

ขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลการหาปริมาณไนโตรเจนในคอลัมน์ของบรรยากาศทั้งหมดด้วยการใช้
เครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรองในประเทศไทย



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ตุลาคม 2553
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลการหาปริมาณไนโตรเจนในคอลัมน์ของบรรยากาศทั้งหมดด้วยการใช้
เครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรองในประเทศไทย



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ตุลาคม 2553

วิริยญา ศรีสงเปลือย. (2553). ขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลการหาปริมาณไนโตรเจนในคอลัมน์ของบรรยากาศทั้งหมดด้วยการใช้เครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรองในประเทศไทย. ปรินุญยานิพนธ์ กศ.ม. (ฟิสิกส์). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม : รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทศร, อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์.

งานวิจัยนี้ได้แสดงขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลการหาปริมาณไนโตรเจนในคอลัมน์ของบรรยากาศทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่งในแต่ละวัน ณ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย โดยใช้ข้อมูลท้องฟ้าโปร่งที่วัดด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง (MFR-7) ที่ความยาวคลื่น 415 nm โดยมีการดำเนินการด้วยการนำค่าที่เกิดจากการกระเจิงแบบเรย์ลีย์ลบออกจากค่าความลึกเชิงแสงของบรรยากาศที่หาได้ โดยมีการปรับค่าการสิ้นสุดทั้งหมดระหว่างการดูดกลืนไนโตรเจนไดออกไซด์กับการสิ้นสุดเนื่องจากละอองลอย ได้ศึกษาข้อมูลการแปรผันของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในเวลากลางวัน กลางคืน และเต็มวัน คาบละ 5 วันในฤดูหนาวและฤดูร้อนในปี 2546 ผลที่ได้รับแสดงให้เห็นแนวโน้มความหนาแน่นของไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงเวลาเย็นสูงกว่าช่วงเช้าโดยมีค่าเฉลี่ยของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ รายวันอยู่ระหว่าง 9 – 55 DU และมีค่าสูงในฤดูร้อน

RETRIEVAL ALGORITHM OF TOTAL ATMOSPHERIC COLUMN NITROGEN CONTENT
USING MULTI-FILLTER ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER IN THAILAND



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

Wirinya Srisongpleay. (2010). *Retrieval Algorithm of Total Atmospheric Column Nitrogen Content Using Multi-filter Rotating Shadowband Radiometer in Thailand*. Master thesis, M.Ed. (Physics). Bangkok : Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Assoc.Prof. Arunee Intasorn, Siriluk Ruangrungrote.

The retrieval algorithm of daily instantaneous total atmospheric column nitrogen content at Sri Samrong district of Sukhothai province in Thailand from Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer (MFR-7) of clear sky data at wavelength 415 nm is described. Atmospheric total nitrogen contribution was derived from Rayleigh scattering subtraction from optical depth retrieval in the terrestrial atmosphere and from trading total extinction between NO_2 absorption and aerosol extinction. The daily morning/evening and full day NO_2 variations were studied for 5-day period in winter and summer 2003. Results show trend of higher NO_2 densities in the evening ones in the than morning period with daily mean atmospheric column NO_2 amounts of 9– 55 DU (high in summer).

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

ขั้นตอนวิธีวิเคราะห์และแสดงผลการหาปริมาณไนโตรเจนในคอลัมน์ของบรรยากาศทั้งหมดด้วยการใช้เครื่อง
เรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรองในประเทศไทย

ของ

วิริญญา ศรีสงเปลือย

ได้รับการอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ 27 เดือน กันยายน พ.ศ. 2553

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทสร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ประธาน
(อาจารย์ ดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทสร)

..... กรรมการ
(อาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย นาคะผดุงรัตน์)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจากรองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทธร ประธานควบคุมปริญญานิพนธ์และอาจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ กรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้ความรู้ในทุกๆเรื่อง คำแนะนำ คำปรึกษา คอยตรวจแก้ไข และตลอดจนช่วยเหลือและให้โอกาสในด้านต่างๆเป็นอย่างมาก ตลอดระยะเวลาที่ได้ทำงานวิจัย ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย นาคะผดุงรัตน์และดร.จตุรงค์ สุคนธชาติ ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเป็นคณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์และความกรุณาให้คำแนะนำแนวคิด และหลักการต่างๆซึ่งเป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินการทำปริญญานิพนธ์จนสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆและน้องๆนิสิตปริญญาโท วิชาเอกฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒทุกท่าน

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ มารดา บิดา ทุกๆคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัย ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิริญญา ศรีสงเปลือย

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
ความมุ่งหมายของงานวิจัย	2
ขอบเขตของงานวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
นิยามศัพท์เฉพาะ	3
2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง	5
ทฤษฎี	5
เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
3 วัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	28
วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	28
สถานที่ดำเนินงาน	29
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	29
4 ผลการทดลอง และการอภิปราย	36
5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	80
สรุปผลการทดลอง	80
ข้อเสนอแนะ	82
บรรณานุกรม	84
ประวัติย่อผู้วิจัย	87

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1 ตัวอย่างข้อมูลดิบที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง MFR-7 ในวันที่ 22 มกราคม 2546	36
2 ผลการแสดงผลการเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ (R^2) ในช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม และวันที่ 1 , 3 ,4, 5 ,7 เมษายน พ.ศ.2546.....	59
3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย(qT_a)ที่ความยาวคลื่น 415 nm ค่าอัตราส่วนของการสิ้นสุดสุทธิของการดูดกลืนไนโตรเจนไดออกไซด์เทียบกับละอองลอย(q) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสีนใจ (R^2) ในช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม และวันที่ 1 , 3 ,4, 5 ,7 เมษายน พ.ศ. 2546.....	71
4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ค่าความหนาแน่นของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดทั้งคอลัมน์ในหน่วย โมเลกุล/ตารางเซนติเมตรและหน่วย DU ในช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม และวันที่ 1 , 3 , 4, 5, 7 เมษายน พ.ศ. 2546.....	73

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1 แสดงโครงสร้างของบรรยากาศที่พิจารณาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน.....	5
2 แสดงกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันอากาศกับระยะสูงจากโลกและแสดงความหนาแน่นของอากาศกับระยะสูงจากโลก.....	8
3 แสดงกราฟองค์ประกอบของบรรยากาศ.....	8
4 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมที่ทำกับดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อฤดูกาล.....	14
5 แสดงรูปทรงเรขาคณิตของเครื่อง MFR-7.....	15
6 แสดงค่าความลึกเชิงแสง(Optical Depth) องค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกตามความยาวคลื่นในช่วง 400 – 900 nm ที่เครื่อง MFRSR วัดได้.....	17
7 แสดงอัตราส่วนการแพร่(เส้นหนา)และการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นบาง)ที่เวลาของวันที่ทำการทดสอบ.....	19
8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln ความเข้มของรังสีสเปกตรัม (Spectral Irradiance) กับมวลอากาศ.....	23
9 แสดงความสัมพันธ์ของการเขียนกราฟเชิงเส้น.....	24
10 แสดงเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบMFR-7 ณ สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย.....	26
11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีรวมของดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่22มกราคมพ.ศ.2546(LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น).....	37
12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีรวมของดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่23มกราคมพ.ศ.2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น).....	37
13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีรวมของดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่24มกราคมพ.ศ.2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น).....	38
14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีรวมของดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่25มกราคมพ.ศ.2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น).....	38
15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีรวมของดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่26มกราคมพ.ศ.2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น).....	39

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

หน้า[illegible]

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)และการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546	46
30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)และการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546	47
31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.868 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็ค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.111	48
32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.849 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็ค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.128	48
33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.995 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็ค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.150	49
34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.354 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็ค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.059	49
35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.900 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็ค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.096	50

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.957 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.149.....	50
37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.961 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.039.....	51
38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.902 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.026.....	51
39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.926 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.085.....	52
40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.873 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.013.....	52
41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - \tau_p m)$ กับ m (มวลอากาศของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (τ_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.143 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.844...	53

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_s m)$ กับ m (มวลอากาศของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_s) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.163 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.825.... 54
- 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_s m)$ กับ m (มวลอากาศของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_s) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.207 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.949..... 54
- 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_s m)$ กับ m (มวลอากาศของวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_s) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.192 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.321..... 55
- 45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_s m)$ กับ m (มวลอากาศของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_s) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.121 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.877..... 55
- 46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_s m)$ กับ m (มวลอากาศของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_s) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.289 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.957..... 56

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_s m)$ กับ m (มวลอากาศของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_s) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.135 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.953..... 56
- 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_s m)$ กับ m (มวลอากาศของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_s) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.194 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.888..... 57
- 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_s m)$ กับ m (มวลอากาศของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_s) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.357 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.921..... 57
- 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_s m)$ กับ m (มวลอากาศของ วันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_s) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.271 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.861..... 58
- 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ.2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.971 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.922..... 60
- 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ.2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ 0.001 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.947 61

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 24 มกราคมพ.ศ.2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 1.025 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.978 61
- 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.731 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.788 62
- 55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก)ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.943 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.962..... 62
- 56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.971 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.922 63
- 57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก)ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.828 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.948 63
- 58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.934 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.881 64
- 59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก)ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 1.042 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.855 64
- 60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 1.272 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)เท่ากับ 0.963 65

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- 61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tilde{\nu}_{415\text{nm}} - q$ ($\tilde{\nu}_{870\text{nm}}$) กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.197 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ(C) เท่ากับ 1.00 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.702 65
- 62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tilde{\nu}_{415\text{nm}} - q$ ($\tilde{\nu}_{870\text{nm}}$) กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.182 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.728..... 66
- 63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tilde{\nu}_{415\text{nm}} - q$ ($\tilde{\nu}_{870\text{nm}}$) กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.234 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 1.000 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.843..... 67
- 64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tilde{\nu}_{415\text{nm}} - q$ ($\tilde{\nu}_{870\text{nm}}$) กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.179 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 1.00 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.634..... 67
- 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tilde{\nu}_{415\text{nm}} - q$ ($\tilde{\nu}_{870\text{nm}}$) กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.177 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.806 68

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- 66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tilde{\nu}_{415\text{nm}} - q$ ($\tilde{\nu}_{870\text{nm}}$) กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์(T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.448 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.814 68
- 67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tilde{\nu}_{415\text{nm}} - q$ ($\tilde{\nu}_{870\text{nm}}$) กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.299 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.754 69
- 68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tilde{\nu}_{415\text{nm}} - q$ ($\tilde{\nu}_{870\text{nm}}$) กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.565 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.714 69
- 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tilde{\nu}_{415\text{nm}} - q$ ($\tilde{\nu}_{870\text{nm}}$) กับ m (มวลอากาศ)ของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.772 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 1.00และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2) เท่ากับ 0.625 70

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $415m - q$ (870m) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (TN) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.897 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 1.00และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R2) เท่ากับ 0.904	70
71 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาวของจังหวัดสุโขทัย.....	74
72 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ช่วงวันที่ 1 , 3 ,4, 5 ,7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนของจังหวัดสุโขทัย	75
73 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ตลอดทั้งวัน (เส้นน้ำเงิน) ช่วงเช้า (เส้นชมพู) และช่วงบ่าย(เส้นเขียว) กับวันที่ทำการศึกษา (a) ข้อมูลช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546ซึ่งตรงกับฤดูหนาวและ(b) ข้อมูลช่วงวันที่ 1 , 3 ,4, 5 ,7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับฤดูร้อน.....	76
74 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm ตลอดทั้งวัน(เส้นน้ำเงิน) ช่วงเช้า(เส้นชมพู)และช่วงบ่าย(เส้นเขียว) กับวันที่ทำการศึกษา (a) ข้อมูลช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาวและ (b) วันที่ 1 , 3 ,4, 5 ,7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อน.....	77
75 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดทั้งวัน(เส้นน้ำเงิน) ช่วงเช้า(เส้นชมพู)และช่วงบ่าย(เส้นเขียว)กับวันที่ทำการศึกษา (a) วันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาวและ(b) วันที่ 1 , 3 ,4, 5, 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อน.....	78

บัญชีภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพประกอบ

หน้า

- 76 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดทั้งคอลัมน์ในหน่วยDU ตลอดทั้งวัน(เส้นน้ำเงิน) ช่วงเช้า(เส้นชมพู) และช่วงบ่าย(เส้นเขียว)กับวันที่ทำการศึกษา (a) วันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาวและ(b) วันที่ 1 , 3 ,4, 5 ,7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อน.....

79



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

โลกของเรามีชั้นของบรรยากาศห่อหุ้มอยู่โดยรอบหนาประมาณ 15 กิโลเมตร¹ ชั้นของบรรยากาศดังกล่าวนี้ประกอบด้วย แก๊สไนโตรเจน ออกซิเจน ฝุ่นละอองไอน้ำและเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ แก๊สที่สำคัญที่สุดต่อการดำรงอยู่ของสิ่งมีชีวิตในโลก คือ แก๊สออกซิเจน และชั้นของบรรยากาศที่มีแก๊สออกซิเจนเพียงพอต่อการดำรงชีวิตมีความหนาเพียง 5 - 6 กิโลเมตรเท่านั้น ซึ่งปกติอากาศบริสุทธิ์จะมีส่วนประกอบ ของแก๊สต่างๆค่อนข้างคงที่ คือแก๊สไนโตรเจน 78.09% แก๊สออกซิเจน 20.94% แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และแก๊สเฉื่อย 0.97% แต่เมื่อใดก็ตามที่ส่วนประกอบของอากาศเปลี่ยนแปลงไปมีปริมาณของละอองลอย แก๊ส กลิ่น หมอกควัน ไอ ไอน้ำ และ เขม่า อยู่ในบรรยากาศมากเกินไปเราเรียกรวมๆดังกล่าวว่า"อากาศเสีย"หรือ"มลพิษทางอากาศ"

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติเป็นเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์ พืช หรือสิ่งต่างๆ อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองจากลมพายุ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟไหม้ป่า อากาศเสียที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติเป็นอันตรายต่อมนุษย์น้อยกว่าที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ เพราะแหล่งกำเนิดอยู่ไกลและปริมาณที่เข้าสู่สภาพแวดล้อมของมนุษย์และสัตว์มีน้อย มลพิษที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ มลพิษจากท่อไอเสียของรถยนต์ จากขบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม จากกิจกรรมด้านการเกษตร จากการระเหยของแก๊สบางชนิด ซึ่งเกิดจากขยะมูลฝอยและของเสีย เป็นต้น

แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นแก๊สประเภทเดียวกับแก๊สที่มีปฏิกิริยาสูงที่เรียกว่าออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) แก๊สเหล่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้มีอุณหภูมิสูง² ออกไซด์ของไนโตรเจนมีทั้งหมด 7 รูป ได้แก่ N_2O NO NO_2 N_2O_5 N_2O_3 N_2O_4 และ NO_3 แต่มีเพียง NO และ NO_2 ที่เป็นสารมลพิษทางอากาศและที่สำคัญ NO_2 เป็นแก๊สเรือนกระจก

¹ทรงกต ทศานนท์. (2542). *หลักอุณหภูมิมิวิทยา*. หน้า 9-11.

²E.D. Glendening; A.M. Halpern. (2007). *Ab initio Calculations of Nitrogen Oxide Reactions: Formation of N_2O_2 N_2O_3 N_2O_4 N_2O_5 and N_4O_2 from NO NO_2 NO_3 and N_2O* . The Journal of Chemical Physics. 127 (16),pp.1-11.

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือที่มีความละเอียดสูง และสามารถติดตามผลการของเปลี่ยนแปลงข้อมูลของแสงอาทิตย์ได้อย่างต่อเนื่องคือ เครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง (Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer) ที่เรียกว่า MFR-7 ซึ่งเคยติดตั้งไว้ที่อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย เครื่องมือนี้เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการเก็บข้อมูลปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้ง การแผ่รังสีทั้งหมด (Total Irradiance) และการแผ่รังสีแบบแพร่ (Diffuse Irradiance) ได้พร้อมกันในเวลาเดียวกัน ซึ่งทำการวัดที่ความยาวคลื่นต่างๆ 6 ค่า ในช่วงความยาวคลื่นจาก 415 ถึง 940 nm โดยนำข้อมูลที่วัดได้มาวิเคราะห์หาปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทยเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศต่อไป

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับไนโตรเจนไดออกไซด์ ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทยยังอยู่ในระยะเริ่มต้น และจากการที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับความร่วมมือในการอนุเคราะห์เครื่องเรดิโอมิเตอร์(MFR-7)จากประเทศญี่ปุ่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 โดยติดตั้ง ณ สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ทำให้มีข้อมูลดิบที่วัดได้แต่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์หาปริมาณต่างๆที่เกี่ยวข้อง โดยข้อมูลที่วัดได้มีค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องมากมายซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปรด้วยกัน โดยทั่วไปมักนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคิดวิเคราะห์ซึ่งยังไม่ได้มีการวิเคราะห์อย่างละเอียด การเลือกใช้วิธีที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเห็นความสำคัญในการนำความรู้ทางฟิสิกส์มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทยด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์นี้ ซึ่งน่าจะให้ข้อมูลเกี่ยวกับบรรยากาศของประเทศไทยได้ต่อไป และคาดหวังว่าสามารถแสดงผลของการวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยเครื่องมือนี้ได้อย่างถูกต้องชัดเจน

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ตั้งความมุ่งหมายไว้ดังนี้

- 1.เพื่อให้ได้ข้อมูลปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในบรรยากาศของประเทศไทย พร้อมกับการได้ข้อมูลละอองลอยในบรรยากาศของประเทศไทยด้วย
- 2.เพื่อแสดงผลของเทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดด้วยเครื่องMFR-7 เกี่ยวกับการหาปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ทั้งแบบการแผ่รังสีแบบทั้งหมด (Total Irradiance) และการแผ่รังสีแบบแพร่ (Diffuse Irradiance)
- 3.เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศตามฤดูกาลในปีพ.ศ.2546 คือ ฤดูร้อน(เมษายน)และฤดูหนาว(มกราคม) ในประเทศไทย

ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาเกี่ยวกับละอองลอย ในบรรยากาศของประเทศไทย
2. ศึกษาเกี่ยวกับปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในบรรยากาศ
3. ศึกษาหลักการทำงานของเครื่อง MFR-7
4. ศึกษาวิธีการนำข้อมูลดิบที่ได้จากเครื่องมือ MFR-7 ของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บริเวณสถานีตรวจวัดการแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ในเดือนมกราคม และเดือนเมษายนมาวิเคราะห์ค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยการหาค่าความลึกเชิงแสงในชั้นบรรยากาศ ที่ช่วงความยาวคลื่น 415 nm และ 870 nm โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Method) พร้อมแสดงผลในรูปแบบของกราฟ

5. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงความยาวคลื่น 415 nm มาหาค่าปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2546

6. นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ มาทำการศึกษาปริมาณการเปลี่ยนแปลงของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศของประเทศไทย ที่ฤดูกาลที่ต่างกันคือในช่วงฤดูหนาว (มกราคม) และในช่วงฤดูร้อน (เมษายน) ในปีพ.ศ. 2546

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของเทคนิคการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth) ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ของบรรยากาศในประเทศไทยด้วยเครื่อง MFR-7
2. ได้นำความรู้และหลักการทางวิชาชีพไปใช้ประโยชน์ในการอธิบายผลที่ได้จากการวิจัย เพื่อก่อให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ละอองลอย (Aerosol) หมายถึง อนุภาคขนาดเล็กที่ลอยค้างอยู่ในอากาศ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.001 – 10 ไมโครเมตร
2. มวลอากาศ (Air Mass) หมายถึง ก้อนของอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นใกล้เคียงกัน ทั้งก่อนที่อยู่บริเวณเดียวกัน
3. ความลึกเชิงแสง (Optical Depth) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณการส่งผ่านของแสงที่ทะลุผ่านวัตถุหนึ่งๆ
4. รังสีตรง (Direct Radiation) หมายถึง รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์โดยไม่มีการกระเจิงโดยชั้นของบรรยากาศ มีทิศทางแน่นอนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง นั่นคืออยู่ในแนวของลำแสงของดวงอาทิตย์

5.รังสีแพร่ (Diffuse Radiation) หมายถึง รังสีของดวงอาทิตย์ส่วนที่สะท้อนและกระเจิงเมื่อรังสีของดวงอาทิตย์กระทบกับบรรยากาศโลก โดยมีแก๊ส ละอองลอย และสิ่งต่างๆที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบบนพื้นผิวรับแสง รังสีแพร่จะมาจากทุกทิศทุกทางในท้องฟ้า

6.ท้องฟ้าโปร่ง(Clear Sky) หมายถึง สภาพท้องฟ้าที่เราสามารถเห็นแหล่งกำเนิดแสงได้อย่างชัดเจน โดยค่าความเข้มแสงของดวงอาทิตย์เกิดจากการแผ่รังสีตรงของดวงอาทิตย์



บทที่ 2

ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎี

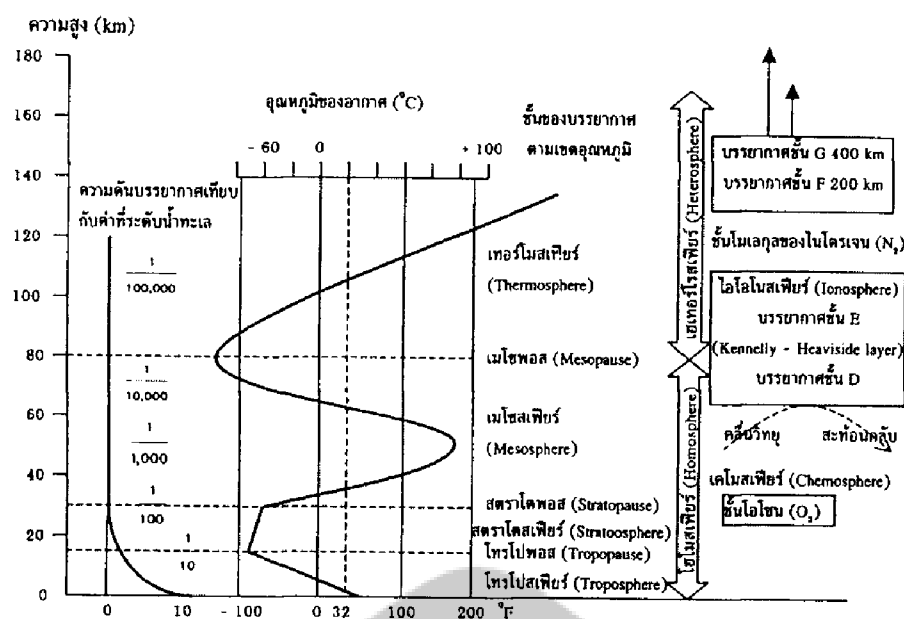
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

1. บรรยากาศของโลก
2. ละอองลอยและโมเลกุลของแก๊สต่างๆในชั้นบรรยากาศ
3. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์
4. เครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง (Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer : MFRSR)
5. ความลึกเชิงแสง (Optical Depth)
6. การตรวจสอบการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ (Normalized Diffuse Ratio Variability Test)
7. วิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Analysis) และสมการที่เกี่ยวข้อง
8. การวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression Analysis)
9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1 บรรยากาศของโลก¹

บรรยากาศ (Atmosphere) คือ อากาศที่อยู่รอบ ๆ ตัวเราและที่หุ้มห่อโลกตั้งแต่พื้นดินขึ้นไปจนถึงระดับที่สูงสุดในท้องฟ้า ซึ่งเป็นส่วนผสมของแก๊สต่าง ๆ รวมทั้งไอน้ำ ที่ระเหยจากพื้นน้ำในแหล่งต่างๆและจากการคายน้ำของพืชด้วยอากาศที่ไม่มีไอน้ำอยู่ด้วยเราเรียกว่า อากาศแห้ง ส่วนอากาศที่มีไอน้ำปนอยู่ด้วยเราเรียกว่า อากาศชื้น ไอน้ำในบรรยากาศมีอยู่ระหว่างร้อยละ 0-4 ของอากาศทั้งหมด แต่ไอน้ำเป็นส่วนผสมสำคัญยิ่งของอากาศ เพราะไอน้ำเป็นสาเหตุของการเกิดฝน ลม พายุ ฟ้าแลบและฟ้าร้อง ซึ่งเป็นส่วนที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตบนโลก ชั้นบรรยากาศมีความหนาแน่นรวมแล้วประมาณ 400 กิโลเมตร อากาศในชั้นบรรยากาศแต่ละชั้นจะแตกต่างกัน แต่ในทุก ๆ ชั้นล้วนเป็นส่วนสำคัญของสิ่งแวดล้อมของโลกทั้งสิ้น ดังนั้นหากอากาศที่ห่อหุ้มโลกเปลี่ยนแปลงมากจนเกิดความแปรปรวนของบรรยากาศก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอย่างร้ายแรง

¹ทรงกต ทศานนท์. (2542) . หลักอุตุนิยมวิทยา. หน้า 9



ภาพประกอบ 1 โครงสร้างของบรรยากาศที่พิจารณาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

ที่มา : The LESA Project (2004) ,Structure of Atmosphere p. 3

1.1 ชั้นบรรยากาศ¹

โครงสร้างของชั้นบรรยากาศพิจารณาจากความแตกต่างกันของอุณหภูมิตามระดับความสูงจะสามารถจำแนกชั้นบรรยากาศได้ 4 ชั้น คือ ชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) ชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) ชั้นเมโซสเฟียร์ (Mesosphere) และชั้นเทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere) ดังภาพประกอบที่ 1

โทรโพสเฟียร์ (Troposphere) เป็นบรรยากาศชั้นล่างสุดของบรรยากาศที่เราอาศัย มีความหนาประมาณ 10 - 15 กิโลเมตร โดยร้อยละ 80 ของมวลอากาศทั้งหมดอยู่ในบรรยากาศชั้นนี้ รูปทรงของบรรยากาศชั้นนี้จึงค่อนข้างแบนคล้ายกับทรงกลมที่ถูกบีบด้านบนและด้านล่าง แหล่งกำเนิดความร้อนของโทรโพสเฟียร์คือพื้นผิวโลกซึ่งดูดกลืนรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ และแผ่รังสีอินฟราเรด(Infrared) ออกมา ดังนั้นยิ่งสูงขึ้นไปอุณหภูมิจะลดต่ำลง โทรโพสเฟียร์มีไอน้ำอยู่จำนวนมาก

¹The LESA Project. (2004). *Structure of Atmosphere*. pp. 3-11

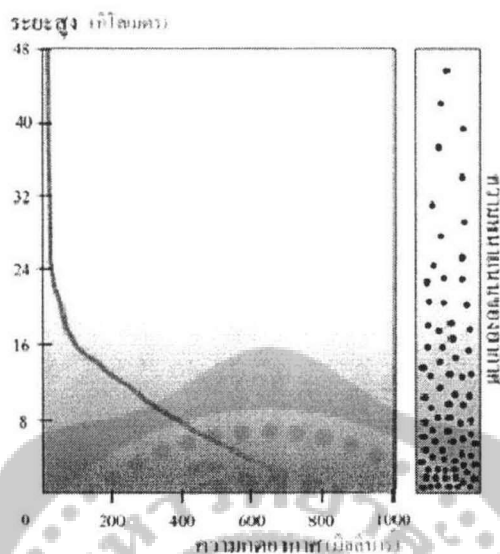
มากจึงทำให้เกิดปรากฏการณ์น้ำฟ้าต่างๆ เช่น เมฆ พายุ ฝน เป็นต้น บรรยากาศชั้นนี้มักปรากฏสภาพอากาศรุนแรง เนื่องจากมีมวลอากาศอยู่หนาแน่น และมีการดูดคายความร้อนแฝงอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำในอากาศ รวมทั้งอิทธิพลทางภูมิศาสตร์ของพื้นผิวโลก

สตราโตสเฟียร์ (Stratosphere) เป็นบรรยากาศชั้นที่ต่อจากชั้นโทรโพสเฟียร์ตอนล่างมีอุณหภูมิประมาณ -60 องศาเซลเซียส รอยต่อระหว่างบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์และเมโซสเฟียร์ เรียกว่า สตราโตพอส (Stratopause) บรรยากาศชั้นนี้มีอากาศประมาณร้อยละ 15 – 20 ของบรรยากาศทั้งหมด สัดส่วนของแก๊สส่วนประกอบหลักของอากาศเช่นเดียวกับชั้นโทรโพสเฟียร์ แต่มีปริมาณแก๊สส่วนประกอบย่อยมากกว่า ได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ โอโซน และมีฝุ่นละอองอยู่ในชั้นนี้ค่อนข้างมาก ฝุ่นละอองเหล่านี้ลอยขึ้นมาจากการระเบิดของภูเขาไฟ และการทดลองระเบิดปรมาณู

เมโซสเฟียร์ (Mesosphere) เป็นบรรยากาศชั้นที่ต่อจากบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ อุณหภูมิของอากาศชั้นนี้ลดลงตามความสูงจากประมาณ -50 องศาเซลเซียส ถึงประมาณ -100 องศาเซลเซียส ที่ความสูงจากผิวโลกประมาณ 80 กิโลเมตร ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างบรรยากาศชั้นเมโซสเฟียร์และบรรยากาศชั้นเทอร์โมสเฟียร์เรียกบริเวณรอยต่อนี้ว่า เมโซพอส (Mesopause) ส่วนประกอบของแก๊สในชั้นนี้ยังคงเป็นเนื้อเดียวกันมีสัดส่วนของแก๊สคงที่ แต่มีปริมาณของแก๊สส่วนประกอบของอากาศลดลงตามความสูง บรรยากาศชั้นนี้สงบเงียบปราศจากฝุ่นละอองและไอน้ำ

เทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere) มวลอากาศในชั้นเทอร์โมสเฟียร์ไม่ได้อยู่ในสถานะของแก๊สแต่อยู่ในสถานะของประจุไฟฟ้า เนื่องจากอะตอมของแก๊สไนโตรเจนและออกซิเจนในบรรยากาศชั้นบนได้รับรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ เช่น รังสีเอ็กซ์และแตกตัวเป็นไอออนเหนือชั้นเทอร์โมสเฟียร์ขึ้นไปที่ระยะสูงประมาณ 500 กิโลเมตร โมเลกุลของอากาศอยู่ห่างไกลกันมากจนไม่สามารถวิ่งชนกับโมเลกุลอื่นได้ ในบางครั้งโมเลกุลซึ่งเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงเหล่านี้อาจหลุดพ้นอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงโลก เราเรียกบรรยากาศในชั้นที่อะตอมหรือโมเลกุลของอากาศมีแนวโน้มจะหลุดพ้นไปสู่อวกาศนี้ว่า “เอ็กโซสเฟียร์” (Exosphere) บางครั้งเราเรียกบรรยากาศที่ระดับความสูง 80-400 กิโลเมตรว่า “ไอโอโนสเฟียร์” (Ionosphere) เนื่องจากแก๊สในบรรยากาศชั้นนี้มีสถานะเป็นประจุไฟฟ้าซึ่งมีประโยชน์ในการสะท้อนคลื่นวิทยุสำหรับการสื่อสารโทรคมนาคม เมื่อมองโครงสร้างในแนวดิ่งจะไม่มีขอบเขตของรอยต่อระหว่างบรรยากาศและอวกาศที่แน่ชัด ยิ่งสูงขึ้นไปอากาศยิ่งบาง แม้ว่าชั้นบรรยากาศที่เราศึกษาจะมีความสูงไม่เกิน 100 กิโลเมตร แต่ที่ระยะสูง 400 กิโลเมตร ก็ยังมีอนุภาคของอากาศอยู่มากพอที่จะสร้างแรงเสียดทานให้ดาวเทียมและยานอวกาศเคลื่อนที่ช้าลง โมเลกุลของอากาศถูกแรงโน้มถ่วงของโลกดึงดูดไว้ให้กองทับถมกัน ดังนั้นยิ่งใกล้พื้นผิวโลกก็ยิ่งมีการกดทับของอากาศมาก เราเรียกน้ำหนักของอากาศที่กดทับลงมานี้ว่า “ความดันอากาศ” (Air Pressure) ความดันอากาศมีค่าแปรผันตรงกับ “ความหนาแน่นของอากาศ” (Air Density) ดังภาพประกอบ 2 ยิ่งความดันอากาศสูงความหนาแน่นของอากาศก็ยิ่งมาก

องค์ประกอบของแก๊สแต่ละชนิดก็ยังคงเดิม ณ ความสูงระดับนี้แม้ว่าจะมีอากาศอยู่แต่ก็มีความหนาแน่นน้อยกว่าสภาวะสุญญากาศที่มนุษย์สร้างขึ้น



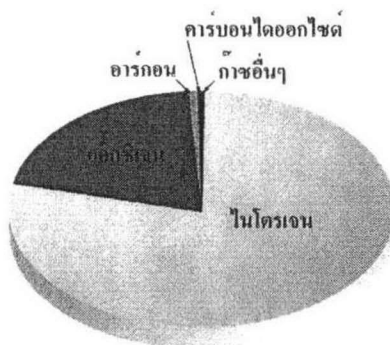
ภาพประกอบ 2 ภาพซ้ายเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความดันอากาศกับระยะสูงจากโลกและภาพขวาแสดงความหนาแน่นของอากาศกับระยะสูงจากโลก

ที่มา : The LESA Project (2004) ,Structure of Atmosphere p. 5

2 ละอองลอยและโมเลกุลของแก๊สต่างๆในชั้นบรรยากาศ¹

บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกส่วนใหญ่ประกอบด้วยแก๊สไนโตรเจนร้อยละ 78 แก๊สออกซิเจนร้อยละ 21 แก๊สอาร์กอนร้อยละ 0.9 ที่เหลือเป็น ไอน้ำ แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และแก๊สอื่น ๆ จำนวนเล็กน้อย ดังภาพประกอบ 3

¹ สายนัด โพธิ์เกตุ. (2542) . การศึกษาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย: วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร.



ภาพประกอบ 3 กราฟแสดงองค์ประกอบของบรรยากาศ

ที่มา : The LESA Project (2004). *Structure of Atmosphere*. p. 7

2.1 องค์ประกอบที่มีปริมาณคงที่

2.1.1 แก๊สออกซิเจน (O_2) เป็นผลผลิตจากการสังเคราะห์แสงของพืช สัตว์และสิ่งมีชีวิต มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับสารอื่นและช่วยให้ไฟติด ถ้าปริมาณของออกซิเจนในอากาศมีมากกว่าร้อยละ 35 โลกทั้งดวงจะลุกไหม้ติดไฟ ดังนั้นสิ่งมีชีวิตบนโลกจึงวิวัฒนาการให้มีสัตว์ ซึ่งใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญธาตุอาหาร และคายแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

2.1.2 แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ถึงแม้ว่ามีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ อยู่ในบรรยากาศเพียงร้อยละ 0.036 แต่เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต เนื่องจากแก๊สเรือนกระจกมีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดซึ่งแผ่ออกจากโลก ทำให้โลกอบอุ่น อุณหภูมิของกลางวันและกลางคืนไม่แตกต่างกันเกินไป นอกจากนั้นแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ยังเป็นแหล่งอาหารของพืช อย่างไรก็ตามแม้ว่าไนโตรเจน ออกซิเจน จะเป็นองค์ประกอบหลัก แต่ก็ไม่ได้มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของโลก ในทางตรงกันข้ามแก๊สโมเลกุลใหญ่ เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน แม้จะมีอยู่ในบรรยากาศเพียงเล็กน้อย แต่มีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ทำให้อุณหภูมิของโลกอบอุ่น เราเรียกแก๊สพวกนี้ว่า “แก๊สเรือนกระจก”

2.1.3 แก๊สอาร์กอน (Ar) เป็นก๊าซเฉื่อยไม่ทำปฏิกิริยากับธาตุอื่นเกิดขึ้นจากการสลายตัวของธาตุโปแทสเซียมภายในโลกที่มาจากซากกัมมันตรังสีที่มีอยู่ภายในโลก

2.1.4 แก๊สไนโตรเจน (N_2) มีคุณสมบัติไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับสารอื่นเนื่องจากแก๊สไนโตรเจนในสภาวะปกตินี้มีอะตอมของไนโตรเจนสองตัวจับกันอย่างแข็งแรงด้วยโคเวเลนต์ แต่เมื่ออะตอมเดี่ยวของมันแยกออกมารวมเข้าเป็นองค์ประกอบของสารอื่น เช่น ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และไดไนโตรเจนเตตราออกไซด์ (N_2O_4) โดยเฉพาะ NO_2 เนื่องจากเป็นแก๊สที่มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติและมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตมาก

1.2 องค์ประกอบที่มีปริมาณไม่คงที่

นอกจากแก๊สต่างๆ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักมีปริมาณคงที่แล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณผันแปรขึ้นอยู่กับสถานที่และเวลา องค์ประกอบผันแปรนี้แม้ว่าจะมีจำนวนอยู่เพียงเล็กน้อย แต่ก็ส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศและภูมิอากาศเป็นอันมาก ดังนี้

2.2.1 ไอน้ำ (H_2O) มีปริมาณ 0 – 4% ในบรรยากาศ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและสถานที่ ไอน้ำเป็นแก๊สเรือนกระจกเช่นเดียวกับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จึงมีคุณสมบัติในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกจากโลก นอกจากนั้นเมื่อไอน้ำกลั่นตัวเป็นละอองน้ำ หรือ “เมฆ” มีความสามารถในการสะท้อนแสงอาทิตย์ และแผ่รังสีอินฟราเรดทำให้พื้นผิวโลกไม่ร้อน หรือหนาวเกินไป

2.2.2 โอโซน (O_3) เกิดจากการที่ออกซิเจนแตกตัวเป็นอะตอมเดี่ยว (O) เนื่องจากการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลตในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ แล้วรวมตัวกับแก๊สออกซิเจนอีกทีหนึ่ง กลายเป็นแก๊สซึ่งมีโมเลกุลของออกซิเจน 3 อะตอม เรียกว่า “โอโซน” สะสมตัวเป็นชั้นบางๆ ในชั้นสตราโตสเฟียร์ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นผิวโลกที่ระดับความสูงประมาณ 10 - 60 กิโลเมตร โอโซนมีประโยชน์ในการกรองรังสีอัลตราไวโอเลตมิให้ลงมาทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต แต่เนื่องจากแก๊สโอโซนเป็นพิษต่อร่างกาย หากมีแก๊สโอโซนเกิดขึ้นที่ระดับต่ำในชั้นโทรโพสเฟียร์ (มักเกิดขึ้นจากเครื่องยนต์ และโรงงาน) ก็จะทำให้เกิดมลภาวะและถ้าความเข้มข้นของ O_3 ลดลงโดยอาจมีอะตอมของสารอื่นเข้าไป จะรบกวนสมดุลระหว่าง O_3 , O_2 ทำให้เกิด O_2 มากขึ้น หรือ O_3 ลดลงนั่นเอง

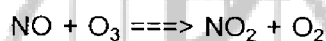
2.2.3 แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นแก๊สประเภทเดียวกับแก๊สที่มีปฏิกิริยาสูงที่เรียกว่าออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) แก๊สเหล่านี้จะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้มีอุณหภูมิสูง โดยออกไซด์ของแก๊สไนโตรเจนมีทั้งหมด 7 รูป ได้แก่ N_2O NO NO_2 N_2O_5 N_2O_3 N_2O_4 และ NO_3 แต่มีเพียง NO และ NO_2 ที่เป็นสารมลพิษทางอากาศที่สำคัญ NO_2 เป็นแก๊สเรือนกระจก สมบัติสารออกไซด์ของไนโตรเจนบางชนิด

ก) แก๊สไนตริกออกไซด์ (NO) เป็นแก๊สไม่มีสี และกลั่นจะทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนเปลี่ยนเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์

ข) แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) เป็นแก๊สสีน้ำตาลแกมแดงที่มีกลิ่นฉุน คล้ายแก๊สคลอรีน แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ละลายน้ำได้ดีและอยู่ในอากาศได้เพียง 3 วันเท่านั้น การที่สามารถ ละลายน้ำได้ดีทำให้เป็นต้นเหตุของการเกิดฝนกรด โดยแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับละอองน้ำในบรรยากาศได้เป็นกรดไนตริก (HNO_3) ซึ่งเป็นสารที่ก่อให้เกิดฝนกรด แก๊สออกไซด์ของไนโตรเจนจะถูกปล่อยจากยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตเครื่องใช้ อิเล็กทรอนิกส์ และโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ แก๊สไนโตรเจนออกไซด์จะมีสีน้ำตาลและทำให้สาลัก ซึ่งแก๊สนี้จะทำปฏิกิริยากับโอโซนในอากาศได้ง่าย และกลายเป็นกรดไนตริกที่มีฤทธิ์กัดกร่อนเช่นเดียวกับไนเตรตที่เป็นสารพิษ นอกจากนี้ไนโตรเจนออกไซด์ยังมีบทบาทสำคัญในการ

เกิดปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศ ซึ่งผล ปฏิกิริยานี้จะเกิดโอโซน (หรือหมอกควัน) แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ทำให้เกิดการระคายเคืองในปอดและภูมิคุ้มกันของร่างกายต่ำลง แก๊สชนิดนี้เมื่อรวมตัวกับน้ำจะเกิดเป็นกรดไนตริกเป็นอันตรายร้ายแรงต่อสิ่งมีชีวิต ถ้าร่างกายรับเอาแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงจะทำอันตรายต่อปอดโดยตรง เช่น ทำให้ปอดอักเสบ เนื้อปอดในปอดและทำให้หลอดลมตีบตัน และยังเป็นผลให้เกิดการติดเชื้ในระบบทางเดินหายใจ เช่น ไข้หวัดใหญ่ ผลกระทบจากการปล่อยไนโตรเจนไดออกไซด์ในระยะสั้นยังไม่เป็นที่แน่ชัด และสำหรับการปล่อยอย่างต่อเนื่องหรือถี่มาก ๆ ในลักษณะนี้ไนโตรเจนไดออกไซด์จะมีความเข้มข้นสูงกว่าที่พบในอากาศโดยทั่วไป ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุของการ เพิ่มขึ้นของการเจ็บป่วยด้วยโรคทางเดินหายใจอย่างรุนแรงในเด็ก ไนโตรเจนไดออกไซด์มีส่วนช่วยทำให้เกิดโอโซน และสามารถส่งผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อระบบนิเวศทั้งบนพื้นดินและแหล่งน้ำ

อย่างไรก็ตามแก๊สทั้งสองเกิดจากธรรมชาติมากกว่าการกระทำของมนุษย์ การเกิดแก๊สไนตริกออกไซด์มีอุณหภูมิเป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุด ดังนั้นรถยนต์และอุตสาหกรรมจึงเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดแก๊สเหล่านี้ หากแก๊สไนตริกออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโอโซนในบรรยากาศเกิดเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์และออกซิเจนในทางตรงกันข้ามแสงแดดก็ทำให้ไนโตรเจนออกไซด์แตกตัวทำปฏิกิริยาย้อนกลับดังสมการ



2.2.4 ละอองลอย (Aerosols) หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือของเหลวหรือของผสมระหว่างของแข็งและของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ แต่จะไม่รวมถึงเมฆและหมอกซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกัน ละอองลอยมีทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ละอองลอยที่เกิดจากธรรมชาติแบ่งได้เป็น ละอองลอยที่มาจากเปลือกโลก (Crustal Aerosols) ละอองลอยที่มีแหล่งกำเนิดจากน้ำทะเล (Maritime Aerosols) ละอองลอยที่มีแหล่งกำเนิดมาจากเปลือกโลกจะเกิดจากการกัดกร่อนของลมต่อเปลือกโลกซึ่งอาจเป็นพื้นดิน ทรายหรือหิน เป็นต้น โดยจะฟุ้งกระจายไปตามกระแสลม เราเรียกละอองลอยที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของดินนี้ว่า “ละอองลอยบริเวณพื้นทวีป (Continental Aerosols)” ซึ่งรวมถึงฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้มวล เป็นการเปลี่ยนแปลงแก๊สจากการเผาไหม้กลายเป็นอนุภาคของเถ้าถ่านเกิดเป็นละอองลอย ซึ่งฟุ้งกระจายในบรรยากาศส่วนละอองลอยที่มีแหล่งกำเนิดจากน้ำทะเลเกิดจากการที่น้ำทะเลกระเซ็นเป็นฝอยลอยขึ้นไปในอากาศ เนื่องจากลมและคลื่นมีการระเหยเป็นอนุภาคเล็กๆ ของเกลือแทรกตัวอยู่ในบรรยากาศ และมีองค์ประกอบของหยดน้ำเล็กๆ เหนือพื้นผิวทะเลหรือมหาสมุทรจะเรียกฝุ่นละอองแบบนี้ว่า “ละอองลอยบริเวณทะเล” ละอองลอยที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรมและยานพาหนะต่างๆ โดยละอองลอยจากอุตสาหกรรมจะเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ และเกิดจากกระบวนการผลิตที่มีการบัดของแข็งให้ละเอียดเป็นอนุภาคเล็กๆ เช่น ละอองลอยจากโรงสี และโรงม่หิน เป็นต้น ละอองลอยที่เกิดจากเขม่าที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์และถูกปลดปล่อยออกมาสู่บรรยากาศ

ภายนอกเราจะเรียกละอองลอยที่เกิดจากชุมชนเมืองว่า “ละอองลอยบริเวณตัวเมือง (Urban) ” เนื่องจากละอองลอยแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกันทั้งรังสีตรงและรังสีรวมของดวงอาทิตย์ ดังนั้นละอองลอยจึงทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่บรรยากาศมีมลพิษสูง จากการศึกษาของ สายนต์ โพธิ์เกตุ พบว่า ละอองลอยมีบทบาทสำคัญที่ทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงถึง 20% นอกจากนี้ฝุ่นละอองยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอีกด้วย

ชนิดของละอองลอยในอากาศได้จำแนกองค์ประกอบของละอองลอยดังนี้

- ก. dust-like component (D.L) เป็นองค์ประกอบที่มีลักษณะเป็นผงฝุ่น
- ข. oceanic component (O.C) เป็นองค์ประกอบที่มาจากทะเล จำพวกละอองน้ำ
- ค. water-soluble component (W.S) เป็นองค์ประกอบที่เป็นสารละลายน้ำได้
- ง. soot component (S.O) เป็นองค์ประกอบจำพวกเขม่า

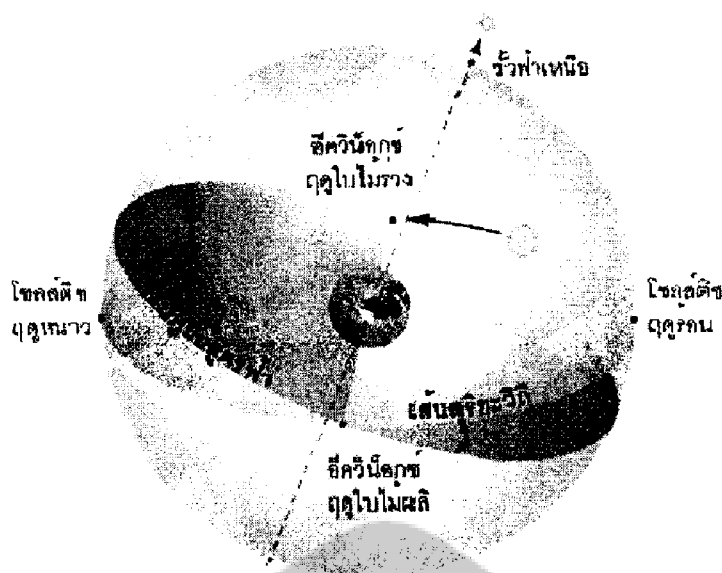
เมื่อองค์ประกอบทั้ง 4 ผสมกันคิดเป็นร้อยละโดยปริมาตรต่างๆ กัน ได้จำแนกละอองลอยในอากาศเป็น 3 แบบ คือ

1. ละอองลอยบริเวณพื้นทวีป เป็นละอองลอยที่มาจากภาคพื้นทวีปซึ่งเป็นการผสมกันขององค์ประกอบต่างๆ ดังนี้ องค์ประกอบที่มีลักษณะเป็นผงฝุ่น 70% องค์ประกอบที่เป็นสารละลายน้ำได้ 29% และองค์ประกอบจำพวกเขม่าควัน 1%
2. ละอองลอยบริเวณทะเล เป็นละอองลอยที่มาจากทะเล ประกอบด้วยองค์ประกอบที่เป็นสารละลายน้ำได้ 5% และองค์ประกอบที่มาจากทะเล 95%
3. ละอองลอยบริเวณตัวเมือง เป็นละอองลอยที่มาจากเมืองซึ่งผสมกันขององค์ประกอบต่างๆ ดังนี้คือ องค์ประกอบที่มีลักษณะเป็นผงฝุ่น 17% องค์ประกอบที่เป็นสารละลายน้ำได้ 61% และ องค์ประกอบจำพวกเขม่าควัน 22%

3 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์¹

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นผิวโลกเรียกว่า Terrestrial Radiation โดยอัตราของพลังงานที่ตกกระทบบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m^2) จะมีค่าเปลี่ยนแปลงขึ้นกับการแผ่รังสี (Radiation) ความส่องสว่าง (Irradiance) เป็นสัญญาณของการเปลี่ยนวันเนื่องจากการที่โลกหมุนรอบตัวเอง และการเปลี่ยนฤดูเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงมุมที่ทำกับดวงอาทิตย์ ในช่วงที่มีกลางวันเท่ากับ กลางคืน (Vernal Equinox 21 มีนาคม, Autumnal 22-23 กันยายน) รังสีของดวงอาทิตย์จะตั้งฉากกับผิวโลกที่เส้นศูนย์สูตร ทำให้การแผ่รังสีเท่ากันทั้งทางด้านซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ ในฤดูร้อน แขนงโลกจะเอียงด้านซีกโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์ทำให้ได้รับการแผ่รังสีมากกว่าซีกโลกใต้ใน ฤดูหนาวจะเป็นไปในทางกลับกัน ตำแหน่งที่แสงจากดวงอาทิตย์มีความเข้มข้นมากขึ้นกับเส้นละติจูด (Latitude) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ดังภาพประกอบ 4 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นตัวหลักทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สต่างๆ ในบรรยากาศ ไออน้ำ และ ละอองลอยในชั้นบรรยากาศโลก ทำให้การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ลดลง ซึ่งเกิดการกระเจิงของแสง (Scattering) และการเป็นตัวหลักทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณแก๊สต่างๆ ในบรรยากาศ ไออน้ำ และ ละอองลอยในชั้นบรรยากาศโลกทำให้การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ลดลง ซึ่งเกิดการกระเจิงของแสง และการดูดกลืนแสง (Absorption) การกระเจิงของแสงเป็นวิธีที่ลำแสงจากการแผ่รังสีถูกทำให้กระจายและเบาบางลง เนื่อง จากโมเลกุลในอากาศ ไออน้ำและละอองลอยในชั้นบรรยากาศ และการกระเจิงของแสงขึ้นกับตัวกลางและความยาวคลื่นของแสงที่ตกกระทบ การกระเจิงแสงจะเกิดมากที่ความยาวคลื่นต่ำซึ่งทำให้เห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน การดูดกลืนของแสง (Absorption) คือการที่แสงถูกดูดกลืนเนื่องจากโมเลกุลในบรรยากาศหลักๆ ทำให้การแผ่รังสีน้อยลงและเบาบางลง รังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นสั้นจะถูกดูดซับในชั้นโอโซนสเฟียร์

¹ Stair R; Ellis H T. (1968). *The solar constant based on newspectral irradiance data from 310 to 530 nanometers*. Journal of Applied Meteorology. pp. 635-644.



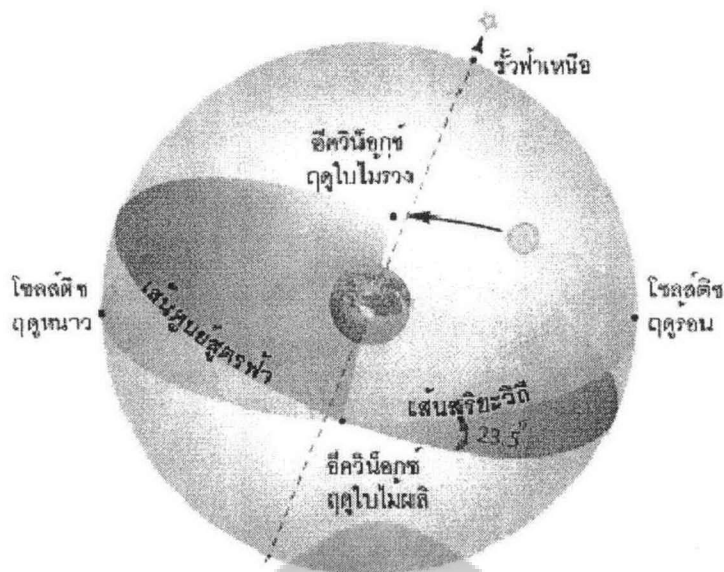
ภาพประกอบ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมที่ทำกับดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อฤดูกาล

ที่มา : The LESA Project (2003) , Earth Science and Astronomy.p.7

4 เครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง (Multi - Filter Rotating Shadowband Radiometer : MFRSR)¹

ในการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีการใช้เครื่อง MFRSR ซึ่งมีหลักการพื้นฐานเหมือนกับเครื่องโฟโตมิเตอร์ดวงอาทิตย์ (Sunphotometer) เครื่อง MFRS เป็นเครื่องมือวัดสเปกตรัม (Spectrum) รังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถวัดความเข้มการแผ่รังสีทั้งหมด (Total Radiation) ความเข้มการแผ่รังสีแพร่ (Diffuse Radiation) และความเข้มการแผ่รังสีตรง (Direct Radiation) ของดวงอาทิตย์ได้ MFR-7 เป็นเครื่อง MFRSR ที่วัดความเข้มการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้ 6 ความยาวคลื่น และมีช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (Broadband) 1 ช่อง รวมมีช่องสัญญาณ 7 ช่อง จึงเรียกเครื่องมือนี้ว่า "MFR-7"

¹ Yankee Environmental Systems. Inc. (2000) *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*



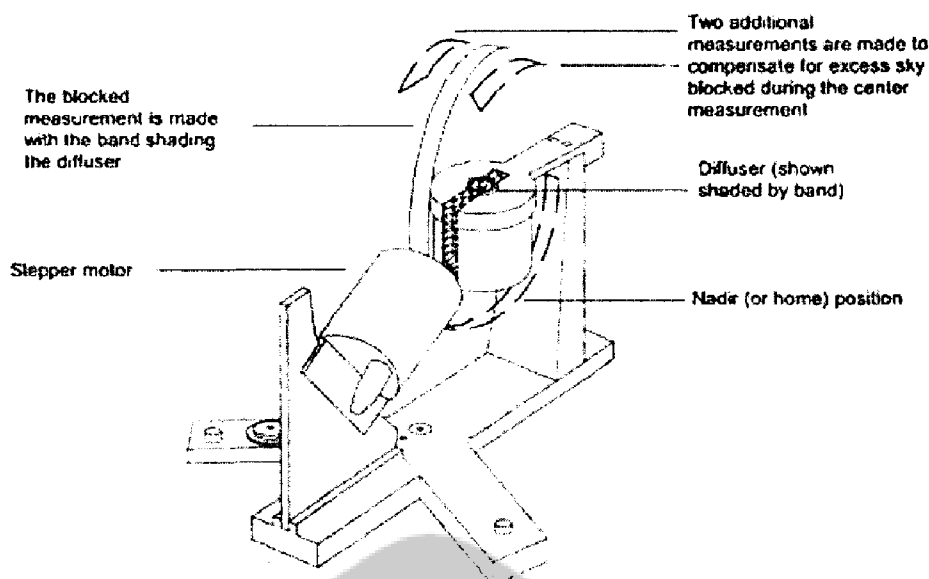
ภาพประกอบ 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงมุมที่ทำกับดวงอาทิตย์ที่มีผลต่อฤดูกาล

ที่มา : The LESA Project (2003) , Earth Science and Astronomy.p.7

4 เครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง (Multi - Filter Rotating Shadowband Radiometer : MFRSR)¹

ในการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีการใช้เครื่อง MFRSR ซึ่งมีหลักการพื้นฐานเหมือนกับเครื่องโฟโตมิเตอร์ดวงอาทิตย์ (Sunphotometer) เครื่อง MFRS เป็นเครื่องมือวัดสเปกตรัม (Spectrum) รังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถวัดความเข้มการแผ่รังสีทั้งหมด (Total Radiation) ความเข้มการแผ่รังสีแพร่ (Diffuse Radiation) และความเข้มการแผ่รังสีตรง (Direct Radiation) ของดวงอาทิตย์ได้ MFR-7 เป็นเครื่อง MFRSR ที่วัดความเข้มการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้ 6 ความยาวคลื่น และมีช่องสัญญาณที่ได้จากการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (Broadband) 1 ช่อง รวมมีช่องสัญญาณ 7 ช่อง จึงเรียกเครื่องมือนี้ว่า "MFR-7"

¹ Yankee Environmental Systems. Inc. (2000) *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*



ภาพประกอบ 5 แสดงรูปทรงเรขาคณิตของเครื่อง MFR-7

ที่มา : Yankee Environmental Systems, Inc. (2000) *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10.p. 4*

จากภาพประกอบ 5 เครื่อง MFR-7 ประกอบด้วยส่วนที่เป็นหัววัดแสง และส่วนที่ยื่นออกมาเพื่อบังรังสีจากดวงอาทิตย์เรียกว่า “แถบเงา (Shadowband)” โดยเครื่องมือนี้อาศัยหลักการเคลื่อนที่ของแถบเงาซึ่งมีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมแถบเงา ทำหน้าที่สลับการบังและไม่บังแสงจากดวงอาทิตย์ โดยช่องสัญญาณในช่วงความยาวคลื่นกว้าง (Partial) ซึ่งเป็นช่องสัญญาณที่จะทำการตรวจวัดรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นจาก 415 ถึง 940 nm โดยจะได้ค่าความเข้มรังสีทั้งหมด ความเข้มการแผ่รังสีแพร่ และความเข้มการแผ่รังสีตรงของดวงอาทิตย์ สำหรับช่องสัญญาณที่ 2-7 เป็นการวัดความเข้มรังสีในช่วงความยาวคลื่นแคบ (Narrowband) โดยช่องสัญญาณที่ความยาวคลื่น 415 และ 500 nm สามารถนำไปหาปริมาณแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์และละอองลอยส่วนที่ช่องสัญญาณ 615 nm สามารถใช้ในการหาปริมาณโอโซนและละอองลอย ช่องสัญญาณที่ความยาวคลื่น 870 nm จะใช้ในการหาปริมาณละอองลอยเท่านั้น และช่องสัญญาณที่ความยาวคลื่น 940 nm จะใช้ในการหาปริมาณไอน้ำในชั้นบรรยากาศได้

หลักการทำงานของเครื่อง MFR-7 จะทำการตรวจวัดปริมาณการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยแถบเงา (Shadowband) จะทำการหมุนซึ่งมีไมโครโพรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุม เมื่อแถบเงาเคลื่อนที่มาอยู่ที่จุดต่ำสุด (Nadir) ของหัววัด รังสีจากดวงอาทิตย์จะแผ่ผ่านชั้นบรรยากาศลงมาถึงกระทบบนหัววัด (Sensor Head) ในแนวตั้งฉาก เมื่อนำผลที่ได้มาแปลเป็นข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์จะได้ค่าความเข้มการแผ่รังสีทั้งหมดของดวงอาทิตย์ และเมื่อแถบเงาเริ่มเคลื่อนที่บดบังหัววัดในจุดต่างๆ จะได้ค่าความเข้มของการแผ่รังสีแพร่จากดวงอาทิตย์ 3 ค่า ดังนี้

ค่าแรกได้จากการที่แถบเงาเคลื่อนที่มาบังจุดรับแสงในทิศทางตั้งฉากกับหัววัดแล้วเกิด การบังดวงอาทิตย์อย่างสมบูรณ์ (Sun Complete Blocked)

อีกสองค่าเกิดจากการที่แถบเงาเคลื่อนที่ไปยังบริเวณด้านข้างของหัววัดทั้งสองด้านซึ่งเป็นตำแหน่งที่แถบเงาบดบังท้องฟ้าบางส่วน การบดบังรังสีของดวงอาทิตย์ที่จะส่องลงมาตกกระทบบนช่องรับแสงนี้เสมือนการเกิดเงามืด เพราะฉะนั้นปริมาณแสงที่เครื่องมือวัดได้จึงได้จากการกระเจิงของแสงที่ผ่านชั้นบรรยากาศ

ดังนั้นความเข้มของรังสีที่วัดได้ทั้ง 3 ค่าเมื่อนำมาแปลผลเป็นข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์จะได้ค่าความเข้มการแผ่รังสีแปรของดวงอาทิตย์ ซึ่งกระบวนการวัดของเครื่องมือนี้จะทำวัดค่าอย่างต่อเนื่อง โดยการเคลื่อนที่ของแถบเงาหนึ่งรอบใช้เวลาน้อยกว่า 10 วินาที และใน 1 นาทีสามารถเกิดกระบวนการวัดขึ้นได้มากกว่า 4 ครั้ง โดยแถบเงาจะเคลื่อนที่กลับไปมาโดยทำมุมระหว่าง 0-80 องศา ข้อมูลที่ได้แสดงถึงปริมาณรังสีที่ตกกระทบบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ความยาวคลื่น 6 ค่าทุก ๆ นาที และทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มมีแสงอาทิตย์จนดวงอาทิตย์ตกดิน

เครื่องมือมีโปรแกรมหาค่ารังสีตรง โดยจะนำค่าความเข้มของการแผ่รังสีทั้งหมดลบค่าความเข้มของการแผ่รังสีแปรและหารด้วยค่าโคไซน์ (cosine) ของมุมเซนนิท (Zenith Angle) หรือค่า $\cos z$ ก็จะได้ค่าความเข้มของการแผ่รังสีตรงที่ตกกระทบบนแนวตั้งฉากกับเครื่องมือ โดยใช้เวลาในการหาค่าการแผ่รังสีตรงเครื่องจะใช้เวลาน้อยกว่า 15 วินาทีทำให้สามารถหาค่าได้ 4 ครั้งต่อนาที

5 ความลึกเชิงแสงของละอองลอย¹ (Aerosol Optical Depth)

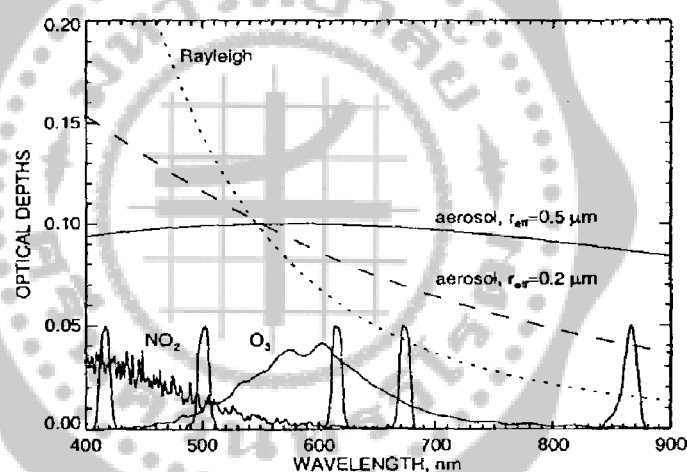
ความลึกเชิงแสง (Optical Depth) เป็นค่าที่จะบ่งบอกว่าแสงจะทะลุผ่านวัตถุหนึ่งไปได้มากน้อยเพียงใด ปริมาณของแสงที่ส่องผ่านวัตถุจะขึ้นอยู่กับค่าความลึกเชิงแสง ยิ่งมีค่าความลึกเชิงแสงสูงแสงที่ทะลุผ่านยิ่งน้อยลง ซึ่งหลักการนี้สามารถประยุกต์ใช้ได้ในการศึกษาชั้นบรรยากาศ โดยที่ค่าความลึกเชิงแสงจะบ่งบอกถึงระดับการขัดขวางการส่องผ่านชั้นบรรยากาศของแสงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นหนึ่ง ๆ เป็นการวัดผลกระทบของแก๊สต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเดินทางของแสงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศ เมื่อค่าความลึกเชิงแสงที่ความยาวคลื่นค่าหนึ่งสูง แสดงว่าแสงที่มีความยาวคลื่น

¹ เเผด็จ ประดิษฐ์เพชร. (2549) . เอกสารแนบโครงการ: การวิเคราะห์ Radiative Forcing จากข้อมูลการสำรวจคุณสมบัติเชิงแสงของละอองลอยโดยแบบจำลองระดับภูมิภาคสำหรับพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้

นั้นมาถึงผิวโลกได้น้อยลง ซึ่งค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาตั้งจากบนพื้นโลกนั้นได้รับผลกระทบจากส่วนประกอบต่างๆในชั้นบรรยากาศของโลก เช่น การกระเจิงเรย์ลี (Rayleigh Scattering) การดูดกลืนของโอโซน (Ozone Absorption) การดูดกลืนของไอน้ำ (Water Vapor Absorption) การดูดกลืนของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide Absorption) และการสิ้นสุดเนื่องจากละอองลอย (Aerosol Extinction) สามารถแจกแจงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (1)

$$\tau = \tau_r + \tau_{\text{ozone}} + \tau_{\text{H}_2\text{O}} + \tau_N + \tau_a \quad (1)$$

¹ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในช่วงแสงที่ตามองเห็นจะประมาณ 0.1 สำหรับวันที่ท้องฟ้าใสปลอดโปร่งมากจะมีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยเท่ากับ 0.05 หรือน้อยกว่านั้น ส่วนท้องฟ้าที่ฟ้ามีวาวจะมีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยเท่ากับ 0.5 หรือสูงกว่านั้น โดยที่ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยนั้นควรจะมีค่าไม่เกินหนึ่ง ค่าความลึกเชิงแสงขององค์ประกอบต่างๆที่มีความไวต่อการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆดังภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 แสดงค่าความลึกเชิงแสง(Optical Depth) ขององค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลกตามความยาวคลื่นในช่วง 400 – 900 nm ที่เครื่อง MFR-7 วัดได้

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

¹Tanre, D., Kaufman, Y. J., Herman, M., et al, (1997). Remotesensing of aerosol properties over oceans using the MODIS/EOS spectral radiances. Journal of Geophysical Research, 102, pp. 16,971-16,988

6 การตรวจสอบการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ¹

(Normalized Diffuse Ratio Variability Test)

จากการวัดรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาสู่พื้นโลกนั้น สภาพท้องฟ้าตลอดทั้งวันอาจจะไม่โปร่งตลอดทั้งวันบางช่วงเวลาของการวัดอาจจะมีเมฆ เพราะฉะนั้นจึงต้องหาข้อมูลของการวัดในช่วงเวลาที่ท้องฟ้าโปร่ง ซึ่งหาได้จากการตรวจสอบการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ โดยหาค่าอัตราส่วนการแพร่ได้จากสมการที่ (2)

$$D_d = \frac{I_{Diffuse}}{I_{Total}} \quad (2)$$

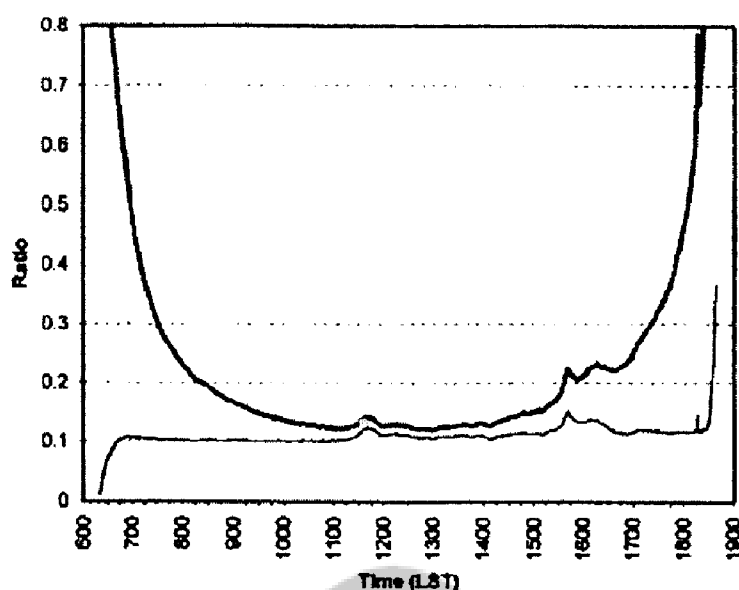
โดยที่	D_d	คือ อัตราส่วนการแพร่ของรังสีดวงอาทิตย์
	$I_{Diffuse}$	คือ ความเข้มของรังสีแพร่จากดวงอาทิตย์
	I_{Total}	คือ ความเข้มของรังสีทั้งหมดจากดวงอาทิตย์

โดยการตรวจสอบการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยทั้งในส่วนของรังสีแพร่และรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ลักษณะพิเศษอีกอย่างหนึ่งของส่วนประกอบของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงสภาพท้องฟ้าโปร่ง คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกมาสู่พื้นโลกจะมีความสม่ำเสมอตลอดเวลา ดังนั้นอัตราส่วนการแพร่จึงสามารถใช้หาการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติไปโดยสามารถหาอัตราส่วนการแพร่แบบปกติได้ดังสมการ (3) และภาพประกอบที่ 7

$$D_N = \frac{D_d}{\mu_0} \quad (3)$$

โดยที่	D_N	คือ การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ
	μ_0	คือ ค่าโคไซน์ของมุมเซนิทซึ่งเป็นมุมที่รังสีดวงอาทิตย์ตกในระนาบตั้งฉากกับพื้นโลก
	b	คือ ค่าคงตัว

¹ Long Charles N. and Ackerman Thomas P. (2000): *Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurements and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effect*. Journal of Geophysical Research. 105(D12), pp. 15609-15626



ภาพประกอบ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการแผ่รังสี(เส้นหนา)ตามเวลาและการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแผ่รังสีแบบปกติ (เส้นบาง)ที่เวลาของวันที่ทำการทดสอบ

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

ภาพประกอบ 7 แสดงการเพิ่มของรังสีแผ่อย่างเด่นชัดและแสดงการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแผ่รังสีแบบปกติ โดยจะเห็นได้ว่ามีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่เวลาประมาณ 11.30 น. ซึ่งการเพิ่มขึ้นแสดงถึงการมีเมฆบางๆ บดบังรังสีของดวงอาทิตย์อยู่และมีหมอกบางๆในช่วงเวลาประมาณ 14.10 น. เช่นเดียวกันเนื่องจากเมฆหมอกนั้นจะทำให้ความเข้มในส่วนรังสีตรงของดวงอาทิตย์เจือจางไป แต่จะเพิ่มการกระเจิงของแสงในส่วนรังสีแผ่ของดวงอาทิตย์

7 การวิเคราะห์แบบแลงเลย์¹ (Langley Analysis) และสมการที่เกี่ยวข้อง

จากหลักการพื้นฐานของการวัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ของเครื่อง MFRSR ซึ่งทำการวัดปริมาณแสงที่ได้จากแสงที่ผ่านชั้นบรรยากาศได้ทั้งหมด 3 แบบ โดยสามารถหาความสัมพันธ์ของการลดทอนแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศที่ตกลงมาตั้งฉากกับพื้นโลก ตามกฎของ Bouguer-Lambert Law ดังสมการ (4) เมื่อเขียนให้อยู่ในเทอมของลอการิทึมฐานธรรมชาติ (Natural Logarithm) ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Analysis) จะได้สมการที่ (5)

$$I = I_0 e^{-\tau m} \quad (4)$$

$$\tau m = \ln I_0 - \ln I \quad (5)$$

เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วัดอาจมีความคลาดเคลื่อนจากปัจจัยต่างๆที่เกิดขึ้นได้ซึ่งอาจมาจากประสิทธิภาพของเครื่องมือโดยตรง อาจมาจากสภาพแวดล้อมในบริเวณที่เครื่องมือทำการตรวจวัด หรือมาจากการติดตั้งเครื่องมือมีความเอียง เครื่อง MFR-7 เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงต่อมุมที่ทำการรับรังสีจึงต้องมีการปรับเทียบค่าคงตัวของเครื่องมือ โดยสมการการลดทอนการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกโดยผ่านชั้นบรรยากาศดังนี้

$$\ln(I) = \ln C + \ln(I_0) - \tau m \quad (6)$$

- เมื่อ
- I เป็นความเข้มของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆมากระทบพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉากที่เครื่องมือวัดได้ในหน่วย W/m^2
 - I_0 เป็นความเข้มของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆที่เหนือบรรยากาศของโลกในหน่วย W/m^2
 - τ ความลึกเชิงแสงทั้งหมดในช่วงที่รังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่ไม่มีการปรับเทียบค่าคงตัวของเครื่องมือ
 - τ ความลึกเชิงแสงทั้งหมดในช่วงที่รังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกที่มีการปรับเทียบค่าคงตัวของเครื่องมือ

¹ Alexandrov Mikhail D.; et al.; (2002). Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer. Part I: Retrieval Algorithm . Journal of the Atmospheric Sciences. Vol. 59, pp.524-543

m มวลอากาศ(Air Mass)สัมพัทธ์ที่มีความสัมพันธ์กับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลก

C เป็นค่าสัมประสิทธิ์หรือคงตัวของการปรับเทียบเครื่องมือ

มวลอากาศที่สัมพันธ์กับรังสีตรงของดวงอาทิตย์ตกตั้งฉากกับพื้นโลกนั้นสามารถหาได้จากสมการ (Kasten and Young,1989)

$$m = 1.0 / [\cos z + 0.50572(96.07995 - z)^{-1.6364}] \quad (7)$$

เมื่อ $\cos z$ โคไซน์ของมุมเซนิทจากดวงอาทิตย์

z ค่ามุมเซนิท (Zenith Angle) ในหน่วยองศา

เมื่อนำสมการที่(6) มาจัดรูปใหม่จะได้

$$(\ln I_0 - \ln I) = \tau_m - \ln C$$

แทนค่า $(\ln I_0 - \ln I)$ เป็น $\tilde{\tau}_m$ ดังสมการที่ (5) จะได้

$$\tilde{\tau}_m = \tau_m - \ln C \quad (8)$$

การคำนวณหาค่าความลึกเชิงแสงทั้งหมดจากวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์ และจากเครื่องวัดการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ MFR-7 ซึ่งค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาตั้งฉากกับเครื่อง MFR-7 นั้นได้รับผลกระทบจากส่วนประกอบต่างๆในชั้นบรรยากาศของโลก เช่น การกระเจิงเรย์ลี การดูดกลืนของโอโซน การดูดกลืนของไอน้ำ การดูดกลืนของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ และการสิ้นสุดเนื่องจากละอองลอย(Aerosol Extinction) สามารถแจกแจงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (9)

$$\tau = \tau_r + \tau_{\text{ozone}} + \tau_{H_2O} + \tau_N + \tau_a \quad (9)$$

เมื่อ τ คือ ความลึกเชิงแสงทั้งหมด

τ_N คือ ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์

τ_r คือ ความลึกเชิงแสงของเรย์ลี

τ_{ozone} คือ ความลึกเชิงแสงของโอโซน

τ_a คือ ความลึกเชิงแสงของละอองลอย

τ_{H_2O} คือ ความลึกเชิงแสงของไอน้ำ

สำหรับการกระเจิงเรย์ลี (Rayleigh Scattering) สามารถหาได้จากสมการ (10)

$$\tau_r = 0.008569\lambda^4 (1 + 0.0113 \lambda^{-2} + 0.00013 \lambda^{-4}) \quad (10)$$

เมื่อค่า λ คือ ความยาวคลื่นในหน่วย μm

P คือ ความดันบรรยากาศ ณ จุดวัดซึ่งที่อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัยมี
ค่าเฉลี่ยประมาณ 1008.8 mb

P_0 คือ ค่าความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล มีค่าคงที่เท่ากับ 1013.25 mb

เนื่องจากค่าความลึกเชิงแสงของโอโซนและค่าความลึกเชิงแสงของไอน้ำที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าน้อยมากจึงตัดทิ้ง ดังจะเห็นได้จากภาพประกอบที่ 6 ทำให้ได้

$$\tau = \tau_a + \tau_r + \tau_N \quad (11)$$

และที่ความยาวคลื่น 870 nm ค่าความลึกเชิงแสงของโอโซน ค่าความลึกเชิงแสงของไอน้ำ และค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าน้อยมากจึงตัดทิ้ง(ดังภาพประกอบที่6) ทำให้ได้

$$\tau = \tau_a + \tau_r \quad (12)$$

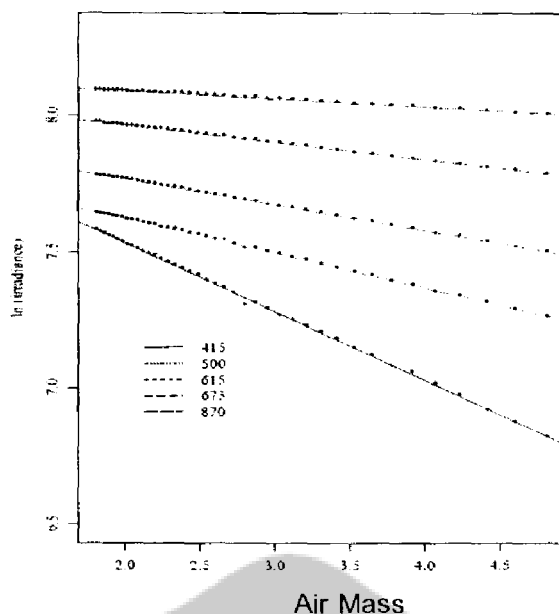
แทนค่าสมการที่ (12) ในสมการที่ (8) จะได้

$$\tilde{\tau}_m = (\tau_a + \tau_r)m - \ln C \quad (13)$$

ดังนั้นจะได้

$$\tilde{\tau}_m - \tau_r m = \tau_a m - \ln C \quad (14)$$

จากการวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลียร์ ตามสมการที่ (5) ถ้านำ $\ln I$ กับ m มาเขียนกราฟความสัมพันธ์แบบเส้นตรง โดยกำหนดให้ $\ln I$ เป็นแกน y และ m เป็นแกน x ในสภาพที่ท้องฟ้าที่โปร่ง จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเป็นลบ โดยขนาดของความชันเป็นค่าความลึกเชิงแสงทั้งหมดที่ยังไม่ปรับเทียบค่าตัวของเครื่องมือ และจุดตัดแกน y คือค่า $\ln I_0$ ดังภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln ความเข้มของรังสีสเปกตรัม (Spectral Irradiance) กับมวลอากาศ

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

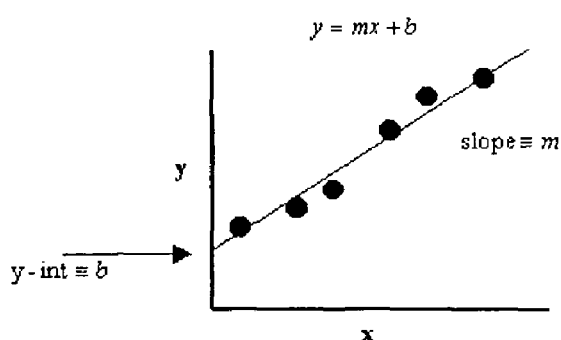
8 การวิเคราะห์แบบถดถอย (Regression Analysis)¹

การวิเคราะห์แบบถดถอย เป็นสถิติที่ใช้ในการศึกษาและตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป การวิเคราะห์การถดถอยมีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับลักษณะของตัวแปรตามรูปแบบความสัมพันธ์และการกำหนดตัวแปร ซึ่งการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น (Linear regression Analysis) เป็นการวิเคราะห์แบบถดถอยที่ตัวแปรส่วนใหญ่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ของตัวแปร (x,y) ในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร x กับ y ซึ่งแทนด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นแบบสมการเชิงเส้น (Linear Equation) ดังสมการที่ (15) และภาพประกอบ 9

$$y = mx + b \quad (15)$$

เมื่อ m คือ ค่าคงตัวที่แสดงความชันของระบบสมการเส้นตรง
 b คือ จุดที่เส้นตรงของระบบสมการตัดแกน y

¹ Jerry Hester.(2000). *Regression Analysis and Excel*. Physics Laboratory Clemson University.



ภาพประกอบ 9 แสดงความสัมพันธ์ของการเขียนกราฟเชิงเส้น

ที่มา : Jerry Hester.(2000). *Regression Analysis and Excel*. Physics Laboratory, Clemson University

ในการวิเคราะห์แบบถดถอยเชิงเส้น จะเป็นการนำข้อมูลจากตัวแปรที่ทำการศึกษา (x,y) มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ที่สามารถบอกแนวโน้มของความสัมพันธ์โดยใช้กราฟเส้นตรง และการหาค่าเส้นตรงที่ดีที่สุดเพื่อเป็นตัวแทนของรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปร (x,y)

เส้นตรงที่ดีที่สุดจะมีเพียงเส้นเดียวซึ่งเป็นที่บอกความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่น่ามาวาดเป็นกราฟเชิงเส้น จะอาศัยหลักการใช้ผลรวมของระยะห่างกำลังสอง จากเส้นกราฟถึงทุกจุดของข้อมูล (x,y) ให้มีค่าน้อยที่สุด เราเรียกว่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) การประมาณค่าฟังก์ชันที่ดีที่สุดของข้อมูล เพราะได้จากการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้เหลือน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อเขียนกราฟของฟังก์ชัน เส้นกราฟจะผ่านไปในบริเวณจุดต่างๆของข้อมูล โดยจะตัดผ่านจุดของข้อมูลบางจุด การประมาณค่าโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะได้เส้นกราฟผ่านไปในบริเวณจุดต่างๆของข้อมูลอย่างราบเรียบและใกล้เคียงความจริง หลักการของวิธีกำลังสองน้อยที่สุดมีดังนี้ ถ้าให้ข้อมูลทั้งหมดมี n ชุด มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้นในซึ่งแทนข้อมูลชุดนี้เป็น

$$G(x) = A + BX \quad (16)$$

สัมประสิทธิ์การตัดสินใจสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (17)

$$R^2 = \frac{SSR}{TSS} \quad (17)$$

เมื่อ TSS (Total Sum of Squares) ผลรวมของผลต่างระหว่างค่า Y_i กับ $\bar{Y}$ ยกกำลังสอง

$$TSS = \sum (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (18)$$

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

$$SSR = \sum (\bar{Y}_{x_i} - \bar{Y})^2 \quad (19)$$

ดังนั้น

$$R^2 = \frac{\sum (\bar{Y}_{x_i} - \bar{Y})^2}{\sum (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2} \quad (20)$$

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

จากสมการที่ (16) จะได้

$$TSS = SSR + SSE$$

นั่นคือ

$$R^2 = \frac{SSR}{TSS} = \frac{TSS - SSE}{TSS} \quad (21)$$

ดังนั้นถ้าค่าจากการทดลองทุกค่าอยู่บนเส้นกราฟปรับเทียบที่ได้แสดงว่า

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

นั่นคือ $R^2 = 1$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับเส้นกราฟปรับเทียบ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเป็นค่าที่ใช้แสดงความแปรผันที่เกิดขึ้นกับตัวแปร Y มีผลเนื่องมาจากตัวแปร X คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ใช้ในพิจารณาการประมาณค่าความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ว่ามีความน่าเชื่อถือมากหรือน้อยเพียงใด ค่าที่คำนวณได้จะอยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ในกรณีที่ค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y อย่างมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความน่าเชื่อถือมาก ในกรณีที่ค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่า ตัวแปร X มีอิทธิพลต่อตัวแปร Y น้อยมาก หมายความว่า สมการการประมาณค่าจะมีความน่าเชื่อถือน้อย

9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เมื่อปี พ.ศ. 2541 Jacovides และคณะได้ทำการวัดข้อมูลการลดทอนของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เหนือชั้นบรรยากาศของเมืองเอเธนส์ โดยเครื่อง Li-cor Spectroradiometer ที่ความยาวคลื่นใน 300 – 1100 nm ในช่วงเดือนพฤษภาคมปีพ.ศ. 2538 และหาความลึกเชิงแสงของละอองลอย ในโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน และไอน้ำในชั้นบรรยากาศ เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของความลึกเชิงแสงที่มีผลต่อมลภาวะทางอากาศ การกระเจิงแสงของอนุภาคที่มีขนาดเล็ก และการดูดกลืนรังสีของแก๊สต่างๆในบรรยากาศ และได้ทำการหาค่าองศาการลดทอนพารามิเตอร์ พบว่าที่เมืองเอเธนส์มีความลึกเชิงแสงในโตรเจนไดออกไซด์สูง ซึ่งเป็นปัญหาที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ

ในปีพ.ศ. 2545 Alexandrov และคณะ ทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFRSR ที่ Big Bend National Park รัฐเท็กซัส(Texas) โดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบแลงเลียร์มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการแปลผลของเครื่อง Brewer Spectrometer พบว่าจากการวิเคราะห์แบบแลงเลียร์โดยอาศัยข้อมูลของเครื่อง MFRSR ความหนาแน่นของในโตรเจนไดออกไซด์และละอองลอยมีค่าขีดจำกัดสูงสุดเท่ากับ 3 DU ในขณะที่ข้อมูลจากเครื่อง Brewer Spectrometer มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ ± 0.5 DU

ในปีพ.ศ. 2548 นายสุมาลย์ บรรเท็ง และเสริม จันทรฉาย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์ ในบริเวณประเทศไทยแบบจำลองดังกล่าวพิจารณาการส่งผ่านรังสีในบรรยากาศ ที่ประกอบด้วยชั้นบรรยากาศเหนือเมฆ ชั้นบรรยากาศใต้เมฆ และพื้นผิวโลก โดยผู้วิจัยได้ทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ต เนื่องจากโอโซนโดยอาศัยข้อมูลปริมาณโอโซนจากดาวเทียม TOMS/EP ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีอัลตราไวโอเล็ตของบรรยากาศและพื้นผิวโลกโดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม GMS-5 และแบบจำลองการส่งผ่านรังสี UVSPEC และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตเนื่องจากฝุ่นละอองโดยอาศัยข้อมูล ทศนวิสัย จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่คำนวณได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดิน ณ สถานีวัด 4 แห่ง ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ สถานีอุบลราชธานี สถานีนครปฐม และสถานีสงขลา โดยใช้ข้อมูลปี พ.ศ. 2545 พบว่าค่าความเข้มรังสีอัลตราไวโอเล็ตรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีค่าแตกต่างจากการวัดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) น้อยกว่า 26

ในปีพ.ศ. 2550 ที่เมืองปูเน (Pune) ในประเทศอินเดีย Meena และคณะ ได้ศึกษาฤดูกาลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณต่างๆในบรรยากาศ โดยทำการเปรียบเทียบข้อมูล ในโตรเจนไดออกไซด์ , โอโซน และไอน้ำที่ได้จากเครื่องสเปกโตรมิเตอร์(Spectrometer)กับข้อมูลจากดาวเทียม โดยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์วัดค่าในโตรเจนไดออกไซด์ได้ 2-10 DU ส่วนดาวเทียมวัดค่าในโตรเจนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 6-22 DU และจากการศึกษาพบว่า ในช่วงหน้าร้อนคือเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน จะพบปริมาณแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนมากกว่าในช่วงฤดูหนาว

โดยเฉพาะในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคมจะมีปริมาณน้อยที่สุด และในช่วงเย็นของวันเดียวกันจะมีปริมาณแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์และโอโซนมากกว่าในช่วงเช้า ซึ่งเมื่อนำไปหาอัตราส่วนของ PM/AM ในช่วงฤดูหนาวจะมีค่ามากกว่า 3.8 ในขณะที่อัตราส่วนของ PM/AM ในช่วงฤดูร้อนน้อยกว่า 1.25 เนื่องจากในฤดูหนาวช่วงเย็นจะยาวนานกว่าช่วงกลางวัน

และในปีเดียวกันนี้ วิทยา เครือคำ และคณะ ได้ทำการทดลองตรวจวัดการกระจายตัวของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยใช้ข้อมูลดิบที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องไลดาร์แบบรามาน (Raman Lidar) ซึ่งติดตั้งที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พบว่าระบบไลดาร์แบบรามานนี้ สามารถใช้วัดหาปริมาณของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์โดยประมาณได้ในระยะทางประมาณ 12 กิโลเมตร จากจุดที่ติดตั้งเครื่องมือ ซึ่งนายปิยชาติ วังมูล ได้ทดลองพัฒนาโปรแกรมควบคุมและวิเคราะห์ข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องไลดาร์แบบเรย์ลีห์ ที่ติดตั้ง ณ ที่เดียวกัน พบว่าระบบไลดาร์แบบเรย์ลีห์ที่ได้รับการพัฒนานี้สามารถใช้ตรวจวัดข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบรรยากาศชั้นล่างได้

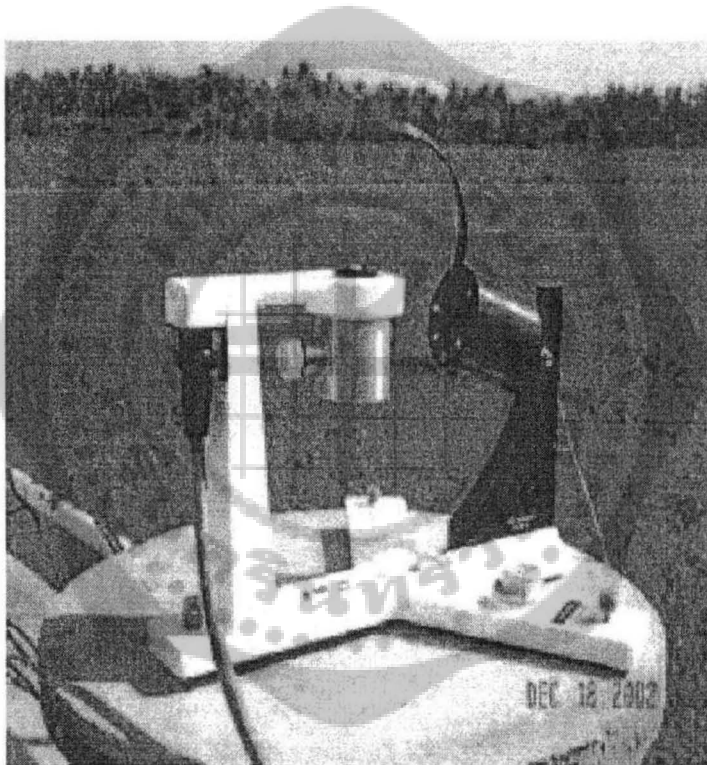
ในปีพ.ศ. 2552 นายศิวพันธ์ ชูอินทร์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ได้ศึกษาการพัฒนาวิธีการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยประยุกต์มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์วิธีการแบบพาสซีฟในการเก็บตัวอย่างแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในเขตเมืองและนำไปใช้ในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาการศึกษาทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บตัวอย่างแบบพาสซีฟ เพื่อเก็บตัวอย่างแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศเป็นค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง โดยทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับการตรวจวัดโดยวิธีการเทียบเท่าวิธีโซเดียมอาร์ซีไนด์และวิธีอิเล็กโทรดด้วยอุปกรณ์ MultiRAE IR โดยใช้หลักการทางสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 อุปกรณ์แบบพาสซีฟที่เหมาะสมที่ได้พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ประกอบด้วยเมมเบรนชนิดมิกเซลลูโลส (mixcellulose - MCE) เมื่อทำการเก็บตัวอย่างแล้วนำไปวิเคราะห์โดยสเปกโตรเมตรีอินฟราเรดจากการดูดซับด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีความยาวคลื่นแสง 540 นาโนเมตร เทียบกับสารละลายมาตรฐาน และคำนวณหาความเข้มข้นของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ผลการนำอุปกรณ์แบบพาสซีฟไปเก็บตัวอย่างและตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้นในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา พบว่ามีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.0089 – 0.1099 พีพีเอ็ม และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0543 พีพีเอ็ม โดยมีค่าสูงสุดที่ตำแหน่งอาคารคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม รองมาคือตำแหน่งร้านเบเกอรี่ (ป้อมจรรยา) หน้าอาคารศรีจุฬาภรณ์ และบริเวณประตูทางเข้ามหาวิทยาลัยถนนอุทองนอก ซึ่งตำแหน่งที่ตรวจวัดเป็นตำแหน่งที่ติดกับถนนมีรถเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้มีการปล่อยแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ออกมาทางท่อไอเสียของรถ ทั้งนี้ความเข้มข้นของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ทำการตรวจวัดมีค่าต่ำกว่า เกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งกำหนดไว้ที่ 0.32 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 0.163 พีพีเอ็ม

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์ และขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

จากการที่ภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้รับความร่วมมือในการอนุเคราะห์เครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง MFR-7 จากประเทศญี่ปุ่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 โดยติดตั้ง ณ สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ($17^{\circ} 0' 21''$ N , $99^{\circ} 49' 35''$ E) ดังภาพประกอบ 10



ภาพประกอบ 10 แสดงเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบMFR-7 ณ สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

ที่มา : Dennis G. Dye. (2007). *Jamstec Frontier Research Syestemfor Global Change Ecosystem Change Research Program Yokohama, Japan*.p.21

สถานที่ดำเนินงาน

- ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
- สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ($17^{\circ} 0' 21''$ N , $99^{\circ} 49' 35''$ E) ซึ่งสถานีตั้งอยู่ในภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย มีภูมิภาคส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและนำข้อมูลดิบที่ได้จากเครื่อง MFR-7 ณ สถานีตรวจวัดการแผ่รังสีในชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ($17^{\circ} 0' 21''$ N , $99^{\circ} 49' 35''$ E) ภูมิประเทศโดยทั่วไป ของจังหวัดสุโขทัย พื้นที่ตอนเหนือเป็นที่ราบสูงมีภูเขายาวติดต่อกันมาทางทิศตะวันตก พื้นที่ตอนกลางเป็นที่ราบ ส่วนพื้นที่ตอนใต้เป็นที่ราบสูง มีแม่น้ำยมซึ่งมีต้นน้ำอยู่ที่สันเขาผีปันน้ำ อำเภอเชียงม่วน จังหวัดพะเยา ไหลผ่านจากทางเหนือลงใต้โดยผ่านพื้นที่อำเภอศรีสัชนาลัย อำเภอสวรรคโลก อำเภอศรีสำโรง อำเภอเมืองสุโขทัยและอำเภอกงไกรลาศ เป็นระยะทางประมาณ 170 กิโลเมตรไปบรรจบกับแม่น้ำน่านที่อำเภอเมืองชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ อาชีพส่วนใหญ่ของจังหวัดสุโขทัยคือ อาชีพด้านเกษตรกรรมและด้านอุตสาหกรรม

สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของจังหวัดสุโขทัยจะเปลี่ยนแปลงไปตามอิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ แบ่งออกได้เป็น 3 ฤดูกาล คือ

ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม อากาศจะร้อนอบอ้าวทั่วไปเดือนที่มีอากาศร้อนที่สุดคือ เดือนเมษายน

ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนตุลาคมเป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งร้อนและชื้นพัดจากมหาสมุทรอินเดียปกคลุมประเทศไทยทำให้มีฝนตกทั่วไป เดือนที่มีฝนตกมากที่สุด คือเดือนกันยายน

ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงของลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่าน ทำให้อากาศหนาวเย็นทั่วไป เดือนที่มีอากาศหนาวจัดคือ เดือนธันวาคมและเดือนมกราคม

¹สมาคมการท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัย.สืบค้นเมื่อวันที่1มิถุนายน 2552 จาก <http://www.info.ru.ac.th/province/sukhotai/general.html>

โดยช่วงเวลาที่ศึกษาคือ ข้อมูลในวันที่ 22-26 เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวที่มีอากาศหนาวจัดเนื่องจากมีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่าน โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบ ในช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 07.00 – 12.00 น. ช่วงบ่ายตั้งแต่เวลา 12.01-18.00 น. และทั้งวัน ในช่วงวันที่ 1,3,4,5,7 เดือนเมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนที่มีอากาศร้อนอบอ้าวมากที่สุด โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบในช่วงเช้าตั้งแต่เวลา 07.00 – 12.00 น. ช่วงบ่ายตั้งแต่เวลา 12.01-18.00 น. และทั้งวัน รวม 10 วัน โดยทำการวัดด้วยเครื่อง MFR-7 ซึ่งกระบวนการวัดของเครื่องมือนี้จะทำวัดค่าอย่างต่อเนื่อง โดยการเคลื่อนที่ของแถบเงาหนึ่งรอบใช้เวลาน้อยกว่า 10 วินาที และใน 1 นาที สามารถเกิดกระบวนการวัดขึ้นได้มากกว่า 4 ครั้ง โดยแถบเงาจะเคลื่อนที่กลับไปมาโดยทำมุมระหว่าง 0-80 องศา ข้อมูลที่ได้แสดงถึงปริมาณรังสีที่ตกกระทบต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ความยาวคลื่น 6 ค่าทุก ๆ นาที และทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เริ่มมีแสงอาทิตย์จนดวงอาทิตย์ตกดิน ซึ่งมีข้อมูลประมาณ 670 ข้อมูลโดยมีขั้นตอนดังนี้

1.1 ข้อมูลดิบที่ได้จากเครื่อง MFR-7 จะบันทึกในรูปแบบของไฟล์ .txt ในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องนั้น ต้องจัดให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ในขั้นตอนถัดไป

1.2 ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7 เป็นข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากช่องสัญญาณที่รับความเข้มแสงทั้ง 7 ช่องสัญญาณ โดยข้อมูลที่ได้จากเครื่องในแต่ละวันมีประมาณ 670 ข้อมูล โดยประกอบด้วยคอลัมน์ของการแผ่รังสีแบบทั้งหมด การแผ่รังสีแบบแพร่ และการแผ่รังสีแบบตรงของดวงอาทิตย์ และค่าโคไซน์ของมุมเซนซิในช่วงเวลาที่วัดได้ ซึ่งบางช่วงเวลาของการตรวจวัดอาจมีเมฆบังการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังตัวเครื่อง ซึ่งมีผลต่อการตรวจวัด ดังนั้นจึงต้องมีการพิจารณาหาเฉพาะข้อมูลที่ได้จากเครื่องวัดในสภาพที่ท้องฟ้าโปร่งเท่านั้น เพื่อนำไปหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยตามการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ในขั้นตอนถัดไป

2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7

2.1 การพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่งของข้อมูลจากเครื่อง MFR-7 ในการพิจารณาเลือกวันที่จะทำการศึกษาจำเป็นต้องพิจารณาวันที่มีข้อมูลของสภาพท้องฟ้าโปร่งที่สุด โดยนำข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นกว้างมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์กับช่วงเวลาต่างๆของวัน ซึ่งกราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็นกราฟรูประฆังคว่ำที่ส่วนใหญ่เป็นกราฟที่โค้งเรียบไม่มีจุดตก ในขั้นต้นผู้วิจัยจะเลือกวันที่มีท้องฟ้าโปร่งที่สุด เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการทดสอบปรับค่าที่เหมาะสมของรังสีดวงอาทิตย์ต่อไป โดยการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

2.2ทดสอบการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติเนื่องจากการพิจารณาข้อมูลสภาพท้องฟ้าเบื้องต้นพบว่าในช่วงวันที่ทำการศึกษา ส่วนใหญ่เป็นวันที่ท้องฟ้าโปร่งเกือบทั้งวันแต่บางส่วนมีเมฆบ้าง จึงทำการตัดข้อมูลออกบางส่วน ในการตัดข้อมูลส่วนที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ก่อนที่จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ได้ใช้วิธีการทดสอบการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ ดังนี้

2.2.1 นำข้อมูลในส่วนของความเข้มของการแผ่รังสีแบบแพร่ และความเข้มของการแผ่รังสีแบบสุทธีใน ช่วงความยาวคลื่นกว้าง ในทุกช่วงเวลามาหาอัตราส่วนของการแพร่ของรังสีดวงอาทิตย์ ตามสมการ (1) ดังนี้

$$D_I = \frac{I_{Diffuse}}{I_{Total}} \quad (1)$$

การตรวจสอบการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยทั้งในส่วนของรังสีแพร่และรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ลักษณะพิเศษอีกอย่างหนึ่งของส่วนประกอบของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงสภาพท้องฟ้าโปร่ง คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกมาสู่พื้นโลก จะมีความสม่ำเสมอตลอดเวลา ดังนั้นอัตราส่วนการแพร่จึงสามารถใช้หาการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติได้ โดยสามารถหาอัตราส่วนการแพร่แบบปกติได้ ดังสมการ (2)

$$D_N = \frac{D_I}{\mu_0^b} \quad (2)$$

ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ค่า $b = -0.5$ ที่ได้จากสูตรของชิตจำกัฏการแผ่รังสีแบบแพร่ที่เกี่ยวข้องกับโคไซน์ของมุมเซนนิทของดวงอาทิตย์สำหรับท้องฟ้าโปร่ง

นำค่าที่ได้ในทุกช่วงเวลามาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติเทียบกับเวลา เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงเวลาที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ตัดข้อมูลส่วนที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีออก ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงที่มีลักษณะของกราฟขึ้นลงเล็กน้อยไม่เรียบ โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องมีข้อมูลไม่ต่ำกว่า 120 ข้อมูล เพื่อให้ผลการวิเคราะห์เชื่อถือได้แล้วนำข้อมูลที่เหลือนำมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆต่อไป

หาค่ามวลอากาศที่สัมพันธ์กับการแผ่รังสีแบบตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก ตามสมการ (3)

$$m = 1.0 / [\cos z + 0.50572(96.07995 - z)^{-1.6364}] \quad (3)$$

3 การวิเคราะห์ข้อมูลแบบแลงเลย์

เมื่อได้ข้อมูลในช่วงที่สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์แบบแลงเลย์ เพื่อหาความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm และความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์และของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm ดังนี้

3.1 หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm โดยนำสมการการลดทอนของ Bouguer-Lambert มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Analysis) โดยนำข้อมูลในวันที่ทำการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการ ระหว่าง $\ln I$ กับ m โดยให้ $\ln I$ เป็นแกน y และ m เป็นแกน x (m ไม่เกิน 2.5) ในสภาพที่ท้องฟ้าโปร่งที่ความยาวคลื่น 870 nm และทำการปรับกราฟเส้นตรงโดยมีความชันเป็นลบ ขนาดของความชันที่ได้เป็นค่าความลึกเชิงแสงทั้งหมด (τ) และจุดตัดแกน y คือค่า $\ln I_0$ ตามระบบสมการเชิงเส้น

$$\ln(I) = -\tau m + \ln(I_0) \quad (4)$$

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาตั้งแต่จากกับเครื่อง MFR-7 นั้นได้รับผลกระทบจากส่วนประกอบต่างๆในชั้นบรรยากาศของโลก เช่น การกระเจิงเรย์ลี การดูดกลืนของโอโซน การดูดกลืนของไอน้ำ การดูดกลืนของไนโตรเจนไดออกไซด์ และการสิ้นสุดของละอองลอย เนื่องจากค่าความลึกเชิงแสงของโอโซน ค่าความลึกเชิงแสงของไอน้ำและค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าน้อยมากจึงตัดทิ้ง ดังนั้นจากสมการที่ (12) ในบทที่ 2 จะได้

$$\tau = \tau_a + \tau_r \quad (5)$$

และหาค่าความลึกเชิงแสงของเรย์ลีจากสมการ (10) ในบทที่ 2 จะได้

$$\tau_r = 0.008569 \lambda^{-4} (1 + 0.0113 \lambda^{-2} + 0.00013 \lambda^{-4}) \quad (6)$$

และจากสมการ (10) และ (14) ในบทที่ 2 จะได้

$$(\ln I_0 - \ln I - \tau_r m) = \tau_a m - \ln C \quad (7)$$

เขียนกราฟความสัมพันธ์ ตามสมการที่ (7) โดยการนำค่า $\ln I_0$ ที่ได้จากการเขียนกราฟตามสมการที่ (4) มาลบด้วยค่า $\ln I$ และลบด้วยค่า $\tau_r m$ ที่ความยาวคลื่น 870 nm ในทุกช่วงเวลาจะได้ $(\ln I_0 - \ln I - \tau_r m)$ ในทุกช่วงเวลาเป็นแกน y และ m เป็นแกน x ขนาดของความชันที่ได้เป็นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (τ_a) และจุดตัดแกน y คือค่า $\ln C$ ตามระบบสมการเชิงเส้น

3.2 หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์ ทำการวิเคราะห์ในแบบเดียวกับหัวข้อที่ 3.1 แต่เนื่องจากค่าความลึกเชิงแสงรวมที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าความลึกเชิงแสงของไอโซน และค่าความลึกเชิงแสงของไอน้ำน้อยมากจึงตัดทิ้ง ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 7 บทที่ 2 ดังนั้นจากสมการ (11) ในบทที่ 2 จะได้

$$\tau = \tau_a + \tau_r + \tau_N \quad (8)$$

ดังนั้นจะได้

$$(\tilde{\tau}_m - \tau_r m)_{415} = (q\tau_a + \tau_N)m - \ln C_{415} \quad (9)$$

เมื่อ q คือ อัตราส่วนของการสิ้นสุดเนื่องจากละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm เทียบกับการสิ้นสุดเนื่องจากละอองลอยความยาวคลื่น 870 nm

ดังนั้น $q\tau_a$ คือ ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm

กำหนดให้ $(\tilde{\tau}_m - \tau_r m)_{870}$ เป็น $\tilde{\tau}_{870m}$ และ $(\tilde{\tau}_m - \tau_r m)_{415}$ เป็น $\tilde{\tau}_{415m}$ จะได้สมการ (10)

$$\tilde{\tau}_{415m} - q(\tilde{\tau}_{870m}) = \tau_N m - \ln C_{415} \quad (10)$$

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยอาศัยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์ตามสมการ (10) โดยการนำข้อมูลสภาพท้องฟ้าโปร่งที่ความยาวคลื่น 415 nm ทุกช่วงเวลาที่มีย่าน m ไม่เกิน 2.5 ในวันที่ทำการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง $\tilde{\tau}_{415m} - q(\tilde{\tau}_{870m})$ กับ m โดยกำหนดให้ m เป็นแกน x และ $\tilde{\tau}_{415m} - q(\tilde{\tau}_{870m})$ เป็นแกน y และทำการปรับกราฟเส้นตรงโดยความชันของกราฟที่ได้คือ ความลึกเชิงแสง ของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ และจุดตัดแกน y คือ $\ln C_{415}$ โดยทำการปรับค่า q ที่ใช้ในแต่ละวันที่ทำการศึกษาด้วยการวิเคราะห์แบบถดถอยให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่มีค่าไม่น้อยกว่า 0.7 เนื่องจากค่าข้อมูลเหล่านี้ประเทศไทยปีพ.ศ. 2546 ยังไม่มี แต่จากการศึกษาของ อ.ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์และคณะ พบว่าละอองลอยส่วนใหญ่ ณ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัยเป็นละอองลอยประเภทฝุ่นดิน (Soil Dust) ที่มีขนาดละเอียดมาก ดังนั้นการวิเคราะห์ครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ค่า q ตั้งแต่ 1.00, 1.05, 1.10, ...

¹ S.Ruangrungle, A. Intasorn and A. Chabangbon, (2008). *Retrieval of Instantaneous Aerosol Optical Depths From MFR-7 and Mie Lidar dataset at Sukhothai Province, Thailand, Proc of Int. Symp. On Geosci. Res. and Environ. of Asian Terranes: GREAT 2008 (special Issue of Bulletin of Earth Sciences of Thailand). Bangkok, Thailand, pp.543-548.*

3.3 การหาค่าความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศหาได้จากสมการที่ (11) โดย² Harolisd S. Johnston and Richard Graham ได้ทำการหาค่าภาคตัดขวางดูดกลืนที่ความยาวคลื่น ตั้งแต่ 190 – 700 nm ของ NO_2 N_2O N_2O_4 เพื่อศึกษาองค์ประกอบของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างของแก๊สออกซิเจนกับแก๊สไนโตรเจนที่เกิดจากการกระตุ้นโดยแสงและหาค่าความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลของไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศจาก

$$n = \frac{\tau_N}{\sigma} \quad (11)$$

เมื่อ n คือ จำนวนโมเลกุล ในหน่วย โมเลกุล/ตารางเซนติเมตร

τ_N คือ เป็นค่าความลึกเชิงแสงของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)

σ คือ ภาคตัดขวางดูดกลืนของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415nm มีค่าเท่ากับ 6.03×10^{-19} ในหน่วย ตารางเซนติเมตร/โมเลกุล

4 การหาค่าปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในคอลัมน์ของบรรยากาศทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous total atmospheric column nitrogendioxide)

จากสมการที่ (10) จะเห็นได้ว่าสามารถหาค่า τ_N ขณะใดขณะหนึ่งได้จากสมการ

$$\tau_N = \frac{\tau_{415}m - q(\tau_{870}m) - \ln C_{415}}{m} \quad (12)$$

ดังนั้นเพื่อพิจารณาค่าปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ในหน่วย DU จึงคำนวณค่า τ_N ในทุกช่วงเวลาเป็น τ_N ขณะใดขณะหนึ่งและนำค่า τ_N ที่ได้ไปคำนวณหาค่าปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ในหน่วย DU โดยการหารด้วย 2.687×10^{16} ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากเปลี่ยนปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในหน่วยโมเลกุลต่อตารางเซนติเมตรเป็นหน่วย DU โดยที่ 1 DU เท่ากับ 2.687×10^{16} โมเลกุลต่อตารางเซนติเมตร เขียนกราฟความสัมพันธ์กับช่วงเวลาต่างๆของวัน จะได้ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่งในทุกช่วงเวลา

² Harolisd S. Johnston and Richard Graham (1974). *Photochemistry of NO_x and HNO_x Compounds*. The Journal of Physical Chemistry. 105 (9), pp.1415-1423

5. ผลการเขียนกราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณต่าง ๆ ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว

เขียนกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละออง ลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ในช่วงเช้า ช่วงบ่ายและทั้งวัน ในช่วงฤดูหนาว(22 - 26 มกราคม พ.ศ. 2546)และช่วงฤดูร้อน (1, 3 , 4 , 5 ,7 เมษายน พ.ศ. 2546) และเขียนกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm ในช่วงเช้า ช่วงบ่ายและทั้งวัน ในช่วงฤดูหนาว และช่วงฤดูร้อน

เขียนกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ในช่วงเช้า ช่วงบ่ายและทั้งวัน ในช่วงฤดูหนาว และช่วงฤดูร้อน และเขียนกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดทั้งคอลัมน์ในหน่วย DU ในช่วงเช้า ช่วงบ่ายและทั้งวัน ในช่วงฤดูหนาว และช่วงฤดูร้อน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลในขั้นตอนถัดไป



บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

1. ผลการศึกษาข้อมูลที่ได้จากเครื่อง MFR-7

ผลการคำนวณค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับละอองลอยเพื่อใช้ในการพิจารณาค่าในโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ได้แก่ ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth) ที่ความยาวคลื่น 415 nm และ 870 nm ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm และความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศด้วยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Analysis) ปรากฏผลดังต่อไปนี้

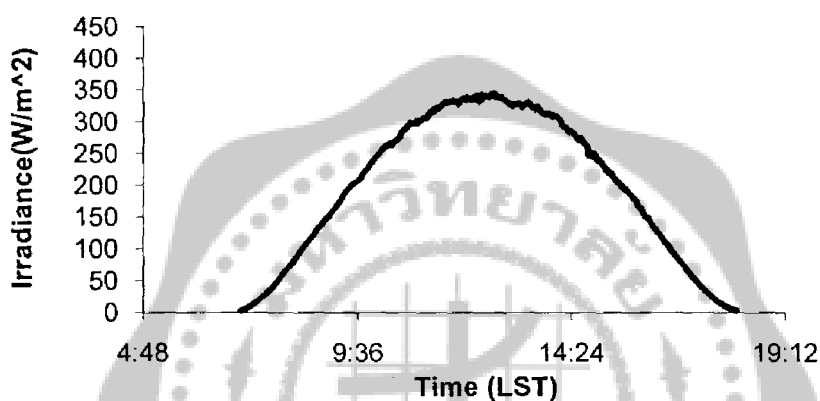
1.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลดิบที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง MFR-7 เฉพาะข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้แสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ตัวอย่างข้อมูลดิบที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง MFR-7 ในวันที่ 22 มกราคม 2546

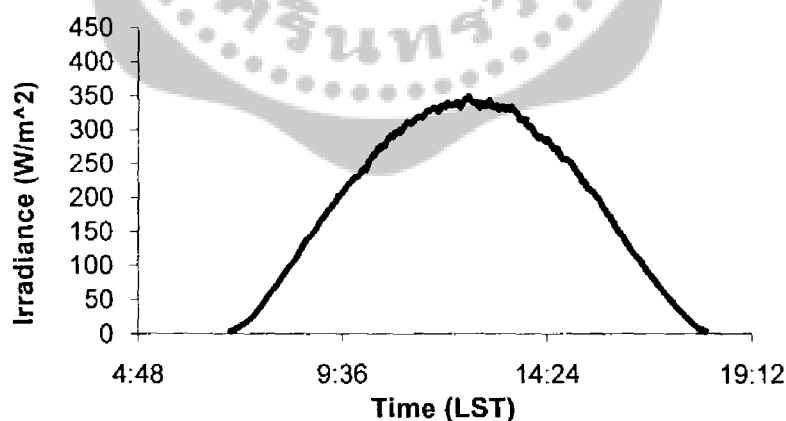
Time (HH:MM)	cos Z	PAR Total	415 nm Diffuse	870 nm Diffuse	415 nm DirNorm	870 nm DirNorm
06:58	0.01141	3.5609	0.0274	0.0032	0.0274	0.001
06:59	0.01457	3.9163	0.0274	0.0044	0.0274	0.001
07:00	0.01781	4.3901	0.0274	0.0044	0.0274	0.001
07:01	0.02113	4.8639	0.0274	0.0057	0.0274	0.001
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
12:00	0.79143	335.5992	0.4645	0.0779	1.1146	0.9174
12:02	0.79195	335.5992	0.4816	0.08	1.1086	0.9148
12:04	0.79295	339.2711	0.4986	0.0817	1.1166	0.9091
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
18:04	0.01824	4.3901	0.0274	0.0095	0.0274	0.001
18:05	0.01498	4.0347	0.0274	0.007	0.0274	0.001
18:06	0.01181	3.7978	0.0274	0.007	0.0274	0.001

1.2 ผลการพิจารณาสภาพท้องฟ้าโปร่งของข้อมูลจากเครื่องMFR-7

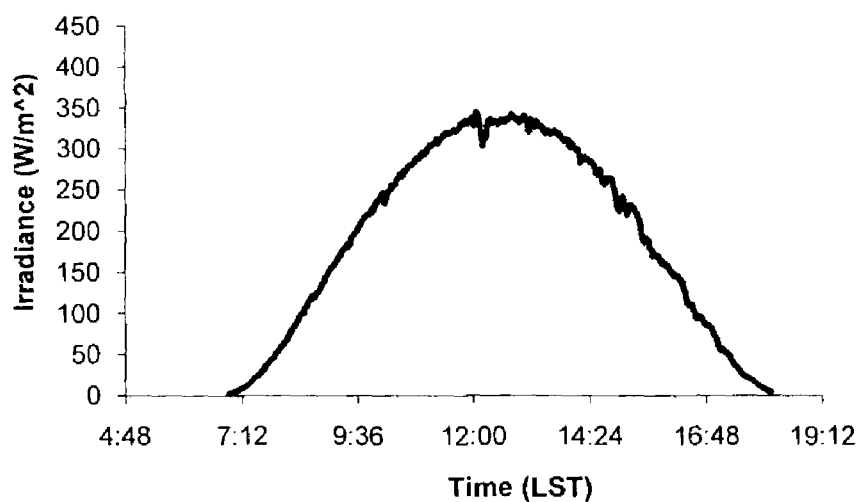
การพิจารณาข้อมูลสภาพท้องฟ้าเบื้องต้นพบว่าในช่วงวันที่สามารถนำมาศึกษาได้ คือข้อมูลในวันที่ 22-26 เดือนมกราคม พ.ศ. 2546 เป็นช่วงฤดูหนาวที่มีอากาศหนาวเนื่องจากมีลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดผ่าน และในช่วงวันที่ 1,3,4,5,7 เดือนเมษายน พ.ศ. 2546 เป็นช่วงฤดูร้อน พบว่าเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากเครื่องMFR-7 มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดในช่วงความยาวคลื่นกว้างของดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของทั้ง 10 วัน ได้ผลดังภาพประกอบ 11-20 ซึ่งส่วนใหญ่เลือกพิจารณาวันที่มีลักษณะกราฟเป็นกราฟรูประฆังคว่ำ และไม่พบการตกของเส้นกราฟ แสดงว่าสภาพท้องฟ้าเบื้องต้นส่วนใหญ่เป็นวันที่ท้องฟ้าโปร่งเกือบทั้งวันแต่บางส่วนมีเมฆบ้าง



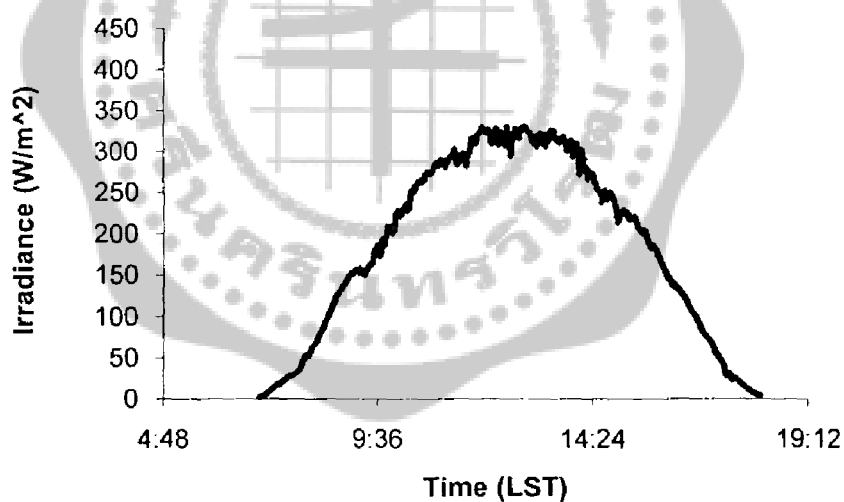
ภาพประกอบ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)



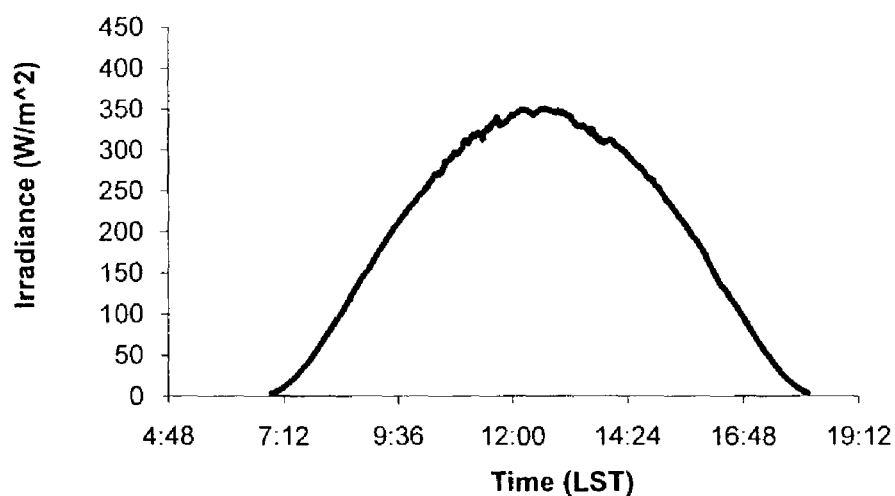
ภาพประกอบ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)



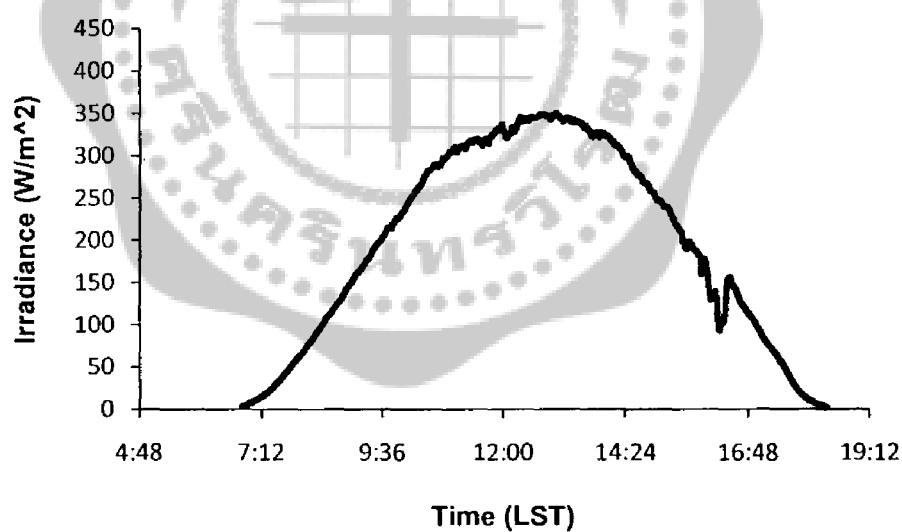
ภาพประกอบ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)



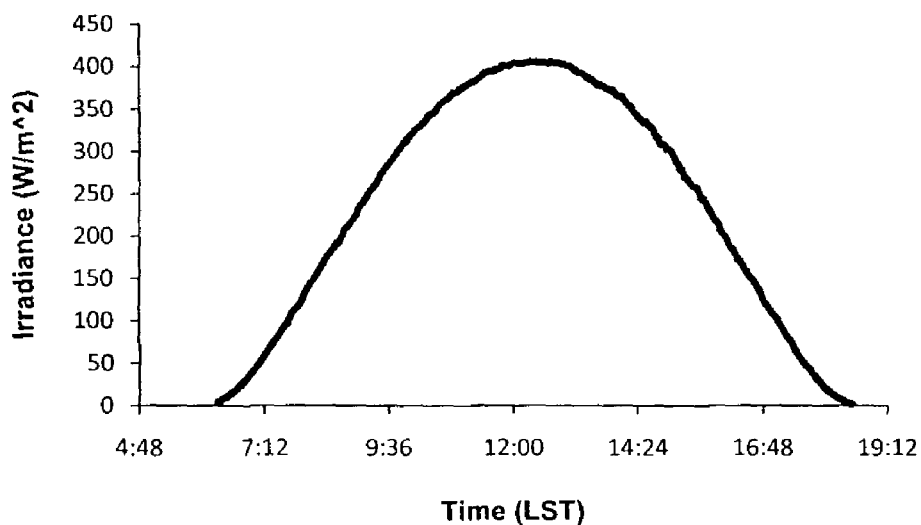
ภาพประกอบ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)



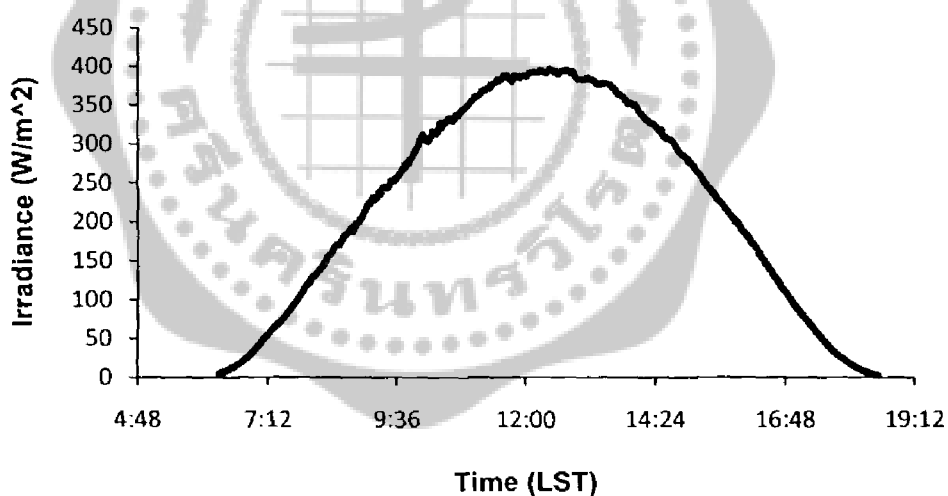
ภาพประกอบ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)



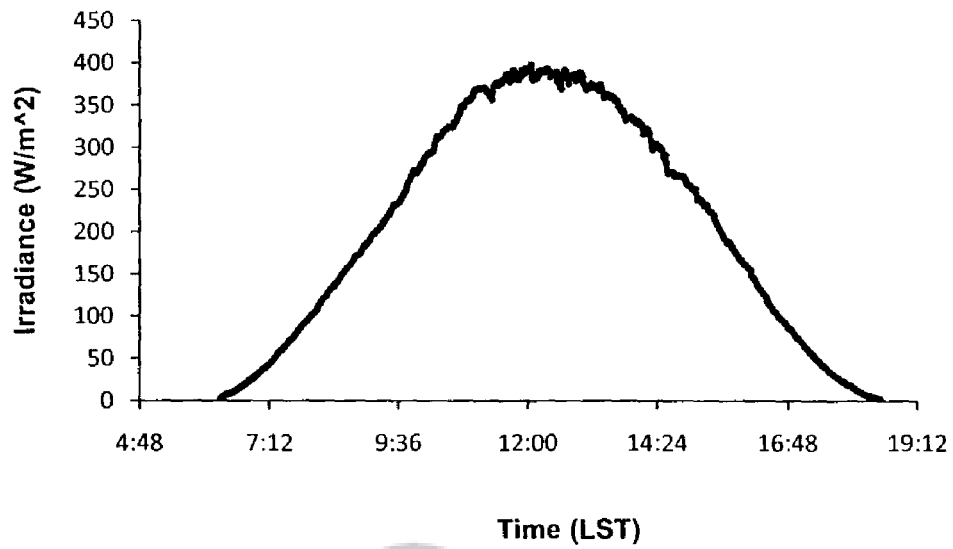
ภาพประกอบ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)



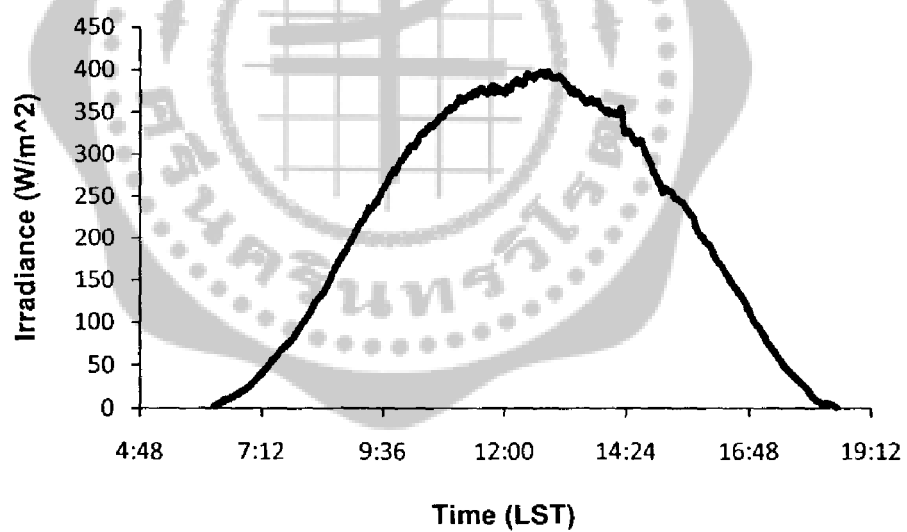
ภาพประกอบ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)



ภาพประกอบ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีสุทธิดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)

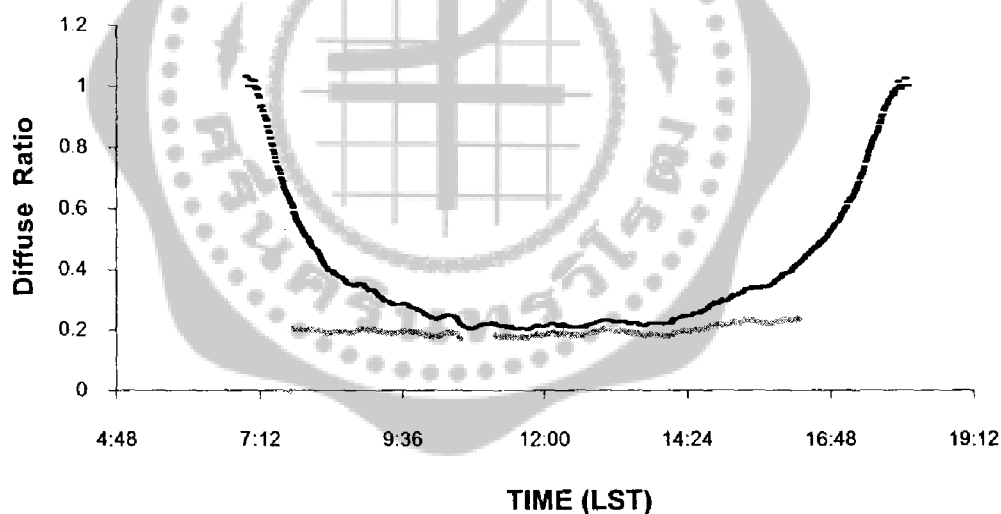


ภาพประกอบ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)

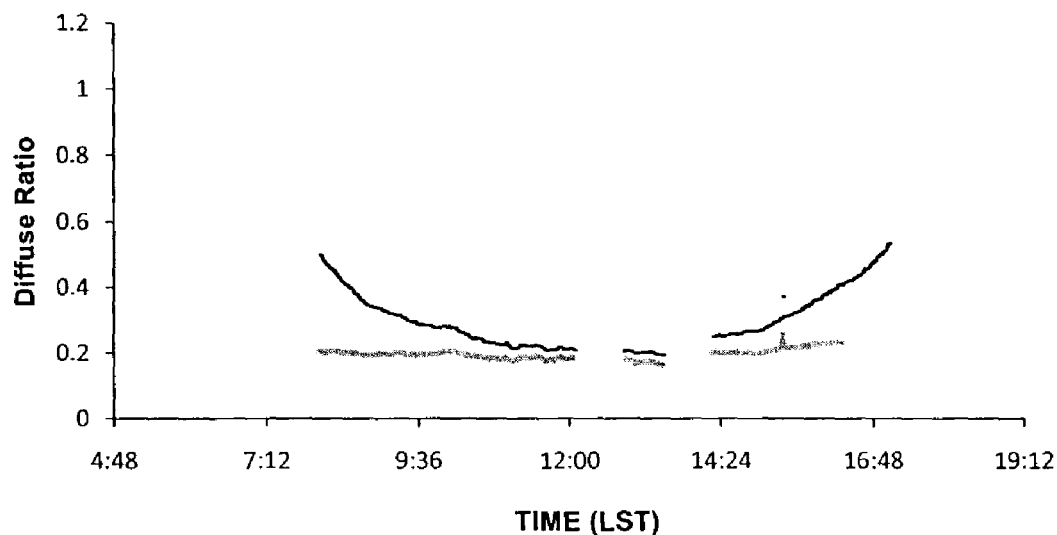


ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาของวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 (LST คือ เวลามาตรฐานของท้องถิ่น)

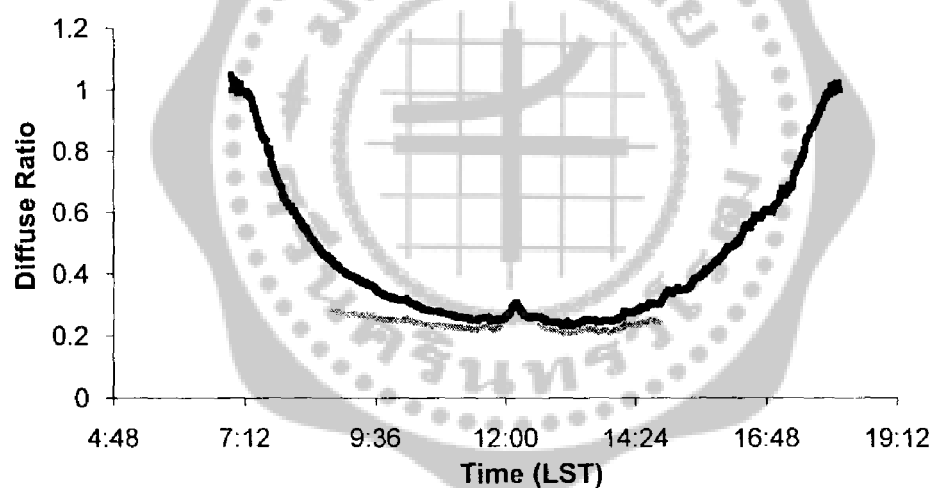
นำข้อมูลที่ได้มาทำการพิจารณาดัดส่วนที่มีเมฆมาบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออกก่อนที่จะนำข้อมูลที่เหลือซึ่งเป็นช่วงที่มีลักษณะท้องฟ้าโปร่งมาวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย โดยใช้วิธีการทดสอบการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติตามที่กล่าวในบทที่ 3 โดยนำค่าที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ (1) ทุกช่วงเวลามาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่เทียบกับเวลาและนำค่าที่ได้จากสมการที่ (2) ในทุกช่วงเวลามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติเทียบกับเวลา เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงเวลาที่มีเมฆมาบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นข้อมูลในช่วงที่มีลักษณะของกราฟขึ้นลงเล็กน้อยไม่เรียบและทำการตัดข้อมูลส่วนที่มีเมฆมาบังการแผ่รังสีออกผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 10 วันได้ผลดังภาพประกอบ 21-30 พบว่าวันที่ 25 มกราคม 2546 มีความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่เทียบกับเวลาตอนช่วงกลางๆมีลักษณะโค้งเว้ามากแสดงว่ามีการเปลี่ยนแปลงสูงและวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีลักษณะเป็นกราฟรูปประฆังคว่ำที่พบจุดตกของกราฟในช่วงบ่ายเนื่องจากมีเมฆมาบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จึงทำการตัดข้อมูลในช่วงบ่ายออก



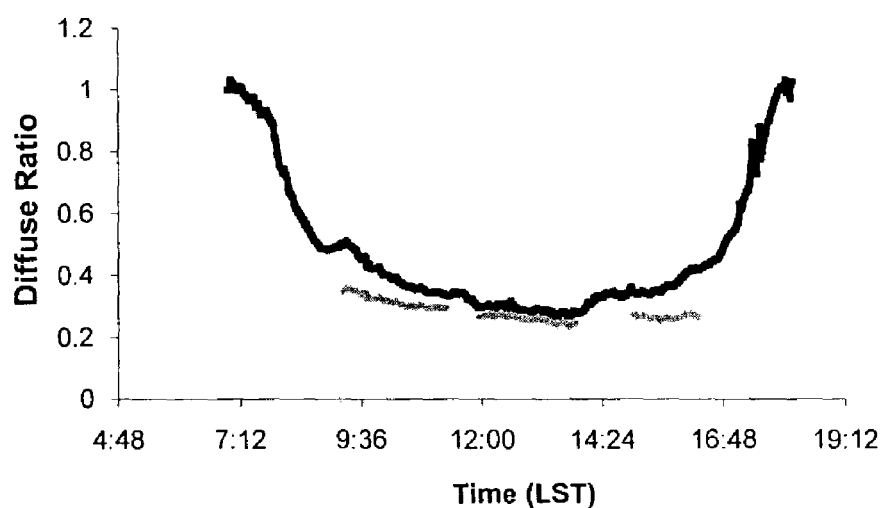
ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดส่วนที่มีเมฆมาบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก



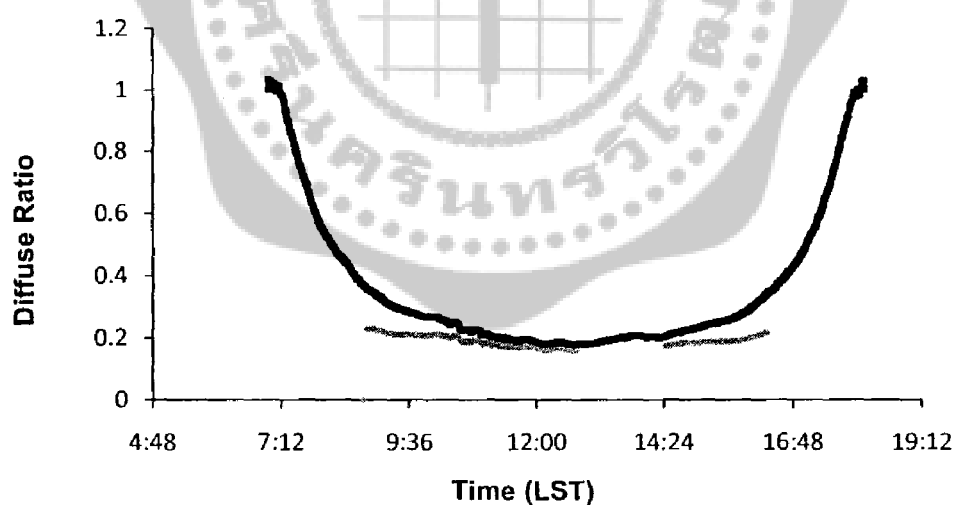
ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่23มกราคม พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดส่วนที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก



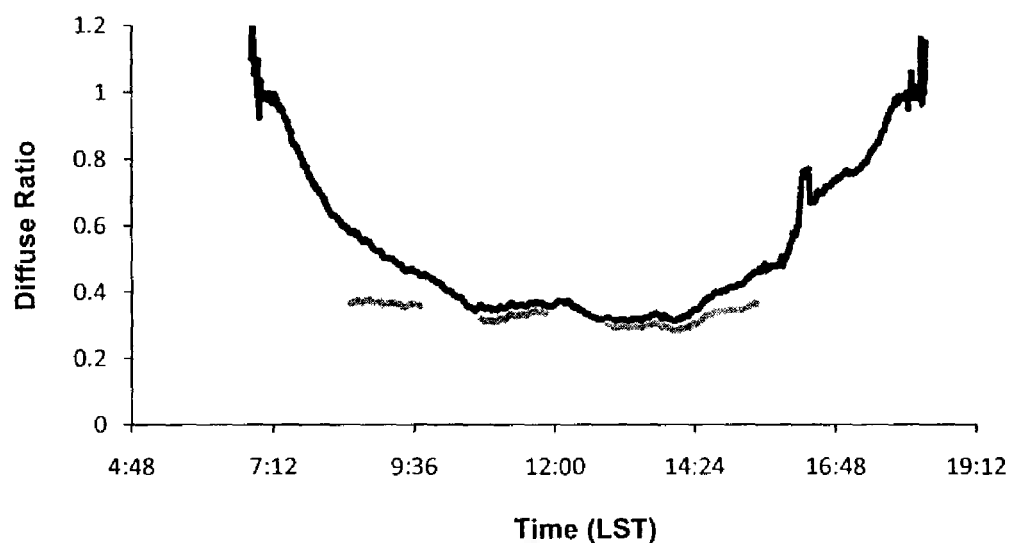
ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่24มกราคม พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดส่วนที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก



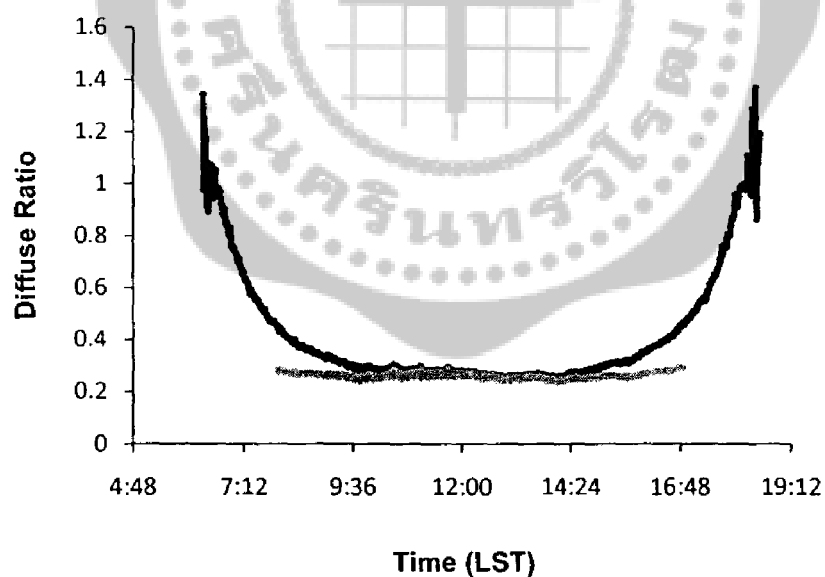
ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่25มกราคม พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดส่วนที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก



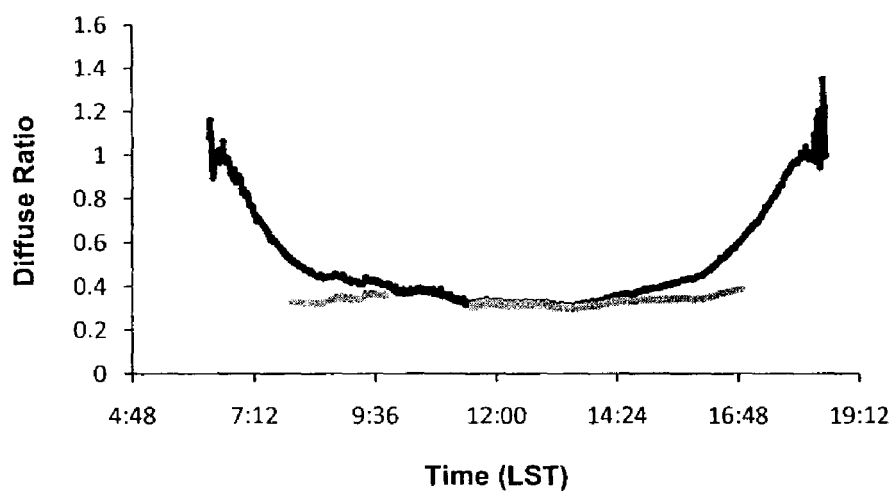
ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่26มกราคม พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดส่วนที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก



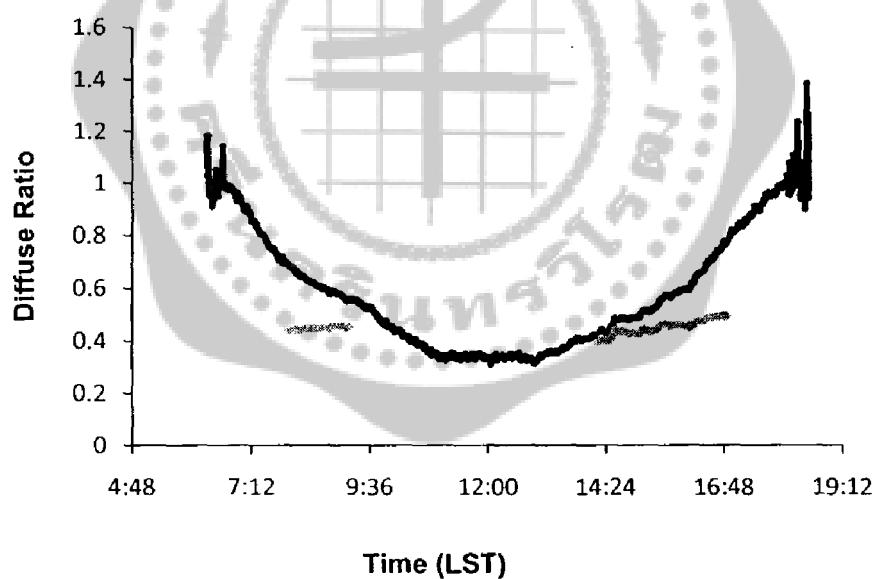
ภาพประกอบ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดสินใจที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก



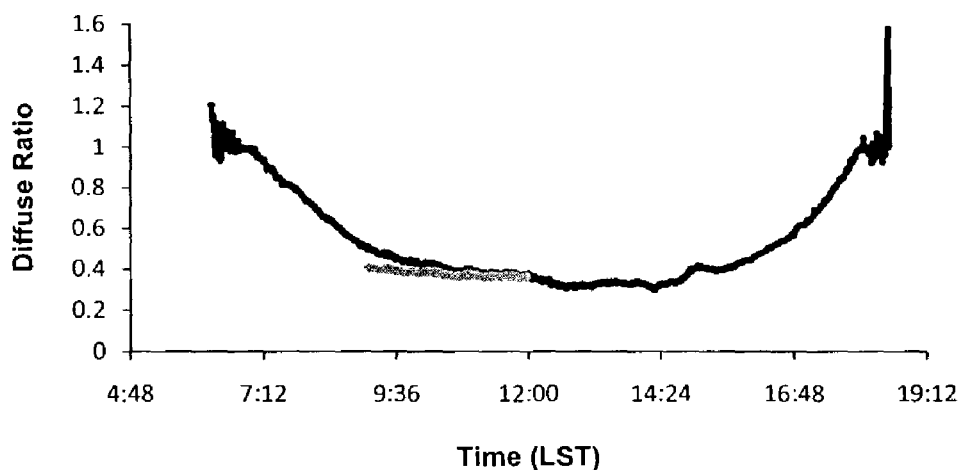
ภาพประกอบ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดสินใจที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก



ภาพประกอบ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดสินใจที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก



ภาพประกอบ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดสินใจที่มีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก

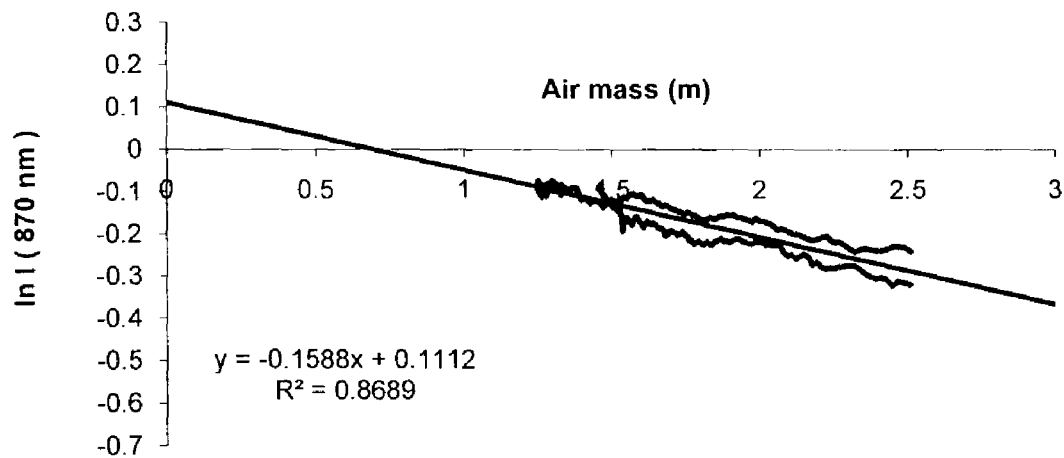


ภาพประกอบ 30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการแพร่(เส้นสีดำ)เทียบกับเวลาและการแปรเปลี่ยนของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ(เส้นสีเทา)เทียบกับเวลาของวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ที่มีการตัดส่วนที่มีเมฆมาดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ออก

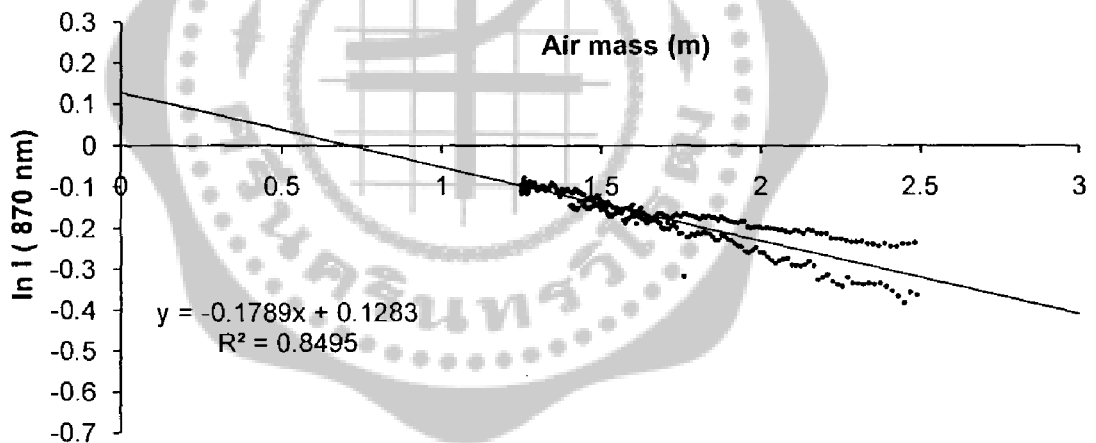
2. ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแบบแลงเลย์

เมื่อได้ข้อมูลในช่วงที่สภาพท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์แบบแลงเลย์ เพื่อหาความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm และความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์และของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm ตามขั้นตอนที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

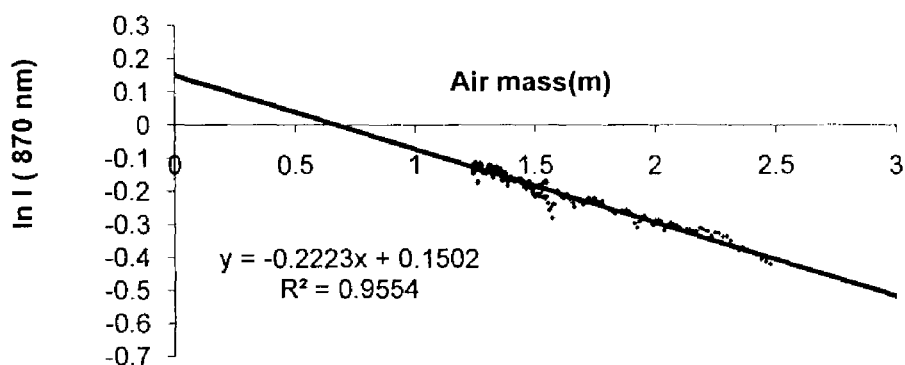
2.1 ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.1 โดยนำสมการการลดทอนของ Bouguer-Lambert มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Analysis) ที่นำข้อมูลทุกช่วงเวลาในวันที่ทำการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการ(4)ในบทที่ 3 ระหว่าง $\ln I$ กับ มวลอากาศ(m) (m ไม่เกิน 2.5) เพื่อให้ได้ค่า $\ln I_0$ ที่เป็นจุดตัดแกน y ตามระบบสมการเชิงเส้น ได้ผลดังภาพประกอบ 31-40



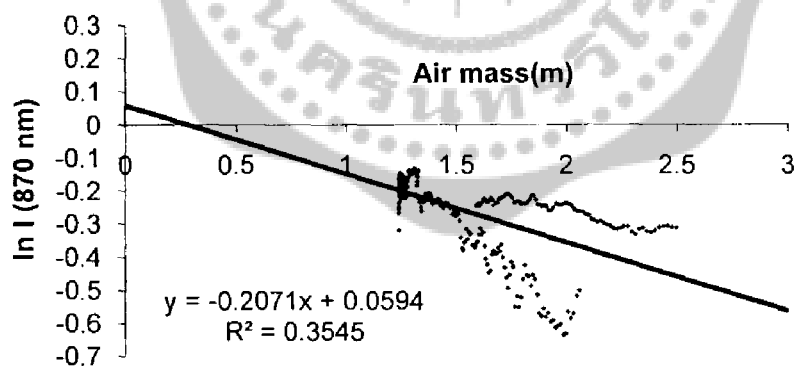
ภาพประกอบ 31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.869 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็ค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.111



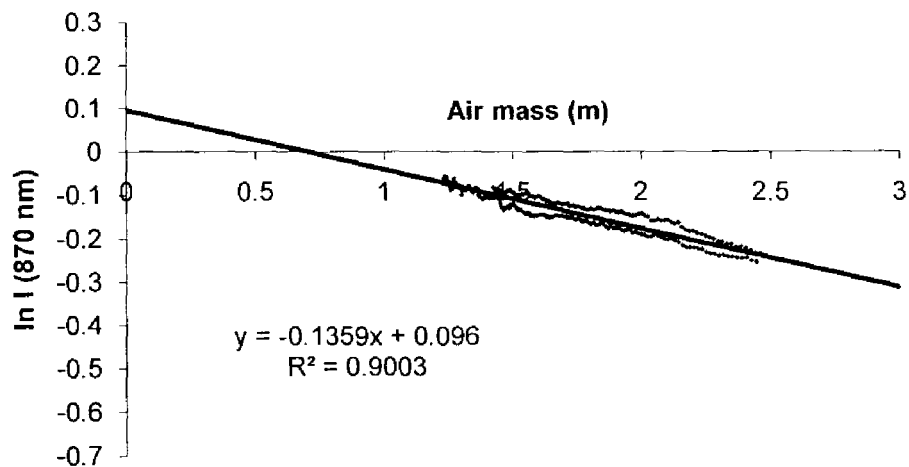
ภาพประกอบ 32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.850 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็ค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.128



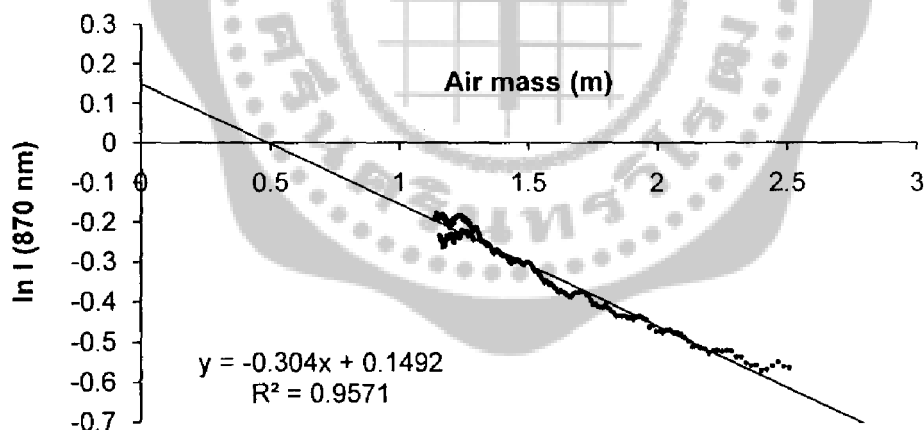
ภาพประกอบ 33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.955 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.150



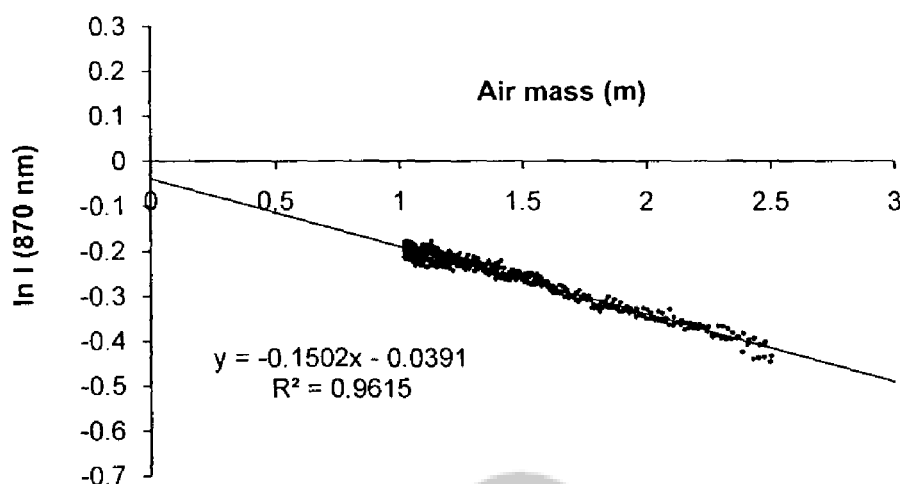
ภาพประกอบ 34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.355 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.059



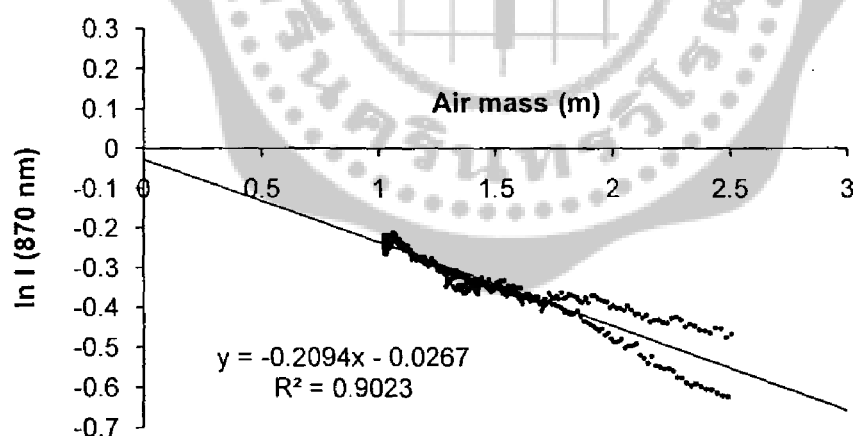
ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.900 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.096



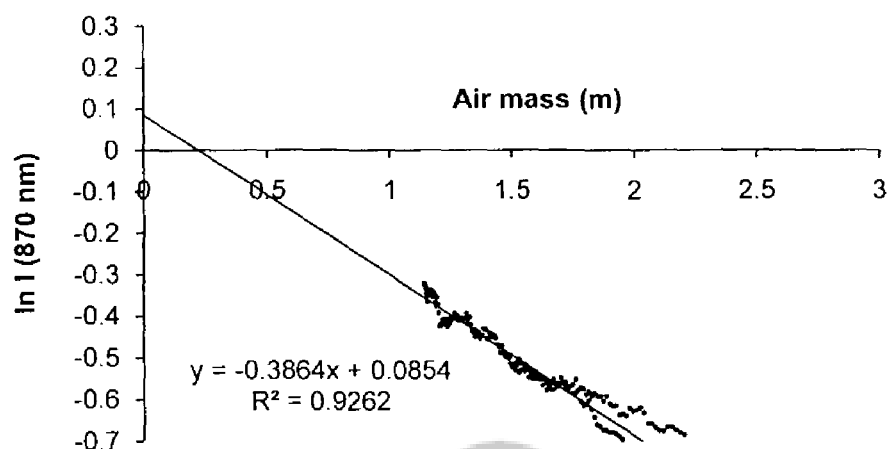
ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.957 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.149



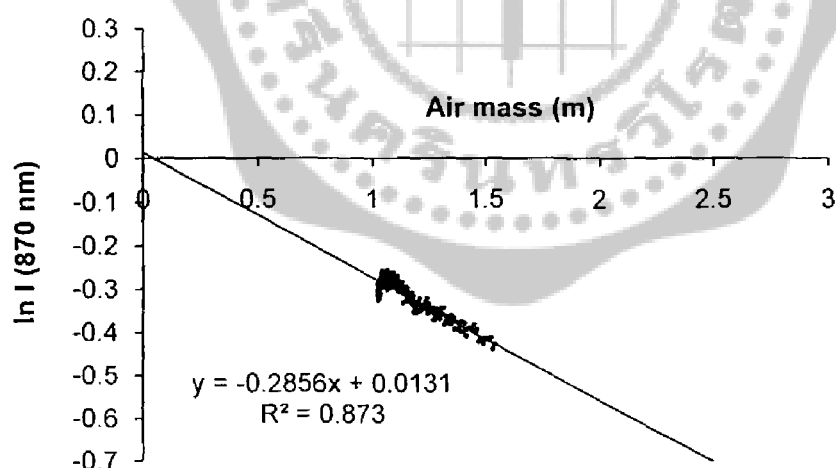
ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.962 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.039



ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.902 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.027

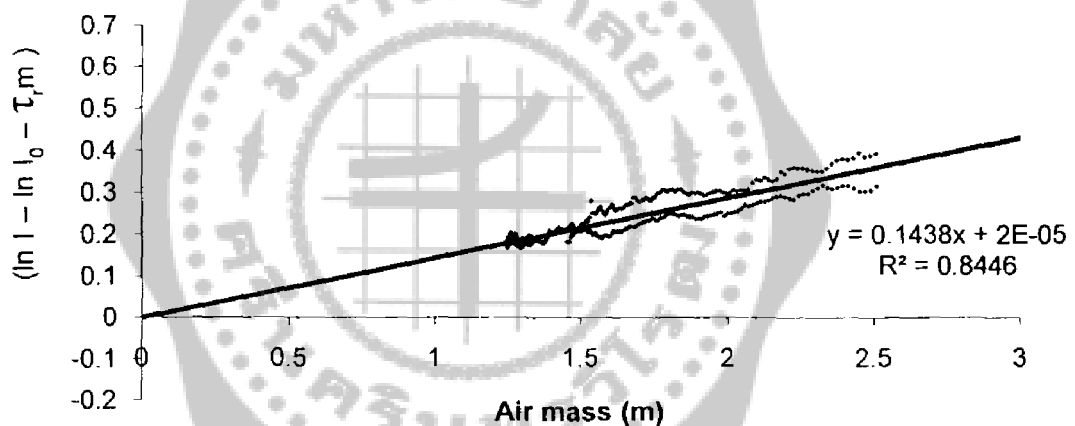


ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.926 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.085

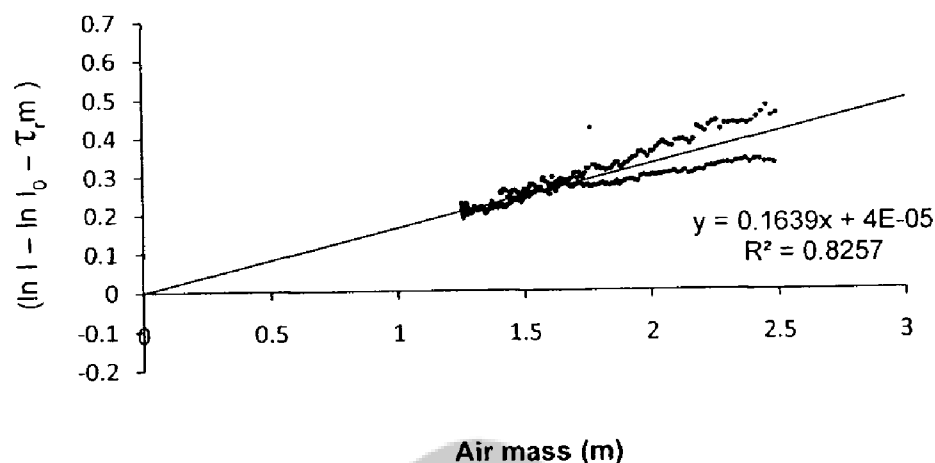


ภาพประกอบ 40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.873 และจุดตัดบนแกน y ที่เป็นค่า $\ln I_0$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.013

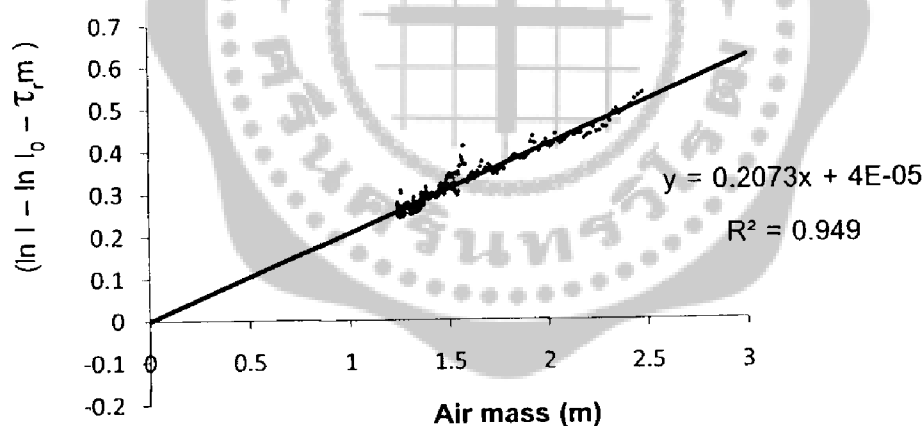
จากภาพประกอบ 34 ในวันที่ 25 มกราคม 2546 พบว่าข้อมูลในช่วงเช้าและข้อมูลในช่วงบ่ายมีความแตกต่างกันมากทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าต่ำกว่า 0.5 เนื่องจากการมีเมฆบดบังการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ดังจะเห็นได้จากภาพประกอบที่ 14 และ 24 แต่เนื่องจากข้อมูลที่ตัดทิ้งยังมีข้อมูลที่เหลือมากกว่า 120 ข้อมูลจึงได้ลองนำมาวิเคราะห์ต่อไป ผลจากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการที่ (7) ในบทที่ 3 โดยมีการหาค่าความลึกเชิงแสงของเรย์ลีตามสมการ (6) ที่กล่าวในบทที่ 3 เมื่อ P คือ ค่าความดันบรรยากาศเฉลี่ย ณ จุดวัดซึ่งที่อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย มีค่าเฉลี่ยประมาณ 1008.8 mb และค่า P_0 คือ ค่าความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล มีค่าคงที่เท่ากับ 1013.25 mb ผลที่ได้จากการคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของเรย์ลีตามสมการ (6) ที่ความยาวคลื่น 415 nm คือ 0.308 และที่ความยาวคลื่น 870 nm คือ 0.015 ดังนั้นเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - \tau_r m)$ กับ มวลอากาศ (m) ขนาดของความชันที่ได้เป็นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (τ_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm และจุดตัดแกน y คือค่า $\ln C$ ได้ผลดังภาพประกอบ 41-50



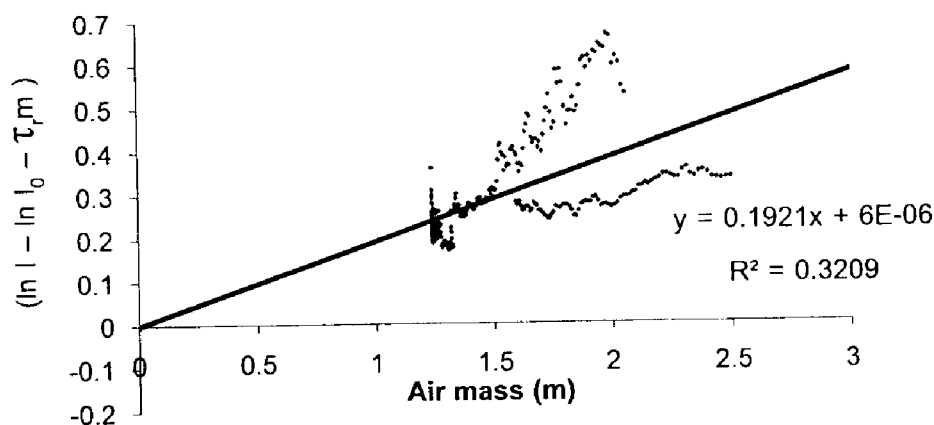
ภาพประกอบ 41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - \tau_r m)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (τ_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.144 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.845



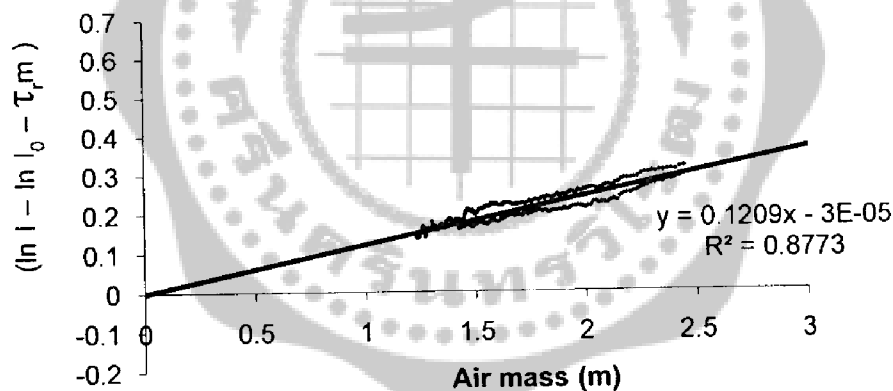
ภาพประกอบ 42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - \tau_a m)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (τ_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.164 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.826



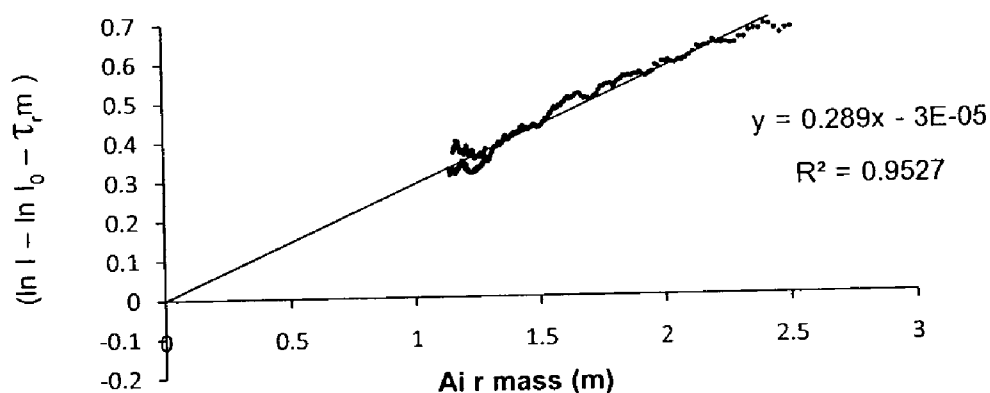
ภาพประกอบ 43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - \tau_a m)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (τ_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.207 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.949



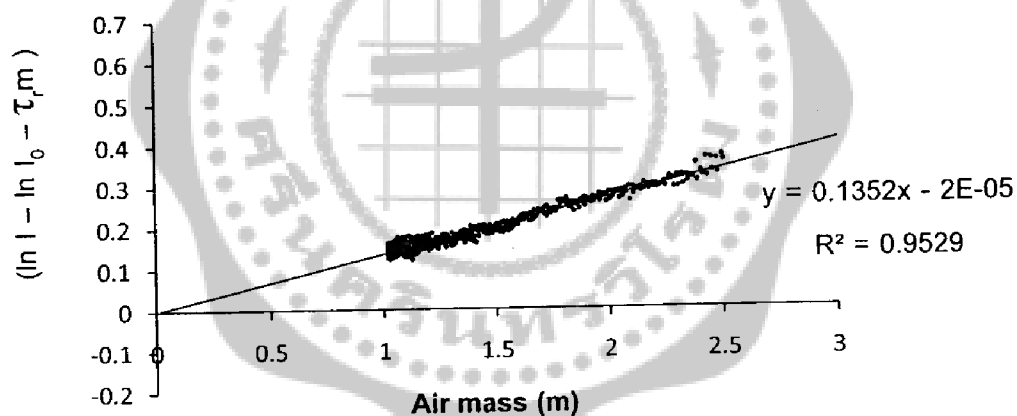
ภาพประกอบ 44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_a m)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.192 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.321



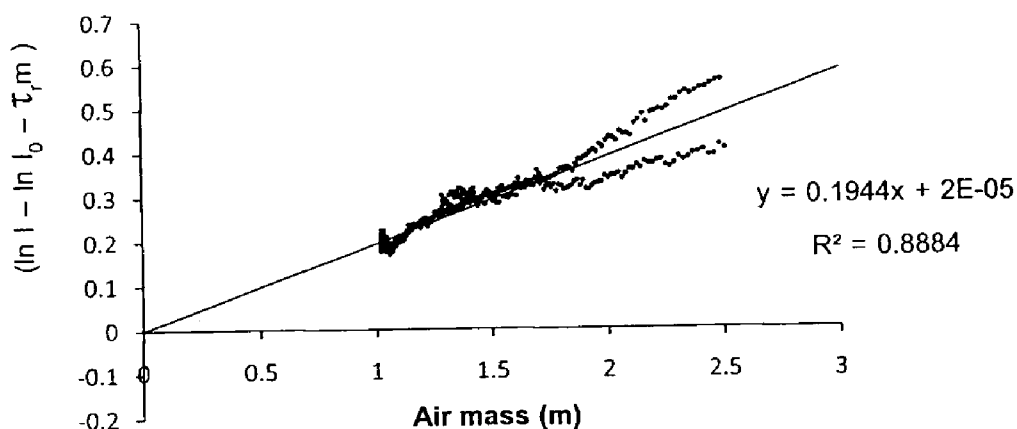
ภาพประกอบ 45 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_a m)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.121 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.877



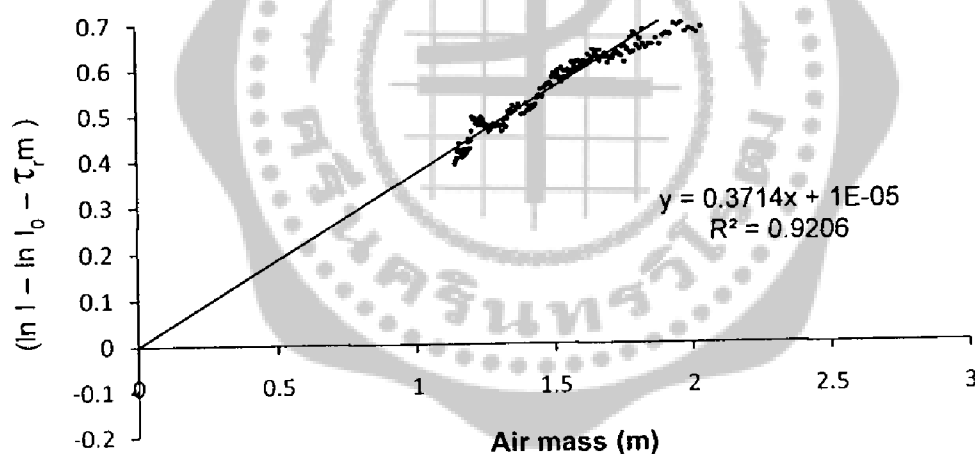
ภาพประกอบ 46 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_a m)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.289 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.953



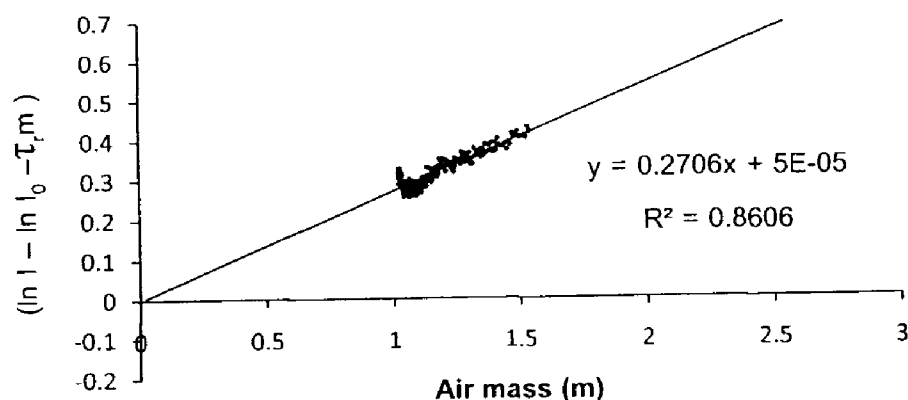
ภาพประกอบ 47 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_a m)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.135 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.953



ภาพประกอบ 48 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - \tau_a m)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (τ_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.194 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.888



ภาพประกอบ 49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - \tau_a m)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (τ_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.371 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.921



ภาพประกอบ 50 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(\ln I - \ln I_0 - T_a)$ กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm มีค่าเท่ากับ 0.271 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.861

ผลจากการดำเนินงานในทำนองเดียวกันโดยพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเช้าและช่วงบ่ายในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในช่วงวันที่ 22 - 26 มกราคม และวันที่ 1, 3, 4, 5, 7 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยใช้เวลาเที่ยงตรง (12.00) เป็นเวลาแบ่งระหว่างช่วงเช้าและช่วงบ่ายของแต่ละวัน

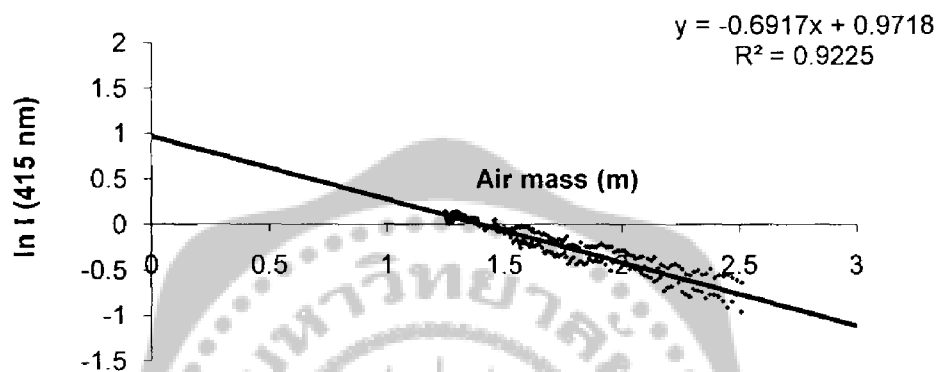
ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm ในช่วงฤดูหนาวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.121 - 0.207 ส่วนในช่วงฤดูร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.135 - 0.371 แต่จากภาพประกอบ 43 ข้อมูลในวันที่ 25 มกราคม 2546 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำมาก เนื่องจากข้อมูลในช่วงเช้ามีความแตกต่างจากข้อมูลในช่วงบ่ายเนื่องจากช่วงเช้าพบค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยมากกว่าช่วงบ่ายมาก โดยช่วงเช้ามีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยเท่ากับ 0.573 ในขณะที่ช่วงบ่ายมีค่าเท่ากับ 0.103 น่าจะสรุปได้ว่าปริมาณความหนาแน่นของละอองลอยในวันที่ 25 มกราคม 2546 นี้ น่าจะมีความแตกต่างกันมากโดยช่วงเช้าอาจจะมีการกระทำกิจกรรมบางอย่างของชาวบ้านในชุมชน และละอองลอยค่อยๆ จางหายไปในช่วงบ่ายได้สรุปผลการวิเคราะห์ทั้ง 10 วันไว้ในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงผลของค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (T_a) ที่ความยาวคลื่น 870 nm กับค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม และวันที่ 1 , 3 ,4, 5 ,7 เมษายน พ.ศ. 2546

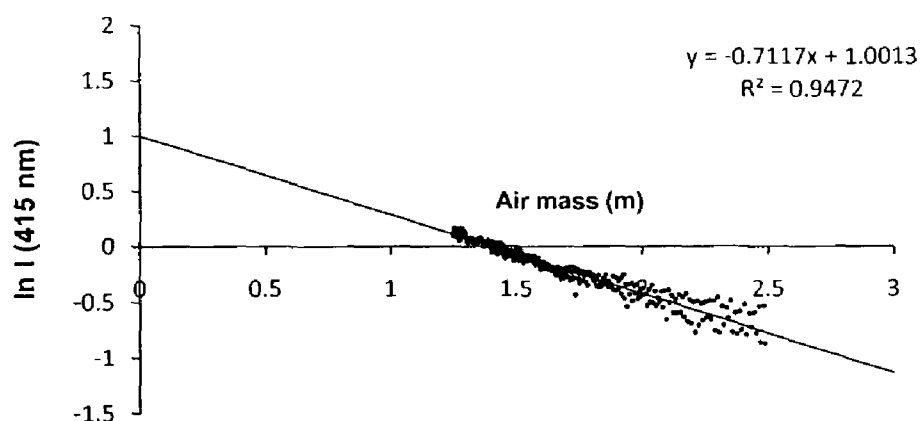
วันที่ (2546)	ความลึกเชิงแสงของ ละอองลอย(T_a)ที่ 870 nm			ค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C)			สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)		
	ทั้งวัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ทั้งวัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ทั้งวัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
22ม.ค.	0.144	0.120	0.176	0.999	1.000	1.000	0.845	0.965	0.978
23ม.ค.	0.164	0.117	0.208	0.999	1.000	1.000	0.826	0.907	0.966
24ม.ค.	0.207	0.202	0.227	0.999	1.000	0.999	0.949	0.824	0.508
25ม.ค.	0.192	0.573	0.103	0.999	1.000	1.000	0.321	0.461	0.778
26ม.ค.	0.121	0.135	0.111	0.999	0.999	1.000	0.877	0.791	0.861
1 เม.ย.	0.289	0.258	0.372	0.999	0.999	1.000	0.953	0.977	0.938
3 เม.ย.	0.135	0.135	0.145	0.999	0.999	0.999	0.953	0.946	0.969
4 เม.ย.	0.194	0.194	0.242	0.999	1.000	0.999	0.888	0.844	0.982
5 เม.ย.	0.371	0.374	0.441	0.999	1.000	1.000	0.921	0.968	0.984
7 เม.ย.	0.271	0.271	-	0.999	0.999	-	0.861	0.861	-

ผลที่ได้พบว่าข้อมูลในช่วงเดือนมกราคม 2546 มีความต่อเนื่องเพราะเมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดในช่วงความยาวคลื่นกว้างของดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาได้กราฟรูประฆังคว่ำที่มีจุดตกน้อย แต่ข้อมูลในเดือนเมษายนมีความไม่ต่อเนื่องเพราะข้อมูลในวันที่ 2 และ 6 เมษายน 2546 เมื่อเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการแผ่รังสีรังสีทั้งหมดในช่วงความยาวคลื่นกว้างของดวงอาทิตย์กับทุกช่วงเวลาได้กราฟรูประฆังคว่ำที่พบจุดตกของกราฟมาก อาจมีเมฆมาบดบังการแผ่รังสีตลอดทั้งวัน จึงได้ตัดข้อมูลในวันดังกล่าวทิ้ง

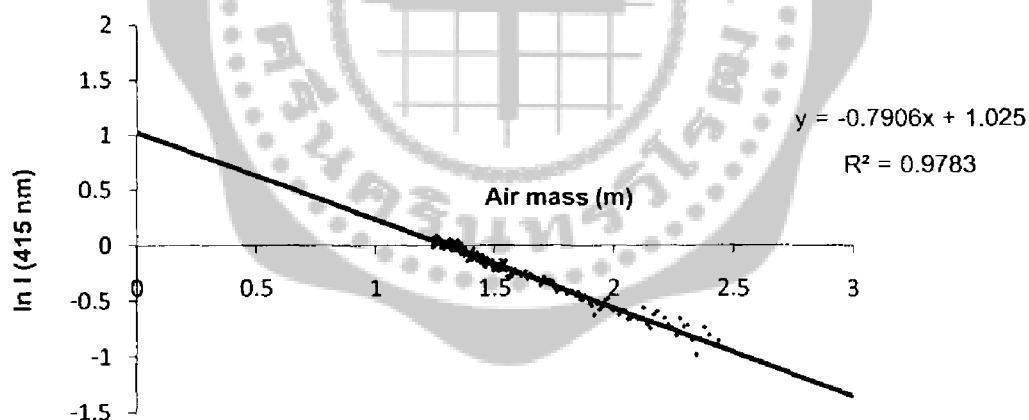
2.2 ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm ด้วยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลียร์เช่นเดียวกับช่วงความยาวคลื่น 870 nm โดยในตอนแรกนำข้อมูลทุกช่วงเวลาในวันที่ทำการศึกษามาเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการ (4) ในบทที่ 3 ระหว่าง $\ln I$ กับ m เพื่อให้ได้ค่า $\ln I_0$ ที่เป็นจุดตัดแกน y ตามระบบสมการเชิงเส้น โดยได้ผลดังภาพประกอบที่ 51-60



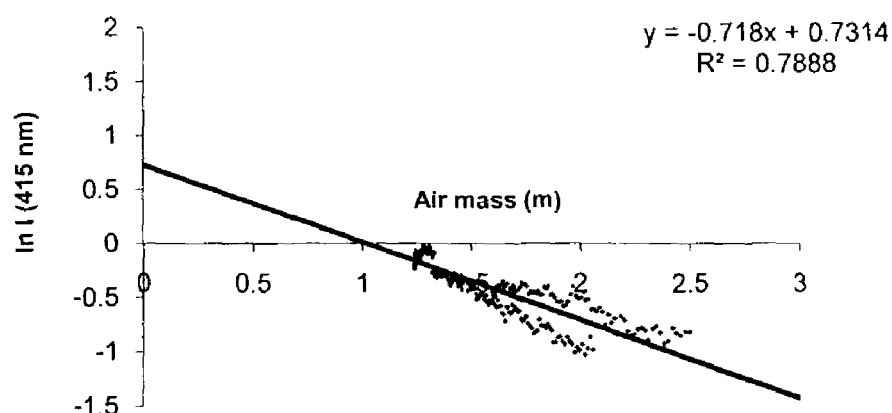
ภาพประกอบ 51 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.972 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.923



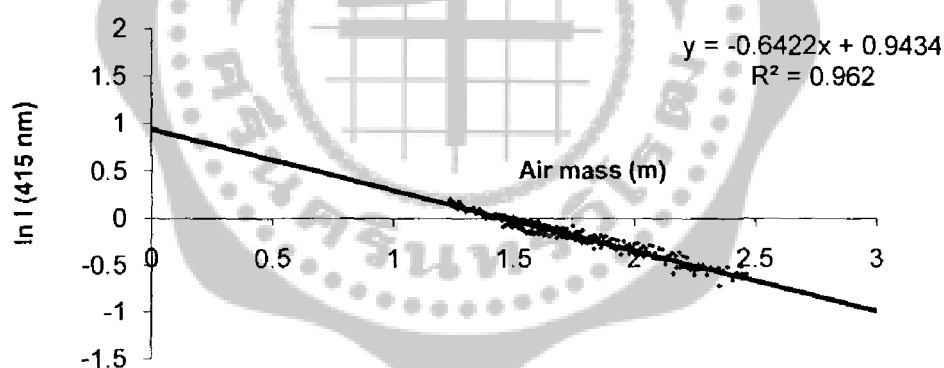
ภาพประกอบ 52 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 1.001 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.947



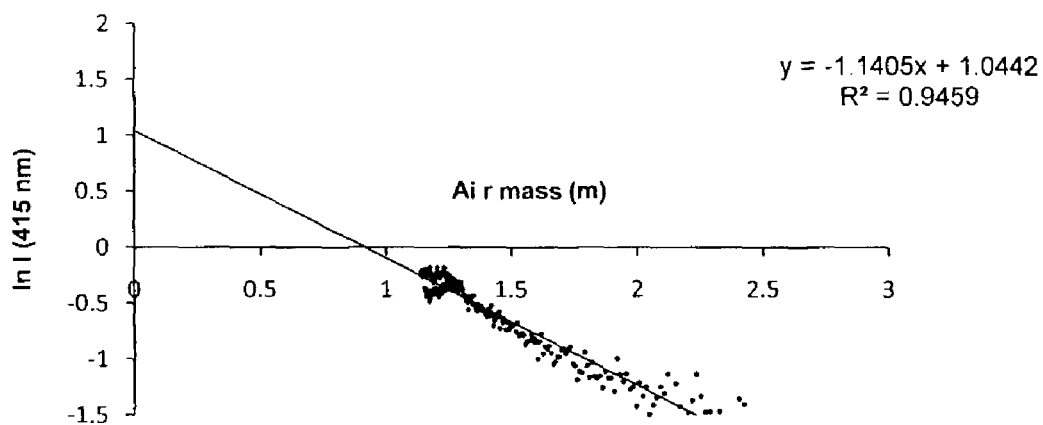
ภาพประกอบ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 1.025 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.978



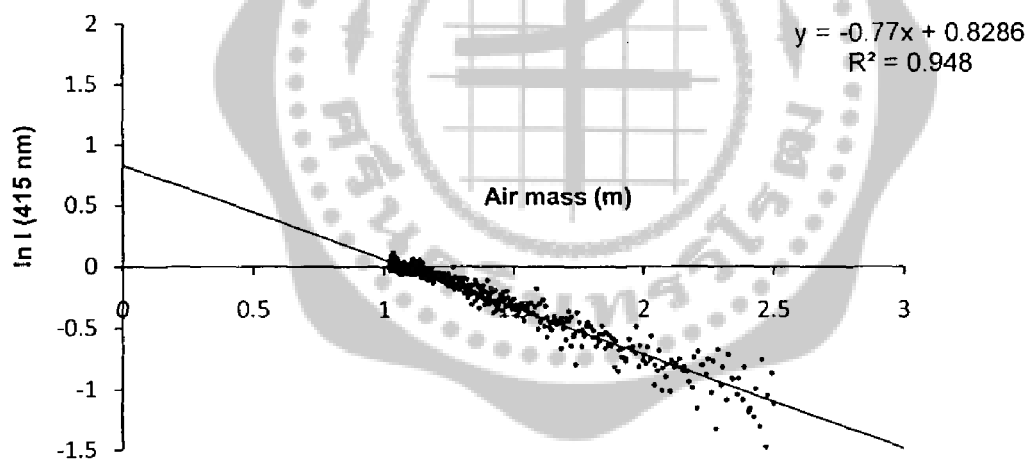
ภาพประกอบ 54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.731 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.789



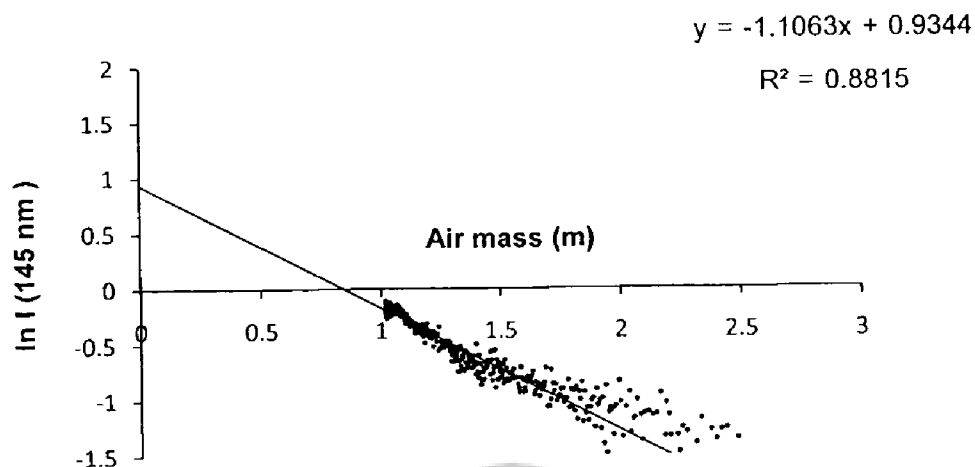
ภาพประกอบ 55 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.943 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.962



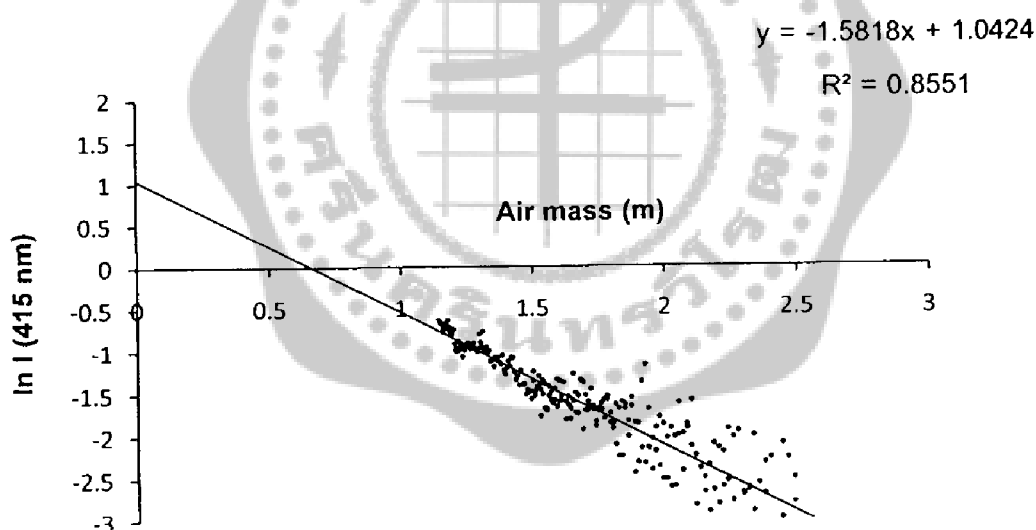
ภาพประกอบ 56 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 1.044 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.946



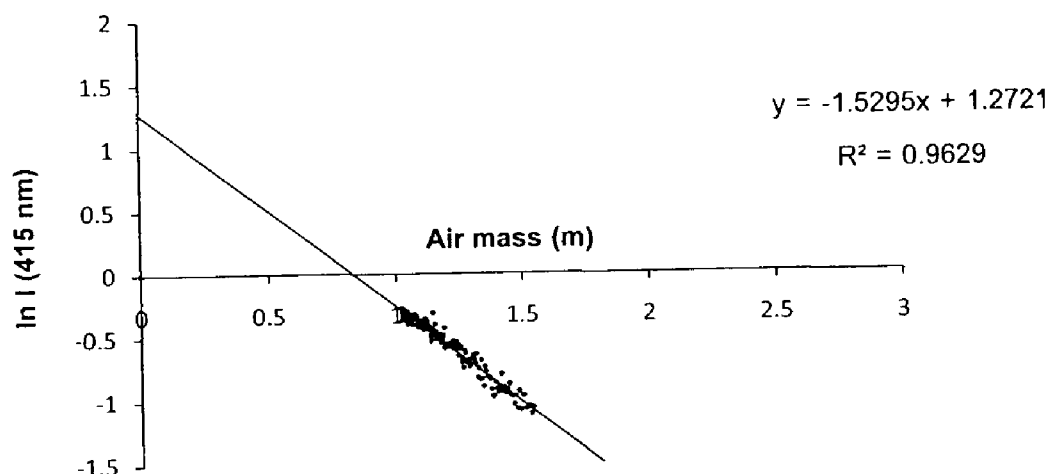
ภาพประกอบ 57 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.829 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.948



ภาพประกอบ 58 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 0.934 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.882

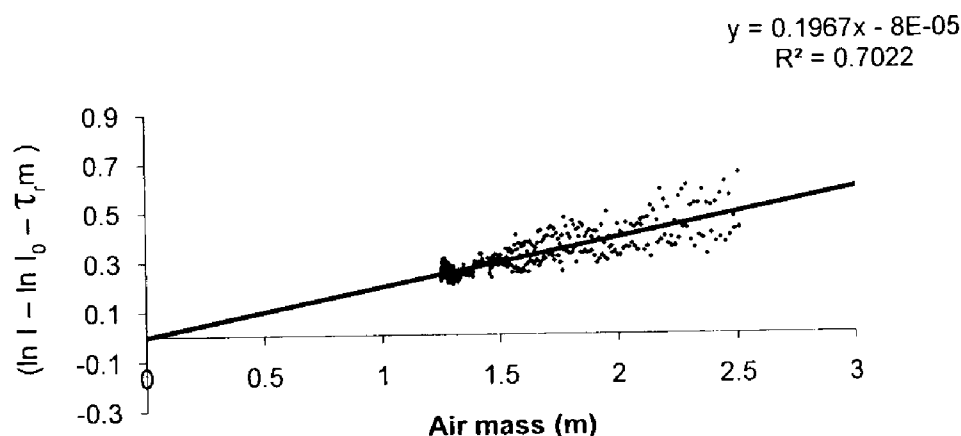


ภาพประกอบ 59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 1.042 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.855

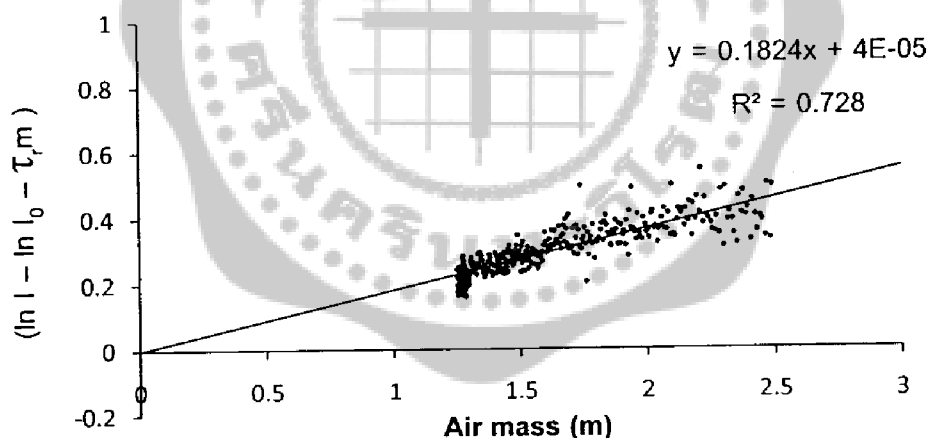


ภาพประกอบ 60 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln I$ (ความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ตกตั้งฉากกับพื้นโลก) ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีค่า $\ln I_0$ เท่ากับ 1.272 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.963

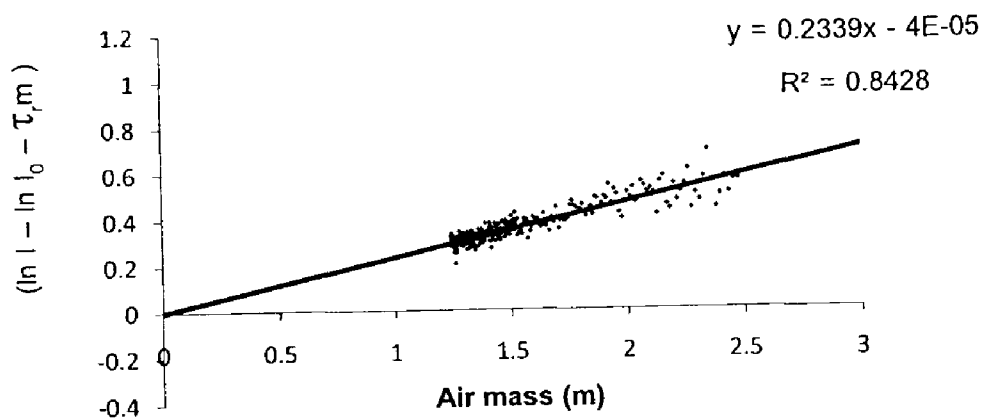
ผลจากการดำเนินงานในหัวข้อที่ 3.2 โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ตามสมการที่ (10) ในบทที่ 3 โดยมีค่าความลึกเชิงแสงของเรย์ลีที่ความยาวคลื่น 415 nm คือ 0.308 และสามารถหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm จากค่า $q\tau_a$ ซึ่งค่า q คือ อัตราส่วนของการสิ้นสุดทั้งหมดของการดูดกลืนของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm เทียบกับละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ทำการปรับค่า q ในการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415\text{nm}} - q(\tau_{870\text{nm}})$ กับ m โดยปรับค่า q ที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 1.15 - 1.50 ให้ได้ค่า R^2 ไม่น้อยกว่า 0.7 จะได้ขนาดของความชันเป็นค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm ได้ผลดังภาพประกอบ 61-70



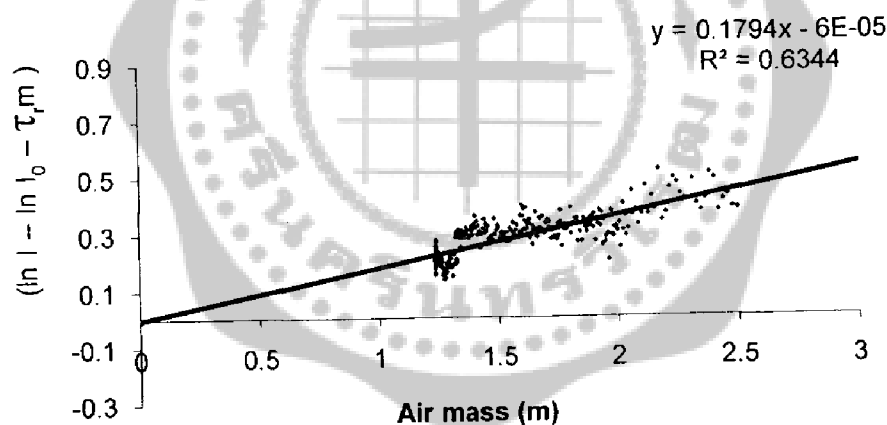
ภาพประกอบ 61 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_m) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.197 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 1.000 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.702



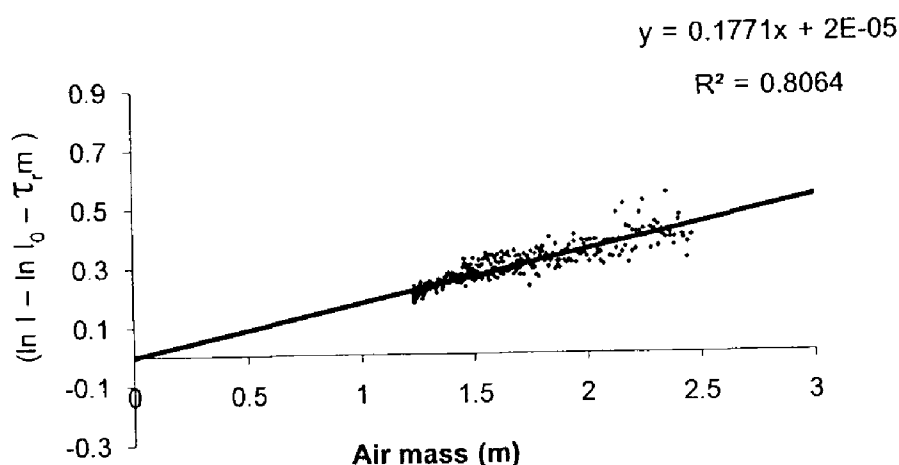
ภาพประกอบ 62 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 23 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_m) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.182 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.728



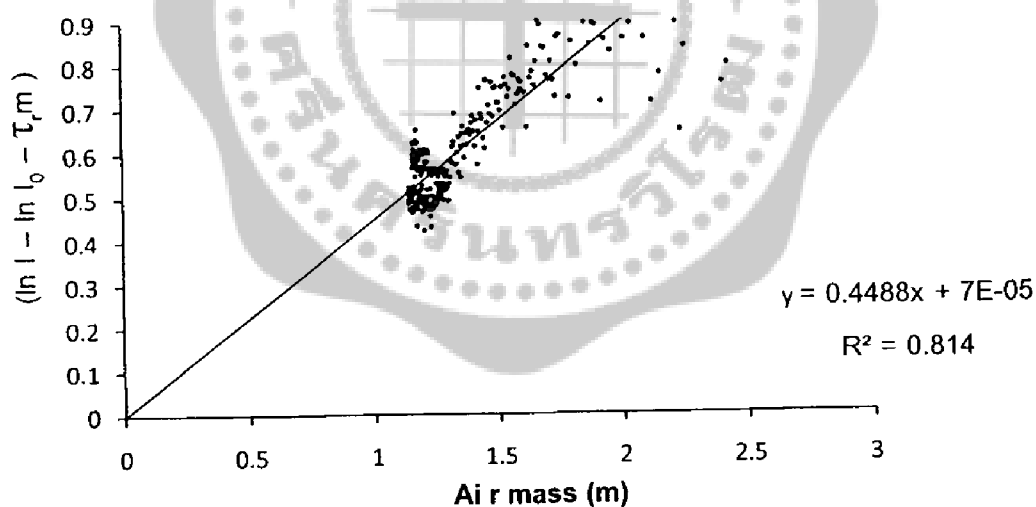
ภาพประกอบ 63 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 24 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.234 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 1.000 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.843



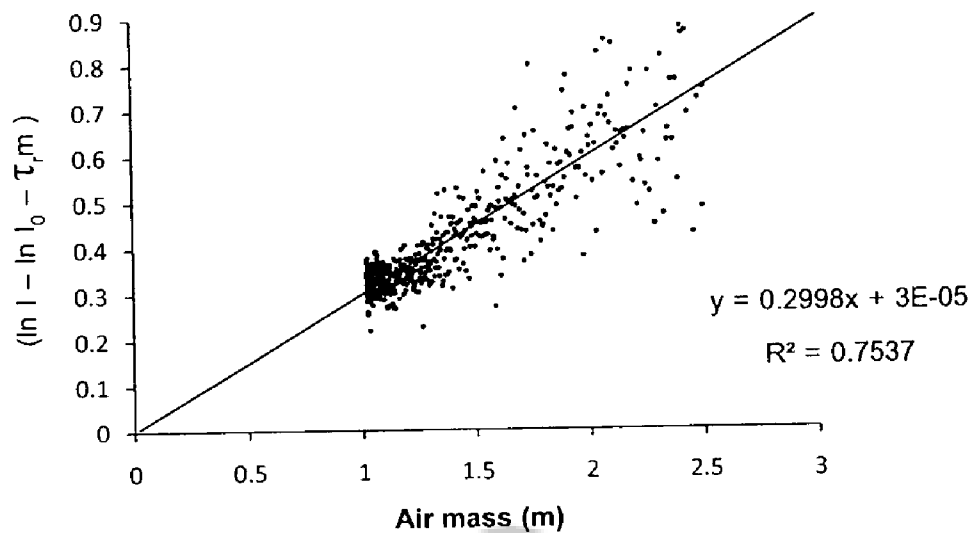
ภาพประกอบ 64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.179 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 1.000 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.634



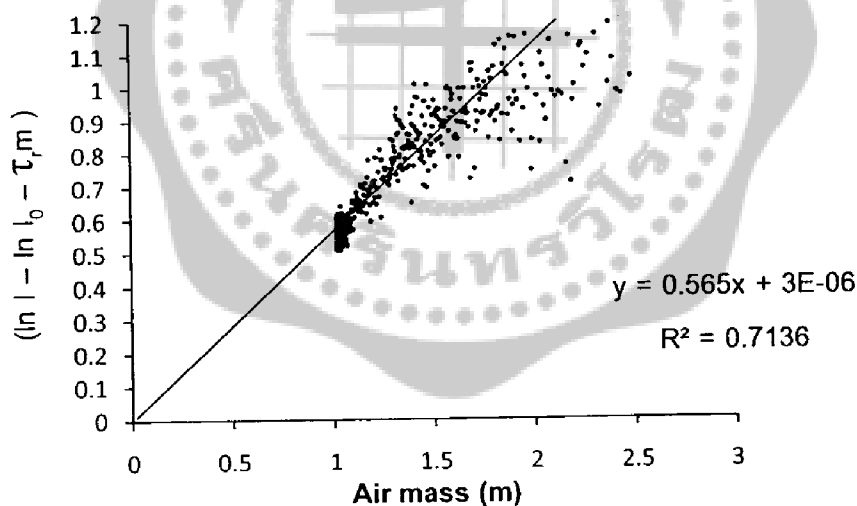
ภาพประกอบ 65 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 26 มกราคม พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.177 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.806



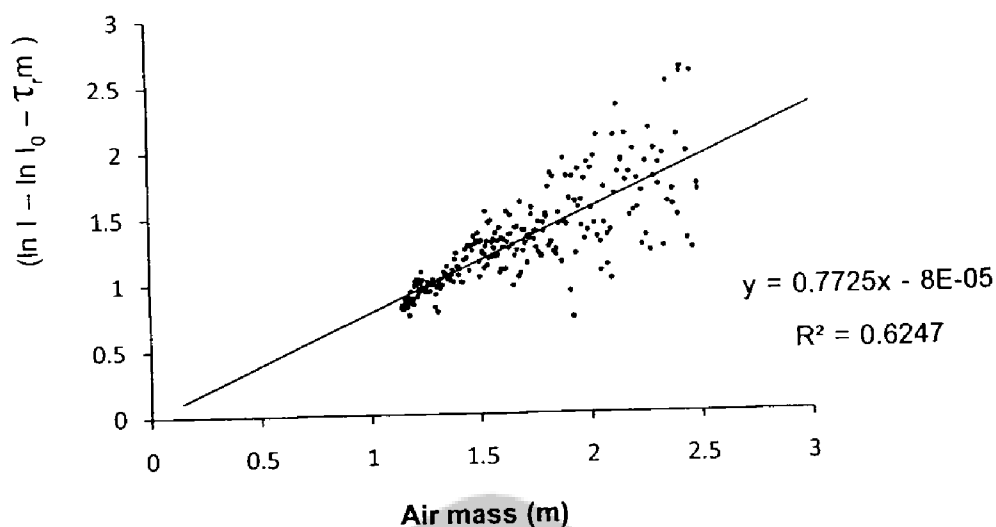
ภาพประกอบ 66 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.449 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.814



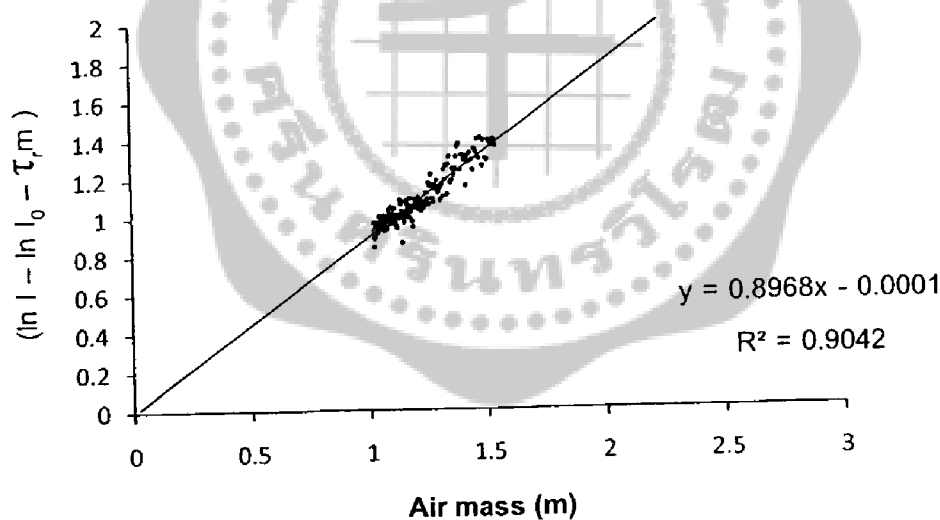
ภาพประกอบ 67 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.300 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.754



ภาพประกอบ 68 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.565 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 0.999 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.714



ภาพประกอบ 69 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_m) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.773 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 1.000 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.625



ภาพประกอบ 70 กราฟแสดงความสัมพันธ์ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่น 415 nm จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\tau_{415m} - q$ (τ_{870m}) กับ m (มวลอากาศ) ของวันที่ 5 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (τ_m) ที่ความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 0.897 มีค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C) เท่ากับ 1.000 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ 0.904

และดำเนินการในทำนองเดียวกันโดยพิจารณาเปรียบเทียบข้อมูลในช่วงเช้าและช่วงบ่ายในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย(qT_a)ที่ความยาวคลื่น 415 nm กับค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C)และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม และวันที่ 1 , 3 ,4, 5 ,7 เมษายน พ.ศ. 2546 โดยใช้เวลาเที่ยงตรง (12.00) เป็นเวลาแบ่งระหว่างช่วงเช้าและช่วงบ่ายของแต่ละวัน

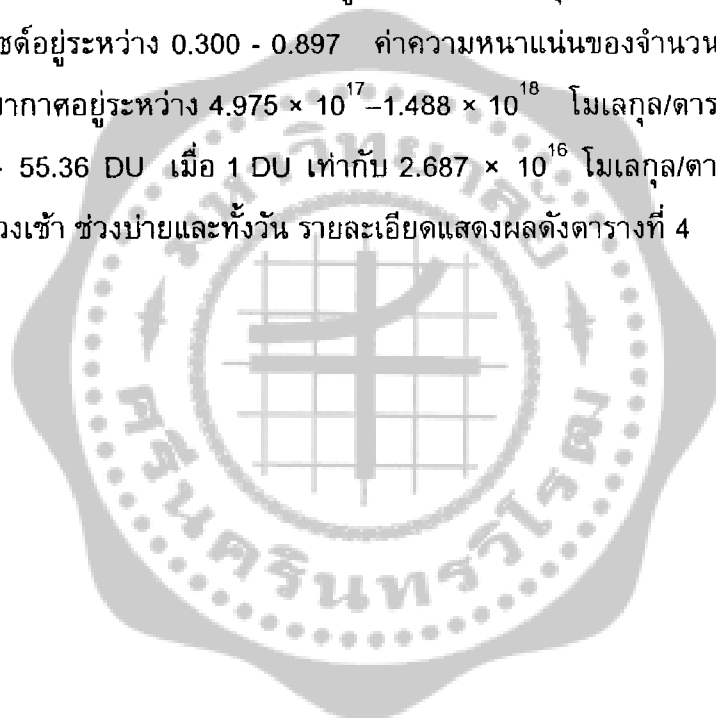
ในช่วงฤดูหนาวมีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย(qT_a)ที่ความยาวคลื่น 415 nm อยู่ระหว่าง 0.157 – 0.248 ส่วนในช่วงฤดูร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.162 – 0.482 และค่า q ที่ได้อยู่ระหว่าง 1.10 - 1.50 สรุปผลการวิเคราะห์ทั้ง 10 วันไว้ในตาราง 3

ตาราง 3 แสดงผลของค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย(qT_a)ที่ความยาวคลื่น 415 nm ค่าอัตราส่วนของการสิ้นสุดสุทธิของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm เทียบกับละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm (q) และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ในช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม และวันที่ 1 , 3 ,4, 5 ,7 เมษายน พ.ศ. 2546

วันที่ (2546)	ความลึกเชิงแสงของ ละอองลอย(qT_a)ที่ 415 nm			ค่าปรับเทียบของเครื่องมือ (C)			สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(R^2)		
	ทั้งวัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ทั้งวัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ทั้งวัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
22ม.ค.	0.187	0.144	0.264	0.999	0.999	1.000	0.702	0.844	0.881
23ม.ค.	0.221	0.152	0.291	0.999	1.000	0.999	0.728	0.741	0.767
24ม.ค.	0.248	0.252	0.261	0.999	0.999	0.999	0.843	0.824	0.508
25ม.ค.	0.230	0.252	0.128	0.999	1.000	0.999	0.634	0.461	0.778
26ม.ค.	0.157	0.630	0.133	0.999	1.000	1.000	0.806	0.791	0.860
1 เม.ย.	0.376	0.202	0.539	0.999	0.999	1.000	0.814	0.792	0.834
3 เม.ย.	0.162	0.141	0.181	0.999	0.999	0.999	0.754	0.788	0.813
4 เม.ย.	0.233	0.148	0.315	0.999	0.999	1.000	0.714	0.682	0.773
5 เม.ย.	0.482	0.311	0.617	0.999	1.000	0.999	0.625	0.351	0.766
7 เม.ย.	0.325	0.325	-	0.999	0.999	-	0.963	0.963	-

3. ความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ

ผลการหาความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ตามสมการที่ (11) ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 ได้ค่าความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เมื่อ ¹⁵ คือ ภาคตัดขวางดูดกลืนของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ที่มีความยาวคลื่น 415 nm มีค่าเท่ากับ 6.03×10^{-19} ในหน่วยตารางเซนติเมตร/โมเลกุล โดยช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาวมีค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 0.177 - 0.234 ได้ค่าความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศอยู่ระหว่าง 2.935×10^{17} – 3.267×10^{17} โมเลกุล/ตารางเซนติเมตรหรืออยู่ระหว่าง 9.001 - 15.10 DU ในช่วงวันที่ 1 , 3 , 4, 5 , 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนของจังหวัดสุโขทัยมีค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ระหว่าง 0.300 - 0.897 ค่าความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศอยู่ระหว่าง 4.975×10^{17} – 1.488×10^{18} โมเลกุล/ตารางเซนติเมตร หรืออยู่ระหว่าง 18.51 - 55.36 DU เมื่อ 1 DU เท่ากับ 2.687×10^{16} โมเลกุล/ตารางเซนติเมตรโดยพิจารณาข้อมูลในช่วงเช้า ช่วงบ่ายและทั้งวัน รายละเอียดแสดงผลดังตารางที่ 4



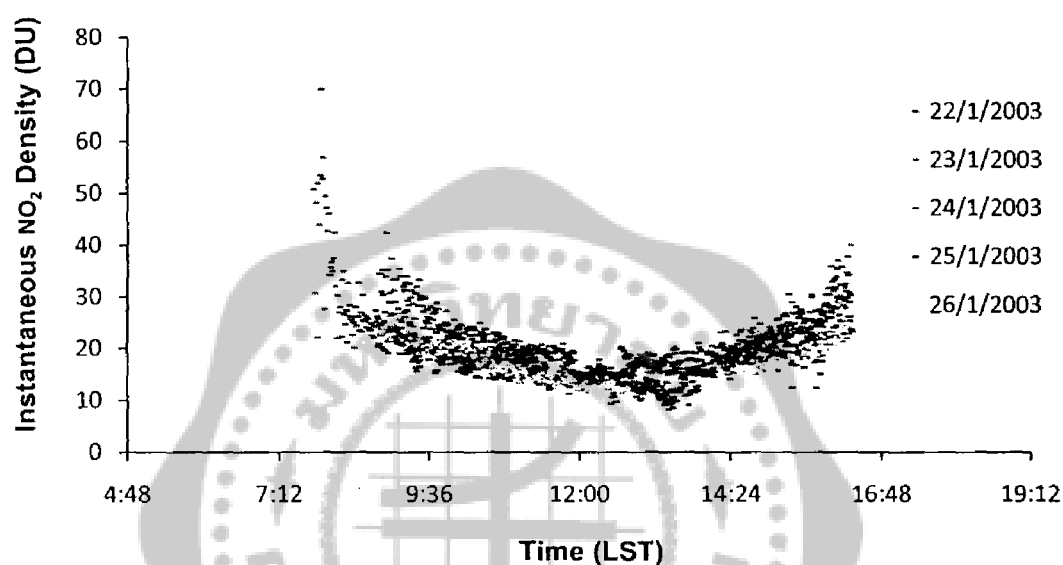
¹Harold S. Johnston and Richard Graham (1974). *Photochemistry of NO_x and HNO_x Compounds*. The Journal of Physical Chemistry. 105 (9), pp.1415-1423

ตาราง 4 แสดงผลของค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ความยาวคลื่น 415 nm
ค่าความหนาแน่นของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดทั้งคอลัมน์ในหน่วยโมเลกุล/ตาราง
เซนติเมตรและหน่วย DU ในช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม และวันที่ 1 , 3 , 4 , 5 , 7 เมษายน
พ.ศ. 2546

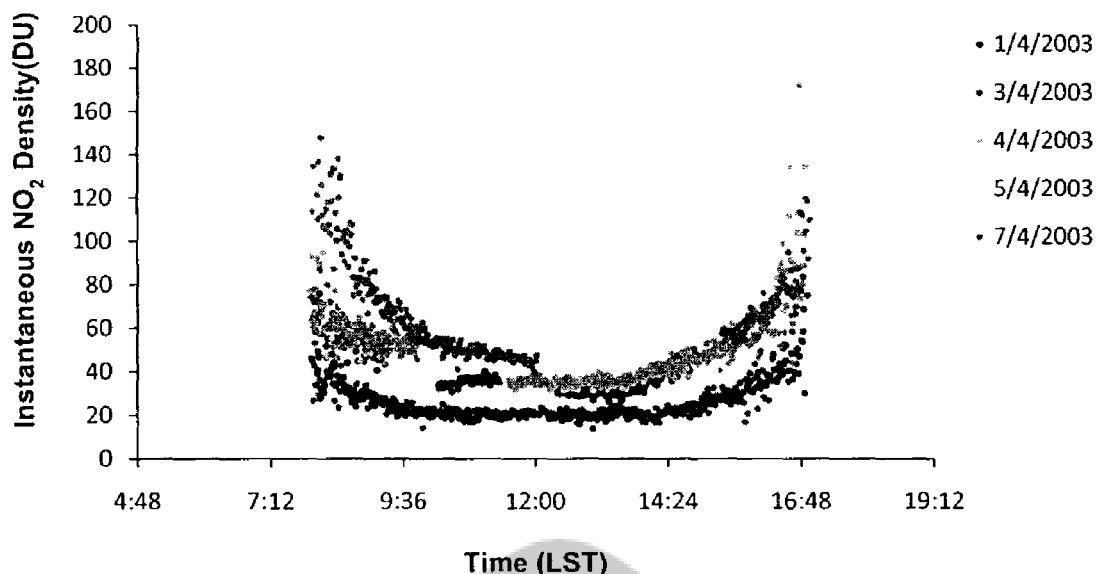
วันที่ (2546)	ความลึกเชิงแสงของ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (T_N) ที่ 415 nm			ความหนาแน่นของปริมาณ ไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอด ทั้งคอลัมน์ ($\times 10^{17}$ โมเลกุล/ ตารางเซนติเมตร)			ความหนาแน่นของปริมาณ ไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอด ทั้งคอลัมน์ (DU)		
	ทั้งวัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ทั้งวัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย	ทั้งวัน	ช่วงเช้า	ช่วงบ่าย
22ม.ค.	0.197	0.156	0.227	3.267	2.587	3.765	9.001	6.300	12.40
23ม.ค.	0.182	0.147	0.217	3.018	2.438	3.598	11.20	8.700	14.01
24ม.ค.	0.234	0.210	0.276	3.881	3.483	4.577	15.10	14.30	17.03
25ม.ค.	0.179	0.130	0.194	2.968	2.156	3.217	11.10	8.020	12.30
26ม.ค.	0.177	0.156	0.187	2.935	2.587	3.101	10.90	8.020	12.50
1 เม.ย.	0.449	0.402	0.625	7.446	6.670	10.364	27.71	24.81	38.57
3 เม.ย.	0.300	0.246	0.353	4.975	4.080	5.854	18.51	15.18	21.79
4 เม.ย.	0.565	0.402	0.675	9.370	6.670	11.19	34.87	24.81	41.66
5 เม.ย.	0.773	0.697	0.869	12.81	11.56	14.41	47.67	43.01	53.63
7 เม.ย.	0.897	0.897	-	14.88	14.88	-	55.36	55.36	-

4 ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในคอลัมน์ของบรรยากาศทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous total atmospheric column nitrogendioxide)

ผลจากการดำเนินงานตามหัวข้อที่ 4 ในบทที่ 3 ได้ผลดังภาพประกอบ 71 – 72 ที่แสดงปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่งของแต่ละวันโดยทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ในช่วงฤดูหนาวเป็นเวลา 5 วัน คือวันที่ 22 – 26 มกราคม และในช่วงฤดูร้อน 5 วันคือในวันที่ 1 , 3 , 4 , 5 , 7 เมษายน พ.ศ. 2546



ภาพประกอบ 71 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาวของจังหวัดสุโขทัย

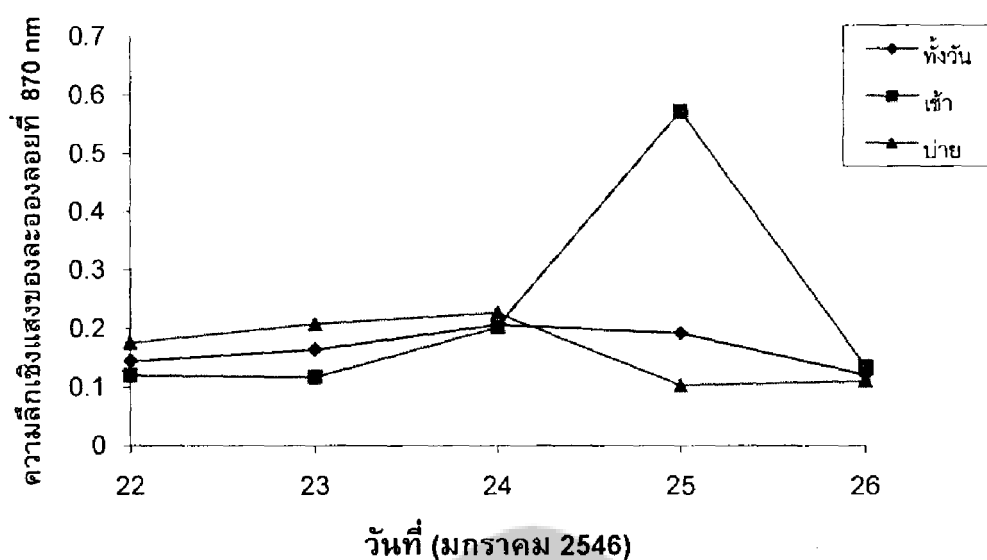


ภาพประกอบ 72 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั้งหมด ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ช่วงวันที่ 1, 3, 4, 5, 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนของจังหวัดสุโขทัย

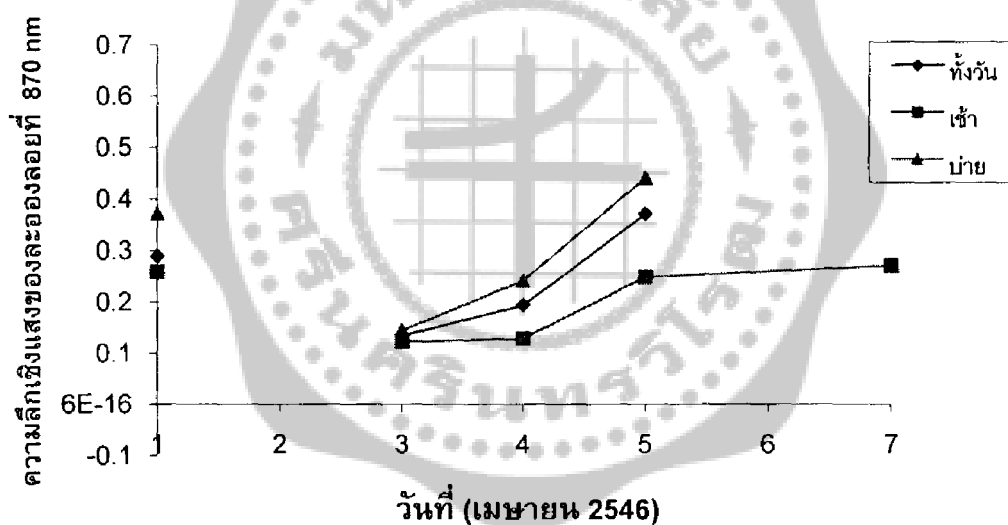
5 ผลการเขียนกราฟแสดงการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ปริมาณต่าง ๆ ในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว

ผลการเขียนกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ในช่วงเช้า ช่วงบ่ายและทั้งวัน ในช่วงฤดูหนาว (22 - 26 มกราคม พ.ศ. 2546) และช่วงฤดูร้อน (1, 3, 4, 5, 7 เมษายน พ.ศ. 2546) ได้ผลดังภาพประกอบ 73 และกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm ในช่วงเช้า ช่วงบ่ายและทั้งวัน ในช่วงฤดูหนาว และช่วงฤดูร้อน ได้ผลดังภาพประกอบ 74

กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนได-ออกไซด์ในช่วงเช้า ช่วงบ่ายและทั้งวัน ในช่วงฤดูหนาว และช่วงฤดูร้อน ได้ผลดังภาพประกอบ 75 และกราฟแสดงผลการเปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดทั้งคอลัมน์ในหน่วย DU ในช่วงเช้า ช่วงบ่ายและทั้งวัน ในช่วงฤดูหนาว และช่วงฤดูร้อน ได้ผลดังภาพประกอบ 76

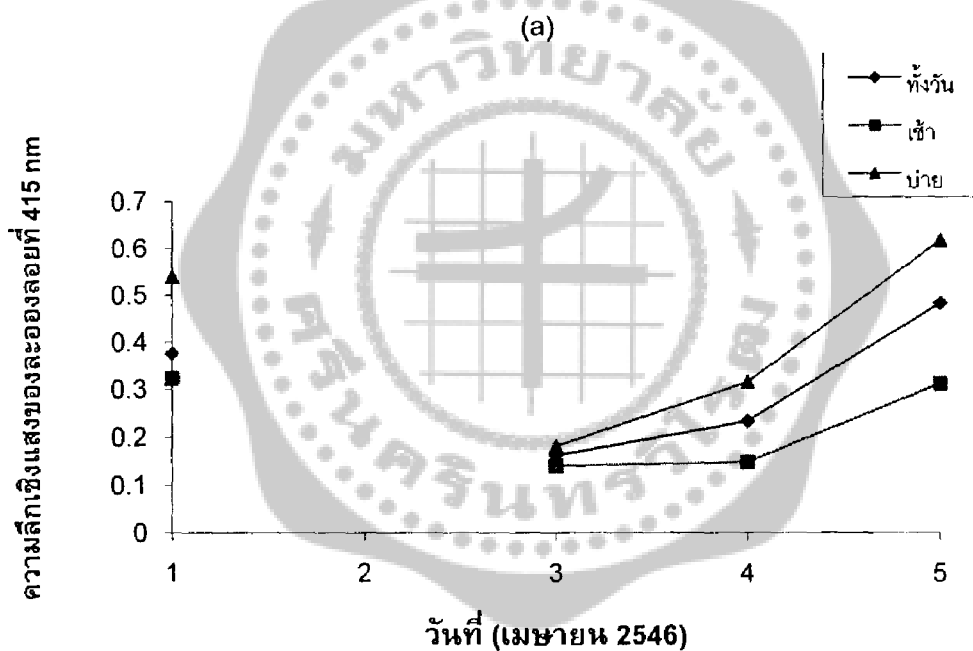
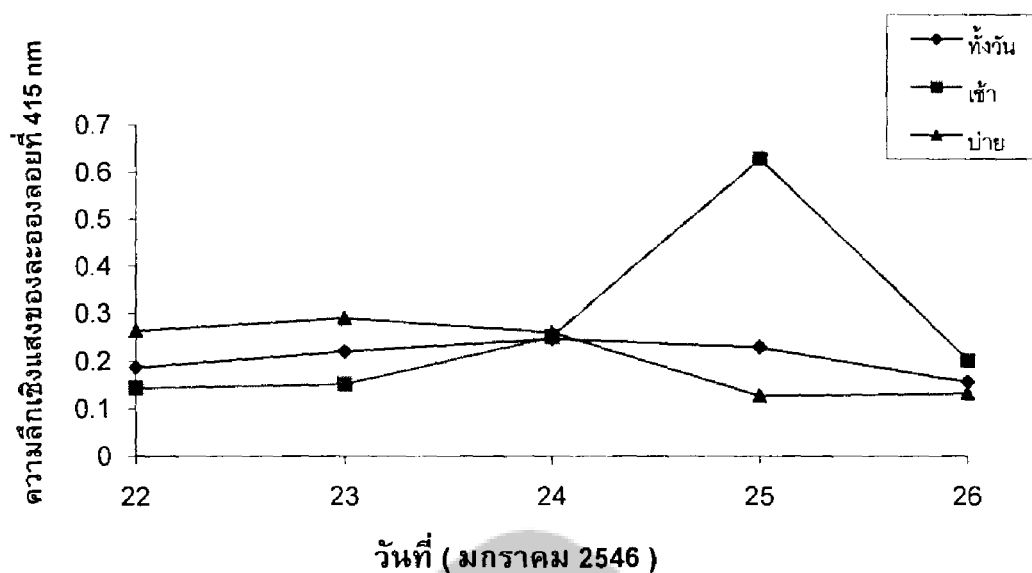


(a)

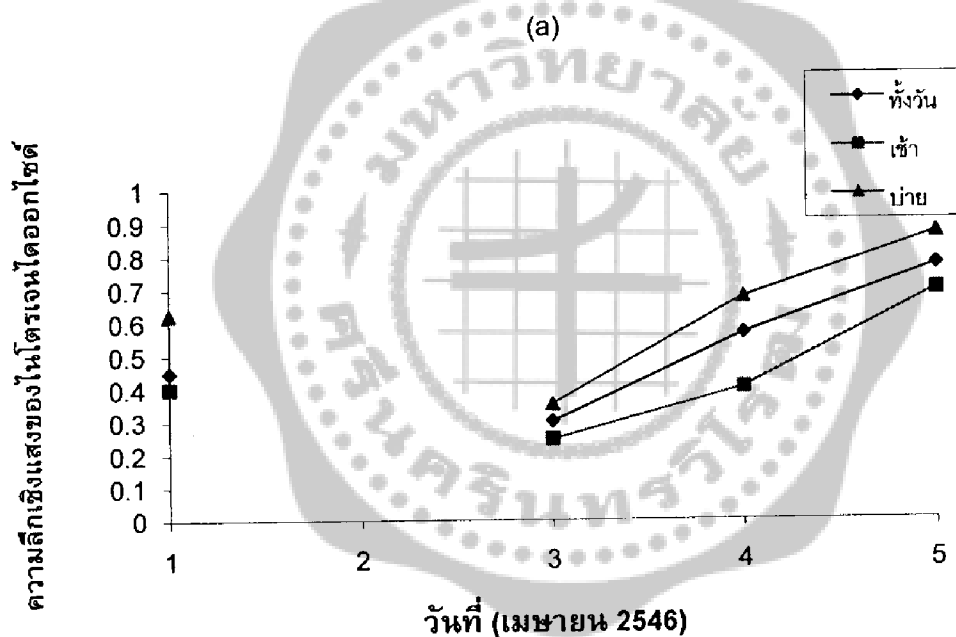
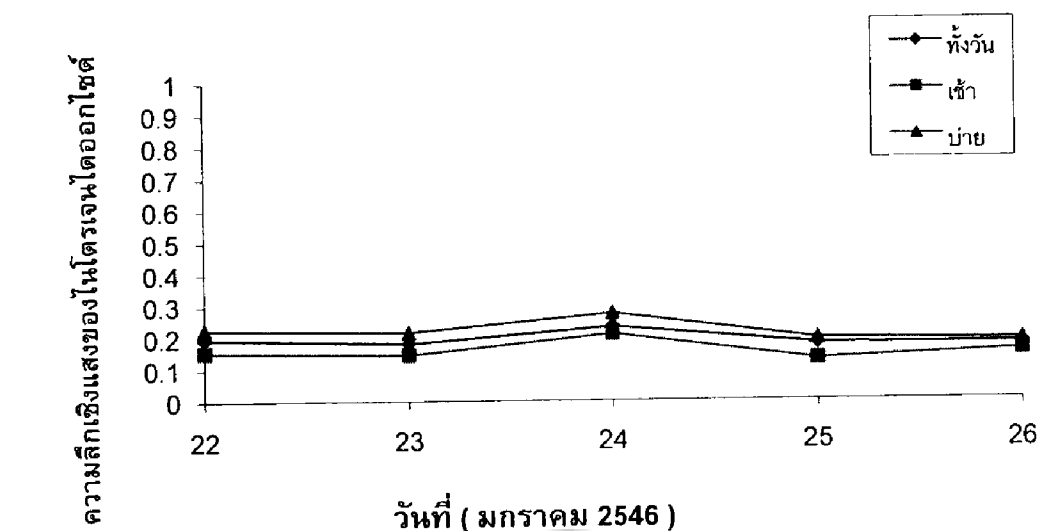


(b)

ภาพประกอบ 73 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 nm ตลอดทั้งวัน (เส้นน้ำเงิน) ช่วงเช้า (เส้นชมพู) และช่วงบ่าย (เส้นเขียว) กับวันที่ทำการศึกษา (a) ข้อมูลช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาว และ (b) ข้อมูลช่วงวันที่ 1, 3, 4, 5, 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนของจังหวัดสุโขทัย

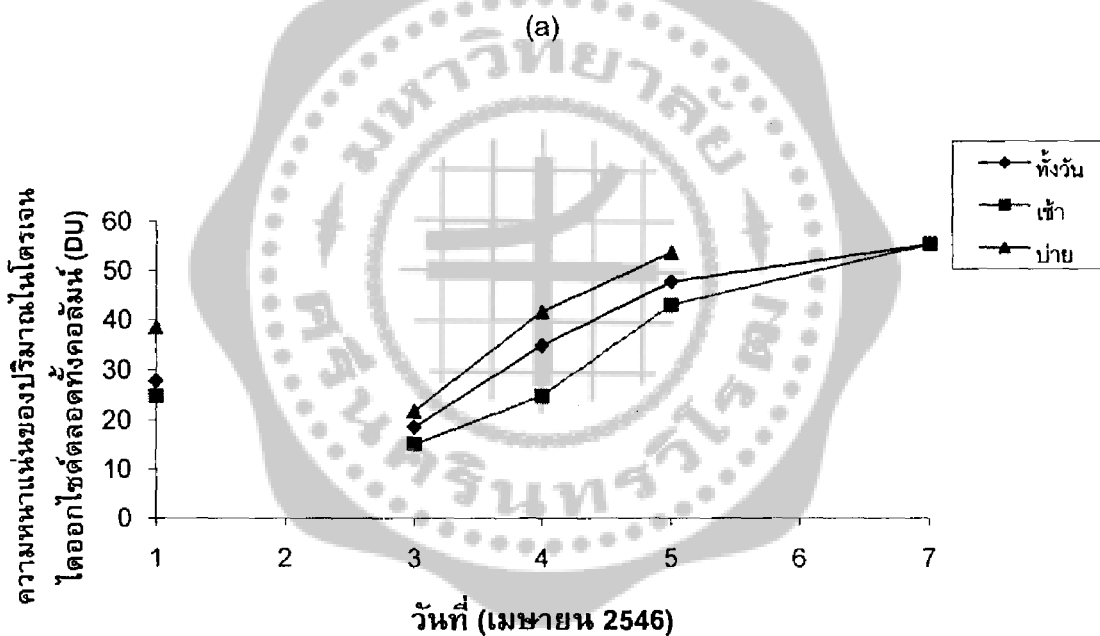
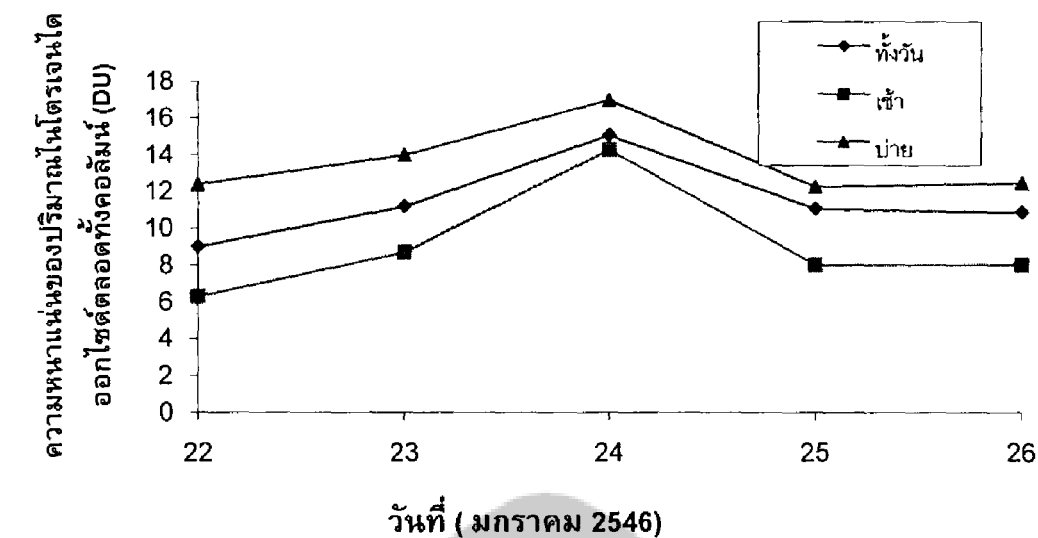


ภาพประกอบ 74 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 nm ตลอดทั้งวัน(เส้นน้ำเงิน) ช่วงเช้า(เส้นชมพู)และช่วงบ่าย(เส้นเขียว) กับวันที่ทำการศึกษา (a) ข้อมูลช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาว และ (b) ข้อมูลช่วงวันที่ 1, 3, 4, 5, 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนของจังหวัดสุโขทัย



(b)

ภาพประกอบ 75 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดทั้งวัน(เส้นน้ำเงิน) ช่วงเช้า(เส้นชมพู)และช่วงบ่าย(เส้นเขียว)กับวันที่ทำการศึกษา (a) ข้อมูลช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาวและ(b) ข้อมูลช่วงวันที่ 1, 3 , 4 , 5 , 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนของจังหวัดสุโขทัย



(b)

ภาพประกอบ 76 แสดงกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดทั้งคอลัมน์ในหน่วยDU ตลอดทั้งวัน(เส้นน้ำเงิน) ช่วงเช้า(เส้นชมพู) และช่วงบ่าย (เส้นเขียว)กับวันที่ทำการศึกษ (a) ข้อมูลช่วงวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาวและ(b) ข้อมูลช่วงวันที่ 1, 3, 4, 5, 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนของจังหวัดสุโขทัย

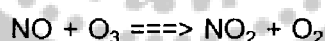
บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ในการนำข้อมูลความเข้มของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่อง MFR-7 ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัยในช่วงความยาวคลื่น 870 nm และ 415 nm ในวันที่ 22 – 26 มกราคม พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูหนาวและข้อมูลในวันที่ 1, 3, 4, 5, 7 เมษายน พ.ศ. 2546 ซึ่งตรงกับช่วงฤดูร้อนของจังหวัดสุโขทัย ซึ่งประกอบด้วยปริมาณของรังสีทั้งหมด รังสีแพร่ และรังสีตรงตั้งฉากจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ มาพิจารณาค่าของละอองลอยเพื่อใช้ในการพิจารณาค่าไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ได้แก่ ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth) ที่ความยาวคลื่น 415 และ 870 nm ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm และความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศด้วยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Analysis) ได้ผลการทดลองตามบทที่ 4 โดยพบว่า

1.จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์แบบแลงเลย์โดยใช้เครื่อง MFR-7 ติดตั้ง ณ อำเภอศรีสำโรง จ.สุโขทัย ($17^{\circ} 0' 21''$ N, $99^{\circ} 49' 35''$ E) มีแนวโน้มของปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในช่วงฤดูร้อนสูงกว่าในช่วงฤดูหนาว โดยในช่วงฤดูร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.300 – 0.897 DU ในช่วงฤดูหนาวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.177–0.234 DU เพราะในช่วงฤดูร้อนโมเลกุลของแก๊สไนตริกออกไซด์ทำปฏิกิริยากับโอโซนในบรรยากาศเกิดเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์โดยมีปริมาณความเข้มแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังสมการ



จึงทำให้ช่วงฤดูร้อนมีปริมาณไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศสูงกว่าในช่วงฤดูหนาว ซึ่งได้ผลตรงกับงานวิจัยที่เมืองปูเน่ (Pune) ในประเทศอินเดีย

2.จากการเปรียบเทียบกราฟการแสดงผลข้อมูลในวันเดียวกัน โดยพิจารณาข้อมูลทั้งวันช่วงเช้าและช่วงบ่าย พบว่าในช่วงบ่ายของวันเดียวกันจะมีความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์มากกว่าในช่วงเช้า โดยช่วงบ่ายมีค่าประมาณ 12.40 – 53.63 DU และในช่วงเช้ามีค่าประมาณ 6.30 - 55.36 DU โดยเฉพาะในช่วงฤดูร้อนจะพบมีปริมาณแก๊สในโตรเจนไดออกไซด์ช่วงบ่ายสูงมากโดยมีค่า ประมาณ 21.79 – 53.63 DU เนื่องจากมีความเข้มแสงสูงเมื่อเทียบกับช่วงฤดูหนาวของในปีเดียวกัน ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงกว่าข้อมูลในปีพ.ศ. 2550 ที่เมืองปูเน่ (Pune) ในประเทศอินเดีย โดย¹ Meena และคณะ ได้ศึกษาฤดูกาลที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณต่างๆ ในบรรยากาศ ที่วัดได้จากเครื่องUV-visible spectrometer มีค่าเท่ากับ 2-10 DU. และข้อมูลที่ได้จากดาวเทียมเท่ากับ6-22 DU. เมืองปูเน่ ประเทศอินเดีย(Pune 18° 31' N , 73° 55' E) ตั้งอยู่ในรัฐมหาราษฏระ (Maharashtra) ทางทิศตะวันตกของประเทศอินเดีย อยู่ห่างจากเมืองบอมเบย์ (มุมไบ) ประมาณ 140 กิโลเมตร มีความสูงของ 559 เมตรจากระดับน้ำทะเล

ในการศึกษาหาความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลในโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศในแถบภูมิภาคเอเชียมีเพียงงานวิจัยของ Meena และคณะเท่านั้น ผู้วิจัยจึงอ้างอิงเปรียบเทียบผลที่ได้จากการศึกษากับค่าที่ได้จากอินเดียซึ่งให้ผลที่มีแนวโน้มเดียวกันแต่ข้อมูลที่วิเคราะห์ในประเทศไทยมีค่าสูงกว่าของที่วิเคราะห์ได้ในประเทศอินเดีย อาจเป็นผลจากงานวิเคราะห์นี้มีความแม่นยำไม่มากนัก อาจต้องปรับเทคนิคการวิเคราะห์ให้ละเอียดมากขึ้นกว่านี้

3. ข้อมูลในวันที่ 25 มกราคม 2546 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำมาก เนื่องจากข้อมูลในช่วงเช้ามีความแตกต่างจากข้อมูลในช่วงบ่าย เนื่องจากช่วงเช้าพบค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยมาก กว่าช่วงบ่ายมาก โดยช่วงเช้ามีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยเท่ากับ 0.573 ในขณะที่ช่วงบ่ายมีค่าเท่ากับ 0.103 - น่าจะสรุปได้ว่าปริมาณความหนาแน่นของละอองลอยในวันที่ 25 มกราคม 2546นี้มีความแตกต่างกันมากโดยช่วงเช้าอาจจะมีการกระทำกิจกรรมบางอย่างของชาวบ้านในชุมชนและละอองลอยค่อยๆจางหายไปในช่วงบ่าย แต่จะเห็นได้จากผลการหาความหนาแน่นของในโตรเจนไดออกไซด์ และในวันที่ 25 มกราคม 2546ไม่มีความแตกต่างจากวันอื่นๆมากนักและค่า R^2 ที่ได้ก็มีค่า 0.634 ดังนั้นสาเหตุที่เกิด R^2 มีค่าน้อยในการหา T_g ของ 870 nm จึงน่าจะมาจากการมีละอองลอยในช่วงเช้าและช่วงบ่ายต่างกันมาก

¹ Meena G. S., Jadhav D. B., Bhosale C. S. (2007) . *Study of diurnal and seasonal variation of atmospheric NO₂ O₃ H₂O and O₄ at Pune , India. Remote sensing ground-based automatic UV / visible spectrometer' for the study of atmospheric trace gases*.pp.271-287

ข้อเสนอแนะ

จากการคำนวณหาค่าของละอองลอยเพื่อใช้ในการพิจารณาค่าในโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ได้แก่ ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth) ที่ความยาวคลื่น 415 และ 870 nm ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm และความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศ โดยนำข้อมูลความเข้มข้นของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่วัดได้จากเครื่อง MFR-7 ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัยที่ช่วงความยาวคลื่น 870 nm และ 415 nm มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. การพิจารณาท้องฟ้าโปร่งโดยใช้วิธีการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติถ้าตัดข้อมูลในส่วนที่มีเมฆมาบดบังการวัดรังสีของเครื่องออกหมด จะทำให้ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์หาค่าต่างๆในบรรยากาศมีค่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ใกล้เคียง 1 มากขึ้นซึ่งทำให้ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth) ที่ความยาวคลื่น 415 และ 870 nm ค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 415 nm และความหนาแน่นของจำนวนโมเลกุลไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้นแต่ถ้าจำนวนข้อมูลน้อยเกินไป ก็อาจทำให้ขาดความน่าเชื่อถือ ดังนั้นจึงได้กำหนดในงานวิจัยนี้ให้มีข้อมูลในการวิเคราะห์แต่ละชุดไม่น้อยกว่า 120 ข้อมูล

2. การนำข้อมูลความเข้มข้นของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่พบว่าการเปลี่ยนแปลงตามเวลามากมีลักษณะคล้ายท้องฟ้ามีเมฆบดบังแต่เมื่อนำมาทดสอบการเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติและตัดส่วนที่คาดว่าเมฆบดบังออกถึงแม้ว่า ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้ค่า R^2 น้อยมากๆแต่ก็นับว่าเป็นข้อมูลที่น่าสนใจเพราะเมื่อนำมาวิเคราะห์อาจพบปรากฏการณ์บางอย่างคล้ายกับการที่พบในการทำข้อมูลของวันที่ 25 มกราคม 2546



บรรณานุกรม

- เผด็จ ประดิษฐ์เพชร. (2549) . เอกสารแนบโครงการ: การวิเคราะห์ *Radiative forcing* จากข้อมูลการสำรวจ *Aerosols optical properties* โดยแบบจำลองระดับภูมิภาคสำหรับพื้นที่เอเชียตะวันออกเฉียงใต้.
- ทรงกต ทศานนท์. (2542) . หลักสูตรนิยมนิเทศ. กรุงเทพฯ : สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สายันต์ โพธิ์เกตุ. (2542) . การศึกษาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศิลปากร
- สุมาลย์ บรรเทิง, เสริม จันทรฉาย.(2548).เอกสารแนบโครงการวิจัย:แบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีสุริยวิถีไอโอเลตที่มีผลกระทบต่อผิวหนังของมนุษย์โดยอาศัยข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม : ห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- สมาคมการท่องเที่ยวจังหวัดสุโขทัย.สืบค้นเมื่อวันที่ 1 สิงหาคม 2552 จาก<http://www.info.ru.ac.th/province/sukhotai/general.htm>
- ศิวพันธ์ ชูอินทร์. (2552) . การพัฒนาวิธีการตรวจวัดแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ในบรรยากาศโดยประยุกต์ใช้วิธีการแบบพาสซีฟ: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- Alexandrov Mikhail D.; et al.; (2002). *Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer. Part I: Retrieval Algorithm* . Journal of the Atmospheric Sciences. Vol 59, pp.524-543
- Alexandrov Mikhail D.; et al.; (2002). *Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer. Part II: Climatological Applications*. Journal of the Atmospheric Sciences. Vol 59.pp. 544-566
- Glendening E.D.; Halpern A.M..(2007). *Ab initio Calculations of Nitrogen Oxide Reactions: Formation of N_2O_2 N_2O_3 N_2O_4 N_2O_5 and N_4O_2 from NO NO_2 NO_3 and N_2O* . The Journal of Chemical Physics. 127 (16):pp.1-11
- Harold S. Johnston and Richard Graham (1974). *Photochemistry of NO_x and HNO_x Compounds*. The Journal of Physical Chemistry. 105 (9), pp.1415-1423
- Jerry Hester.(2000). *Regression Analysis and Excel*. Physics Laboratory, Clemson University.

- Kaskaoutis D. G. et al. (2007). *Aerosol climatology: dependence of the Angstrom exponent on wavelength over four AERONET sites*. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. pp. 7347-7397
- Long Charles N. and Ackerman Thomas P. (2000): *Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurements and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effect*. Journal of Geophysical Research. 105(D12), pp. 15609-15626
- Martin. et al. (2002). *An improved retrieval of tropospheric nitrogen dioxide from GOME*. Journal of geophysical research. VOL.(107),pp. 4421- 4437.
- Meena G. S., Jadhav D. B., Bhosale C. S. (2007) . *Study of diurnal and seasonal variation of atmospheric NO₂ O₃ H₂O and O₄ at Pune , India*. Remote sensing ground-based automatic UV / visible spectrometer' for the study of atmospheric trace gases. pp.271-287
- Roland J. Leigh.; et al. (2005). *A Concurrent Multi-Axis Differential Optical Absorption Spectroscopy System for the Measurement of Tropospheric Nitrogen Dioxide*.
- Ruangrungrrote S., Intasorn A. Intasorn and A. Chabangbon, (2008). *Retrieval of Instantaneous Aerosol Optical Depths From MFR-7 and Mie Lidar dataset at Sukhothai Province, Thailand, Proc of Int. Symp. On Geosci. Res. and Environ. of Asian Terranes: GREAT 2008 (special Issue of Bulletin of Earth Sciences of Thailand)*. Bangkok, Thailand, pp.543-548.
- Sinreich R. et al. (2004) . *MAX-DOAS detection of glyoxal during ICARTT 2004*. Atmospheric Chemistry and Physics. pp. 1293-1303
- Stair R; Ellis H T. (1968). *The solar constant based on newspectral irradiance data from 310 to 530 nanometers*. Journal of Applied Meteorology. pp. 635-644
- Tanre, D., Kaufman, Y. J., Herman, M., et al, (1997). *Remotesensing of aerosol properties over oceans using theMODIS/EOS spectral radiances*. Journal of Geophysical Research, 102, pp. 16,971-16,988
- The LESA Project. (2004) ,*Structure of Atmosphere*. pp. 3-11
- Valks P., Hao N., Loyola D., Emmadi S. (2008) . *Retrieval of total and tropospheric NO₂ columns from the GOME-2 instrument* . Geophysical Research
- Yankee Environmental Systems. Inc. (2000) *MFR-7 Rotating Shadowband Radiometer Installation and User Guide Version 2.10*.

ประวัติย่อผู้วิจัย



ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นางสาววิริญา ศรีสงเปลือย
วันเดือนปีเกิด	21 กันยายน 2527
สถานที่เกิด	เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	21/582 แยก 11 ถนนนวมินทร์ 42 แขวงคลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กรุงเทพมหานคร 10240
ตำแหน่งหน้าที่การงานในปัจจุบัน	ครู
สถานที่ปัจจุบัน	โรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี)๒

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี)๒
พ.ศ. 2548	กศ.บ. (ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2553	กศ.ม. (ฟิสิกส์) จากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

