

## รายงานวิจัย

การศึกษาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและไนโตรเจนตลอดคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศที่

ความยาวคลื่น **415** นาโนเมตร ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย

ด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์เชิงแสง

## **Study of total column atmospheric aerosol and nitrogen optical depths at wavelength of 415 nm using photoradiometer at Srisamrong District, Sukhothai Province**

โดย

ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์

อรุณีย์ อินทศร

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

**2553**

## บทคัดย่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยรายวันกับความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ ณ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย ได้ถูกวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลท้องฟ้าโปร่งที่เก็บด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง MFR-7 ที่ความยาวคลื่น 415 และ 870 nm พร้อมหาค่าการแจกแจงไนโตรเจนในบรรยากาศสุทธิจากการนำค่าที่เกิดจากการกระเจิงแบบเรย์ลีลบออกจากค่าความลึกเชิงแสงของบรรยากาศ รวมทั้งทำการปรับค่าการสิ้นสุดสุทธิระหว่างการดูดกลืนไนโตรเจนไดออกไซด์กับการสิ้นสุดเนื่องจากละอองลอย และได้แสดงรายละเอียดของค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์ รวมจำนวน 5 วัน ซึ่งเป็นตัวแทนชุดข้อมูลฤดูหนาวและฤดูร้อน ปี 2546 โดยสามารถสรุปได้ว่าค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยอยู่ในช่วง 0.14 – 0.44 ส่วนความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนไดออกไซด์อยู่ในช่วง 0.17 – 0.89 และหาค่าอังสตรอมเอกซ์โพเนนท์ได้ค่าประมาณ 0.24 – 0.40 ซึ่งสัมพันธ์กับอนุภาคฝุ่นดิน

## ABSTRACT

The relationship between daily aerosol and NO<sub>2</sub> optical depths at Sri Samrong district of Sukhothai province in Thailand was analyzed from Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer (MFR-7) of clear sky dataset at wavelength 415 and 870 nm. 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<sub>2</sub> absorption and aerosol extinction. Daily aerosol and NO<sub>2</sub> optical depths were studied for 5-day period representing winter and summer in 2003. Results show that aerosol and NO<sub>2</sub> optical depths were in the range of 0.14 – 0.44 and 0.17 – 0.89, respectively. Besides, the aerosol Ångström wavelength exponent  $\alpha$  around 0.24 – 0.40 related to soil dust particles has been obtained.

**Keywords:** Aerosol optical depth / Clear sky / Langley analysis / Dobson unit (DU) /  
Angstrom wavelength exponent

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2553 คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ที่ทางคณะเห็นความสำคัญและสนับสนุนให้คณาจารย์สร้างสรรคงานวิจัย นอกจากนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ National Institute of Environmental Studies of Japan ประเทศญี่ปุ่น ที่สนับสนุนเครื่องเรดิโอมิเตอร์เชิงแสง (MFR 7) ณ สถานีวิจัยในชั้นบรรยากาศ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการเก็บข้อมูล และภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์ข้อมูลดิบตลอดมา และที่สำคัญยิ่งในการร่วมทำงานวิจัยบางส่วนก็คือนิสิตหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ที่เป็นผู้ช่วยวิจัยในการจัดการข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ และประมวลผล

ทั้งนี้คณะผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่อการนำไปใช้ได้หลากหลายสาขา เช่น งานอุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ธรณีฟิสิกส์ การเรียนการสอนวิชาฟิสิกส์ และโลกศาสตร์ในอนาคต

ด้วยจิตคารวะมา ณ ที่นี้

คณะผู้วิจัย

พฤศจิกายน 2553

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ .....	I
บทคัดย่อ .....	II
สารบัญ .....	IV
บัญชีภาพประกอบ .....	VI
บัญชีตาราง .....	X
<b>บทที่ 1 บทนำ .....</b>	<b>1</b>
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>4</b>
2.1 หลักการเบื้องต้น .....	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	6
2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ .....	20
<b>บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>22</b>
3.1 ข้อมูลดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์ .....	22
3.2 วิธีเลือกข้อมูลดิบ .....	23
3.3 การหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร .....	24
3.4 การหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย และ NO <sub>2</sub> ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร .....	25
3.5 การหาค่าอัตรอมเอกซ์โพเนนท์ .....	26

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์งานวิจัย .....</b>	<b>28</b>
4.1 ผลการเลือกข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง .....	28
4.2 ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร .....	34
4.3 ผลการหาค่า AOD และความลึกเชิงแสงของ NO <sub>2</sub> ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร.....	45
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยกับวันที่ทดลองและความสัมพันธ์ระหว่าง ความลึกเชิงแสงของ NO <sub>2</sub> กับวันที่ทดลอง .....	56
4.5 ผลการหาค่าอัตรอมเอกซ์โพเนนท์.....	59
<b>บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์ .....</b>	<b>60</b>
5.1 สรุปผลและวิจารณ์.....	60
5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย.....	61
<b>บรรณานุกรม .....</b>	<b>63</b>
<b>ประวัติย่อผู้วิจัย .....</b>	<b>64</b>

## บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 ความเข้มสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ตรงทั้งก่อนและหลังผ่านบรรยากาศโลกเมื่อส่วนของแถบแสดงการดูดกลืนโดยดวงอาทิตย์ที่ตำแหน่งเซนิธ.....	8
2.2 ลักษณะเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบ MFR 7.....	12
2.3 ความลึกเชิงแสงขององค์ประกอบของบรรยากาศในบริเวณสเปกตรัมของเครื่อง MFR 7: เรลีย์ (ที่ความดัน 1013.25 mbar) ละอองลอยที่มีรัศมี $r_{\text{eff}} = 0.2$ และ $0.5$ ไมครอน $\tau_a = 0.1$ ที่ 550 nm $\text{NO}_2$ (ปริมาณ 2-DU) $\text{O}_3$ (ปริมาณ 300-DU) การดูดกลืนของไอน้ำและ $\text{O}_2\text{-O}_2$ ไม่ได้แสดงไว้เพราะไม่มีผลต่อการวัดในช่องสเปกตรัมของ MFR 7 และฟังก์ชันที่ตอบสนองต่อสเปกตรัมของเครื่องมือแสดงไว้สำหรับ 5 ช่องแรก (415-870 nm).....	14
2.4 ตัวอย่างอนุกรมเวลาของอัตราส่วนการแพร่ (เส้นหนา) และอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ (เส้นบาง).....	16
3.1 แผนที่จังหวัดใกล้เคียงและเฉพาะส่วนของจังหวัดสุโขทัย.....	22
4.1 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 22 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	29
4.2 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 23 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	29
4.3 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 24 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	30
4.4 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 25 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	30
4.5 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 26 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	31
4.6 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 1 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	31

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.7 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกกับเวลา ของวันที่ 2 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	32
4.8 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกกับเวลา ของวันที่ 3 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	32
4.9 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกกับเวลา ของวันที่ 4 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	33
4.10 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกกับเวลา ของวันที่ 5 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	33
4.11 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกกับเวลา ของวันที่ 7 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ.....	34
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 22 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ 0.1112.....	35
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 23 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ 0.128.....	35
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 24 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ 0.1502.....	36
4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 25 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ 0.0594.....	36

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 26 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ 0.096.....	37
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 1 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ 0.1492.....	37
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 3 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ - 0.0391.....	38
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 4 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ - 0.0267.....	38
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 5 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ 0.0854.....	39
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 7 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{870}^0$ เท่ากับ 0.0131.....	39
4.22 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870}^m - \tau_{R870}^m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของ วันที่ 22 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1438 และ $C_{870}$ เท่ากับ 0.99998.....	40

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.23 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870} m - \tau_{R870} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 23 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1635 และ $C_{870}$ เท่ากับ 0.99997.....	40
4.24 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870} m - \tau_{R870} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 24 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร เท่ากับ 0.2973 และ $C_{870}$ เท่ากับ 0.99996.....	41
4.25 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870} m - \tau_{R870} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 25 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1921 และ $C_{870}$ เท่ากับ 0.99994.....	41
4.26 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870} m - \tau_{R870} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 26 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1209 และ $C_{870}$ เท่ากับ 1.00003.....	42
4.27 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870} m - \tau_{R870} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 1 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร เท่ากับ 0.289 และ $C_{870}$ เท่ากับ 1.00003.....	42
4.28 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870} m - \tau_{R870} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1352 และ $C_{870}$ เท่ากับ 1.00002.....	43
4.29 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870} m - \tau_{R870} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 4 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1944 และ $C_{870}$ เท่ากับ 0.99998.....	43

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.30 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870} \text{ m} - \tau_{R870} \text{ m}$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 5 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร เท่ากับ 0.3714 และ $C_{870}$ เท่ากับ 0.99999.....	44
4.31 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{870} \text{ m} - \tau_{R870} \text{ m}$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 7 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร เท่ากับ 0.2706 และ $C_{870}$ เท่ากับ 0.99995.....	44
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 22 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 0.9718.....	46
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 23 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 1.0013.....	46
4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 24 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 1.025.....	47
4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 25 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 0.7314.....	47
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 26 มกราคม 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 0.9434.....	48

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 1 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 1.0442.....	48
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 3 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 0.8286.....	49
4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 4 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 0.9344.....	49
4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 5 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 1.0424.....	50
4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างลือกธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 7 เมษายน 2546 โดยได้ $\ln I_{415}^0$ เท่ากับ 1.2721.....	50
4.42 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415}^m - \tau_{R415}^m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 22 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $\text{NO}_2$ ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1967 $C_{415}$ เท่ากับ 1.00008 และมีค่า $q$ เท่ากับ 1.30.....	51
4.43 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415}^m - \tau_{R415}^m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 23 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $\text{NO}_2$ ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1824 $C_{415}$ เท่ากับ 0.99996 และมีค่า $q$ เท่ากับ 1.35.....	51

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.44 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415} m - \tau_{R415} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 24 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ( $\tau_{NO_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.2339 $C_{415}$ เท่ากับ 1.00004 และมีค่า q เท่ากับ 1.20.....	52
4.45 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415} m - \tau_{R415} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 25 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ( $\tau_{NO_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1794 $C_{415}$ เท่ากับ 1.00006 และมีค่า q เท่ากับ 1.20.....	52
4.46 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415} m - \tau_{R415} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 26 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ( $\tau_{NO_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.1771 $C_{415}$ เท่ากับ 0.99998 และมีค่า q เท่ากับ 1.20.....	53
4.47 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415} m - \tau_{R415} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 1 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ( $\tau_{NO_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.4488 $C_{415}$ เท่ากับ 0.99993 และมีค่า q เท่ากับ 1.20.....	53
4.48 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415} m - \tau_{R415} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ( $\tau_{NO_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.2998 $C_{415}$ เท่ากับ 0.99997 และมีค่า q เท่ากับ 1.20.....	54
4.49 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415} m - \tau_{R415} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 4 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ( $\tau_{NO_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.565 $C_{415}$ เท่ากับ 0.999997 และมีค่า q เท่ากับ 1.20.....	54
4.50 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415} m - \tau_{R415} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 5 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ( $\tau_{NO_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.8282 $C_{415}$ เท่ากับ 1.00007 และมีค่า q เท่ากับ 1.20.....	55

## บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.51 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415} m - \tau_{R415} m$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 7 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ( $\tau_{NO_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร เท่ากับ 0.8968 $C_{415}$ เท่ากับ 1.0001 และมีค่า $q$ เท่ากับ 1.20.....	55
4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยของทั้งสองความยาวคลื่นในวันที่ 22 – 26 มกราคม 2546 ซึ่งเป็นฤดูหนาวในประเทศไทย.....	57
4.53 ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ในวันที่ 22 – 26 มกราคม 2546 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวในประเทศไทย.....	57
4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยของทั้งสองความยาวคลื่นในวันที่ 1 เมษายน 2546 3-5 เมษายน 2546 และ 7 เมษายน 2546 ซึ่งเป็นฤดูร้อนในประเทศไทย สำหรับวันที่ 2 และ 6 เมษายน 2546 เป็นวันที่มีเมฆมากจนไม่มีช่วงเวลาที่ท้องฟ้าโปร่งเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์.....	58
4.55 ค่าความลึกเชิงแสงของ $NO_2$ ในวันที่ 1 เมษายน 2546 3-5 เมษายน 2546 และ 7 เมษายน 2546 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนในประเทศไทย.....	58

## บัญชีตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้รายวันที่ทำการทดลอง.....	56
4.2 ค่าอังสตรอมเอกซ์โพเนนท์ ( $\alpha$ ) รายวันที่ทำการทดลอง.....	59



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

จากงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์บรรยากาศ (Atmospheric Science) ที่คณะผู้วิจัยได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยในการทำวิจัยเรื่องการศึกษาโพรไฟล์แนวตั้งของละอองลอยในประเทศไทยด้วยเครื่องไลดาร์การกระเจิงแบบมี ทำให้คณะผู้วิจัยได้เรียนรู้ และสามารถเผยแพร่ความรู้ทางด้านนี้ด้วยการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานต่อสาธารณะได้ ซึ่งถือเป็นก้าวหนึ่งที่สำคัญของการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือทางด้านวิทยาศาสตร์บรรยากาศที่ตั้งอยู่ ณ สถานีวิจัยชั้นบรรยากาศอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยความอนุเคราะห์จาก National Institute of Environmental Studies of Japan: NIE ประเทศญี่ปุ่น นอกจากนี้ยังสามารถนำหลักการทางฟิสิกส์ไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ข้อมูลที่วัดได้ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องชัดเจนตามหลักวิชาการมากขึ้น ซึ่งยังประโยชน์ต่อการเรียนการสอนและการทำโครงการของนิสิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้นิสิตตระหนักถึงความสำคัญของการเรียนฟิสิกส์และการประยุกต์ใช้ฟิสิกส์ในทางปฏิบัติให้เกิดประโยชน์ นอกเหนือจากการเรียนรู้จากบทเรียนในชั้นเรียน ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญและประสงค์ที่จะศึกษาและทำวิจัยด้านนี้ต่อไป ทั้งนี้นอกจากเครื่องไลดาร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลของบรรยากาศแล้ว ก็ยังมีเครื่องเรดิโอมิเตอร์เชิงแสง (Photoradiometer) โดยงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7 ที่เป็นเครื่องเรดิโอมิเตอร์เชิงแสงชนิดหนึ่งที่ใช้วัดความเข้ม (หรือความส่องสว่าง) ของดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก โดยสามารถนำข้อมูลที่วัดได้ไปคำนวณและวิเคราะห์เกี่ยวกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ส่องเหนือชั้นบรรยากาศ ณ บริเวณประเทศไทยที่มีคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์เฉพาะตัวแตกต่างจากประเทศอื่นๆ ทั้งในทวีปยุโรปหรืออเมริกา รวมถึงละอองลอยและปริมาณความหนาแน่นของแก๊สบางชนิดในบรรยากาศ ลักษณะท้องฟ้าในแต่ละวันได้ ซึ่งผลการศึกษาน่าจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการศึกษาสภาวะแวดล้อมที่อยู่รอบตัวเรา และ/หรือผลกระทบที่อาจได้รับจากการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศในประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียงจากหลักการทางวิชาการที่ได้ศึกษาในเบื้องต้นเกี่ยวกับผลงานเชิงทฤษฎีในการหาปริมาณ  $\text{NO}_2$  ในชั้นบรรยากาศด้วยข้อมูลที่วัดด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7 ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและโมเลกุล  $\text{NO}_2$  และประกอบกับการมีข้อมูลดิบที่วัดด้วย เครื่อง MFR 7 ณ อ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัยที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ ทำให้คณะผู้วิจัยสนใจศึกษาประเด็นเกี่ยวกับการศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวเพื่อการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและไนโตรเจนตลอดคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศ

ด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์นี้ เมื่อการวิจัยนี้แล้วเสร็จจะสามารถได้เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไม่ต้องอาศัยโปรแกรมการวิเคราะห์จากต่างประเทศ และในขณะเดียวกันยังสามารถเรียนรู้และทำความเข้าใจปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศของประเทศไทยได้อย่างละเอียดยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้อ้างอิงสำหรับงานประจำที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาด้านบรรยากาศประเทศไทยต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการวัดความเข้มแสงอาทิตย์รายวันด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7
- 1.2.2 เพื่อศึกษาเทคนิคการปรับข้อมูลที่ได้จากวัดด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7 ณ อ.ศรีสำโรง จ. สุโขทัย ให้เป็นข้อมูลที่มีการปรับเทียบเครื่องมือ และเป็นข้อมูลที่เหมาะสมต่อการนำมาคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและโมเลกุล  $\text{NO}_2$  ตลอดจนคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศเพื่อศึกษาความน่าเชื่อถือของค่าตัวแปรที่ได้ และนำเสนอเป็นข้อมูลอ้างอิงที่สามารถนำไปใช้ในงานวิจัยด้านนี้ต่อไป เช่นการศึกษาการหาปริมาณ  $\text{NO}_2$  และ  $\text{O}_3$  ในชั้นบรรยากาศด้วยข้อมูลที่วัดได้ที่มีความยาวคลื่นอื่นๆ ด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7
- 1.2.3 เพื่อประยุกต์หลักการทางฟิสิกส์ในการอธิบายเหตุและผลของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นรวมทั้ง ข้อมูลและวิธีการวัดด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7 ที่อาศัยหลักการฟิสิกส์เชิงแสง

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และหลักการทำงานของเครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7
- 1.3.2 ศึกษาวิธีการวัดและแปลผลข้อมูลที่ได้ เพื่อคำนวณหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับ ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและไนโตรเจนตลอดคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7
- 1.3.3 ศึกษาเทคนิคการปรับแก้ข้อมูลที่วัดได้ให้เหมาะสมต่อการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ โดยข้อมูลที่ใช้ได้ต้องเป็นข้อมูลที่วัดได้จากท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) หรือมีเมฆน้อยมาก ทำการหาค่าคงที่ของการปรับเทียบเครื่องมือ (Instrumental's Calibration Constant) สำหรับความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ที่ใช้ศึกษาซึ่งวัดได้จากเครื่องมือ ก่อนนำไปหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและโมเลกุลของ  $\text{NO}_2$  ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

- 1.3.4 วิเคราะห์ผลจากกราฟและขอบเขตของค่าที่ควรจะเป็นโดยทั่วไปตามหลักทฤษฎีเพื่อตรวจสอบความน่าเชื่อถือของค่าตัวแปรที่คำนวณได้ รวมถึงเพื่อแสดงความเชื่อมั่นในการแปลงข้อมูล และประสิทธิภาพของระบบเครื่องมือที่สามารถนำไปเป็นแนวทางในการนำข้อมูลที่วัดได้ไปทำการวิเคราะห์อย่างละเอียดต่อไป
- 1.3.5 สรุปผลด้วยหลักการและทฤษฎีฟิสิกส์ เพื่อก่อให้เกิดความเข้าใจต่อปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างแท้จริงสำหรับงานวิจัยในช่วงแรก
- 1.3.6 นำเสนอผลงานเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ต่อสาธารณะ และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้แสดงประสิทธิภาพอย่างชัดเจนของการใช้เรดิโอมิเตอร์ MFR 7 ที่มีอยู่ในประเทศไทย ซึ่งเป็นแนวทางในการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างน่าเชื่อถือ
- 1.4.2 ได้วิธีและข้อมูลการศึกษาชั้นบรรยากาศเหนือประเทศไทย
- 1.4.3 ได้นำความรู้และหลักการทางฟิสิกส์ไปใช้ประโยชน์ในการอธิบายผล ก่อให้เกิดความเข้าใจปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นได้อย่างแท้จริง และเกิดประโยชน์ต่อการเรียนการสอนฟิสิกส์ที่สามารถนำไปประยุกต์ไปใช้ได้ สร้างสรรค์กระบวนการเรียนรู้ในสภาพจริง และเสริมสร้างและพัฒนาทักษะด้านการคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์ปัญหาทางวิทยาศาสตร์
- 1.4.4 ได้ข้อมูลละเอียดและในโตรเจนในชั้นบรรยากาศของอ.ศรีสำโรง จ.สุโขทัย ที่ยังไม่มี การวิจัยมาก่อน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการเบื้องต้น

เนื่องด้วยงานวิจัยที่ทำการศึกษาและวัดค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth: AOD) ส่วนมากเป็นการใช้เครื่องมือหลากหลายชนิดวัดคลื่นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศที่มีละอองลอย และทำการทดลองเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลานานเพื่อให้ได้ข้อมูลของละอองลอยในบรรยากาศ ณ บริเวณนั้นเป็นรายวัน สำหรับเครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7 เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศลงมายังพื้นดินที่ติดตั้งเครื่องมืออยู่ ซึ่งเครื่องมือนี้จะหมุนรับความเข้มแสงที่มาถึงทั้งหมด และความเข้มแสงที่เกิดจากการแพร่ (Diffused Irradiance) ในชั้นบรรยากาศด้วย โดยมีตัวบังความเข้มแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Irradiance) ดังนั้นถ้าวันใดท้องฟ้าโปร่งมีเมฆน้อยมาก ความเข้มแสงที่วัดได้ก็เป็นความเข้มที่มีการแพร่น้อยและอาจถูกดูดกลืนด้วยละอองลอยเป็นส่วนใหญ่ อาจประกอบด้วยโมเลกุลน้ำ ไอโซน แก๊สไนโตรเจนบ้างเพียงเล็กน้อยขึ้นกับความยาวคลื่นของแสงที่วัดว่ามีค่าพอดีกับการดูดกลืนของอนุภาคและโมเลกุลแต่ละชนิดอย่างไร (เครื่องมือนี้มีการวัดความยาวคลื่นที่แตกต่างกันของแสงอาทิตย์ที่มาถึงจำนวน 7 ช่องด้วยกัน) แต่ถ้าวันใดท้องฟ้ามีเมฆมากความเข้มแสงที่ผ่านลงมาก็มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไม่เป็นระเบียบ และแสงส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนเมื่อผ่านเมฆ ทำให้ไม่สามารถวัดค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยได้ เพราะค่านี้สัมพันธ์กับการดูดกลืนแสงของละอองลอยในบรรยากาศ ในขณะที่ข้อมูลที่วัดได้เป็นการดูดกลืนแสงของเมฆ ดังนั้นถ้าได้ทำการศึกษาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในวันที่ท้องฟ้าโปร่งบ้างบางเวลา ข้อมูลตรงช่วงเวลาใดก็ตามที่มีเมฆก็ต้องตัดทิ้ง จึงจำเป็นต้องศึกษาวิธีการพิจารณาและการตัดข้อมูลอย่างมีหลักการโดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการทดสอบการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ (Normalized Diffuse Ratio Variability Test)<sup>1</sup> เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกตัดข้อมูล ทั้งนี้ข้อมูลที่วัดได้อาจมีความคลาดเคลื่อนจากการวัดเนื่องจากปัจจัยของเครื่องมือและสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อการได้มาของข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำและน่าเชื่อถือยิ่งขึ้น จึงควรมีการหาค่าคงที่ของการปรับเทียบ (Calibration Constant) ของเครื่องมือสำหรับความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ที่ทำการวัดและนำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบแลงเลย์ (Langley Method)

<sup>1</sup> C. N. Long et al. (2000) Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurements and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effects. *J. of Geophysical Research* **105**, pp.15609-15626.

นอกจากนี้ค่าความลึกเชิงแสงของตัวกลางต่างชนิดกันจะมีค่าแตกต่างกัน และสัมพันธ์กับความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่าน ดังนั้นเบื้องต้นจึงควรต้องศึกษาอันตรกิริยาของแสงอาทิตย์ที่มีต่อตัวกลางแต่ละชนิดในบรรยากาศที่ส่งผลต่อความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ในแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน เพื่อสามารถหาค่าความลึกเชิงแสงของตัวกลางแต่ละชนิดได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น

ข้อมูลความลึกเชิงแสงของละอองลอยในประเทศไทย นับว่ายังมีอยู่น้อยมากดังที่ปรากฏใน Aerosol Robotic Network (AERONET) ที่มีข้อมูลเกี่ยวกับความลึกเชิงแสงของละอองลอยในประเทศไทยในบางปีเท่านั้น และเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจากต่างประเทศ ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ไม่มีการแยกค่าความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนออกจากค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย จึงนับว่าข้อมูลของทั้งสองปริมาณยังไม่ละเอียดมากพอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงคาดว่าจะสามารถวิเคราะห์ข้อมูล MFR 7 ให้ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและไนโตรเจนได้อย่างละเอียดและถูกต้อง โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้ตามหลักทฤษฎี และผลการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับประเทศใกล้เคียงที่มีการศึกษาหัวข้อนี้ละเอียดแต่ใช้เทคนิคแตกต่างกันเนื่องจากส่วนมากใช้โปรแกรมสำเร็จรูปจากต่างประเทศมาวิเคราะห์ผล จึงมีลักษณะเป็นการทดสอบโปรแกรมมากกว่า แต่งานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการพื้นฐานทางฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ในการคิดวิเคราะห์ข้อมูลในการแยกความลึกเชิงแสงของไนโตรเจนออกจากค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ข้อมูลใน AERONET ไม่ได้ทำ ซึ่งจะใช้หลักการคล้ายกับ Alexandrov และคณะ<sup>2</sup> ที่ใช้วิธีการถดถอย (Regression Method) ซึ่งมีลักษณะซับซ้อนมาก ในขณะที่งานวิจัยนี้จะใช้ขั้นตอนวิเคราะห์ด้วยวิธีการถดถอยที่ลดความยุ่งยากให้น้อยลง และในท้ายที่สุดจะสามารถหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 2 ค่า ทำให้สามารถหาค่าความขุ่นมัวของบรรยากาศในประเทศไทย ณ ช่วงเวลาขณะนั้นได้ด้วย

---

<sup>2</sup> M. D. Alexandrov et al. (2002) Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer. Part I: Retrieval Algorithm, *J. of the Atmospheric Sciences*, **59**, pp.524-543.

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและความรู้หลักที่เกี่ยวข้องซึ่งจะทำให้เข้าใจงานวิจัยนี้ได้ชัดเจนขึ้นมีดังนี้

### 2.2.1 ผลกระทบของละอองลอยต่อการแผ่รังสี (Radiative Effects of Aerosols)<sup>3</sup>

อำนาจการเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสี (Radiative Forcing) นิยามไว้เหมือนการเปลี่ยนแปลงความเข้มของการแผ่รังสีสุทธิ (Net irradiance) ที่ระดับชั้นรอยต่อของโทรโพสเฟียร์เรียกว่าโทรโปพอส (Tropopause) เนื่องจากมีการรบกวนตัวแปรของบรรยากาศ ปัจจุบันนี้อำนาจการเปลี่ยนแปลงการแผ่รังสี เฉลี่ยโดยประมาณแต่ละปีทั้งทางตรงและทางอ้อมของบรรยากาศโลก เป็นผลเนื่องจากความเข้มข้นของละอองลอยในบรรยากาศซึ่งมีบทบาทสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศ (Climate Change) ละอองลอยรบกวนพลังงานโลกโดยตรงด้วยการกระเจิงและการดูดกลืนการแผ่รังสี และโดยทางอ้อมด้วยการกระทำเหมือนเป็นนิวเคลียสของการควบแน่นของเมฆและเปลี่ยนคุณสมบัติของเมฆ ซึ่งเป็นผลย้อนกลับต่อการแผ่รังสี

ละอองลอยในบรรยากาศมีหลากหลายชนิดซึ่งมีขนาดรัศมีอยู่ในช่วง 0.001 – 10 ไมครอน มีที่มาจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติและจากมนุษย์สร้างขึ้น ละอองลอยปฐมภูมิ (Primary Aerosols) เกิดโดยตรงจากแหล่งกำเนิด เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) จากขบวนการอุตสาหกรรม อนุภาคเกลือทะเลที่เกิดจากผิวหน้าของมหาสมุทร หรือ ละอองลอยฝุ่นแร่ที่เกิดโดยปรากฏการณ์การพัดพาของลมบนพื้นแผ่นดินที่แห้งแล้ง เป็นต้น และละอองลอยทุติยภูมิ (Secondary Aerosols) โดยทั่วไปเกิดจากรวมตัวกลายเป็นรูปแบบใหม่ของแก๊สต่างๆ และการวิจิตรออกซิเดชันของเฟสที่ขึ้น เช่น ละอองลอยซัลเฟต (Sulphate Aerosol) ที่เกิดจากการปล่อยไดเมทิลซัลไฟด์ (DMS) ออกมาโดยไฟโตแพลงตอน (Phytoplankton) ทางทะเล และจากการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) อาจเกิดขึ้นภายใต้ปฏิกิริยาเคมีที่ซับซ้อนในบรรยากาศและผสมซึ่งกันและกันระหว่างอนุภาคของละอองลอยชนิดต่างกันซึ่งเคมีแบบภายนอกหรือแบบภายใน ละอองลอยในบรรยากาศเคลื่อนย้ายหายไปจากบรรยากาศได้ทั้งการเกาะติดแบบแห้งกับผิวหน้าของพื้นโลก และการเกาะติดแบบเปียกด้วยการรวมกับเมฆทำให้เกิดหยดน้ำเป็นฝนตกลงมา โดยทั่วไปอายุของละอองลอยในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์อยู่ในช่วงอันดับของนาที่จนถึงหลาย ๆ สัปดาห์ การที่ละอองลอยมีเวลาอยู่ในบรรยากาศที่ค่อนข้างสั้น ดังนั้นการล่องลอยของละอองลอยในบรรยากาศจึงมีอยู่อย่างไม่เป็นเอกพันธ์ (Inhomogeneous) ตามเวลา และตามบริเวณเชิงภูมิประเทศของแหล่งกำเนิด และแหล่งที่ละออง

<sup>3</sup> J. Haywood and O. Boucher (2000) Estimates of the Direct and Indirect Radiative Forcing due to Tropospheric Aerosols: A Review, *Review of Geophysics*, **38**(4), pp.513-543.

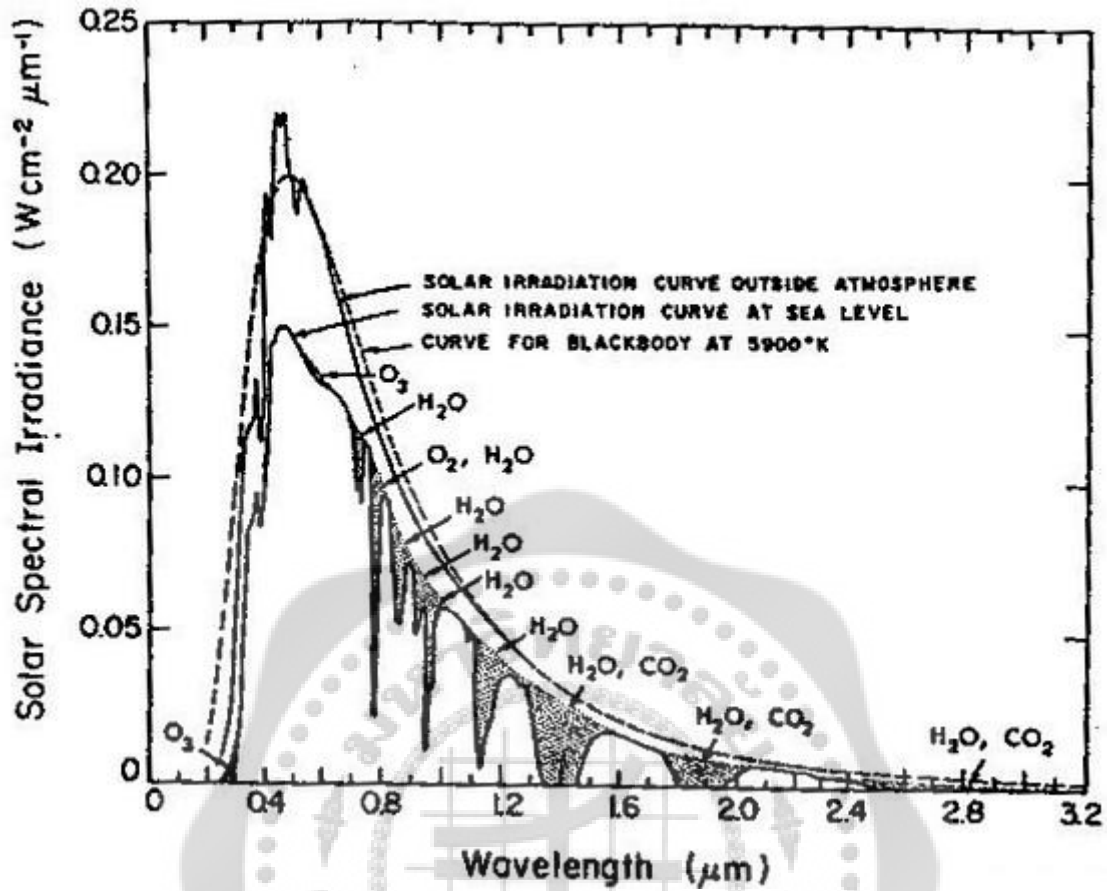
ลอยหายไป โดยละอองลอยในชั้นโทรโพสเฟียร์น่าจะเป็นองค์ประกอบของละอองจากการสร้างของมนุษย์รวมทั้ง ซัลเฟต คาร์บอนดำ (Black Carbon) คาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) ฝุ่นแร่ และละอองลอยในเตรต ละอองลอยที่สร้างโดยมนุษย์มีผลต่อการแผ่รังสีของระบบบรรยากาศโลกด้วยกัน 2 แนวทาง คือผลกระทบโดยตรงที่ละอองลอยกระเจิงและดูดกลืนแสงแดดและการแผ่รังสีความร้อนอินฟราเรด (Thermal Infrared Radiation) และผลกระทบทางอ้อมที่ละอองลอยไปเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะการแผ่รังสีและอายุของเมฆ

คาร์บอนดำจัดเป็นละอองลอยปฐมภูมิที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ เช่นการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการเผาไหม้ชีวมวล นับว่าเป็นละอองลอยที่มนุษย์สร้างขึ้น แต่คาร์บอนอินทรีย์เป็นละอองลอยปฐมภูมิและทุติยภูมิ คาร์บอนอินทรีย์ที่เป็นละอองลอยปฐมภูมิมารวมกันจากทั้งละอองลอยที่มนุษย์สร้างขึ้น(การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและการเผาไหม้ชีวมวล) และแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (เช่น ขยะ เกสรดอกไม้ สปอร์ และจากสาหร่าย) และคาร์บอนอินทรีย์เป็นละอองลอยทุติยภูมิเกิดจากสารประกอบที่เป็นแก๊สด้วยการควบแน่นหรือการออกซิเดชันของเฟสแก๊สของพวกไฮโดรคาร์บอน ส่วนละอองลอยแบบฝุ่นแร่โดยทั่วไปจะขึ้นกับอัตราเร็วลมที่ผิวหน้าของโลก รวมทั้งความชื้นของดิน

## 2.2.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Solar Radiation)<sup>4</sup>

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดหลักของพลังงานตกกระทบมาบนโลกและมีบทบาทที่สำคัญต่อโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของบรรยากาศ อันตรกิริยาต่างๆ กับส่วนประกอบของบรรยากาศถูกควบคุมด้วยความยาวคลื่นของการแผ่รังสี ซึ่งการแผ่รังสีความยาวคลื่นสั้น  $\lambda < 100$  นาโนเมตร สามารถทำให้องค์ประกอบของไนโตรเจนและออกซิเจนกลายเป็นไอออนได้ สามารถแยกสลายโอโซนได้ด้วยความยาวคลื่นน้อยกว่า 320 นาโนเมตร การแผ่รังสีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าทำให้เกิดอันตรกิริยาที่มีอิทธิพลน้อยลง และในช่วงอินฟราเรด (Infrared  $\lambda > 760$  นาโนเมตร) ทำให้เกิดการกระตุ้นการสั่นของโมเลกุล

<sup>4</sup> R. M. Measures (1984) **Laser Remote Sensing: Fundamentals and Applications**, John Wiley & Sons, Inc.



ภาพประกอบ 2.1 ความเข้มสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ตรงทั้งก่อนและหลังผ่านบรรยากาศโลก  
เมื่อส่วนของแถบแสดงการดูดกลืนโดยดวงอาทิตย์ที่ตำแหน่งเซนิธ

ที่มา: R. M. Measures (1984) **Laser Remote Sensing: Fundamentals and Applications**, John Wiley & Sons, Inc., p. 2.

ภาพประกอบ 2.1 แสดงความเข้มของสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามา ความเข้มสูงสุดปรากฏที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ประมาณ 20% ของพลังงานดวงอาทิตย์ตกอยู่ในแถบ  $\lambda < 470$  นาโนเมตร และ 44% อยู่ในช่วงแสงที่มองเห็นได้ในแถบจาก 400-760 นาโนเมตร เส้นประในภาพแทนความเข้มของสเปกตรัมของวัตถุดำ (Black Body) ที่อุณหภูมิ 5900 K และเส้นกราฟล่างสุดเป็นความเข้มสเปกตรัมของแสงแดดตรงที่ระดับน้ำทะเล ความแตกต่างระหว่างสองเส้นโค้งต่อเนื่องแทนการลดทอนเนื่องด้วยการกระเจิงและการดูดกลืน ขณะที่ส่วนของแถบต่างๆ แสดงถึงการสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืน แถบแคบๆ ของการดูดกลืนด้วย  $O_2$  อยู่ที่ 760 นาโนเมตร โดยการสูญเสียหลักเกิดจากการดูดกลืนด้วยน้ำและ  $CO_2$

แสงอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) โดยสนามของการแผ่รังสีมีลักษณะเป็นควอนไทซ์ (Quantize) ที่เรียกว่า “โฟตอน” (Photon) และความเข้มในหน่วย วัตต์ต่อตารางเมตร ( $W/m^2$ ) ที่เรียกว่า Irradiance หมายถึงการไหลของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าต่อหน่วยเวลาต่อพื้นที่ ซึ่งใช้ในการอธิบายถึงความหนาแน่นของกำลังการส่องสว่าง ( Illuminating Power Density) ของลำแสงขนาน แสงเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศจะถูกกระเจิงและถูกดูดกลืนด้วยโมเลกุลและอนุภาคต่างๆ การกระเจิง (Scattering) หมายถึงกระบวนการที่โฟตอนเปลี่ยนทิศทางภายหลังเกิดอันตรกิริยา ขณะที่การดูดกลืนเกิดเมื่อโฟตอนถูกเอาออกไปจากลำแสง พลังงานของมันถูกแปลงไปเป็นการกระตุ้นอะตอมหรือโมเลกุล แสงเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคขนาดใหญ่ด้วย อาทิเช่น หยดน้ำและฝุ่นที่มีอยู่ในอากาศ การกระเจิงเรย์ลี (Rayleigh Scattering) เกิดขึ้นเนื่องจากแสงมีอันตรกิริยากับโมเลกุลอากาศ เป็นการกระเจิงที่เกิดขึ้นเนื่องจากขนาดของอนุภาคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบประมาณ 0.003 เท่า โดยความเข้มของแสงที่กระเจิงเป็นสัดส่วนผกผันกับกำลังสี่ของความยาวคลื่นของแสง แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแสงขาวแผ่มาซึ่งโลกเคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศซึ่งมีโมเลกุลของแก๊สต่างๆ มากมาย เนื่องจากขนาดของโมเลกุลในอากาศส่วนใหญ่จะมีค่าน้อยกว่าความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์จึงเกิดปรากฏการณ์การกระเจิงนี้ขึ้น กล่าวคือ แสงสีฟ้าสีม่วงที่เป็นแถบความยาวคลื่นสั้นจะเกิดการกระเจิงได้มากกว่าแถบแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นยาวกว่า แต่โดยธรรมชาติแล้วตาของคนเราไวต่อแสงในช่วงสีฟ้ามากกว่าแสงสีม่วง เราจึงมองเห็นท้องฟ้ามีแสงสีฟ้าแทนที่จะเป็นสีม่วง และเนื่องจากบรรยากาศมีความหนาแน่นมากที่สุดที่ใกล้ผิวโลกทำให้การกระเจิงเรย์ลีมีมากที่สุดที่บรรยากาศชั้นต่ำกว่าด้วย ส่วนการดูดกลืนของโมเลกุลปรากฏภายในแถบความยาวคลื่นที่เฉพาะเจาะจง

ละอองลอยในบรรยากาศโลกมีอิทธิพลที่สำคัญต่อการผ่านไปของการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และการส่งถ่ายของการแผ่คลื่นความร้อนในบรรยากาศ ด้วยความจริงที่ว่าละอองลอยดูดกลืนและกระเจิงการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เมื่อมันเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศ การดูดกลืนการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ด้วยละอองลอย เพิ่มการแผ่คลื่นความร้อนของบรรยากาศ และลดพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผิวโลก โดยละอองลอยทำให้บรรยากาศขุ่นมัว

### 2.2.3 ความลึกเชิงแสง (Optical Depth)

ความลึกเชิงแสง<sup>5</sup> ของตัวกลางเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงผลกระทบของตัวกลางที่มีต่อการเดินทางของแสงอาทิตย์ผ่านชั้นบรรยากาศ โดยความลึกเชิงแสงของตัวกลางสูงที่ความยาวคลื่นแสงค่าหนึ่งแสดงว่าแสงที่ความยาวคลื่นนั้นจะเดินทางมาถึงพื้นผิวโลกน้อยลง การตรวจวัดความลึกเชิงแสง

<sup>5</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/optical\\_depth.html](http://en.wikipedia.org/wiki/optical_depth.html). Accessed March 26,2007

ของตัวกลางจะแสดงข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับปริมาณความเข้มข้น และการแจกแจงขนาดของตัวกลางในบรรยากาศ

ความลึกเชิงแสงของละอองลอย (Aerosol Optical Depth) คือผลรวมแนวตั้งของการทำให้ สิ้นสุดด้วยละอองลอย (Aerosol Extinction) ตลอดคอลัมน์ของบรรยากาศ ซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของละอองลอยในบรรยากาศ และเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความโปร่งใสของชั้นบรรยากาศโดยค่าสัมประสิทธิ์การทำให้สิ้นสุด (Extinction Coefficient) ของตัวกลางเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความสามารถในการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของตัวกลางนั้น ถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถผ่านตัวกลางได้สะดวกแสดงว่าวัสดุนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การทำให้สิ้นสุดต่ำ หรือมีการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่ำ แต่ถ้การแผ่รังสีผ่านไปในตัวกลางได้ยากแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์การทำให้สิ้นสุดสูง หรือวัสดุมีการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าสูง ความสามารถของวัสดุจะแตกต่างกันเมื่อความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแตกต่างกัน เช่น แก้วเป็นวัสดุโปร่งใสในช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ แต่แก้วบางชนิดไม่โปร่งใสต่อความยาวคลื่นช่วงอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet)

ความสามารถในการผ่านไปของลำแสงตรง (Direct Beam Solar Transmittance) ที่ผ่านละอองลอยในบรรยากาศเป็นไปตาม

$$T_a = e^{-\tau_a}$$

2-1

โดยที่  $\tau_a$  คือความลึกเชิงแสงของละอองลอย ความสามารถในการผ่านละอองลอย (Aerosol Transmittance) เป็น 1 (หรือ 100%) เมื่อ  $\tau_a$  เป็น 0 และ 0.37 (37%) เมื่อ  $\tau_a = 1$  ดังนั้น  $\tau_a$  มีค่าสูงเมื่อมีละอองลอยกระจายอยู่ในบรรยากาศหนาแน่น (การมองเห็นไม่ชัดเจน) และค่า  $\tau_a$  ต่ำเมื่อมีละอองลอยกระจายอยู่ในบรรยากาศเจือจาง (การมองเห็นชัดเจน) เป็นต้น ดังนั้นถ้าค่า  $\tau_a < 0.2$  แสดงว่ามีปริมาณละอองในบรรยากาศต่ำ แต่ถ้าค่า  $\tau_a > 1$  ส่วนมากแสดงถึงฝุ่น คิวน์ หรือลมทะเลทราย สำหรับความลึกเชิงแสงเนื่องจากการดูดกลืนของแก๊สในบรรยากาศ ดังเช่น โอโซน และ  $\text{NO}_2$  โดยผลกระทบของ  $\text{NO}_2$  มักปรากฏสูงสำหรับความยาวคลื่นสั้นที่น้อยกว่า 670 นาโนเมตร ดังนั้นที่ความยาวคลื่นสั้นการดูดกลืนของ  $\text{NO}_2$  ย่อมไปลดความลึกเชิงแสงของละอองลอยด้วย

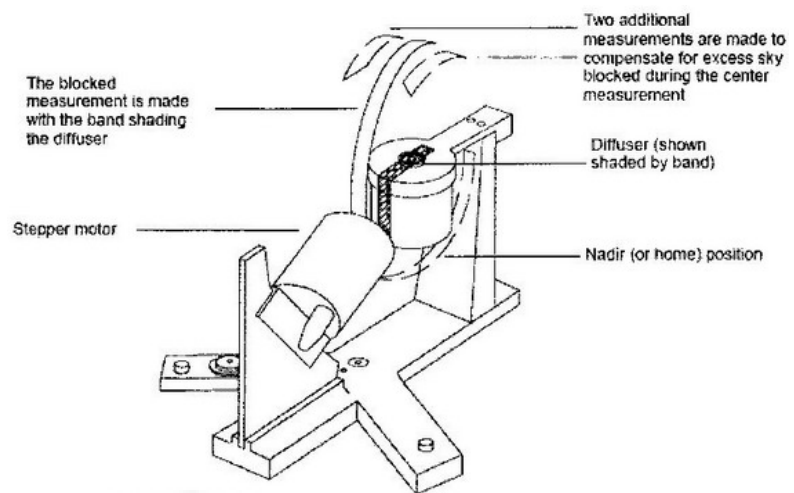
## 2.2.4 เครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR 7<sup>6</sup>

เครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบ MFR 7 เป็นเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบการหมุนแถบเงาที่มีหลายตัวกรอง (Multifilter Rotating Shadowband Radiometer: MFRSR) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่มีราคาค่อนข้างต่ำ เป็นเครื่องมือที่สำคัญต่อการทำวิจัยด้านภูมิอากาศ เป็นเครื่องมือภาคสนามที่ใช้วัดความเข้มของสเปกตรัมแสงอาทิตย์ทั้งองค์ประกอบรังสีสุทธิ (Total Component) องค์ประกอบรังสีแพร่ (Diffuse Component) และองค์ประกอบรังสีตรง (Direct Component) ได้ถึง 7 ความยาวคลื่น ซึ่งประกอบด้วย 1 ช่อง (channel) ของแถบกว้าง (Broadband) และอีก 6 ช่องของแถบแคบที่มีความยาวคลื่น 415 500 615 673 870 และ 940 นาโนเมตร โดยมีความกว้างของแถบแต่ละช่องของเครื่องมือ 10 นาโนเมตร เครื่องมือประกอบด้วยไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) ในการควบคุมการหมุนของแถบเงาให้สลับไปมาในการบังแสงและไม่บังแสงที่เข้าสู่ตัวแพร่ (Diffuser) ที่สามารถทำให้ระบบวัดความเข้มขององค์ประกอบทั้งสามด้วยหัววัดเดียวกัน

เครื่องมือมีลักษณะดังภาพประกอบ 2.2 แถบเงาเป็นแผ่นโลหะบางที่มีลักษณะส่วนโค้งวงกลม (Circular arc) และติดตั้งตามแนวเมริเดียนท้องฟ้า (Celestial Meridian) กับช่องทางเข้าของเครื่องมือที่อยู่ตรงศูนย์กลางของส่วนโค้ง แถบเงากันแถบของท้องฟ้าด้วยมุม  $3.3^{\circ}$  (Umbral Angle)<sup>7</sup> ที่กว้างพอที่จะบดบังแสงอาทิตย์ ตำแหน่งต่างๆ ของเครื่องมือถูกระบุอย่างแม่นยำโดยผ่านการควบคุมของสตีปเปอร์มอเตอร์ (Stepper Motor) ด้วยไมโครโพรเซสเซอร์ โดยมีการปรับที่ตั้งของมอเตอร์ตามละติจูดของเครื่องมือตามขั้วโลกอย่างถูกต้อง

<sup>6</sup> Yankee Environmental Systems Inc. (2000) MRF-7 Rotating Shadowband Radiometer: Installation and User Guide, Version 2.10.

<sup>7</sup> <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/bodyframe.html>. Accessed November 1, 2010



ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะเครื่องเรดิโอมิเตอร์แบบ MFR 7

ไมโครโพรเซสเซอร์ในโปรแกรม YESDAS ควบคุมการทำงานของเครื่องมือ ในแต่ละช่วงของการวัด เครื่องมือสามารถคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และการวัดครั้งแรกเมื่อแถบเงาหมุนอยู่ที่ตำแหน่งนาเดียร์ (Nadir Position) หรือเรียกว่าตำแหน่งเริ่มต้น (Home Position) เป็นการวัดความเข้มรังสีแพร่แนวราบด้วยการบดบังแสงอาทิตย์อย่างสมบูรณ์ ส่วนอีกสองครั้งที่เหลือวัดได้เมื่อแถบหมุนไป  $9^{\circ}$  ของแต่ละด้านของดวงอาทิตย์ การวัดทางด้านข้างนี้ทำให้ระบบสามารถแก้ไขสำหรับท้องฟ้าส่วนเกิน (Excess Sky) ที่ถูกบดบังด้วยแถบเงาระหว่างการวัดที่มีการบดบังดวงอาทิตย์ โปรแกรม YESDAS ลบองค์ประกอบรังสีแพร่ที่ถูกต้องออกจากความเข้มรังสีสุทธิเพื่อให้ได้องค์ประกอบรังสีตรงในแนวราบและหารด้วยโคไซน์ของมุมเซนิตดวงอาทิตย์ (Cosine of the Solar Zenith Angle) จะได้องค์ประกอบรังสีตรงตั้งฉาก (Direct normal component) การวัดตลอดรอบที่ครบสมบูรณ์ใช้เวลาน้อยกว่า 15 วินาที YESDAS เก็บและสะสมข้อมูลในรูปของการนับโดย 1 การนับ (Count) เท่ากับ 1 mV (มิลลิโวลต์) และโปรแกรมสามารถปรับเทียบให้ข้อมูลออกมาเป็นในหน่วย  $w/m^2-nm$  สำหรับแต่ละความยาวคลื่น

ปรากฏการณ์ที่รวมทั้งการกระเจิงและการดูดกลืนเรียกว่า การทำให้สิ้นสุด (Extinction) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยกฎการลดทอนเชิงเอกซ์โพเนนเชียลของแลมเบิร์ต-เบียร์ส (Lambert-Beers Exponential Attenuation Law) ซึ่งจัดเป็นการแผ่รังสีของลำแสงอาทิตย์ตรงสำหรับวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ข้อมูลที่วัดได้นี้สามารถนำไปใช้ตามการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Analysis) โดยการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ไม่อยู่ในแถบของออกซิเจนหรือโมเลกุลของน้ำจะถูกลดความเข้มตามสมการ

$$I = I^0 \exp(-\tau m) \quad 2-2$$

- เมื่อ  $I$  คือ ความเข้มรังสีตรง ณ จุดที่วัด  
 $I^0$  คือ ความเข้มที่เหนือบรรยากาศ  
 $\tau$  คือ ความลึกเชิงแสงตลอดคอลัมน์สุทธิ  
 $m$  คือ มวลอากาศเชิงแสงที่เทียบกับมวลอากาศหนึ่งหน่วยในทิศทางเซนธิ

ซึ่งโดยทั่วไปสูตรของมวลอากาศคือ

$$m = [\cos(z) + 0.50572(96.07995 - z)^{-1.6364}]^{-1} \quad 2-3$$

โดยที่  $z$  คือ มุมเซนธิตรงอาทิตย์

การหาความลึกเชิงแสงสุทธิ (Total Optical Depth) จากการวิเคราะห์แบบแลงเลย์มีองค์ประกอบต่างๆ คือ การกระเจิงเรย์ลี การดูดกลืนของไนโตรเจนไดออกไซด์ การดูดกลืนของโอโซน การดูดกลืนของไอน้ำ และการทำให้สั้นสุดของละอองลอย นั่นคือ

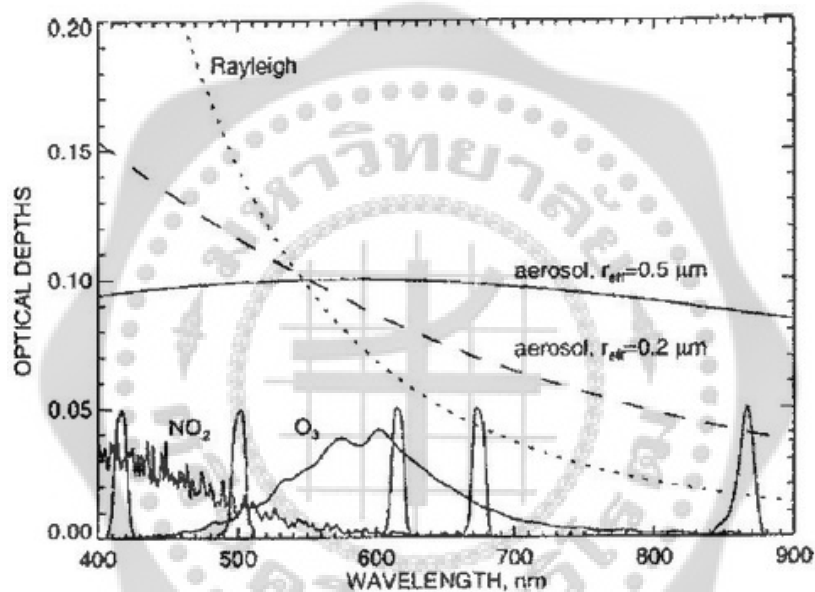
$$\tau_{\text{total}} = \tau_{\text{Rayleigh}} + \tau_{\text{NO}_2} + \tau_{\text{Ozone}} + \tau_{\text{H}_2\text{O}} + \tau_{\text{aerosol}} \quad 2-4$$

การกระเจิงเรย์ลีเป็นฟังก์ชันของความยาวคลื่น ดังสมการ

$$\tau_{\text{Rayleigh}} = 0.008569 \lambda^{-4} (1 + 0.0113 \lambda^{-2} + 0.00013 \lambda^{-4}) P / P_0 \quad 2-5$$

- เมื่อ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่นในหน่วยไมโครเมตร  
 $P$  เป็นความดันบรรยากาศ ณ บริเวณที่ทำการทดลองเทียบกับความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล  $P_0$

MFR 7<sup>8</sup> สามารถใช้วัดการทำให้สีน้ของลำแสงตรง และฟลักซ์ (Flux) การแพร่แนวราบที่ 6 แถบแคบ (Narrow Band) ของความยาวคลื่นในแต่ละช่วง 1 นาที่ตลอดทั้งวัน ตัวดูดกลืนที่เป็นแก๊สตรงช่องที่มีความยาวคลื่น 415 500 และ 615 นาโนเมตรเป็น NO<sub>2</sub> ตรงช่องที่มีความยาวคลื่น 500 615 และ 670 นาโนเมตรเป็นโอโซน และน้ำที่ 940 นาโนเมตร ละอองลอยและการกระเจิงเรย์ลีมีส่วนในการทำให้สีน้ในทุช่องของเครื่อง MFR 7 เนื่องจากไม่มีวิธีการเชื่อมต่อช่องการวัดที่ 940 นาโนเมตรกับการวัดที่ 415-870 นาโนเมตร จึงไม่สนใจอภิปรายเรื่องของไอน้ำ และรูปแบบสเปกตรัมของความลึกเชิงแสงสำหรับ NO<sub>2</sub> และของโอโซนดังแสดงในภาพประกอบ 2.3 และสเปกตรัมการทำให้สีน้ของละอองลอยที่แสดงไว้ได้จากการคำนวณโดยใช้ทฤษฎีมี (Mie Theory)



ภาพประกอบ 2.3 ความลึกเชิงแสงขององค์ประกอบของบรรยากาศในบริเวณสเปกตรัมของเครื่อง MFR 7: เรลีย์ (ที่ความดัน 1013.25 mbar) ละอองลอยที่มีรัศมี  $r_{eff} = 0.2$  และ  $0.5$  ไมครอน  $\tau_a = 0.1$  ที่ 550 nm NO<sub>2</sub> (ปริมาณ 2-DU) O<sub>3</sub> (ปริมาณ 300-DU) การดูดกลืนของไอน้ำและ O<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> ไม่ได้แสดงไว้เพราะไม่มีผลต่อการวัดในช่องสเปกตรัมของ MFR 7 และฟังก์ชันที่ตอบสนองต่อสเปกตรัมของเครื่องมือแสดงไว้สำหรับ 5 ช่องแรก (415-870 nm)

ที่มา: M. D. Alexandrov, A. A. Lacis, B. E. Carlson, and B. Cairns (2002) Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer, Part I: Retrieval Algorithm, *J. of Atmos. Sci.* **59**, p. 525.

<sup>8</sup> M. D. Alexandrov, A. A. Lacis, B. E. Carlson, and B. Cairns (2002) Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer, Part I: Retrieval Algorithm, *J. of Atmos. Sci.* **59**, pp. 524-543.

## 2.2.5 วิธีทดสอบการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ (Normalized Diffuse Ratio Variability Test)<sup>9</sup>

โดยทั่วไปได้คาดหวังว่าความเข้มของแผ่รังสีคลื่นสั้นสุทธิ (Total shortwave Irradiance) ที่วัดได้เมื่อมีเมฆหน้าจะน้อยกว่าความเข้มของแผ่รังสีคลื่นสั้นสุทธิที่วัดได้ภายใต้ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) แต่อย่างไรก็ตามในช่วงที่มีเมฆก็ทำให้เพิ่มการแผ่รังสีคลื่นสั้นแบบแพร่ (Diffuse Shortwave) เพราะเกิดการกระเจิงเนื่องจากเมฆมากขึ้น ดังนั้นท้องฟ้าที่มีเมฆทำให้ความเข้มของแผ่รังสีคลื่นสั้นต่างไปจากท้องฟ้าโปร่งจึงสามารถใช้ในการแยกใช้ชุดของข้อมูลที่วัดได้ในการแยกสถานการณ์ ทั้งสองของท้องฟ้าได้ ซึ่งมีวิธีทดสอบหลายแบบด้วยกันในการเลือกตัดข้อมูลภายใต้ท้องฟ้าที่มีเมฆออกไป ในที่นี้จะขอแนะนำเฉพาะวิธีทดสอบที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เท่านั้น คือวิธีทดสอบการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ ดังนี้

เมฆมีแนวโน้มเพิ่มการแผ่รังสีคลื่นสั้นแบบแพร่ที่ค่อนข้างยากต่อการสังเกตโดยมีสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากการปกคลุมด้วยเมฆในบรรยากาศ ดังนั้นเพื่อให้การเปลี่ยนแปลงที่น้อยนี้เห็นได้ชัดเจนขึ้น จึงใช้อัตราส่วนการแพร่ซึ่งนิยามไว้เป็นความเข้มของแผ่รังสีคลื่นสั้นแบบแพร่หารด้วยความเข้มของแผ่รังสีคลื่นสั้นสุทธิดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 อัตราส่วนการแพร่ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของทั้งการแผ่รังสีคลื่นสั้นแบบแพร่และแบบตรง โดยลักษณะของการแผ่รังสีคลื่นสั้นขององค์ประกอบต่าง ๆ เมื่อท้องฟ้าโปร่งมีลักษณะเรียบสม่ำเสมอตามเวลา ดังนั้นอัตราส่วนการแพร่จึงมีความไวต่อการนำมาทดสอบการเปลี่ยนแปลงของการวัดตามเวลา สำหรับวิธีทดสอบการเปลี่ยนแปลงของการวัดโดยใช้การแปรเปลี่ยนอัตราส่วนการแพร่แบบปกตินี้ ฟังก์ชันปกติเป็นไปตามกฎการยกกำลัง (Power law) ที่ใช้โคไซน์ของมุมเซนนิทเชิงแสงเป็นตัวแปรอิสระ ดังนี้

$$D_N = D_R / \mu_0^b \quad 2-6$$

โดยที่  $D_N$  คือ อัตราส่วนการแพร่แบบปกติ

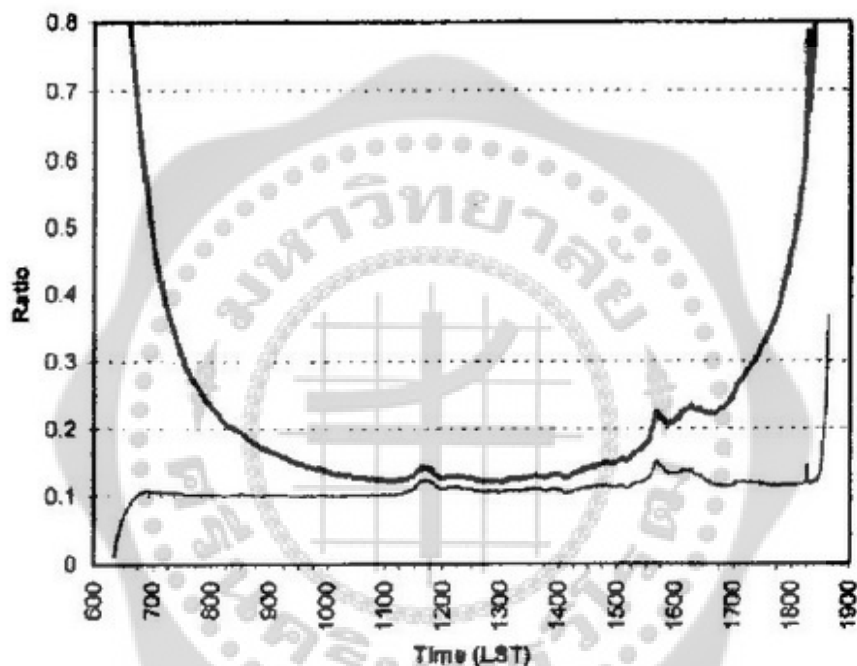
$D_R$  คือ อัตราส่วนการแพร่

$\mu_0$  คือโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์

$b$  คือ ค่าคงตัว

<sup>9</sup> C. N. Long and T. P. Ackerman (2000) Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurements and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effects, *J. of Geophys. Res.* **105**(D12), pp. 15609-15626.

จากภาพประกอบ 2.4 จะเห็นได้ว่าการแผ่รังสีคลื่นสั้นแบบแพร์มีค่าเพิ่มขึ้นขณะที่อัตราส่วนการแผ่รังสีแบบปกติมีขนาดเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยภายหลังเวลาประมาณ 11.30 LST (เวลามาตรฐานท้องถิ่น : Local Standard Time) การเพิ่มขึ้นนี้เกิดขึ้นเนื่องจากการมีเมฆบางๆ ในบรรยากาศ และเวลาที่เหลือต่อไปมีหมอกบางๆ ที่ไปลดการแผ่รังสีคลื่นสั้นแบบตรงแต่การกระเจิงไปข้างหน้าสามารถชดเชยการลดทอนทำให้สมดุลกับความเข้มการแผ่รังสีคลื่นสั้นสุทธิของท้องฟ้าโปร่ง เนื่องจากหมอกไม่สม่ำเสมอจึงทำให้การแผ่รังสีคลื่นสั้นสุทธิเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งในการทดสอบอาจตัดข้อมูลบางส่วนของการแผ่รังสีคลื่นสั้นสุทธิออกไป



ภาพประกอบ 2.4 ตัวอย่างอนุกรมเวลาของอัตราส่วนการแผ่รังสี (เส้นหนา)  
และอัตราส่วนการแผ่รังสีแบบปกติ(เส้นบาง)

ที่มา: C. N. Long and T. P. Ackerman (2000) Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurements and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effects, *J. of Geophys. Res.* **105**(D12), p. 15613.

สำหรับจำนวนข้อมูลที่ต้องการในการนำมาวิเคราะห์ทั้งหลาย จำนวน 120 ค่าของ  $\mu_0$  นับว่าเป็นช่วงที่กว้างเพียงพอในการกำจัดการวิเคราะห์ค่าที่ไม่ดีของเวลาในช่วงเช้าและช่วงบ่ายได้ และถ้าพิจารณาสูตรยกกำลังที่เป็นสูตรขีดจำกัดของความเข้มการแผ่รังสีแบบแพร์ของท้องฟ้าโปร่งที่ขึ้นกับโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์

$$D_{lim} = D_{max} / \mu_0^{-0.5} \quad 2-7$$

โดยที่  $D_{max}$  คือ ค่าคงตัว  
 $\mu_0$  คือ โคไซน์ของมุมเซนซิวิตดวงอาทิตย์

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบสมการ 2-6 กับสมการ 2-7 อาจเลือกใช้ค่า  $b = -0.5$  สำหรับสมการ 2-6

## 2.2.6 การวิเคราะห์แบบแลงเลย์ (Langley Analysis)<sup>10</sup>

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดของอนุกรมเวลาในแต่ละวันเพื่อหาค่าความลึกเชิงแสงด้วยเครื่อง MFRSR โดยใช้เทคนิคแบบถดถอย (Regression Technique) ซึ่งมีการหาค่าคงตัวของปรับเทียบ (Calibration Constant) ออกมาพร้อมกัน โดยความเข้มรังสีแสงตรงที่วัดได้ด้วยเครื่อง MFRSR (นั่นคือความเข้มแสงตรงที่มาถึงผิวโลก) ที่แต่ละช่วงเวลาในช่องที่  $i$  ( $i^{\text{th}}$  Channel) สามารถแทนด้วย

$$I_i = C_i I_i^0 \exp\left(-\frac{\tau_i}{\mu}\right) \quad 2-8$$

หรือ

$$I_i = C_i I_i^0 \exp(\tau_i \cdot m) \quad 2-9$$

เมื่อ  $\mu$  คือ โคไซน์ของมุมเซนซิวิตดวงอาทิตย์หรือส่วนกลับของมวลอากาศ ( $m$ )

$\tau_i$  คือ ความลึกเชิงแสงของการทำให้สิ้นสุดในคอลัมน์ของบรรยากาศ (Atmospheric Column Extinction) ที่สอดคล้องกับช่องที่  $i$

$I_i^0$  คือ ความเข้มแสงที่ยอดบนสุดของบรรยากาศ

$C_i$  คือ ค่าคงตัวของการปรับเทียบ ซึ่งสามารถใช้วิธีการใช้ความเข้มของหลอดไฟสำหรับการปรับเทียบเพื่อหาค่านี้ได้ แต่สำหรับการปรับเทียบตอนเริ่มต้นด้วยหลอดไฟเป็นเพียงการแปลงอย่างหยาบของค่าการนับกับค่าวัตต์ต่อเมตรกำลังสองเท่านั้น

<sup>10</sup> M. D. Alexandrov, A. A. Lacis, B. E. Carlson, and B. Cairns (2002) Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer, Part I: Retrieval Algorithm, *J. of Atmos. Sci.* **59**, pp. 524-543.

ความลึกเชิงแสง  $\tau_i$  สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\tau_i m = -\ln \left( \frac{I_i}{I_i^0} \right) - c_i \quad 2-10$$

โดยให้  $c_i = -\ln C_i$

ในกรณีของการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ที่ไม่มีการปรับเทียบตามสมการ 2-2 ถ้าพล็อตกราฟระหว่าง  $\ln I_i$  กับ มวลอากาศเชิงแสง (Solar Air Mass:  $m$ ) จะได้ความลึกเชิงแสงที่ไม่มีการปรับเทียบ  $\tilde{\tau}_i$  ที่เป็นค่าความชัน (Slope) ของกราฟเส้นตรงตามสมการจากกฎของเบียร์ (Beer's Law)

$$\ln I_i = \ln I_i^0 - \tilde{\tau}_i m \quad 2-11$$

นั่นคือ

$$\tilde{\tau}_i m = -\ln \left( \frac{I_i}{I_i^0} \right) \quad 2-12$$

และจากสมการ 2-10 จะได้

$$\tilde{\tau}_i m = \tau_i m + c_i \quad 2-13$$

ดังนั้นถ้าพล็อตกราฟระหว่าง  $\tilde{\tau}_i m$  กับมวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) เมื่อทำการปรับ (Fitting) กราฟเส้นตรงตามสมการ 2-13 ก็จะได้ค่าจุดตัดบนแกนตั้งเป็นค่า  $c_i$  นำไปหาค่าคงตัวของการปรับเทียบได้ พร้อมกับได้ค่าความลึกเชิงแสง  $\tau_i$  ที่ได้จากการปรับเทียบด้วย

เทคนิคการถดถอยที่คล้ายกับการวิเคราะห์แบบแลงเลย์ที่ยึดหลักเสถียรภาพเชิงสเปกตรัมของการทำให้สิ้นสุดของละอองลอย (Aerosol Extinction) แทนการยึดหลักเสถียรภาพของความลึกเชิงแสงด้วยเหตุผลที่ว่า การเปลี่ยนแปลงของความลึกเชิงแสงทั้งหลายอย่างไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการส่งถ่ายในกรณีนี้ ปริมาณการวัดและปริมาณที่ต้องการหา เมื่อหักล้างเทอมเรย์ลี้ออกแล้ว และจากที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.4 สามารถเขียนสมการของระบบสำหรับการหาความลึกเชิงแสงของละอองลอยและความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ในช่องที่มีความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร และ 415 นาโนเมตร ดังนี้

$$\tau_{870} m = \tau_{a870} m + c_{870} \quad 2-14$$

$$\tau_{415} m = q \tau_{a870} m + \tau_{NO_2} m + c_{415} \quad 2-15$$

ในที่นี้  $\tau_{870}$  เป็นความลึกเชิงแสงที่ได้จากการวัดในช่องที่วัดแสงความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร  
 $\tau_{415}$  เป็นความลึกเชิงแสงที่ได้จากการวัดในช่องที่วัดแสงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร  
q เป็นค่าอัตราส่วนการทำให้สิ้นสุดที่เทียบกับช่องที่วัดแสงความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร โดยความลึกเชิงแสงของ  $NO_2$  ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรนับว่าน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้

### 2.2.7 อังสตรอมเอกซ์โพเนนต์ (Angstrom Exponent)

ละอองลอยทำให้บรรยากาศขุ่นมัว ดังนั้นโดยปกติมักแสดงปริมาณที่มีอยู่ของละอองลอยด้วยดัชนีความขุ่นมัว (Index of Turbidity) ซึ่งดัชนีความขุ่นมัวนี้มีการนำเสนอหลายวิธีด้วยกัน ดัชนีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางคือสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวอังสตรอม (Angstrom's Turbidity Coefficient:  $\beta$ ) เพราะสามารถแทนผลกระทบที่รวมทั้งการกระเจิงและการดูดกลืนเนื่องจากละอองลอย และยังแสดงถึงปริมาณการแจกแจงของละอองลอยด้วย<sup>11</sup>

ความลึกเชิงแสงของละอองลอยสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวอังสตรอม  $\beta$  และอังสตรอมเอกซ์โพเนนต์ (Angstrom Exponent:  $\alpha$ ) ดังสมการความสัมพันธ์

$$\tau_{a\lambda} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad 2-16$$

โดยที่  $\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของแสง

ในกรณีที่ทราบค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่นต่างกันสองค่า สามารถหาค่าอังสตรอมเอกซ์โพเนนต์ได้จาก

<sup>11</sup> S. Janjai et al. (2003) Determination of Angstrom's Turbidity Coefficient over Thailand. *Renewable Energy* 28, pp. 1685-1700.

$$\alpha = -\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right) / \ln\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)$$

2-17

ค่าองศาตอมเอกซ์โพเนนที่นี้แสดงขนาดของอนุภาคละอองลอย ค่า  $\alpha$  มากสอดคล้องกับอนุภาคขนาดเล็ก  $\alpha$  ที่มีค่าอยู่ในช่วง 1.54-1.66 มักพบในบริเวณตัวเมือง<sup>12</sup> ซึ่งเป็นผลเนื่องจากองค์ประกอบของละอองลอยในเมือง เช่น ควันเขม่า

### 2.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (Literature Review) ที่เกี่ยวข้อง

ในปีพ.ศ. 2544 Alexandrov และคณะ<sup>13</sup> ได้ศึกษาเชิงทฤษฎีและแสดงการคำนวณหาค่าคงที่ของการปรับเทียบเครื่องมือจากข้อมูลที่วัดได้ด้วยเครื่อง Multifilter Rotating Shadowband Radiometer : MFRSR สำหรับวันที่ท้องฟ้าโปร่งและเปรียบเทียบกับวิธีของแลงเลย์ ที่ใช้กันทั่วไป นอกจากนี้ยังได้แสดงวิธีการถดถอย เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงแสงของละอองลอยของทุกความยาวคลื่น รวมถึงการหาค่า NO<sub>2</sub> และ O<sub>3</sub> เชิงทฤษฎีด้วย

ต่อมาในปีพ.ศ. 2546 Janjai และคณะ<sup>14</sup> ได้ตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นองศาตอมในภาคต่างๆ ของประเทศไทยด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ ที่ติดตั้ง ณ ศูนย์เครื่องมือ ณ ภาคนั้นๆ โดยมีการใช้เครื่องเรดิโอมิเตอร์ MFR ที่ตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จ.นครปฐมด้วย ซึ่งในบทความแสดงถึงการเลือกใช้ข้อมูลเฉพาะวันที่ท้องฟ้าโปร่งโดยช่วงเวลาที่วัดคือระหว่างเดือนมิถุนายน 2541 ถึงเดือนธันวาคม 2543 และเลือกศึกษาจากความเข้มแสงที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรและ 500 นาโนเมตรที่ส่องตรง (Direct Radiation) เท่านั้น โดยเน้นหาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นองศาตอม (Angstrom Turbidity) ของแต่ละวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ณ บริเวณนั้น และในปีเดียวกัน Long และคณะ<sup>15</sup> ได้

<sup>12</sup> I. Behnert, V. Matthias and R. Doerffer (2004) Aerosol Optical Thickness and Its Spectral Dependence Derived from Sun Photometer Measurements over the Southern North Sea Coastal Region, *Optica Puray Y Aplicada*, **37**(3), pp. 3253-3258.

<sup>13</sup> M. D. Alexandrov et al. (2002) Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer. Part I: Retrieval Algorithm, *J. of the Atmospheric Sciences*, **59**, pp.524-543.

<sup>14</sup> S. Janjai et al. (2003) Determination of Angstrom's Turbidity Coefficient over Thailand. *Renewable Energy* **28**, pp.1685-1700.

<sup>15</sup> C. N. Long et al. (2000) Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurements and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effects. *J. of Geophysical Research* **105**, pp.15609-15626.

พิสูจน์และเสนอแนะเกี่ยวกับท้องฟ้าโปร่งด้วยการใช้เครื่องไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) วัดและคำนวณผลกระทบของเมฆต่อการแผ่รังสีคลื่นสั้นมายังบริเวณนั้น ซึ่งในกรณีนี้คณะทำงานได้แสดงเทคนิคการพิจารณาและเลือกข้อมูลที่วัดได้ว่าช่วงเวลาใดในวันนั้นควรเป็นข้อมูลที่ได้รับอิทธิพลจากเมฆ และควรตัดข้อมูลส่วนนี้ออกจากการพิจารณา และแสดงเทคนิคในการปรับข้อมูลที่เหลือให้ได้ข้อมูลที่เสมือนเป็นค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ผ่านท้องฟ้าโปร่ง พร้อมแสดงฟังก์ชันที่ใช้ในการปรับค่าต่าง ๆ ด้วย

นอกจากในปีพ.ศ. 2549 Frank และคณะ<sup>16</sup> ได้ทำการวัดหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ซึ่งเป็นค่าตัวแปรหนึ่งในการหาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นองศาธรรมิกราช โดยทำการศึกษาและวัดค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยรายวันในช่วงปีพ.ศ. 2543-2548 ณ ทะเลทราย Mojave ทางตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย ด้วยข้อมูลดาวเทียมจากเครื่องมือวัด Multi-angle Imaging Spectro Radiometer : MISR ข้อมูลความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่วัดได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากแหล่งกำเนิดและที่มาของละอองลอยเหล่านั้นตามฤดูกาล นอกจากนี้ Kim และคณะ<sup>17</sup> ได้ศึกษาสเปกตรัมของความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่เปลี่ยนแปลงตามชนิดของละอองลอยที่ Gwangju ประเทศเกาหลี ในระหว่างเดือนตุลาคม-พฤศจิกายน พ.ศ.2545 ที่มีการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass Burning) มากในบริเวณนั้น โดยใช้เครื่องมือวัด UV-MFRSR และ Visible-MFRSR ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นองศาธรรมิกราชรายวันที่ท้องฟ้าโปร่ง

---

<sup>16</sup> T. D. Frank et al. (2007) The Spatial and Temporal Variability of Aerosol Optical Depths in the Mojave Desert of Southern California. *Science Direct, Remote Sensing Environment* **107**, pp.54-64.

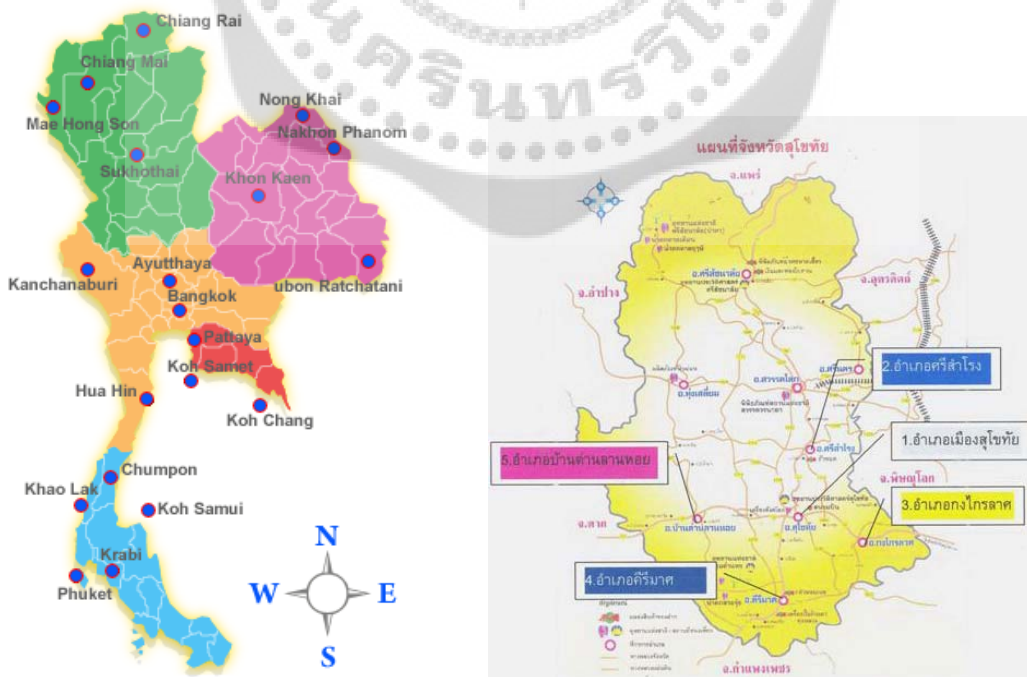
<sup>17</sup> J. E. Kim et al. (2006) Spectral Aerosol Optical Depth Variation with Different Types of Aerosol at Gwangju, Korea. *J. of Atmosphereic and Solar-Terrestria Physics*, **68**, pp.1609-1621.

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 ข้อมูลดิบที่ใช้ในการวิเคราะห์

ดังที่กล่าวไว้ขั้นต้นในบทที่ 1 และบทที่ 2 สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการนำข้อมูลดิบจากการวัดด้วยเครื่อง MFR 7 ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ที่ยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์ของภาควิชาธรณีวิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยความอนุเคราะห์จาก National Institute of Environmental Studies of Japan : NIE ประเทศญี่ปุ่น ข้อมูลดิบที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลที่วัดในช่วงปี พ.ศ. 2546 โดยเลือกวิเคราะห์ในเดือนมกราคมซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาว และเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนในประเทศไทย สำหรับช่วงฤดูฝนเป็นช่วงที่ท้องฟ้าเกือบมีเมฆมากตลอดทุกวันทำให้ไม่มีช่วงที่ท้องฟ้าค่อนข้างโปร่งจึงไม่นำข้อมูลมาศึกษาวิเคราะห์ และนี่คือจุดด้อยของการใช้เครื่อง MFR 7 ในการศึกษาละอองลอยและโมเลกุลของแก๊สในอากาศในฤดูฝนหรือช่วงที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก สำหรับสถานที่ตั้งของเครื่อง MFR 7 คือ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ( $17^{\circ} 0' 21''$  N,  $99^{\circ} 49' 35''$  E) ซึ่งเป็นจังหวัดทางภาคเหนือตอนล่างของประเทศไทย โดยมีจังหวัดใกล้เคียงดังภาพประกอบ 3.1 สิ่งที่น่าสนใจคืออยู่ใกล้กับ อำเภอแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ที่มีโรงงานผลิตไฟฟ้าที่ใช้ถ่านลิกไนต์ในการเผาไหม้ซึ่งอาจทำให้บรรยากาศในบริเวณใกล้เคียงได้รับผลกระทบจากละอองลอยซัลเฟตซึ่งเป็นผลมาจาก



ภาพประกอบ 3.1 แผนที่จังหวัดใกล้เคียงและเฉพาะส่วนของจังหวัดสุโขทัย

แก๊ส  $\text{SO}_2$  ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านลิกไนต์ ลักษณะของบริเวณทั่วไปของจังหวัดสุโขทัย เป็นเขตที่ราบลุ่มมีการทำเกษตรกรรม ดังนั้นละอองลอยที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากการเผาถ่านในชีวิตประจำวันของชาวบ้านเพื่อการหุงต้ม หรือการก่อกองไฟเพื่อการไล่แมลง การฝังไฟในช่วงอากาศหนาว หรือการเผาหญ้าในการกำจัดวัชพืช การเตรียมดินเพื่อปลูกพืชใหม่ เป็นต้น ละอองลอยเนื่องจากมลพิษจากท่อไอเสียรถยนต์บ้างเล็กน้อย เนื่องจากสุโขทัยเป็นเพียงจังหวัดเล็กๆ ที่เป็นทางผ่านไปยังจังหวัดอื่นๆ และมีแหล่งท่องเที่ยวคือโบราณสถานในยุคสุโขทัย ดังนั้นลักษณะชนิดของละอองลอยที่ศึกษาจึงน่าจะเป็นละอองลอยขนาดเล็กของดินละเอียดและละอองลอยคาร์บอนดำ (Black Carbon) ที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล สำหรับ  $\text{NO}_2$  ซึ่งเป็นแก๊สในบรรยากาศที่มักเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่นจากโรงงานอุตสาหกรรม และในตัวเมืองที่มีการใช้ยานยนต์ทำให้เกิดมลภาวะจากท่อไอเสียที่มี แก๊ส  $\text{NO}_2$  รวมอยู่ด้วย

### 3.2 วิธีเลือกข้อมูลดิบ

ขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้เลือกดำเนินการด้วยโปรแกรม EXCEL โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

3.2.1 นำข้อมูลที่วัดได้ในเดือนมกราคม และเดือนเมษายน 2546 มาเพื่อเลือกเฉพาะข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าค่อนข้างโปร่งไม่มีเมฆ โดยพิจารณาจากการเขียนกราฟระหว่างความเข้มการแผ่รังสีแสงแดดที่วัดได้กับเวลาที่วัดตลอดทั้งวัน จะได้กราฟเป็นรูปประฆังคว่ำที่มีเส้นค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ ถ้ามีเมฆบนท้องฟ้าจะเกิดการลดทอนแสงเนื่องจากการกระเจิงและการดูดกลืนแสงของเมฆ ทำให้ช่วงเวลาที่แสงผ่านเมฆลงมาถึงเครื่องวัดบนพื้นโลกมีค่าลดลงไป ทำให้เส้นกราฟของความเข้มการแผ่รังสีแสงแดดตรงช่วงเวลาที่เมฆมีค่าลดลงเกิดเส้นที่ไม่เรียบสังเกตได้ ดังนั้นถ้าวันใดกราฟดังกล่าวที่ได้เป็นรูปประฆังคว่ำที่มีเส้นไม่เรียบเกือบทั้งวันก็จะไม่นำมาศึกษา แต่ถ้ามีเส้นค่อนข้างเรียบทั้งวันหรือบางส่วนก็จะนำมาวิเคราะห์ โดยเลือกในช่วงวันที่ท้องฟ้าโปร่งติดต่อกันได้หลายวันในแต่ละเดือนที่เลือกศึกษา

3.2.2 นำข้อมูลของวันที่เลือกมาศึกษา โดยต้องการตัดข้อมูลในช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสมคือช่วงที่มีเมฆออกก่อนเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มาจากท้องฟ้าโปร่งเท่านั้นจึงจะนำไปวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงได้ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีทดสอบการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ (Normalized Diffuse Ratio Variability Test) ตามที่กล่าวในหัวข้อ 2.2.5 ในการตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆโดยเลือกทำกับข้อมูลความเข้มขององค์ประกอบของการแผ่รังสีแบบต่างๆ ในช่องแถบกว้าง (Broadband Channel) เพียง

ช่องเดี่ยวก็สามารถนำไปใช้ตัดข้อมูลรังสีตรงในทุกช่องของความยาวคลื่นแสงแดดที่วัดได้ เนื่องจากข้อมูลที่ตัดคือข้อมูลที่วัดพร้อมกันทุกช่องในช่วงเวลาขณะที่มีเมฆบนท้องฟ้าเดียวกัน ข้อมูลที่เหลือนับว่าเป็นข้อมูลที่วัดได้สำหรับท้องฟ้าโปร่งที่ไม่มีเมฆ เหมาะสมที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป โดยกำหนดไว้ให้มีข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์แต่ละครั้งต้องไม่น้อยกว่า 120 ข้อมูล สำหรับสมการที่ใช้ในวิธีทดสอบการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนการแพร่แบบปกติเป็นไปตามสมการ 2-6 ที่มี  $b = -0.5$  ในบทที่ 2 คือ

$$D_N = D_R / \mu_0^{-0.5} \quad 3-1$$

โดยที่  $D_N$  คืออัตราส่วนการแพร่แบบปกติ

$D_R$  คือ อัตราส่วนการแพร่ที่ได้จากนำความเข้มของแผ่รังสีแบบแพร่หารด้วย

ความเข้มของแผ่รังสีสุทธิ

$\mu_0$  คือโคไซน์ของมุมเซนนิทดวงอาทิตย์

### 3.3 การหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร

ข้อมูลรังสีตรงที่วัดได้ในช่องสำหรับความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรซึ่งเป็นความยาวคลื่นแสงแดดที่ไม่ถูกรบกวนด้วยการลดทอนของแก๊ส  $\text{NO}_2$  และ  $\text{O}_3$  ในบรรยากาศ รวมทั้งไอน้ำในอากาศด้วยตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังนั้นจึงเริ่มจากการหาค่า AOD ( $\tau_a$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร นำข้อมูลรังสีตรงเฉพาะส่วนที่ท้องฟ้าโปร่งตรงช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรมาวิเคราะห์แบบแลนเบิร์ตตามหลักการที่กล่าวในหัวข้อ 2.2.6 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 พล็อตกราฟระหว่างค่าลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่ามวลอากาศที่ไม่เกิน 2.5 ปรับค่ากราฟเส้นตรงตามสมการ 3-2 จะได้ค่าความชัน (Slope) ของสมการเส้นตรงเป็นค่าความลึกเชิงแสงสุทธิ  $\tau_{870}$  และจุดตัดบนแกน  $y$  คือค่า  $\ln I_{870}^0$

$$\ln I_{870} = \ln I_{870}^0 - \tau_{870} m \quad 3-2$$

3.3.2 จากสมการ 2-14 ถ้าพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870} \text{ m} - \tau_{R870} \text{ m})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) โดยการนำค่า  $\ln I_{870}^0$  ที่ได้ในหัวข้อ 3.3.1 มาหาค่า  $\tau_{870} \text{ m}$  ที่เท่ากับ  $(\ln I_{870}^0 - \ln I_{870})$  ตามสมการ 2-12 และคำนวณค่า  $\tau_{R870}$  ตามสมการ 2-5 ดังนี้

$$\tau_{\text{Rayleigh}} = 0.008569 \lambda^{-4} (1 + 0.0113 \lambda^{-2} + 0.00013 \lambda^{-4}) P / P_0 \quad 3-3$$

เมื่อ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่น 0.87 ไมโครเมตร

$P$  เป็นความดันบรรยากาศตรงบริเวณที่ทำการทดลอง ณ จังหวัดสุโขทัยเทียบกับความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเล  $P_0$  (มีค่า 1013.25 mb)

ในงานวิจัยนี้ใช้ค่า  $\tau_{R870} = 0.015$  สำหรับที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร (โดยใช้ค่าเฉลี่ยของความดันบรรยากาศ  $P$  ประมาณ 1008.8 mb สำหรับทั้งสองเดือนในปีพ.ศ. 2546 และพบว่าเมื่อใช้ค่า  $P$  ที่แตกต่างกันไปบ้างเล็กน้อยตามค่าความดันบรรยากาศที่วัดได้ในแต่ละวัน ก็ไม่ได้ทำให้ค่า  $\tau_{R870}$  เปลี่ยนแปลงไปมากนัก ส่วนมากมักจะมีค่าที่แตกต่างตรงทศนิยมตำแหน่งที่ 4 ดังนั้นจึงตัดสินใจเลือกใช้ค่า  $\tau_{R870}$  ที่คงที่สำหรับทุกวัน) ดังนั้นเมื่อปรับค่ากราฟเส้นตรงตามสมการ 3-4 จะได้ค่าความชันของสมการเส้นตรงเป็นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร และจุดตัดบนแกน  $y$  คือค่า  $c_{870} = -\ln C_{870}$  โดย  $C_{870}$  เป็นค่าคงตัวของการปรับเทียบของเครื่องมือที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร

$$\tau_{870} \text{ m} - \tau_{R870} \text{ m} = \tau_{a870} \text{ m} + c_{870} \quad 3-4$$

### 3.4 การหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย และ $\text{NO}_2$ ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

ความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้สำหรับความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรนี้จะได้รับผลกระทบจากการลดทอนเนื่องจากแก๊ส  $\text{NO}_2$  ในบรรยากาศ แต่ถูกรบกวนด้วย  $\text{O}_3$  และ ไออน้ำในอากาศน้อย ดังนั้นจึงต้องทำการปรับแก้ข้อมูลเพื่อการหาค่า AOD ที่ค่าความยาวคลื่นนี้พร้อมกับการหาความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ในบรรยากาศด้วย เนื่องจากไม่มีข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรในประเทศไทยมาก่อนเลย ดังนั้นใน

งานวิจัยนี้จึงได้ใช้เทคนิค การวิเคราะห์แบบถดถอยเพื่อให้ได้ค่า  $q$  ที่เป็นอัตราส่วนการทำให้สีนํ้าของละอองลอยที่ความยาวคลื่นของรังสี 415 นาโนเมตรเทียบกับการทำให้สีนํ้าที่ความยาวคลื่นของรังสี 870 นาโนเมตร และค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  พร้อมๆ กัน ตามสมการ 2-15 โดยมีวิธีดำเนินการดังนี้

3.4.1 ทำการหาค่าความลึกเชิงแสงสุทธิและค่า  $\ln I^0$  สำหรับความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ด้วยวิธีการทำนองเดียวกับหัวข้อ 3.3.1

3.4.2 ดำเนินการในลักษณะเดียวกับหัวข้อ 3.3.2 โดยพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415} m - \tau_{R415} m - q\tau_{a870} m$ ) กับค่ามวลอากาศ ( $m$ ) สำหรับความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ซึ่งมี  $\tau_{R415} = 0.308$  และค่า  $\tau_{a870}$  ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรจากหัวข้อ 3.3.2 แต่ในกรณีนี้ต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบถดถอยโดยมีการกำหนดค่า  $q$  ที่เหมาะสมที่จะทำให้การปรับค่าเส้นตรงของสมการ 3-5 ได้ค่าเฉลี่ยของรากกำลังสอง (Root Mean Square:  $R^2$ ) มีค่าดีที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่ให้น้อยกว่า 0.7 โดยในการปรับแต่ละครั้งได้กำหนดค่า  $q$  ที่แตกต่างกันครั้งละ 0.5 ดังนั้นเมื่อปรับค่ากราฟเส้นตรงตามสมการ 3-5 ดังกล่าวแล้วจะได้ค่าความชันของสมการเส้นตรงเป็นค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  และจุดตัดบนแกน  $y$  คือ ค่า  $c_{415} = -\ln C_{415}$  โดย  $C_{415}$  เป็นค่าคงตัวของเปรียบเทียบของเครื่องมือที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร พร้อมกับได้ค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรได้แก่  $q\tau_{a870}$

$$\tau_{415} m - \tau_{R415} m - q\tau_{a870} m = \tau_{\text{NO}_2} m + c_{415} \quad 3-5$$

3.4.3 ทำการวิเคราะห์ในทำนองเดียวกันสำหรับอีก 4 วันในเดือนมกราคม และอีก 5 วันในเดือนเมษายน 2546 แล้วนำผลที่ได้มาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยรายวันที่ทดลองในเดือนมกราคมและเมษายน พร้อมกับการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  กับวันที่ทดลองในเดือนมกราคมและเดือนเมษายนด้วย

### 3.5 การหาค่าองศาการดูดกลืนเอกซ์โพเนนซ์

จากหัวข้อ 3.2 - 3.4 เมื่อสามารถหาค่า  $\tau_{a870}$  และ  $\tau_{a415} = q\tau_{a870}$  ของแต่ละวันได้ ก็จะสามารถหาค่าองศาการดูดกลืนเอกซ์โพเนนซ์  $\alpha_{415-870}$  ของความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรที่เทียบกับความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร ได้จากสมการ

$$\alpha = -\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right) / \ln\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) \quad 3-6$$

โดยให้  $\tau_{a870} = \tau_1$  ,  $\tau_{a415} = \tau_2$  ,  $\lambda_1 = 870 \text{ nm}$  และ  $\lambda_2 = 415 \text{ nm}$

การหาค่าอัตรอมเอกซ์โพเนนท์  $\alpha_{415-870}$  นี้ทำให้ทราบลักษณะขนาดของละอองลอยโดยเฉลี่ยของอำเภอศรีสำโรง ณ เวลาที่ทดลองว่าเป็นอย่างไร โดยผลที่ได้นี้มีการแยกความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ตลอดคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศออกจากความลึกเชิงแสงของละอองลอยตลอดคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ขณะที่ข้อมูลความลึกเชิงแสงของละอองลอยตลอดคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศใน Aerosol Robotic Network: AERONET ที่ปรากฏในเวบไซต์ (Website) ไม่มีการหาค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ดังนั้นความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร จึงมีค่าสูงกว่าค่าจริงโดยรวมความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  อยู่ด้วย



## บทที่ 4

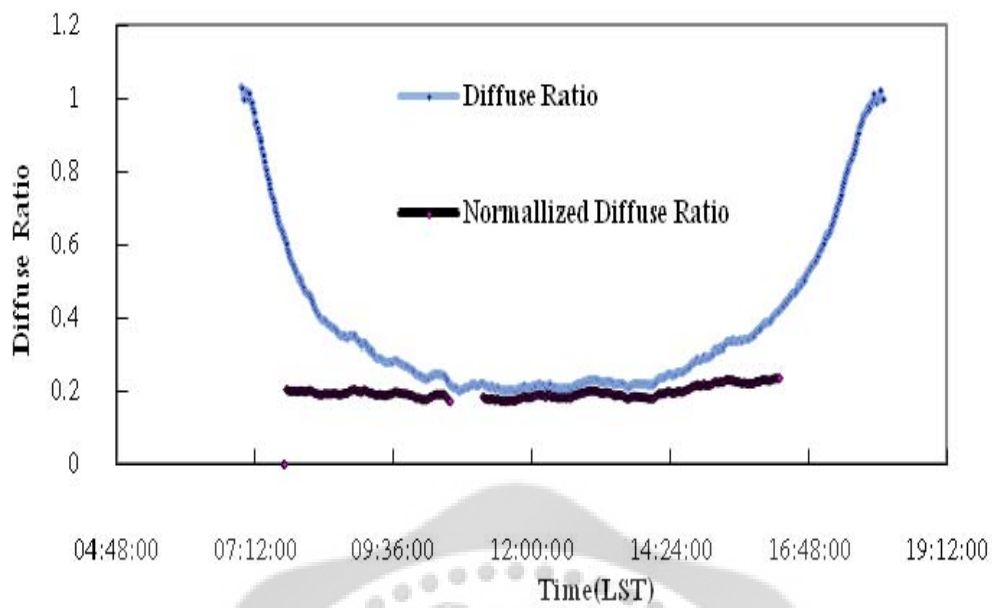
### ผลการวิเคราะห์งานวิจัย

#### 4.1 ผลการเลือกข้อมูลท้องฟ้าโปร่ง

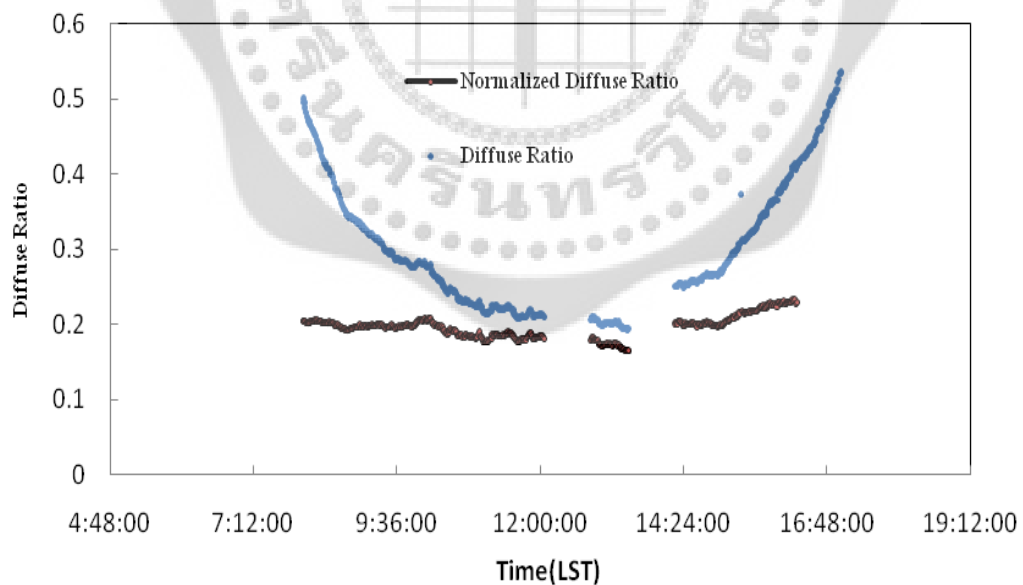
ผลจากการเลือกข้อมูลของวันที่นำมาศึกษาในเดือนมกราคม 2546 จำนวน 5 วันต่อเนื่องกัน ได้แก่ วันที่ 22-26 มกราคม 2546 และ อีก 6 วันในเดือนเมษายน 2546 ได้แก่ วันที่ 1-5 เมษายน 2546 และวันที่ 7 เมษายน 2546 ยกเว้นวันที่ 6 เมษายน 2546 ซึ่งเป็นวันที่มีเมฆตลอดทั้งวันไม่สามารถนำข้อมูลในวันนั้นมาทำการวิเคราะห์ได้ และพบว่าในเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศไทยน่าจะวัดความเข้มข้นการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ได้ดี แต่ปรากฏว่าส่วนใหญ่กลับเป็นวันที่มีเมฆมากเนื่องจากได้รับผลกระทบจากมรสุมฤดูร้อน จึงทำให้ได้ข้อมูลการวัดสำหรับท้องฟ้าโปร่งที่ไม่ดีเท่าที่ควร

ภาพประกอบ 4.1 – 4.11 แสดงผลการตัดข้อมูลในช่วงเวลาที่ไม่เหมาะสมคือช่วงที่มีเมฆออกเพื่อให้ได้ข้อมูลที่มาจากท้องฟ้าโปร่งเท่านั้นจึงจะนำไปวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงได้ โดยนำวิธีทดสอบการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ (Normalized Diffuse Ratio Variability Test) ในการตัดข้อมูลช่วงที่มีเมฆโดยเลือกทำกับข้อมูลความเข้มขององค์ประกอบของการแผ่รังสีแบบต่างๆ ในช่องแถบกว้างเพียงช่องเดียวก็สามารถนำไปใช้ตัดข้อมูลรังสีตรงในทุกช่องของความยาวคลื่นแสงแดดที่วัดได้ ข้อมูลที่เหลือนับว่าเป็นข้อมูลที่วัดได้สำหรับท้องฟ้าโปร่งที่ไม่มีเมฆ เหมาะสมที่จะนำไปใช้วิเคราะห์ต่อไป โดยกำหนดไว้ให้มีข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์แต่ละครั้งต้องไม่น้อยกว่า 120 ข้อมูล เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่น่าเชื่อถือ สำหรับสมการที่ใช้ในวิธีทดสอบการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนการแพร่แบบปกติเป็นไปตามสมการที่แสดงในบทที่ 3

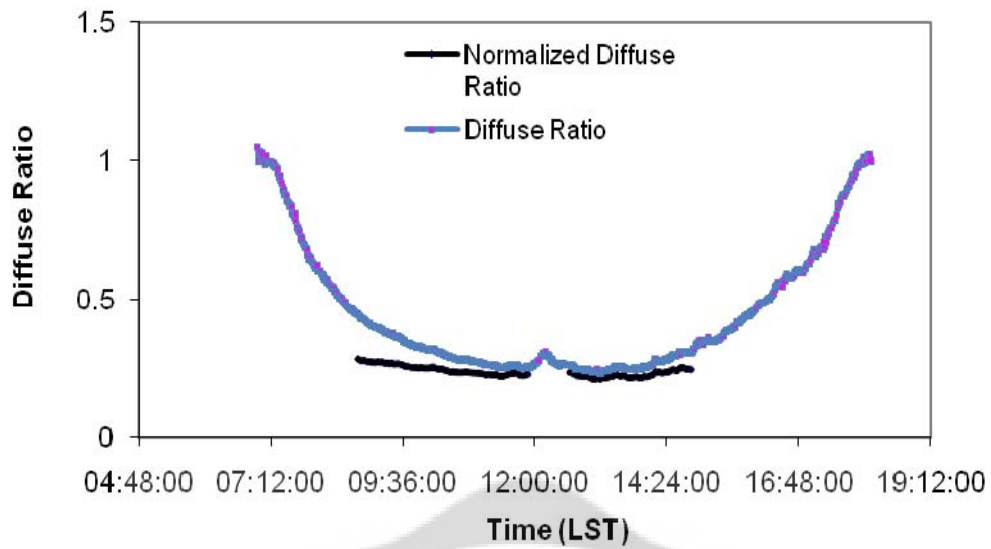
จากภาพประกอบ 4.7 จะเห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 2 เมษายน 2546 มีลักษณะที่ไม่เป็นเส้นปกติที่ดี และข้อมูลที่เหลือก็มีน้อยกว่า 120 ข้อมูล จึงตัดสินใจไม่นำข้อมูลในวันที่ 2 เมษายน 2546 นี้มาวิเคราะห์ และสำหรับวันที่ 7 เมษายน 2546 ในภาพประกอบ 4.11 ก็ไม่ดีเท่าที่ควรเนื่องจากมีข้อมูลนำมาใช้วิเคราะห์ได้เฉพาะช่วงเช้าเท่านั้น แต่อย่างน้อยอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลาก็มีเส้นปกติที่ดีเพียงพอ จึงยังคงนำข้อมูลในวันวันที่ 7 เมษายน 2546 มาวิเคราะห์ต่อไป



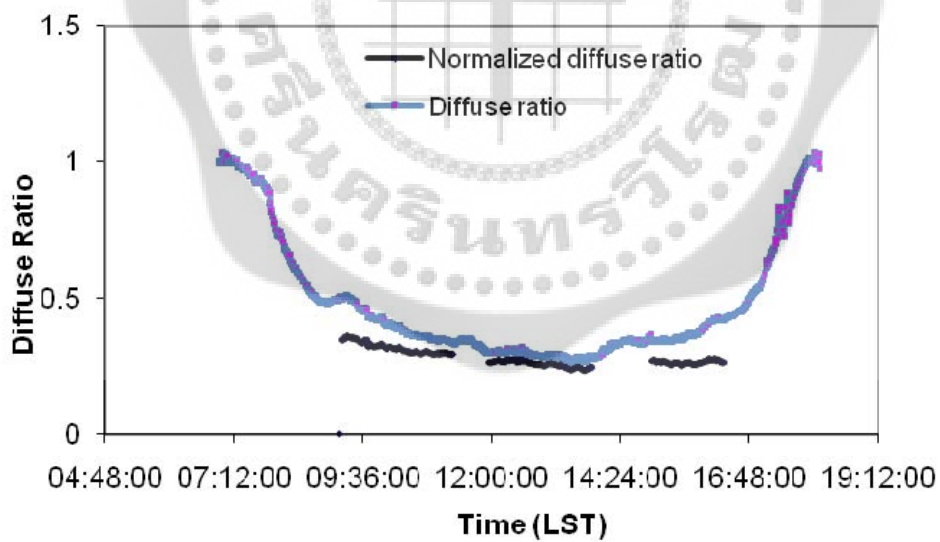
ภาพประกอบ 4.1 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 22 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดหึ่งคือช่วงเวลาที่มิเมฆ



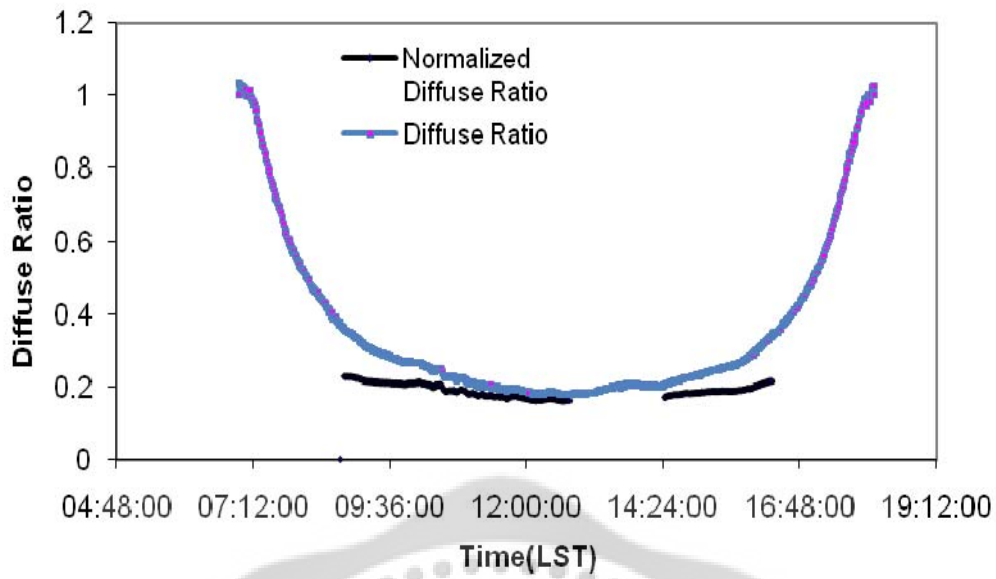
ภาพประกอบ 4.2 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 23 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดหึ่งคือช่วงเวลาที่มิเมฆ



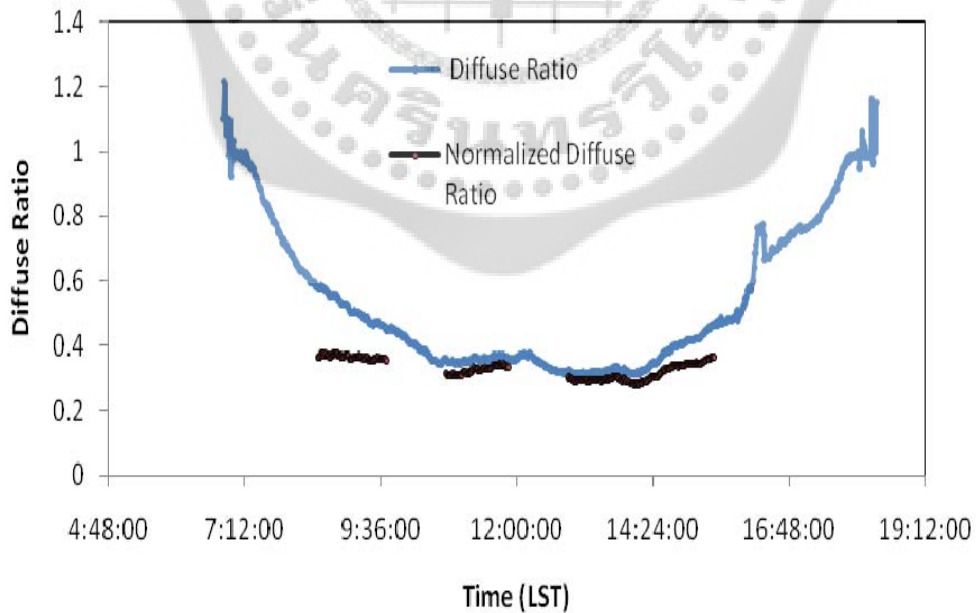
ภาพประกอบ 4.3 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 24 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดหึ่งคือช่วงเวลาที่มิเมฆ



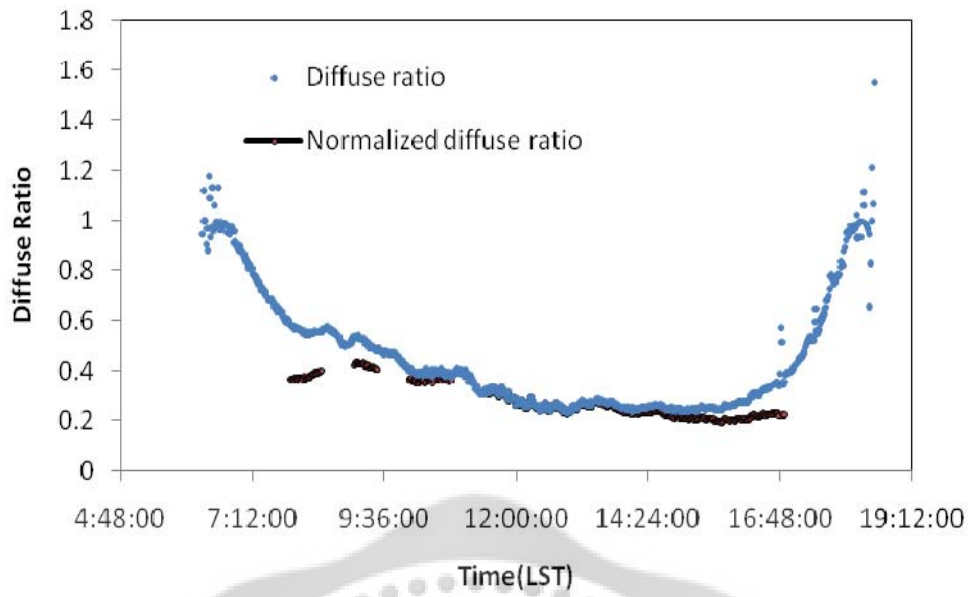
ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 25 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดหึ่งคือช่วงเวลาที่มิเมฆ



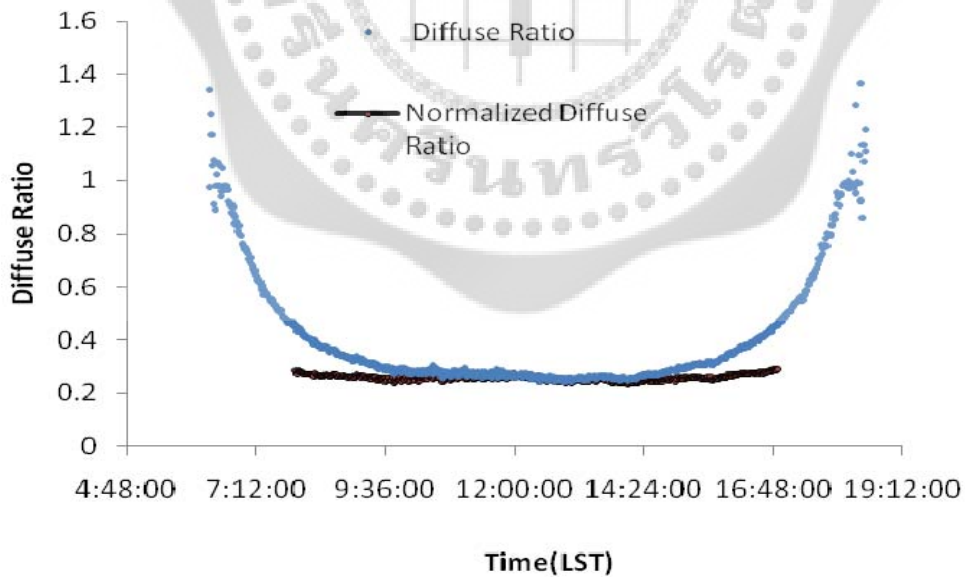
ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 26 มกราคม 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ



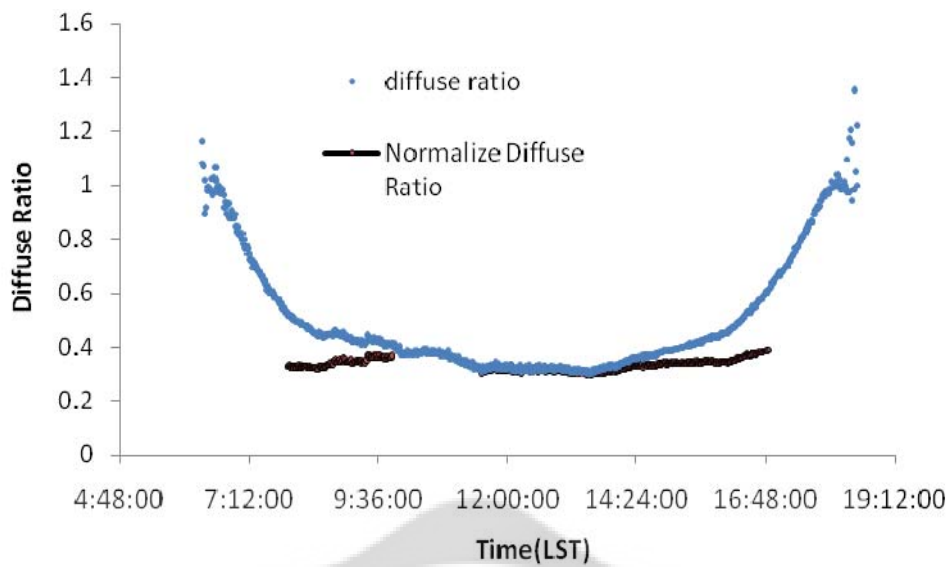
ภาพประกอบ 4.6 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 1 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ



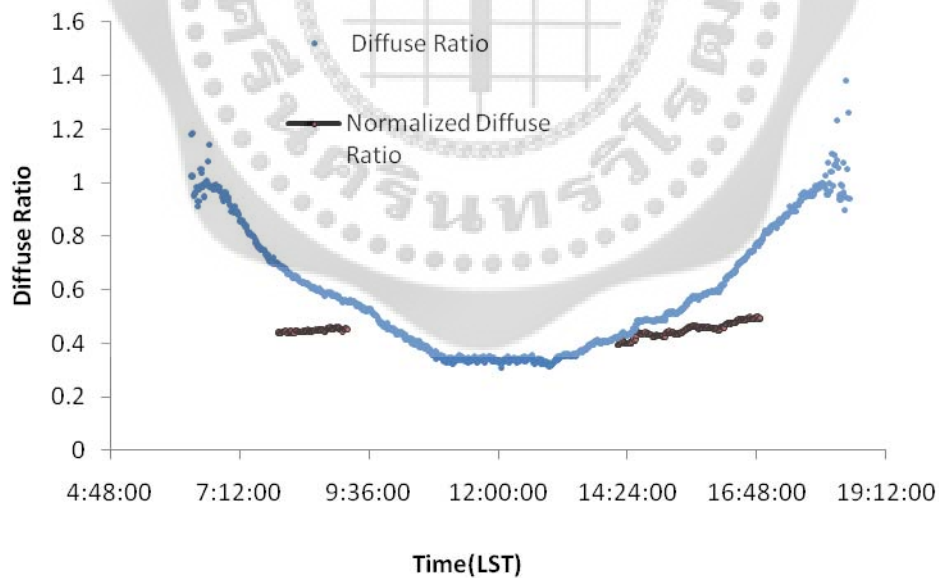
ภาพประกอบ 4.7 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 2 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ



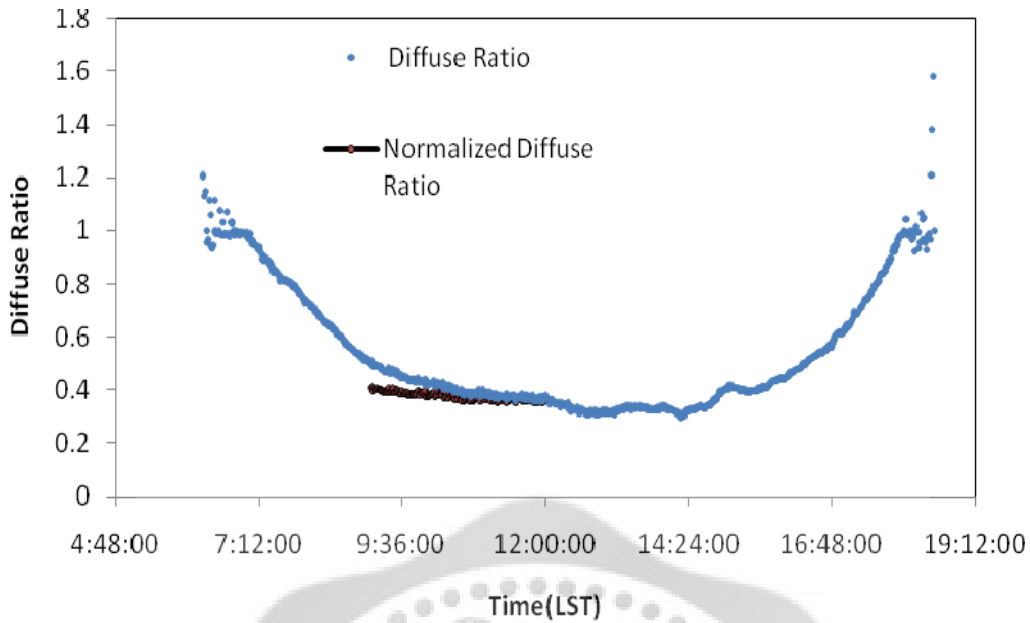
ภาพประกอบ 4.8 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 3 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ



ภาพประกอบ 4.9 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 4 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ



ภาพประกอบ 4.10 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 5 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ



ภาพประกอบ 4.11 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่กับเวลา และความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการแพร่แบบปกติกับเวลา ของวันที่ 7 เมษายน 2546 โดยส่วนที่ตัดทิ้งคือช่วงเวลาที่ไม่มีเมฆ

#### 4.2 ผลการหาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร

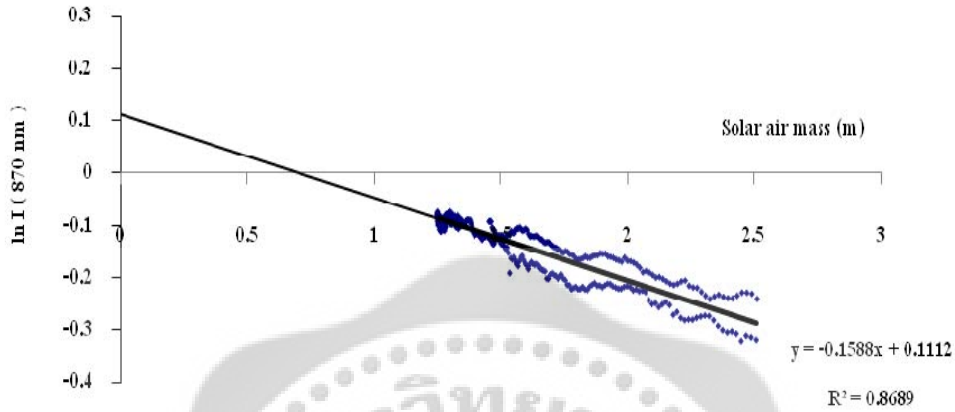
ภาพประกอบ 4.12 - 4.21 แสดงผลการพล็อตกราฟระหว่างลอการิทึมของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) โดยเลือกใช้ค่ามวลอากาศที่ไม่เกิน 2.5 เมื่อปรับค่ากราฟเส้นตรงตามสมการ

$$\ln I_{870} = \ln I_{870}^0 - \tau_{870} m \quad 4-1$$

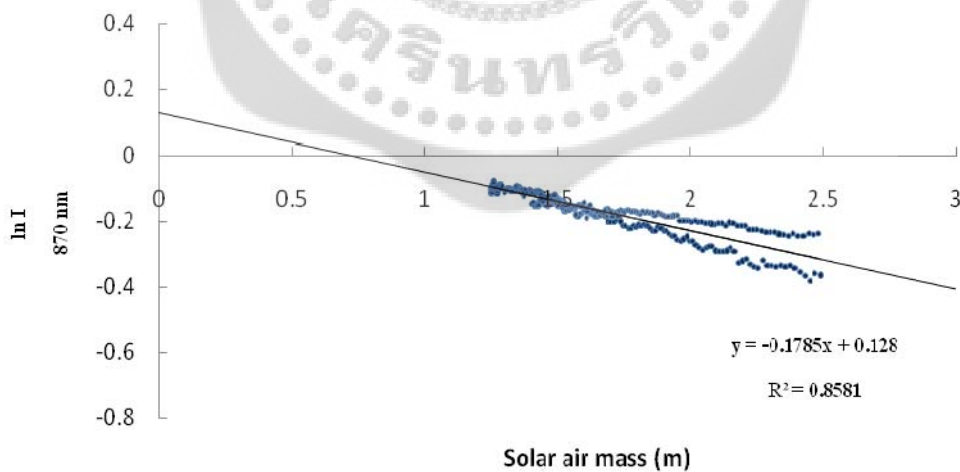
ได้ค่าความชัน (Slope) ของสมการเส้นตรงเป็นค่าความลึกเชิงแสงสุทธิ  $\tau_{870}$  และจุดตัดบนแกน y คือค่า  $\ln I_{870}^0$  และภาพประกอบ 4.22 - 4.31 ที่แสดงผลการพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870} m - \tau_{R870} m)$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) โดยการนำค่า  $\ln I_{870}^0$  ที่ได้มาหาค่า  $\tau_{870} m$  ที่เท่ากับ  $(\ln I_{870}^0 - \ln I_{870})$  และค่า  $\tau_{R870} = 0.015$  สำหรับที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร ดังนั้นเมื่อปรับค่ากราฟเส้นตรงตามสมการ

$$\tau_{870} m - \tau_{R870} m = \tau_{a870} m + c_{870} \quad 4-2$$

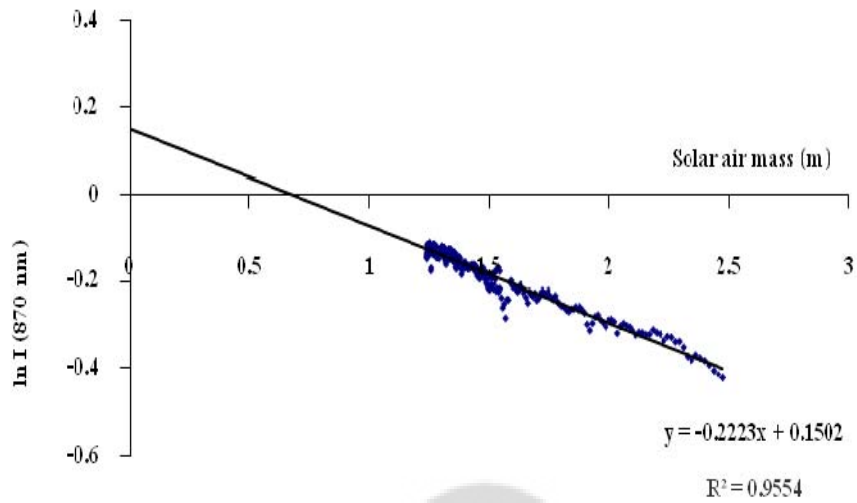
ได้ค่าความชันของสมการเส้นตรงเป็นค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร และจุดตัดบนแกน y คือค่า  $c_{870} = -\ln C_{870}$  โดย  $C_{870}$  เป็นค่าคงตัวของ การเปรียบเทียบของ เครื่องมือที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร



ภาพประกอบ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่วง ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 22 มกราคม 2546 โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ 0.1112

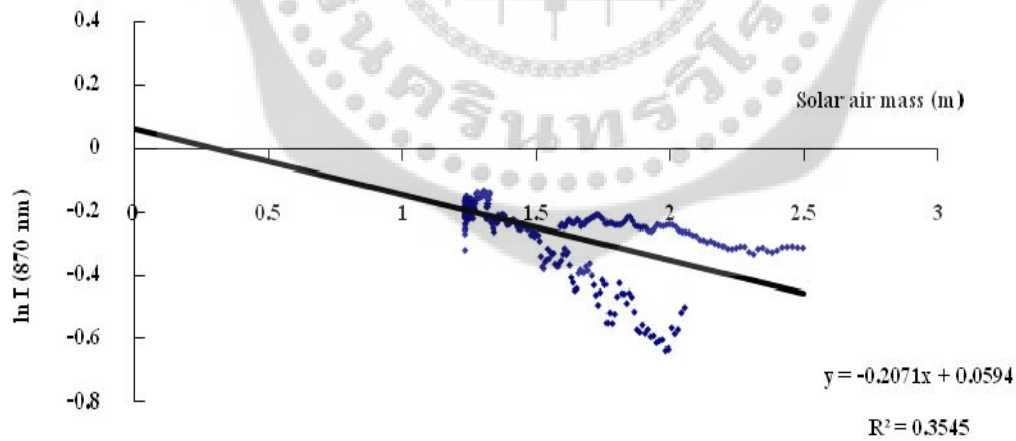


ภาพประกอบ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่วง ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 23 มกราคม 2546 โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ 0.128



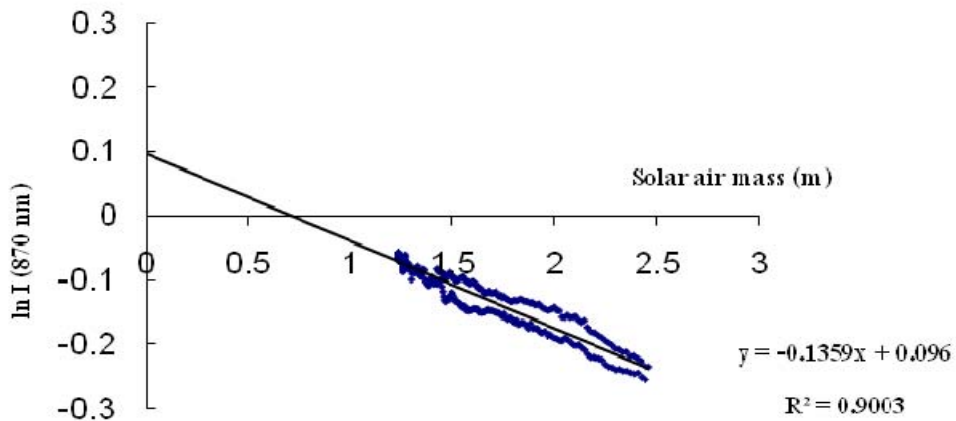
ภาพประกอบ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 24 มกราคม 2546

โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ 0.1502



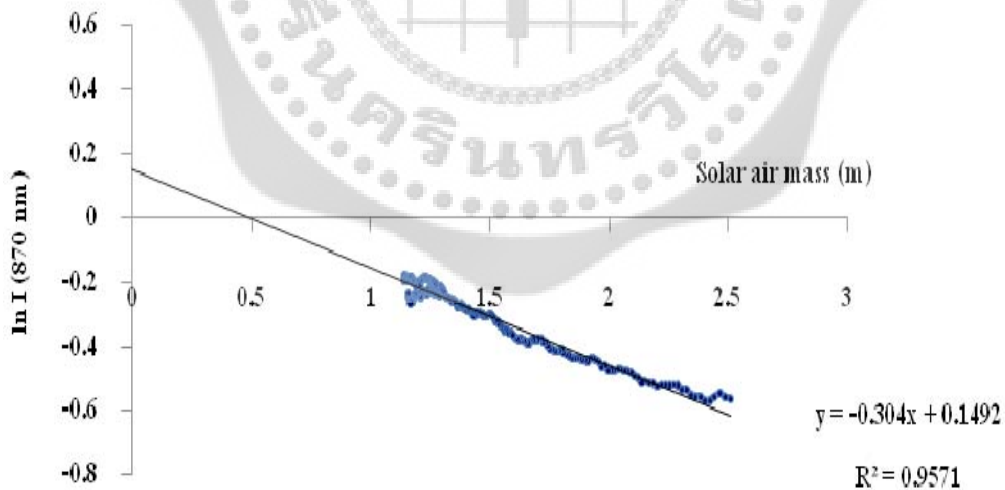
ภาพประกอบ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 25 มกราคม 2546

โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ 0.0594



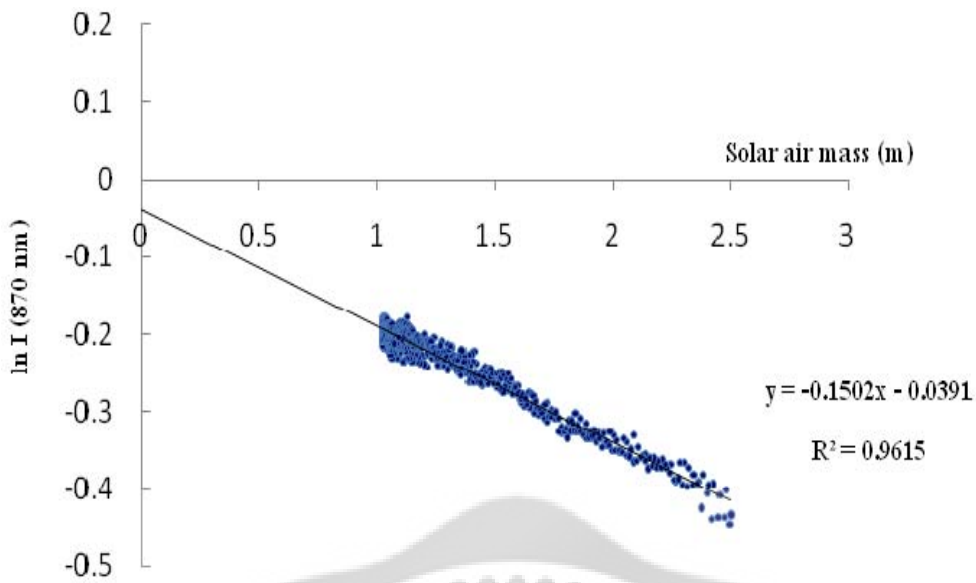
ภาพประกอบ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 26 มกราคม 2546

โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ 0.096



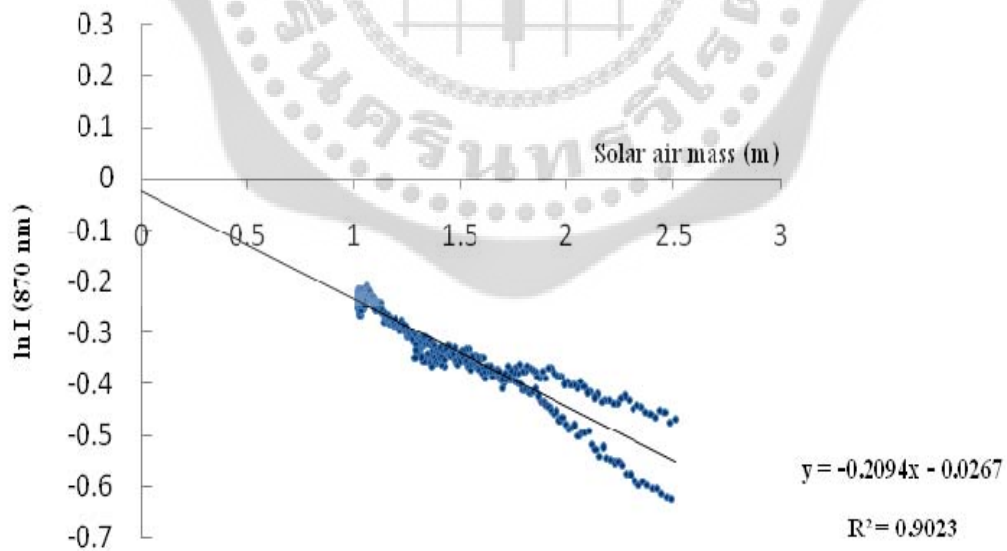
ภาพประกอบ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่องความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 1 เมษายน 2546

โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ 0.1492



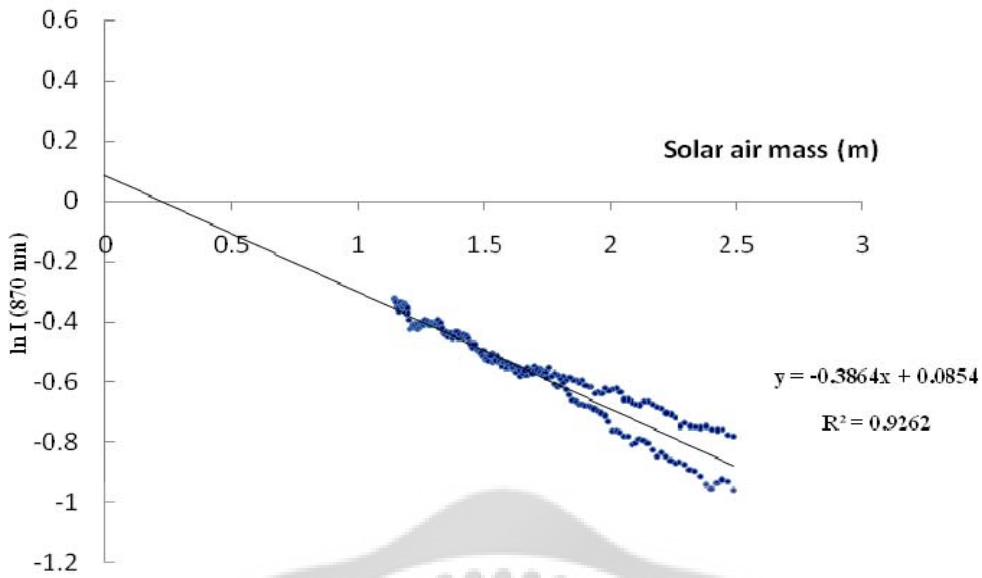
ภาพประกอบ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 3 เมษายน 2546

โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ -0.0391



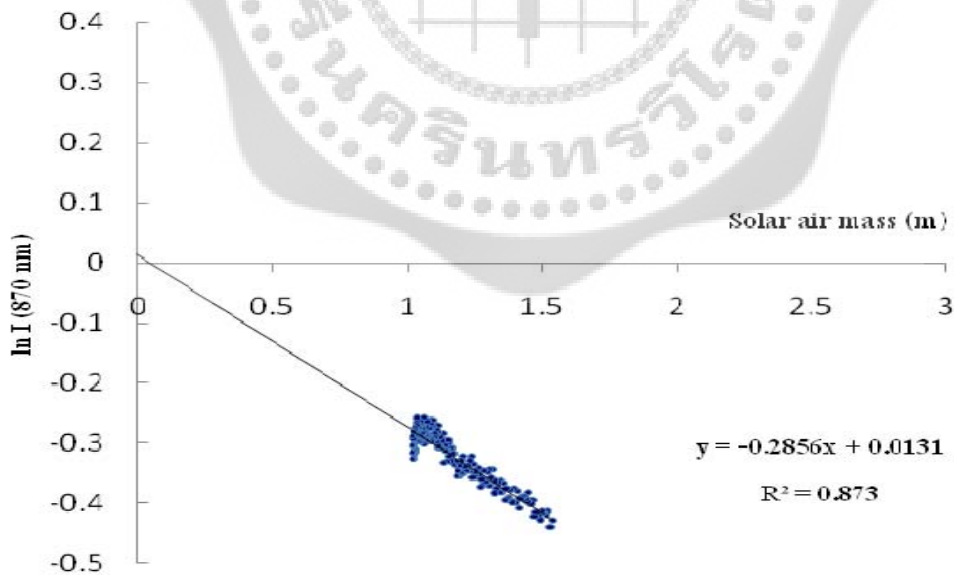
ภาพประกอบ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง ( $m$ ) ของวันที่ 4 เมษายน 2546

โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ -0.0267



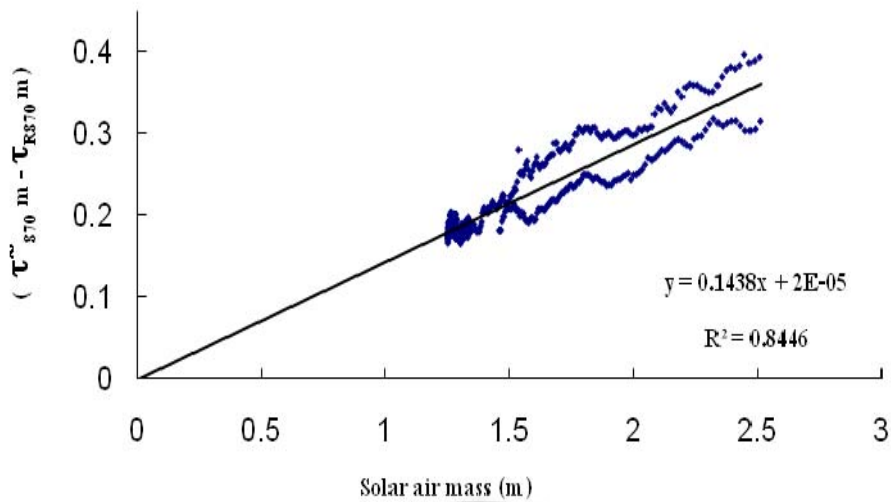
ภาพประกอบ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่อง  
ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 5 เมษายน 2546

โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ 0.0854

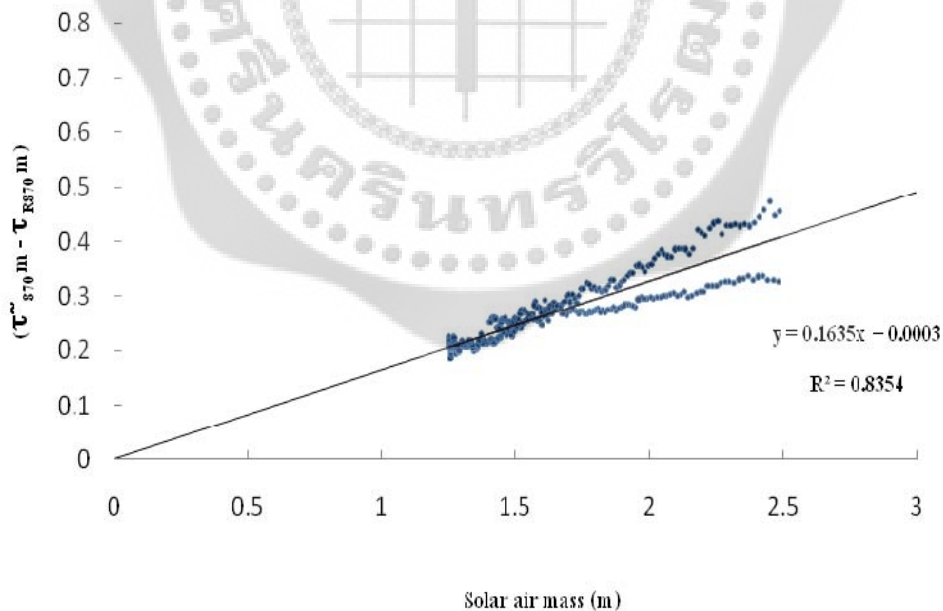


ภาพประกอบ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่อง  
ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 7 เมษายน 2546

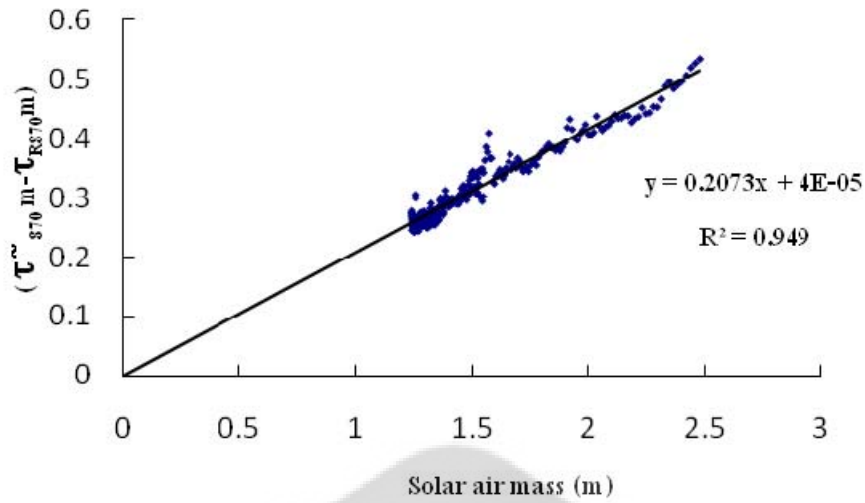
โดยได้  $\ln I_{870}^0$  เท่ากับ 0.0131



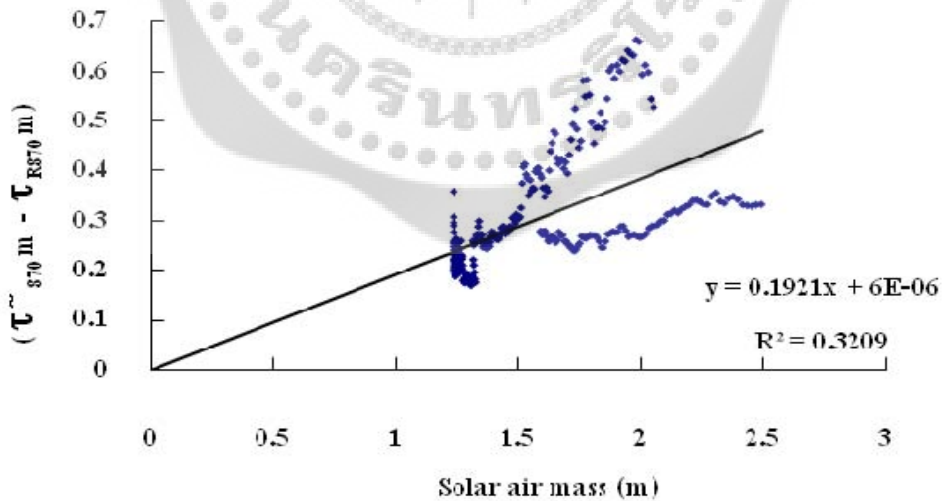
ภาพประกอบ 4.22 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870 \text{ m}} - \tau_{R870 \text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 22 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย  $(\tau_{a870})$  ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1438 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 0.99998



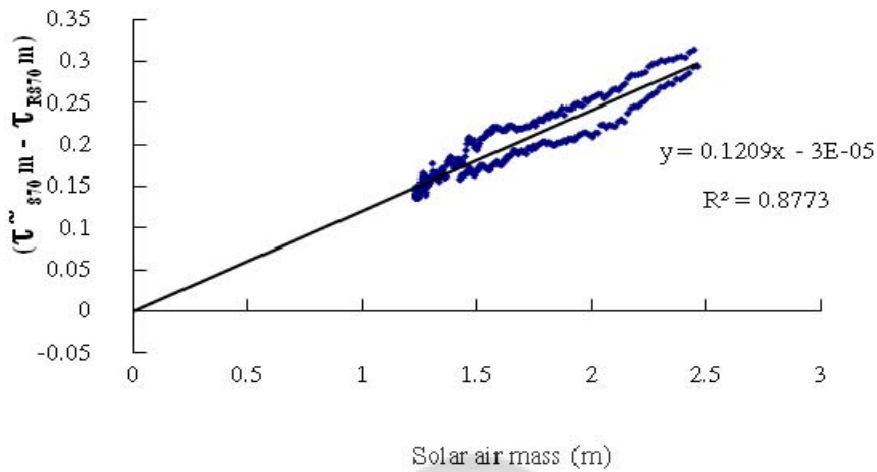
ภาพประกอบ 4.23 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870 \text{ m}} - \tau_{R870 \text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 23 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย  $(\tau_{a870})$  ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1635 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 0.99997



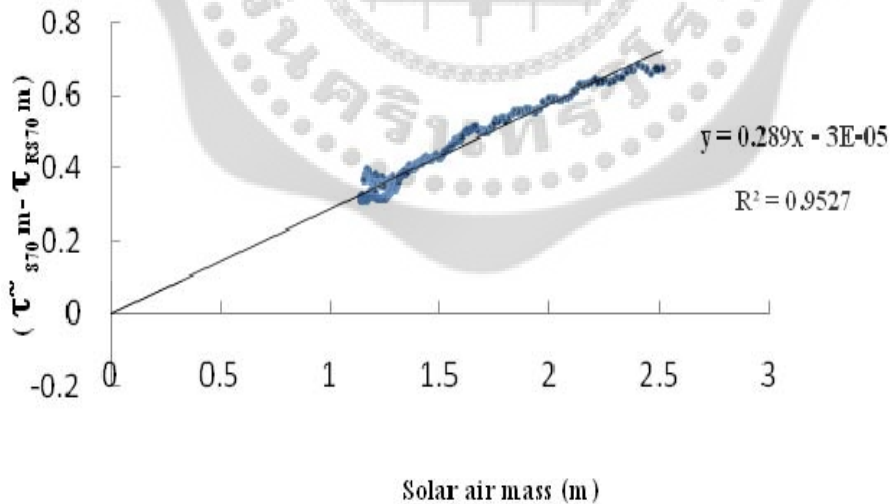
ภาพประกอบ 4.24 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870\text{ m}} - \tau_{R870\text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 24 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย  $(\tau_{a870})$  ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.2973 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 0.99996



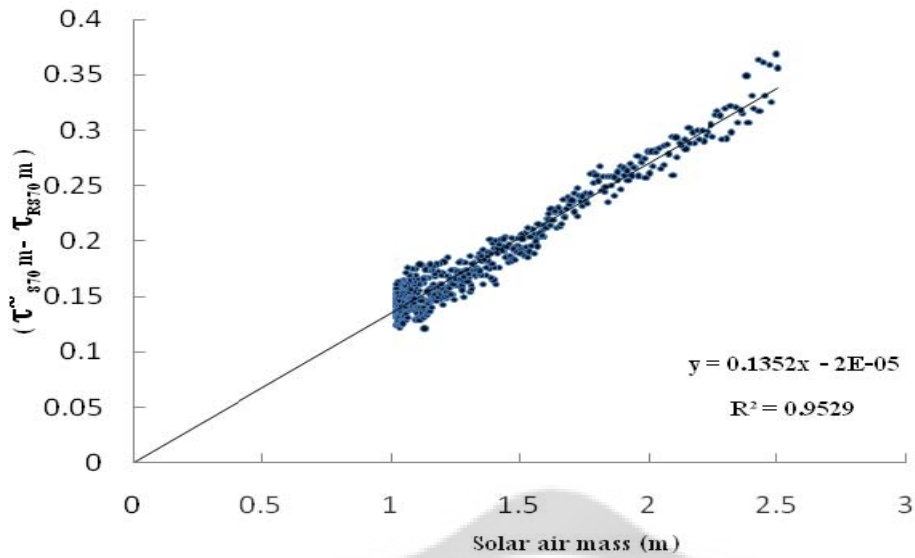
ภาพประกอบ 4.25 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870\text{ m}} - \tau_{R870\text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 25 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย  $(\tau_{a870})$  ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1921 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 0.99994



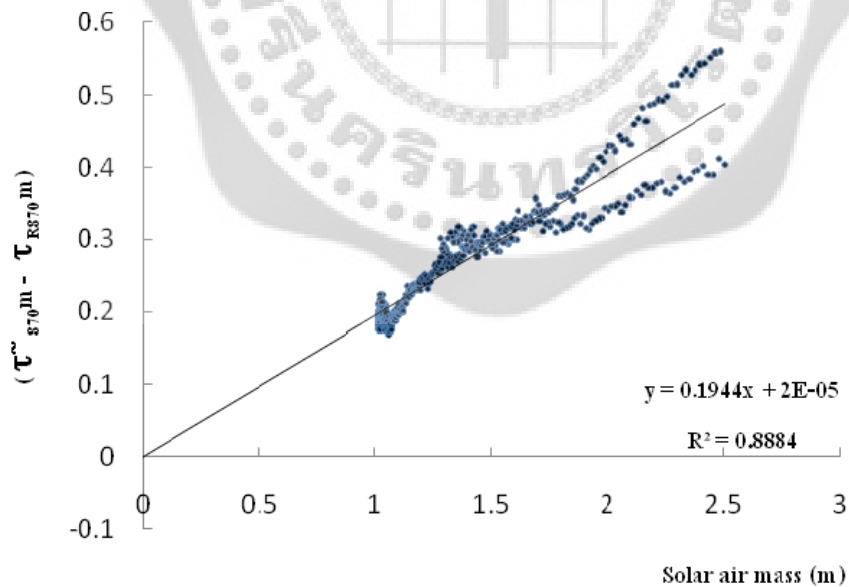
ภาพประกอบ 4.26 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870\text{ m}} - \tau_{R870\text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 26 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1209 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 1.00003



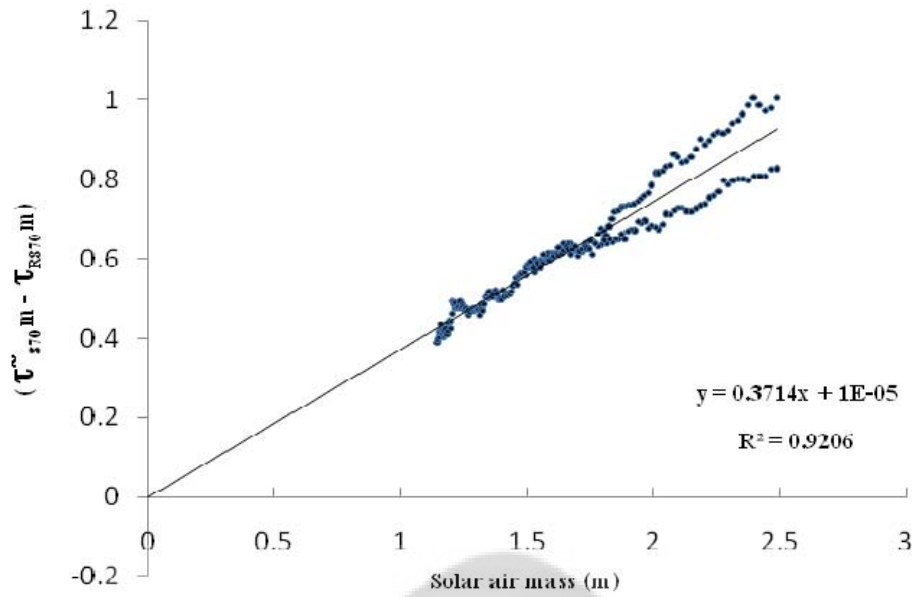
ภาพประกอบ 4.27 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870\text{ m}} - \tau_{R870\text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 1 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{a870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.289 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 1.00003



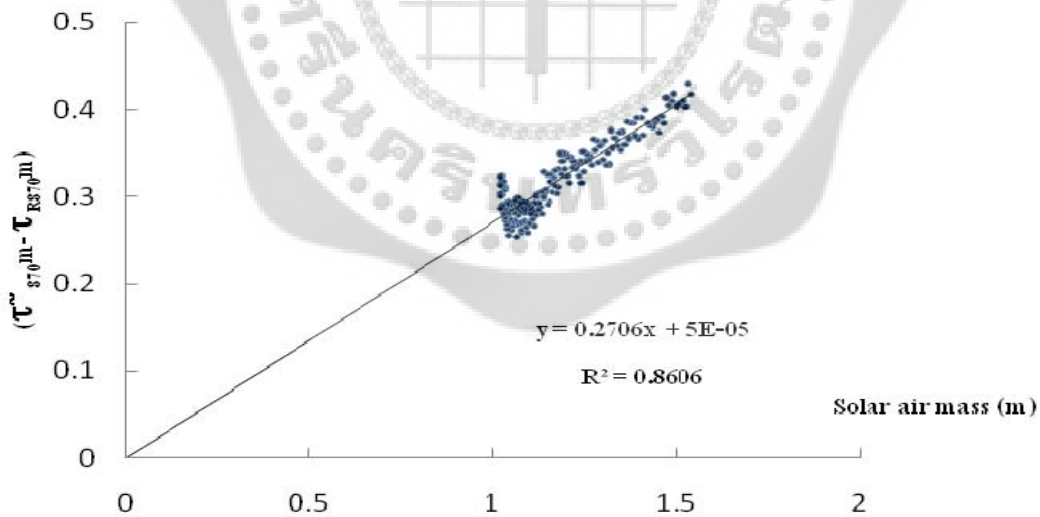
ภาพประกอบ 4.28 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870\text{ m}} - \tau_{R870\text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1352 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 1.00002



ภาพประกอบ 4.29 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870\text{ m}} - \tau_{R870\text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 4 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย ( $\tau_{870}$ ) ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1944 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 0.99998



ภาพประกอบ 4.30 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870m} - \tau_{R870m})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 5 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย  $(\tau_{a870})$  ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.3714 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 0.99999



ภาพประกอบ 4.31 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{870m} - \tau_{R870m})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 7 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอย  $(\tau_{a870})$  ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรเท่ากับ 0.2706 และ  $C_{870}$  เท่ากับ 0.99995

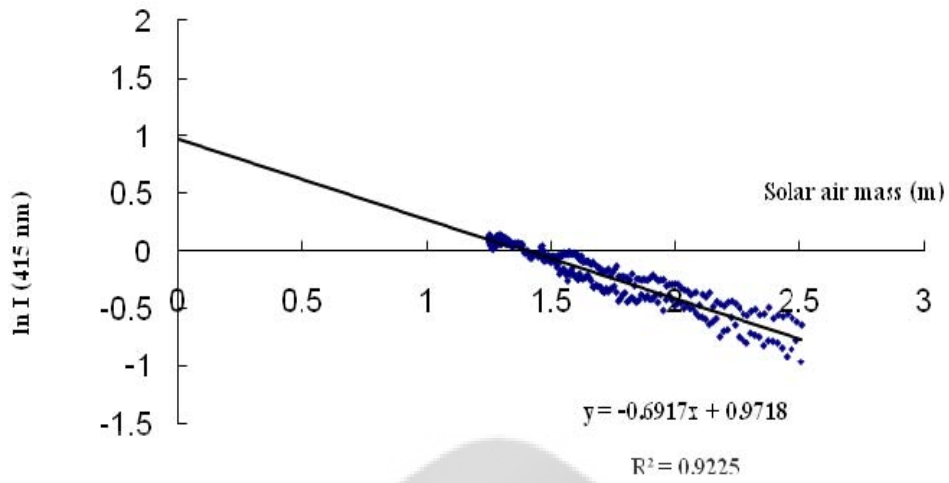
### 4.3 ผลการหาค่า AOD และความลึกเชิงแสงของ NO<sub>2</sub> ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร

กราฟระหว่างลอการิทึมธรรมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่องความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) โดยเลือกใช้ค่ามวลอากาศที่ไม่เกิน 2.5 แสดงดังภาพประกอบ 4.32-4.41 และเมื่อปรับค่ากราฟเส้นตรงตามสมการ

$$\ln I_{415} = \ln I_{415}^0 - \tilde{\tau}_{415} m \quad 4-3$$

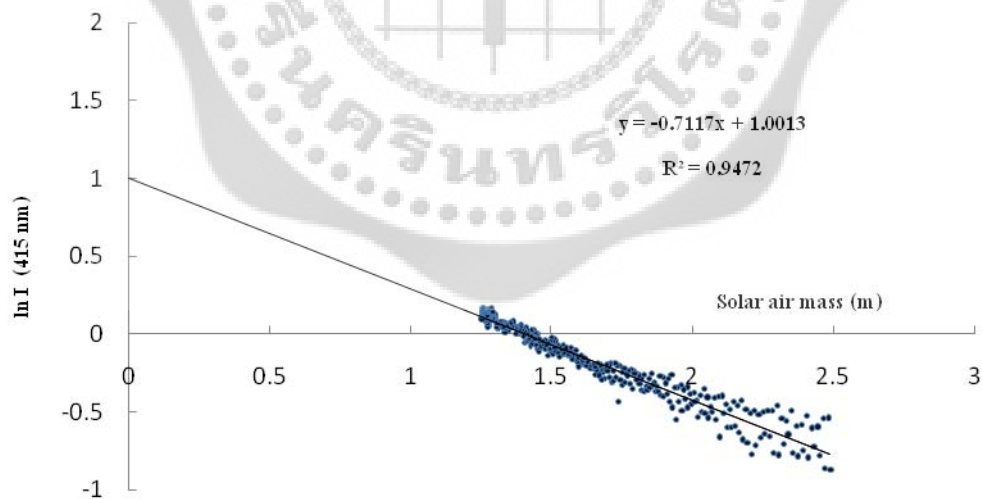
จะได้ค่าความชัน (Slope) ของสมการเส้นตรงเป็นค่าความลึกเชิงแสงสุทธิ  $\tilde{\tau}_{415}$  และจุดตัดบนแกน y คือค่า  $\ln I_{415}^0$  และภาพประกอบ 4.42 - 4.51 แสดงผลการพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tilde{\tau}_{415} m - \tau_{R415} m - q\tau_{a870} m$ ) กับค่ามวลอากาศ (m) สำหรับความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ซึ่งมี  $\tau_{R415} = 0.308$  และค่า  $\tau_{a870}$  ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตรที่ได้จากหัวข้อ 4.2 โดยใช้เทคนิคการการวิเคราะห์แบบถดถอย โดยมีการกำหนดค่า q ที่เหมาะสมที่ทำให้การปรับค่าเส้นตรงของสมการ 4-4 ได้ค่าเฉลี่ยของรากกำลังสอง (Root Mean Square: R<sup>2</sup>) ดีที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่ต่ำกว่า 0.7 ดังนั้นจะได้ค่าความชันของสมการเส้นตรงเป็นค่าความลึกเชิงแสงของ NO<sub>2</sub> และจุดตัดบนแกน y คือค่า  $c_{415} = -\ln C_{415}$  โดย  $C_{415}$  เป็นค่าคงตัวของการปรับเทียบของเครื่องมือที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร พร้อมกับได้ค่า AOD ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรได้แก่  $q\tau_{a870}$  โดยที่ q เป็นค่าอัตราส่วนการทำให้สิ้นสุดที่เทียบกับช่องที่วัดแสงความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร

$$\tilde{\tau}_{415} m - \tau_{R415} m - q\tau_{a870} m = \tau_{NO_2} m + c_{415} \quad 4-4$$



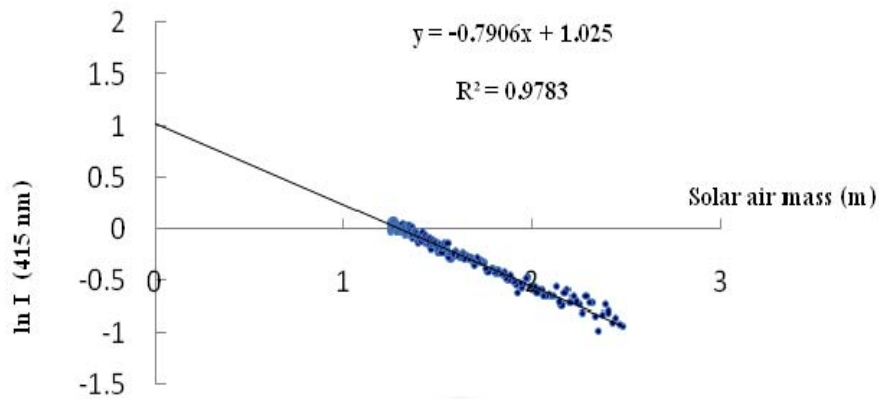
ภาพประกอบ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 22 มกราคม 2546

โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 0.9718



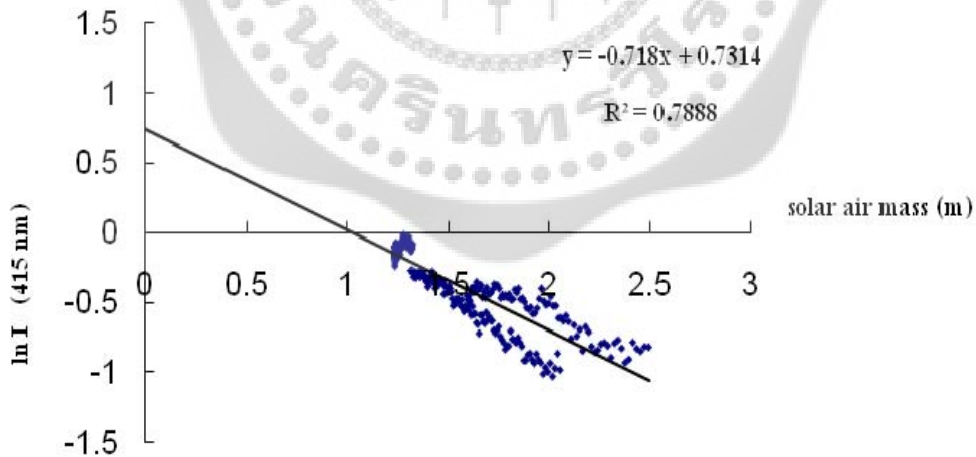
ภาพประกอบ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 23 มกราคม 2546

โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 1.0013



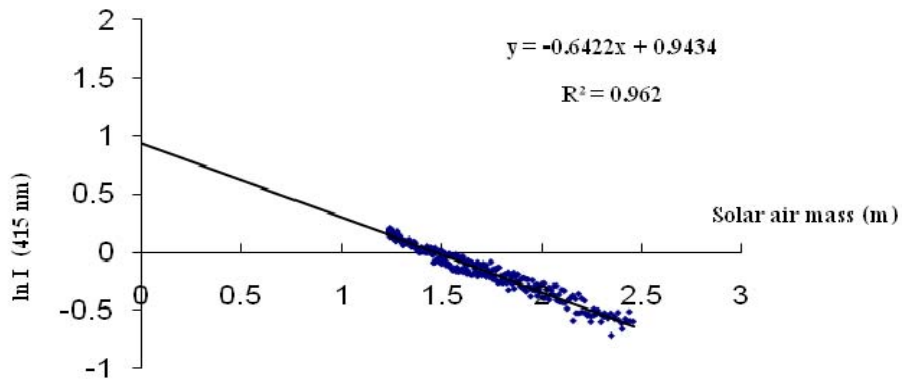
ภาพประกอบ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 24 มกราคม 2546

โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 1.025



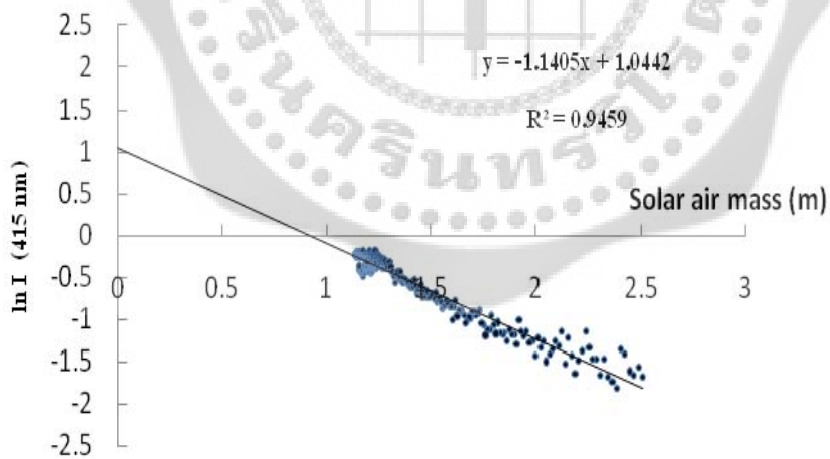
ภาพประกอบ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 25 มกราคม 2546

โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 0.7314



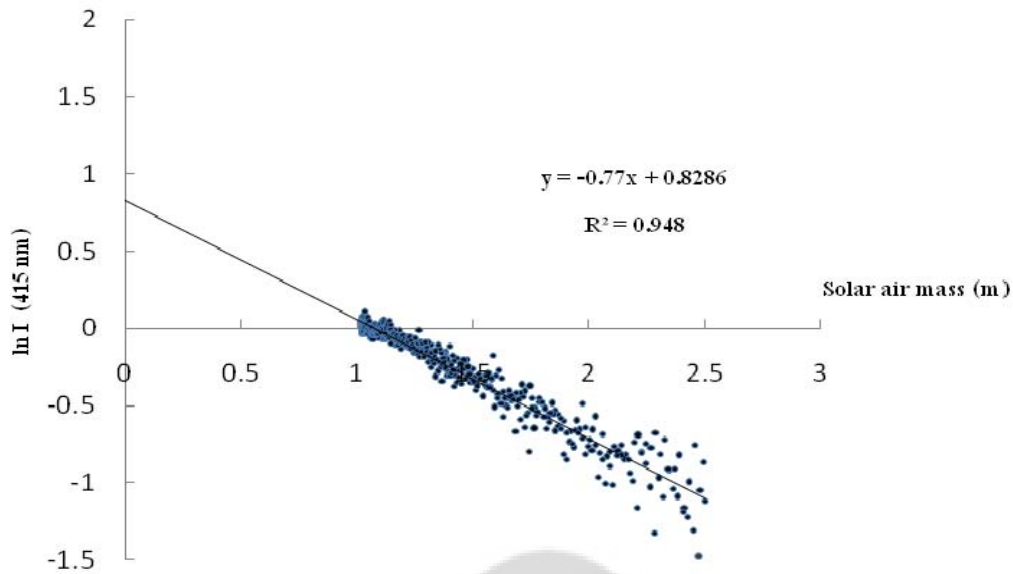
ภาพประกอบ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 26 มกราคม 2546

โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 0.9434



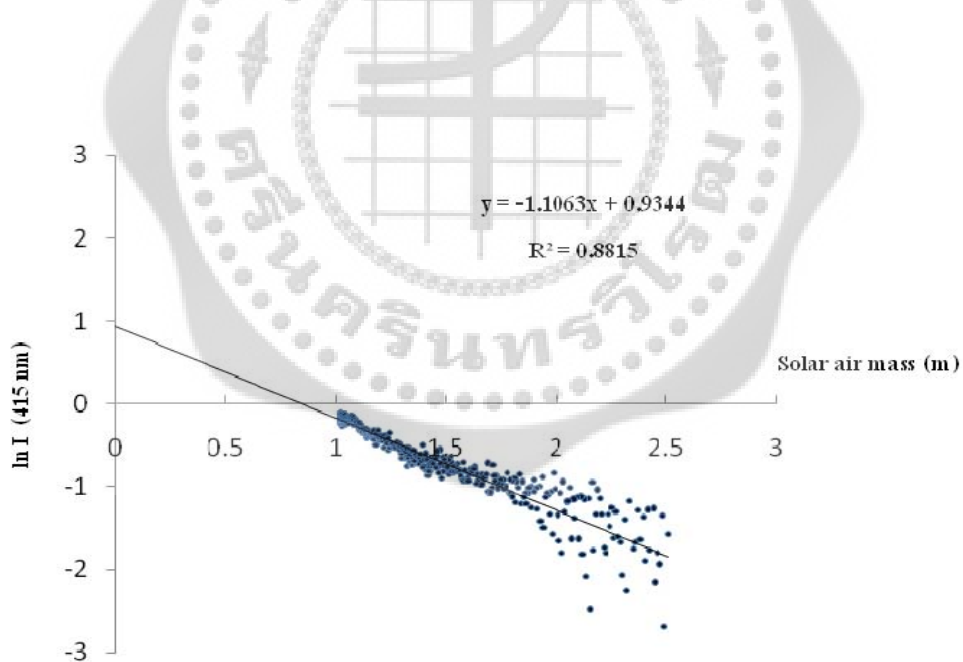
ภาพประกอบ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 1 เมษายน 2546

โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 1.0442



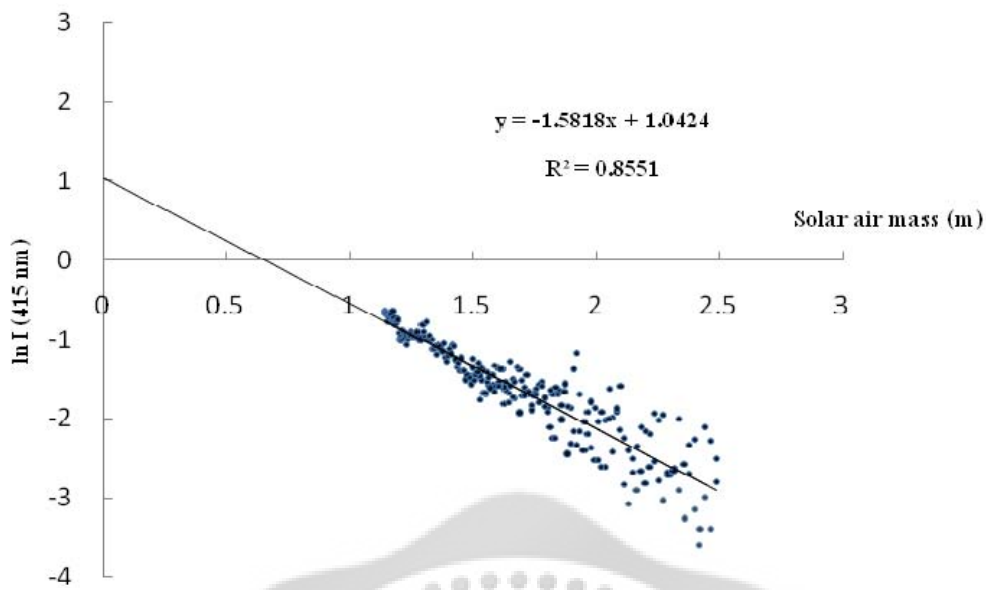
ภาพประกอบ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 3 เมษายน 2546

โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 0.8286



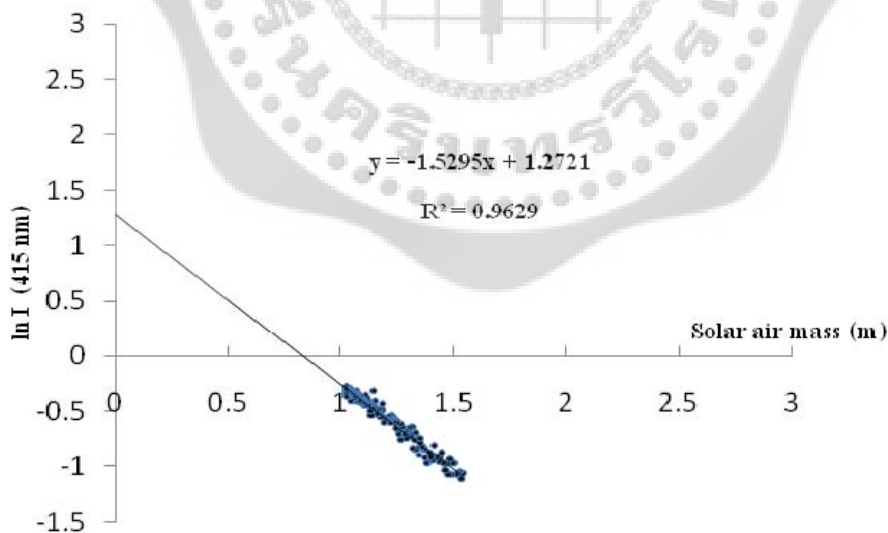
ภาพประกอบ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง (ln I) สำหรับช่วงความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 4 เมษายน 2546

โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 0.9344



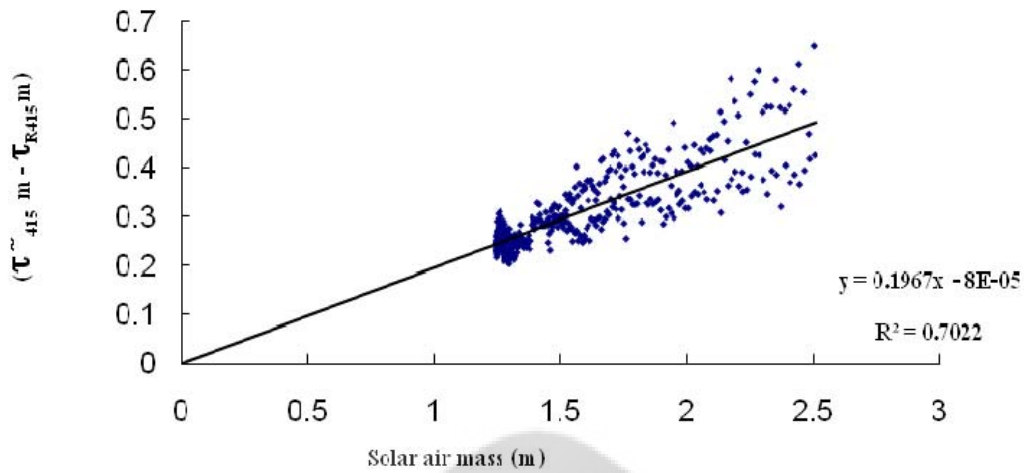
ภาพประกอบ 4.40 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่อง  
ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 5 เมษายน 2546

โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 1.0424

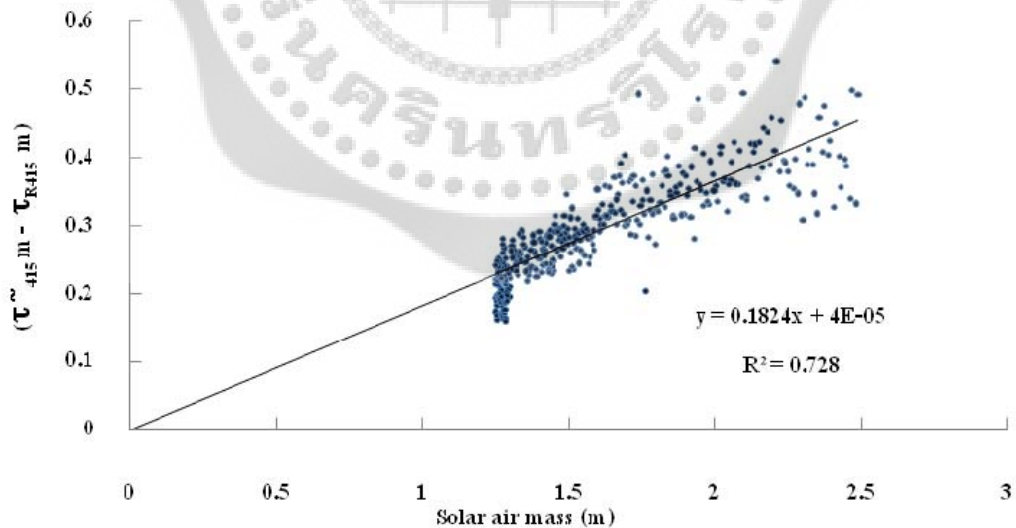


ภาพประกอบ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมชาติของความเข้มรังสีตรง ( $\ln I$ ) สำหรับช่อง  
ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรกับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 7 เมษายน 2546

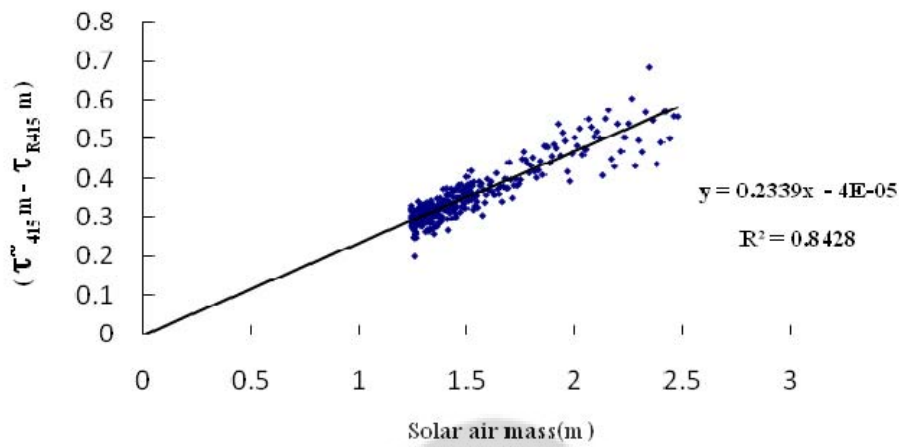
โดยได้  $\ln I_{415}^0$  เท่ากับ 1.2721



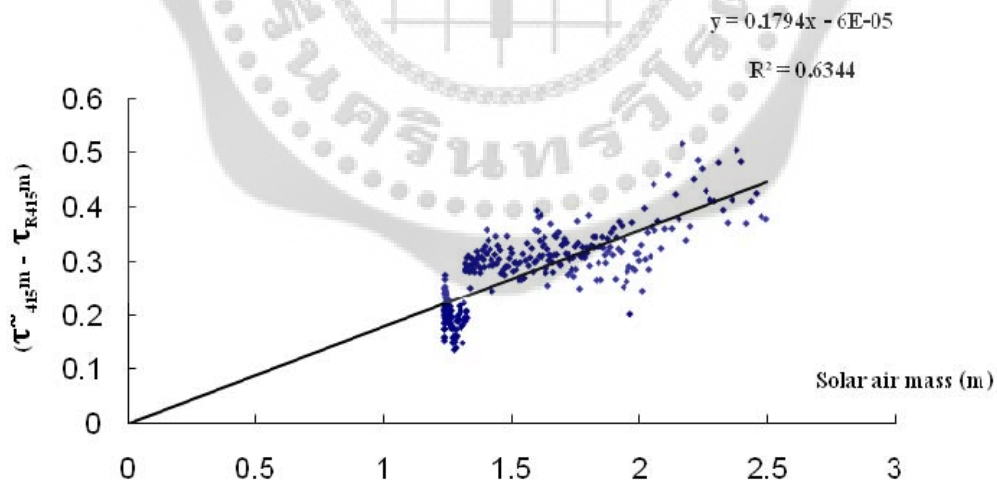
ภาพประกอบ 4.42 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{415 m} - \tau_{R415 m})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 22 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1967  $C_{415}$  เท่ากับ 1.00008 และมีค่า  $q$  เท่ากับ 1.30



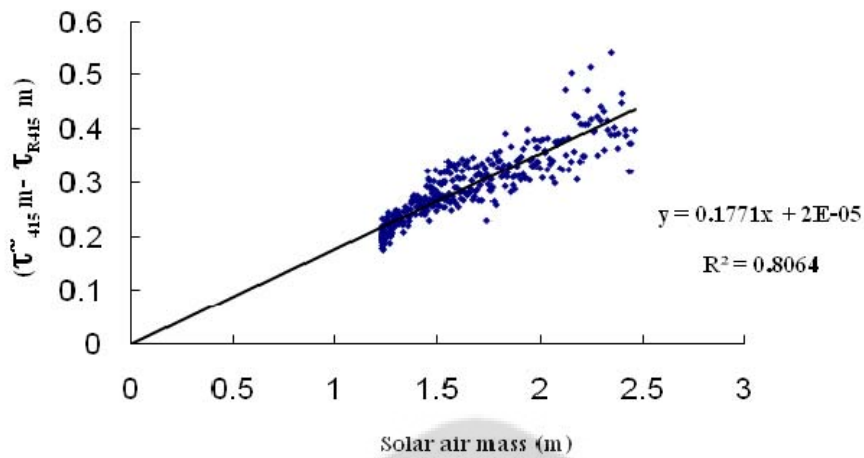
ภาพประกอบ 4.43 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{415 m} - \tau_{R415 m})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 23 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1824  $C_{415}$  เท่ากับ 0.99996 และมีค่า  $q$  เท่ากับ 1.35



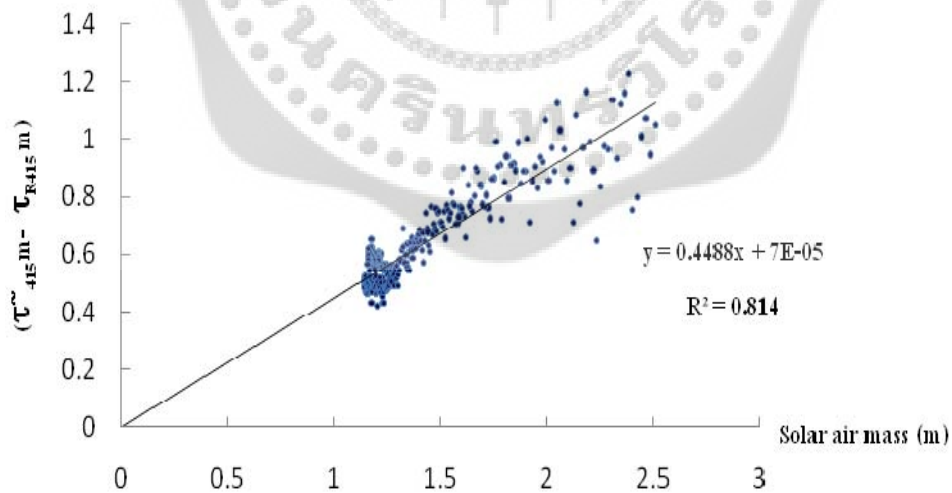
ภาพประกอบ 4.44 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415\text{nm}} - \tau_{R415\text{nm}}$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 24 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.2339  $C_{415}$  เท่ากับ 1.00004 และมีค่า  $q$  เท่ากับ 1.20



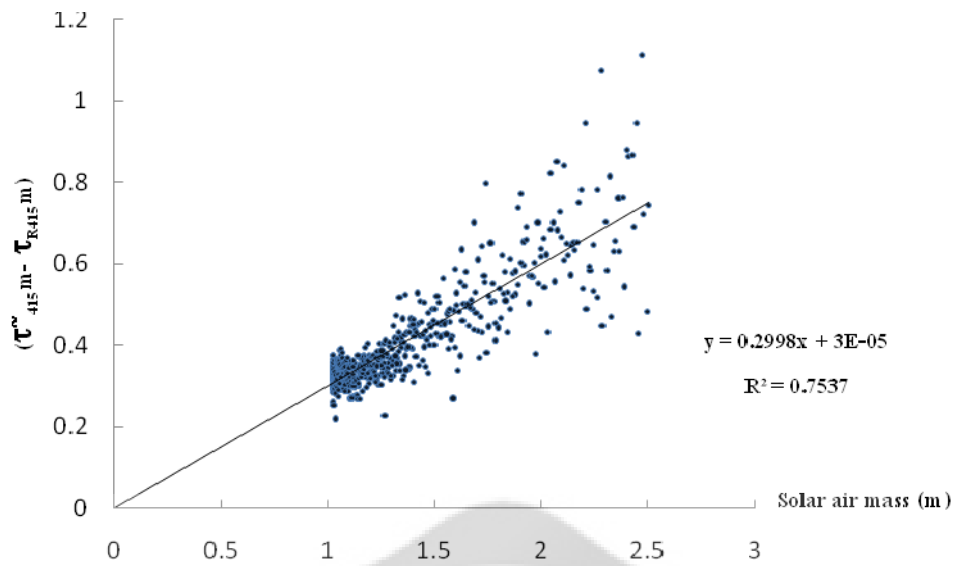
ภาพประกอบ 4.45 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415\text{nm}} - \tau_{R415\text{nm}}$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 25 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1794  $C_{415}$  เท่ากับ 1.00006 และมีค่า  $q$  เท่ากับ 1.20



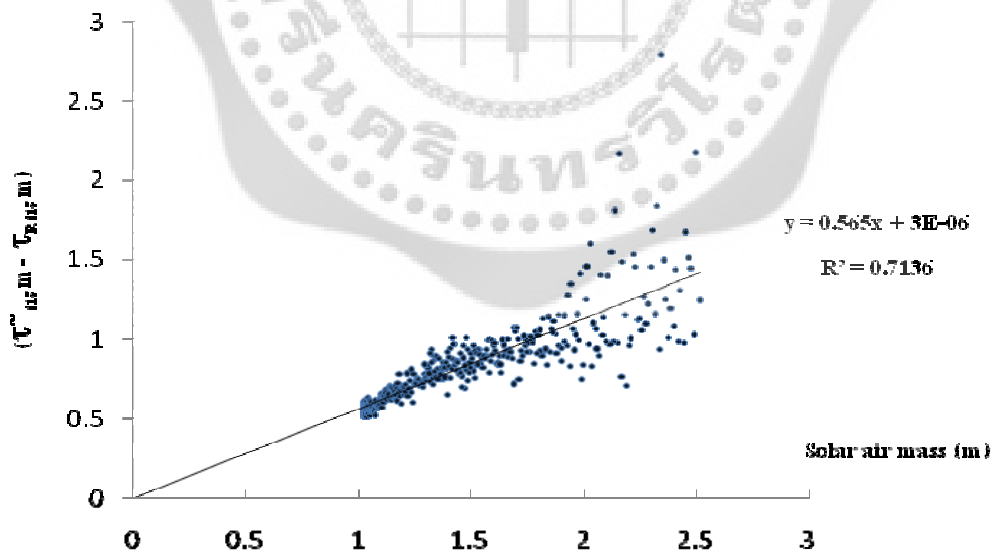
ภาพประกอบ 4.46 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{415 \text{ nm}} - \tau_{R415 \text{ nm}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 26 มกราคม 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.1771  $C_{415}$  เท่ากับ 0.99998 และมีค่า  $q$  เท่ากับ 1.20



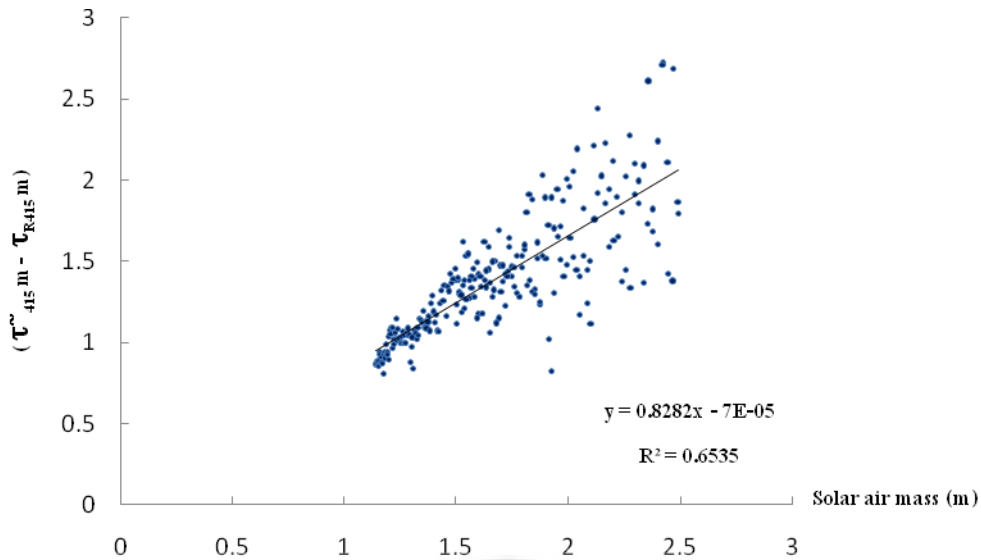
ภาพประกอบ 4.47 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{415 \text{ nm}} - \tau_{R415 \text{ nm}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 1 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.4488  $C_{415}$  เท่ากับ 0.99993 และมีค่า  $q$  เท่ากับ 1.20



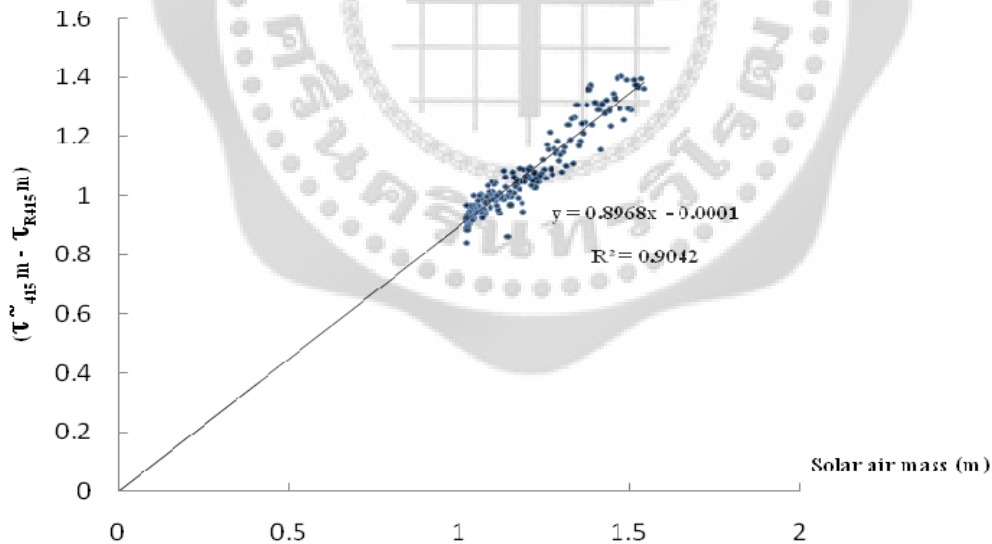
ภาพประกอบ 4.48 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415 \text{ m}} - \tau_{R415 \text{ m}}$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 3 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.2998  $C_{415}$  เท่ากับ 0.99997 และมีค่า  $q$  เท่ากับ 1.20



ภาพประกอบ 4.49 การพล็อตกราฟระหว่างค่า ( $\tau_{415 \text{ m}} - \tau_{R415 \text{ m}}$ ) กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 4 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.565  $C_{415}$  เท่ากับ 0.999997 และมีค่า  $q$  เท่ากับ 1.20



ภาพประกอบ 4.50 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{415\text{ m}} - \tau_{R415\text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 5 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.8282  $C_{415}$  เท่ากับ 1.00007 และมีค่า q เท่ากับ 1.20



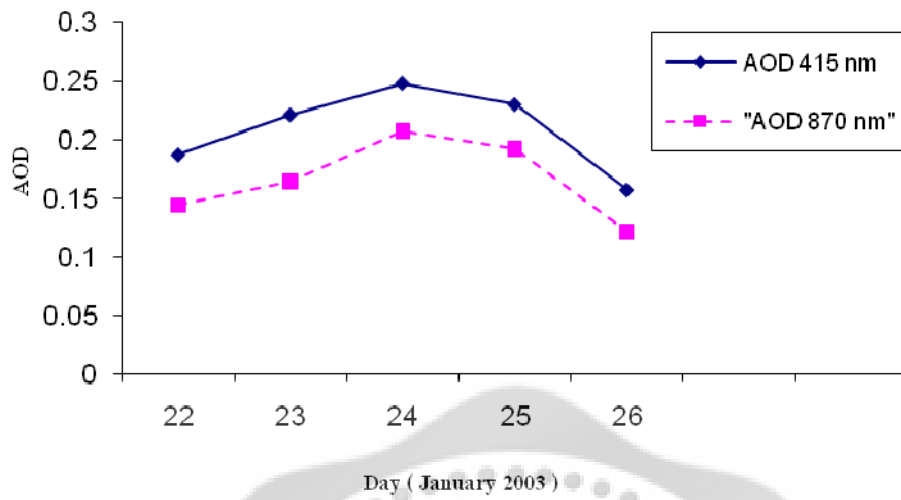
ภาพประกอบ 4.51 การพล็อตกราฟระหว่างค่า  $(\tau_{415\text{ m}} - \tau_{R415\text{ m}})$  กับค่ามวลอากาศเชิงแสง (m) ของวันที่ 7 เมษายน 2546 ได้ค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรเท่ากับ 0.8968  $C_{415}$  เท่ากับ 1.0001 และมีค่า q เท่ากับ 1.20

#### 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยกับวันที่ทดลองและความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของ $\text{NO}_2$ กับวันที่ทดลอง

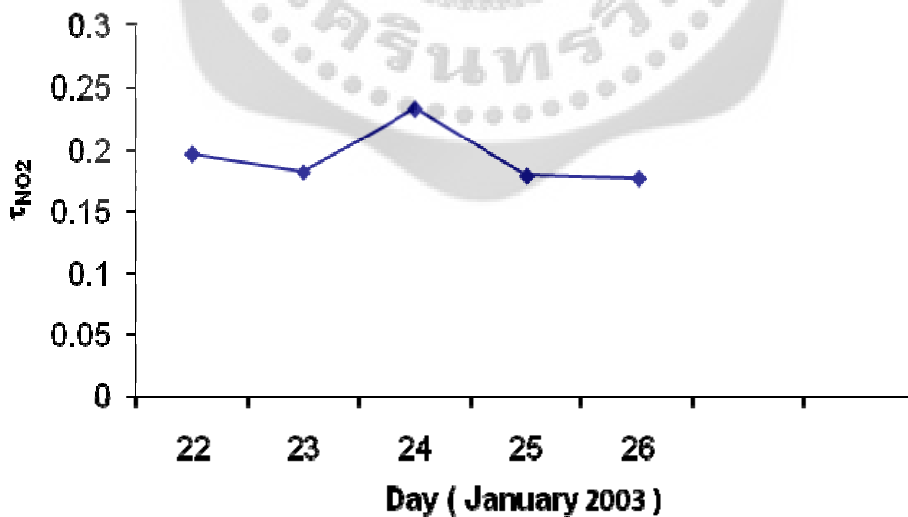
สรุปผลการวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร ( $\tau_{a870}$ ) และค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ( $\tau_{a415}$ ) ค่าคงที่ของการปรับเทียบ ( $C_{870}$  และ  $C_{415}$ ) และค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ( $\tau_{\text{NO}_2}$ ) ของวันที่ทดลอง แสดงดังตาราง 4.1 โดยภาพประกอบที่ 4.52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยของทั้งสองความยาวคลื่นกับวันที่ทดลองในเดือนมกราคมที่เป็นฤดูหนาว ภาพประกอบที่ 4.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  กับวันที่ทดลองในเดือนเดียวกัน สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยของทั้งสองความยาวคลื่นกับวันที่ทดลองในเดือนเมษายนที่เป็นฤดูร้อน และความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  กับวันที่ทดลองในเดือนเดียวกัน แสดงดังภาพประกอบที่ 4.54 - 4.55

ตาราง 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้รายวันที่ทำการทดลอง

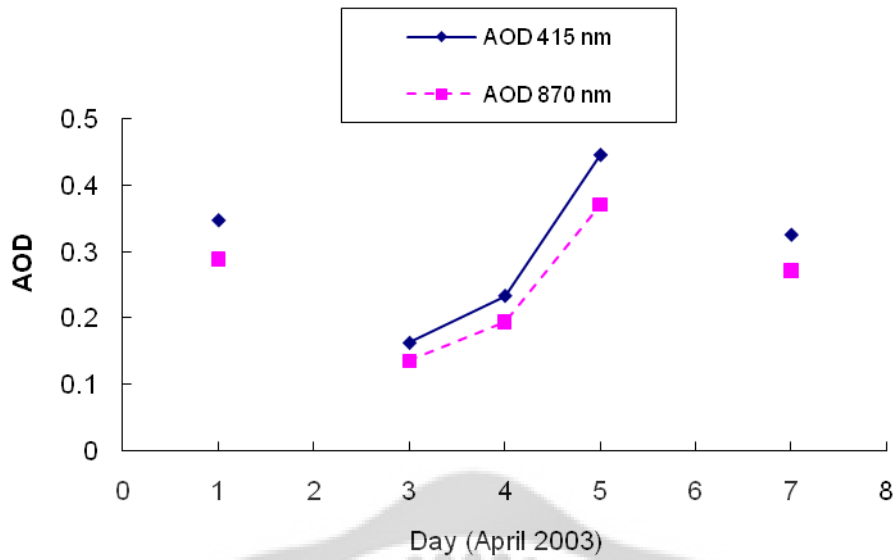
วันในปีพ.ศ. 2546	$\tau_{a870}$	$\tau_{a415}$	$\tau_{\text{NO}_2}$	$C_{870}$	$C_{415}$
22 มกราคม	0.144	0.187	0.197	0.99998	1.00008
23 มกราคม	0.164	0.221	0.182	0.99970	0.99996
24 มกราคม	0.297	0.357	0.234	0.99996	1.00004
25 มกราคม	0.192	0.231	0.179	0.99999	1.00006
26 มกราคม	0.121	0.157	0.177	1.00003	0.99998
1 เมษายน	0.289	0.347	0.449	1.00003	0.99993
3 เมษายน	0.135	0.162	0.300	1.00002	0.99997
4 เมษายน	0.194	0.233	0.565	0.99998	1.00000
5 เมษายน	0.371	0.446	0.828	0.99999	1.00007
7 เมษายน	0.271	0.325	0.897	0.99995	1.00010



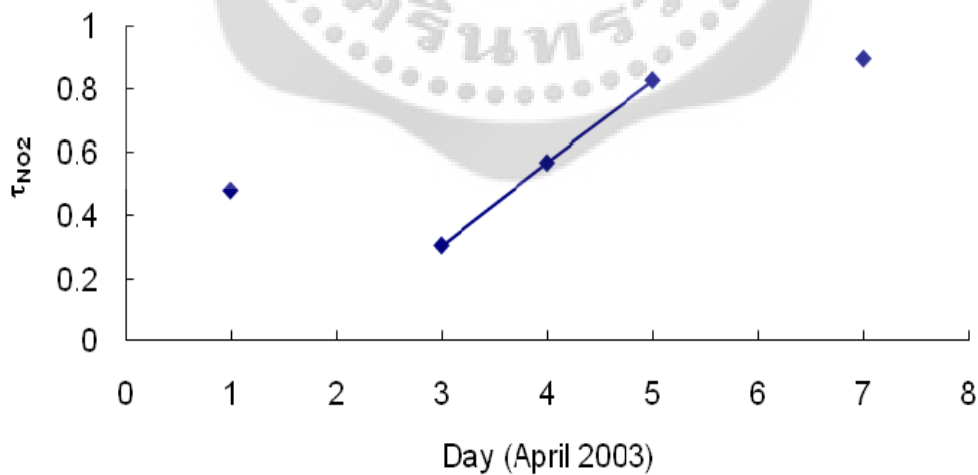
ภาพประกอบที่ 4.52 ความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของละอองลอยของทั้งสองความยาวคลื่น ในวันที่ 22 – 26 มกราคม 2546 ซึ่งเป็นฤดูหนาวในประเทศไทย



ภาพประกอบที่ 4.53 ค่าความลึกเชิงแสงของ NO<sub>2</sub> ในวันที่ 22 – 26 มกราคม 2546 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวในประเทศไทย



ภาพประกอบที่ 4.54 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่เชิงแสงของละอองลอยของทั้งสองความยาวคลื่นในวันที่ 1 เมษายน 2546 3-5 เมษายน 2546 และ 7 เมษายน 2546 ซึ่งเป็นฤดูร้อนในประเทศไทย สำหรับวันที่ 2 และ 6 เมษายน 2546 เป็นวันที่มีเมฆมากจนไม่มีช่วงเวลาที่ท้องฟ้าโปร่งเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์



ภาพประกอบที่ 4.55 ค่าความถี่เชิงแสงของ  $NO_2$  ในวันที่ 1 เมษายน 2546 3-5 เมษายน 2546 และ 7 เมษายน 2546 ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนในประเทศไทย

#### 4.5 ผลการหาค่าอัตรอมเอกซ์โพเนนท์

ค่าอัตรอมเอกซ์โพเนนท์  $\alpha_{415-870}$  รายวันที่หาได้จากสมการ 4-5 แสดงไว้ในตาราง 4.2

$$\alpha = -\ln\left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right) / \ln\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) \quad 4-5$$

โดยให้  $\tau_{870} = \tau_1$  ,  $\tau_{415} = \tau_2$  ,  $\lambda_1 = 870 \text{ nm}$  และ  $\lambda_2 = 415 \text{ nm}$

ตาราง 4.2 ค่าอัตรอมเอกซ์โพเนนท์ ( $\alpha$ ) รายวันที่ทำการทดลอง

วันในปีพ.ศ.2546	$\alpha_{415/870}$
22 มกราคม	0.354
23 มกราคม	0.405
24 มกราคม	0.246
25 มกราคม	0.246
26 มกราคม	0.354
1 เมษายน	0.246
3 เมษายน	0.246
4 เมษายน	0.246
5 เมษายน	0.246
7 เมษายน	0.246

## บทที่ 5

### สรุปผลและวิจารณ์

#### 5.1 สรุปผลและวิจารณ์

จากผลการวิจัยในบทที่ 4 สามารถสรุปผลและวิจารณ์ได้เป็นประเด็นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

5.1.1 โดยวิธีทดสอบการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนการแพร่แบบปกติ ดังภาพประกอบที่ 4.1 - 4.11 สามารถแสดงให้เห็นว่าท้องฟ้าในแต่ละเวลาและในแต่ละวันมีลักษณะโปร่งหรือไม่/อย่างไร ซึ่งจะเห็นได้ว่าในเดือนเมษายนซึ่งเป็นฤดูร้อนในประเทศไทยมักจะมีมรสุมฤดูร้อนที่ทำให้อากาศร้อนอบอ้าว และเกิดฝนตกบ่อยครั้ง ดังนั้นท้องฟ้าส่วนใหญ่ของวันในเดือนเมษายนจึงมีท้องฟ้าที่ค่อนข้างมีเมฆวันที่มีท้องฟ้าโปร่งหายได้ยากกว่าวันที่ทำการทดลองในเดือนมกราคมที่เป็นฤดูหนาว และจะเห็นได้จากภาพประกอบที่ 4.10 - 4.11 ของวันที่ 5 เมษายน 2546 และ 7 เมษายน 2546 ตามลำดับ ซึ่งเป็นวันที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก โดยเฉพาะวันที่ 7 เมษายน 2546 ที่ต้องตัดข้อมูลตอนบ่ายทิ้งทั้งหมดเนื่องจากท้องฟ้ามีเมฆมากทำให้เหลือเฉพาะข้อมูลในตอนเช้าเท่านั้น ซึ่งนับว่าทั้งสองวันมีปริมาณข้อมูลที่เหลือเพื่อการวิเคราะห์น้อย

5.1.2 โดยใช้การวิเคราะห์แบบแลงเลียร์และเทคนิคการวิเคราะห์แบบถดถอย สรุปโดยรวมสำหรับข้อมูลการวิจัยนี้ได้ค่าเฉลี่ยของรากกำลังสอง (Root Mean Square :  $R^2$ ) มากกว่า 0.8 ยกเว้นบางวันที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก เช่น บางวันในเดือนเมษายน 2546 ที่ได้  $R^2$  น้อยกว่า 0.8 ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นในหัวข้อ 5.1.1 นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเป็นวันที่ 25 มกราคม 2546 ที่ท้องฟ้าในช่วงเช้าและช่วงบ่ายมีความแตกต่างกันมาก ทำให้ได้ค่า  $R^2$  ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบแลงเลียร์ของข้อมูลที่วัดได้ตลอดวันมีค่าต่ำมาก ดังภาพประกอบที่ 4.25 4.35 และภาพประกอบที่ 4.45 แต่ผลการวิเคราะห์ค่าความลึกเชิงแสง และค่าองศาตอมเอกซ์โพเนนซ์  $\alpha_{415/870}$  ที่หาได้ยังคงมีค่าที่สอดคล้องกันกับผลของวันอื่นๆ

5.1.3 จากตาราง 4.1 จะเห็นได้ว่าค่าคงที่ของการเปรียบเทียบเครื่องมือ  $C_{870}$  และ  $C_{415}$  มีค่าเท่ากับ 1 ทั้งหมดแสดงให้เห็นถึงการติดตั้งเครื่องมือได้ดี ทำให้ข้อมูลการวัดมีค่าค่อนข้างเสถียรและน่าเชื่อถือต่อการนำมาวิเคราะห์ผล

5.1.4 เมื่อพิจารณาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรโดยมีการลดทอนลงเนื่องจากความลึกเชิงแสงของ  $NO_2$  และความลึกเชิงแสงของการกระเจิงเรย์ลี ทำให้ได้ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่นนี้น่าเชื่อถือมากขึ้น ดังนั้นเมื่อนำมาหาค่าองศาตอม

เอกซ์โพเนนซ์  $\alpha_{415/870}$  ของแต่ละวันก็น่าจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่น่าจะเป็นมากขึ้น โดยพิจารณาจากตาราง 4.2 สามารถกล่าวได้ว่าค่า  $\alpha_{415/870}$  มีค่าค่อนข้างต่ำที่บ่งบอกว่าละอองลอย ณ อำเภอศรีสำโรง ในช่วงเวลาดังกล่าวมีขนาดค่อนข้างใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าองศาการดูดกลืนของเอกซ์โพเนนซ์ที่มักพบในตัวเมืองที่มีละอองลอยแบบควันเขม่าจากรถยนต์หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่าค่อนข้างสูงและมีค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่สูงด้วย จึงอาจกล่าวได้ว่าละอองลอยที่อำเภอศรีสำโรงเป็นละอองลอยของฝุ่นดินที่มีขนาดใหญ่กว่าละอองลอยในเมือง และอาจมีการเผาไหม้ชีวมวล (Biomass Burning) ที่เป็นกิจกรรมประจำวันของชาวบ้านในท้องถิ่นที่ทำให้มีละอองลอยแบบคาร์บอนดำที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของควันเขม่า ซึ่งเป็นไปตามลักษณะของภูมิประเทศบริเวณดังกล่าวที่เป็นพื้นที่ชนบทที่มีอาชีพเกษตรกรรม นอกจากนี้ประเทศไทยยังมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งทำให้เกิดการการโตขึ้นของขนาดของละอองลอยด้วย ดังจะเห็นได้ว่าวันที่ 24 มกราคม 2546 ความลึกเชิงแสงของละอองลอย และความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  มีค่าสูงกว่าวันอื่นในเดือนเดียวกัน และในวันที่ 4-7 เมษายน 2546 ก็เป็นในทำนองเดียวกัน แต่ค่า  $\alpha_{415/870}$  ก็ไม่ได้มีค่าแตกต่างกับวันอื่นๆ จึงแสดงให้เห็นว่าลักษณะของละอองลอยเป็นประเภทเดียวกันเพียงแต่ว่าในวันนั้นอาจมีความหนาแน่นของละอองลอยและแก๊ส  $\text{NO}_2$  ในบรรยากาศสูงกว่าวันอื่น

5.1.5 ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยในเดือนเมษายนมีค่าสูงกว่าเดือนมกราคมเล็กน้อย อาจเป็นผลมาจากละอองลอยในฤดูร้อนของประเทศไทยที่มีอากาศร้อนแห้งจึงทำให้ละอองลอยมีความหนาแน่นสูง

5.1.6 สำหรับการวิเคราะห์ความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ด้วยเทคนิคดังกล่าวนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยของรากกำลังสอง  $R^2$  ในการปรับเส้นกราฟด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบถดถอยมีค่าไม่น้อยกว่า 0.7 ยกเว้นวันที่ 25 มกราคม และ 5 เมษายน 2546 ที่ได้ค่า  $R^2$  ต่ำกว่า 0.7 เพียงเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากผลที่ได้กล่าวในหัวข้อ 5.1.1

5.1.7 ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ทำให้ได้ข้อมูลของค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรโดยมีการลดทอนลงเนื่องจากความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  และความลึกเชิงแสงของการกระเจิงเรย์ลี ที่มีค่าถูกต้องมากขึ้น และสามารถใช้เป็นข้อมูลที่แสดงลักษณะของละอองลอยและปริมาณของ  $\text{NO}_2$  ในบรรยากาศของประเทศไทยต่อไปได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัย

5.2.1 ผลที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นได้ว่าการใช้เทคนิคในการวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  นี้สามารถนำไปสู่การหาปริมาณของ  $\text{NO}_2$  ในบรรยากาศของประเทศไทยได้ เมื่อ

ทราบค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรของ  $\text{NO}_2$  และขณะเดียวกันก็ได้ค่าความ  
ลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรที่ละเอียดมากขึ้นกว่าข้อมูลจาก AERONET  
ที่ไม่มีการสกัดเอาค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  ที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรออกไป ทำให้ค่าความ  
ลึกเชิงแสงของละอองลอยที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตรใน AERONET สูงเกินค่าที่ถูกต้อง ซึ่งมีผล  
ต่อการหาค่าออสโตรมเอกซ์โพเนนท์  $\alpha_{415/870}$  ที่ถูกต้องด้วย

5.2.2 เทคนิคในการวิเคราะห์หาค่าความลึกเชิงแสงของ  $\text{NO}_2$  นี้ สามารถนำไปใช้ในการหาค่า  
ความลึกเชิงแสงของโอโซน ( $\text{O}_3$ ) หรือหาปริมาณโอโซนในบรรยากาศของประเทศไทยต่อไป โดยไม่ต้อง  
ใช้เครื่องวัดโอโซนโดยเฉพาะก็ได้ แต่ใช้เทคนิคนี้ในการวิเคราะห์ค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยที่  
ความยาวคลื่นอื่นๆ ที่ถูกดูดกลืนได้ดีด้วยโอโซน และขณะเดียวกันก็จะได้ค่าความลึกเชิงแสงของละออง  
ลอยที่ความยาวคลื่นเหล่านั้นด้วย ซึ่งนำไปสู่การได้ข้อมูลสเปกตรัม (Spectrum) ของค่าความลึกเชิง  
แสงของละอองลอยในประเทศไทยที่ละเอียดกว่าข้อมูลจาก AERONET

5.2.3 สำหรับเทคนิคในการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้พบว่า การวิเคราะห์จะให้ค่าถูกต้องน่าเชื่อถือ  
เมื่อข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ต้องเป็นข้อมูลที่ได้จากสภาพบรรยากาศเป็นท้องฟ้าโปร่งที่ดี ความเข้มของ  
รังสีดวงอาทิตย์จึงไม่ควรถูกลดทอนโดยเมฆ ดังนั้นการตัดข้อมูลที่มีเมฆออกจึงเป็นวิธีการที่นับว่าสำคัญ  
ยิ่ง และการที่มีข้อมูลในการวิเคราะห์น้อยเกินไปก็ทำให้การวิเคราะห์ได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ดังเห็นได้จาก  
ค่าเฉลี่ยของรากกำลังสอง  $R^2$  ที่ได้จากการวิเคราะห์แบบถดถอย

## บรรณานุกรม

- C. N. Long et al. (2000) Identification of Clear Skies from Broadband Pyranometer Measurements and Calculation of Downwelling Shortwave Cloud Effects. *J. of Geophysical Research* **105**, pp.15609-15626.
- [http://en.wikipedia.org/wiki/optical\\_depth.html](http://en.wikipedia.org/wiki/optical_depth.html). Accessed March 26, 2009.
- <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/grad/bodyframe.html>. Accessed November 1, 2010
- I. Behnert, V. Matthias and R. Doerffer (2004) Aerosol Optical Thickness and Its Spectral Dependence Derived from Sun Photometer Measurements over the Southern North Sea Coastal Region, *Optica Puray Y Aplicada*, **37**(3), pp. 3253-3258.
- J. E. Kim et al. (2006) Spectral Aerosol Optical Depth Variation with Different Types of Aerosol at Gwangju, Korea. *J. of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, **68**, pp.1609-1621.
- M. D. Alexandrov, A. A. Lacis, B. E. Carlson, and B. Cairns (2002) Remote Sensing of Atmospheric Aerosols and Trace Gases by Means of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer, Part I: Retrieval Algorithm, *J. of Atmos. Sci.* **59**, pp.524-543.
- R. M. Measures (1984) **Laser Remote Sensing: Fundamentals and Applications**, John Wiley & Sons, Inc., p. 2.
- S. Janjai et al. (2003) Determination of Angstrom's Turbidity Coefficient over Thailand. *Renewable Energy* **28**, pp.1685-1700.
- T. D. Frank et al. (2007) The Spatial and Temporal Variability of Aerosol Optical Depths in the Mojave Desert of Southern California. *Science Direct, Remote Sensing Environment* **107**, pp.54-64.
- Yankee Environmental Systems Inc. (2000) MRF-7 Rotating Shadowband Radiometer: Installation and User Guide, Version 2.10.

# ประวัติย่อคณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์

และ

รองศาสตราจารย์อรุณีย์ อินทศร

## หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-สกุล ศิริลักษณ์ เรืองรุ่งโรจน์ (Ms Siriluk RUANGRUNGROTE)  
ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์ (พฤษภาคม 2539 – กันยายน 2551)  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ระดับ 8 (ตุลาคม 2551 – ปัจจุบัน)  
ที่ทำงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
สุขุมวิท 23 เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110  
โทรศัพท์ 0-2664-1000 ต่อ 8553 โทรสาร 0-2664-1000 ต่อ 8551  
E-mail sirilukr@swu.ac.th

ประวัติการศึกษา 2536 Bachelor of Science in Physics  
Srinakharinwirot University, Bangkok, Thailand  
2542 Certificate of Attendance 36<sup>th</sup> Culham Plasma Physics  
Summer School UKAEA, St Edmund Hall, Oxford University,  
United Kingdom  
2544 Master of Philosophy in Physics  
University of Warwick, Coventry, United Kingdom  
วิทยานิพนธ์ Large Amplitude Electron Oscillations in A Warm Plasma.  
ความเชี่ยวชาญ Plasma Physics, Nonlinearity, Hamiltonian and Classical Mechanics, Chaos,  
Geophysics, Atmospheric Science, Computational Physics and Science Education  
สถานะทางวิชาชีพ สมาชิก Institute of Physics, United Kingdom  
สมาชิกเครือข่ายการพัฒนาวิชาชีพอาจารย์และองค์กรระดับอุดมศึกษา  
แห่งประเทศไทย: ควอท

### งานวิจัย

โครงการวิจัย	สาขา	สถานภาพ	ระยะเวลา
1. Developing the Academic Evaluation System Based on Teaching Feedback Evaluation Form.	การศึกษา	หัวหน้าโครงการ	2545-2547
2. การศึกษาผลสัมฤทธิ์กระบวนการเรียนรู้ของหลักสูตรการศึกษามหาบัณฑิตสาขาวิทยาศาสตร์ศึกษา(แผน ข) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	การศึกษา	ผู้ร่วมวิจัย	2548-2549
3. Mie Scattering Lidar for the Study of Aerosols Vertical Profiles in Thailand	Geophysics	หัวหน้าโครงการ	2550 - 2551

โครงการวิจัย	สาขา	สถานภาพ	ระยะเวลา
4. การศึกษาค่าความลึกเชิงแสงของละอองลอยและไนโตรเจนตลอดคอลัมน์ของชั้นบรรยากาศที่ความยาวคลื่น 415 นาโนเมตร ณ อำเภอศรีสำโรง จังหวัดสุโขทัย ด้วยเครื่องเรดิโอมิเตอร์เชิงแสง	Geophysics	หัวหน้าโครงการ	ธันวาคม 2552 – พฤศจิกายน 2553
5. Study of Lidar Ratio Effect on Aerosol and Cloud Backscattering Coefficients in Thailand Using Mie Scattering Lidar	Geophysics	หัวหน้าโครงการ	มีนาคม 2553 – กุมภาพันธ์ 2554
6. Retrieval Algorithm of Spectral Dependence of Aerosol Optical Depth in Climate Studies at Srisamrong District of Sukhothai Province Using Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer (MFR-7)	Geophysics	ผู้ร่วมวิจัย (มี.ค.-ก.ย.53) หัวหน้าโครงการ (ต.ค.53-ก.พ.54)	มีนาคม 2553 – กุมภาพันธ์ 2554

#### ตำรา/เอกสารประกอบการสอน:

1. เอกสารประกอบการสอนวิชา วษ 533 แรงและพลังงาน (เรื่องพลังงานความร้อน และการใช้พลังงาน)
2. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 100 ฟิสิกส์ทั่วไป (เรื่องสมบัติของสสารและเทอร์โมไดนามิกส์)
3. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 371 ภาษาอังกฤษสำหรับฟิสิกส์ 1
4. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 372 ภาษาอังกฤษสำหรับฟิสิกส์ 2
5. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 312 กลศาสตร์ 2
6. หนังสือฟิสิกส์พลาสมาเบื้องต้น (ISBN 978-974-258-396-5)
7. เอกสารประกอบการสอนวิชา ฟส 211 กลศาสตร์ (ครึ่งหลัง)
8. เอกสารประกอบการสอนวิชา วทอ 302 ภาษาอังกฤษสำหรับวิทยาศาสตร์ 2

#### ผลงานตีพิมพ์

##### Scientific Journals:

1. S. Ruangrungrrote, E. Erhim, and A. Intasorn, Quantitative Elemental Analysis of Smoke Samples Using Wavelength Dispersive X-RAY Fluorescence Spectrometer. *KMITL International Science Journal*, Vol. 6(1), 2006, pp. 106-112. (Impact Factor 0.023, TCI 2006)
2. S. Ruangrungrrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, Observation of Tropospheric Aerosol Using Mie Scattering LIDAR at Srisamrong, Sukhothai Province. *Naresuan University Science Journal*, Vol. 4(1), 2007, pp. 25-30. (Impact Factor 0.024, TCI 2006)

3. S. Ruangrungrrote, A. Intasorn, J. Sindermsuk and M. Attasongkroah, **The Feasibility of GasPak Envelope Production for Anaerobic Bacterial Cultivation**. *Thammasat International Journal of Science and Technology*. Vol. 13(3), 2008. pp. 1-7. (Impact Factor 0.031, TCI 2006)
4. S. Ruangrungrrote and A. Intasorn, **Physical Description of the Apparent Color of Glass Samples as an Undergraduate**. *KMITL International Science Journal*. Vol. 8(1), 2008, pp. 51-54. (Impact Factor 0.023, TCI 2006)
5. S. Ruangrungrrote, A. Intasorn and J. Sindermsuk, **Gas Analyses of Anaerobic or Microaerophilic Generating Systems Using Gas Chromatography**. *J. Met. Mater. Miner.* Vol. 18(2), 2008, pp. 13-16. (Impact Factor 0.102, TCI 2007)
6. S. Ruangrungrrote, A. Intasorn, A. Rungjang and A. Chabangbon, **Two Approaches of Tropospheric Aerosol Volume Backscattering Coefficient Determination Using Mie Scattering LIDAR in Sukhothai**. *KMUTT Research and Development J.* 32, 2009, pp. 77-87. (Impact Factor 0.044, TCI 2008)
7. S. Ruangrungrrote, A. Chitchaeng, A. Intasorn and A. Chabangbon, **Clear Sky Fitting of Multifilter Rotating Shadowband Radiometer Data for Aerosol Optical Depth Determinations**. *Naresuan University Science Journal*, Vol. 6(1), 2009, pp. 1-9. (Impact Factor 0.036, TCI 2008)
8. S. Ruangrungrrote, W. Srisongpleay and, A. Intasorn. **Retrieval Algorithm of Total Atmospheric Column Nitrogen Content Using Multi-Filter Rotating Shadowband Radiometer in Thailand**. *Khon Kaen University Science Journal*, Vol. 2(38), 2010, pp. 261-270. (Impact Factor 0.033, TCI 2008)

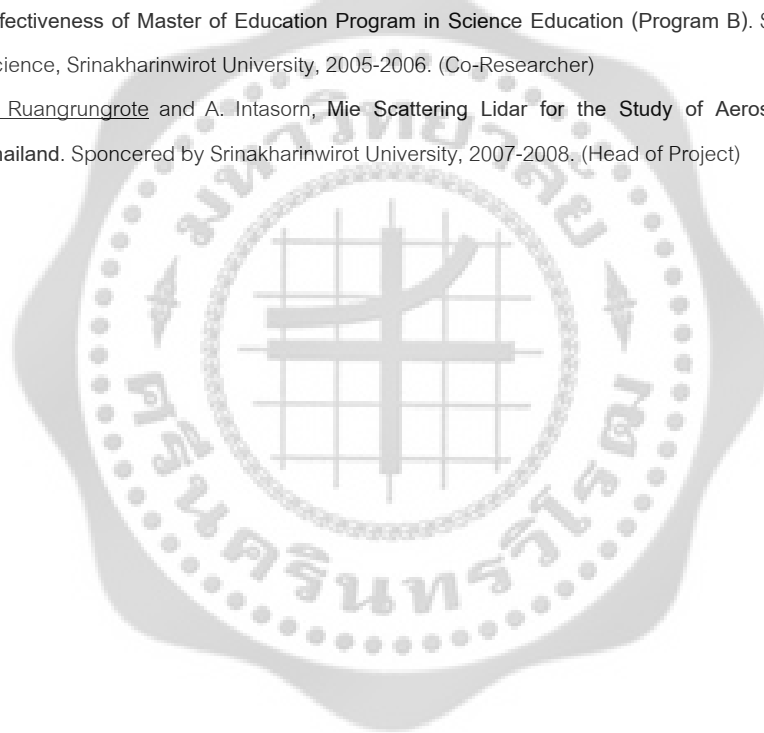
#### Conference Papers:

1. S. Ruangrungrrote and K. Jaroensutasinee. **Quantum Chaos of Excited Hydrogen Atoms in Strong Magnetic Field**. Poster presented in The 22<sup>nd</sup> Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand. 1996.
2. S. Ruangrungrrote, A. Intasorn, S. Taveeta and M. Hengwattana **The Study of Quantitative X-RAY Fluorescence Analysis under The Influence of Fraction Binder in Zircon Pellets**. Proceedings of The 30<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand. 2004.
3. S. Ruangrungrrote, A. Intasorn and S. Songsom, **The Wavelength Dispersive X-RAY Fluorescence Analysis in Thick Emulsion Paint Film Specimens**. Proceedings of The 30<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand. 2004.
4. S. Ruangrungrrote, A. Chabangbon and A. Intasorn, **Troposphere Atmospheric Observation by Mie Scattering Lidar at Srisamrong, Sukhothai Province**. Proceedings of The 32<sup>nd</sup> Congress on Science and Technology of Thailand. Bangkok, Thailand, 2006.
5. P. Khumkhom, S. Ruangrungrrote and S. Angkaew, **A Construction of Low Cost Electrospinning Equipment**. Proceedings of The 2<sup>nd</sup> International Conference on Advances in Petrochemicals and Polymers (ICAPP 2007). Bangkok, Thailand, 2007.
6. S. Ruangrungrrote and A. Intasorn, **Experimental Design of Project Task for Undergraduate Students to Elucidate Their Conceptual Physics Knowledge**. Proceedings of ICASE Asian Symposium 2007. Chonburi, Thailand, 2007.
7. S. Ruangrungrrote and A. Intasorn, **Problem-Based Learning for Graduate Student in Science Education Program**. Proceedings of ICASE Asian Symposium 2007. Chonburi, Thailand, 2007.

8. S. Ruangrungrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, **Retrieval of Instantaneous Aerosol Optical Depths from MFR-7 and Mie Lidar dataset at Sukhothai Province, Thailand**. Proceedings of International Symposium on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes: GREAT 2008 (Special Issue of Bulletin of Earth Sciences of Thailand). Bangkok, Thailand, 2008.
9. S. Ruangrungrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, **Tropospheric Aerosol Volume Backscattering Coefficients Determination Using Mie Lidar at Phimai District, Thailand**. Proceedings of International Symposium on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes: GREAT 2008 (Special Issue of Bulletin of Earth Sciences of Thailand). Bangkok, Thailand, 2008.

**Reports:**

1. S. Ruangrungrote, N. Phinichka, A. Intasorn, and O. Jeerapong, **Developing the Academic Evaluation System Based on Teaching Feedback Evaluation Form**. Sponcered by Srinakharinwirot University, 2002-2004. (Head of Project)
2. A. Intasorn, D. Sakdee, S. Chainakul, S. Wongboonnak and S. Ruangrungrote, **Learning-Process-Effectiveness of Master of Education Program in Science Education (Program B)**. Sponcered by Faculty of Science, Srinakharinwirot University, 2005-2006. (Co-Researcher)
3. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, **Mie Scattering Lidar for the Study of Aerosols Vertical Profiles in Thailand**. Sponcered by Srinakharinwirot University, 2007-2008. (Head of Project)



## ผู้ร่วมวิจัย

**Name :** Arunee S. Intasorn (Associate Professor)

**Present Position :** Independent Scholar

Tel. Mobile: 06-0483382 Email : thiparun225@yahoo.com

**Residence :** 225/145 Soi Sithichai Krungtep-Nontaburi Rd., Bangsue , Bangkok 10800 Thailand

Tel. (66) 0-2586-0307

**Education :**

B.Sc (Physics) Chulalongkorn University, Bangkok Thailand (1972.)

M.Sc. (Physics) Chulalongkorn University (1976.)

Certificate in Neutron Physics , IAEA , (1987.)

M.S. (Physics) University of Illinois at Chicago, U.S.A. (1992.)

**Academic Responsibility :**

Lecturer Physics Department Khon Kaen University 1972 - 1979

Lecturer Physics Department Srinakharinwirot University 1979 - 1982

Assistance Professor Physics Department Srinakharinwirot University 1982 - 1986

Associate Professor Physics Department Srinakharinwirot University 1986 – September 2010

**Fellowships :**

International Center of Theoretical Physics (ICTP) Trieste , Italy	Participant in Winter Colleges on Advances in Nuclear Data for Reactor Application	1982 (Jan-Mar)
IAEA Fellowship: Sweden	Training in Nuclear Physics Work	1983 (9 months)
ICTP , Italy	Participant in Workshop on Application in Nuclear Data and Reactor Physics	1986 (Feb-Mar)
IAEA Fellowship: Argonne National Laboratory U.S.A.	Training in Research Work	(1987) (15 months)
Teaching Assistantship: University of Illinois at Chicago , U.S.A.	Graduate Student	1990-1992
ICTP, Italy	Workshop on Nuclear Reaction Data And Nuclear Reactors : Physics , Design and Safety	1998 (Feb-Mar)
Institute of Nuclear Research Debrecen , Hungary	Training in the application of group theoretical methods in Nuclear Structure Studies	1998 (3 weeks)
Hokkaido University, Sapporo Japan	Theoretical Nuclear Physics Visitor in Cluster-Cluster Interaction	1999 (3 weeks)
TASEAP Fellowship: University of New South Wales, Australia	Training in Materials Science	2000 (March-May)

Maori, Italy	The 7 <sup>th</sup> International Spring Seminar on Nuclear Physics	2001 (27-31 May)
Paris, France	International Conference on Theoretical Physics	2002 (22-27 July)
CRN, Ministry of University Affairs, Thailand: IUCr, Geneva Switzerland	XIX Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography	2002 (6-15 August)

**Experience :**

Teaching :

General Physics  
Mathematics for Physicists  
Quantum Mechanics  
Nuclear Physics  
Waves  
Advanced Physics Laboratory  
Basic Physics Laboratory  
X-ray Crystallography

Research :

Gamma-Rays Spectroscopy  
Neutron-Activation Analysis  
Threshold-Detector Technique  
Monte Carlo Calculation  
Theoretical Nuclear Physics:  
Investigation of Nuclear Clusterization and Fission  
X-rays Fluorescence Analysis  
X-ray Diffraction Analysis  
Spectral Analysis  
Geophysics ( Atmospheric Science)

**Administrative responsibilities :**

Head of the Physics Department 1995 – 2000  
Deputy Dean of Academic Affairs 2001 - 2005

**Affiliation to academic Societies :**

Member of Thai Institute of Physics.  
Member of Nuclear Society of Thailand.  
Member of Professional & Organizational Development Network of Thailand Higher Education (Thai COD Network)

**Publication :**

Books in Thai language :

1. Arunee Sangariyavanish, Introduction to Quantum Mechanics..
2. Arunee Sangariyavanish, Nuclear Physics.
3. Arunee Sangariyavanish, Quantum Mechanics.
4. Arunee Sangariyavanish, Mathematics for Physicists.

5. Arunee Intasorn, Nuclear Technology.

**Scientific journals:**

1. A.Sangariyavanish, *THE DETERMINATION OF LOW CONCENTRATIONS OF URANIUM IN COAL FLY ASH BY ITNAA*, Srinakharinwirot University Science Journal, Vol. 1, No.2, Dec. 1985, p.98-102.
2. B. Ekstrom, B. Fogelberg, P.Hoff, E.Lund and A. Sangariyavanish, *DECAY PROPERTIES OF <sup>75-80</sup>Zn AND Q<sub>β</sub> - VALUE OF NEUTRON-RICH Zn AND Ga ISOTOPES*, Physica Scripta, Vol.34, No.6A, December 1986, p.614-623.
3. K. Nittayasutti, A. Intasorn and V. Teeyasoontranont, *MEASUREMENT OF 14 MeV NEUTRON SPECTRUM WITH THRESHOLD DETECTORS*, Srinakharinwirot University Science Journal, Vol. 3, No.2, Dec. 1987, p.115-121.
4. A. Udorn, A. Sangariyavanich and A. Intasorn, *QUANTITATIVE ANALYSIS OF TETRAGONAL PHASE IN BARIUM ZIRCONIA BY X-RAY DIFFRACTION*, Srinakharinwirot University Science Journal, Vol. 13, No.1, Jan. 1997, p.10-16.
5. A. Intasorn, *THE SEMIMICROSCOPIC ALGEBRAIC CLUSTER MODEL OF ATOMIC NUCLEI*, Srinakharinwirot University Science Journal, Vol.15, No.1, 1999, p.55.
6. A. Intasorn, N. Witit-anan and M. Haengwattana, *COPPER THIN FILM THICKNESS MEASUREMENT USING X-RAY DIFFRACTOMETER AND X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER*, Science International, Pakistan, Vol. 14(4), 2002, p.279.
7. A. Intasorn and M. Haengwattana, *Synthesis of Calibration Standard sets for Quantitative X-ray Fluorescence Analysis in Slag*, J.of KMITL, Vol.13, No.3, 2005, p.39-46.
8. S. Ruangrungrate, E. Erhim and A. Intasorn, *QUANTITATIVE ELEMENTAL ANALYSIS OF SMOKE SAMPLES USING WAVELENGTH DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER*, KMITL Sci. J. Vol. 6, No.1, 2006, p. 106-112.
9. S. Ruangrungrate, A. Intasorn, and A. Chabangbon, *OBSERVATION OF TROPOSPHERIC AEROSOL USING MIE SCATTERING LIDAR AT SRISAMRONG, SUKHOTAI PROVINCE*, NU Science Journal, 2007,4(1), p. 25-30.
10. S. Ruangrungrate, A. Intasorn, J. Sindermsuk and M. Attasongkroah, *THE FEASIBILITY OF GASPAC ENVELOPE PRODUCTION FOR ANAEROBIC BACTERIA CULTIVATION*, Thammasat International Journal of Science and Technology, 2008, Vol.13, No. 3, p. 1-7.
11. A. Intasorn, S. Sathaphon and B. Silskulsuk, *DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TWO-DIRECTION ROTATIONAL MOTION MEASUREMENT DEVICE*, KMITL Science Journal, 2008, Vol.8, No.1, p. 19-23.
12. S. Ruangrungrate and A. Intasorn, *PHYSICAL DESCRIPTION OF THE APPARENT COLOR OF GLASS SAMPLES AS AN UNDERGRADUATE PROJECT*, KMITL Science Journal, 2008, Vol.8, No.1, p. 51-54.
13. S. Ruangrungrate, A. Intasorn, A. Rungjang and A. Chabangbon, *TWO APPROACHES OF TROPOSPHERIC AEROSOL VOLUMN BACKSCATTERING COEFFICIENT DETERMINATION USING MIE SCATTERING LIDAR IN SUKHOTHAI*, KMUTT Research and Development J, 2009, Vol.32, No.1, p. 78-87.
14. S. Ruangrungrate, A. Chitchaeng, A. Intasorn and A. Chabangbon, *CLEAR SKY FITTING OF MULTIFILTER ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER DATA FOR AEROSOL OPTICAL DEPTH DETERMINATIONS*, Naresuan University Science Journal, Vol. 6(1), 2009, p. 1-9.
15. S. Ruangrungrate, W. Srisongpleay and A. Intasorn. *RETRIEVAL ALGORITHM OF TOTAL ATMOSPHERIC COLUMN NITROGEN CONTENT USING MULTIFILTER ROTATING SHADOWBAND RADIOMETER IN THAILAND*, Khon Kaen University Science Journal, Vol. 2(38), 2010, p. 261-270.

**Conference papers :**

1. E. Lund, K. Aleklette, B. Fogelberg and A. Sangariyavanish, *TOTAL  $\beta$ -DECAY ENERGIES OF NEUTRON-RICH ZINC ISOTOPES A=75-80*, Proc. AUCO-7 conference Darmstadt, 3-7 September 1984, p.102-111.
2. A. Intasorn, K. Nittayasutti and V. Teeyasoontranont, *MONTE CARLO CALCULATION OF PEAK EFFICIENCIES OF HIGH PURITY GERMANIUM DETECTOR*, Proc. 12<sup>th</sup> Conference on Science and Technology of Thailand, 20-22 Oct. 1986, p.96-97.
3. M. Hengwattana , S. Kweangsopa and A. Intasorn , *A PROMPT GAMMA-RAY NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS FOR QUANTITATIVE POTASSIUM DETERMINATION*, Proc. 23<sup>rd</sup> Conference on Science and Techology of Thailand, 1997, p.1046.
4. J. Cseh, G. Levai, A. Intasorn, K. Kato, A. Lepine-szily, M.S. Hussein and R. Lichtenthaler, *CLUSTERS, SYMMETRIES, AND PREDICTIONS*, Proc.7<sup>th</sup> Int. conf. on Clustering Aspects of Nuclear Structure and Dynamics, Rab, Croatia, 1999, p.89-93.
5. J. Cseh, A. Intasorn and K. Kato, *ON THE SHELL MODEL CONNECTION OF THE CLUSTER MODEL*, Abstract for the meeting of the Japanese Physical Society, Program book p.19, 1999.
6. A. Intasorn, J. Cseh, G. Levai and K.Kato, *ALGEBRAIC DESCRIPTION OF THE CORE-PLUS-ALPHA-PARTICLE CLUSTER STATES OF THE <sup>44</sup>Ti NUCLEUS*, Proc. of the 7<sup>th</sup> International Spring Seminar on Nuclear Physics, Maiori, Italy, 2001, p. 311-317.
7. A. Intasorn, N. Witit-anun, M. Haengwattana and C. Thawornthira, *THE FEASIBILITY SURVEY OF Cu THIN FILM THICKNESS MEASUREMENT BY X-RAY DIFFRACTION ANALYSIS*, Proc. 27<sup>th</sup> Conference on Science and Technology of Thailand, 2001, p. 297.
8. A. Intasorn, W. Sunghirun and M. Haeangwattana, *QUANTITATIVE ANALYSIS OF TRACE ELEMENTS IN SOIL USING WAVELENGTH-DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE SPECTROMETER*, Proc. 40<sup>th</sup> Kasetsart University Annual Conference, Thailand, 2002, p.236-241.
9. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, S. Taweeta, M. Hengwattana, *THE STUDY OF QUANTITATIVE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS UNDER THE INFLUENCE OF FRACTION BINDER IN ZIRCON PELLETS*, Proc. 30<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, 2004, p. 148.
10. S. Ruangrungrote, A. Intasorn, and S. Songsom, *THE WAVELENGTH DISPERSIVE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS IN THICK EMULSION PAINT FILM SPECIMENS*, Proc. 30<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, 2004, p. 150.
11. W. Keankeo, T. Chuaytukpuan, and A. Intasorn, *THE IDENTIFICATION ON THE COMPONENTS OF CLAY MINERALS IN CLAY SAMPLES UTILIZED FOR CONVENTIONAL CERAMICS WORKS BY X-RAY DIFFRACTION TECHNIQUE*, Proc. 30<sup>th</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, 2004, p. 165.
12. S. Ruangrungrote, A. Chabangbon and A. Intasorn, *TROPOSPHERE ATMOSPHERIC OBSERVATION BY MIE SCATTERING LIDAR AT SRISAMRONG, SUKHOTHAI PROVINCE*, Proc. 32<sup>nd</sup> Congress on Science and Technology of Thailand, 2006, p. 311.
13. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, *PROBLEM-BASED LEARNING FOR GRADUATE STUDENTS IN SCIENCE EDUCATION PROGRAM*, ICASE Asian Symposium 2007, Thailand, p.106.
14. S. Ruangrungrote and A. Intasorn, *EXPERIMENTAL DESIGN OF PROJECT TASK FOR UNDERGRADUATE STUDENTS TO ELUCIDATE THEIR CONCEPTUAL PHYSICS KNOWLEDGE*, ICASE Asian Symposium 2007, Thailand, p.112.

15. S. Ruangrungrrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, RETRIEVAL OF INSTANTANEOUS AEROSOL OPTICAL DEPTHS FROM MFR-7 AND MIE LADAR DATASET AT SUKHOTHAI PROVINCE, THAILAND, Proc. of International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes, Bangkok, Thailand, 2008, p. 536.

16. S. Ruangrungrrote, A. Intasorn and A. Chabangbon, TROPOSPHERIC AEROSOL VOLUMN BACKSCATTERING COEFFICIENTS DETERMINATION USING MIE LIDAR AT PHIMAI DISTRICT, THAILAND, Proc. of International Symposia on Geoscience Resources and Environments of Asian Terranes, Bangkok, Thailand, 2008, p. 543.

**Reports:**

1. A. Intasorn, V. Teeyasoontranont and S. Kwaengsobha, *MULTIELEMENTAL ANALYSIS OF CHEMICAL FERTILIZERS USING NON-DESTRUCTIVE 14 MeV NEUTRON ACTIVATIONS*, Under Thai National Research Council Programme (1987).

2. L.R. Greenwood and A. Intasorn, *NEUTRON SPECTRAL AND ANGULAR DISTRIBUTION MEASUREMENT FOR 113 AND 256 MeV PROTONS ON RANGE-THICK A1 AND U-238 TARGETS USING THE FOIL ACTIVATION TECHNIQUE, ANL/NPBT-TR-023* Engineering Physics Division, Argonne Nat.Lab, Argonne, IL.60439. Under Contract W-31-109-Eng-39. Neutron Particle Beam Test Stand Program (July 1989).

3. A. Intasorn, *INVESTIGATION OF NUCLEAR CLUSTERIZATION AND FISSION*, Under Srinakharinwirot University Research Program (2001).

4. A. Intasorn and M. Haengwattana, *Cu THIN FILM THICKNESS MEASUREMENT BY X-RAY DIFFRACTION TECHNIQUE*, Under Srinakharinwirot University Research Program (2001).

5. A. Intasorn and M. Haengwattana, *STUDY OF MATRIX EFFECT ON QUANTITATIVE X-RAY FLUORESCENCE ANALYSIS IN SLAG*, Under The National Metal and Materials Technology Center (MTEC) Research Program (2002).

6. A. Intasorn, T. Sukdee, S. Chainakule, S. Wongbunnuk and S. Ruangrungrrote, *LEARNING-PROCESS-EFFECTIVENESS OF MASTER OF EDUCATION PROGRAM IN SCIENCE EDUCATION (PROGRAM B)* Under Faculty of Science, Srinakharinwirot University Research Program (2006).

7. S. Ruangrungrrote and A. Intasorn, *MIE SCATTERING LIDAR FOR THE STUDY OF AEROSOLS VERTICAL PROFILES IN THAILAND*. Under Srinakharinwirot University Research Program (2008).