ เครื่องมือ โดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) และทำการปรับกราฟสมการเส้นตรง (Linear fit) ตามสมการที่ (2-9)

$$\ln I = \ln I_0 - \tau' m$$

จะได้ความชัน (Slope) คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศก่อนการปรับเทียบ  $\tau'$ ; และจุดตัด  $\ln I_0$

5.3 เนื่องจากที่ความยาวคลื่น 415 nm ได้รับผลกระทบจากการดูดกลืนของไนโตรเจน ไดออกไซด์ การกระเจิงของเรย์ลี และละอองลอย จึงเขียนสมการที่ (2-15) ได้ใหม่เป็น

$$\ln I_0 - \ln I = (\tau_R + \tau_a + \tau_{NO_2})m + c_{415} \quad (3-3)$$

$$\text{โดย } \tau = \tau_R + \tau_a + \tau_{NO_2} \text{ และ } \tau' m = \ln I_0 - \ln I$$

5.4 คำนวณ  $\tau_{NO_2}$  โดยแทนค่า  $\ln I_0$  ได้จากจุดตัดในข้อ 5.2 และ  $\tau_{R415}$  ซึ่งมีค่า 0.3077 แทนในสมการที่ (3-3) เขียนใหม่ได้ตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a870} m = \tau_{NO_2} m + c_{415} \quad (3-4)$$

เมื่อ  $(\ln I_0 - \ln I)_{415} = \tau' m$  และ  $q\tau_{a870} = \tau_{a415}$  และ  $q$  คือ อัตราส่วนการหมดสิ้น (Extinction ratio) ที่เทียบกับช่องสัญญาณ 870 nm ทำการปรับหาค่า  $q$  ที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิค การถดถอยให้ได้การปรับค่าที่มีค่า  $R^2$  มากกว่า 0.7 ขึ้นไป โดยเริ่มตั้งแต่  $q = 1.05$  ขึ้นไปโดยมีค่า แตกต่างเท่ากับ 0.05 สำหรับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a870} m$  กับ มวล

อากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) จากสมการ (3-4) จะเห็นได้ว่า ความชัน (Slope) คือ  $\tau_{NO_2}$  และ จุดตัดเป็น  $c_{415} = -\ln C_{415}$  ซึ่ง  $C$  ค่าคงตัวของเครื่องมือที่ช่องสัญญาณ 415 nm

6. คำนวณความลึกเชิงแสงของโอโซนและความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 615 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)

6.1 ทำการหาค่า  $\ln I$  ของความเข้มรังสีตรงตั้งฉากที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ของความยาวคลื่น 615 nm

6.2 คำนวณ  $\ln I_0$  และ ความลึกเชิงแสงรวมในบรรยากาศ ( $\tau'$ ) ก่อนการปรับเทียบเครื่องมือ โดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) และทำการปรับกราฟสมการเส้นตรง (Linear fit) ตามสมการที่ (2-9)

$$\ln I = \ln I_0 - \tau' m$$

จะได้ความชัน (Slope) คือค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศก่อนการปรับเทียบ;  $\tau'$  และจุดตัด  $\ln I_0$

6.3 เนื่องจากที่ความยาวคลื่น 615 nm ได้รับผลกระทบจากการดูดกลืนของโอโซน การกระเจิงของเรย์ลี และละอองลอย ตามลำดับ จากสมการที่ (2-15) จะได้ความสัมพันธ์

$$\ln I_0 - \ln I = (\tau_R + \tau_a + \tau_{O_3})m + c_{615} \quad (3-5)$$

โดย

$$\tau = \tau_R + \tau_a + \tau_{O_3} \text{ และ } \tau' m = \ln I_0 - \ln I$$

6.4 แทนค่า  $\ln I_0$  ได้จากข้อ 6.2 และ  $\tau_{R615}$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.0626 ในสมการที่ (3-5) และเขียนใหม่ได้ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q' \tau_{a870} m = \tau_{O_3} m + c_{615} \quad (3-6)$$

เมื่อ  $(\ln I_0 - \ln I)_{615} = \tau' m$  และ  $q' \tau_{a870} = \tau_{a615}$  และ  $q'$  คือ อัตราส่วนการหมดสิ้น (Extinction ratio) ที่เทียบกับช่องสัญญาณ 870 nm ทำการปรับหาค่า  $q'$  ที่เหมาะสมโดยใช้เทคนิคการถดถอยให้ได้การปรับค่าที่มีค่า  $R^2$  มากกว่า 0.7 ขึ้นไป โดยเริ่มตั้งแต่  $q' = 1.025$  ขึ้นไปโดยมีค่าแตกต่างเท่ากับ 0.025 สำหรับกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q' \tau_{a870} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) จากสมการ (3-4) จะ

เห็นได้ว่า ความชัน (Slope) คือ  $\tau_{O_3}$  และจุดตัดเป็น  $c_{615} = -\ln C_{615}$  ซึ่ง  $C$  เป็นค่าคงตัวของ การเปรียบเทียบเครื่องมือที่ช่องสัญญาณ 615 nm

7. คำนวณความลึกเชิงแสงของโอโซน ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์และ ความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 500 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)

7.1 ทำการหาค่า  $\ln I_0$  ของความเข้มรังสีตรงตั้งฉากที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ของความยาวคลื่น 500 nm

7.2 คำนวณ  $\ln I_0$  และ ความลึกเชิงแสงรวมในบรรยากาศ ( $\tau'$ ) โดยการเขียนกราฟ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) และทำการปรับกราฟ สมการเส้นตรง (Linear fit) ตามสมการที่ (2-9)

$$\ln I = \ln I_0 - \tau' m$$

จะได้ความชัน (Slope) คือ ค่าความลึกเชิงแสงทั้งหมดในชั้นบรรยากาศก่อนการเปรียบเทียบ;  $\tau'$  และจุดตัด  $\ln I_0$

7.3 เนื่องจากที่ความยาวคลื่น 500 nm ได้รับผลกระทบทั้งการดูดกลืนไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน การกระเจิงของเรย์ลีและละอองลอย ตามลำดับ จากสมการที่ (2-15) จะได้ ความสัมพันธ์

$$\ln I_0 - \ln I = (\tau_R + \tau_a + \tau_{O_3} + \tau_{NO_2}) m + c_{500} \quad (3-7)$$

โดย

$$\tau = \tau_R + \tau_a + \tau_{O_3} + \tau_{NO_2}$$

7.4 แทนค่า  $\ln I_0$  ได้จากข้อ 7.2 และ  $\tau_{R500}$  ซึ่งเท่ากับ 0.1409 ในสมการที่(3-7) และสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ใหม่ดังนี้

$$(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m) 500 = \tau_a m + c_{500} \quad (3-8)$$

7.5 จาก  $\tau_{NO_2}$  และ  $\tau_{O_3}$  ของความยาวคลื่น 415 และ 615 nm นำไปหาปริมาณโอโซน และไนโตรเจนไดออกไซด์ที่คอลัมน์ ในสมการที่ (2-17) และ (2-18) ตามลำดับ โดยเขียนใหม่ได้ ตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$M = \frac{\tau_{NO_2}(415)}{\chi(415)} \quad (3-9)$$



เมื่อ  $\chi(415)$  คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ  $6.03 \times 10^{-19} \text{ cm}^2/\text{molecules}$

$$B = \frac{\tau_{O_3}(615)}{\varepsilon(615)} \quad (3-10)$$

เมื่อ  $\varepsilon(615)$  คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของโอโซน (Ozone absorption coefficient) ที่ความยาวคลื่น 615 nm มีค่าเท่ากับ  $4,303 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{molecules}$

7.6 นำปริมาณโอโซนและไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้งคอลัมน์ จากสมการที่ (3-9) และ (3-10) เพื่อคำนวณค่า  $\tau_{NO_2 500}$  และ  $\tau_{O_3 500}$  ตามลำดับ จากความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\tau_{NO_2 500} = \text{ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้งคอลัมน์} \times \chi(500) \quad (3-11)$$

$$\tau_{O_3 500} = \text{ปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์} \times \varepsilon(500) \quad (3-12)$$

เมื่อ  $\chi(500)$  และ  $\varepsilon(500)$  คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซน ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $1.02 \times 10^{-19}$  และ  $1197.8 \times 10^{-24} \text{ cm}^2/\text{molecules}$  ตามลำดับ

7.7 แทนค่า  $\tau_{NO_2 500}$  และ  $\tau_{O_3 500}$  ในสมการที่ (3-8) เพื่อหาความลึกเชิงแสงของละอองลอยของความยาวคลื่น 500 nm

7.8 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ทำการปรับกราฟสมการเส้นตรง ได้ ความชัน (Slope) คือ  $\tau_a$  และจุดตัดเป็น  $C_{500} = -\ln C_{500}$  ซึ่ง  $C$  เป็นค่าคงตัวของการปรับเทียบเครื่องมือที่ช่องสัญญาณ 500 nm

8. คำนวณความลึกเชิงแสงของโอโซน และความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 673 nm ของฤดูหนาว (มกราคม)

8.1 ทำการหาค่า  $\ln I$  ของความเข้มรังสีตรงตั้งฉากที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ของความยาวคลื่น 673 nm

8.2 คำนวณ  $\ln I_0$  และ ความลึกเชิงแสงทั้งหมดในบรรยากาศ ( $\tau'$ ) โดยการเขียนกราฟกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) และทำการปรับกราฟสมการเส้นตรง (Linear fit) ตามสมการที่ (2-9)

$$\ln I = \ln I_0 - \tau' m$$

จะได้ความชัน (Slope) คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศก่อนการปรับเทียบ ;  $\tau'$  และจุดตัด  $\ln I_0$

8.3 เนื่องจากที่ความยาวคลื่น 673 nm ได้รับผลกระทบเพียงจากการดูดกลืนของโอโซนการกระเจิงของเรย์ลีและละอองลอยเท่านั้น จากสมการที่ (2-15) จะได้ความสัมพันธ์

$$\ln I_0 - \ln I = (\tau_R + \tau_a + \tau_{O_3})m + c_{673} \quad (3-13)$$

โดย

$$\tau = \tau_R + \tau_a + \tau_{O_3}$$

8.4 แทนค่า  $\ln I_0$  ได้จากข้อ 8.2 และ  $\tau_{R673}$  ซึ่งเท่ากับ 0.0432 ในสมการที่ (3-13) และสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ใหม่ดังนี้

$$(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673} = \tau_a m + c_{673} \quad (3-14)$$

8.5 นำปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์ที่ได้จาก สมการ (3-10) เพื่อหา  $\tau_{O_3673}$  โดยแทนในสมการต่อไปนี้

$$\tau_{O_3673} = \text{ปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์} \times \epsilon(673) \quad (3-15)$$

เมื่อ  $\epsilon(673)$  คือสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของโอโซนมีค่าเท่ากับ  $1580.8 \times 10^{-24}$  cm<sup>2</sup>/molecules

8.6 แทน  $\tau_{O_3673}$  ในสมการที่ (3-14) เพื่อหาความลึกเชิงแสงของละอองลอยของ ความยาวคลื่น 673 nm

8.7 เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ทำการปรับกราฟสมการเส้นตรง ได้ ความชัน (Slope) คือ  $\tau_a$  และจุดตัดเป็น  $c_{673} = -\ln C_{673}$  ซึ่ง  $C$  เป็นค่าคงตัวของการปรับเทียบเครื่องมือที่ช่องสัญญาณ 673 nm

9. คำนวณสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient : $\beta$ ) และ อังสตรอมเอ็กโพเนนท์ (Angstrom Exponent : $\alpha$ ) ของเดือนมกราคมและตามสมการที่ (2-16)

$$\tau = \beta \lambda^{-\alpha}$$

เขียนใหม่ได้เป็น

$$\ln \tau_a = -\alpha \ln \lambda + \ln \beta \quad (2-16)$$

โดยการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln\tau_a$  และ  $\ln\lambda$  ทำการปรับกราฟสมการ  
เส้นตรงจะได้ความชันคือ  $\alpha$  และจุดตัด  $\ln\beta$

10. ดำเนินการในทำนองเดียวกันตั้งแต่ข้อ 1-9 ในฤดูร้อน (มีนาคม)
11. เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงแสงของละอองลอยในแต่ละวันของฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน (มีนาคม) กับความยาวคลื่น
12. ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ข้อมูลของฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน (มีนาคม) และทำการสรุปผลการวิจัยต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### ข้อมูลดิบที่ได้จากการวัด

จากการวิเคราะห์ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย ในบทนี้ได้แสดงข้อมูลในส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์และผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าว ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการวัดปริมาณการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ด้วยเครื่อง MFR-7 ที่ติดตั้ง ณ สถานีวิจัยชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ซึ่งเป็นสถานีวิจัยของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2546

ตัวอย่างข้อมูลบางส่วนที่ทำการวัดด้วยเครื่องมือดังกล่าวที่นำมาใช้ ในการวิเคราะห์ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย แสดงในตาราง 3 - 7

ตาราง 3 แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 415 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยที่ Air mass คือ มวลอากาศเชิงแสง Total คือ การแผ่รังสีรวม (Total radiation) Diffuse คือ การแผ่รังสีแบบแพร่ (Diffuse radiation) และ DirNorm คือ การแผ่รังสีตรง (Direct radiation)

Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 415 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
2.952649	0.3670	0.2420	0.4011
2.894656	0.3846	0.2410	0.4480
2.839196	0.3833	0.2410	0.4362
2.760262	0.4014	0.2400	0.4770
2.710329	0.4204	0.2510	0.4911
2.639220	0.4302	0.2440	0.5232
2.572244	0.4640	0.2670	0.5387
2.550749	0.4678	0.2781	0.5151
2.529734	0.4703	0.2710	0.5357
2.509061	0.4663	0.2680	0.5292

ตาราง 3 (ต่อ)

Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 415 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
2.488781	0.4868	0.2811	0.5435
2.468885	0.4956	0.2811	0.5610
2.430261	0.5119	0.2911	0.5680
2.392990	0.5059	0.2851	0.5598
2.357058	0.5314	0.2981	0.5816
2.339573	0.5304	0.2971	0.5770
2.305524	0.5374	0.2931	0.5948
2.272651	0.5633	0.3212	0.5813
-	-	-	-
-	-	-	-
1.426767	1.1216	0.4695	0.958
1.430454	1.1016	0.4425	0.9703
1.434159	1.1199	0.4625	0.9705
1.437945	1.1021	0.4485	0.9675
1.441772	1.1214	0.4665	0.9718
1.445640	1.0878	0.4515	0.9475
1.449571	1.0848	0.4425	0.9587
1.453545	1.0853	0.4405	0.965
1.457582	1.0795	0.4495	0.9457
1.461664	1.0843	0.4525	0.951
1.465811	1.0540	0.4435	0.9226
1.470003	1.0515	0.4495	0.9124
1.474263	1.0389	0.4274	0.9289
1.482944	1.0652	0.4455	0.9467
1.487367	1.0718	0.4565	0.9427
1.491861	1.0479	0.4234	0.9592
1.496404	1.0362	0.4334	0.9297
1.501020	1.0121	0.4294	0.9021

ตาราง 4 แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 500 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยที่ Air mass คือ มวลอากาศเชิงแสง Total คือ การแผ่รังสีรวม (Total radiation) Diffuse คือ การแผ่รังสีแบบแพร่ (Diffuse radiation) และ DirNorm คือ การแผ่รังสีตรง (Direct radiation)

Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 500 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
2.952649	0.4662	0.2039	0.7934
2.894656	0.4792	0.2133	0.7894
2.839196	0.4950	0.2147	0.8152
2.760262	0.5094	0.2160	0.8287
2.710329	0.5265	0.2240	0.8384
2.63922	0.5594	0.2321	0.8823
2.572244	0.5718	0.2267	0.9058
2.550749	0.5798	0.2348	0.8984
2.529734	0.5852	0.2401	0.8910
2.509061	0.5839	0.2361	0.8904
2.488781	0.5946	0.2375	0.9068
2.468885	0.6067	0.2442	0.9128
2.430261	0.6164	0.2482	0.9128
2.39299	0.6221	0.2549	0.8961
2.357058	0.6412	0.2535	0.9309
2.339573	0.6415	0.2589	0.9125
2.305524	0.6446	0.2535	0.9189
2.272651	0.6677	0.2576	0.9494
-	-	-	-
-	-	-	-
1.426767	1.2458	0.3595	1.2757
1.430454	1.2492	0.3542	1.2911
1.434159	1.2465	0.3595	1.2830
1.437945	1.2478	0.3609	1.2860

ตาราง 4 (ต่อ)

Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 500 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
1.441772	1.2425	0.3542	1.2921
1.445640	1.2384	0.3542	1.2894
1.449571	1.2334	0.3448	1.2995
1.453545	1.2277	0.3515	1.2847
1.457582	1.2163	0.3461	1.2793
1.461664	1.2072	0.3515	1.2619
1.465811	1.2079	0.3635	1.2485
1.470003	1.1911	0.3528	1.2435
1.474263	1.1895	0.3488	1.2505
1.482944	1.2002	0.3501	1.2716
1.487367	1.2029	0.3542	1.2733
1.491861	1.1985	0.3448	1.2847
1.496404	1.1848	0.3555	1.2522
1.501020	1.1761	0.3528	1.2468

ตาราง 5 แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 615 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยที่ Air mass คือ มวลอากาศเชิงแสง คือ การแผ่รังสีรวม (Total radiation) Diffuse คือ การแผ่รังสีแบบแพร่ (Diffuse radiation) และ DirNorm คือ การแผ่รังสีตรง (Direct radiation)

Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 615 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
2.952649	0.4347	0.1258	0.9254
2.894656	0.4444	0.1269	0.9322
2.839196	0.4593	0.1312	0.9449
2.760262	0.4747	0.1312	0.9606
2.710329	0.4866	0.1355	0.9644
2.63922	0.5072	0.1323	1.0015
2.572244	0.5240	0.1366	1.0080
2.550749	0.5313	0.1410	1.0077
2.529734	0.5359	0.1431	1.0050
2.509061	0.5394	0.1431	1.0058
2.488781	0.5494	0.1453	1.0172
2.468885	0.5575	0.1464	1.0266
2.430261	0.5667	0.1529	1.0169
2.39299	0.5719	0.1539	1.0112
2.357058	0.5892	0.1583	1.0266
2.339573	0.5930	0.1604	1.0226
2.305524	0.5944	0.1583	1.0158
2.272651	0.6174	0.1626	1.0442
-	-	-	-
-	-	-	-
1.426767	1.1200	0.2211	1.2862
1.430454	1.1187	0.2157	1.2952
1.434159	1.1249	0.2189	1.3033
1.437945	1.1219	0.2189	1.3022



ตาราง 5 (ต่อ)

Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 615 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
1.441772	1.1184	0.2167	1.3036
1.44564	1.1157	0.2081	1.3157
1.449571	1.1108	0.2146	1.3027
1.453545	1.1054	0.2124	1.3019
1.457582	1.0976	0.2135	1.2922
1.461664	1.0892	0.2135	1.2835
1.465811	1.0824	0.2167	1.2727
1.470003	1.0754	0.2178	1.2640
1.474263	1.0756	0.2167	1.2697
1.482944	1.0821	0.2157	1.2887
1.487367	1.0819	0.2178	1.2889
1.491861	1.0832	0.2178	1.2946
1.496404	1.0659	0.2135	1.2792
1.50102	1.0586	0.2189	1.2640

ตาราง 6 แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 673 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยที่ Air mass คือ มวลอากาศเชิงแสง Total คือ การแผ่รังสีรวม (Total radiation) Diffuse คือ การแผ่รังสีแบบแพร่ (Diffuse radiation) และ DirNorm คือ การแผ่รังสีตรง (Direct radiation)

Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 670 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
2.952649	0.4096	0.1001	0.9344
2.894656	0.4162	0.1007	0.9337
2.839196	0.4304	0.1034	0.9485
2.760262	0.4417	0.1034	0.9534
2.710329	0.4521	0.1067	0.9555
2.639220	0.4747	0.1067	0.9903
2.572244	0.4874	0.1067	0.9979
2.550749	0.4933	0.1111	0.9935
2.529734	0.4962	0.1111	0.9926
2.509061	0.5007	0.1144	0.9877
2.488781	0.5055	0.1133	0.9944
2.468885	0.5145	0.1144	1.0060
2.430261	0.5252	0.1226	0.9961
2.392990	0.5286	0.1215	0.9918
2.357058	0.5438	0.1270	1.0000
2.339573	0.5450	0.1264	0.9966
2.305524	0.5492	0.1259	0.993
2.272651	0.5644	0.1248	1.0161
-	-	-	-
-	-	-	-
1.426767	1.0034	0.1702	1.1992
1.430454	1.0026	0.1664	1.2066
1.434159	1.0071	0.1719	1.2084
1.437945	1.0053	0.1686	1.2136

ตาราง 6 (ต่อ)

Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 670 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
1.441772	0.9998	0.1664	1.2121
1.445640	0.9983	0.1648	1.2155
1.449571	0.9918	0.1642	1.2101
1.453545	0.9892	0.1664	1.2064
1.457582	0.9818	0.1631	1.2038
1.461664	0.9768	0.1669	1.1944
1.465811	0.9699	0.1637	1.1922
1.470003	0.9651	0.1664	1.1846
1.474263	0.9637	0.1675	1.1842
1.482944	0.9699	0.1691	1.1979
1.487367	0.9703	0.1686	1.2029
1.491861	0.9697	0.1669	1.2081
1.496404	0.9571	0.1675	1.1921

ตาราง 7 แสดงตัวอย่างข้อมูลของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่น 870 nm ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยที่ Air mass คือ มวลอากาศเชิงแสง Total คือ การแผ่รังสีรวม (Total radiation) Diffuse คือ การแผ่รังสีแบบแพร่ (Diffuse radiation) และ DirNorm คือ การแผ่รังสีตรง (Direct radiation)

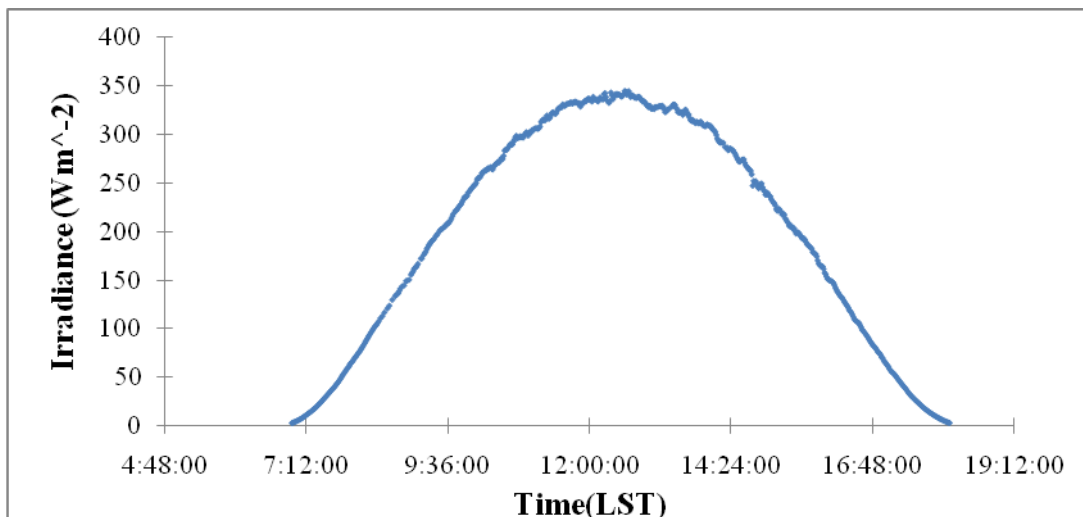
Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 870 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
2.952649	0.3010	0.0473	0.7584
2.894656	0.3067	0.0477	0.7588
2.839196	0.3149	0.0482	0.7662
2.760262	0.3249	0.0499	0.7676
2.710329	0.3312	0.0499	0.7710
2.639220	0.3456	0.0503	0.7879
2.572244	0.3546	0.0511	0.7883
2.550749	0.3570	0.0511	0.7880
2.529734	0.3598	0.0524	0.7851
2.509061	0.3634	0.0532	0.7856
2.488781	0.3678	0.0520	0.7935
2.468885	0.3728	0.0537	0.7952
2.430261	0.3799	0.0575	0.7906
2.392990	0.3830	0.0571	0.7868
2.357058	0.3919	0.0588	0.7920
2.339573	0.3941	0.0596	0.7893
2.305524	0.3971	0.0571	0.7905
2.272651	0.4082	0.0579	0.8025
-	-	-	-
-	-	-	-
1.426767	0.6970	0.0808	0.8804
1.430454	0.6973	0.0808	0.8830
1.434159	0.6970	0.0813	0.8844
1.437945	0.6953	0.0808	0.8849

ตาราง 7 (ต่อ)

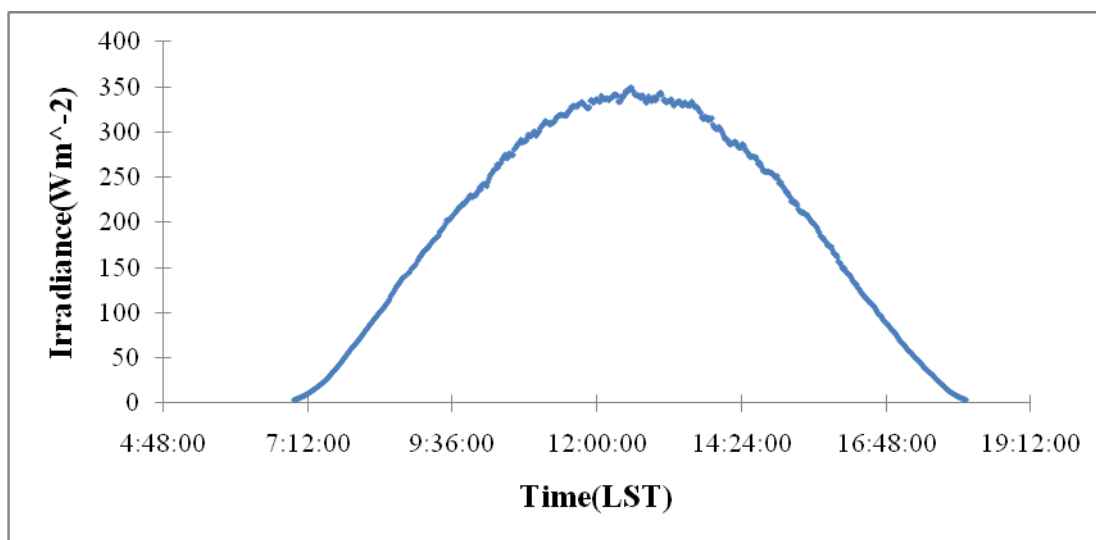
Air mass	ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ ช่วงความยาวคลื่น 870 nm		
	Total	Diffuse	DirNorm
1.441772	0.6948	0.0813	0.8858
1.445640	0.6926	0.0791	0.8880
1.449571	0.6908	0.0813	0.8847
1.453545	0.6866	0.0791	0.8843
1.457582	0.6834	0.0796	0.8813
1.461664	0.6794	0.0787	0.8793
1.465811	0.6773	0.0808	0.8755
1.470003	0.6727	0.0800	0.8725
1.474263	0.6715	0.0796	0.8739
1.482944	0.6747	0.0808	0.8818
1.487367	0.6740	0.0825	0.8810
1.491861	0.6733	0.0808	0.8849
1.496404	0.6670	0.0804	0.8790

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

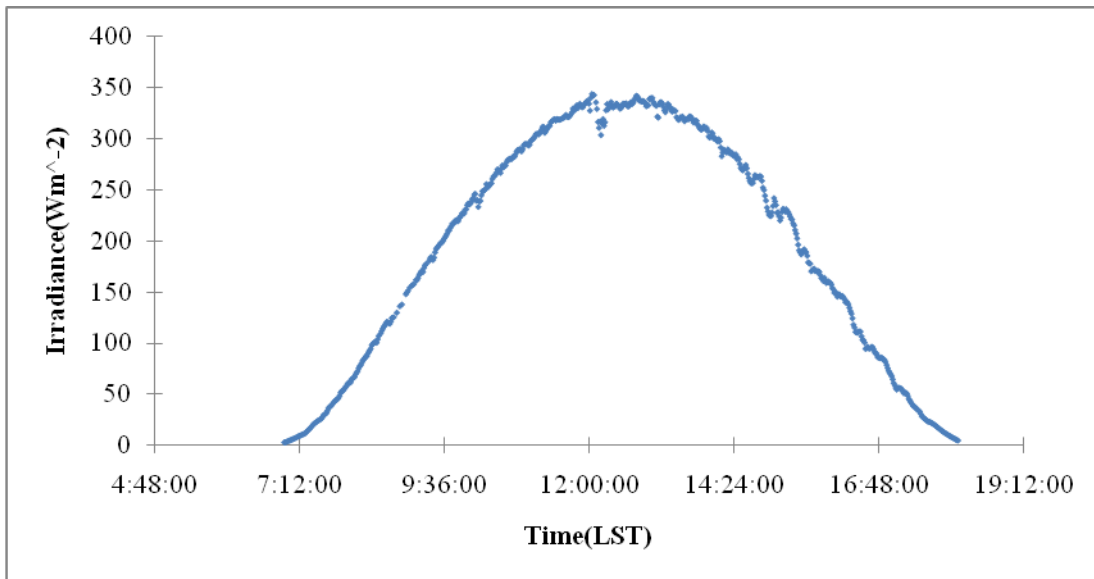
1. ผลการเลือกข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง ผลการพิจารณาข้อมูลที่เก็บได้จากเครื่องมือ MFR-7 ของฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน (มีนาคม) พ.ศ.2546 ที่นำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลาที่ความยาวคลื่นจาก 415 ถึง 980 nm กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ ทำให้สามารถเลือกข้อมูลของวันที่ท้องฟ้าค่อนข้างโปร่ง โดยเลือกวันจากกราฟที่ค่อนข้างเรียบ 5 วันของทั้งสองฤดู ซึ่งข้อมูลที่ได้เลือกเป็นข้อมูลวันที่ 22, 23, 24, 26 และ 27 มกราคม พ.ศ. 2546 และวันที่ 3-7 มีนาคม พ.ศ. 2546 ดังแสดงในภาพประกอบ 6 - 15



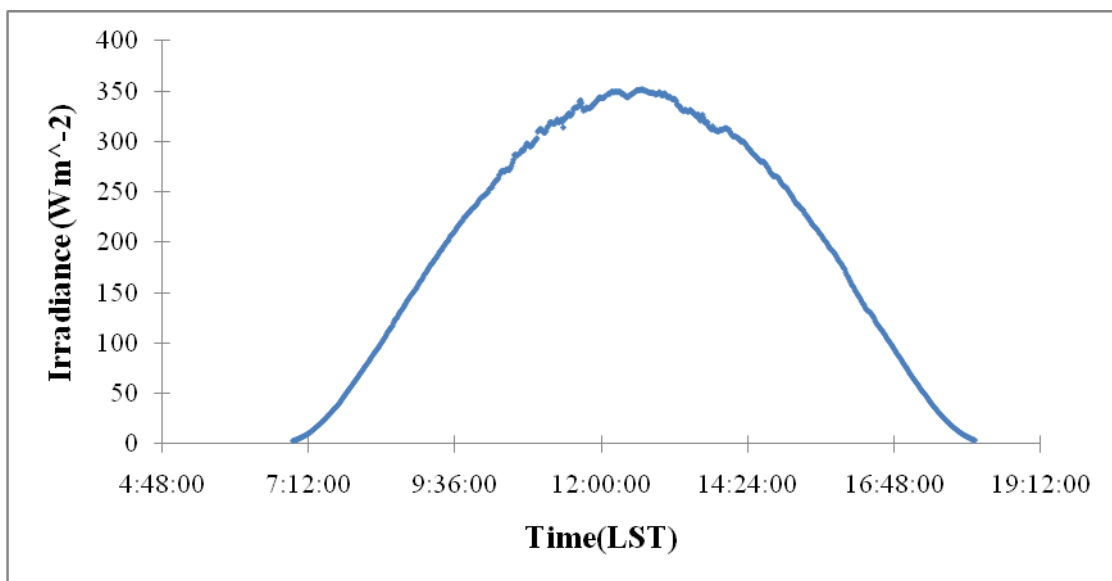
ภาพประกอบ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 22  
เมษายน พ.ศ. 2546



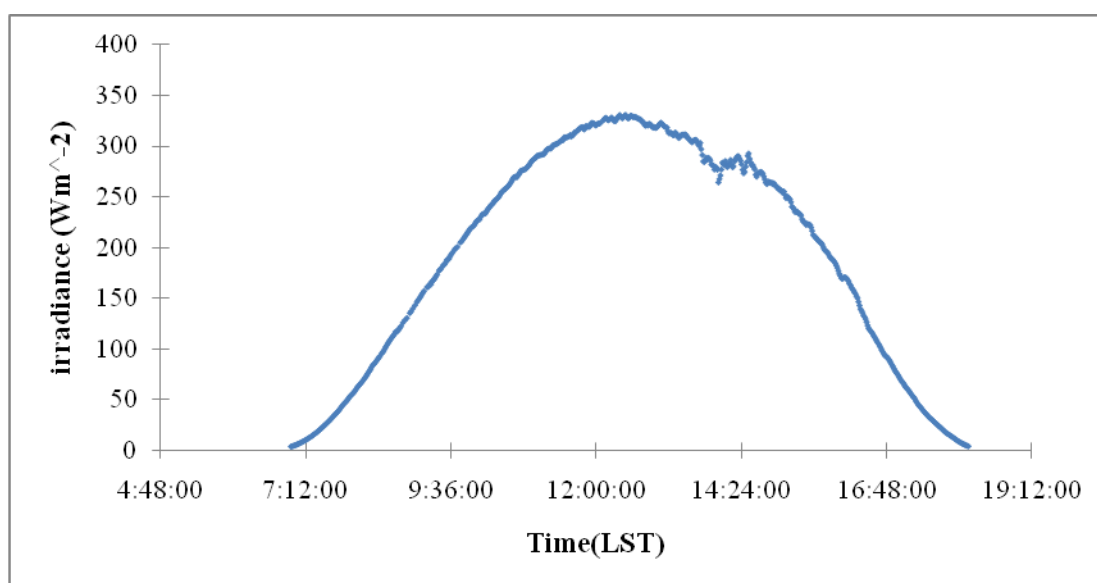
ภาพประกอบ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 23 มกราคม  
พ.ศ. 2546



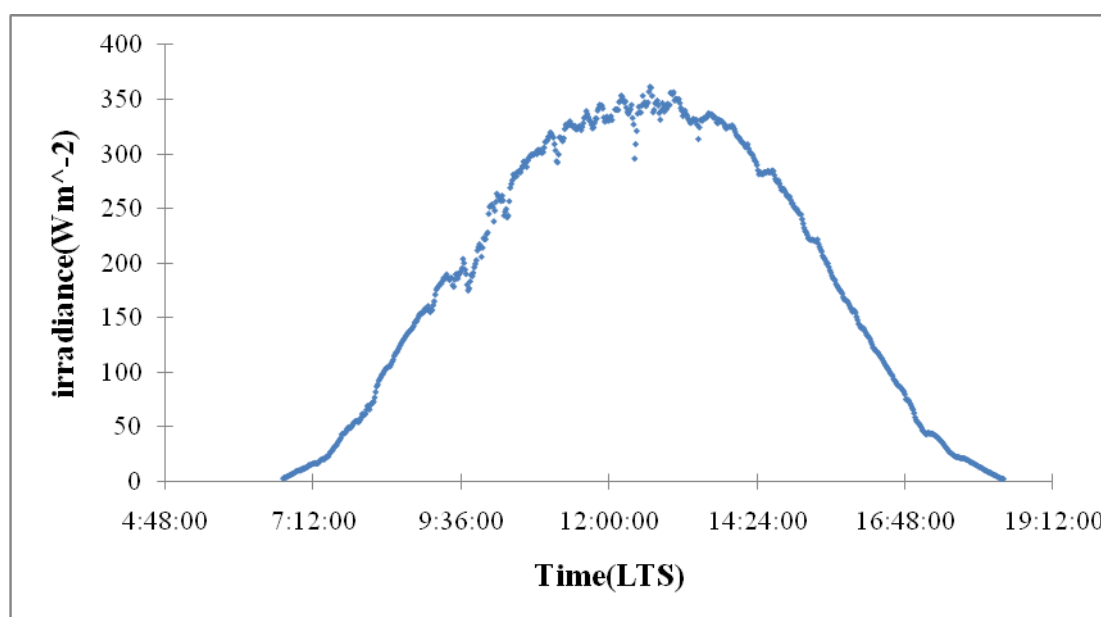
ภาพประกอบ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546

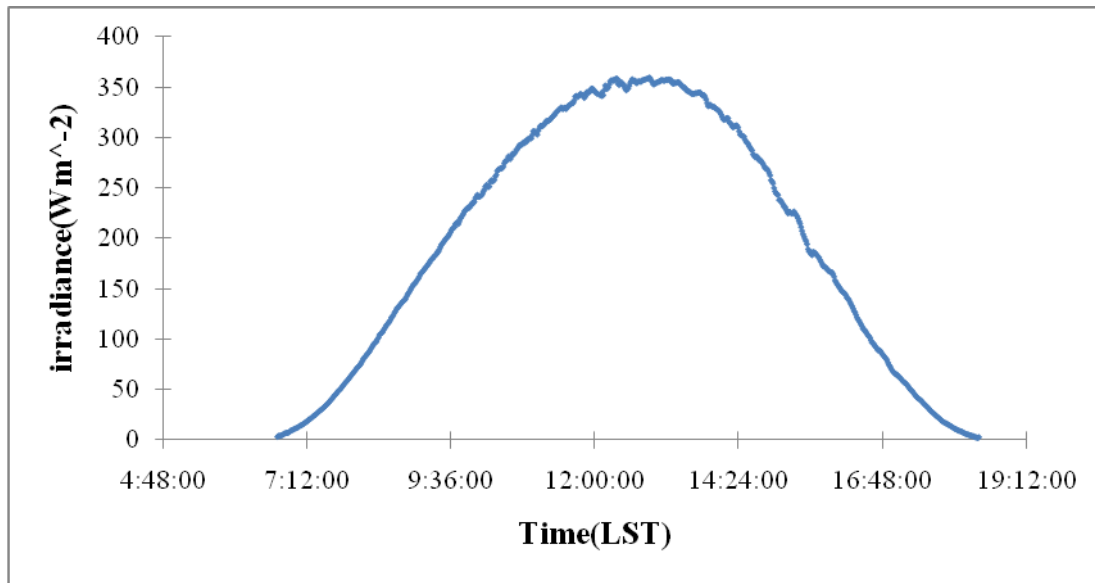


ภาพประกอบ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546

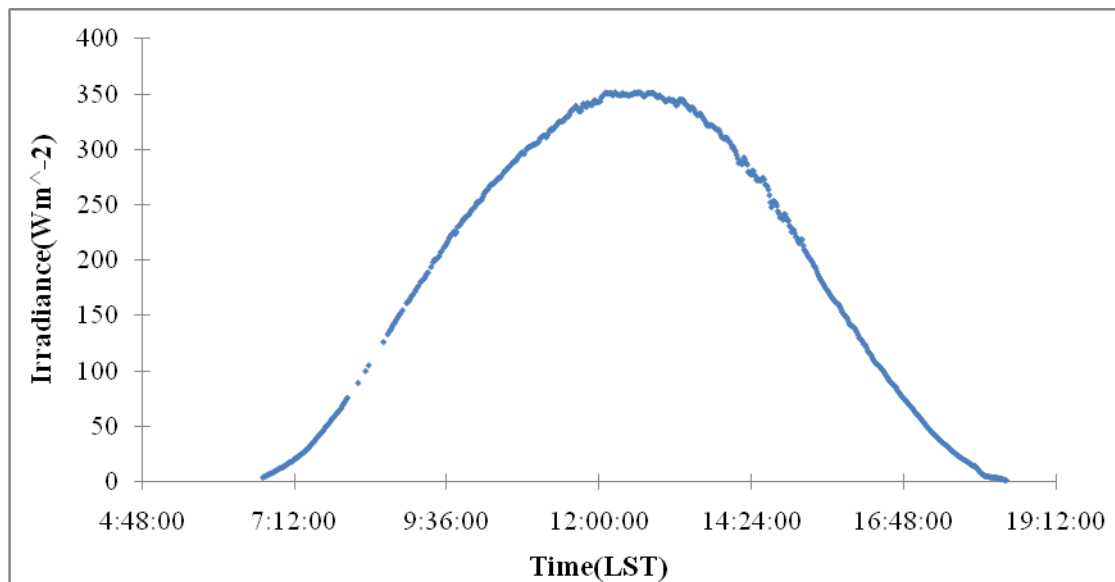


ภาพประกอบ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546

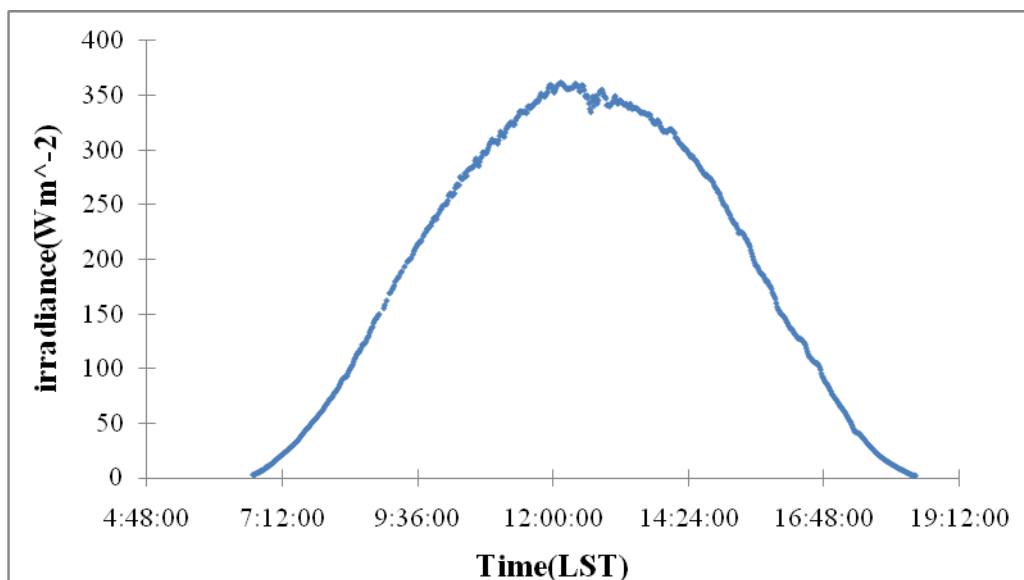




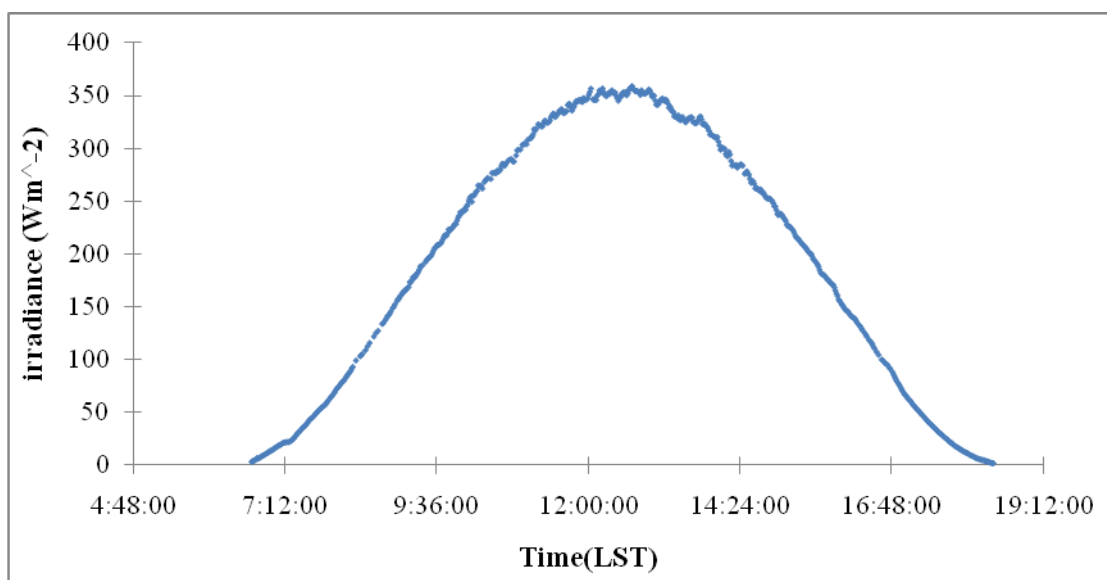
ภาพประกอบ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546



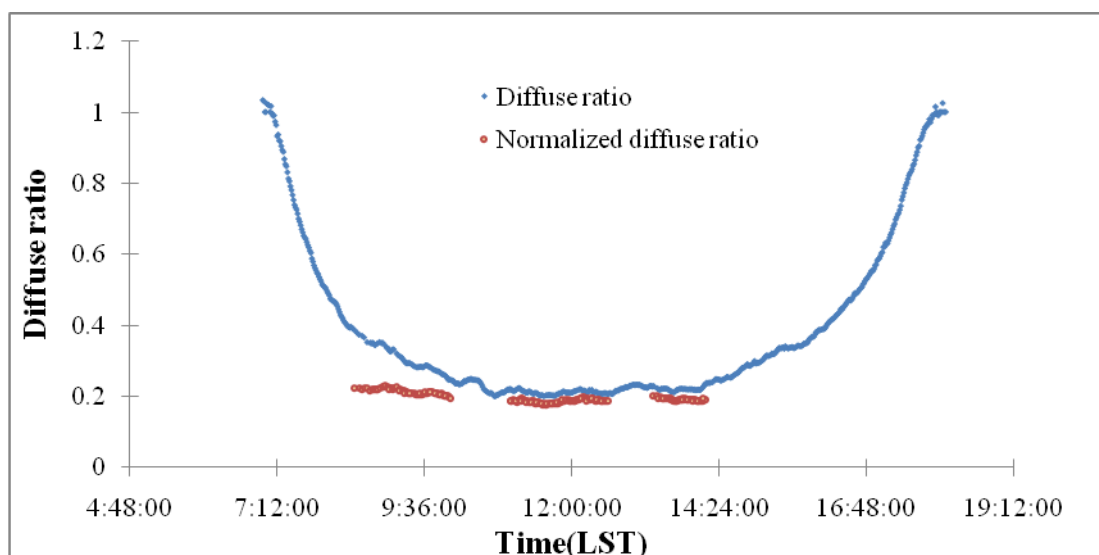
ภาพประกอบ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546



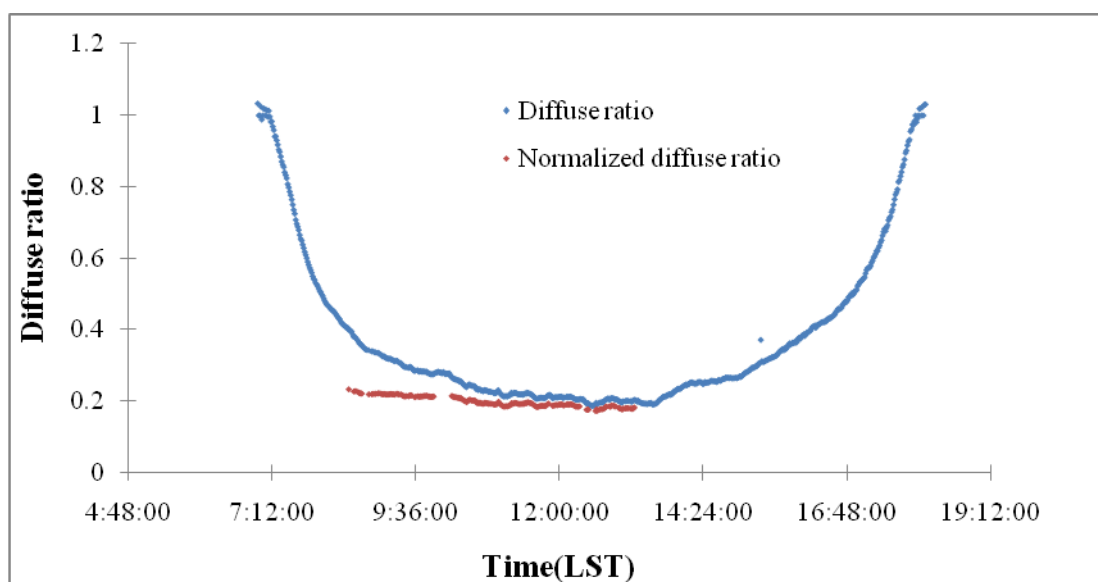
ภาพประกอบ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมกับเวลา ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

2. ผลการนำข้อมูลของวันที่ 22-24, 26-27 มกราคม พ.ศ. 2546 และวันที่ 3-7 มีนาคม พ.ศ. 2546 มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่ (Diffuse ratio) กับเวลา (Time) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติ (Normalized diffuse ratio) กับเวลา (Time) ดังแสดงใน

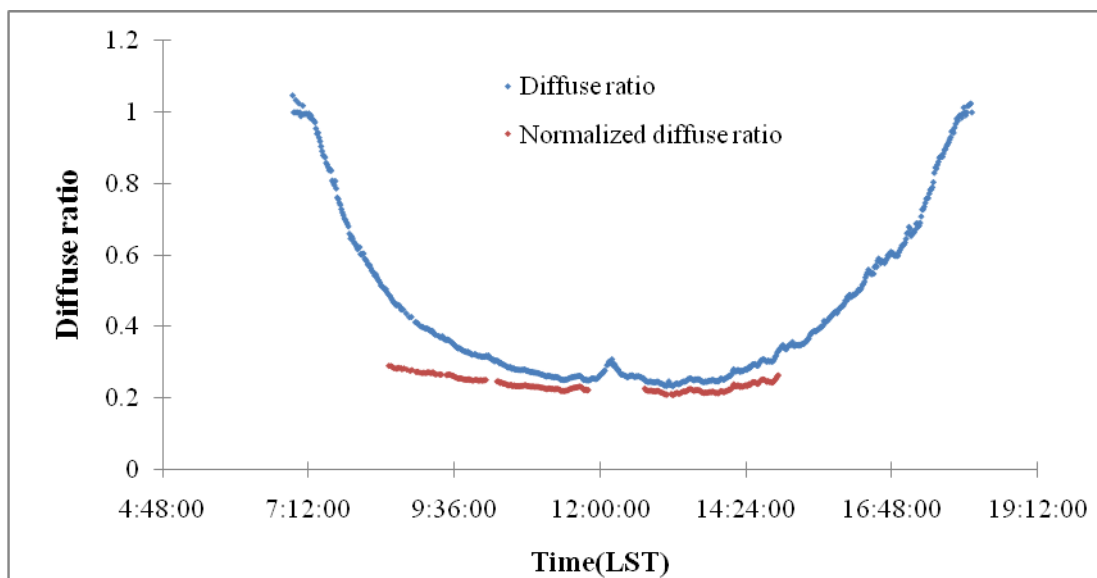
ภาพประกอบ 16- 25 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟแสดงอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ก่อนข้างเป็นแนวเส้นเดียวกันตลอด แต่จะมีข้อมูลบางส่วนที่ถูกตัดออกไป คือ ส่วนที่ไม่อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน เนื่องจากมีเมฆบดบังฟ้ามาบดบังเล็กน้อย



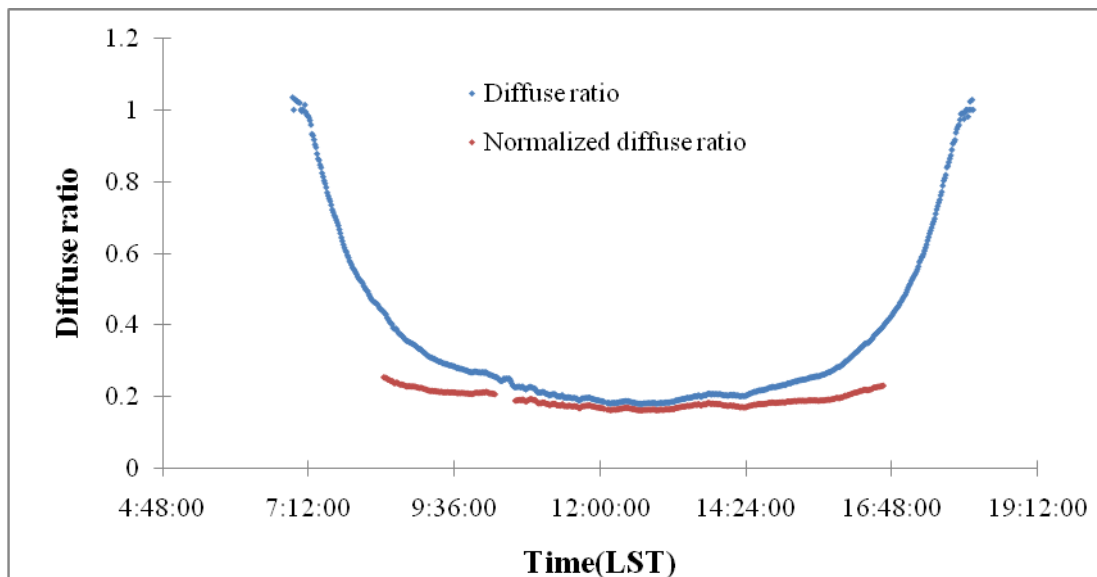
ภาพประกอบ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่ กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546



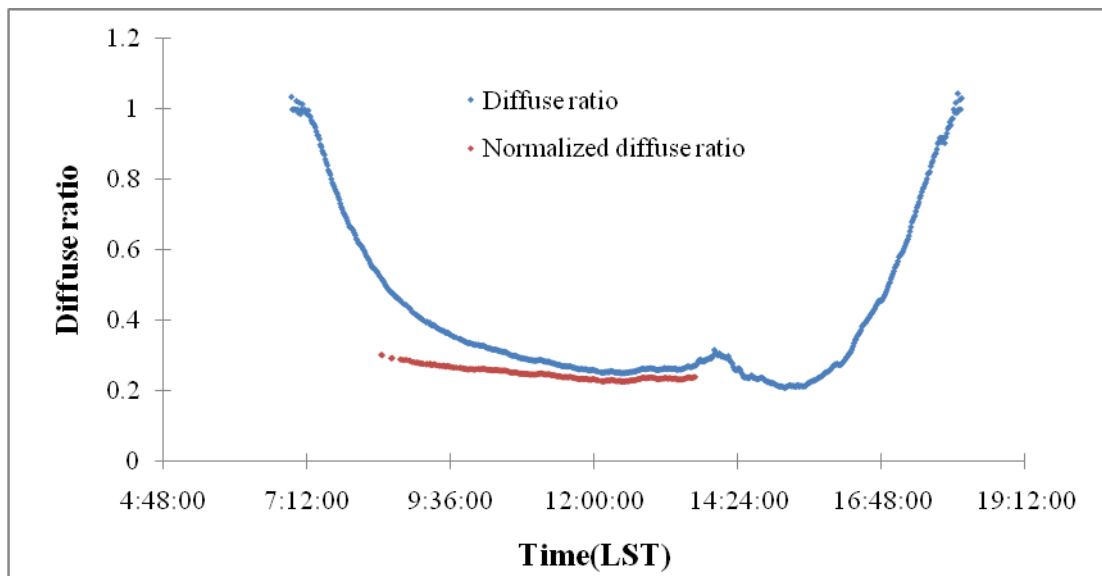
ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546



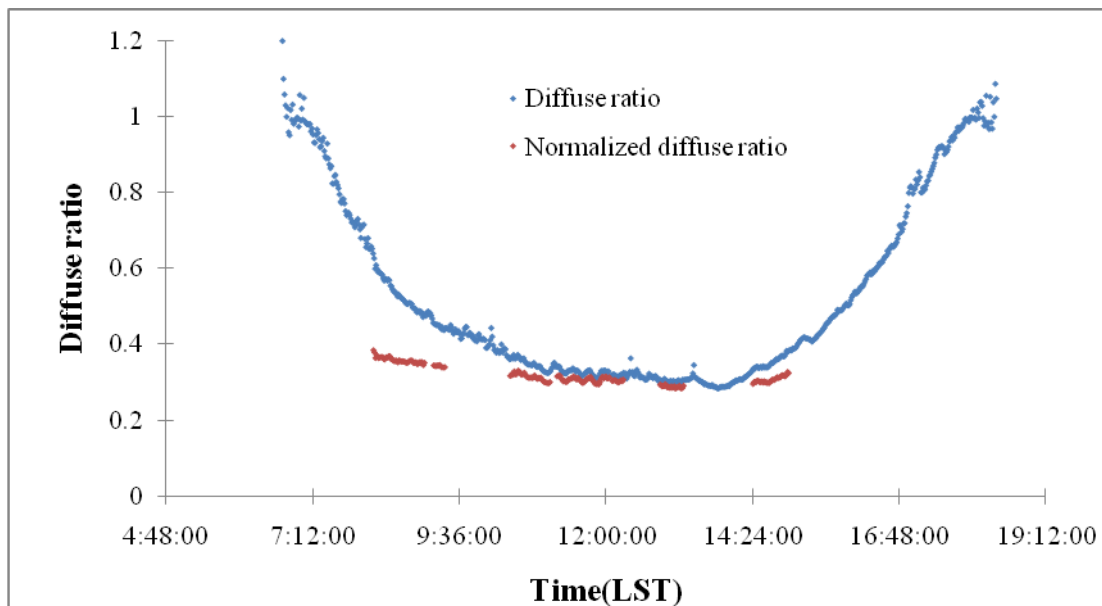
ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



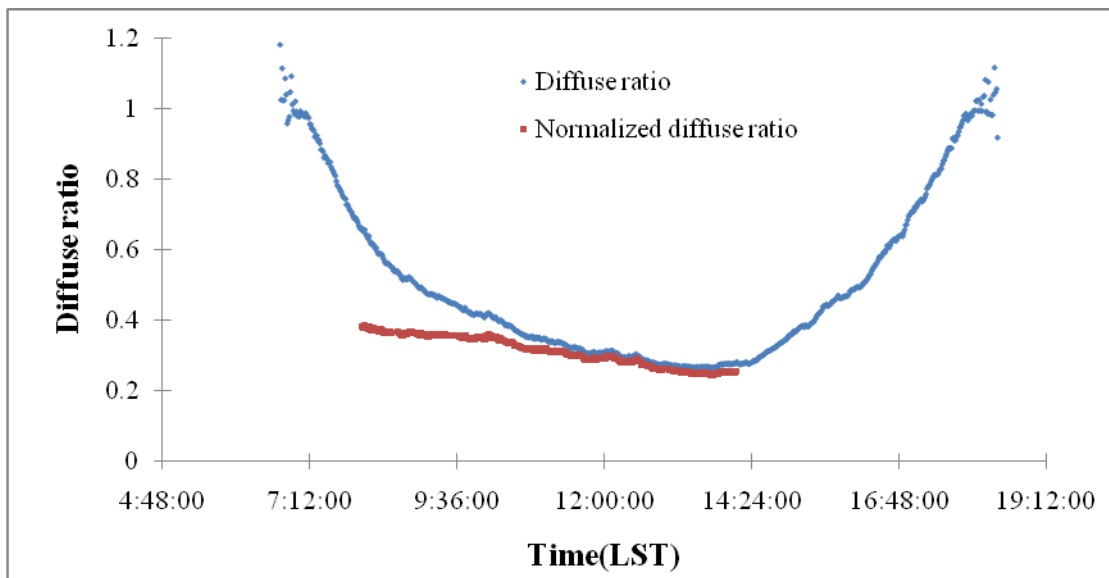
ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



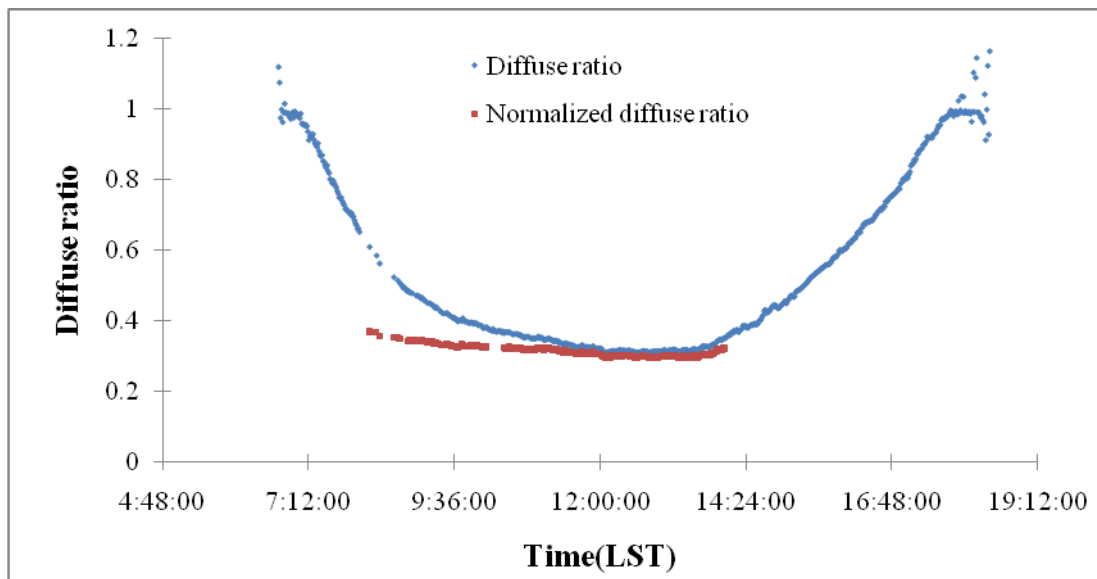
ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546



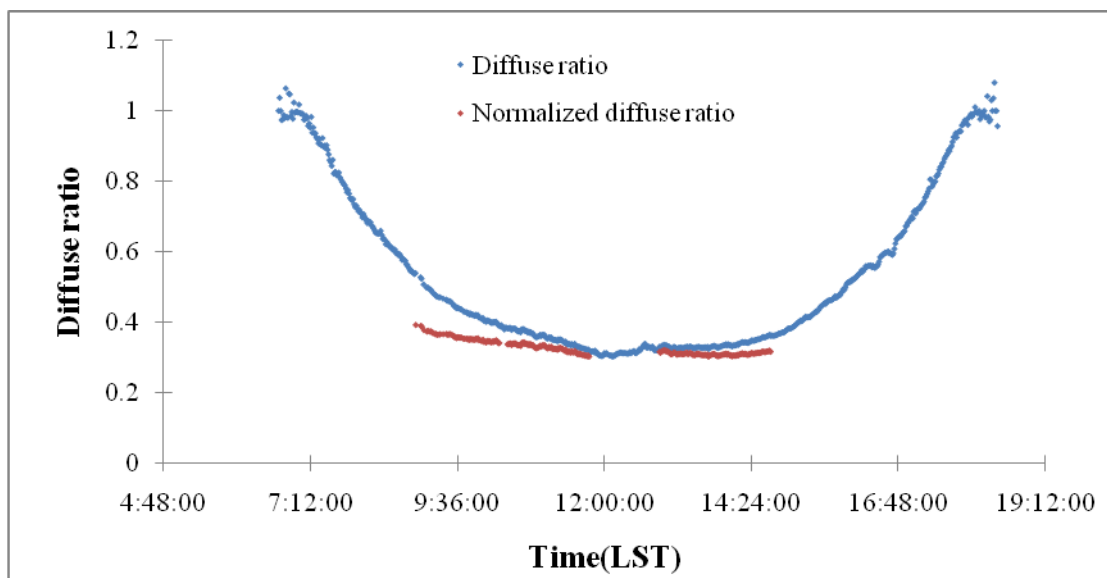
ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546



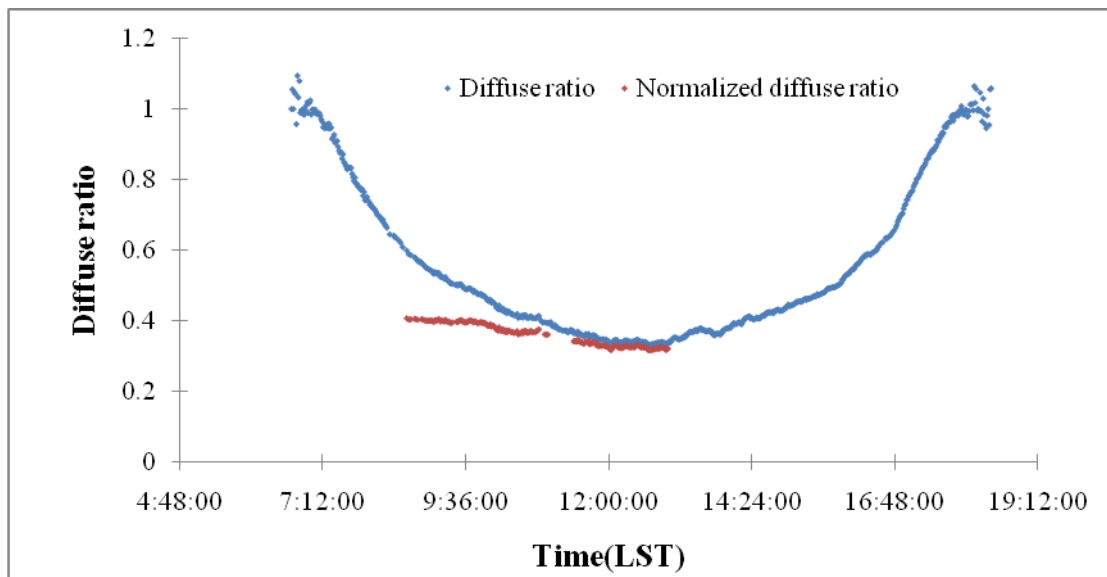
ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

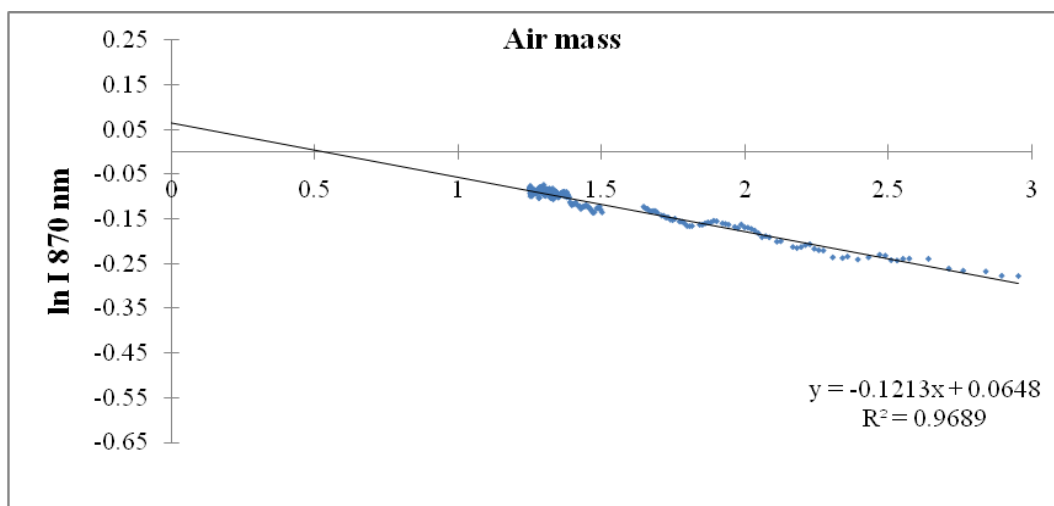


ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่ กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546

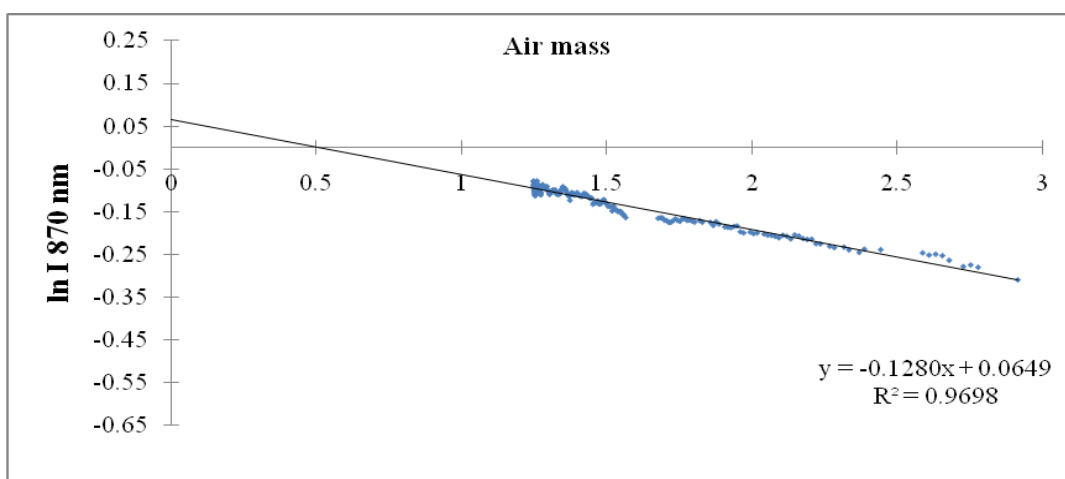


ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนรังสีแบบแพร่กับเวลา (เส้นสีน้ำเงิน) และอัตราส่วนรังสีแบบแพร่เชิงปกติกับเวลา (เส้นสีแดง) ที่ตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆออก ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

3. ผลการดำเนินการตามหัวข้อความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ของฤดูหนาว เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึกรวมชาติของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) และทำการปรับกราฟสมการเส้นตรงจะได้ความชัน (Slope) คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศก่อนการเปรียบเทียบ;  $\tau'$  และจุดตัดคือ  $\ln I_0$  ดังแสดงในภาพประกอบ 26- 35

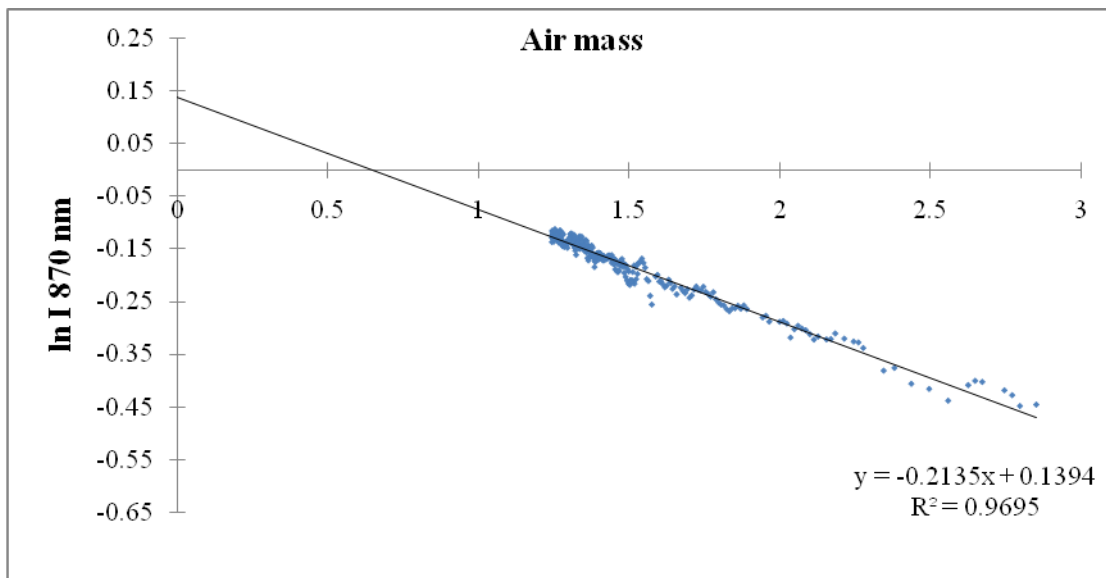


ภาพประกอบ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึกรวมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.1213  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.0648 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9689$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546

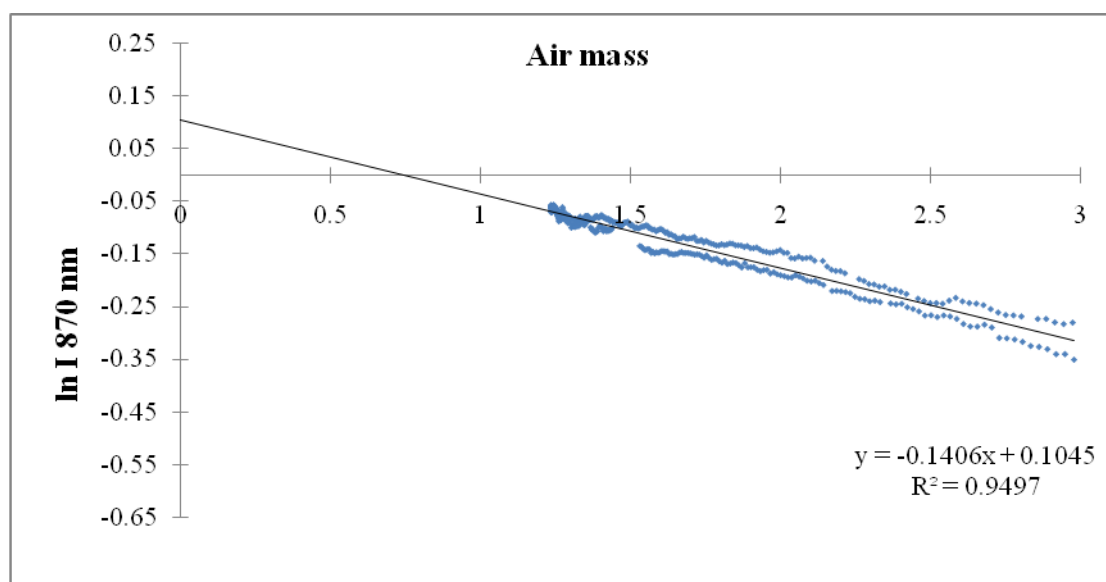


ภาพประกอบ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึกรวมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.1280  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.0649 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9698$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546

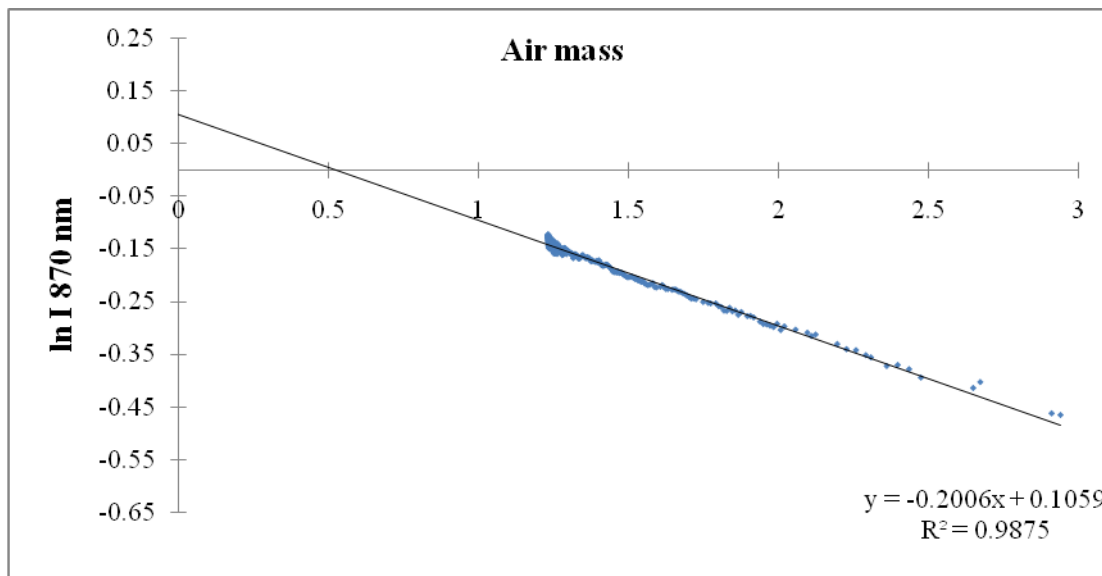




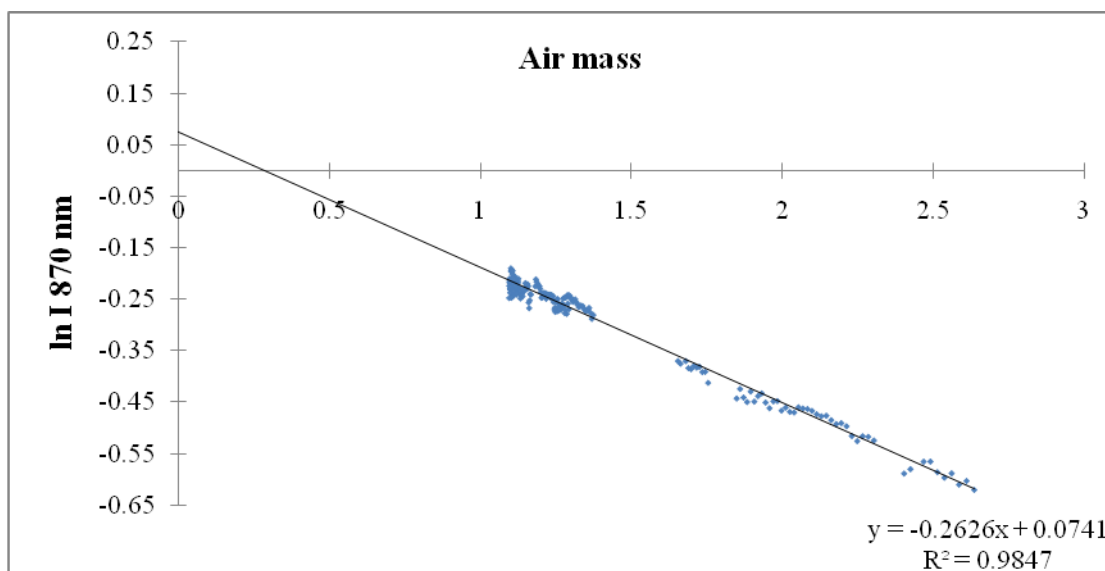
ภาพประกอบ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2135  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.1394 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9695$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



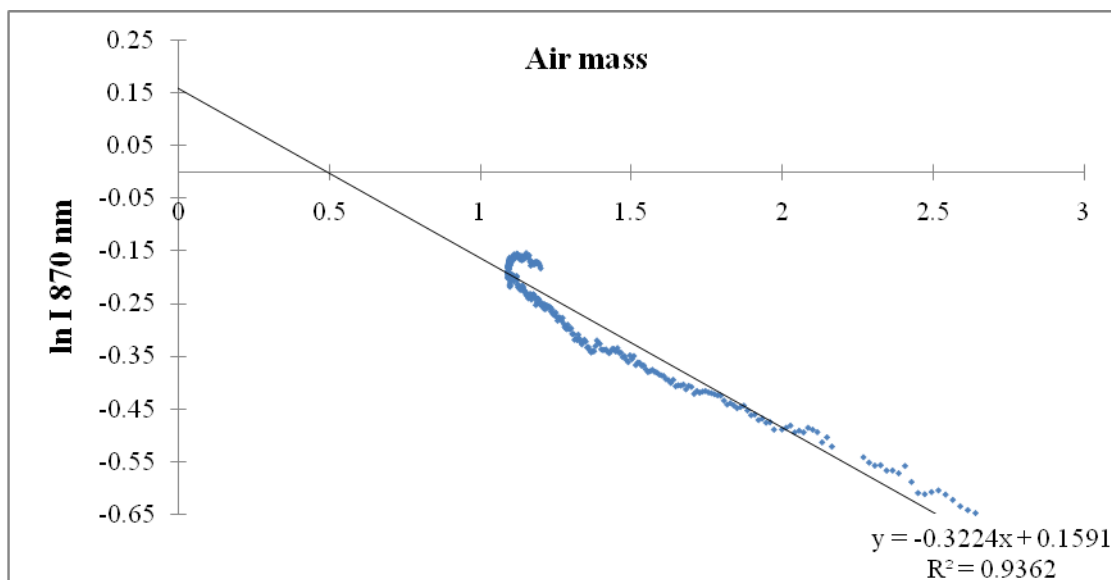
ภาพประกอบ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.1406  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.1045 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9497$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



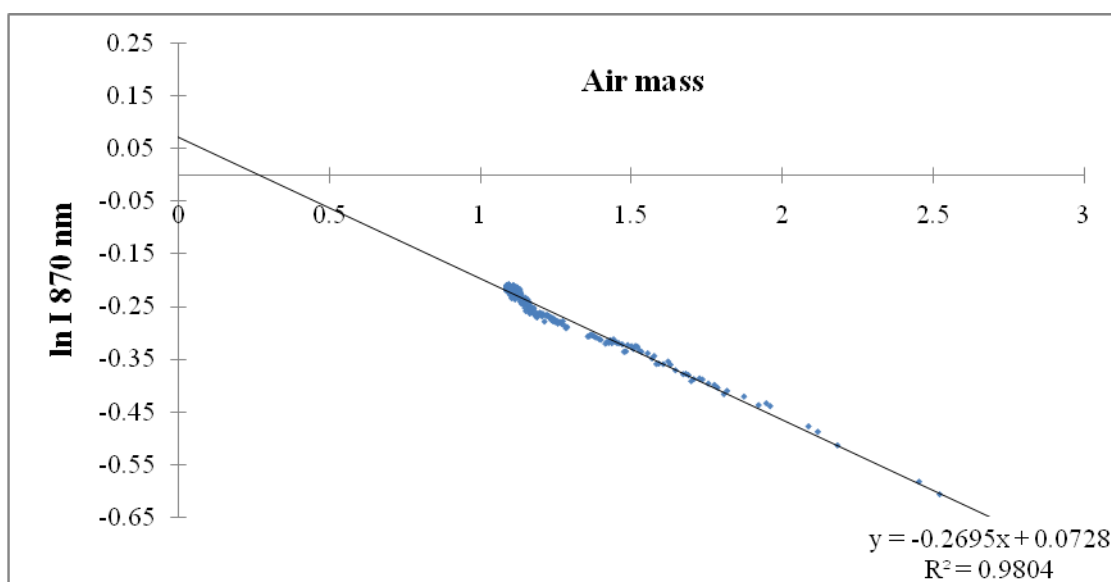
ภาพประกอบ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.2006 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.1059$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9875$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546



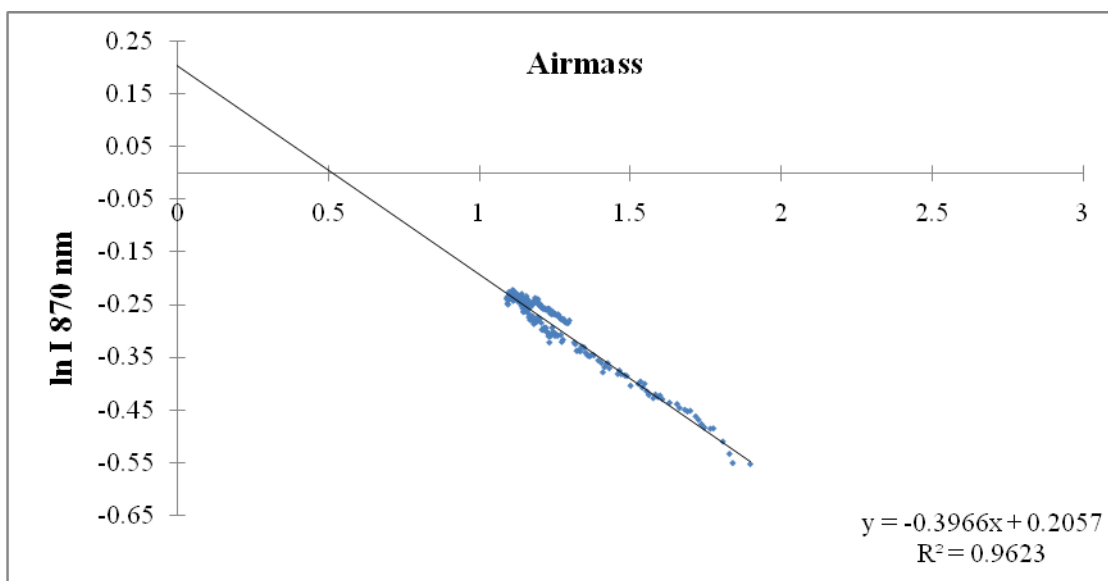
ภาพประกอบ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.2626 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.0741$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9847$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546



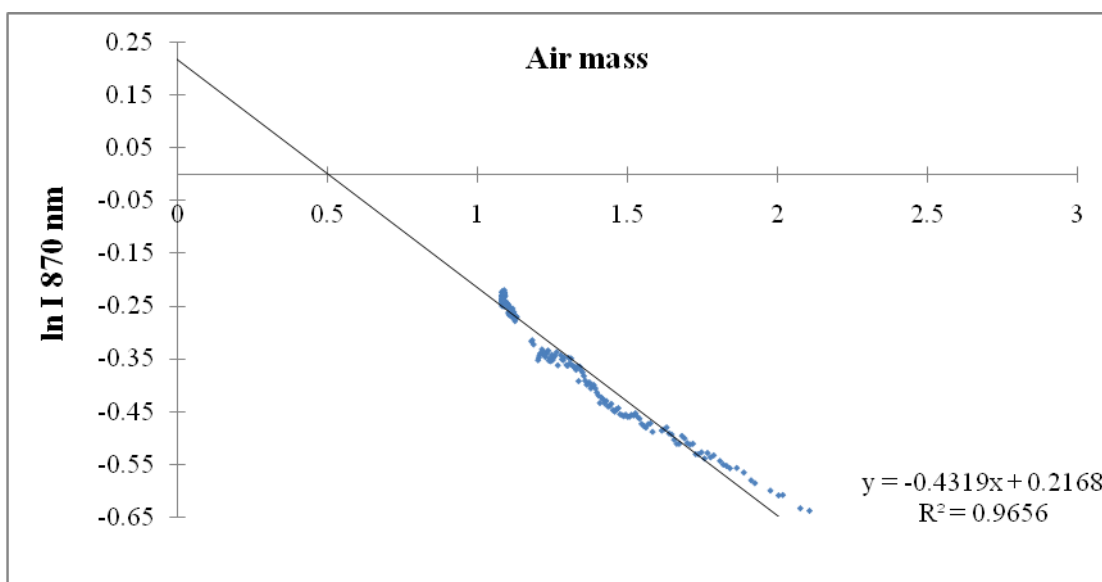
ภาพประกอบ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.3224  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.1591 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9362$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2695  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.0728 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9804$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

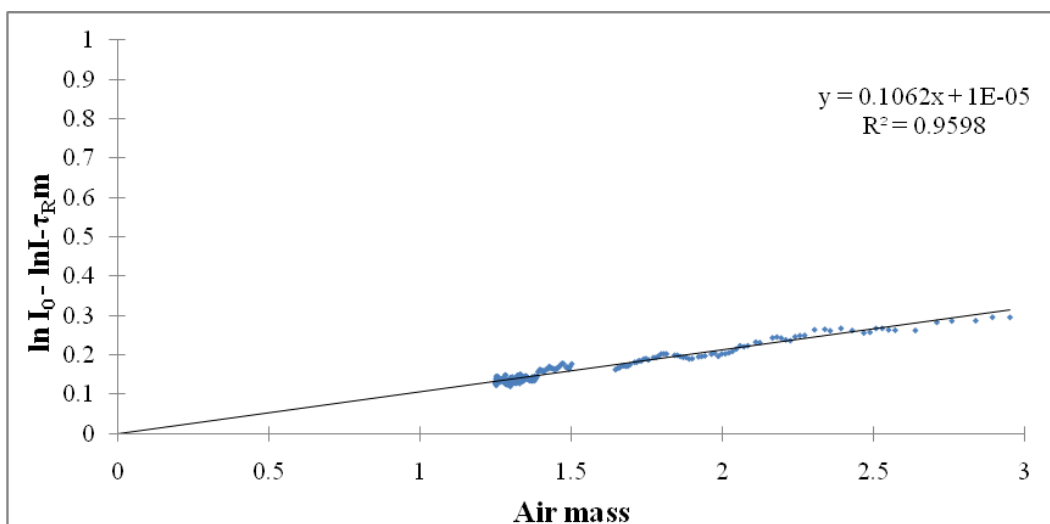


ภาพประกอบ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.3966 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.2057$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9623$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546

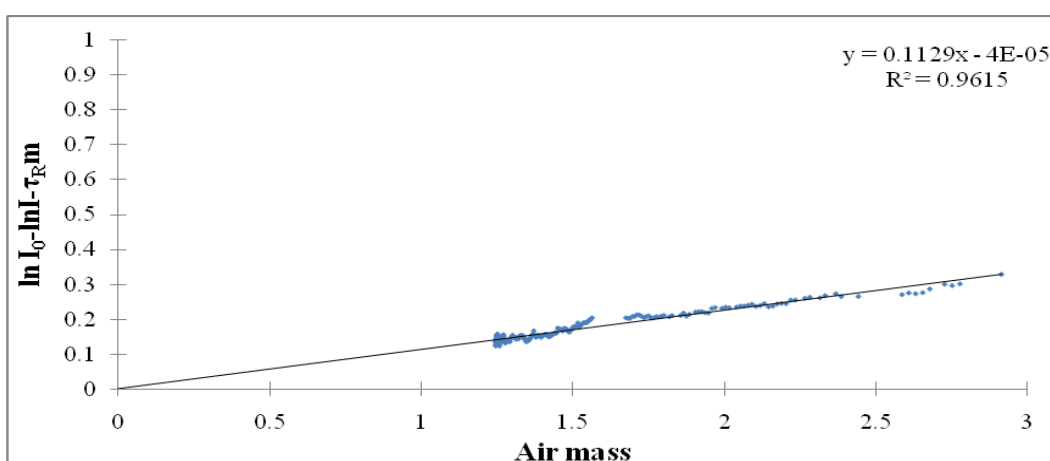


ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.4319 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.2168$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9656$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

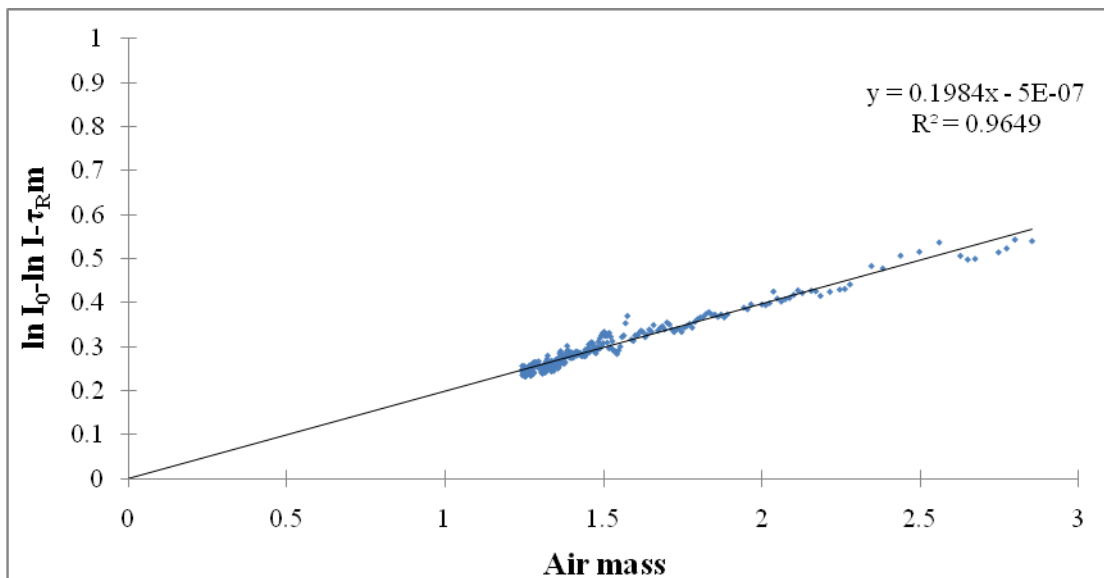
4. ผลการหาความลึกเชิงแสงของละอองลอย และค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือ จาก ข้อมูลของเครื่อง MFR-7 ข้อความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ของฤดูหนาว โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการ (3-2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol optical depth: AOD) และจุดตัดคือ  $c_{870} = -\ln C_{870}$  ซึ่ง C เป็นค่าคงตัวของเครื่องปรับเทียบเครื่องมือ ที่ช่องสัญญาณ 870 nm ดังภาพประกอบ 36 – 45



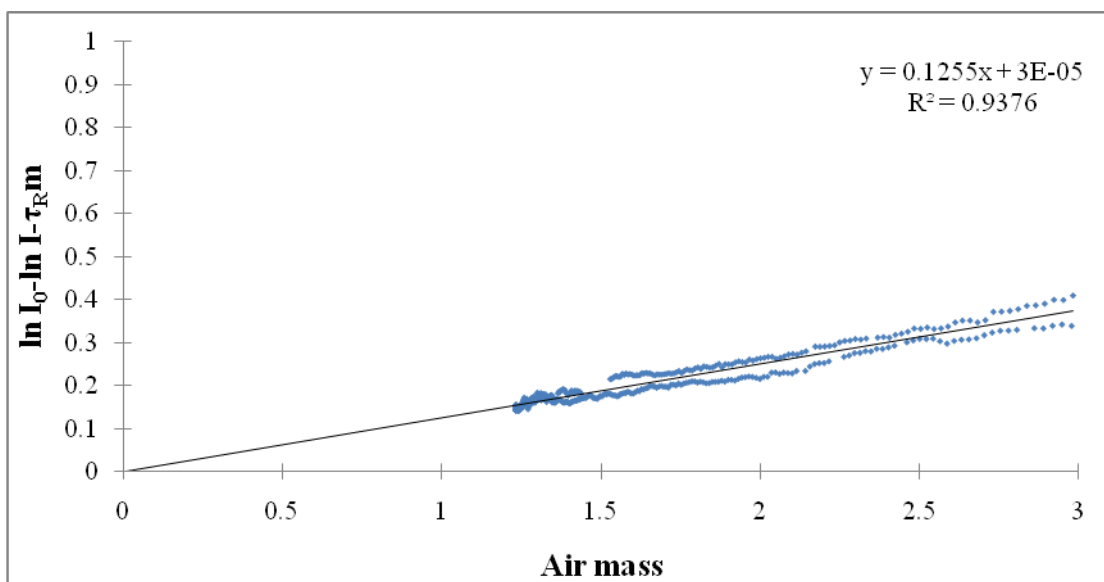
ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.1062 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546



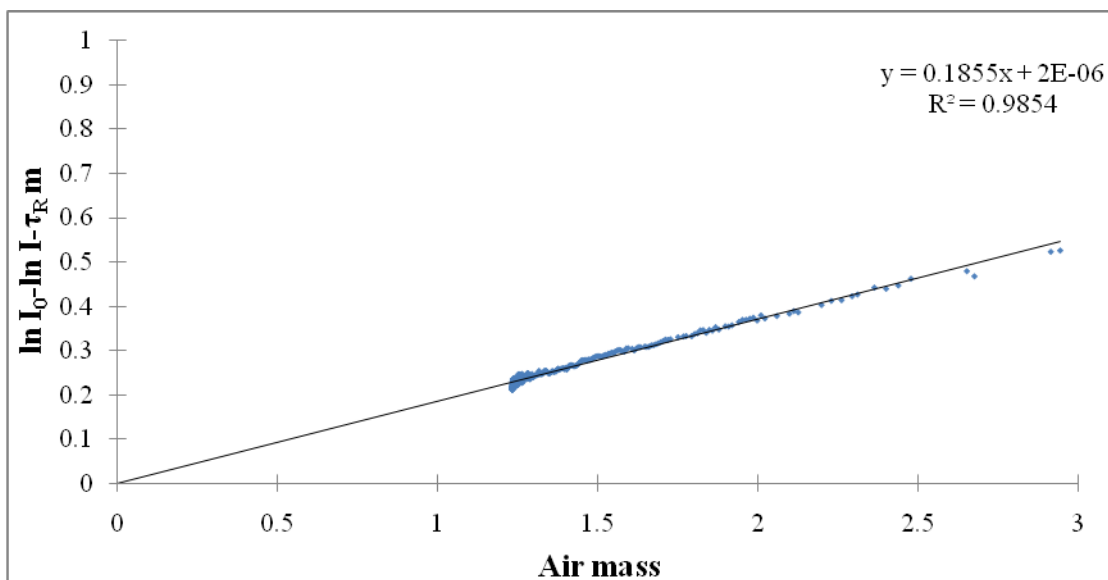
ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.1129 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546



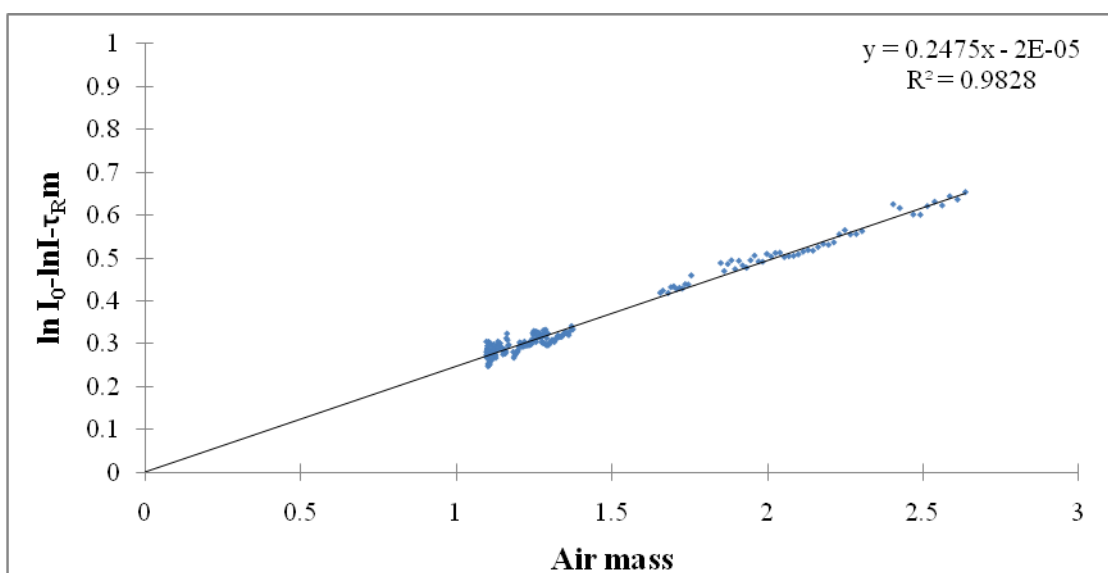
ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.1984 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



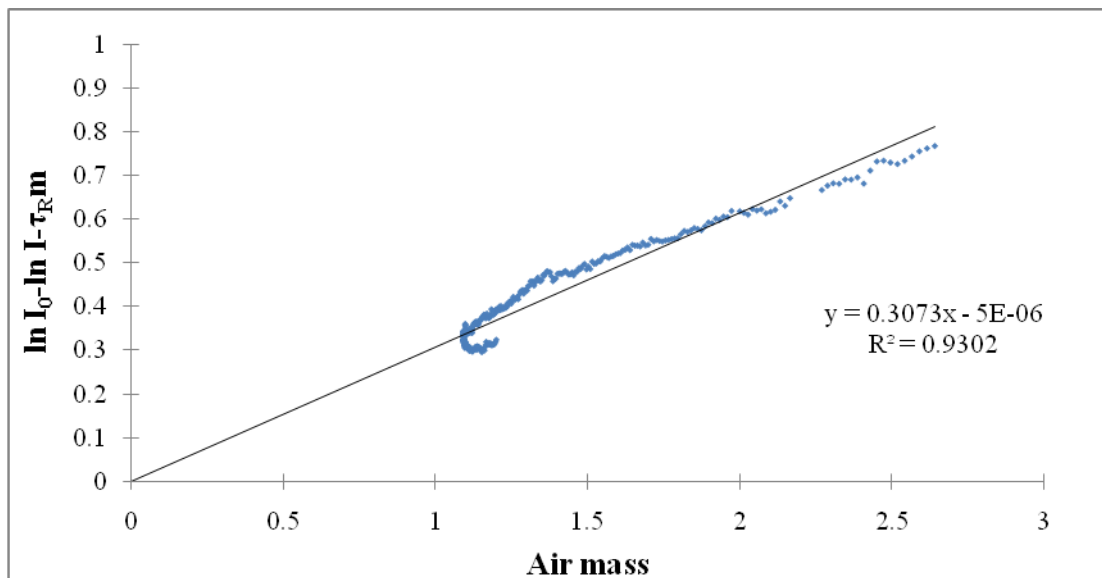
ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.1255 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



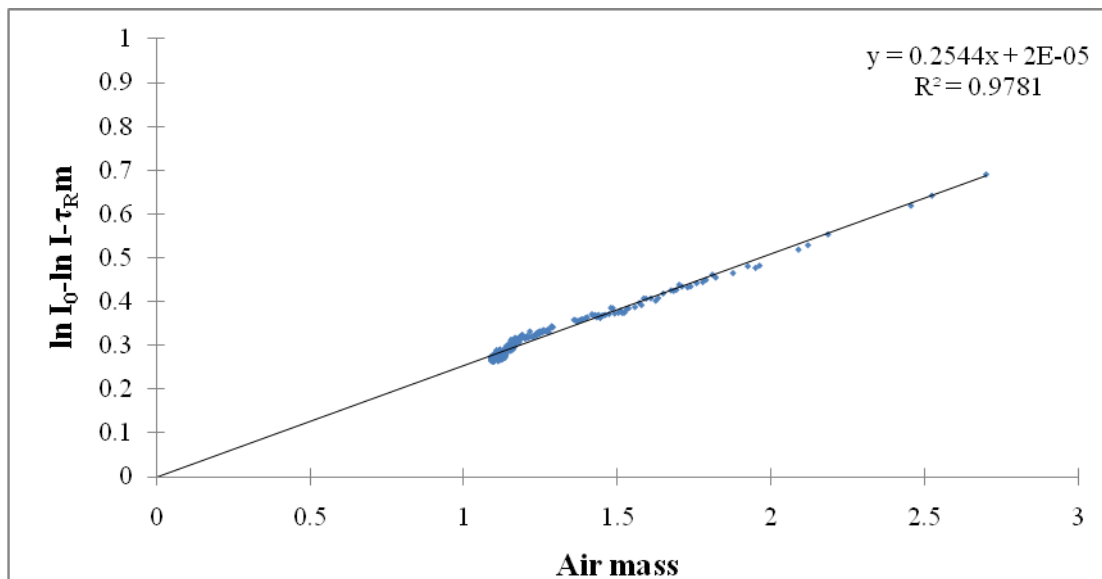
ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.1855 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 41 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.2475 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546

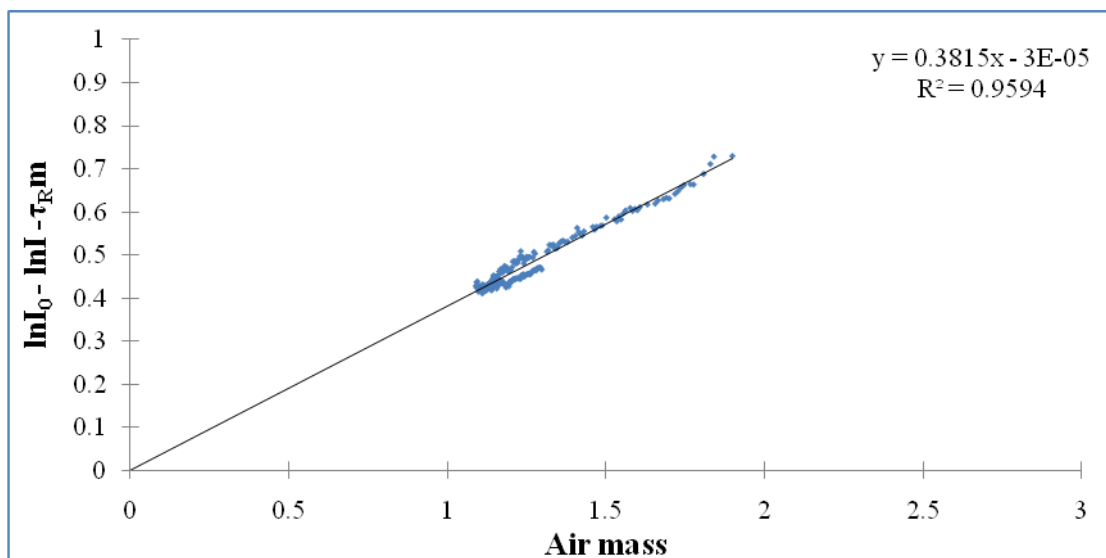


ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.3073 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546

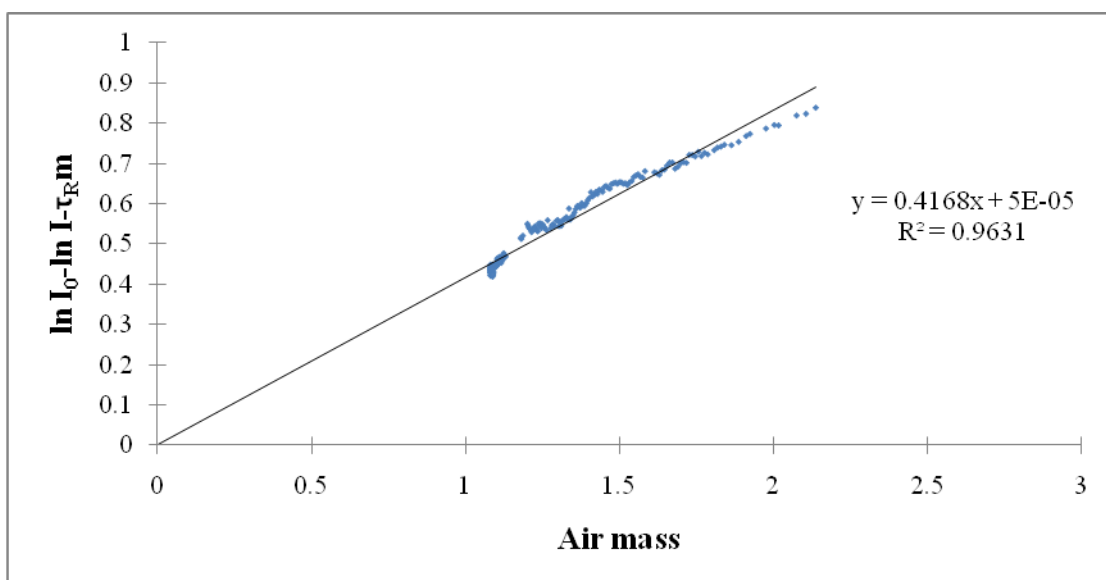


ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.2544 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546



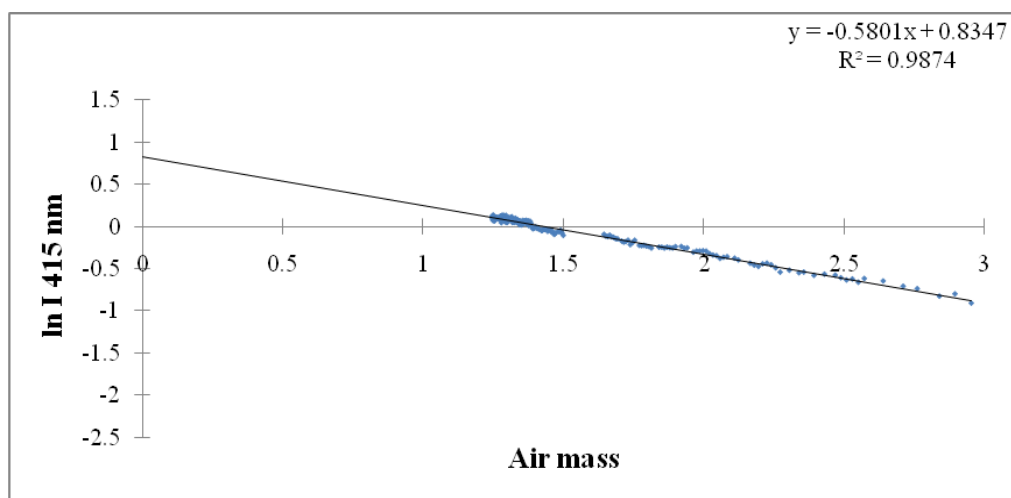


ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.3815 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546

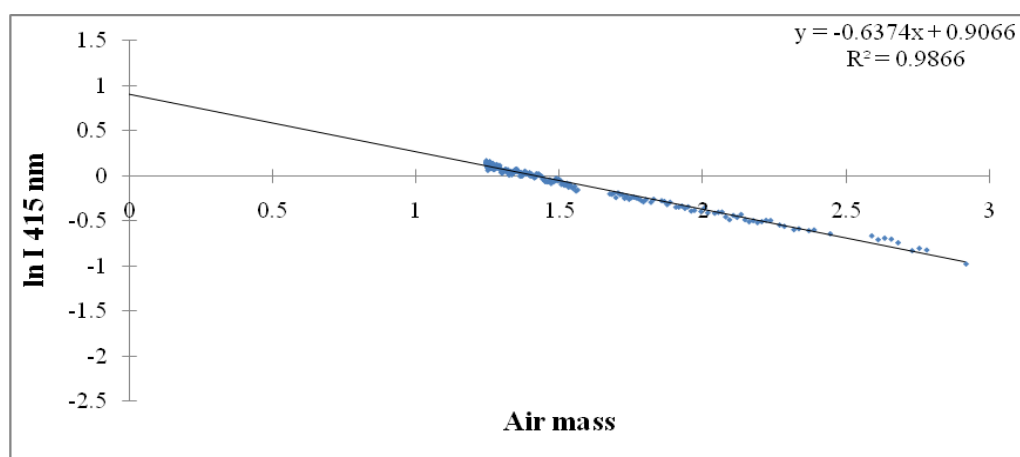


ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงผลการหาค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ที่ความยาวคลื่น 870 nm ของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งค่า  $\tau_a$  มีค่าเท่ากับ 0.4168 และค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

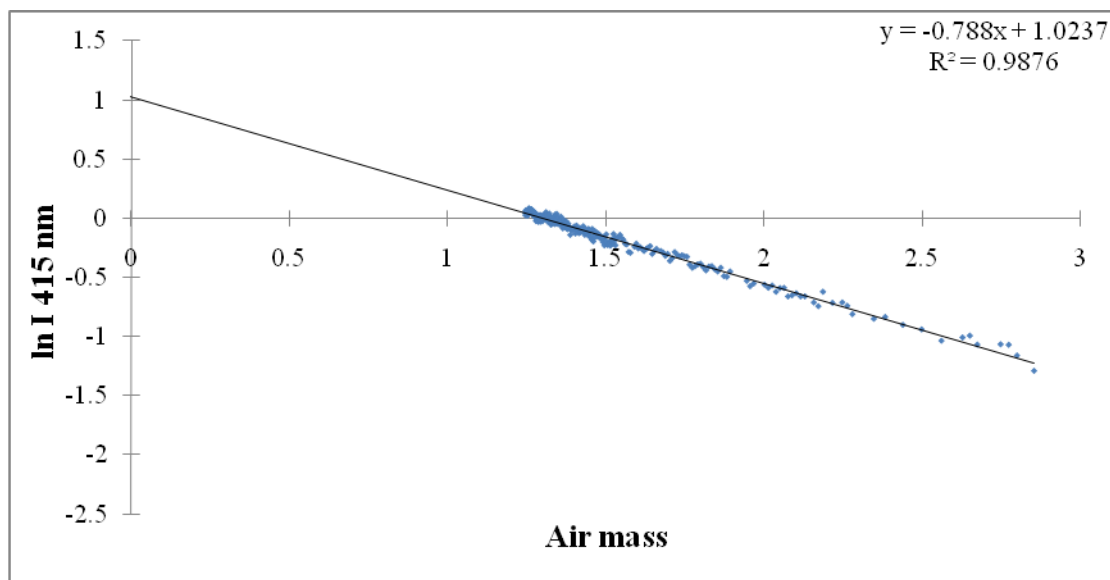
5. ผลการดำเนินการคำนวณความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ และความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415nm ของฤดูหนาว เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ล็อกธรรมชาติของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) และทำการปรับกราฟสมการเส้นตรงจะได้ความชัน (Slope) คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศก่อนการปรับเทียบ;  $\tau'$  และจุดตัดคือ  $\ln I_0$  ของความยาวคลื่น 415 nm ดังแสดงในภาพประกอบ 46- 55



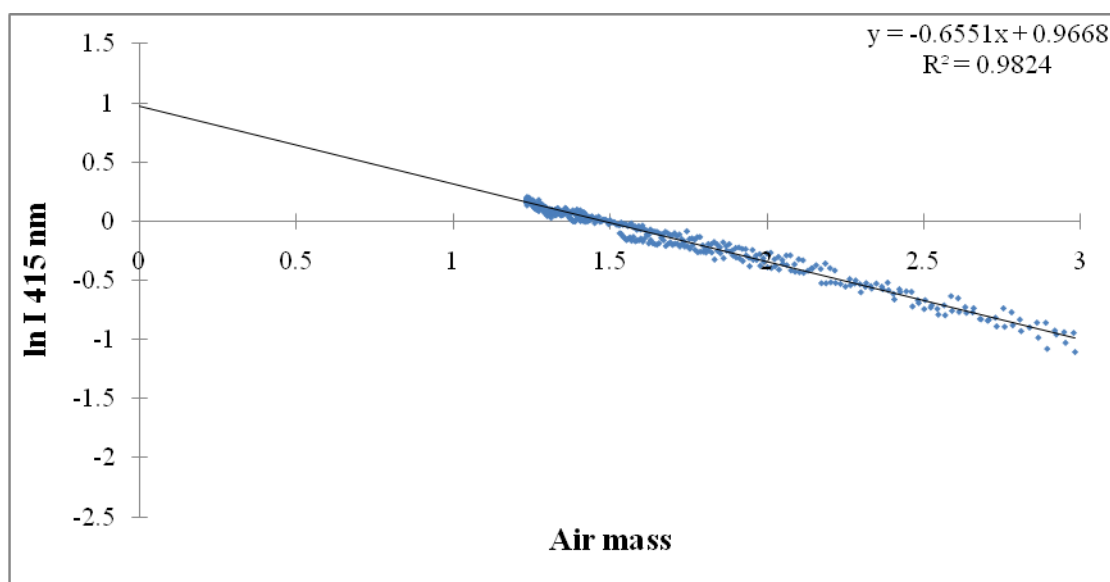
ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ล็อกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5801  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.8347 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9874$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546



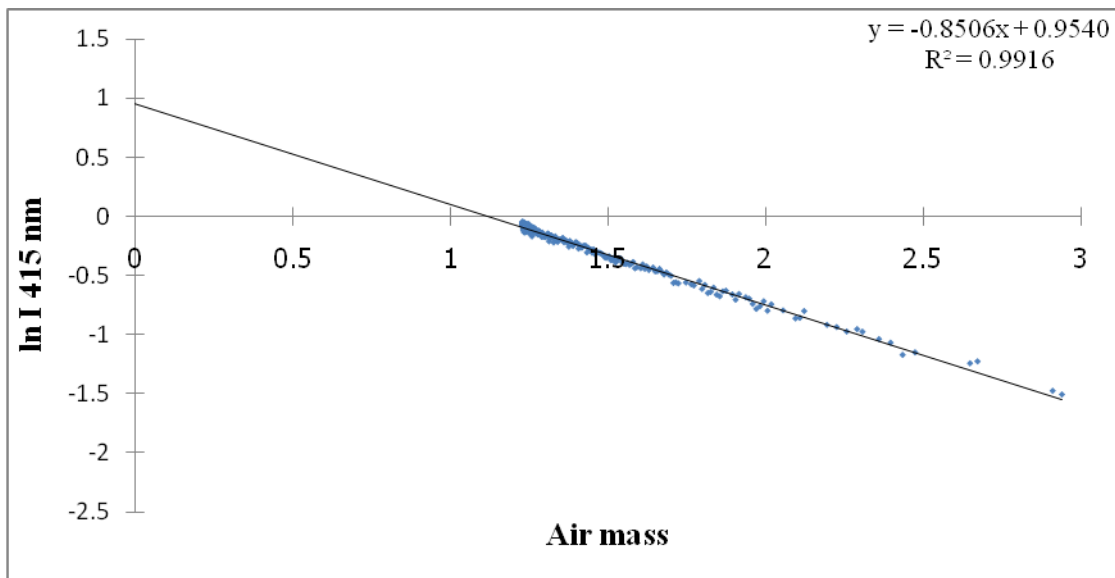
ภาพประกอบ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ล็อกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6374  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.9066 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9866$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546



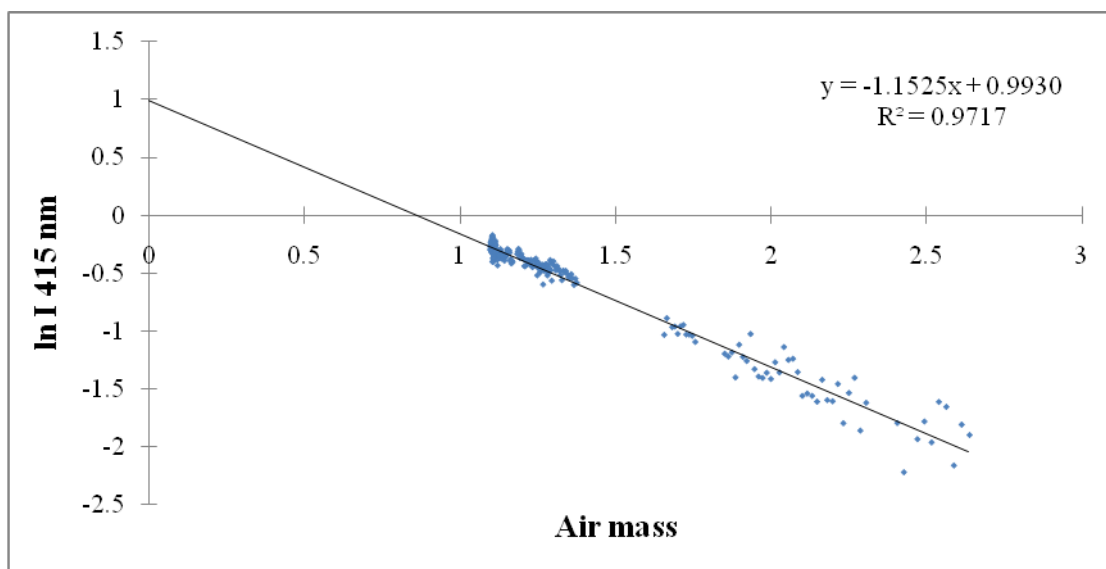
ภาพประกอบ 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.788  $\ln I_0$  เท่ากับ 1.0237 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9876$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



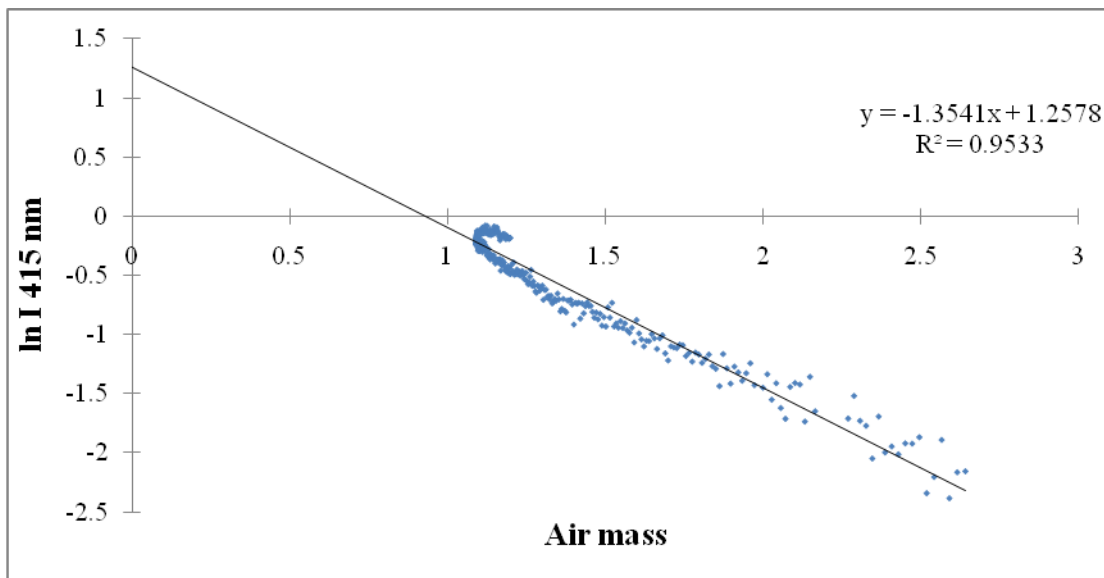
ภาพประกอบ 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6551  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.9668 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9824$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



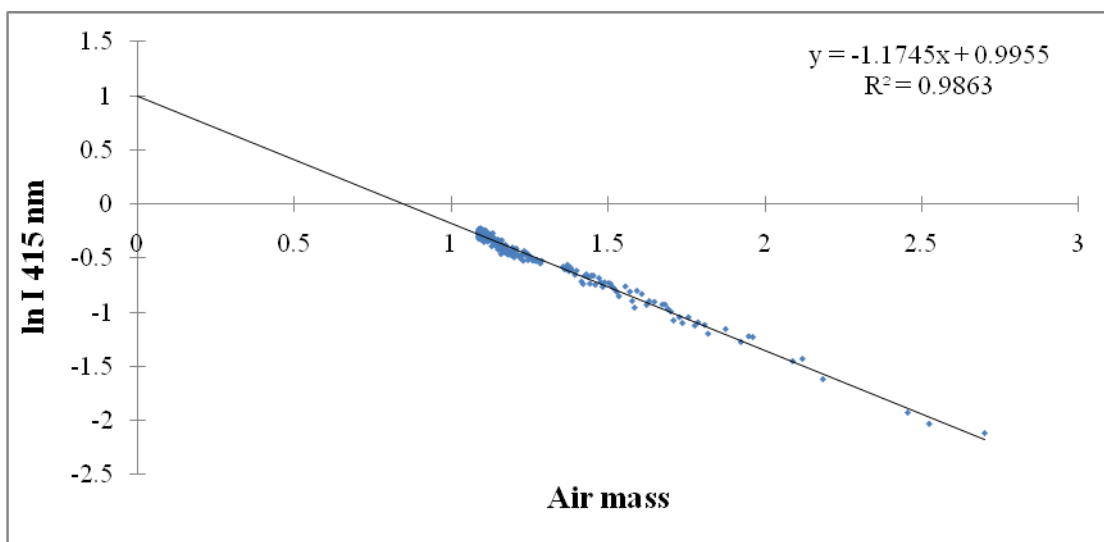
ภาพประกอบ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.8506  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.9540 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9916$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546



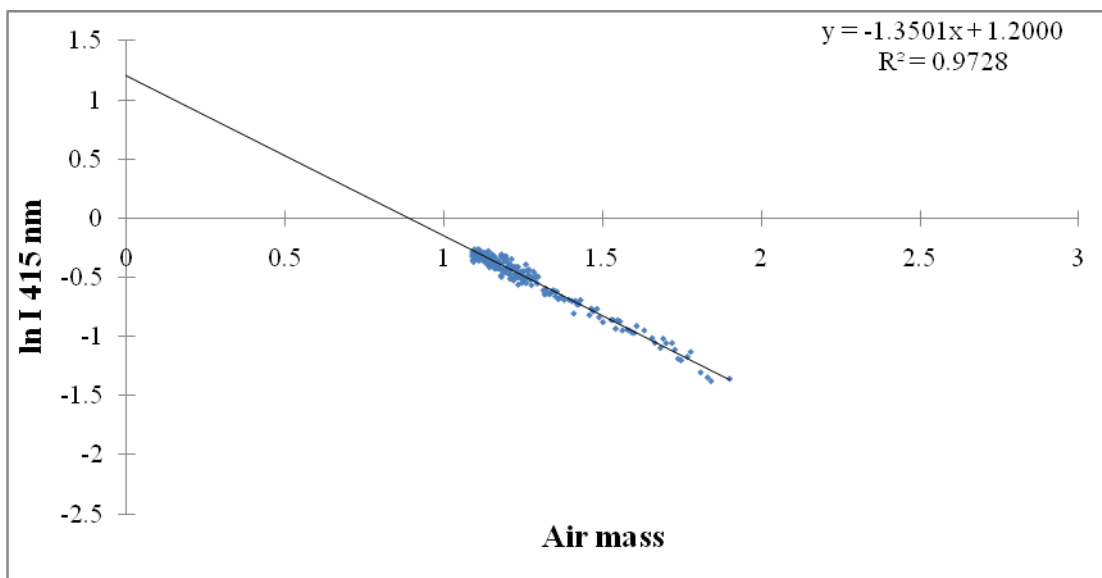
ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.1525  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.9930 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9717$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546



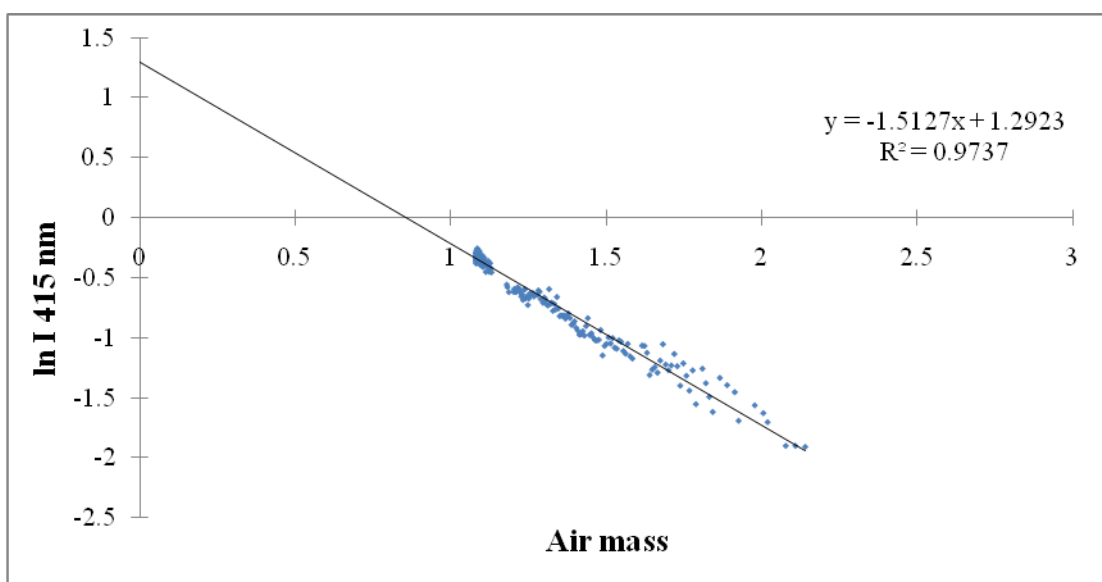
ภาพประกอบ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.3541  $\ln I_0$  เท่ากับ 1.2578 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9533$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.1745  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.9955 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9863$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

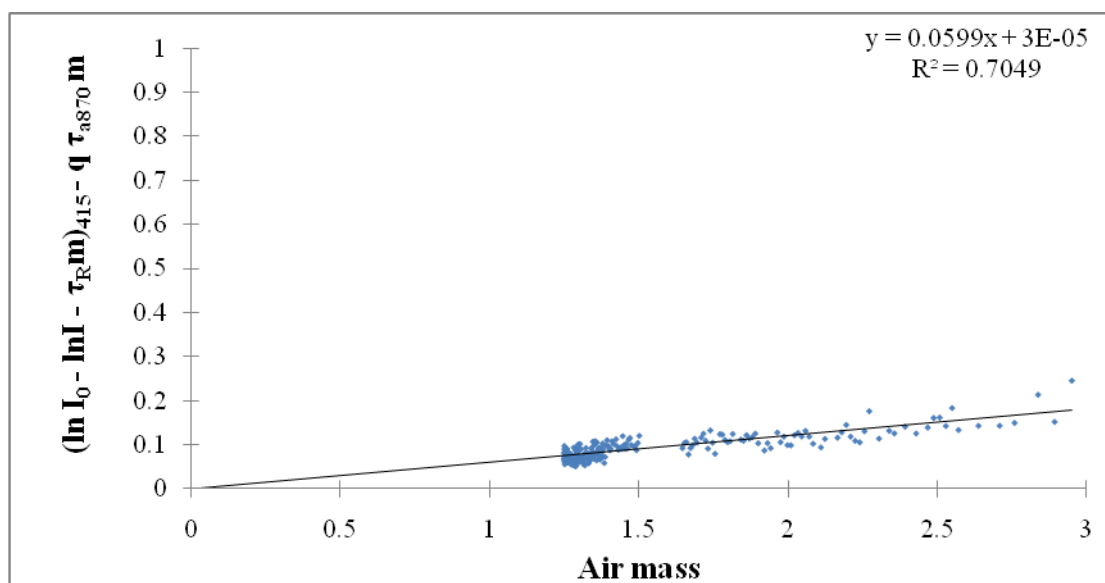


ภาพประกอบ 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.3501  $\ln I_0$  เท่ากับ 1.2000 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9728$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546



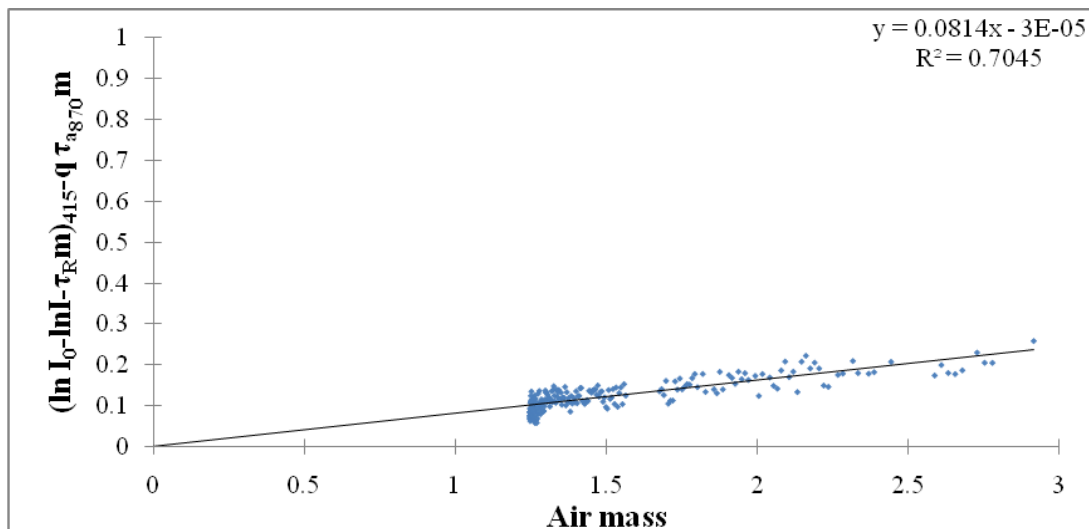
ภาพประกอบ 55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.5127  $\ln I_0$  เท่ากับ 1.2923 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9737$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

6. ผลการหาความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ และค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือ จากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการ (3-4) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  โดยที่  $q\tau_{a_{870}}$  คือความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) และจุดตัดคือ  $C_{415} = -\ln C_{415}$  ซึ่ง  $C$  เป็นค่าคงตัวของ การปรับเทียบเครื่องมือที่ช่องสัญญาณ 415 nm ดังภาพประกอบ 56 – 65

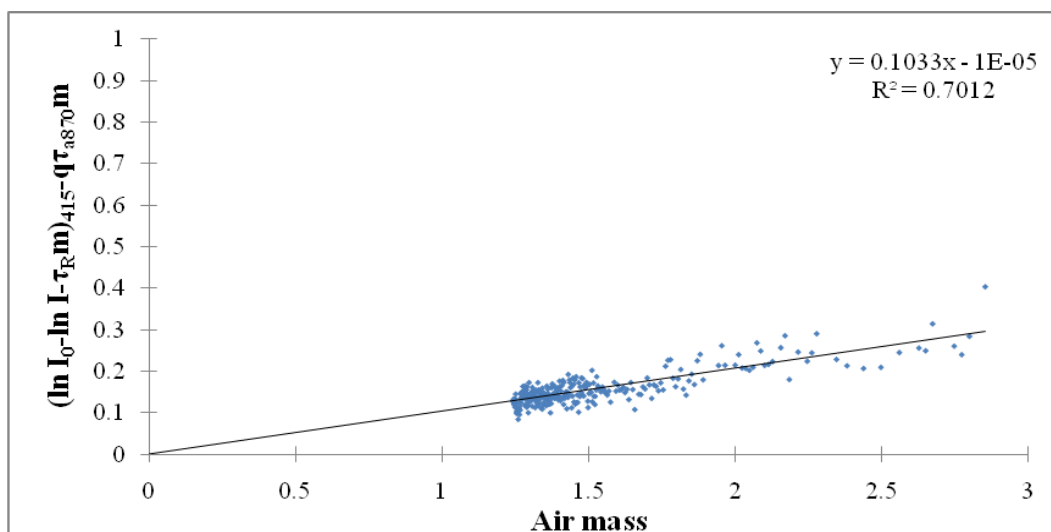


ภาพประกอบ 56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3 ) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 2.00 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.0599 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7049$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังภาพประกอบ 56–65 พบว่าค่าความน่าเชื่อถือ ( $R^2$ ) มีค่าประมาณ 0.70-0.73 ซึ่งจัดว่ามีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผลของค่านี้ที่สามารถหาได้ก่อนหน้า โดยเป็นผลมาจากค่า  $q$  ที่หาได้มีค่าสูงจึงทำให้ค่า  $R^2$  น้อยเพราะตัวแปรทั้งสองแปรผกผันกัน

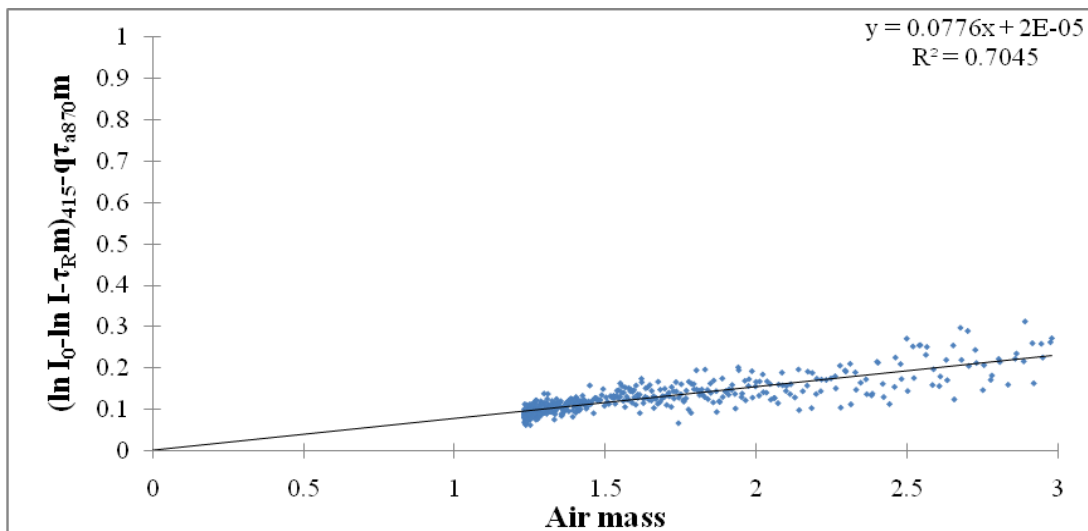


ภาพประกอบ 57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a,870}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a,870} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 2.20 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.0814 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7045$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546

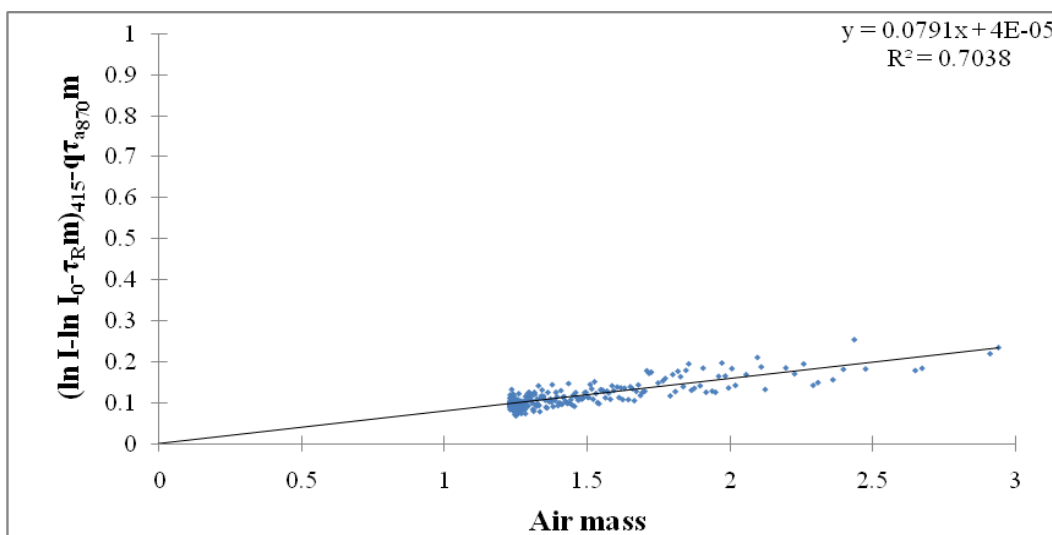


ภาพประกอบ 58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a,870}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a,870} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 1.90 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.1033 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 0.99999$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7012$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546

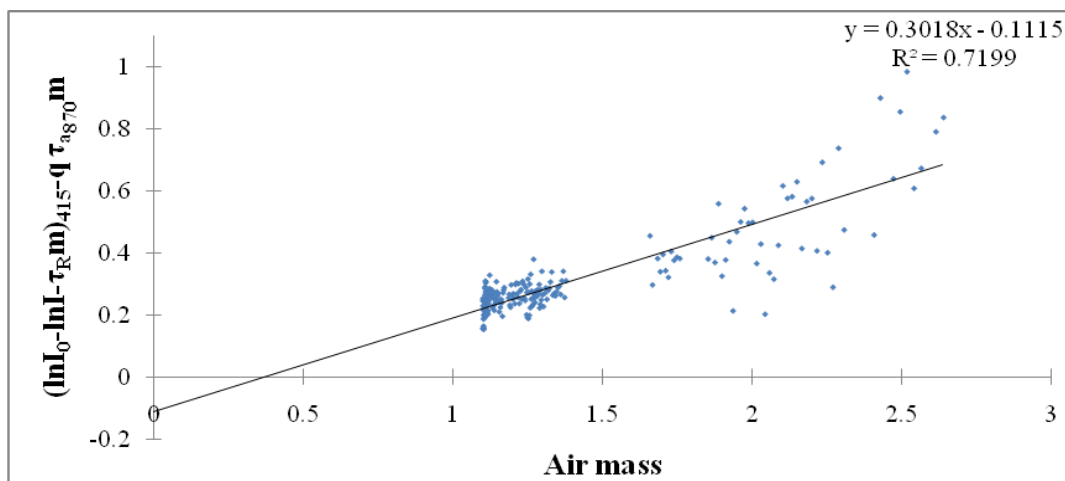




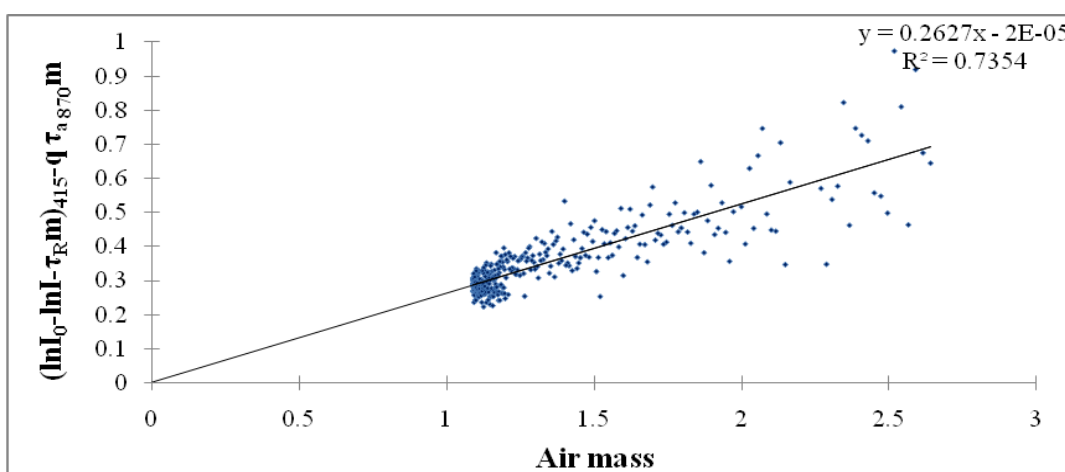
ภาพประกอบ 59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออก ด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 2.15 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.0776 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7045$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออก ด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm  $(\ln I - \ln I_0 - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 2.50 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.0791 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7038$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546

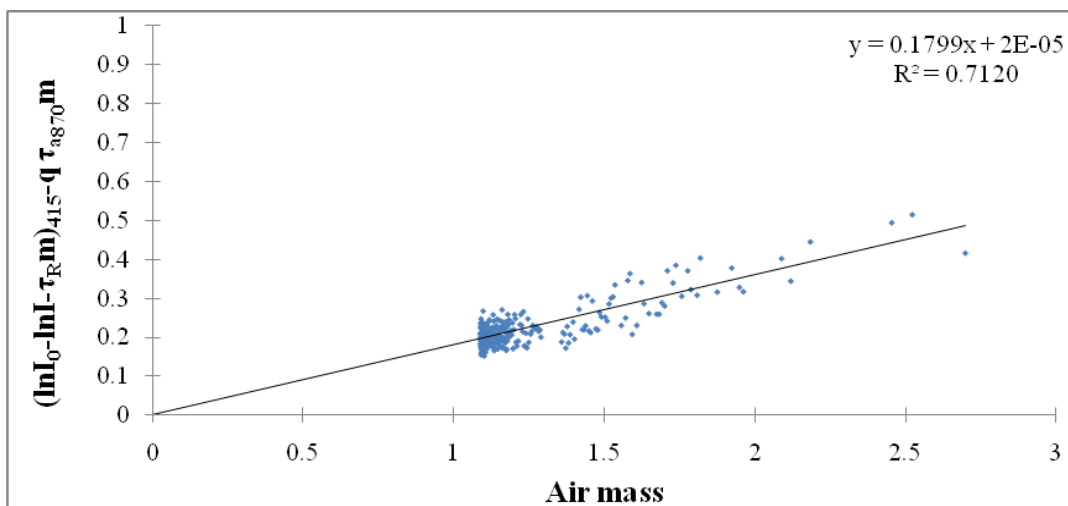


ภาพประกอบ 61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบบอกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm ( $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ )<sub>415</sub> -  $q\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 2.55 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.3018 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.1179$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7199$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546

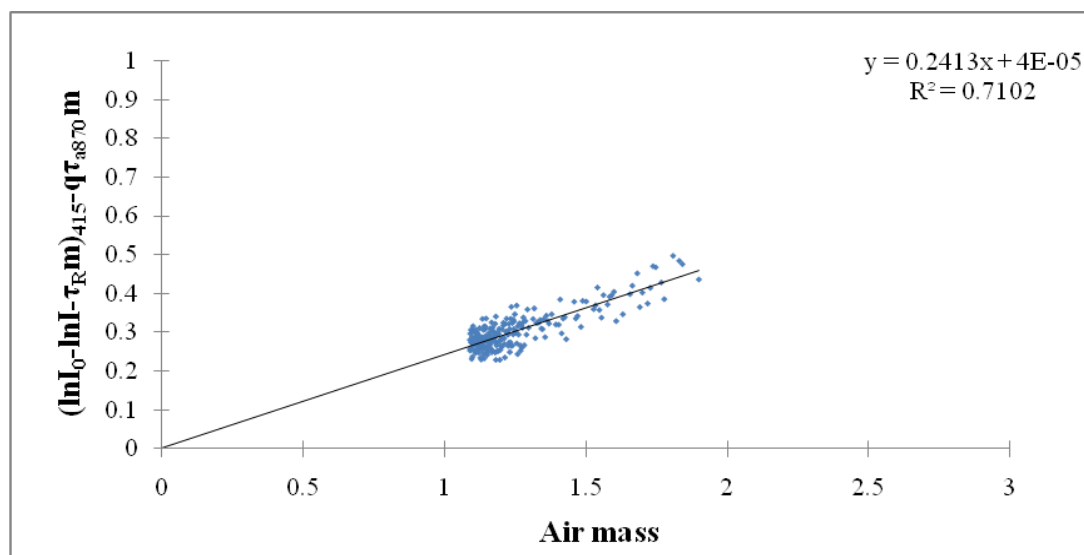


ภาพประกอบ 62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบบอกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm ( $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ )<sub>415</sub> -  $q\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 2.55 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.2627 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7354$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546

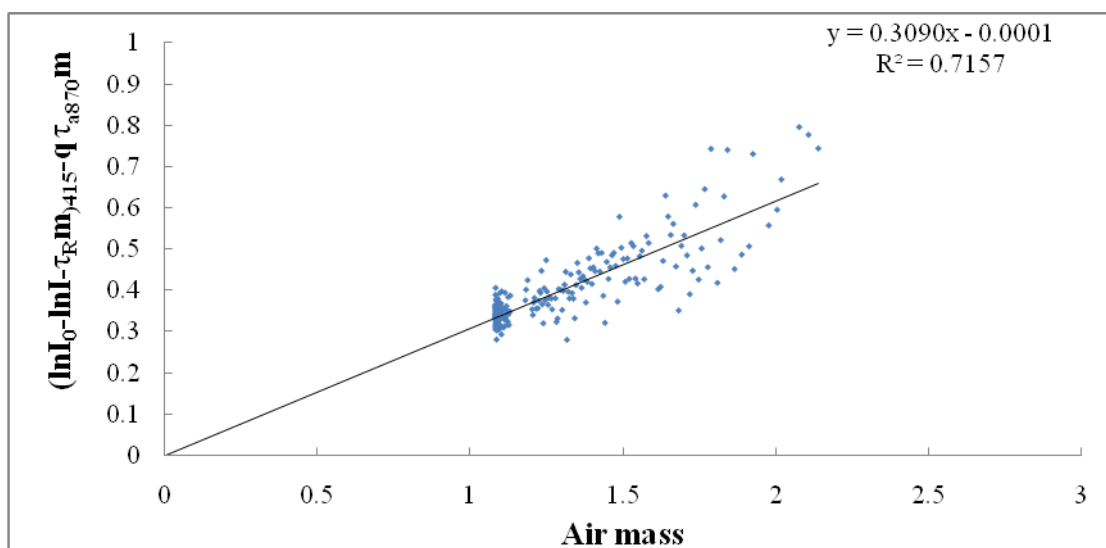
จากภาพประกอบ 61 พบว่า ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C$  มีค่าสูง เนื่องจากจุดตัดของกราฟติดลบ



ภาพประกอบ 63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 2.70 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.1799 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7120$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

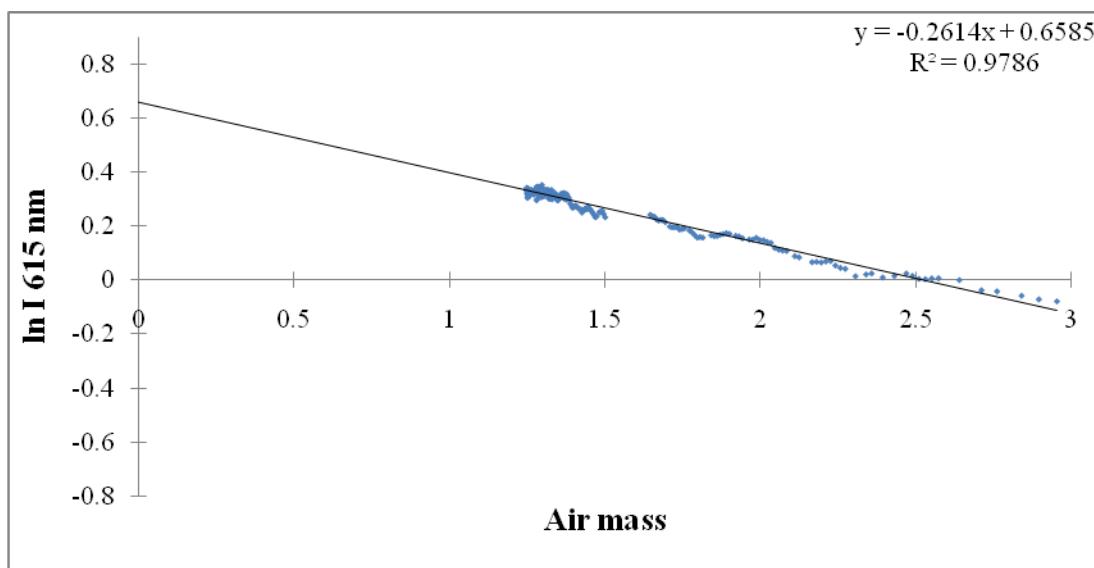


ภาพประกอบ 64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 2.10 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.2413 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7102$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546

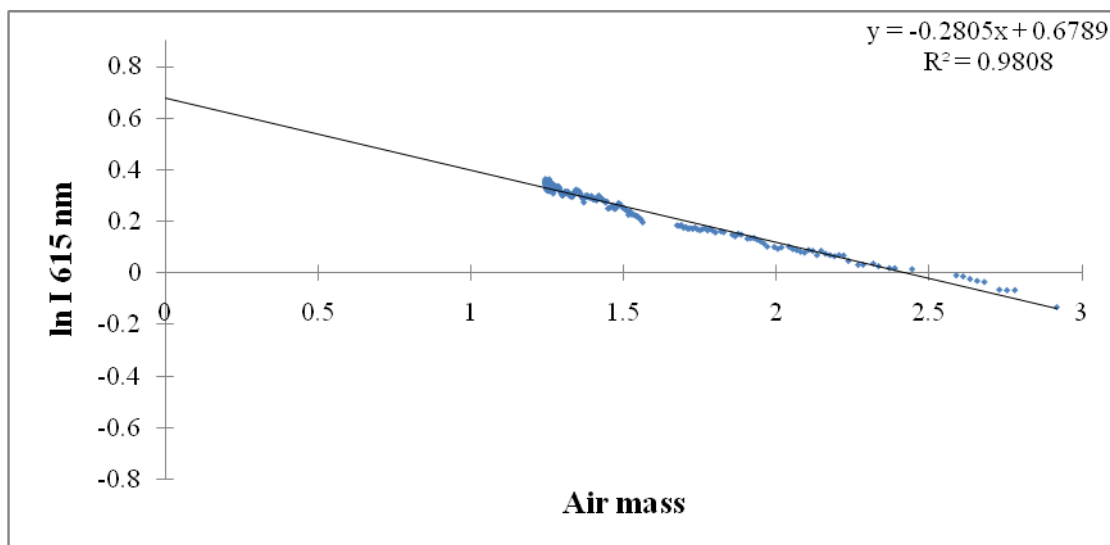


ภาพประกอบ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออก ด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 415 nm ( $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ )<sub>415</sub> -  $q\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q$  เท่ากับ 2.15 ซึ่งจะได้ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\tau_{NO_2}$ ) เท่ากับ 0.3090 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0001$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7157$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

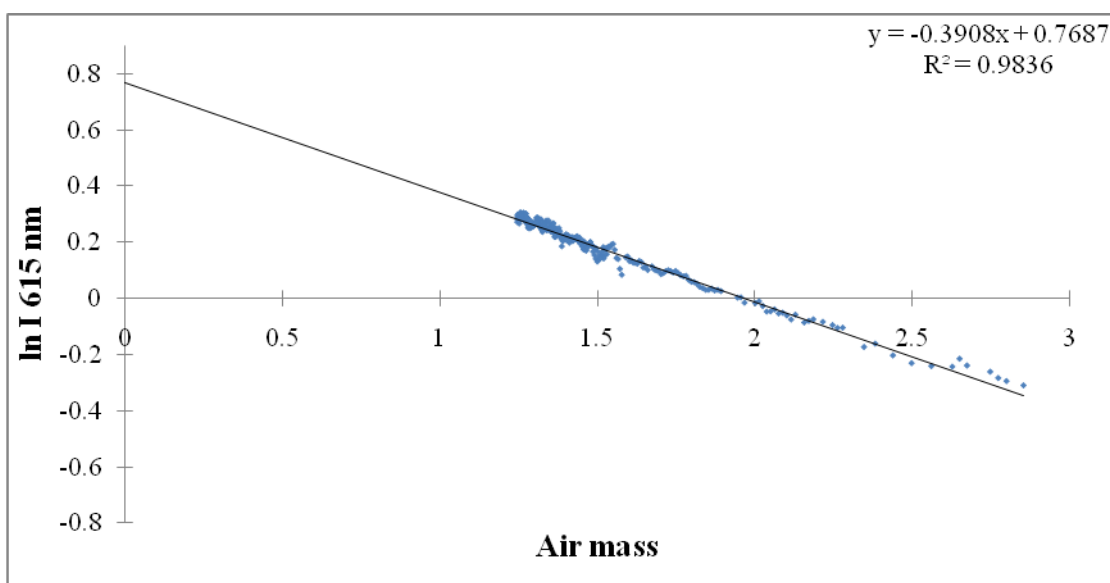
7. ผลการดำเนินการคำนวณความลึกเชิงแสงของไอโซนและความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่มีความยาวคลื่น 615nm ของฤดูหนาว เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) และทำการปรับกราฟสมการเส้นตรงจะได้ความชัน (Slope) คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศก่อนการปรับเทียบ;  $\tau'$  และจุดตัดคือ  $\ln I_0$  ของความยาวคลื่น 615 nm แสดงในภาพประกอบ 66 - 75



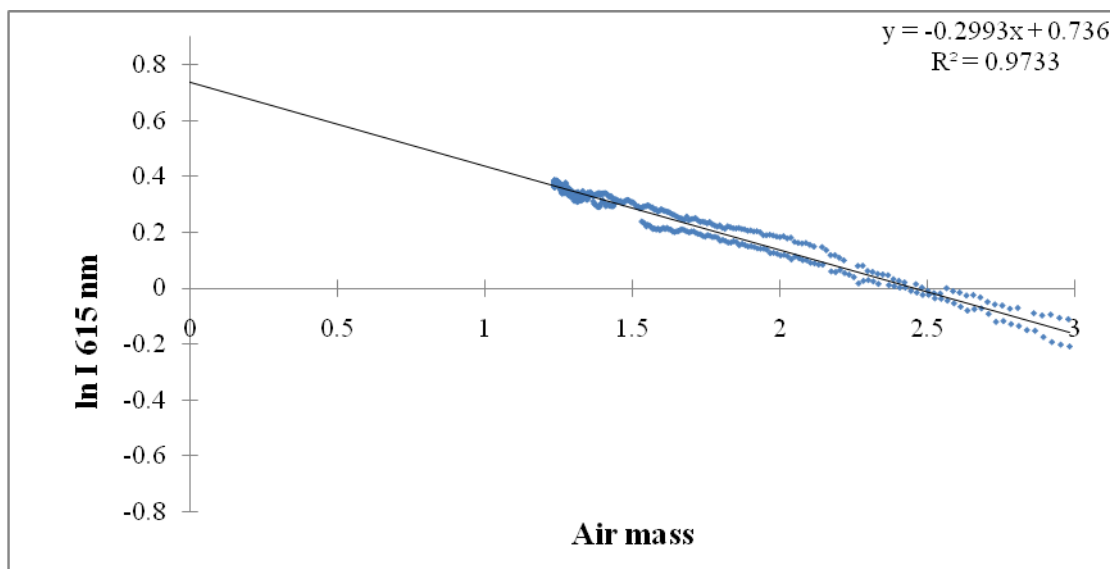
ภาพประกอบ 66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2614  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.6585 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9786$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546



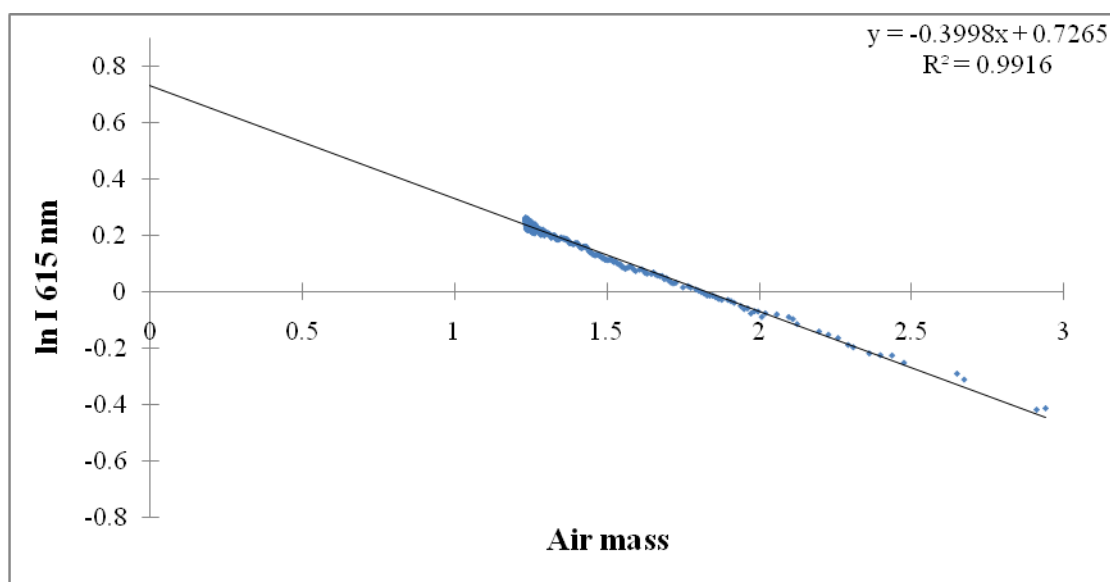
ภาพประกอบ 67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.2805 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.6789$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9808$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546



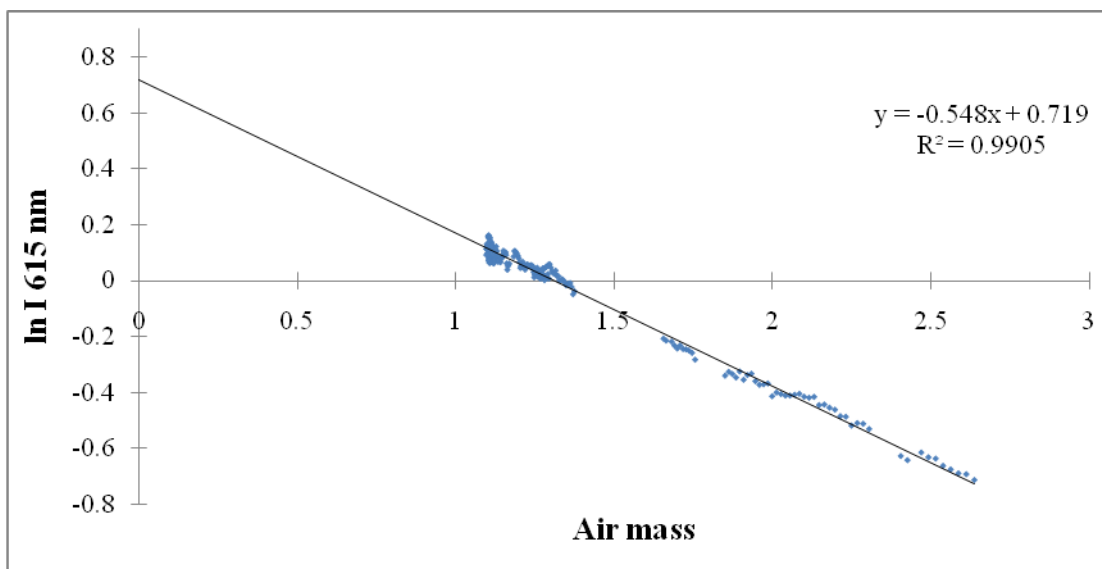
ภาพประกอบ 68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.3908 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.7687$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9836$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



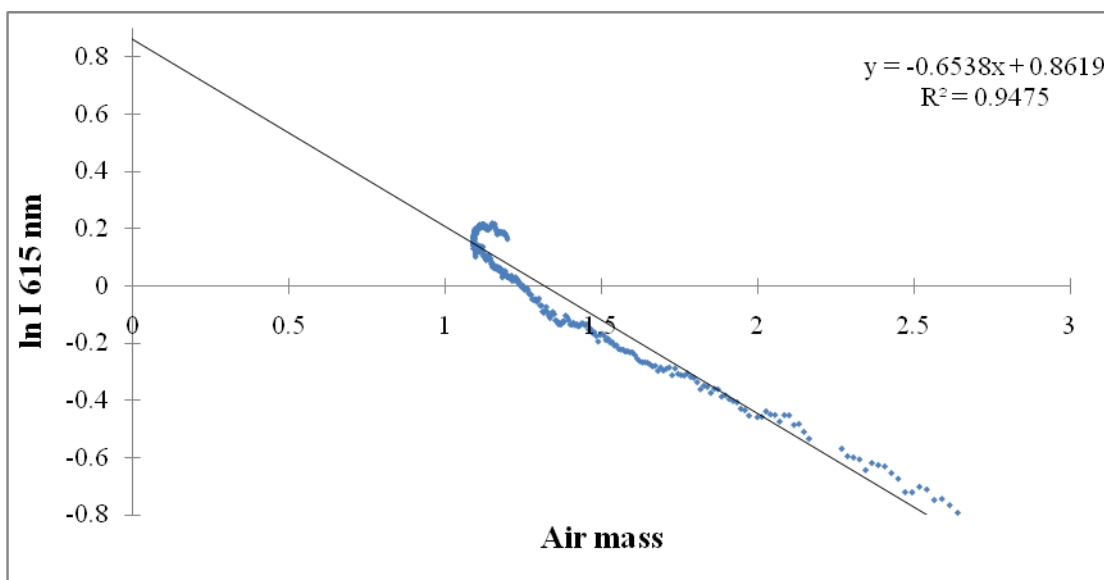
ภาพประกอบ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.2993 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.7360$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9733$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.3998 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.7265$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9916$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546

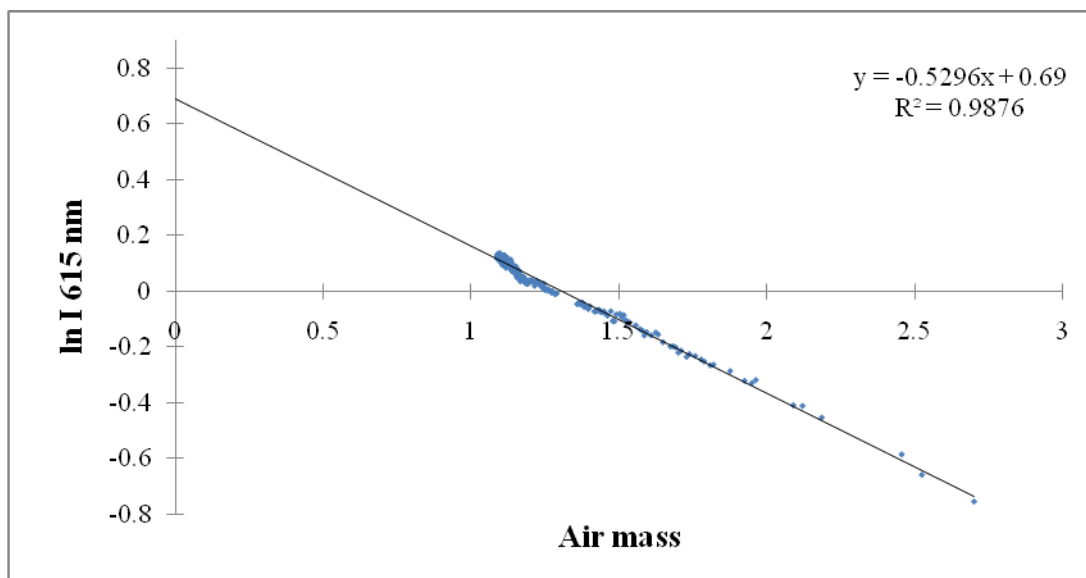


ภาพประกอบ 71 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5480  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.7190 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9905$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546

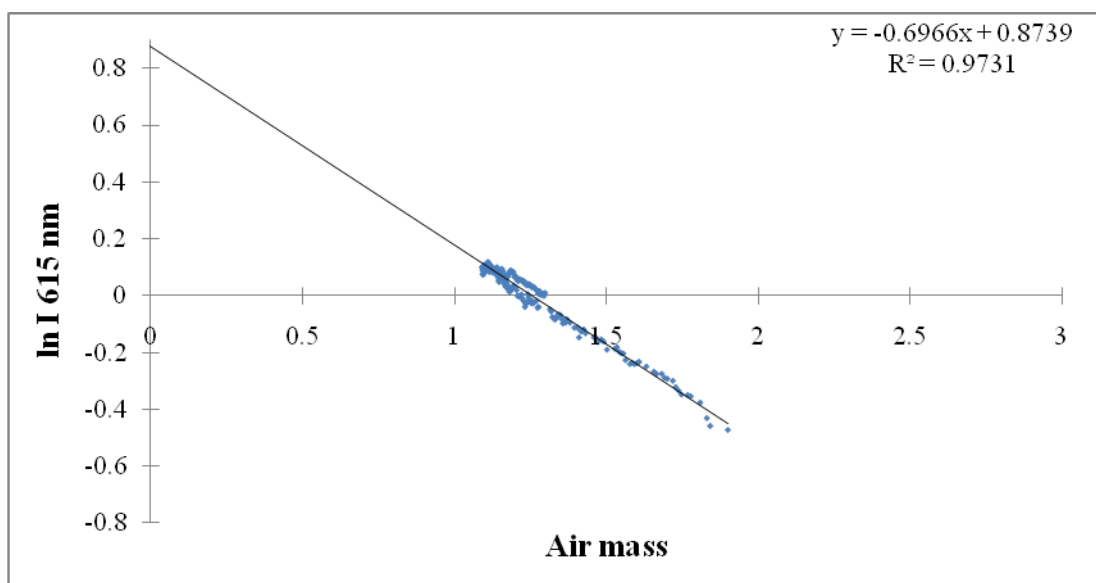


ภาพประกอบ 72 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6538  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.8619 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9475$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546

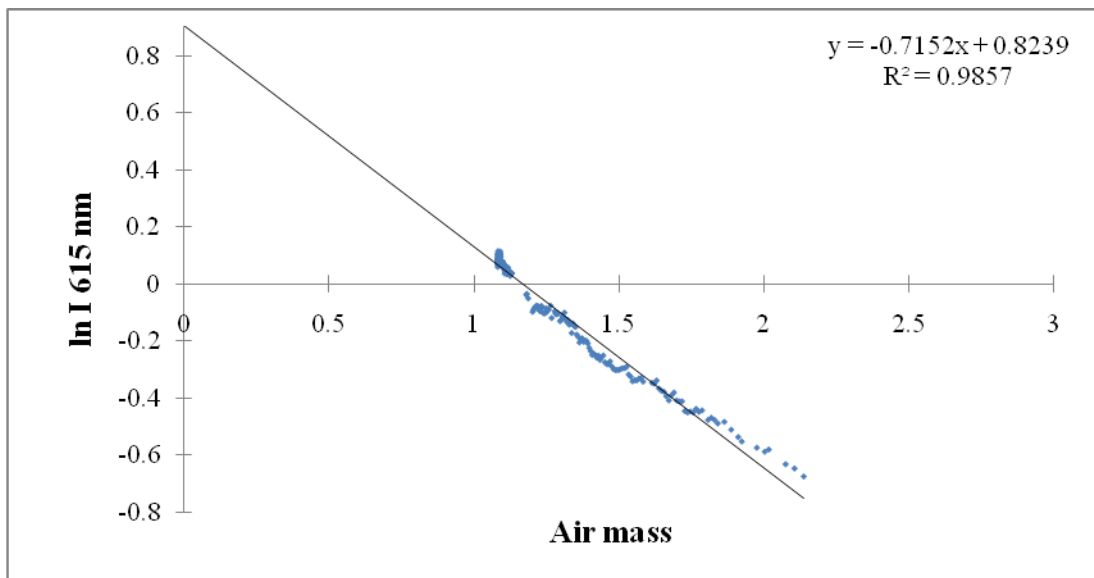




ภาพประกอบ 73 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5296  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.6900 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9876$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

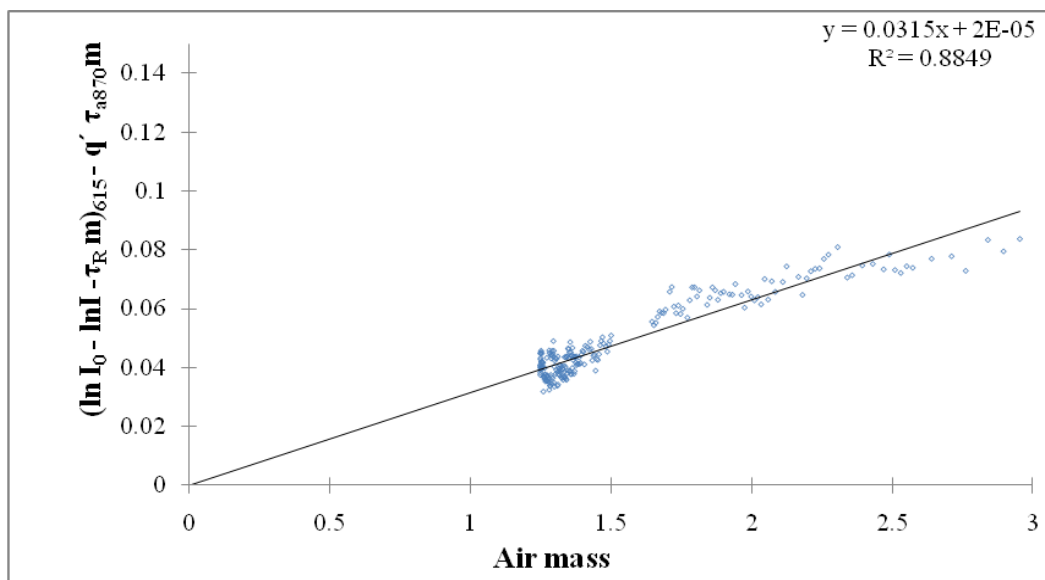


ภาพประกอบ 74 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6966  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.8739 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9731$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546

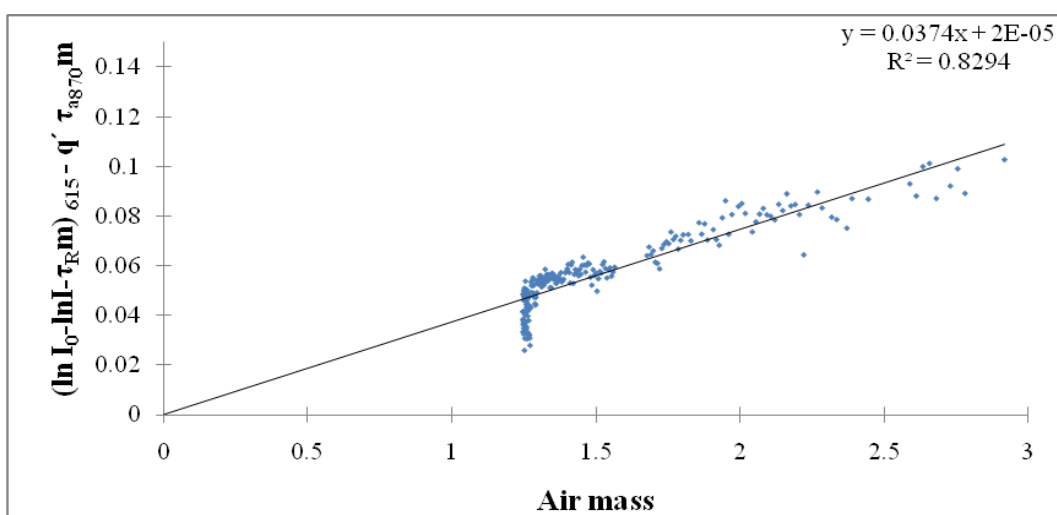


ภาพประกอบ 75 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการริทึมของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.7152 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.8239$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9857$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

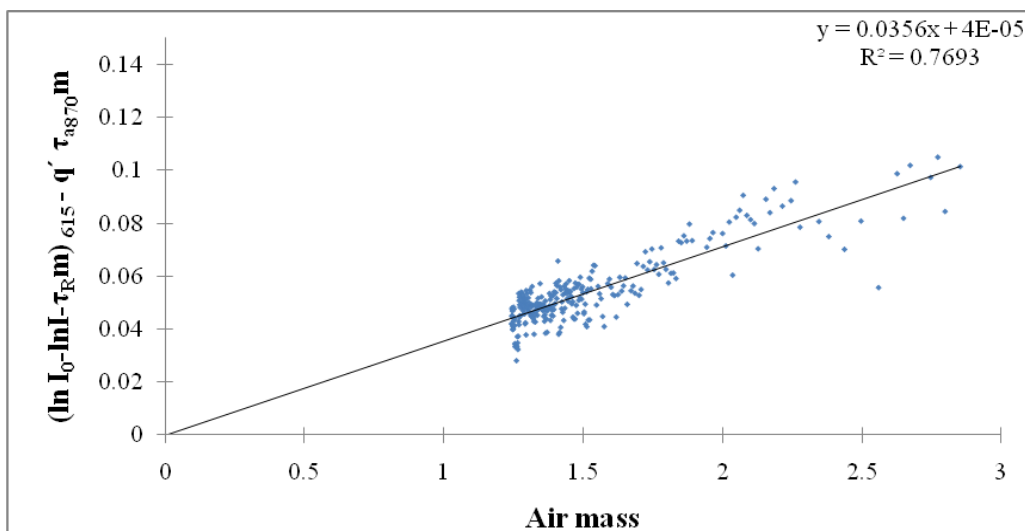
8. ผลการหาความลึกเชิงแสงของโอโซน และค่าคงตัวการปรับเทียบเครื่องมือ จากข้อมูลของเครื่อง MFR-7 โดยเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ตามสมการ (3-6) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q' \tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  โดยที่  $q' \tau_{a_{870}}$  คือความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 615 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) และจุดตัดคือ  $c_{615} = -\ln C_{615}$  ซึ่ง  $C$  เป็นค่าคงตัวของการปรับเทียบเครื่องมือที่ช่องสัญญาณ 615 nm ดังภาพประกอบ 76 – 85



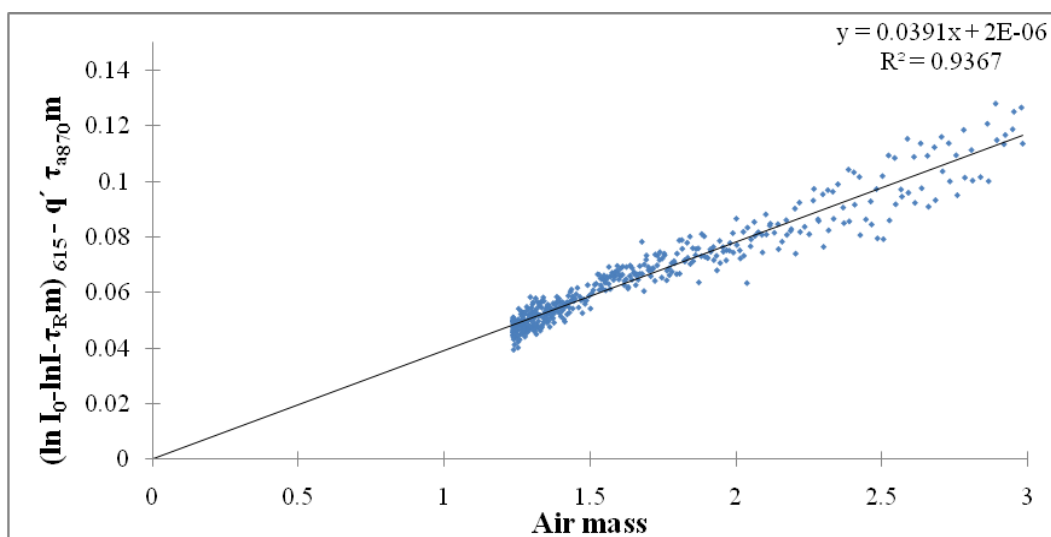
ภาพประกอบ 76 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออก ด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q' \tau_{a,870}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q' \tau_{a,870} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.575 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0315 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.8849$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546



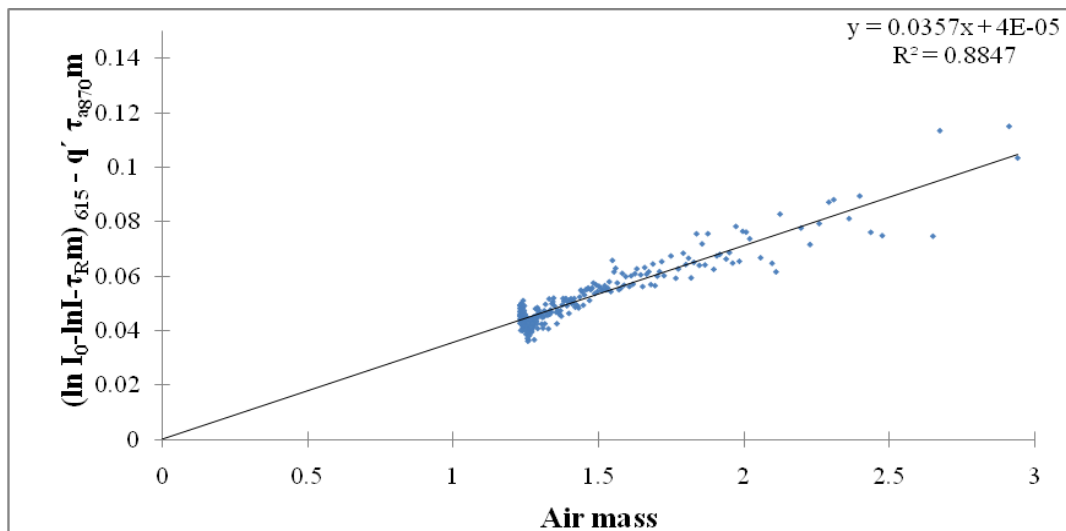
ภาพประกอบ 77 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออก ด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q' \tau_{a,870}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q' \tau_{a,870} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.600 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0374 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.8294$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546



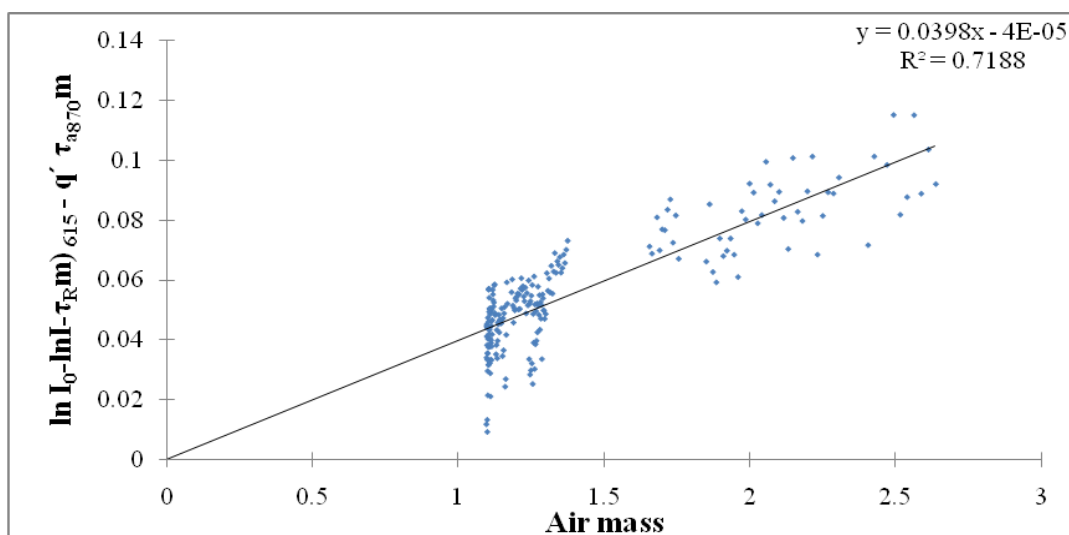
ภาพประกอบ 78 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q' \tau_{a,870}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm ( $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q' \tau_{a,870} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.475 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0356 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7693$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



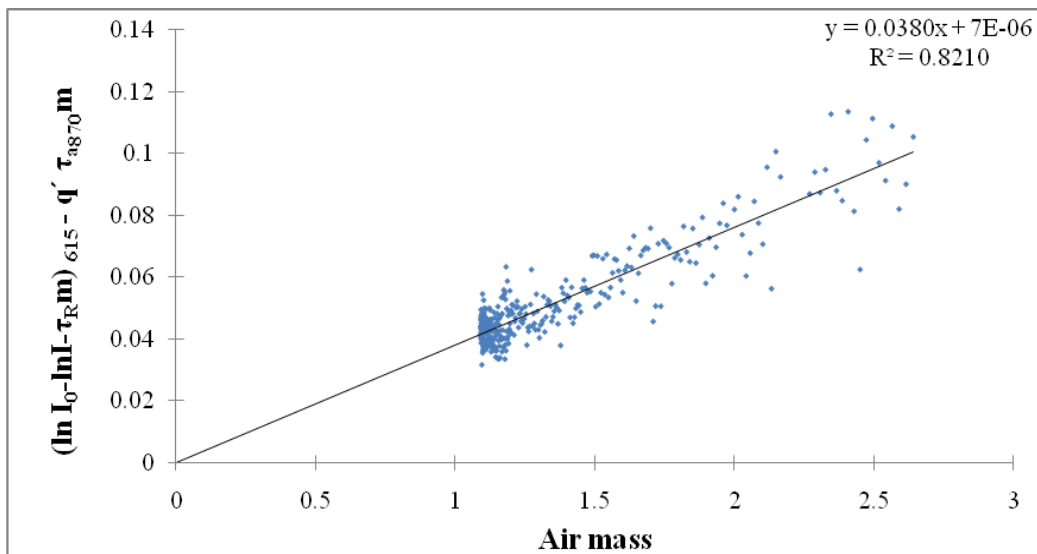
ภาพประกอบ 79 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q' \tau_{a,870}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm ( $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q' \tau_{a,870} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.575 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0391 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9367$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



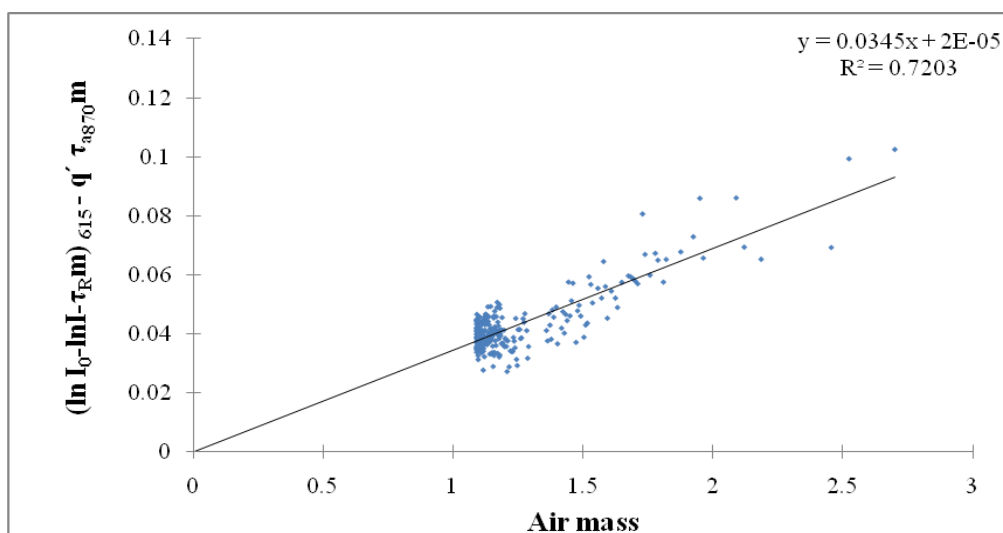
ภาพประกอบ 80 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออก ด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q'\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm ( $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ )<sub>615</sub> -  $q'\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.625 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0357 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.8847$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546



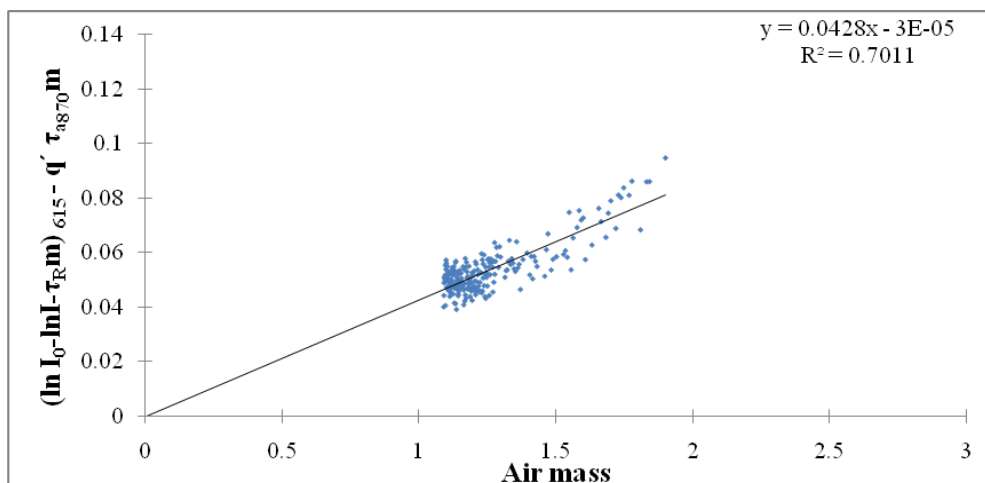
ภาพประกอบ 81 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบออก ด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q'\tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm ( $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$ )<sub>615</sub> -  $q'\tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.800 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0398 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7188$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546



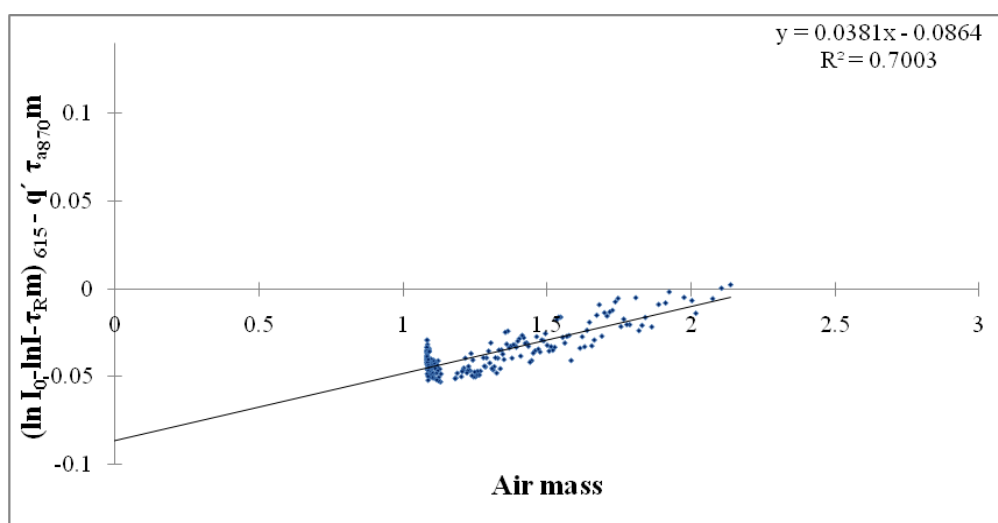
ภาพประกอบ 82 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ปล่อยออก ด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q'\tau_{a,870}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a,870} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.800 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0380 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.8210$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 83 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ปล่อยออก ด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q'\tau_{a,870}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'\tau_{a,870} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.700 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0345 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7203$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546



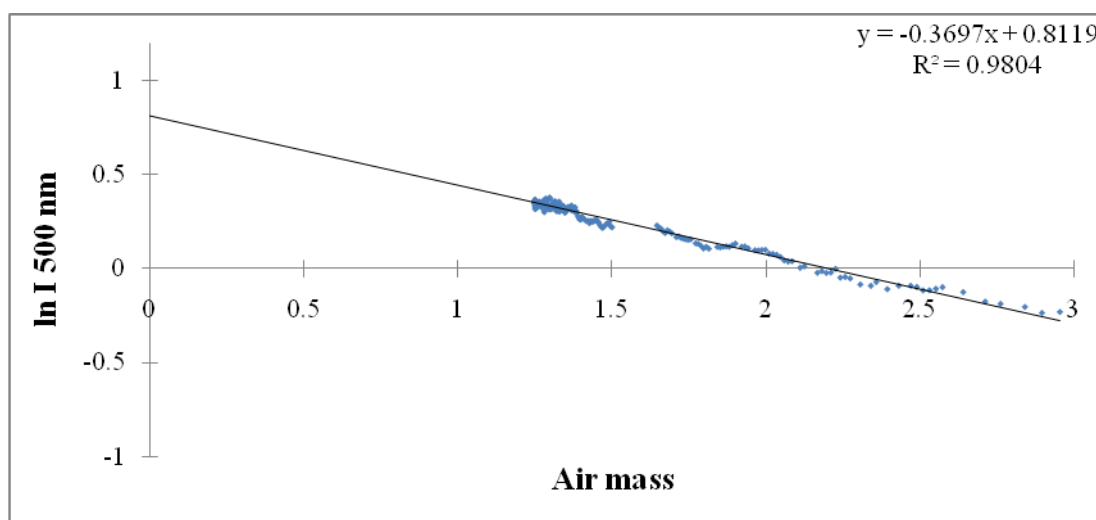
ภาพประกอบ 84 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบบอกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q' \tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q' \tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.550 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0428 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7011$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 85 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศที่ลบบอกด้วยค่าความลึกเชิงแสงของการกระเจิงแบบเรย์ลี และความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $q' \tau_{a_{870}}$ ) ของความยาวคลื่น 615 nm  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q' \tau_{a_{870}} m$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) โดยมีค่า  $q'$  เท่ากับ 1.625 ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\tau_{O_3}$ ) เท่ากับ 0.0381 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0923$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.7003$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

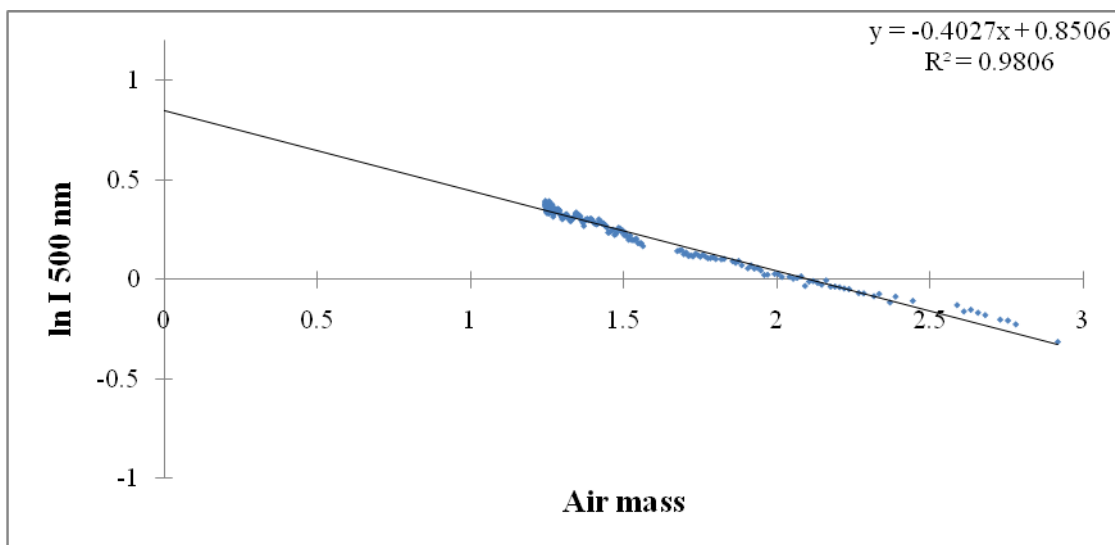
จากภาพประกอบ 85 พบว่า ค่าคงตัวการปรับเทียบ C มีค่าสูง เนื่องจากจุดตัดของกราฟติดลบ เพราะข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงค่าติดลบ

9. ผลการดำเนินการคำนวณความลึกเชิงแสงของโอโซน ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ และความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 500 nm ของฤดูหนาว เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) และทำการปรับกราฟสมการเส้นตรงจะได้ความชัน (Slope) คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศก่อนการปรับเทียบ;  $\tau'$  และจุดตัดคือ  $\ln I_0$  ของความยาวคลื่น 500 nm แสดงในภาพประกอบ 86 - 95

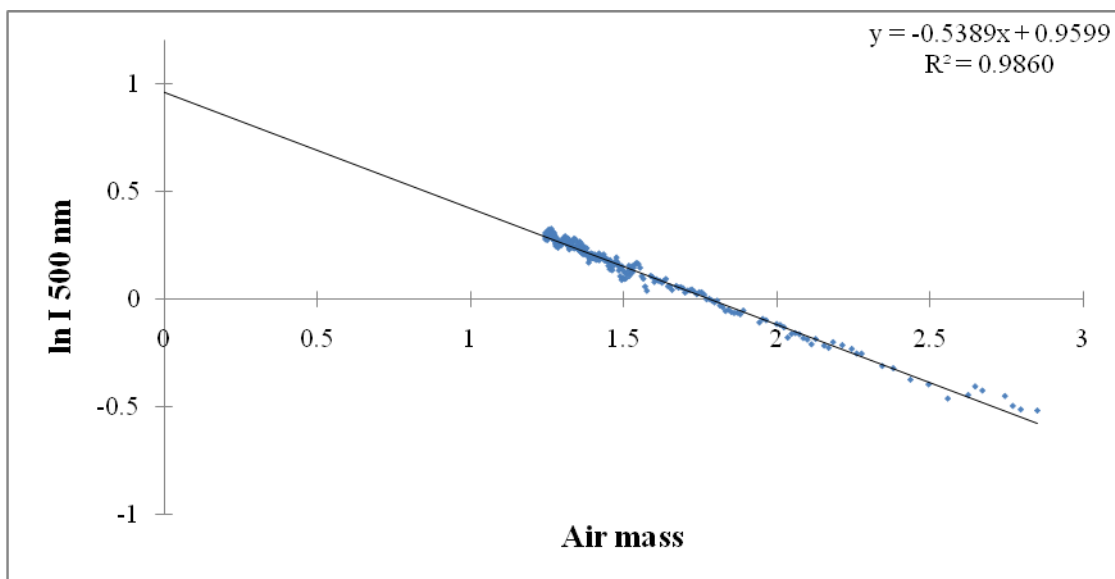


ภาพประกอบ 86 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.3697 \ln I_0$  เท่ากับ 0.8119 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9804$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546

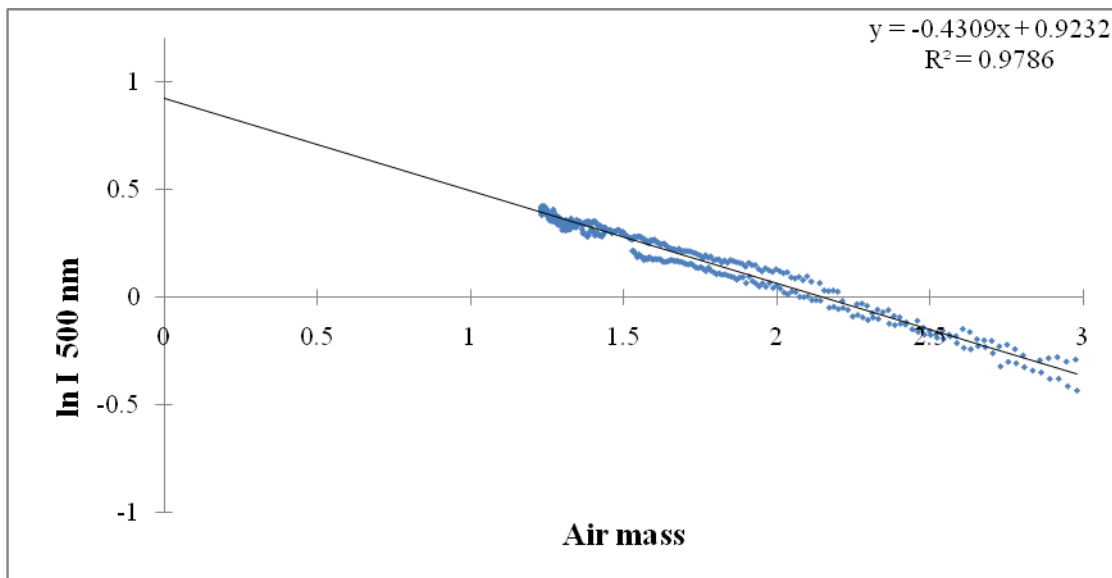




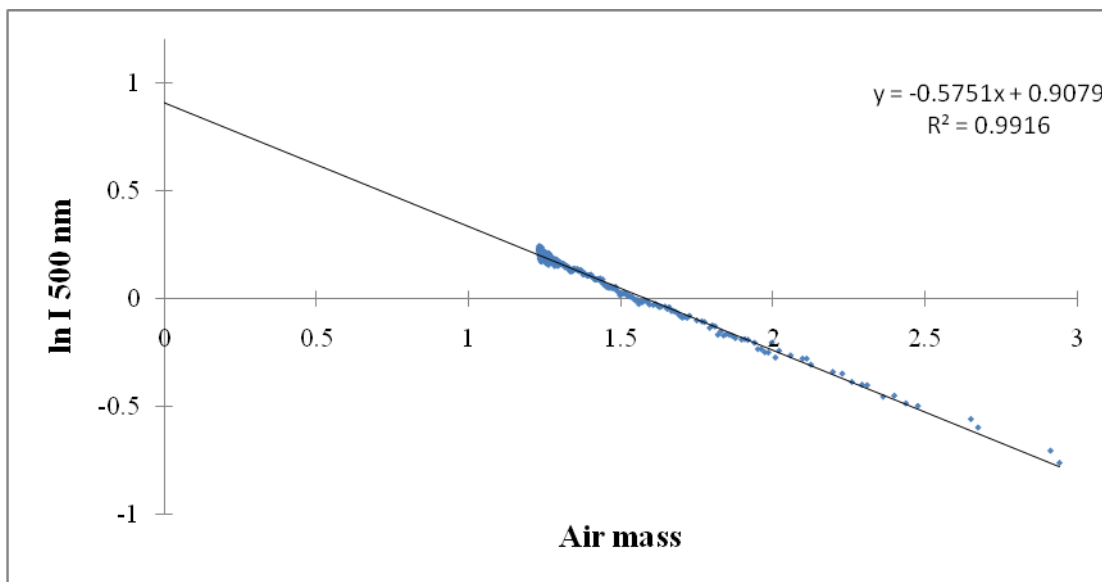
ภาพประกอบ 87 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.4027  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.8506 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9806$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546



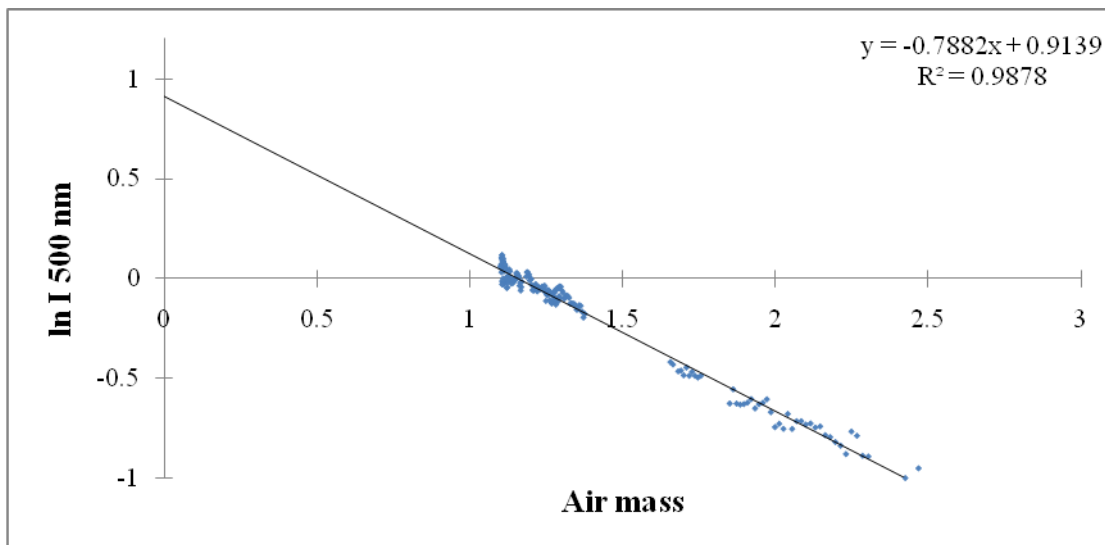
ภาพประกอบ 88 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5389  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.9599 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9860$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



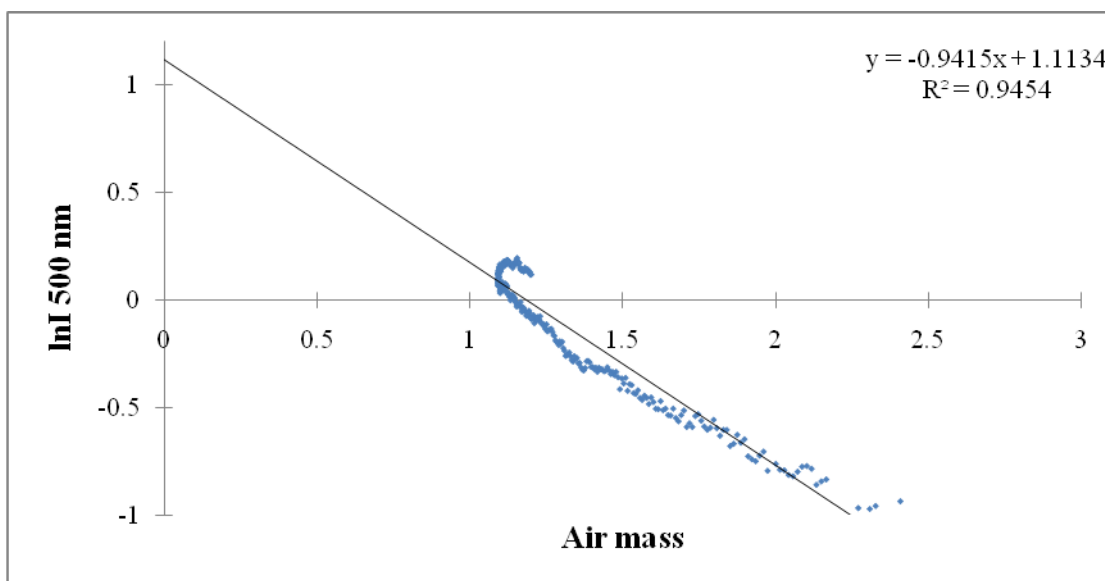
ภาพประกอบ 89 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.4309  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.9232 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9786$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



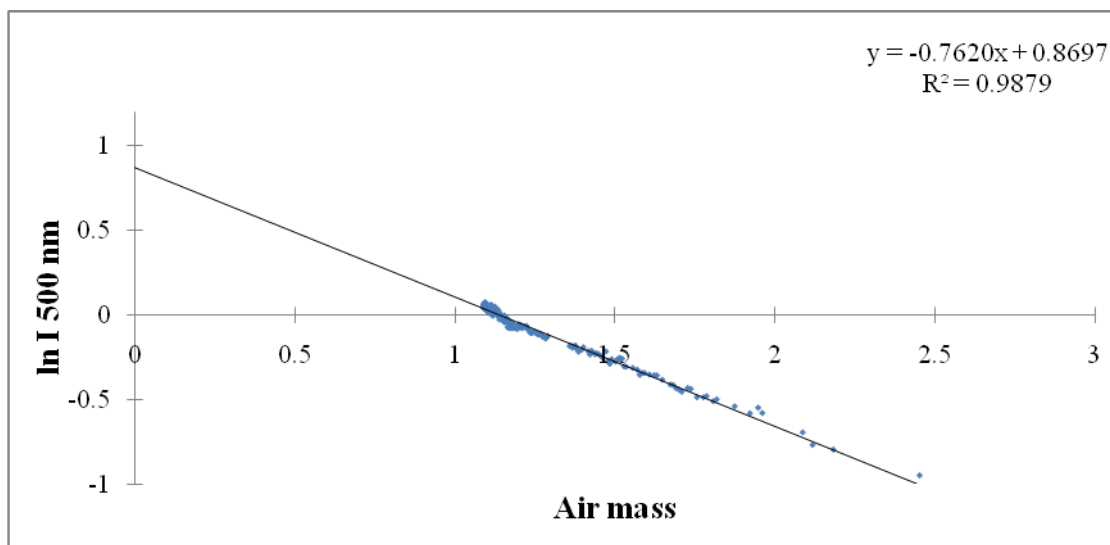
ภาพประกอบ 90 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5751  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.9079 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9916$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546



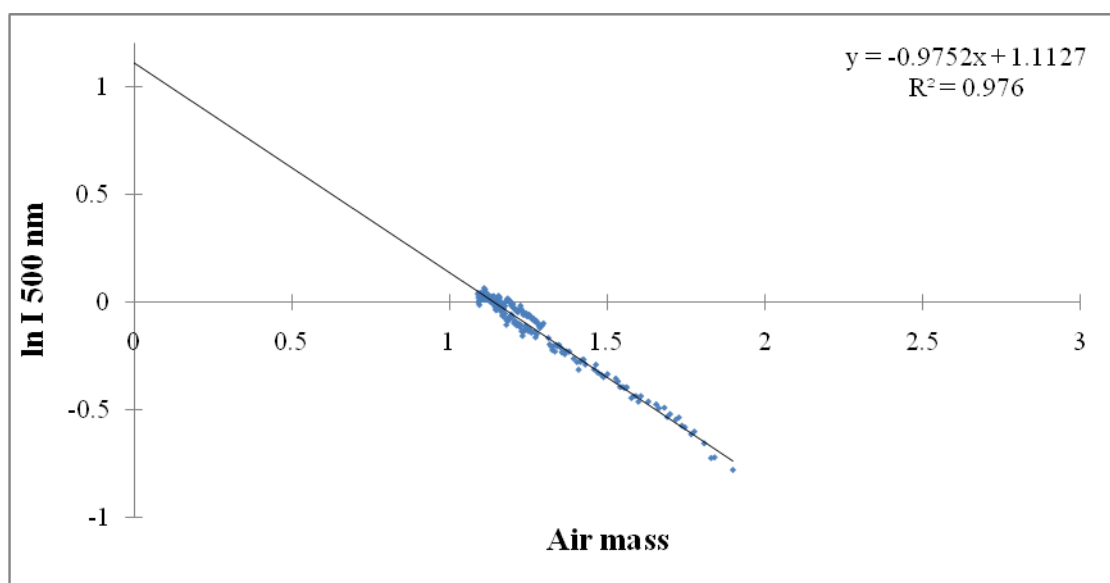
ภาพประกอบ 91 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.7882 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.9136$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9878$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546



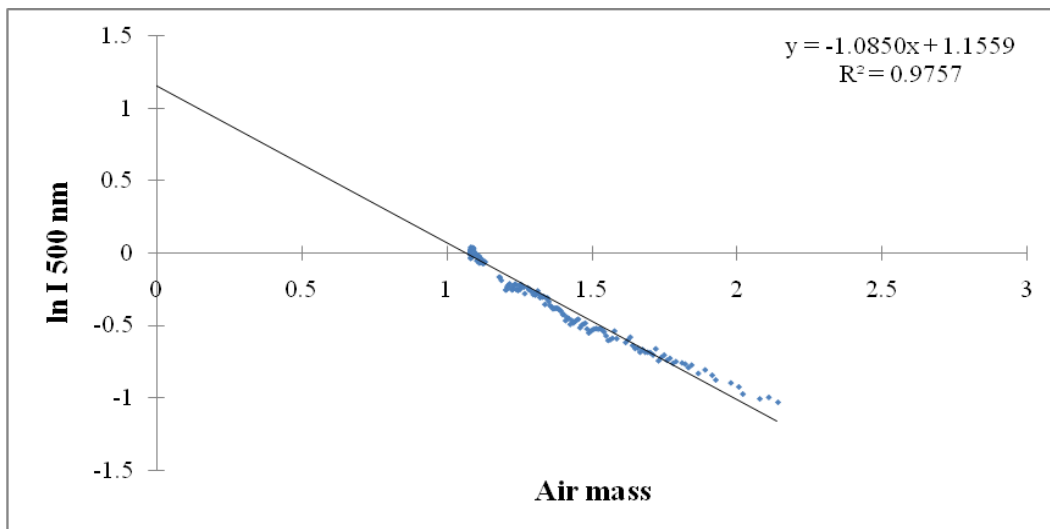
ภาพประกอบ 92 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.9415 \ln I_0$  เท่ากับ  $1.1134$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9454$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 93 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.762  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.8697 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9879$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

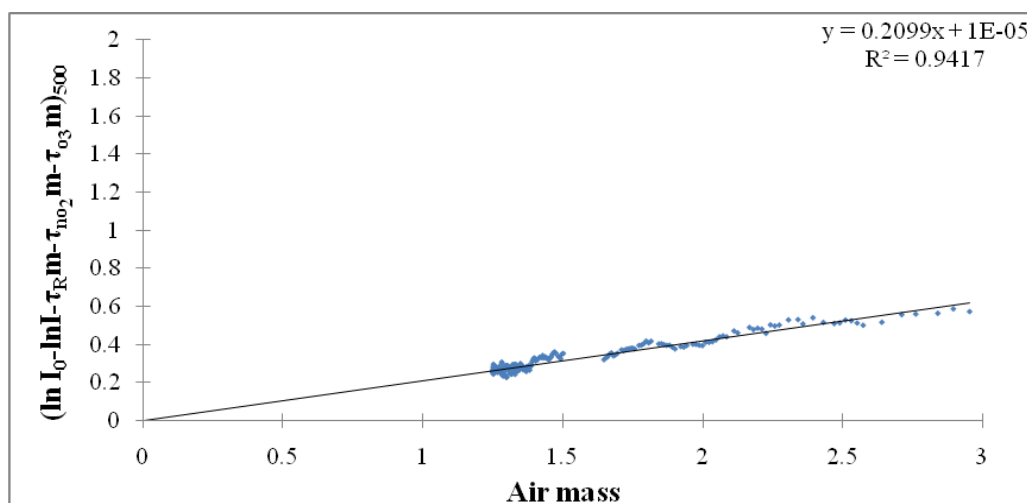


ภาพประกอบ 94 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.9752  $\ln I_0$  เท่ากับ 1.1127 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.976$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546

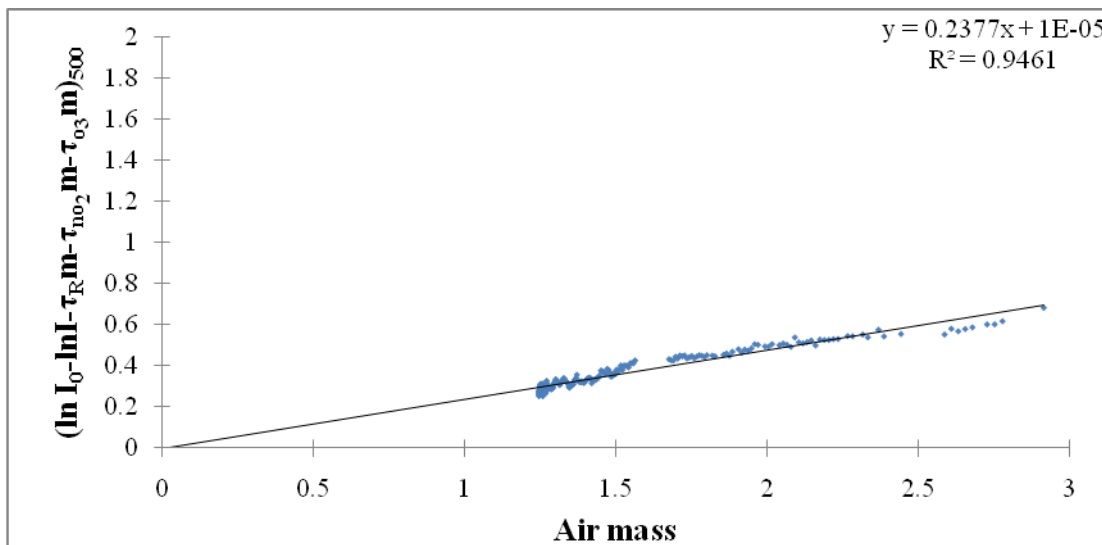


ภาพประกอบ 95 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 1.085  $\ln I_0$  เท่ากับ 1.1559 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9757$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

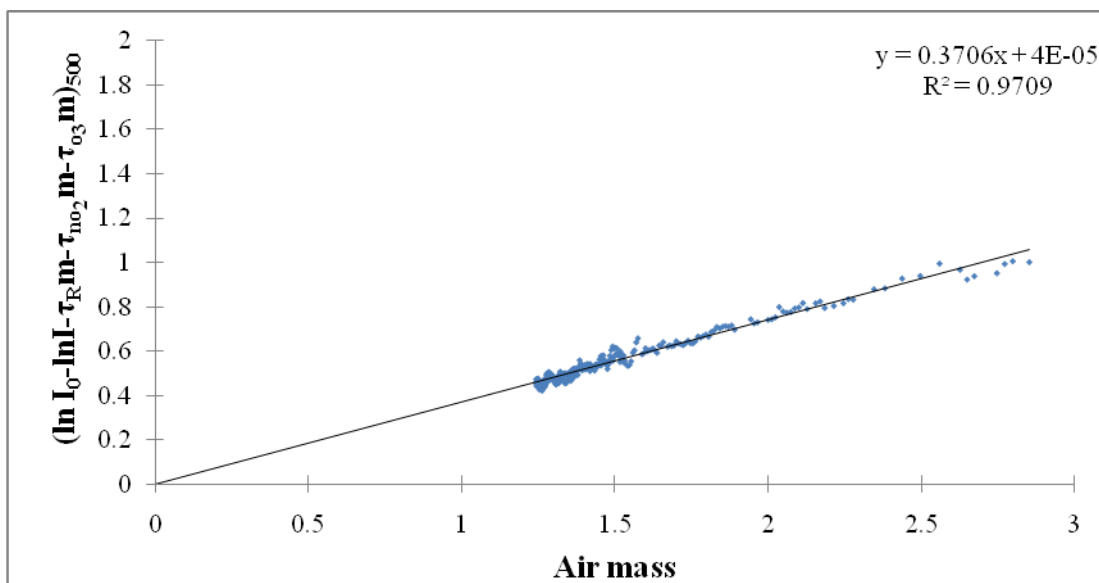
6. ผลการดำเนินการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ทำการปรับกราฟสมการเส้นตรง ได้ ความชัน (Slope) คือ  $\tau_a$  และจุดตัดเป็น  $C_{500} = -\ln C_{500}$  ซึ่ง  $C$  เป็นค่าคงตัวของการปรับเทียบเครื่องมือที่ช่องสัญญาณ 500 nm ดังภาพประกอบที่ 97 - 105



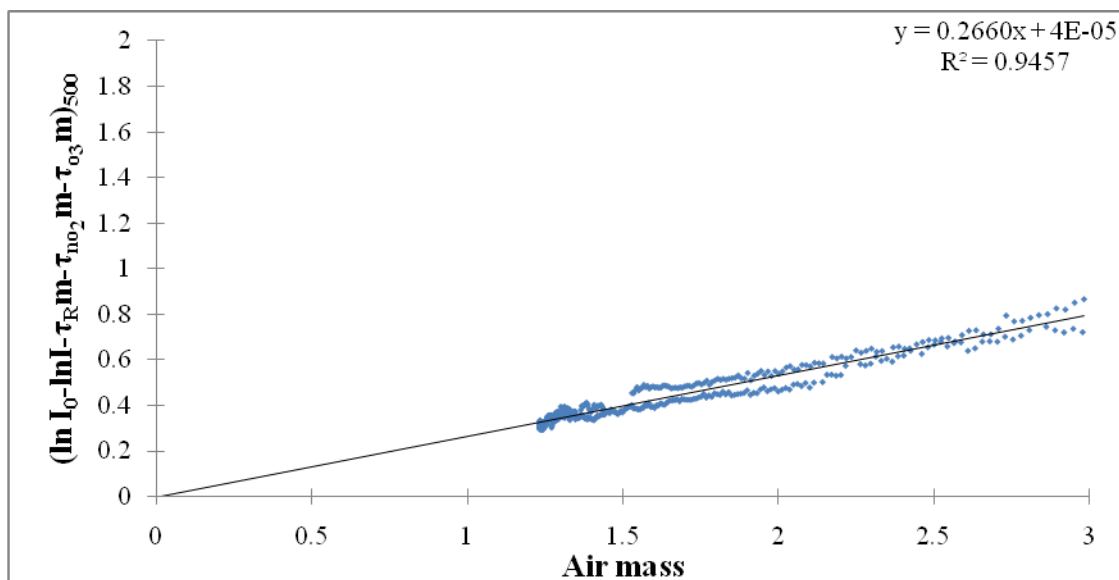
ภาพประกอบ 96 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2099 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9417$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546



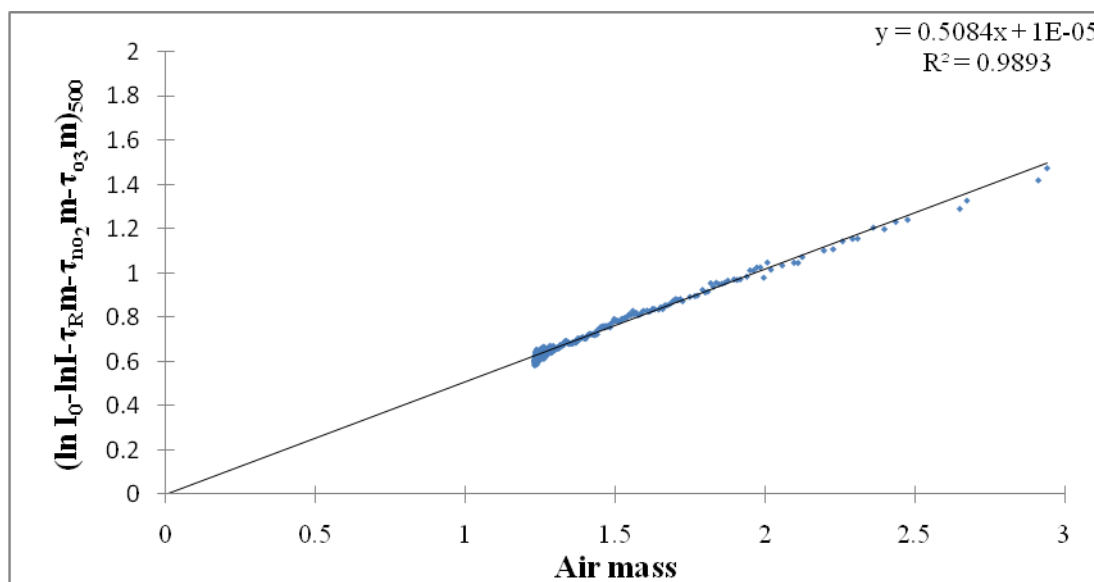
ภาพประกอบ 97 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2377 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9461$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546



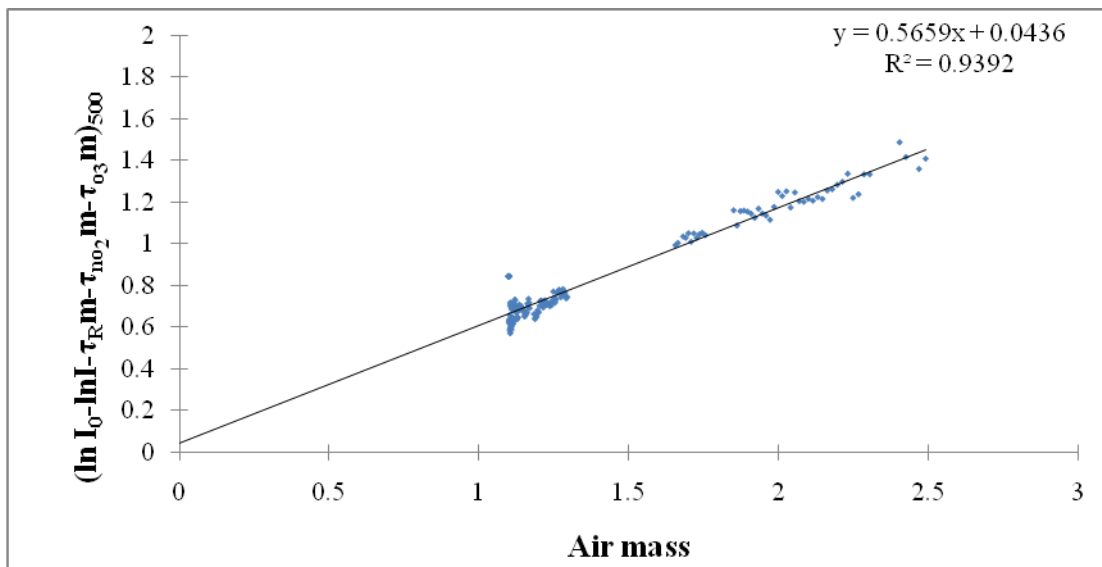
ภาพประกอบ 98 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.3706 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9709$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



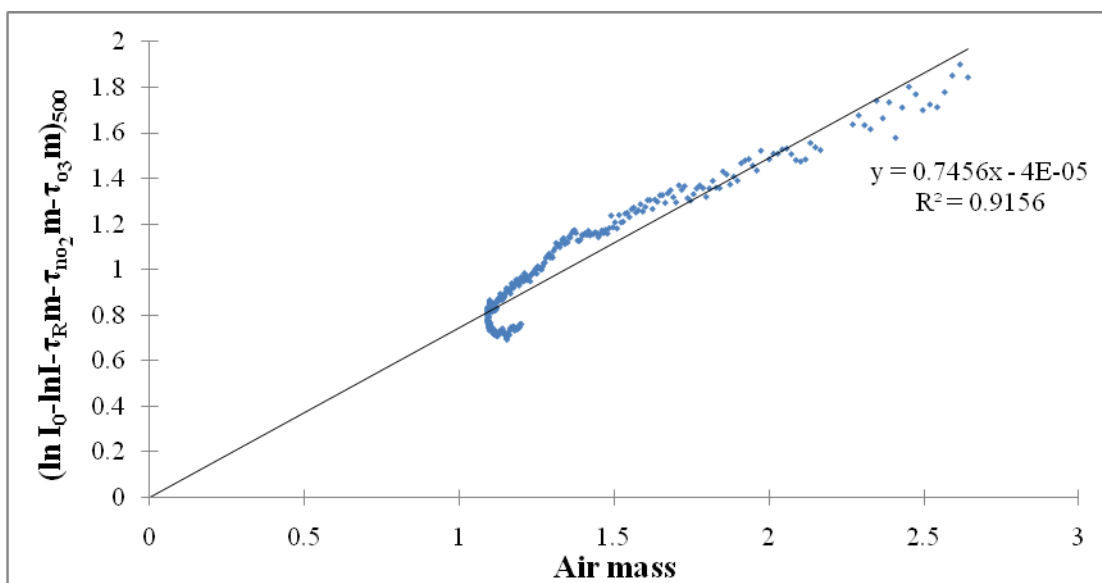
ภาพประกอบ 99 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2660 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9457$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 100 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.5084 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9893$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546

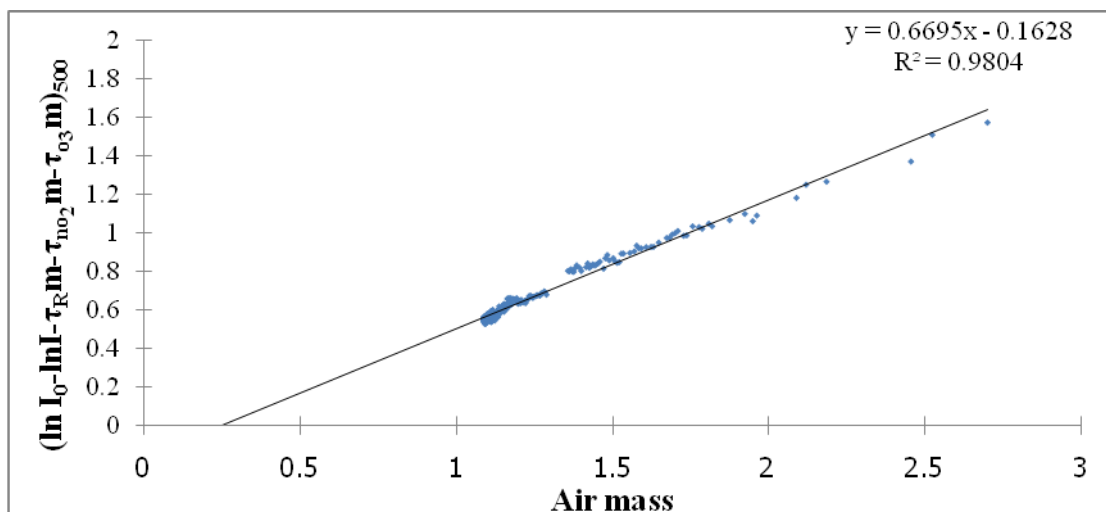


ภาพประกอบ 101 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.5659 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 0.9573$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9392$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546

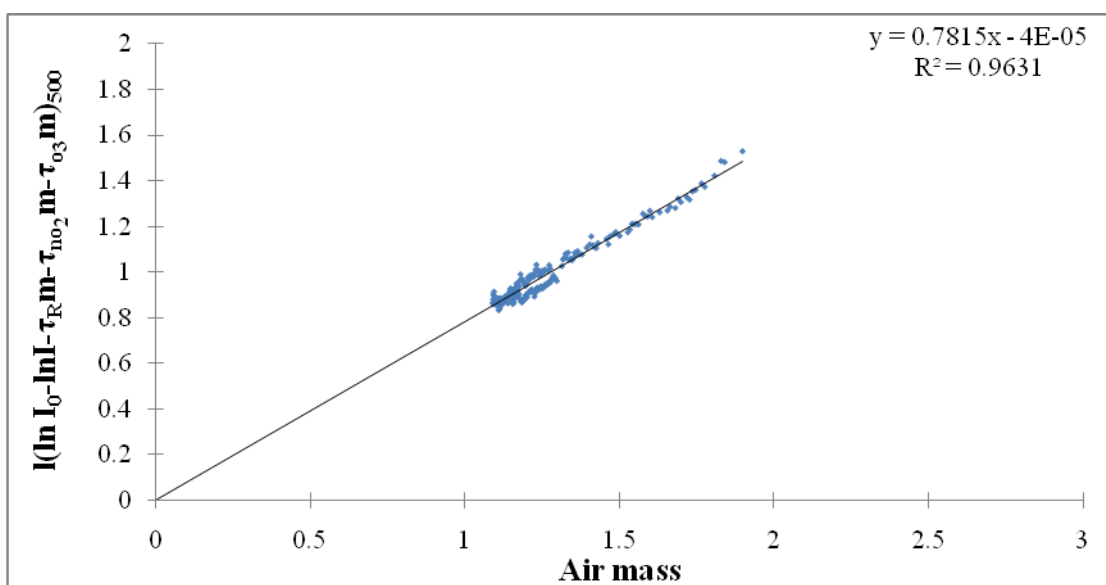


ภาพประกอบ 102 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.7456 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9156$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546

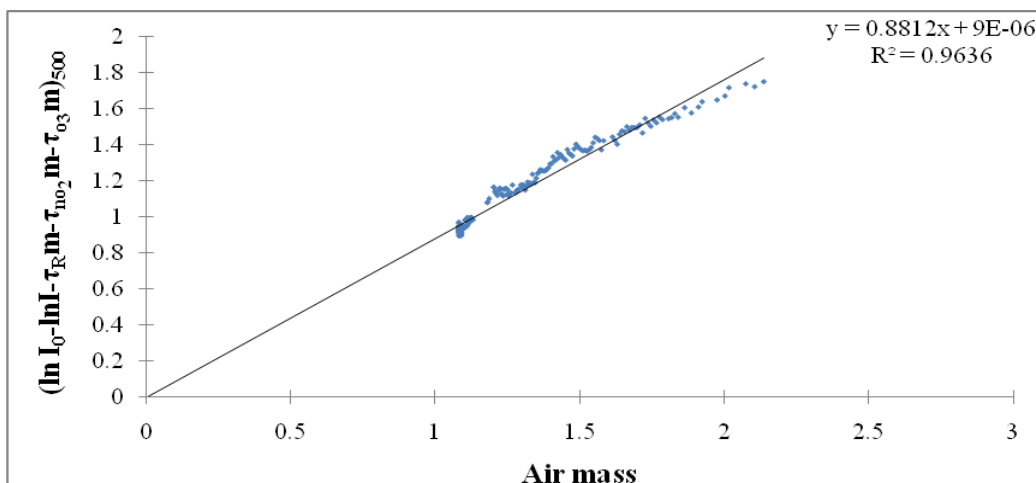




ภาพประกอบ 103 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.6695 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 0.8498$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9156$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

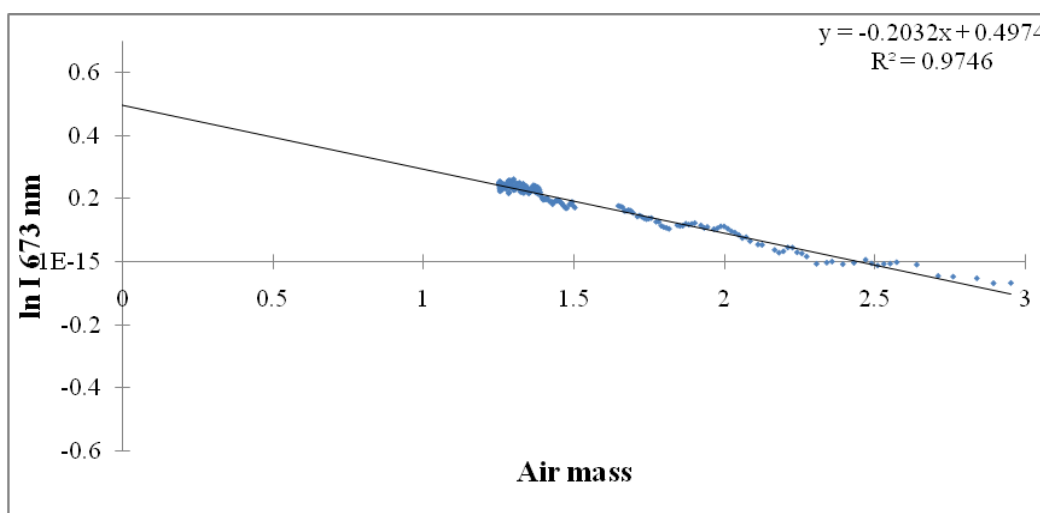


ภาพประกอบ 104 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.7815 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9631$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546

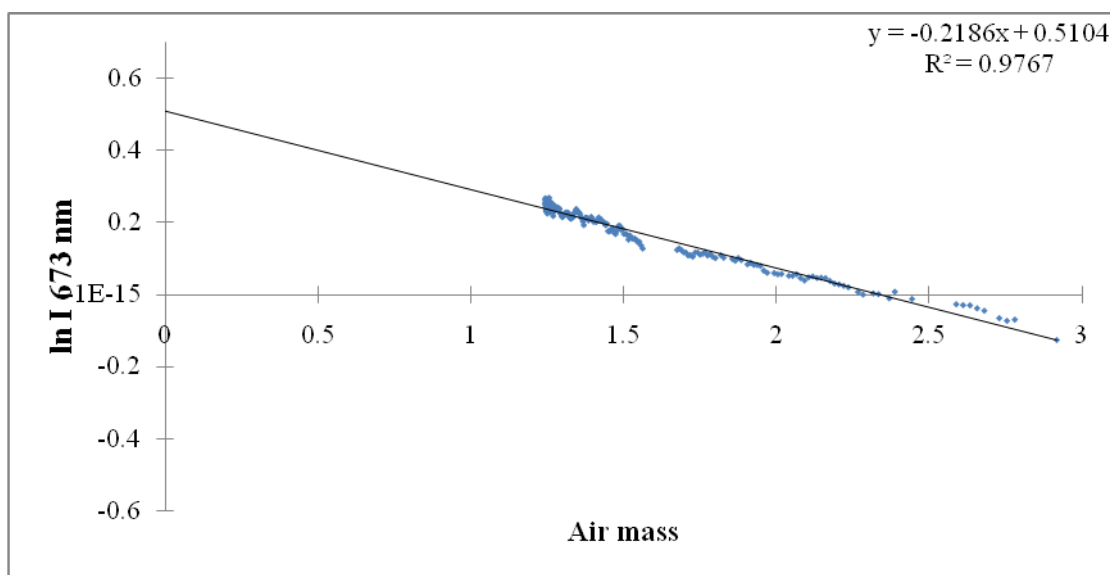


ภาพประกอบ 105 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{NO_2} m - \tau_{O_3} m)_{500}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 500 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.8812 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9636$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

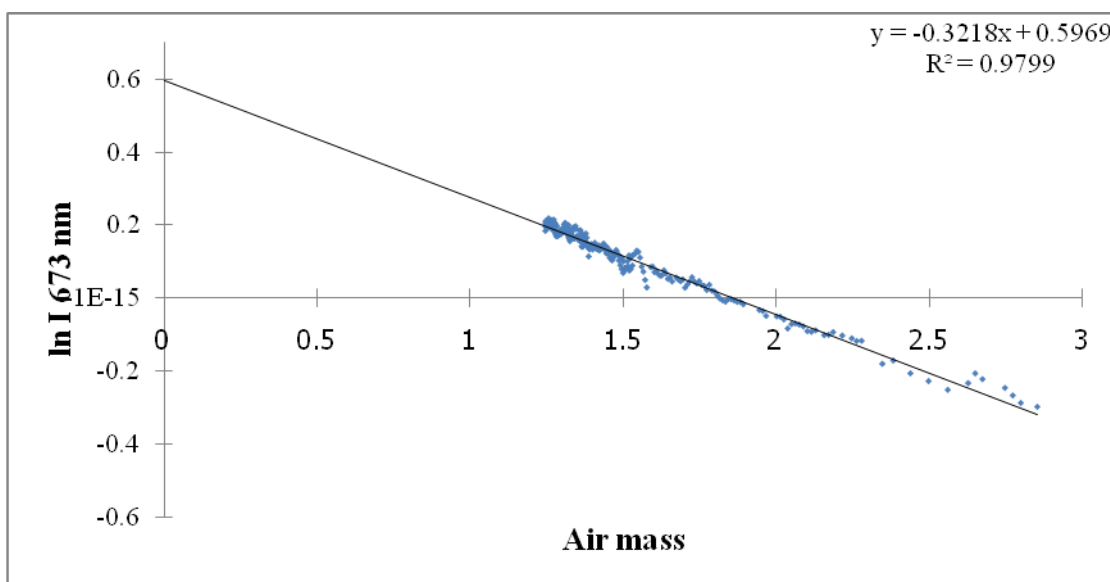
11. ผลการดำเนินการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึกรธรรมชาติของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) และทำการปรับกราฟสมการเส้นตรงจะได้ความชัน (Slope) คือ ค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศก่อนการปรับเทียบ;  $\tau'$  และจุดตัดคือ  $\ln I_0$  ของความยาวคลื่น 673 nm ดังแสดงในภาพประกอบ 106- 115



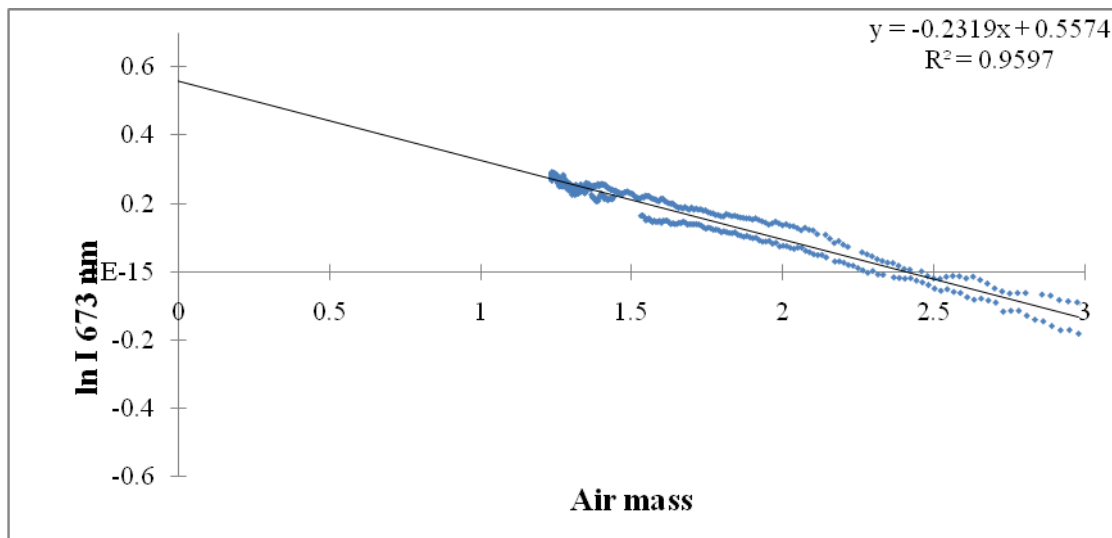
ภาพประกอบ 106 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลึกรธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.2032  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.4974 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9746$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546



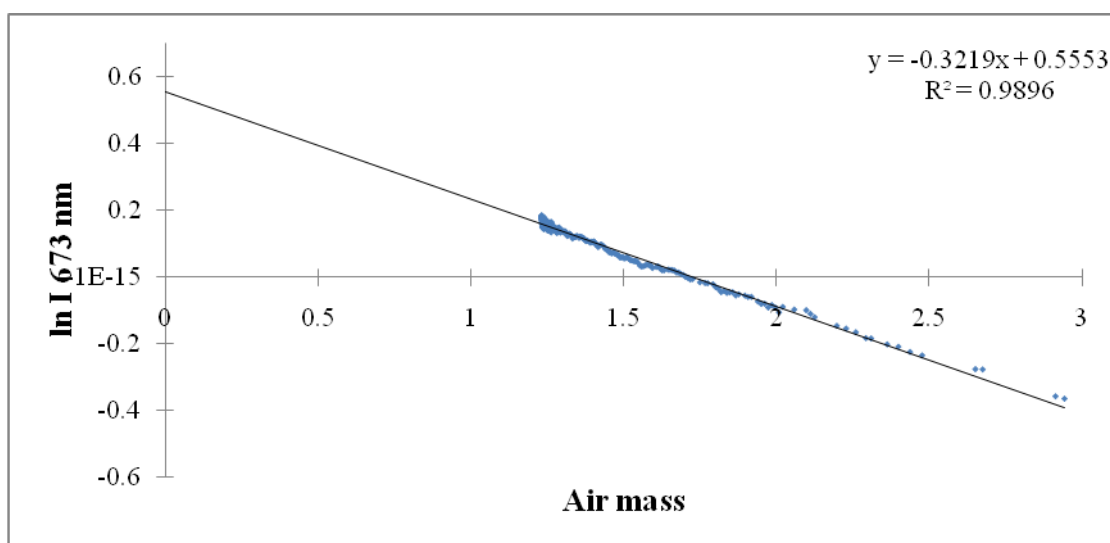
ภาพประกอบ 107 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.2186 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.5104$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9767$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546



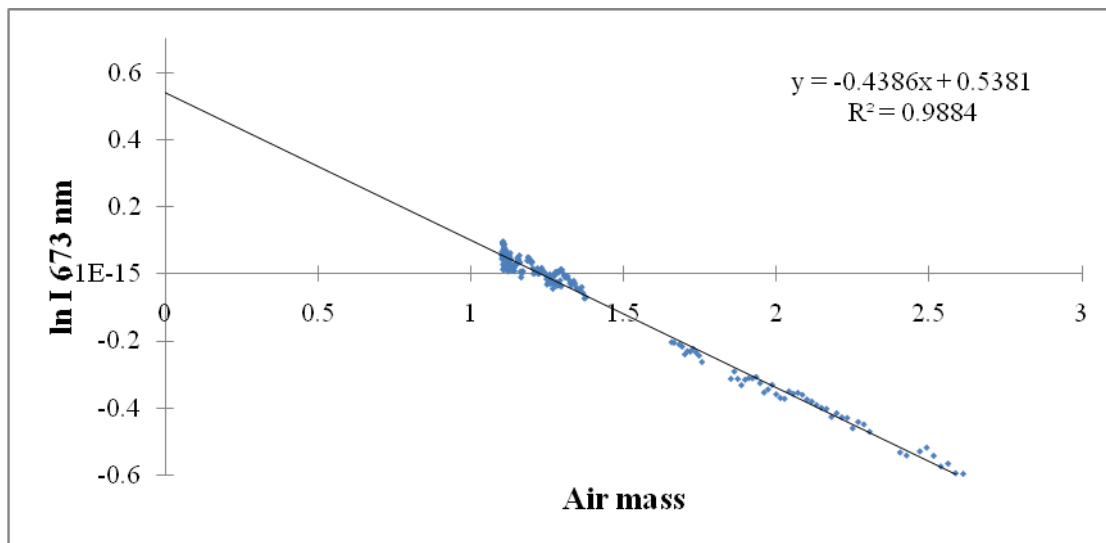
ภาพประกอบ 108 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.3218 \ln I_0$  เท่ากับ  $0.5969$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9799$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



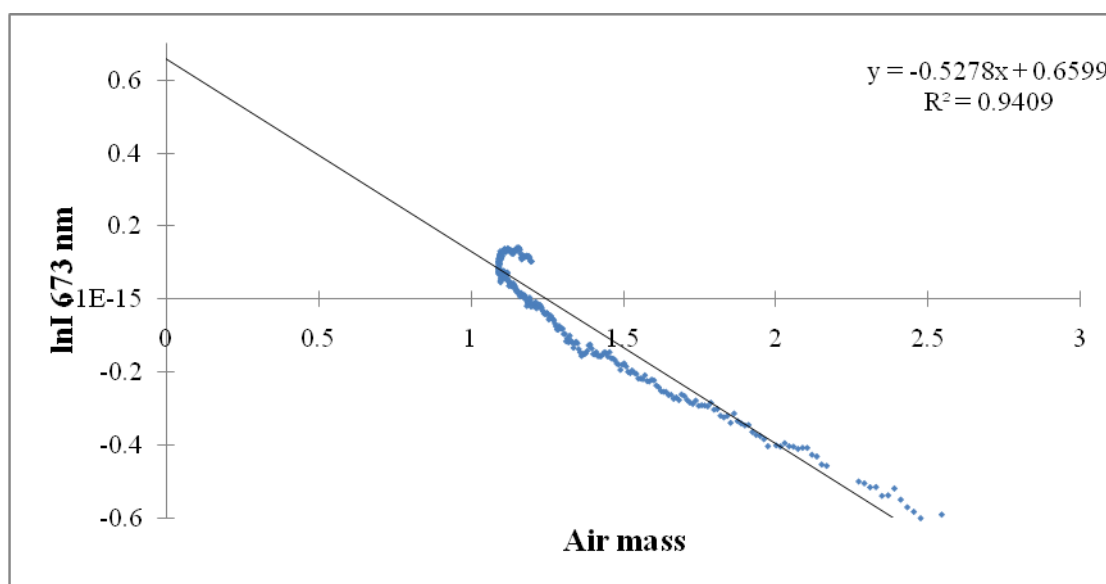
ภาพประกอบ 109 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.2319 \ln I_0$  เท่ากับ 0.5574 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9597$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



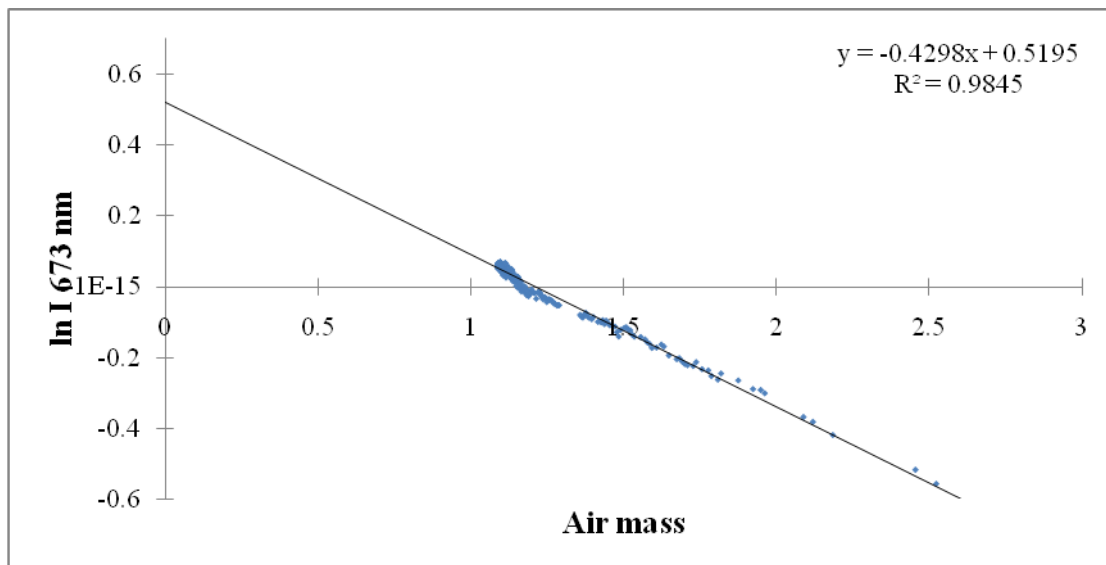
ภาพประกอบ 110 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ  $0.3219 \ln I_0$  เท่ากับ 0.5553 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9896$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546



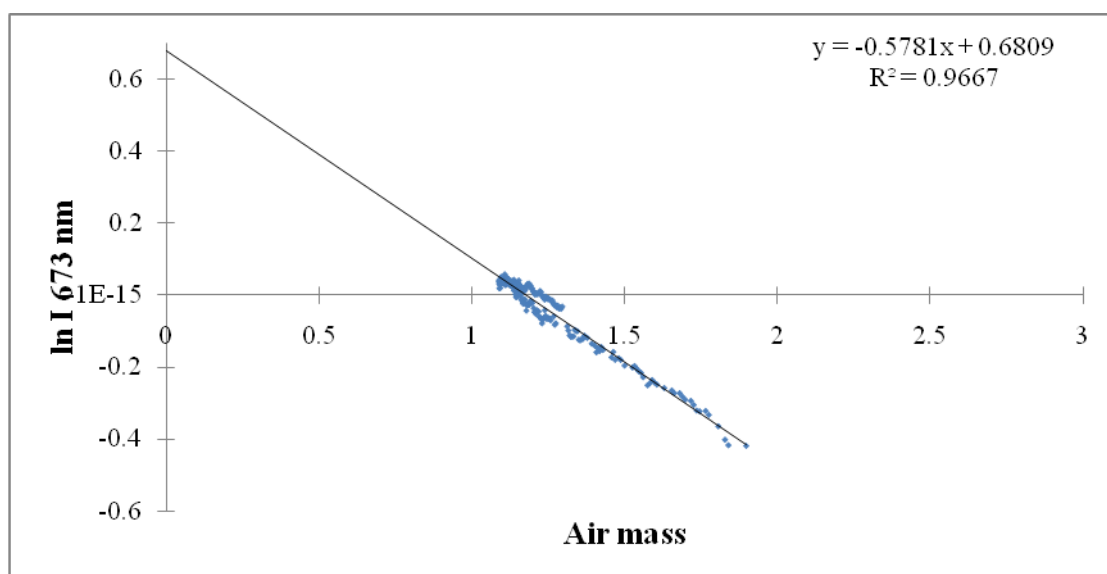
ภาพประกอบ 111 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.4386  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.5381 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9884$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546



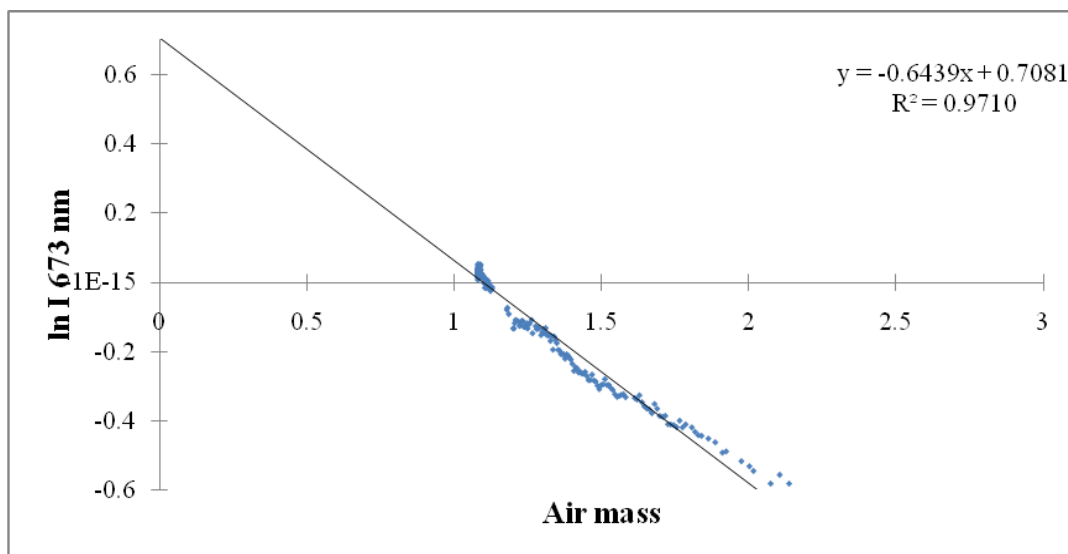
ภาพประกอบ 112 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5278  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.6599 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9409$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 113 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.4298  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.5195 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9845$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

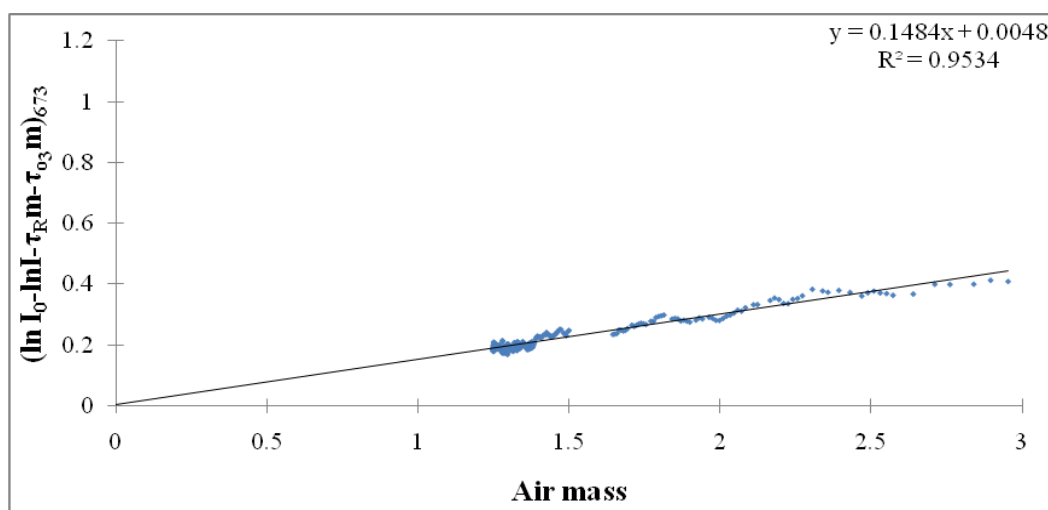


ภาพประกอบ 114 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.5781  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.6809 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9667$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546

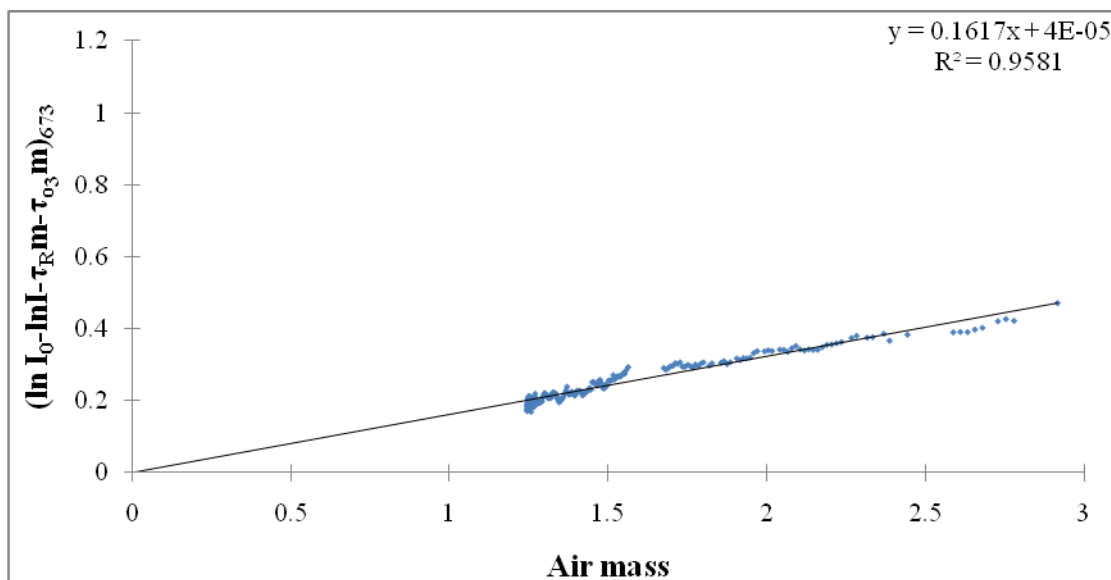


ภาพประกอบ 115 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก  $\ln I$  กับมวลอากาศเชิงแสง (Air mass) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งค่าความลึกเชิงแสงรวมในชั้นบรรยากาศ เท่ากับ 0.6439  $\ln I_0$  เท่ากับ 0.7081 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9710$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

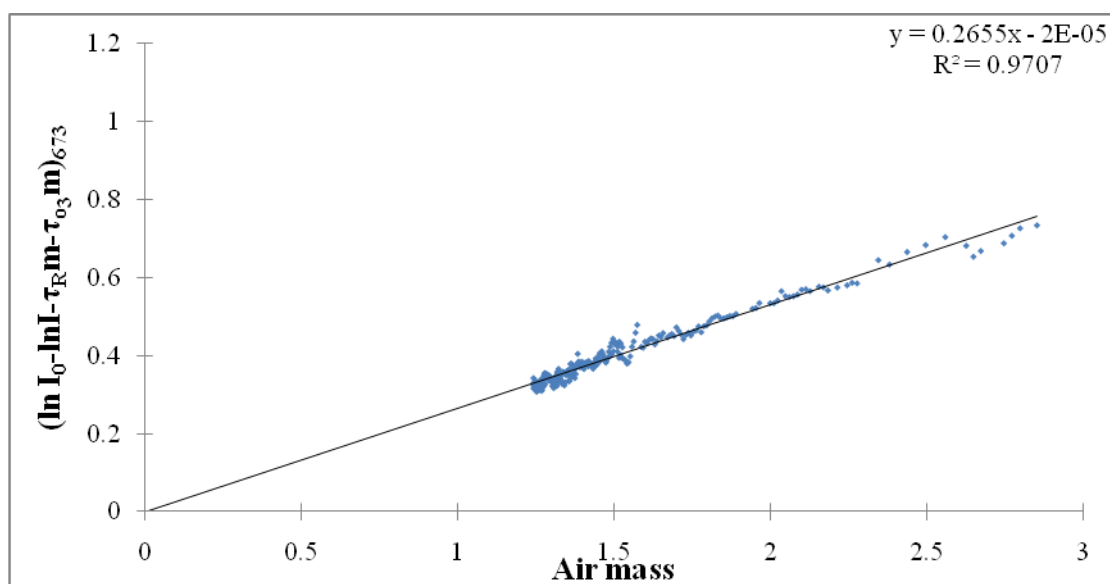
12. ผลการดำเนินการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$  กับมวลอากาศเชิงแสง  $m$  จะได้ ความชัน (Slope) คือ  $\tau_a$  และจุดตัดเป็น  $C_{673} = -\ln C_{673}$  ซึ่ง  $C$  เป็นค่าคงตัวของการเปรียบเทียบเครื่องมือที่ช่องสัญญาณ 673 nm ดังภาพประกอบ 116 - 125



ภาพประกอบ 116 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.1484 ค่าคงตัวการเปรียบเทียบ  $C = 0.9952$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9534$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546

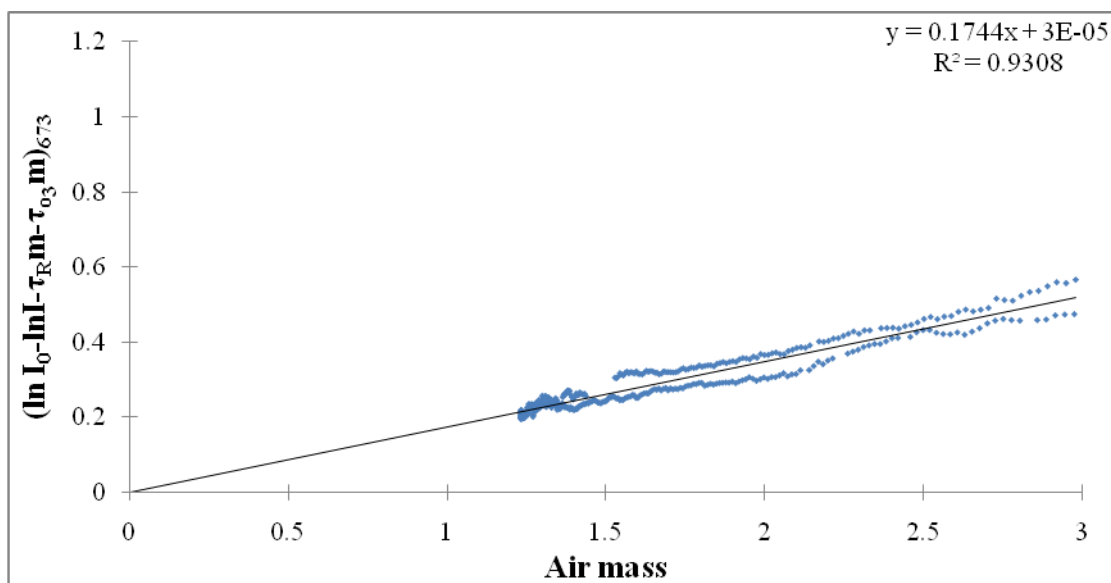


ภาพประกอบ 117 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.1617 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9581$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546

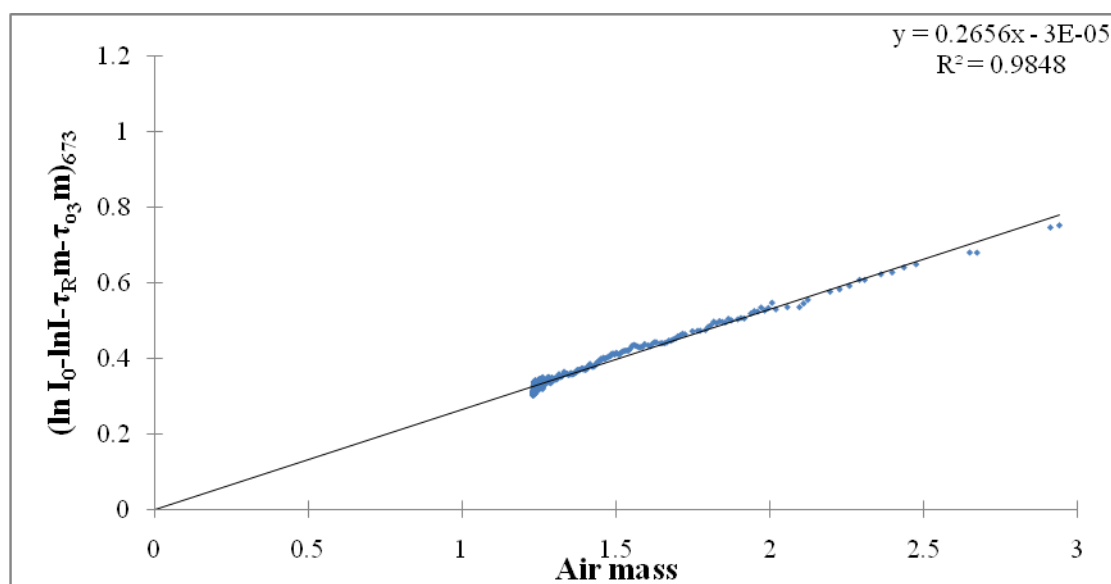


ภาพประกอบ 118 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2655 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9707$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546

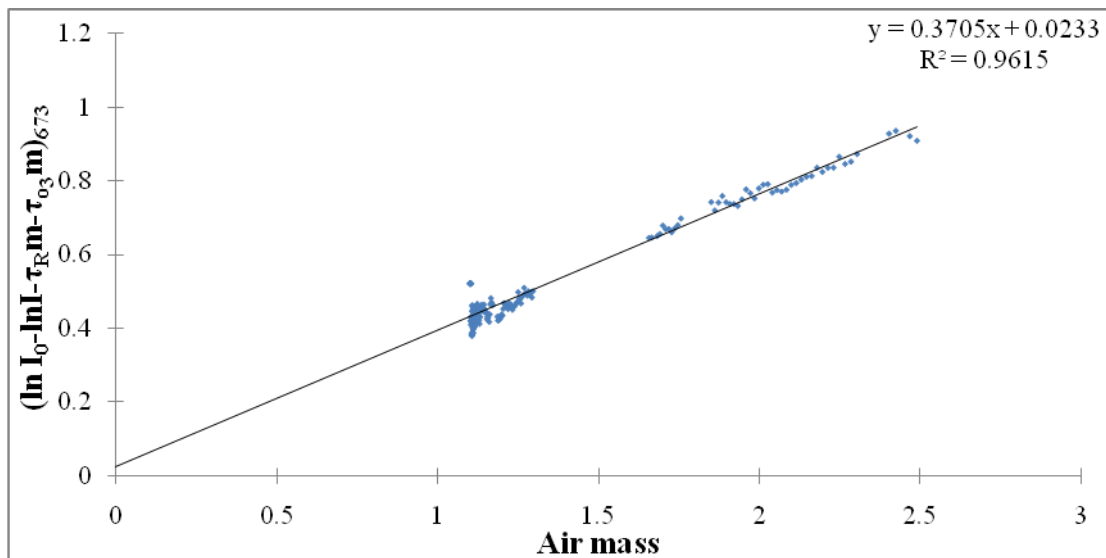




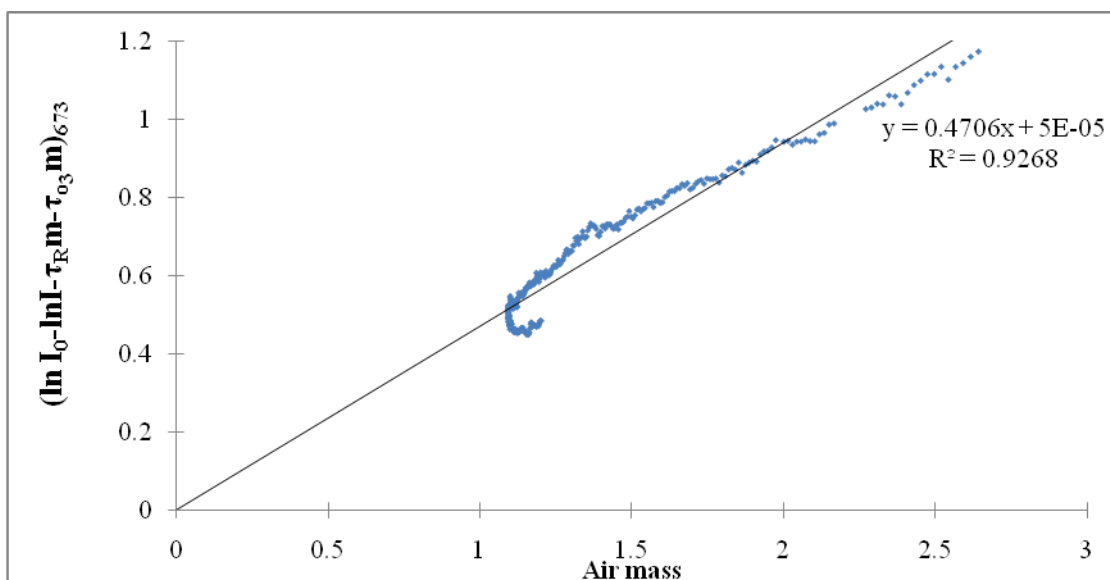
ภาพประกอบ 119 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{0.3} m) / 673$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.1744 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9308$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



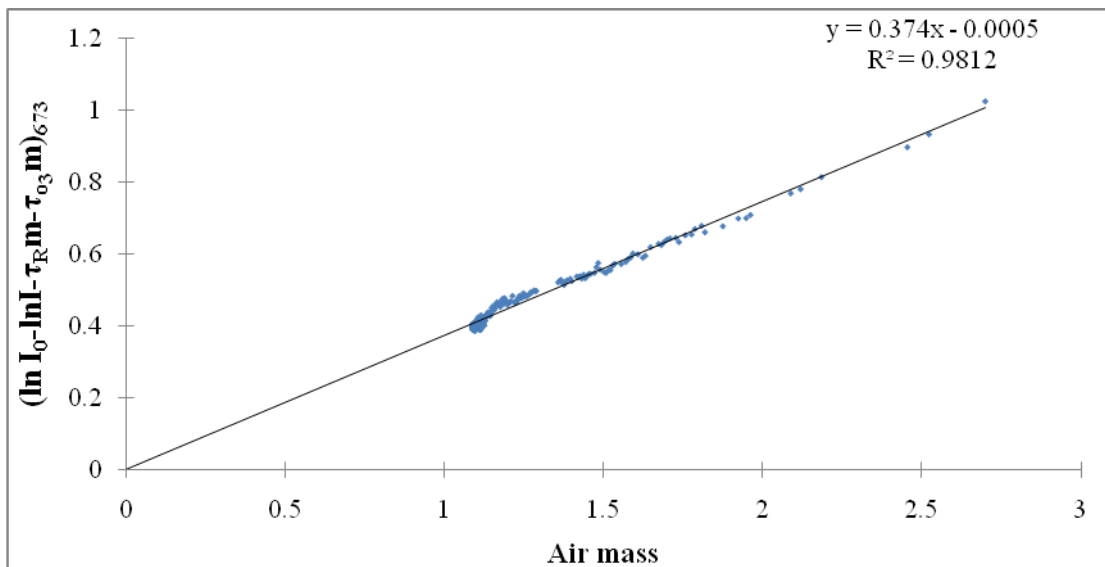
ภาพประกอบ 120 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{0.3} m) / 673$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.2656 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9848$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546



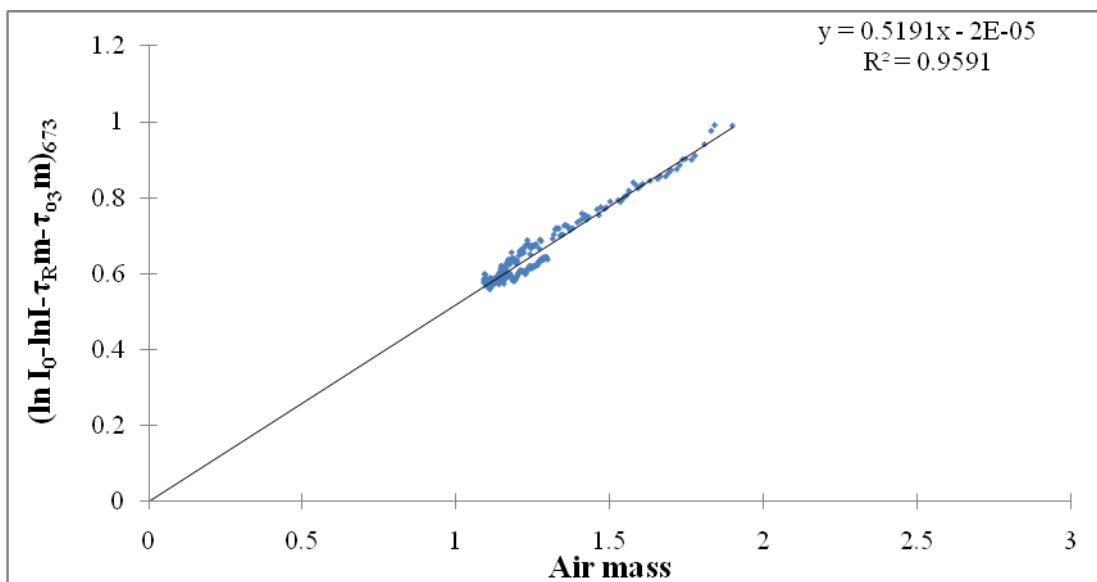
ภาพประกอบ 121 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{03} m) / 673$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.3705 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 0.9770$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9615$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546



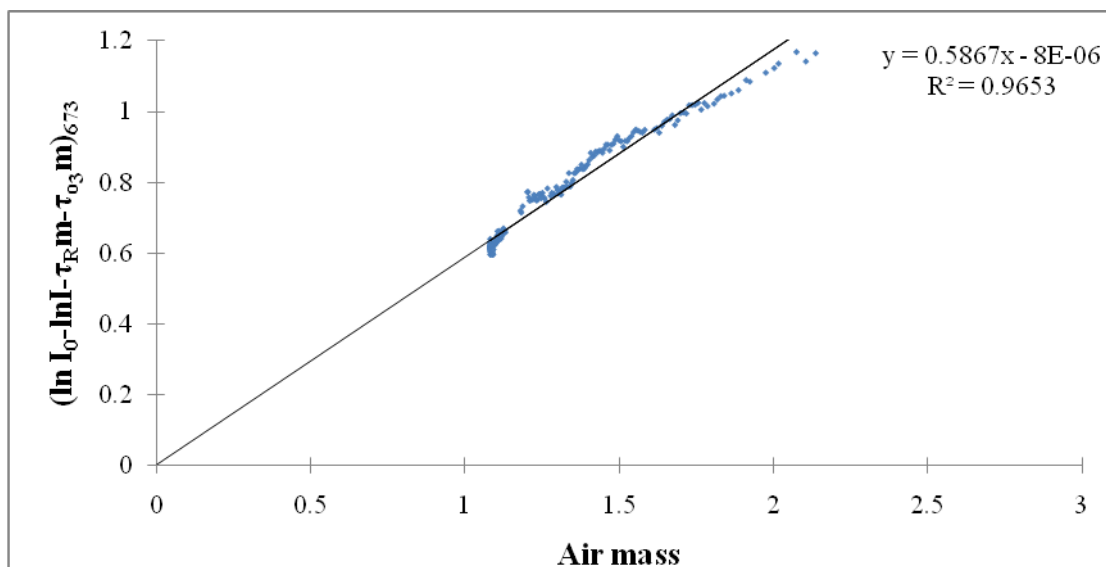
ภาพประกอบ 122 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{03} m) / 673$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.4706 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9268$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 123 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{03} m)_{673}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.374 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0004$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9812$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

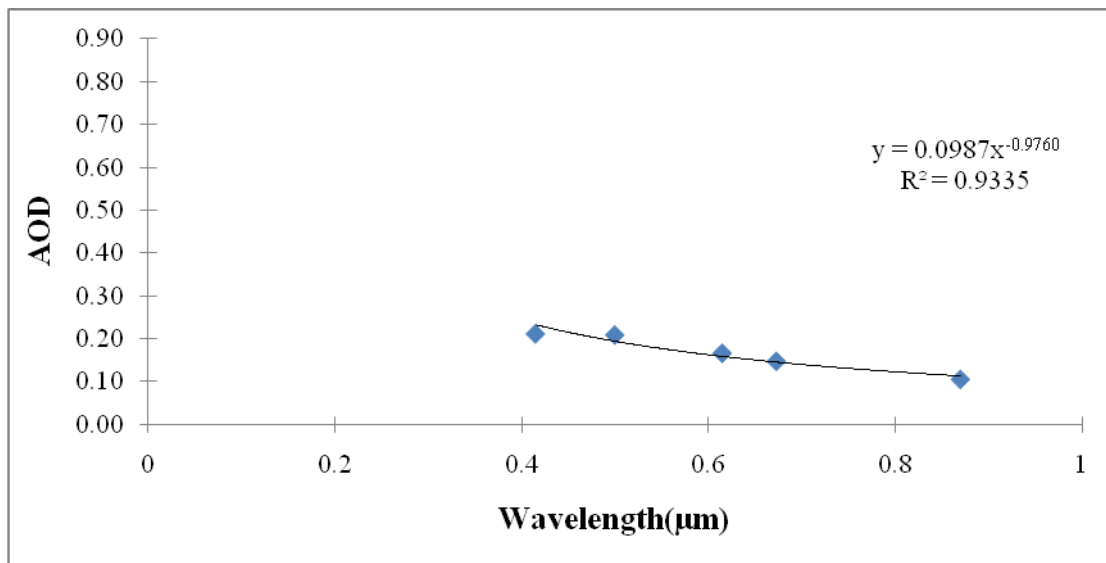


ภาพประกอบ 124 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{03} m)_{673}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.5191 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9591$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546

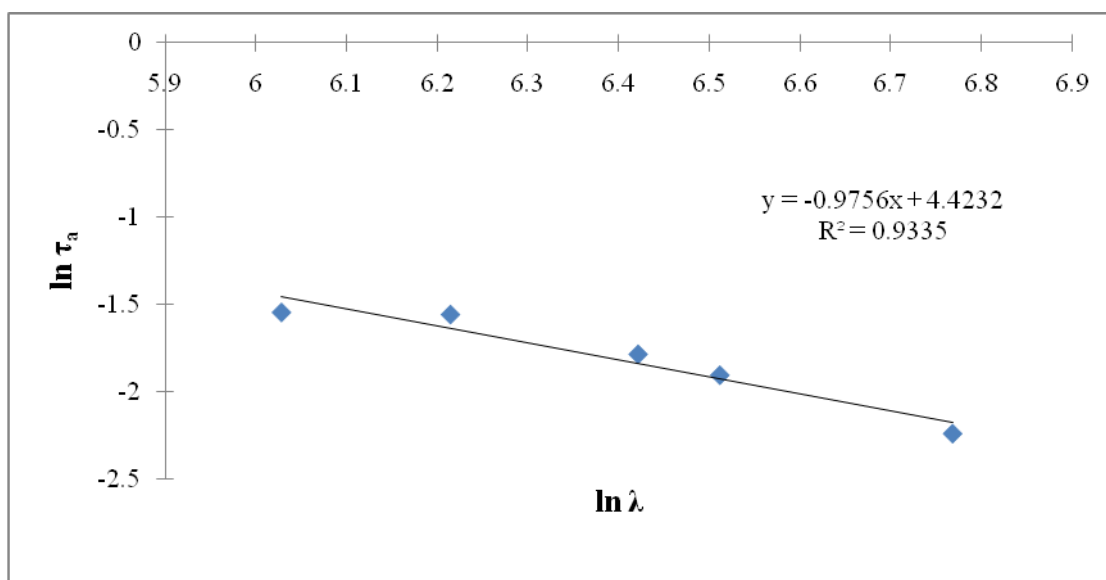


ภาพประกอบ 120 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m - \tau_{O_3} m)_{673}$  กับ มวลอากาศเชิงแสง  $m$  (ไม่เกิน 3) ที่ความยาวคลื่น 673 nm ซึ่งจะได้ความชัน (Slope) คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย เท่ากับ 0.5867 ค่าคงตัวการปรับเทียบ  $C = 1.0000$  และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9653$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

13. ผลการดำเนินการคำนวณสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient :  $\beta$ ) และอังสตรอมเอ็กโพเนนท์ (Angstrom exponent :  $\alpha$ ) และตามสมการ (2-16) ดังที่แสดงในภาพประกอบ 126 - 135

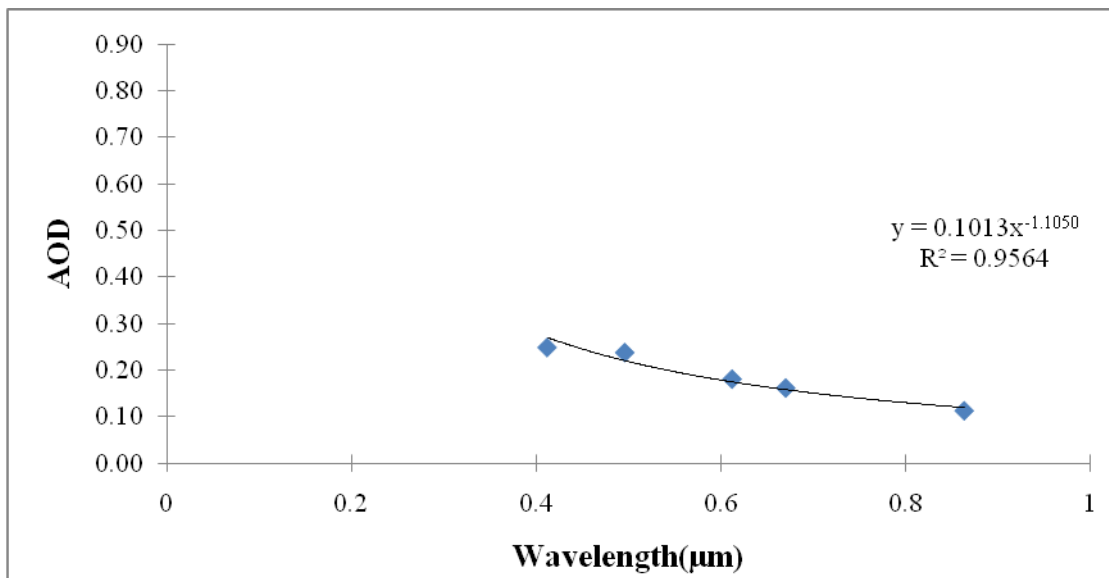


126(a)

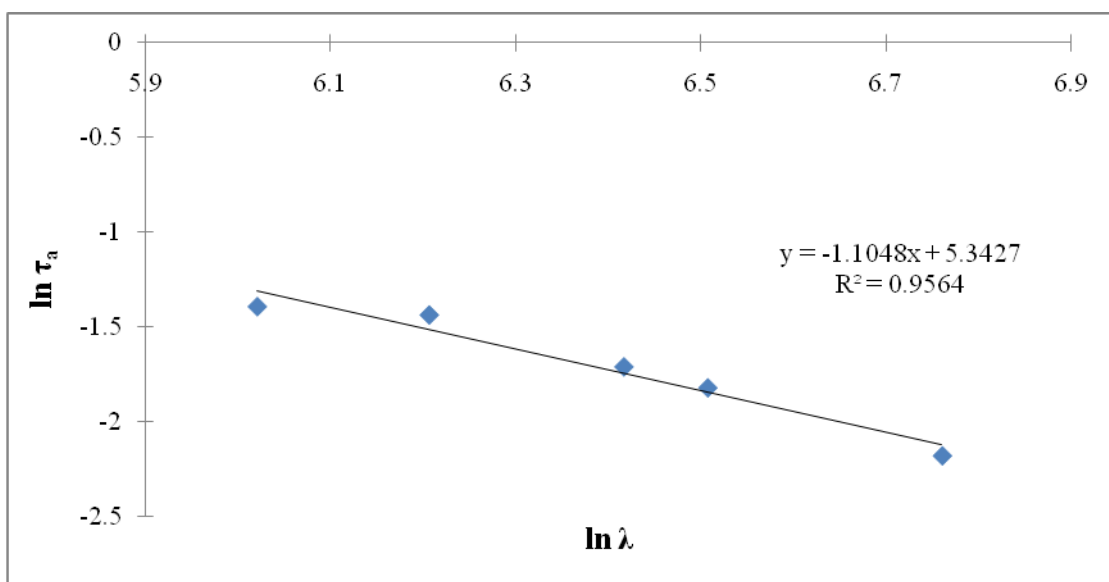


126(b)

ภาพประกอบ 126 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ตั้งสตรอมเอ็กโพเนนท์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 0.9756 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient : $\beta$ ) เท่ากับ 0.0987 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9335$  ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546

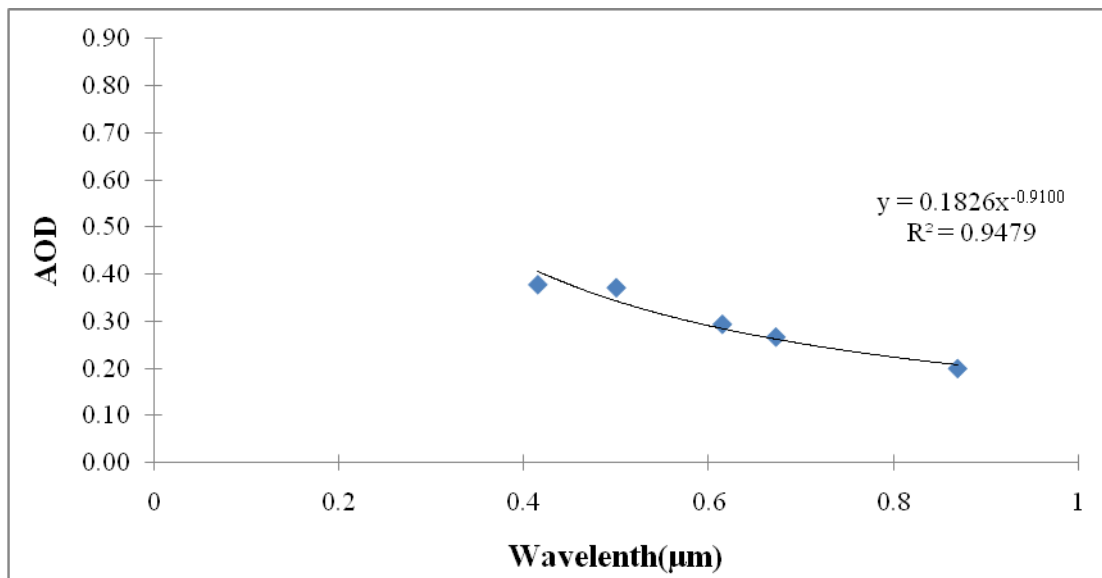


127(a)

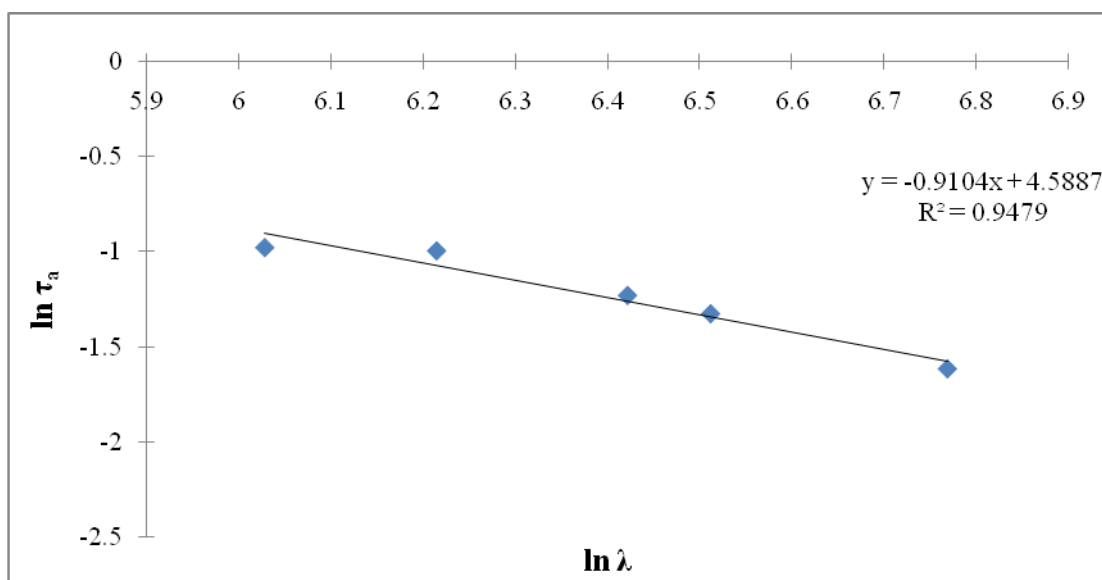


127(b)

ภาพประกอบ 127 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\text{AOD}$ ,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้เอ็กซ์โพเนนต์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 1.1048 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) เท่ากับ 0.1013 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9564$  ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546

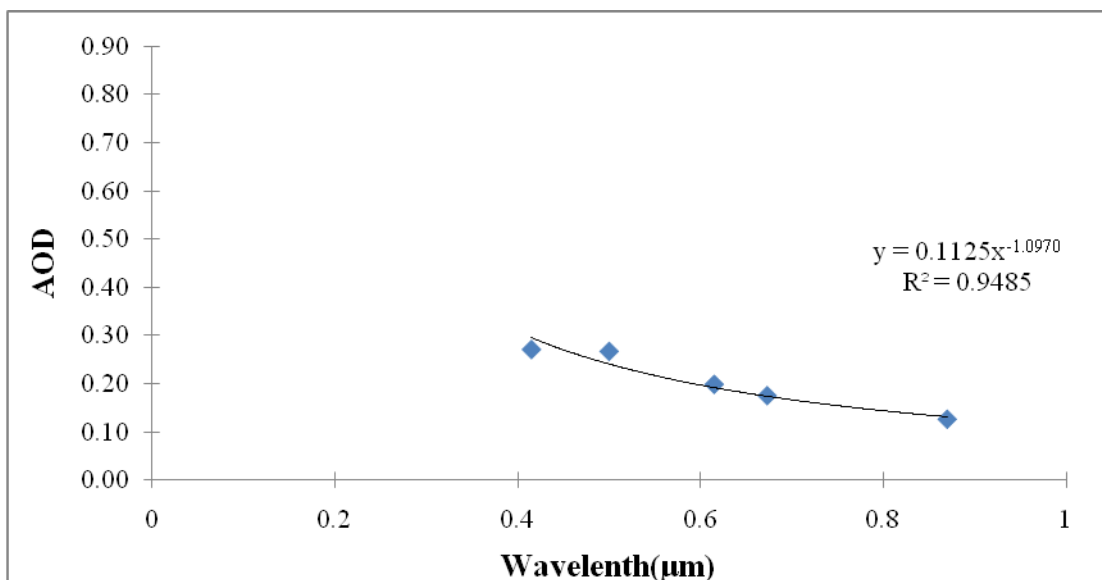


128(a)

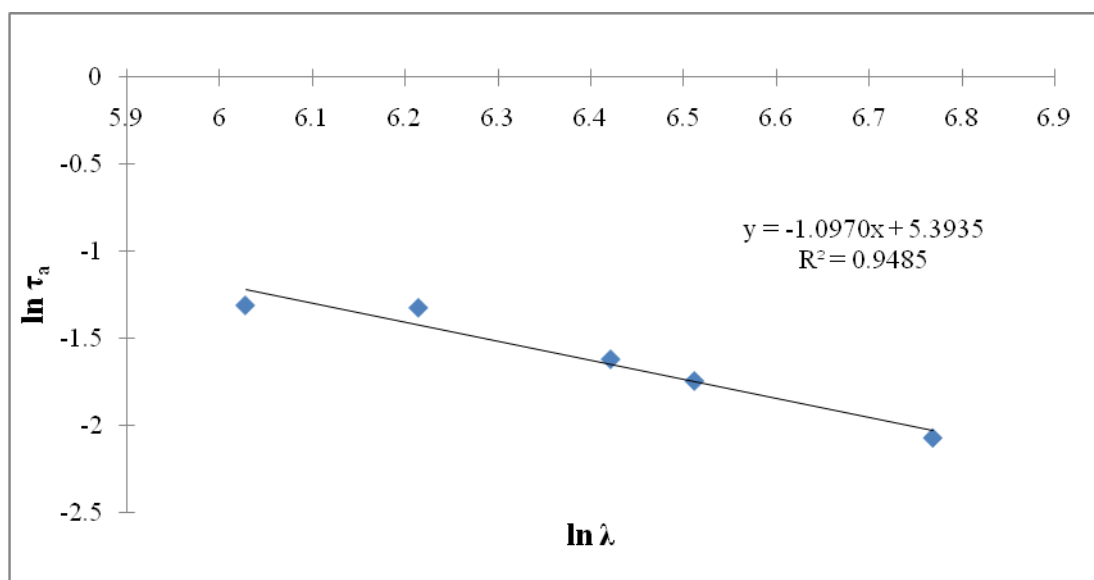


128(b)

ภาพประกอบ 128 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $AOD$ ,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้เอียงสตรอมเอ็กโพเนนท์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 0.9104 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) เท่ากับ 0.1826 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9479$  ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546



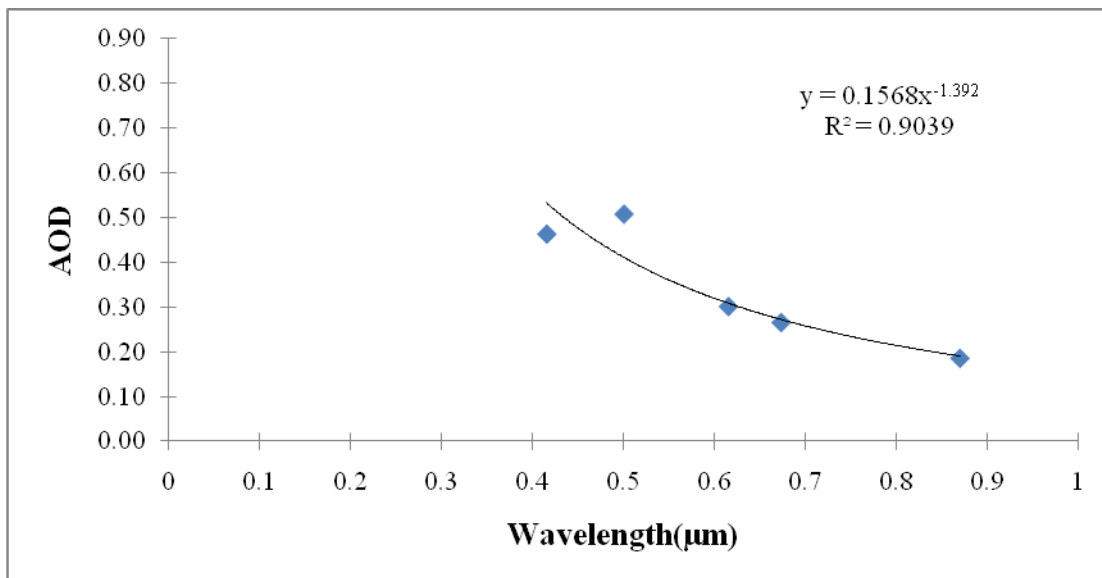
129(a)



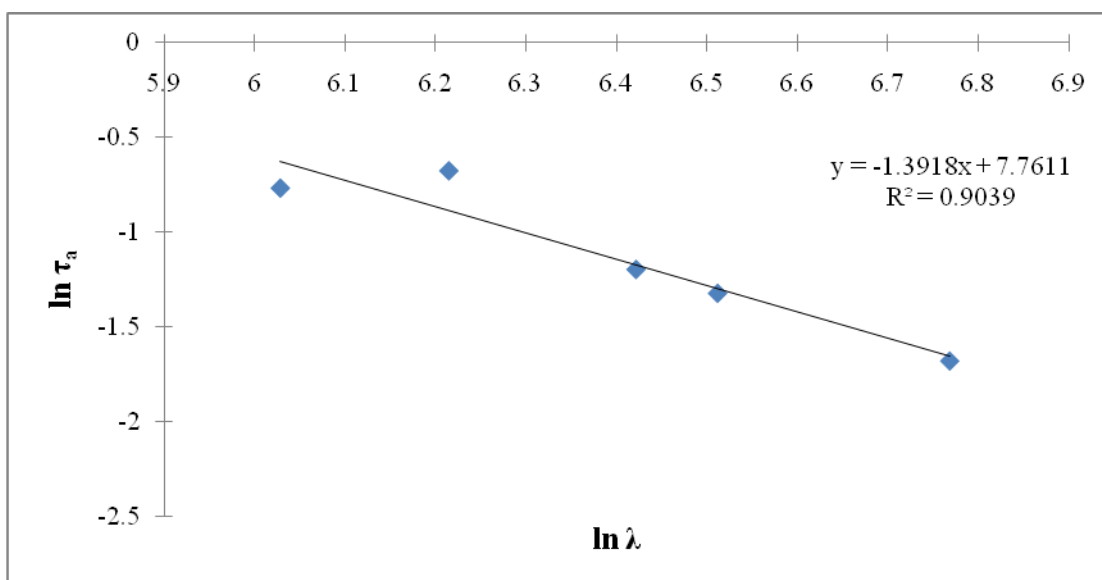
129(b)

ภาพประกอบ 129 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $AOD$ ,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้เอ็กซ์โพเนนต์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 1.0970 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) เท่ากับ 0.1125 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9485$  ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546



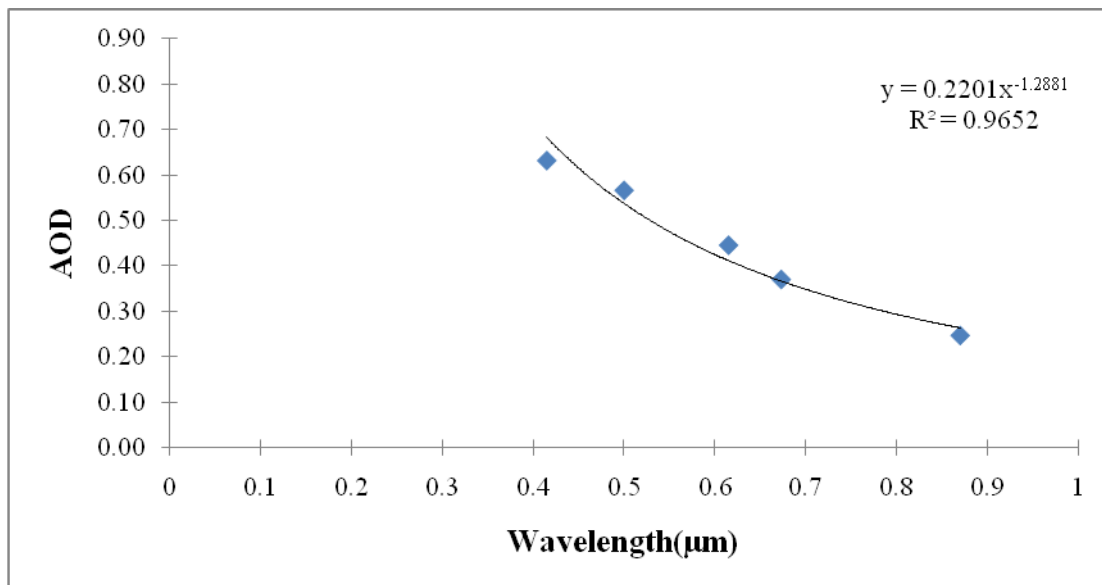


130(a)

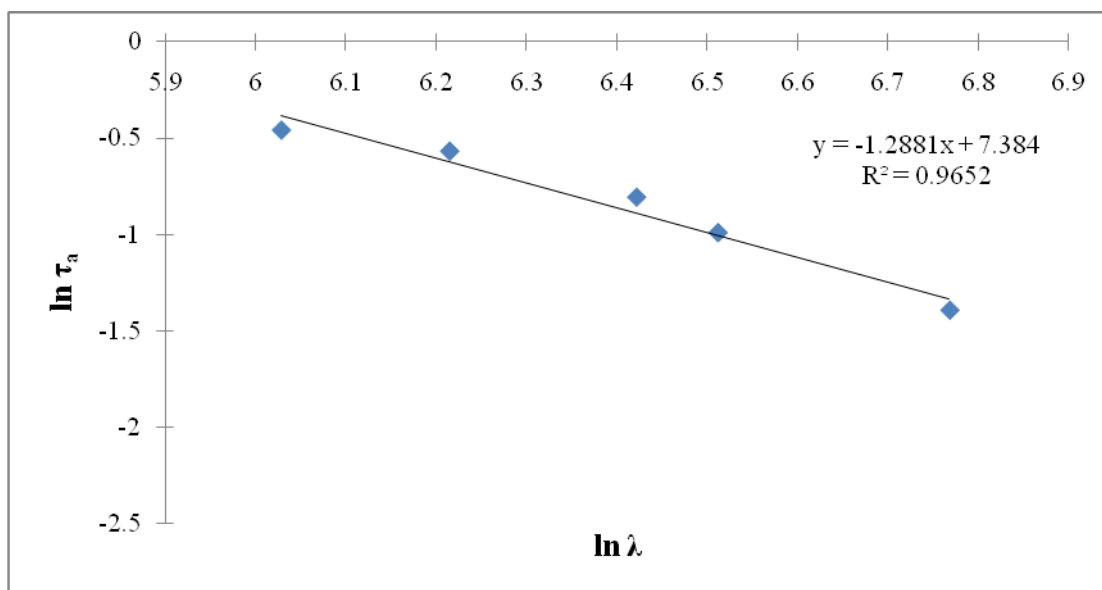


130(b)

ภาพประกอบ 130 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $AOD$ ,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้angstromเอ็กโพเนนท์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 1.3918 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) เท่ากับ 0.1568 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9039$  ของวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2546

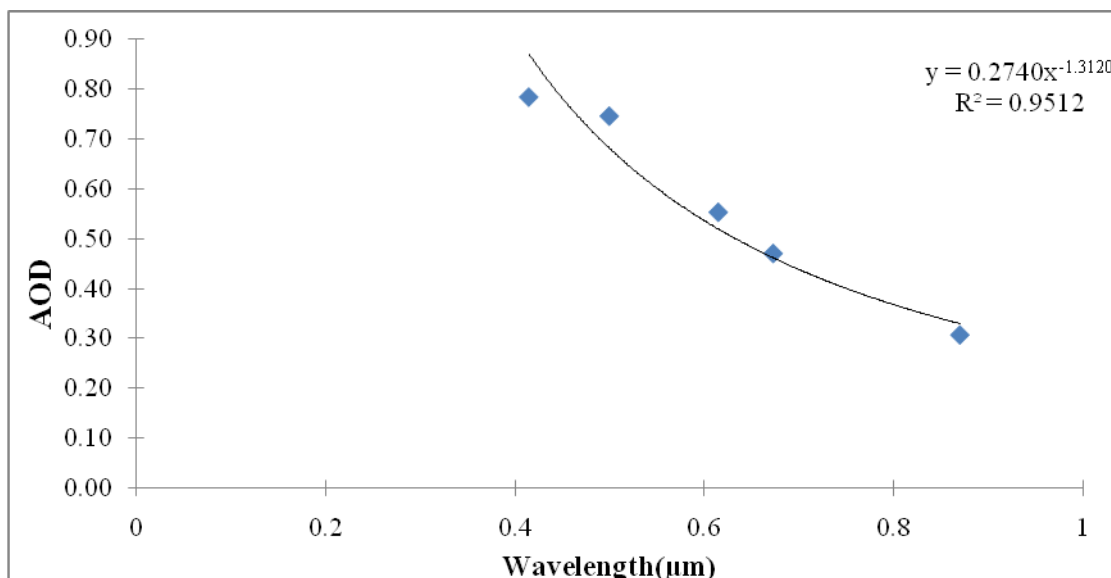


131(a)

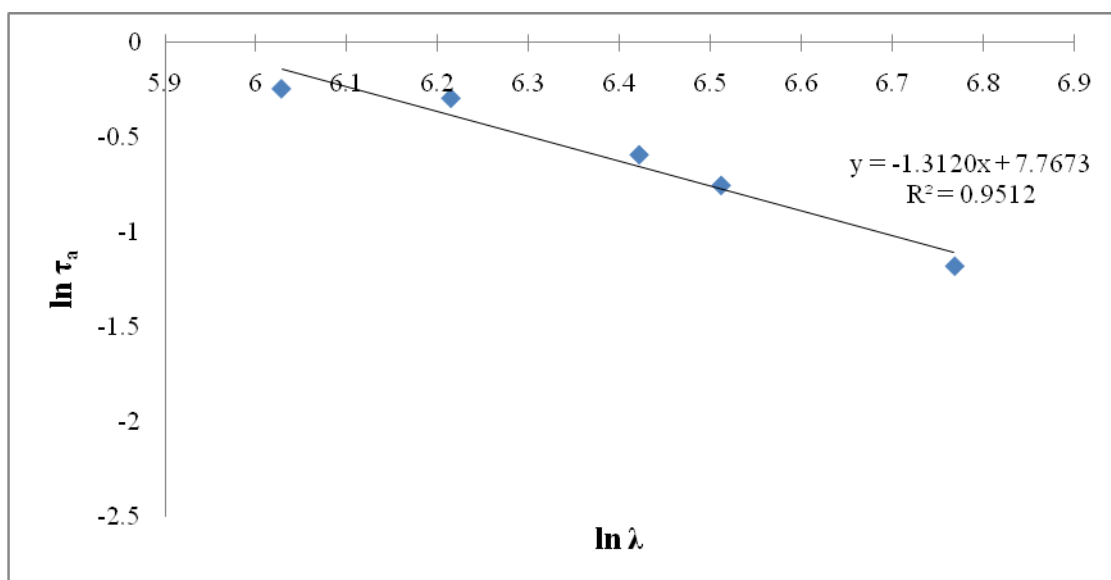


131(b)

ภาพประกอบ 131 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้เอ็กซ์โพเนนต์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 1.2881 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) เท่ากับ 0.2201 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9652$  ของวันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2546

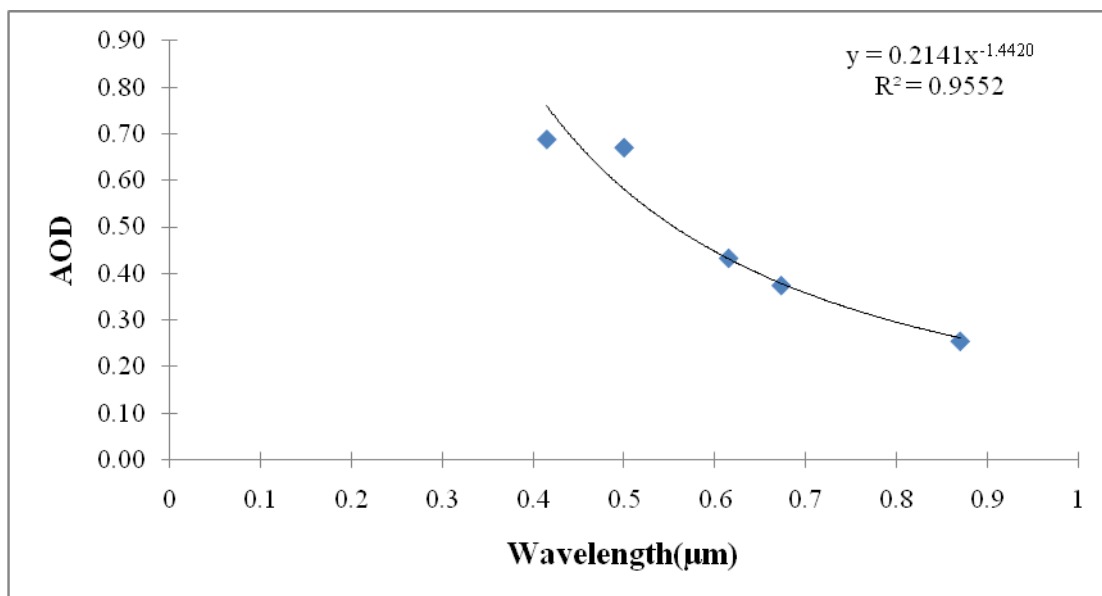


132(a)

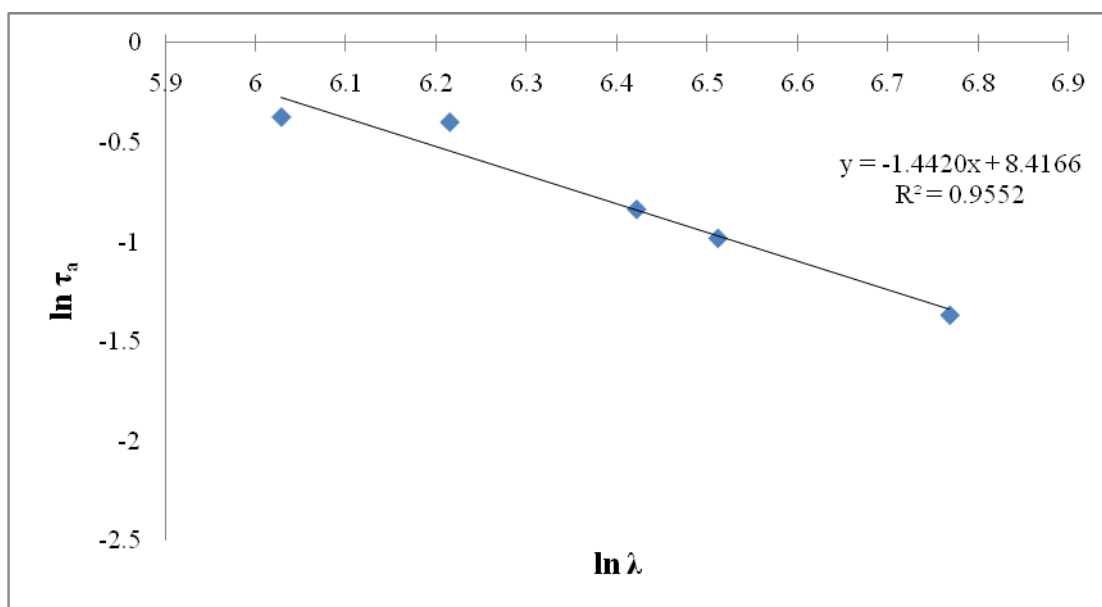


132(a)

ภาพประกอบ 132 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ตั้งสตรอมเอ็กโพเนนท์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 1.3120 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) เท่ากับ 0.2740 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9512$  ของวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2546

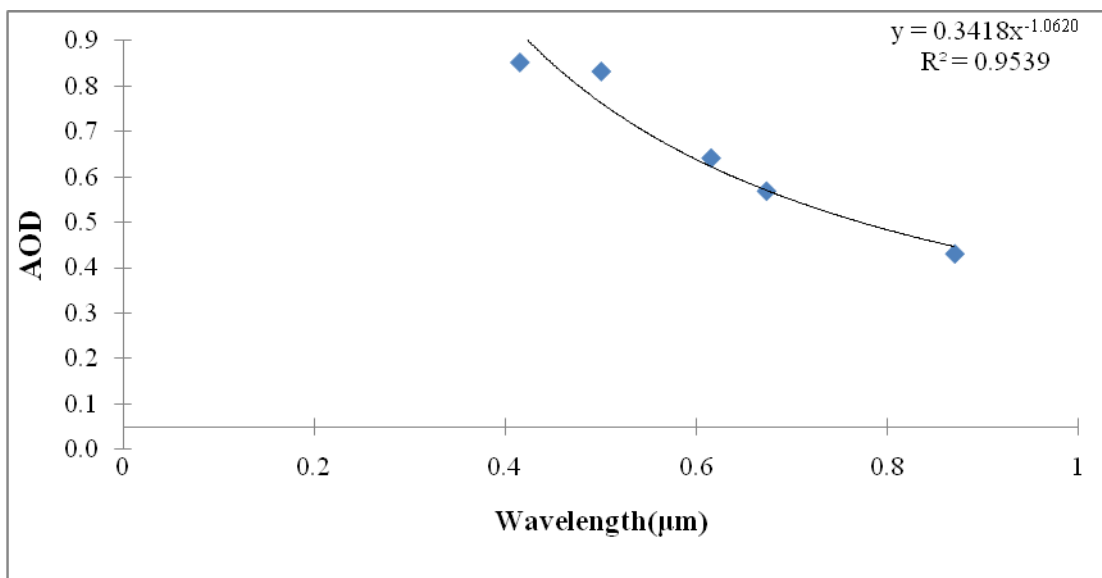


133(a)

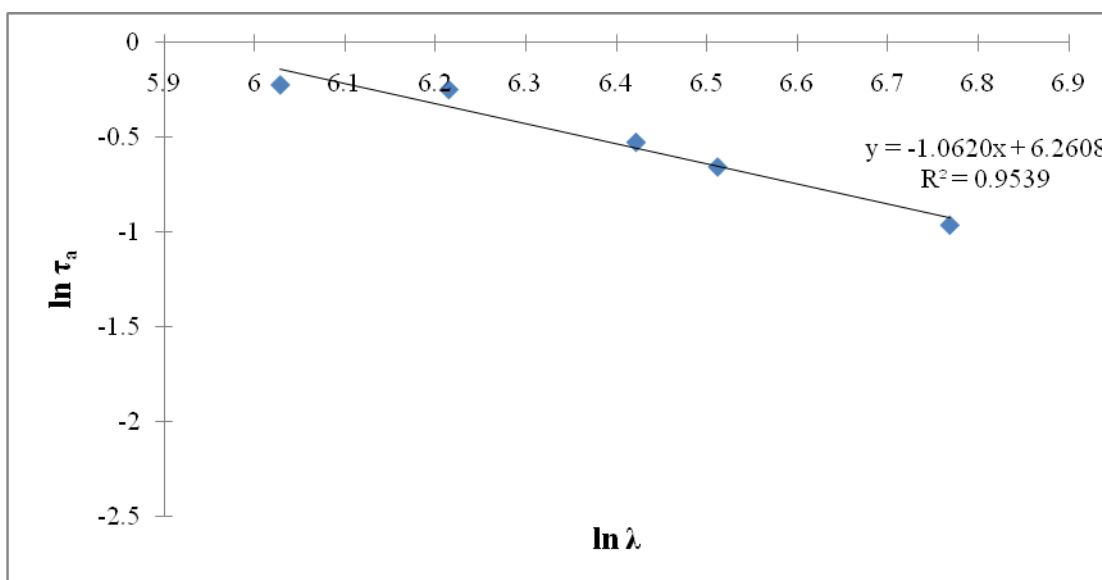


133(b)

ภาพประกอบ 133 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย (AOD,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้angstromเอ็กโพเนนท์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 1.4420 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) เท่ากับ 0.2141 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9552$  ของวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2546

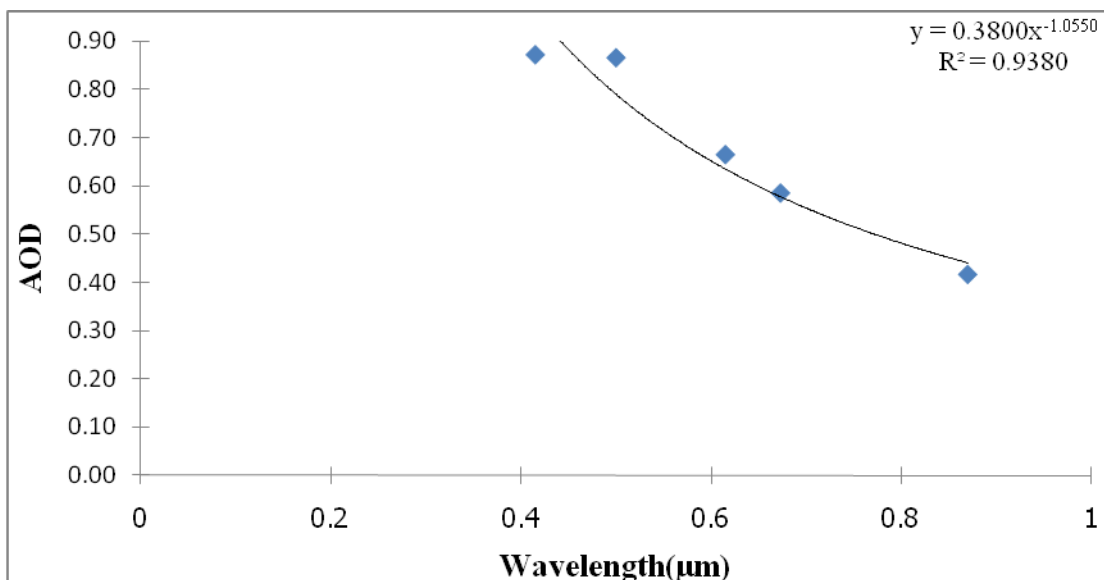


134(a)

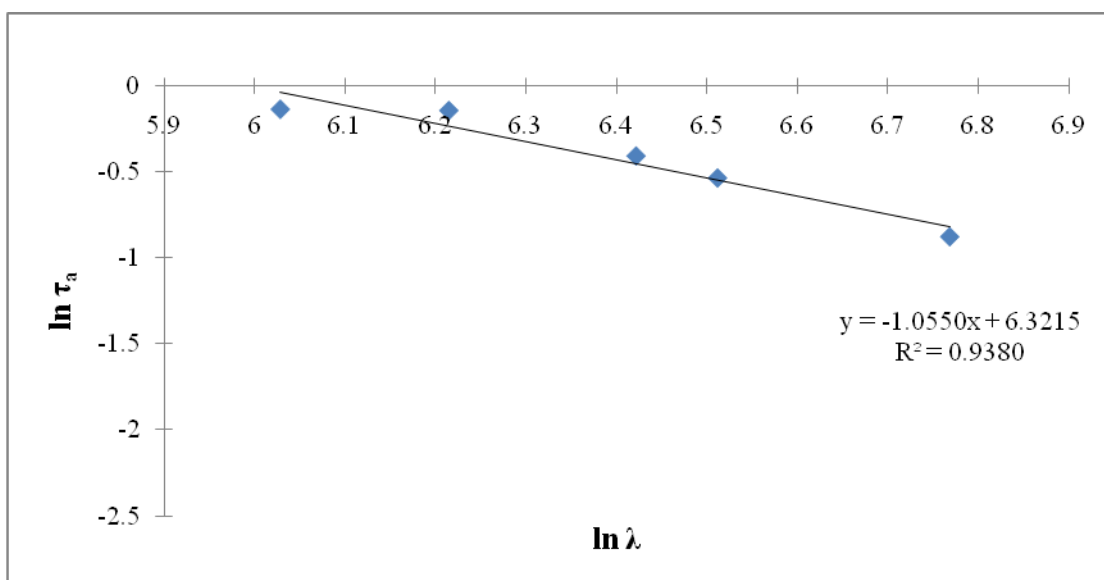


134(b)

ภาพประกอบ 134 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $AOD$ ,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้ตั้งสตรอมเอ็กโพเนนท์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 1.0620 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) เท่ากับ 0.3418 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9539$  ของวันที่ 6 มีนาคม พ.ศ. 2546



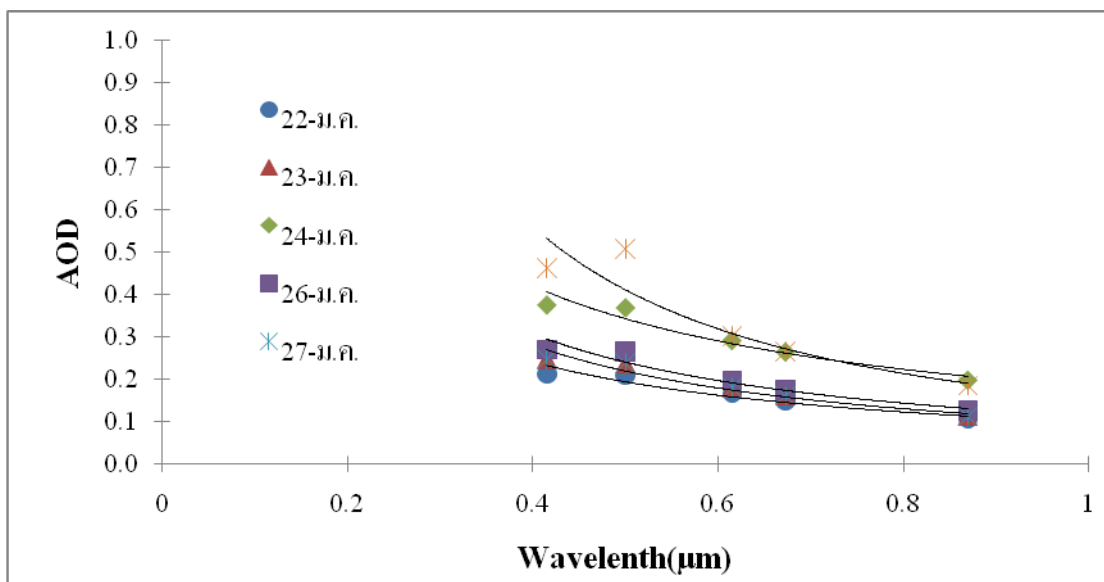
135(a)



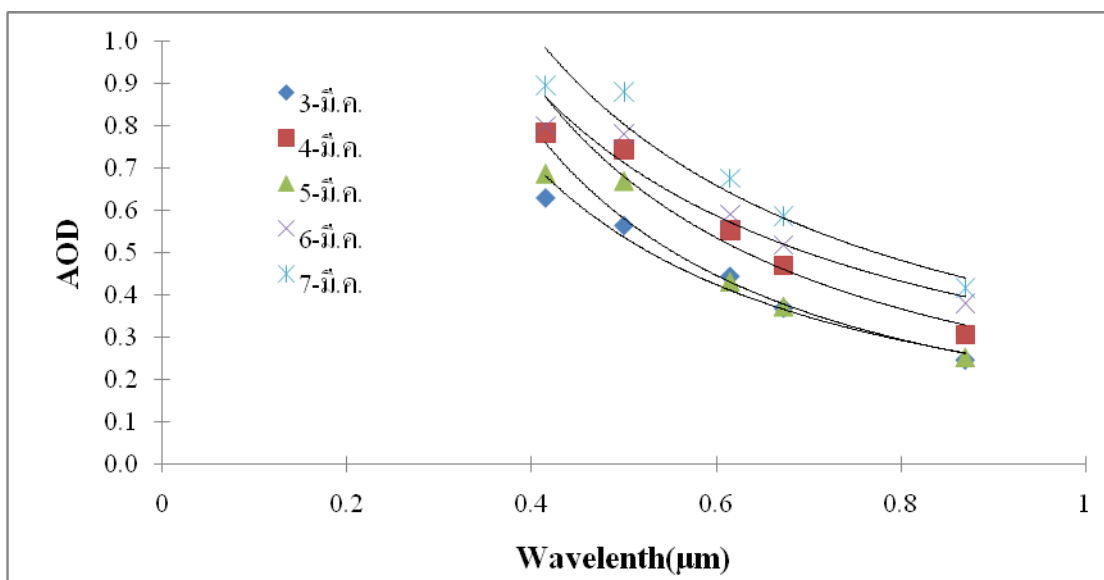
135(b)

ภาพประกอบ 135 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\text{AOD}$ ,  $\tau_a$ ) กับความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) ซึ่งจะได้แองสตรอมเอ็กโพเนนต์ (Angstrom exponent:  $\alpha$ ) เท่ากับ 1.0550 และสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom's turbidity coefficient:  $\beta$ ) เท่ากับ 0.3800 และมีค่าจากการปรับกราฟ  $R^2 = 0.9380$  ของวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2546

14. ความลึกเชิงแสงของละอองลอยในแต่ละวันของฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน (มีนาคม) พ.ศ.2546 ดังที่แสดงในภาพประกอบ 136 – 137 และตามตาราง 8

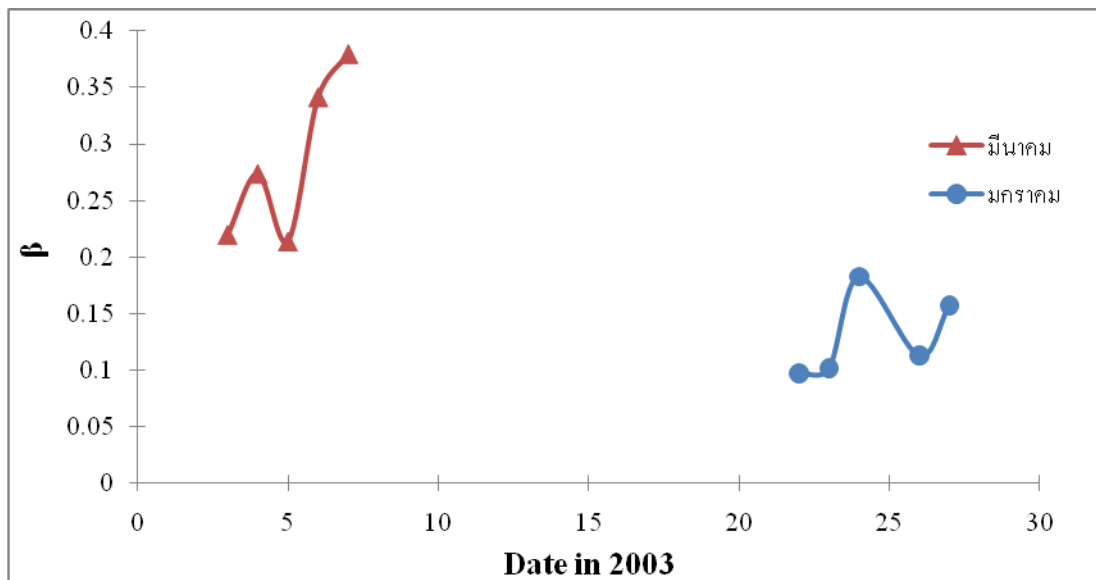


ภาพประกอบ 136 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยกับความยาวคลื่น ซึ่งแสดงความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm ในวันที่ 22, 23, 24, 26 และ 27 เดือนมกราคม พ.ศ. 2546



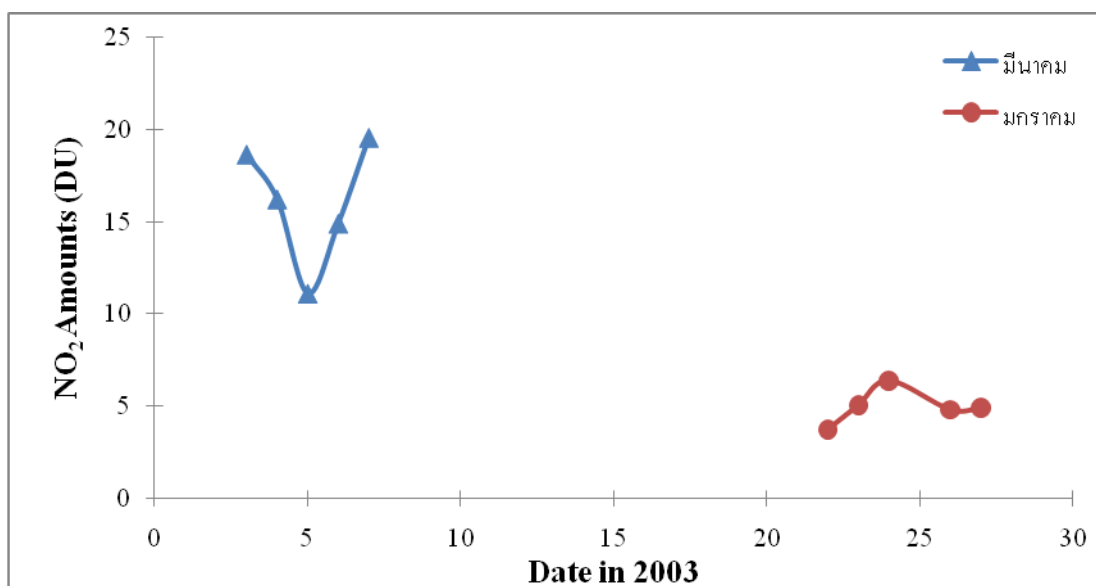
ภาพประกอบ 137 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยกับความยาวคลื่น ซึ่งแสดงความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 500 615 673 และ 870 nm ในวันที่ 3-7 เดือนมีนาคม พ.ศ. 2546

15. ค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom turbidity coefficient) ของฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน(มีนาคม) พ.ศ.2546 ดังที่แสดงในภาพประกอบ 138



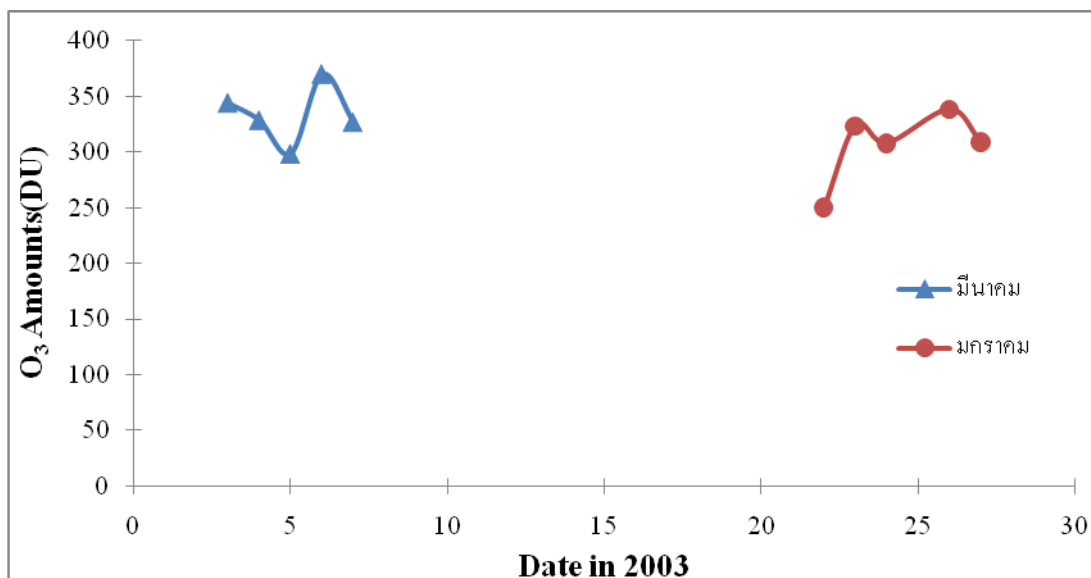
ภาพประกอบ 138 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัว (Angstrom turbidity coefficient) กับวันที่ 22, 23, 24, 26, 27 มกราคม และ 3-7 มีนาคม พ.ศ. 2546

16. ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนทั้งคอลัมน์ในหน่วยดับสันกับวันที่ทำการวิเคราะห์ของเดือนมกราคมและมีนาคม พ.ศ.2546 ดังที่แสดงในภาพประกอบ 139 - 140 และตาราง 9



ภาพประกอบ 139 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้งคอลัมน์กับวันที่ 22, 23, 24, 26, 27 มกราคมและ 3-7 มีนาคม พ.ศ. 2546





ภาพประกอบ 140 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์กับกับวันที่ 22, 23, 24, 26, 27 มกราคม และ 3-7 มีนาคม พ.ศ.2546

ตาราง 8 ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนทั้งคอลัมน์ในเดือนมกราคม และ มีนาคม พ.ศ. 2546

วันที่ (พ.ศ.2546)	NO <sub>2</sub> (DU)	O <sub>3</sub> (DU)
22 มกราคม	3.70	249.90
23 มกราคม	5.02	323.50
24 มกราคม	6.38	307.90
26 มกราคม	4.79	338.20
27 มกราคม	4.88	308.80
3 มีนาคม	18.63	344.20
4 มีนาคม	16.21	328.70
5 มีนาคม	11.10	298.40
6 มีนาคม	14.89	370.20
7 มีนาคม	19.59	326.90

17. ความลึกเชิงแสงของละอองลอยและพารามิเตอร์อังสตรอม ( $\alpha, \beta$ ) ในเดือนมกราคมและ มีนาคม ทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 415 500 615 673 และ 870 nm และ ดังที่แสดงในตาราง 9

ตาราง 9 ความลึกเชิงแสงของละอองลอย สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมเฉลี่ย ( $\beta$ ) และ อังสตรอมเอ็กซ์โพเนนท์เฉลี่ย ( $\alpha$ ) ทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 415-870 nm ของฤดูหนาว (มกราคม) และฤดูร้อน(มีนาคม) พ.ศ.2546

วันที่ (พ.ศ.2546)	ความลึกเชิงแสงของละอองลอย( $\tau_a$ )					$\alpha$	$\beta$
	415 nm	500 nm	615 nm	673 nm	870 nm		
22 มกราคม	0.2124	0.2106	0.1593	0.1493	0.1062	0.9830	0.0968
23 มกราคม	0.2483	0.2377	0.1806	0.1617	0.1129	1.1050	0.1013
24 มกราคม	0.3770	0.3706	0.2926	0.2655	0.1984	0.9100	0.1826
26 มกราคม	0.2698	0.2660	0.1977	0.1744	0.1255	1.0970	0.1125
27 มกราคม	0.4638	0.5084	0.3014	0.2656	0.1855	1.3920	0.1568
3 มีนาคม	0.6311	0.5659	0.4455	0.3705	0.2475	1.2880	0.2201
4 มีนาคม	0.7836	0.7456	0.5531	0.4706	0.3073	1.3120	0.2740
5 มีนาคม	0.6869	0.6695	0.4325	0.3740	0.2544	1.4420	0.2141
6 มีนาคม	0.8012	0.7815	0.5913	0.5191	0.3815	1.0620	0.3418
7 มีนาคม	0.8730	0.8668	0.6651	0.5851	0.4157	1.0550	0.3800

## บทที่ 5

### สรุปวิจารณ์ผลการวิจัย

#### สรุปผลวิจัย

จากการนำข้อมูลจากเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง MFR-7 ที่ความยาวคลื่น 5 ค่า คือ 415 500 615 673 และ 870 นาโนเมตร ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ปี พ.ศ. 2546 มาศึกษาเพื่อคำนวณหาความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ขึ้นกับความยาวคลื่น โดยมีการพิจารณาค่าการกระเจิงแบบเรย์ลี และปริมาณตลอดคอลัมน์ในบรรยากาศของ  $\text{NO}_2$  และโอโซน และคำนวณค่าพารามิเตอร์อัสโตรอม ( $\alpha, \beta$ ) ของช่วงฤดูหนาว(มกราคม) เปรียบเทียบกับฤดูร้อน (มีนาคม) ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย

จากภาพประกอบ 26-35, 46-55, 66-75, 86- 95 และ 106-115 แสดงผลการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley analysis) ตามสมการ 2-9 ประกอบด้วยความลึกเชิงแสงรวม ( $\tau'$ ) และ  $\ln I_0$  ทั้ง 5 ความยาวคลื่น ค่า  $q$  และ  $q'$  สามารถหาได้จากเทคนิคการถดถอย จากสมการ 3-4 และ 3-6 (ภาพประกอบ 56-65 และ 76-85) ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนทั้งคอลัมน์ แสดงตาราง 8 ส่วนภาพประกอบ 139-140 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนทั้งคอลัมน์ของฤดูหนาวและฤดูร้อน ความลึกเชิงแสงของละอองลอย(AOD) ของฤดูหนาวและฤดูร้อนแสดงในภาพประกอบ 136-137 และตาราง 9 ค่าพารามิเตอร์อัสโตรอม  $\beta$  และ  $\alpha$  โดยเฉลี่ยหาได้จากการปรับด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 0.097-0.380 และ 0.910-1.442 ตามลำดับ แสดงในภาพประกอบ 126-135

#### วิจารณ์ผลการวิจัย

##### 1. การเปลี่ยนแปลงค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย

จากภาพประกอบ 136-137 จะเห็นว่า ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยมีลักษณะการแปรค่าตามฤดูกาล กล่าวคือจะมีค่าค่อนข้างสูงในเดือนมีนาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน และสูงกว่าในเดือนมกราคมซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว ทั้งนี้เพราะในช่วงฤดูร้อนมีละอองลอยที่เกิดจากพื้นดินฟุ้งกระจายขึ้นสู่บรรยากาศเนื่องจากลมและการลอยตัวของอากาศร้อน รวมถึงการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ ในช่วงฤดูร้อนทำให้ปริมาณของละอองลอยในบรรยากาศมีค่าสูง และที่ความยาวคลื่นสั้นๆ จะมีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยมากกว่าที่ความยาวคลื่นยาว อธิบายได้ว่าละอองลอยมีการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นสั้นมากกว่าที่ความยาวคลื่นยาว ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับงานวิจัยของลีโนเบลและคณะ (Lenoble; et al. 2008: 161-179) ได้ทำการวัดความลึกเชิงแสงของละอองลอยเนื่องจากอัลตราไวโอเลตทางตอนใต้ของเทือกเขาเอลป์ของฝรั่งเศส ผลปรากฏว่าในกลางฤดูร้อนบางค่าไปถึง 0.4 ซึ่งสูงกว่าในฤดูหนาวซึ่งมีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยอยู่ระหว่าง 0.05 และ 0.1

ขณะที่โอกันโอบิ และคณะ (Ogunjobi; et al. 2004: 1313-1323) ได้วิเคราะห์ความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 501 nm ( $\tau_{501}$ ) ในกรณีของพายุฝุ่นจากเอเชียและการเผาไหม้ชีวมวลที่เมืองกวางจู (Kwangju) ประเทศเกาหลีใต้ โดยปริมาณฝุ่นมากที่สุดในช่วงฤดูใบไม้ผลิและละอองลอยจากการเผาไหม้ชีวมวลในช่วงต้นฤดูร้อนและฤดูใบไม้ร่วงของแต่ละปี ผลการวิจัยบ่งบอกว่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยของเดือนเมษายนมีค่ามากกว่า 0.7 และสูงกว่าฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งมีค่า  $0.45 \pm 0.02$  และที่สำคัญของการวิเคราะห์ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยคือค่าคงตัวของการเปรียบเทียบเครื่องมือที่ได้มา แสดงถึงการมีคุณภาพของเครื่องมือวัดที่ดี

## 2. การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซน

จากการวิเคราะห์พบว่าปริมาณ  $\text{NO}_2$  ทั้งคอลัมน์ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน มีปริมาณสูงกว่าในเดือนมกราคมซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว ขณะที่ปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์ไม่ขึ้นกับฤดูกาล ซึ่งจากงานวิจัยที่มีการศึกษาของเนตรนภา ชิวปรีชา (2005: 75-86) ได้ศึกษาปริมาณโอโซนในบรรยากาศของประเทศไทย มีค่าเท่ากับ 265-270 DU จากภาพประกอบ 140 และตาราง 8 พบว่าจะมีปริมาณโอโซนนี้ค่อนข้างสูงกว่างานวิจัยที่กล่าวมา และปริมาณโอโซนทั้งคอลัมน์ที่ได้จะไม่ขึ้นกับฤดูกาล ซึ่งยังบอกไม่ได้ว่างานวิจัยฉบับนี้ไม่น่าเชื่อถือ โดยสาเหตุอาจมาจากมีการดูดกลืนของโอโซนในความยาวคลื่นที่ทำการวิเคราะห์ และการดูดกลืนของหมอก (Haze) ซึ่งจะส่งผลทำให้ปริมาณของโอโซนจากการวิเคราะห์  $\tau_{03}$  ในช่วง 615 nm ที่ได้มีค่าสูงขึ้นขณะที่ผลการวิเคราะห์ปริมาณ  $\text{NO}_2$  ทั้งคอลัมน์ในชั้นบรรยากาศ (ภาพประกอบ 139 และตาราง 8) พบว่าสอดคล้องอย่างดีกับงานวิจัยอื่นๆ และดีกว่างานวิจัยที่เคยทำการวิเคราะห์ ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ปี พ.ศ. 2546 อาจมีสาเหตุมาจากเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยการใช้มวลอากาศเชิงแสง (m) ซึ่งไม่เกิน 3 ซึ่งปกติจะใช้ไม่เกิน 2.5 การวิเคราะห์แบบถดถอยของสเปกตรัม AOD ในแต่ละค่า ส่งผลต่อการปรับค่า  $q$  (อัตราส่วนการหาค่าที่เทียบกับช่องสัญญาณ 870 nm ของ 415 nm) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ทำให้ปริมาณ  $\text{NO}_2$  ทั้งคอลัมน์ และ AOD ได้มาอย่างเหมาะสม

## 3. การเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม ( $\beta$ ) และอังสตรอมเอ็กซ์โพเนนท์ ( $\alpha$ )

งานวิจัยฉบับนี้ยังบ่งบอกถึงคุณสมบัติของละอองลอยในพื้นที่ซึ่งสัมพันธ์กับอนุภาคของฝุ่นดินในเขตพื้นที่บริเวณติดตั้งเครื่องมือ ซึ่งมีค่า  $\alpha_{415-870}$  ตั้งแต่ 0.910-1.442 โดยในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นฤดูร้อนมีค่า  $\alpha$  สูงกว่าในเดือนมกราคมซึ่งเป็นฤดูหนาว (ภาพประกอบ 136-137) เมื่อพิจารณาค่า AOD ที่สูงของฤดูร้อน พบว่าเป็นละอองลอยที่เกิดขึ้นเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น เขม่าดำจากการเผาไหม้ชีวมวล ส่วนค่า  $\beta$  พบว่า ผลที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน กับ  $\alpha$  กล่าวคือ ในฤดูร้อนจะสูงกว่าในฤดูหนาวดังภาพประกอบ 138 เนื่องจากอนุภาคที่สูงขึ้นส่งผลต่อความแห้งแล้งของพื้นที่ราบลุ่มอนุภาคฝุ่นและละอองลอยของเขม่าดำจากการเผาไหม้ชีวมวลจึงถูกพัดพาขึ้นไปในชั้นบรรยากาศและกล่าวได้ว่าสเปกตรัมของ AOD ของงานวิจัยนี้จะแสดงพฤติกรรมของละอองลอยในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย ซึ่งเป็นละอองลอยในเขตชนบทซึ่งปราศจากมลพิษจากชุมชนเมือง อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้น่าจะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษา AOD ในภูมิภาคที่มากขึ้นในอนาคต

## ข้อเสนอแนะ

1. การตัดข้อมูลในช่วงเวลาที่มีเมฆมารบกวนในการวัดออกไป โดยสังเกตจากเส้นกราฟ การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนแบบปกติเทียบกับเวลา ต้องมีลักษณะเป็นเส้นตรงแนวเดียวกัน โดย ปริมาณข้อมูลของช่วงท้องฟ้าโปร่งที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีจำนวนข้อมูล 120 ขึ้นไป เพราะถ้าตัด ข้อมูลไม่ดีจะมีผลต่อการคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย

2. ค่า  $\ln I_0$  นำไปแทนค่าในสมการ  $\ln I_0 - \ln I - \tau_R m$  ของทุกความยาวคลื่น สามารถ เป็นได้ทั้งค่าบวกและลบ ขึ้นกับลักษณะความชันของกราฟ

3. การเลือกใช้ค่า  $q$  และ  $q'$  ซึ่งเป็นอัตราส่วนการหมดสิ้น(Extinction ratio) ที่เทียบกับ ช่องสัญญาณ 870 นาโนเมตร โดยควรเลือกค่าของ  $q$  มากที่สุดที่มีค่า  $R^2$  มากกว่า 0.7 ขึ้นไป เพราะไม่เช่นนั้นค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร จะมีค่าต่ำกว่าค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร ส่วนค่า  $q'$  จะต้องมีค่าน้อยกว่า ค่า  $q$  และมีค่า  $R^2$  มากกว่า 0.7 ขึ้นไปเพราะ ไม่เช่นนั้นค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 615 นาโนเมตร จะมีค่าสูงกว่าค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 415 และ 500 นาโนเมตร

4. ค่า  $c$  จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{870}$  กับ Air mass

เพื่อแทนในสมการ  $(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{415} - q(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{870}$  และ สมการ

$(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{615} - q'(\ln I_0 - \ln I - \tau_R m)_{870}$  โดยถ้าค่า  $c$  มีค่าลบเมื่อแทนค่าจะได้ค่าลบ

ถ้า  $c$  มีค่าลบเมื่อแทนค่าจะได้ค่าบวก

5. ภาคตัดขวาง(Cross-Section) ของการดูดกลืนในโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 415 และ 500 นาโนเมตร ใช้ค่าเท่ากับ  $6.03 \times 10^{-19}$  และ  $1.02 \times 10^{-19} \text{ cm}^2/\text{molecules}$  ตามลำดับ ซึ่ง เป็นค่าโดยประมาณ บางงานวิจัยอื่นๆ อาจไม่ใช้ค่านี้

## บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

- ชาคริต โชติอมรศักดิ์. (2540). *บรรยากาศเบื้องต้น*. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- ชัยวัฒน์ สมบูรณ์ลาภ. (2546). *การวิเคราะห์ข้อมูลของระบบเรดาร์สำรวจชั้นบรรยากาศเพื่อประมาณอัตราการตกของฝน*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า). สมุทรปราการ: บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2553 จาก <http://dcms.thailis.or.th/dcms/index.php>
- ดวงพร นพคุณ. (2536). *ภูมิอากาศวิทยา*. กรุงเทพฯ: พัฒนากิจการพิมพ์และกระดาษ.
- เนตรนภา ชิวปรีชา. (2548). *การศึกษาปริมาณโอโซนในบรรยากาศของประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม.(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. สืบค้นเมื่อ 18 มกราคม 2553 จาก <http://dcms.thailis.or.th/dcms/index.php>
- ประยูร ดาศรี. (2524). *อุตุนิยมวิทยา*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- วิทยา ทานะมัย. (2550). *การศึกษาสมบัติเชิงแสงของละอองลอยในภูมิภาคต่างๆของประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม.(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. สืบค้นเมื่อ 18 มกราคม 2553 จาก <http://dcms.thailis.or.th/dcms/index.php>
- วิรัช พานิชวงศ์. (2546). *การวิเคราะห์การถดถอย*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วิริญญา ศรีสงเปลือย. (2553). *ขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลการหาปริมาณไนโตรเจนของคอลัมน์บรรยากาศสุทธิโดยเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรองในประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม.(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. ถ่ายเอกสาร.
- วีไลลักษณ์ ตั้งเจริญ. (2540). *อุตุนิยมวิทยา*. กรุงเทพฯ: ม.ป.พ.
- วิลาวรรณ คำหาญ. (2543). *การศึกษาสภาพความชื้นมั่วของบรรยากาศในประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม.(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2553 จาก <http://dcms.thailis.or.th/dcms/index.php>
- สายนต์ โพธิ์เกตุ. (2542). *การศึกษาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย*. วิทยานิพนธ์ กศ.ม.(ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร. สืบค้นเมื่อ 10 มกราคม 2553 จาก <http://dcms.thailis.or.th/dcms/index.php>

- Alexandrov, M.D.; et al. (2000). *Remote sensing of atmospheric aerosol and trace gases by means of multifilter rotating shadowband radiometer part I: Retrieval Algorithm*. *Atmospheric Science*. 59: 525. Retrieved. February 27, 2010, from <http://www.atmos-chem-phys.net>
- Barry, R. G.; & Chorley, R. J. (1978). *Atmosphere weather and climate*. London: Methuen.
- Bryant, C. (1960). *Statistic analysis*. USA: McGraw-Hill Bak company.
- Dick, R.W. (1988). *The application of regression analysis*. Boston: Allyn and Bacon.
- Erlangung des akademischen Grades eines; & der Naturwissenschaften. (2006, February). *Temperature dependent absorption cross-sections of O<sub>3</sub> and NO<sub>2</sub> in the 240 - 790 nm range determined by using the GOME-2 satellite spectrometers for use in remote sensing applications*. 5-145.
- Frank, T.D.; Girolamo, L.D.; & Geegan, Shannon. (2007). *The spatial and temporal variability of aerosol optical depths in Mojave desert of southern California*. *Remote sensing of environment*. (107): 54-64. Retrieved. February 1, 2010, from <http://www-misr.jpl.nasa.gov/mission/pubs/fulltext/frank2007.pdf>
- Hansell, R. A.; et al. (2003). *Surface aerosol radiative forcing derived from collocated ground-based radiometric observations during PRIDE, SAFARI, and ACE-Asia*. *Applied Optics*. (42): 5533-5544. Retrieved February 27, 2010, from <http://www.opticsinfobase.org/jlt/viewmedia.cfm?id=74252&seq=0>
- Haywood, James; & Boucher, Olivier. (2000). *Estimates of the direct and indirect radiative forcing due to tropospheric aerosols: a review*. *Reviews of Geophysics*. (38): 513-543. Retrieved February 3, 2010, from [http://atmo.tamu.edu/class/old\\_atmo629/AerosolForcingReview.pdf](http://atmo.tamu.edu/class/old_atmo629/AerosolForcingReview.pdf), <http://www.yesinc.com/products/data/mfr7/index.htm>. Retrieved February 27, 2010.
- Jacovides, C.P.; et al. (2005, February). *Spectral aerosol optical depth and angstrom parameters in the polluted Athens atmosphere*. *Theoretical and Applied Climatology*. (81): 161-167. Retrieved February 27, 2010, from <http://www.springerlink.com/content/caalqxww0j6xubh9/>
- Kazadzis, S.; et al. (2007). *Nine years of UV aerosol optical depth measurements at Thessaloniki, Greece*. *Atmos. Chem. Phys*. 7(2091): 2091–2101. Retrieved February 27, 2010, from <http://www.atmos-chem-phys.net>



- King, M.D.; & D.M. Bryne. (1976). A method for inferring total ozone content from the spectral variation of total optical depth obtained with a solar radiometer. *Journal of the atmospheric Science*. 33: 2242-2251.
- Krotkov, N.; et al. (2005). Aerosol ultraviolet absorption experiment(2002 to 2004), part 2: Absorption optical thickness, Refractive Index, and single scattering albedo. *Optical Engineering*. 44(4): 041005.
- Long ,C.N.; & T.P. Ackerman. (2000, June). Identification of clear skies from broadband pyranometer measurements and calculation of downwelling shortwave cloud effects. *Journal of Geophysics*. 12(105): 15609-15626.
- Ogunjobi, K.O.; et al. (2004). Aerosol optical depth during episodes of Asian dust storms and biomass burning at Kwangju, South Korea. *Atmospheric Environment*. (38): 1313 -1323.
- Vanhellemont, F.; et al. (2005, February). A 2003 stratospheric aerosol extinction and PSC climatology from GOMOS measurements on Envisat. *Atmos. Chem. Phys.* (5): 2413-2417. Retrieved February 27, 2010, from [http:// www.atmos-chem-phys.org](http://www.atmos-chem-phys.org)
- Yankee Environmental System, Inc. (2000). *MFR-7 rotating shadowband radiometer Installation and user guide version 2.10*. 1-8.

ภาคผนวก

ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลการแผ่รังสีรวม(Total radiation) ของดวงอาทิตย์ทุกช่วงความยาวคลื่น ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546

Time	COSZ	PAR Total	412.3nm Total	496.1nm Total	612.3nm Total	670.7nm Total	863.6nm Total	983.9nm Total
1:28:00	0.33619	111.3779	0.367	0.4662	0.4347	0.4096	0.301	0.0629
1:30:00	0.34304	113.6284	0.3846	0.4792	0.4444	0.4162	0.3067	0.0651
1:31:59	0.34985	117.3299	0.3833	0.495	0.4593	0.4304	0.3149	0.0682
1:35:00	0.36001	121.4459	0.4014	0.5094	0.4747	0.4417	0.3249	0.0705
1:37:00	0.36674	124.3479	0.4204	0.5265	0.4866	0.4521	0.3312	0.0727
1:40:00	0.37676	130.4183	0.4302	0.5594	0.5072	0.4747	0.3456	0.0766
1:42:59	0.3867	134.2975	0.464	0.5718	0.524	0.4874	0.3546	0.0819
1:44:00	0.39	135.3635	0.4678	0.5798	0.5313	0.4933	0.357	0.0821
1:44:59	0.39328	136.1038	0.4703	0.5852	0.5359	0.4962	0.3598	0.0829
1:46:00	0.39656	137.2587	0.4663	0.5839	0.5394	0.5007	0.3634	0.0841
1:47:00	0.39983	139.3611	0.4868	0.5946	0.5494	0.5055	0.3678	0.0855
1:47:59	0.40309	141.7005	0.4956	0.6067	0.5575	0.5145	0.3728	0.0873
1:49:59	0.40957	144.2471	0.5119	0.6164	0.5667	0.5252	0.3799	0.0899
1:51:59	0.41602	145.2243	0.5059	0.6221	0.5719	0.5286	0.383	0.0903
1:53:59	0.42243	149.7253	0.5314	0.6412	0.5892	0.5438	0.3919	0.0942
1:55:00	0.42562	149.9622	0.5304	0.6415	0.593	0.545	0.3941	0.0947
1:57:00	0.43197	150.9394	0.5374	0.6446	0.5944	0.5492	0.3971	0.0969
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
7:24:00	0.6946	285.4662	1.1021	1.2478	1.1219	1.0053	0.6953	0.196
7:24:59	0.69275	284.5187	1.1214	1.2425	1.1184	0.9998	0.6948	0.195
7:26:00	0.69089	284.3114	1.0878	1.2384	1.1157	0.9983	0.6926	0.1943
7:26:59	0.68901	282.2385	1.0848	1.2334	1.1108	0.9918	0.6908	0.1921
7:28:00	0.68712	280.906	1.0853	1.2277	1.1054	0.9892	0.6866	0.1905
7:29:00	0.68521	278.7443	1.0795	1.2163	1.0976	0.9818	0.6834	0.1878
7:30:00	0.68329	276.4938	1.0843	1.2072	1.0892	0.9768	0.6794	0.1854
7:31:00	0.68135	274.6579	1.054	1.2079	1.0824	0.9699	0.6773	0.1834
7:31:59	0.6794	272.6147	1.0515	1.1911	1.0754	0.9651	0.6727	0.1816
7:33:00	0.67743	272.5258	1.0389	1.1895	1.0756	0.9637	0.6715	0.1805
7:35:00	0.67345	274.4802	1.0652	1.2002	1.0821	0.9699	0.6747	0.1841
7:35:59	0.67144	274.6579	1.0718	1.2029	1.0819	0.9703	0.674	0.1832
7:37:00	0.66941	274.8948	1.0479	1.1985	1.0832	0.9697	0.6733	0.183
7:38:00	0.66737	271.371	1.0362	1.1848	1.0659	0.9571	0.667	0.1799

ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลการแผ่รังสีแบบแพร่ (Diffuse radiation) ของดวงอาทิตย์ทุกช่วงความยาวคลื่น ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546

Time	COSZ	PAR Diffuse	412.3nm Diffuse	496.1nm Diffuse	612.3nm Diffuse	670.7nm Diffuse	863.6nm Diffuse	983.9nm Diffuse
1:28:00	0.33619	43.004	0.242	0.2039	0.1258	0.1001	0.0473	0.0082
1:30:00	0.34304	43.2409	0.241	0.2133	0.1269	0.1007	0.0477	0.008
1:31:59	0.34985	43.9516	0.241	0.2147	0.1312	0.1034	0.0482	0.0083
1:35:00	0.36001	45.136	0.24	0.216	0.1312	0.1034	0.0499	0.008
1:37:00	0.36674	45.6098	0.251	0.224	0.1355	0.1067	0.0499	0.0083
1:40:00	0.37676	46.0836	0.244	0.2321	0.1323	0.1067	0.0503	0.0085
1:42:59	0.3867	47.2681	0.267	0.2267	0.1366	0.1067	0.0511	0.0091
1:44:00	0.39	47.3866	0.2781	0.2348	0.141	0.1111	0.0511	0.0087
1:44:59	0.39328	47.8603	0.271	0.2401	0.1431	0.1111	0.0524	0.01
1:46:00	0.39656	48.2157	0.268	0.2361	0.1431	0.1144	0.0532	0.0098
1:47:00	0.39983	48.3341	0.2811	0.2375	0.1453	0.1133	0.052	0.0109
1:47:59	0.40309	48.9264	0.2811	0.2442	0.1464	0.1144	0.0537	0.0094
1:49:59	0.40957	50.4662	0.2911	0.2482	0.1529	0.1226	0.0575	0.0105
1:51:59	0.41602	51.4138	0.2851	0.2549	0.1539	0.1215	0.0571	0.0105
1:53:59	0.42243	52.4798	0.2981	0.2535	0.1583	0.127	0.0588	0.0114
1:55:00	0.42562	52.8351	0.2971	0.2589	0.1604	0.1264	0.0596	0.012
1:57:00	0.43197	52.2429	0.2931	0.2535	0.1583	0.1259	0.0571	0.0111
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
7:22:59	0.69644	71.313	0.4625	0.3595	0.2189	0.1719	0.0813	0.0171
7:24:00	0.6946	70.9576	0.4485	0.3609	0.2189	0.1686	0.0808	0.016
7:24:59	0.69275	70.3654	0.4665	0.3542	0.2167	0.1664	0.0813	0.0164
7:26:00	0.69089	69.7731	0.4515	0.3542	0.2081	0.1648	0.0791	0.0165
7:26:59	0.68901	69.7731	0.4425	0.3448	0.2146	0.1642	0.0813	0.0169
7:28:00	0.68712	69.6547	0.4405	0.3515	0.2124	0.1664	0.0791	0.016
7:29:00	0.68521	69.5363	0.4495	0.3461	0.2135	0.1631	0.0796	0.0169
7:30:00	0.68329	69.4178	0.4525	0.3515	0.2135	0.1669	0.0787	0.0171
7:31:00	0.68135	69.5363	0.4435	0.3635	0.2167	0.1637	0.0808	0.0162
7:31:59	0.6794	69.7731	0.4495	0.3528	0.2178	0.1664	0.08	0.0167
7:33:00	0.67743	69.6547	0.4274	0.3488	0.2167	0.1675	0.0796	0.016
7:35:00	0.67345	69.7731	0.4455	0.3501	0.2157	0.1691	0.0808	0.0162
7:35:59	0.67144	69.8916	0.4565	0.3542	0.2178	0.1686	0.0825	0.016
7:37:00	0.66941	70.1285	0.4234	0.3448	0.2178	0.1669	0.0808	0.0158

ตารางแสดงตัวอย่างข้อมูลการแผ่รังสีตรง (Direct radiation) ของดวงอาทิตย์ทุกช่วงความยาวคลื่น ในวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546

Time	COSZ	PAR DirNorm	412.3nm DirNorm	496.1nm DirNorm	612.3nm DirNorm	670.7nm DirNorm	863.6nm DirNorm	983.9nm DirNorm
1:28:00	0.33619	204.1816	0.4011	0.7934	0.9254	0.9344	0.7584	0.1642
1:30:00	0.34304	206.0175	0.448	0.7894	0.9322	0.9337	0.7588	0.168
1:31:59	0.34985	210.5481	0.4362	0.8152	0.9449	0.9485	0.7662	0.1726
1:35:00	0.36001	212.769	0.477	0.8287	0.9606	0.9534	0.7676	0.1749
1:37:00	0.36674	215.4637	0.4911	0.8384	0.9644	0.9555	0.771	0.1768
1:40:00	0.37676	224.5842	0.5232	0.8823	1.0015	0.9903	0.7879	0.182
1:42:59	0.3867	225.8279	0.5387	0.9058	1.008	0.9979	0.7883	0.1896
1:44:00	0.39	226.3017	0.5151	0.8984	1.0077	0.9935	0.788	0.1896
1:44:59	0.39328	225.1172	0.5357	0.891	1.005	0.9926	0.7851	0.1866
1:46:00	0.39656	225.2356	0.5292	0.8904	1.0058	0.9877	0.7856	0.1886
1:47:00	0.39983	228.3449	0.5435	0.9068	1.0172	0.9944	0.7935	0.1878
1:47:59	0.40309	230.8915	0.561	0.9128	1.0266	1.006	0.7952	0.1943
1:49:59	0.40957	229.6478	0.568	0.9128	1.0169	0.9961	0.7906	0.195
1:51:59	0.41602	226.1832	0.5598	0.8961	1.0112	0.9918	0.7868	0.193
1:53:59	0.42243	230.8619	0.5816	0.9309	1.0266	1	0.792	0.1971
1:55:00	0.42562	228.8779	0.577	0.9125	1.0226	0.9966	0.7893	0.1956
1:57:00	0.43197	229.1444	0.5948	0.9189	1.0158	0.993	0.7905	0.2
-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-
7:22:59	0.69644	308.2082	0.9705	1.283	1.3033	1.2084	0.8844	0.2587
7:24:00	0.6946	308.5043	0.9675	1.286	1.3022	1.2136	0.8849	0.2595
7:24:59	0.69275	308.8004	0.9718	1.2921	1.3036	1.2121	0.8858	0.2582
7:26:00	0.69089	310.1922	0.9475	1.2894	1.3157	1.2155	0.888	0.2577
7:26:59	0.68901	308.0601	0.9587	1.2995	1.3027	1.2101	0.8847	0.2547
7:28:00	0.68712	307.1422	0.965	1.2847	1.3019	1.2064	0.8843	0.2544
7:29:00	0.68521	305.0101	0.9457	1.2793	1.2922	1.2038	0.8813	0.2497
7:30:00	0.68329	302.7596	0.951	1.2619	1.2835	1.1944	0.8793	0.2468
7:31:00	0.68135	300.746	0.9226	1.2485	1.2727	1.1922	0.8755	0.2459
7:31:59	0.6794	298.229	0.9124	1.2435	1.264	1.1846	0.8725	0.2431
7:33:00	0.67743	299.1469	0.9289	1.2505	1.2697	1.1842	0.8739	0.2431
7:35:00	0.67345	303.6183	0.9467	1.2716	1.2887	1.1979	0.8818	0.2497
7:35:59	0.67144	304.6548	0.9427	1.2733	1.2889	1.2029	0.881	0.2494
7:37:00	0.66941	305.5431	0.9592	1.2847	1.2946	1.2081	0.8849	0.2501
7:38:00	0.66737	300.8644	0.9297	1.2522	1.2792	1.1921	0.879	0.2457
7:38:59	0.66531	297.9921	0.9021	1.2468	1.264	1.1866	0.8735	0.2403

ประวัติย่อผู้วิจัย

## ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายภูวกฤต ใจหอม
วันเดือนปีเกิด	1 พฤศจิกายน พ.ศ.2524
สถานที่เกิด	อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	258 หมู่ 4 ตำบลแจระแม อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี 34000
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	ครู ค.ศ. 1 โรงเรียนบ้านดงเมย ตำบลคอแลน อำเภอบุณฑริก จังหวัดอุบลราชธานี
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โรงเรียนบ้านดงเมย ตำบลคอแลน อำเภอบุณฑริก จังหวัดอุบลราชธานี 34230 สังกัดสำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาอุบลราชธานี เขต 5
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2544	มัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนบัวงามวิทยา จังหวัดอุบลราชธานี
พ.ศ. 2548	ปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์ จาก มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
พ.ศ. 2553	ปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ