

การศึกษาสมบัติของฝุ่นละอองในบรรยากาศที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

โดย

นางสาวศุภารัตน์ สุนทรโรภาส
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ สงวนลิขสิทธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-11-6219-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**A STUDY OF AEROSOL PROPERTIES IN THE ATMOSPHERE
AT BANGKOK AND ITS SUBURBS**

By

Sudarath Sutaropas
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Physics

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2005

ISBN 974-11-6219-7

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง "การศึกษาสมบัติของ
ฝุ่นละอองในบรรยากาศที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล" เสนอโดย นางสาวสุภารัตน์ สุนทรโรภาส
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิสาข์ จัติวัตร)
รองอธิการบดี ฝ่ายวิชาการ รักษาราชการแทน
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์
ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์
1. รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทรฉาย

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์
.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จ่านงค์ นายเชิด)
...../...../.....

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทรฉาย)
...../...../.....

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย นามประกาย)
...../...../.....

K 46306210 : สาขาวิชาฟิสิกส์

คำสำคัญ : ฝุ่นละออง / ความลึกเชิงแสง / สภาพความขุ่นมัว / รังสีดวงอาทิตย์ / บรรยากาศ

ศุภรัตน์ สุนทรโรภาส : การศึกษาสมบัติของฝุ่นละอองในบรรยากาศที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (A STUDY OF AEROSOL PROPERTIES IN THE ATMOSPHERE AT BANGKOK AND ITS SUBURBS) อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ : รศ. ดร. เสริม จันทร์ฉาย. 180 หน้า. ISBN 974-11-6219-7.

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสมบัติของฝุ่นละอองที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยใช้ข้อมูลสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ ที่ทำการวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร 13.73 °N, 100.57 °E สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี 14.08 °N, 100.62 °E และมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 13.82 °N, 100.04 °E สำหรับสถานีนครปฐม ผู้วิจัยได้ทำการวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้เครื่อง Multi-filter rotating shadowband radiometer (MFR-7) กรณีสถานี AIT การวัดดำเนินการโดย AIT โดยใช้เครื่อง sunphotometer ที่มีระบบติดตามดวงอาทิตย์อัตโนมัติ สำหรับสถานีกรุงเทพฯ การวัดดำเนินการโดยกรมอุตุนิยมวิทยา โดยใช้ sunphotometer แบบเคลื่อนย้ายได้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์จำนวน 2 ปี (ค.ศ. 2004 - 2005) มาทำการวิเคราะห์ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง โดยใช้กฎของ Bouguer ผลการวิเคราะห์พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีของความลึกเชิงแสงที่ 500 nm ของทั้ง 3 สถานี มีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือจะมีค่าสูงในฤดูแล้ง (พฤศจิกายน - เมษายน) และมีค่าต่ำในฤดูฝน (พฤษภาคม - ตุลาคม) โดยค่าเฉลี่ยทั้งปีของความลึกเชิงแสงที่สถานีกรุงเทพฯ สถานี AIT และสถานีนครปฐม มีค่าเท่ากับ 0.55 ± 0.31 , 0.46 ± 0.26 และ 0.47 ± 0.25 ตามลำดับ และจากนั้นผู้วิจัยได้นำค่าความลึกเชิงแสงที่ 2 ความยาวคลื่นมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอองสตรอม (β) ผลการคำนวณพบว่าค่าเฉลี่ยรายปีของ β สถานีกรุงเทพฯ สถานี AIT และสถานีนครปฐม มีค่าเท่ากับ 0.19 ± 0.12 , 0.19 ± 0.09 และ 0.16 ± 0.08 ตามลำดับ ผู้วิจัยยังได้ทำการจำแนกชนิดของฝุ่นละอองทั้ง 3 สถานี โดยใช้แบบจำลองการถ่วงรังสี 5S สุดท้ายผู้วิจัยได้ทำการหาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองโดยพบว่ารังสีรวม และรังสีตรงมีการลดลงเนื่องจากฝุ่นละอองในช่วง 10% - 30% และ 30% - 60% ตามลำดับ

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2548

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์.....

K 46306210 : MAJOR : PHYSICS

KEYWORD : AEROSOLS / OPTICAL DEPTH / TURBIDITY / SOLAR RADIATION /
ATMOSPHERE

SUDARATH SUNTAROPAS : A STUDY OF AEROSOL PROPERTIES IN THE
ATMOSPHERE AT BANGKOK AND ITS SUBURBS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.
SERM JANJAI, Ph. D. 180 pp. ISBN 974-11-6219-7.

In this work, aerosol properties at Bangkok and its suburbs were investigated. The investigation was based the solar spectrum measured at 3 sites namely, Meteorological Department in Bangkok (13.73 °N, 100.57 °E) Asian Institute of Technology (AIT) in Phatumthani (14.08 °N, 100.62 °E) and Silpakorn University in Nakhon Pathom (NP) (13.82 °N, 100.04 °E). For Nakhon Pathom, the solar spectrum was measured using a Multi filter rotating shadowband radiometer. In the case of AIT, the spectral measurement was carried out by Asian Institute of Technology using a sunphotometer with automatic sun tracker. For Bangkok, the spectral measurement was made by the Meteorological Department employing a portable sunphotometer. A two-year period (2004-2005) of solar spectrum data from these three sites was analyzed to obtain the aerosol optical depth by using Bouguer's law. It was found that the seasonal variation of aerosol optical depth at 500 nm from the three sites have a similar pattern, with high values in the dry season (November - April) and low values in the wet season (May - October). The yearly average of the aerosol optical depth at Bangkok, AIT and Nakhon Pathom are 0.55 ± 0.31 , 0.46 ± 0.26 and 0.47 ± 0.25 , respectively. The Angstrom's turbidity coefficient (β) of the three sites was derived from the aerosol optical depth at two wavelengths. The yearly average of β for Bangkok, AIT and Nakhon Pathom were found to be 0.19 ± 0.12 , 0.19 ± 0.09 and 0.16 ± 0.08 , respectively. The types of aerosols at the three sites were identified employing the 5S radiative transfer model. Solar radiation depletion due to aerosols was also determined by using the same radiative transfer model. It was found that the depletion of global and direct radiation due to aerosols were in the ranges of 10%-30% and 30% -60%, respectively

Department of physics Graduate School, Silpakorn University Academic Year 2005

Student's signature.....

Thesis Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต โดยผู้วิจัยได้รับทุนสนับสนุนผู้ช่วยวิจัยจากห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง และขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการศึกษา (สกอ.) ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายบางส่วนในการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำแนะนำด้านวิชาการ พร้อมทั้งจัดหาทุนวิจัย เครื่องมือ อุปกรณ์ และข้อมูล สำหรับใช้ในการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ จิระรัตนานนท์ และคุณพิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย คุณสัมฤทธิ์ สุทธิ์ประภา คุณเกษรินทร์ ห่านประเสริฐ และคุณพาขวัญ วาณิชนุเคราะห์ เจ้าหน้าที่ของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่ต้องใช้ในการวิจัย รวมทั้งให้คำปรึกษาและแนวคิดในการวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ และขอขอบคุณ Dr. Manuel Nunez จากมหาวิทยาลัย Tasmania ประเทศออสเตรเลีย ที่ได้ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการใช้ radiative transfer model ในการวิเคราะห์ฝุ่นละออง ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชัย นามประกาย ที่กรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณนักวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยฟิสิกส์บรรยากาศ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ช่วยสนับสนุนงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่าน ที่ช่วยอำนวยความสะดวกและประสานงานต่างๆ

ท้ายสุดนี้ผู้เขียนค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเพื่อตอบแทนพระคุณบิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่ช่วยให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ณ
สัญลักษณ์.....	น

บทที่

1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
2 หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	3
2.1.1 นิยามและการจำแนกฝุ่นละออง.....	3
2.1.2 ชนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	4
2.1.3 ขนาดและการแจกแจงขนาดของฝุ่นละออง.....	5
2.1.4 การเกิดฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	6
2.1.5 กระบวนการเกิดฝุ่นละอองแต่ละชนิด.....	7
2.1.5.1 ฝุ่นละอองที่เกิดจากน้ำทะเล.....	7
2.1.5.2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเปลี่ยนจากก๊าซ ไปเป็นอนุภาค.....	7
2.1.5.3 ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากเปลือกโลก.....	7
2.1.5.4 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์.....	8
2.1.6 การเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองในช่วงเวลาที่อยู่ ในบรรยากาศ.....	8
2.1.6.1 การเชื่อมติดกัน.....	8

บทที่	หน้า
2.1.6.2 การกลั่นตัวของไอสารบนอนุภาคของแข็ง.....	8
2.1.6.3 Oxidation ของสารต่างชนิดกัน.....	9
2.1.6.4 การโตขึ้นของอนุภาคฝุ่นละอองเนื่องจาก ความชื้นในบรรยากาศ.....	9
2.1.6.5 กระบวนการดูดกลืนก๊าซของเมฆ.....	10
2.1.7 กระบวนการที่ฝุ่นละอองหายออกไปจากบรรยากาศ.....	10
2.1.7.1 การร่วงหล่นลงสู่พื้นโดยไม่เกี่ยวกับการ กลั่นตัว.....	10
2.1.7.2 การร่วงหล่นลงสู่พื้นโดยเกี่ยวข้องกับ การกลั่นตัว.....	11
2.1.8 การกระจายของฝุ่นละอองตามความสูงจากพื้นโลก.....	12
2.1.9 การตกลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง.....	14
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค่าความลึกเชิงแสงของ ฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	22
3 วิธีการดำเนินการและผล.....	27
3.1 การหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง.....	27
3.1.1 เครื่องมือ.....	27
3.1.1.1 การวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา (สถานีกรุงเทพฯ).....	27
3.1.1.2 การวัดที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (สถานีAIT).....	29
3.1.1.3 การวัดที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (สถานีนครปฐม).....	30
3.1.2 ข้อมูล.....	32
3.1.3 วิธีการ.....	33
3.1.3.1 ข้อมูลจากการวัดที่สถานีนครปฐม.....	33
3.1.3.2 ข้อมูลจากการวัดที่สถานี AIT.....	37
3.1.3.3 ข้อมูลจากการวัดที่สถานีกรุงเทพฯ.....	38

บทที่	หน้า
3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	39
3.1.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่เชิงแสงในรอบวัน.....	45
3.1.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่เชิงแสงตามฤดูกาล ในรอบปี.....	47
3.1.7 การเปลี่ยนแปลงค่า wavelength exponent ตามฤดูกาลในรอบปี.....	57
3.1.8 การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของ อสังกรมตามฤดูกาลในรอบปี.....	60
3.2 การจำแนกชนิดของฝุ่นละออง.....	64
3.2.1 แบบจำลองการถ่ายเทรังสีของบรรยากาศ.....	64
3.2.2 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์.....	69
3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล.....	71
3.3 การคำนวณการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง.....	75
3.3.1 รังสีดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและ ฝุ่นละออง.....	75
3.3.2 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์.....	75
3.3.3 การทดสอบความละเอียดถูกต้องของแบบจำลอง.....	76
3.3.4 วิธีวิเคราะห์ข้อมูลและผล.....	79
4 บทสรุป.....	82
บรรณานุกรม.....	84
ภาคผนวก ก.	87
ภาคผนวก ข.	92
ภาคผนวก ค.	102
ภาคผนวก ง.	127
ภาคผนวก จ.	152
ภาคผนวก ฉ.	177
ประวัติผู้วิจัย.	184

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงอัตราส่วนผสมขององค์ประกอบที่รวมกันเป็นฝุ่นละอองชนิดต่างๆ.....	5
2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของ Angstrom ในสภาพบรรยากาศต่างๆ.....	16
2.3 แสดงข้อมูลที่ใช้พิจารณาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ และวันที่ท้องฟ้าขุ่นมัว.....	24
3.1 แสดงความยาวคลื่นของเครื่อง sunphotometer ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	28
3.2 แสดงความยาวคลื่นของเครื่อง sunphotometer ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย.....	29
3.3 แสดงค่าแฟคเตอร์ของการสอบเทียบของแต่ละความยาวคลื่น.....	30
3.4 แสดงความยาวคลื่นของเครื่อง Multi-filter rotating shadowband radiometer ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	31
3.5 แสดงรายละเอียดสถานีและข้อมูล.....	33
3.6 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของสถานีนครปฐมจากข้อมูลเดือนมกราคม ค.ศ. 2004.....	44
A.1 แสดงแฟคเตอร์สำหรับแก้ผลของระยะทางระหว่างโลกกับ ดวงอาทิตย์, S.....	93
A.2 แสดงค่าปริมาณ โอโซนที่มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐมปี ค.ศ. 2004.....	94
A.3 แสดงค่าปริมาณ โอโซนที่มหาวิทยาลัยศิลปากร นครปฐมปี ค.ศ. 2005.....	95
A.4 แสดงค่าปริมาณ โอโซนที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปทุมธานีปี ค.ศ. 2004.....	96
A.5 แสดงค่าปริมาณ โอโซนที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปทุมธานีปี ค.ศ. 2005.....	97
A.6 แสดงค่าปริมาณ โอโซนที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนากรุงเทพมหานครปี ค.ศ. 2004.....	98
A.7 แสดงค่าปริมาณ โอโซนที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนากรุงเทพมหานครปี ค.ศ. 2005.....	99
A.8 แสดงค่าปริมาณ ioni ในบรรยากาศจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร. ปี ค.ศ. 2004.....	100
A.9 แสดงค่าปริมาณ ioni ในบรรยากาศจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร. ปี ค.ศ. 2005.....	101
B.1 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมกราคม 2004 ของสถานีนครปฐม.....	103
B.2 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกุมภาพันธ์ 2004 ของสถานีนครปฐม.....	104

ตารางที่	หน้า
B.3 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมีนาคม 2004 ของสถานีนครปฐม.....	105
B.4 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนเมษายน 2004 ของสถานีนครปฐม.....	106
B.5 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤษภาคม 2004 ของสถานีนครปฐม.....	107
B.6 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤษภาคม 2004 ของสถานีนครปฐม.....	108
B.7 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกรกฎาคม 2004 ของสถานีนครปฐม.....	109
B.8 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนสิงหาคม 2004 ของสถานีนครปฐม.....	110
B.9 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกันยายน 2004 ของสถานีนครปฐม.....	111
B.10 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนตุลาคม 2004 ของสถานีนครปฐม.....	112
B.11 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤศจิกายน 2004 ของสถานีนครปฐม.....	113
B.12 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนธันวาคม 2004 ของสถานีนครปฐม.....	114
B.13 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมกราคม 2005 ของสถานีนครปฐม.....	115
B.14 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกุมภาพันธ์ 2005 ของสถานีนครปฐม.....	116
B.15 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมีนาคม 2005 ของสถานีนครปฐม.....	117
B.16 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนเมษายน 2005 ของสถานีนครปฐม.....	118

ตารางที่	หน้า
B.17 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤษภาคม 2005 ของสถานีนครปฐม.....	119
B.18 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมิถุนายน 2005 ของสถานีนครปฐม.....	120
B.19 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกรกฎาคม 2005 ของสถานีนครปฐม.....	121
B.20 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนสิงหาคม 2005 ของสถานีนครปฐม.....	122
B.21 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกันยายน 2005 ของสถานีนครปฐม.....	123
B.22 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนตุลาคม 2005 ของสถานีนครปฐม.....	124
B.23 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤศจิกายน 2005 ของสถานีนครปฐม.....	125
B.24 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนธันวาคม 2005 ของสถานีนครปฐม.....	126
C.1 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมกราคม 2004 ของสถานี AIT.....	128
C.2 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกุมภาพันธ์ 2004 ของสถานี AIT.....	129
C.3 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมีนาคม 2004 ของสถานี AIT.....	130
C.4 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนเมษายน 2004 ของสถานี AIT.....	131
C.5 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤษภาคม 2004 ของสถานี AIT.....	132
C.6 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมิถุนายน 2004 ของสถานี AIT.....	133

ตารางที่	หน้า
C.7 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกรกฎาคม 2004 ของสถานี AIT.....	134
C.8 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนสิงหาคม 2004 ของสถานี AIT.....	135
C.9 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกันยายน 2004 ของสถานี AIT.....	136
C.10 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนตุลาคม 2004 ของสถานี AIT.....	137
C.11 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤศจิกายน 2004 ของสถานี AIT.....	138
C.12 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนธันวาคม 2004 ของสถานี AIT.....	139
C.13 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมกราคม 2005 ของสถานี AIT.....	140
C.14 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกุมภาพันธ์ 2005 ของสถานี AIT.....	141
C.15 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมีนาคม 2005 ของสถานี AIT.....	142
C.16 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนเมษายน 2005 ของสถานี AIT.....	143
C.17 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤษภาคม 2005 ของสถานี AIT.....	144
C.18 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมิถุนายน 2005 ของสถานี AIT.....	145
C.19 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกรกฎาคม 2005 ของสถานี AIT.....	146
C.20 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนสิงหาคม 2005 ของสถานี AIT.....	147

ตารางที่	หน้า
C.21 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกันยายน 2005 ของสถานี AIT.....	148
C.22 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนตุลาคม 2005 ของสถานี AIT.....	149
C.23 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤศจิกายน 2005 ของสถานี AIT.....	150
C.24 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนธันวาคม 2005 ของสถานี AIT.....	151
D.1 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมกราคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	153
D.2 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกุมภาพันธ์ 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	154
D.3 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมีนาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	155
D.4 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนเมษายน 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	156
D.5 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤษภาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	157
D.6 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมิถุนายน 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	158
D.7 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกรกฎาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	159
D.8 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนสิงหาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	160
D.9 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกันยายน 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	161
D.10 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนตุลาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	162

มหาวิทยาลัยศิลปากร ลงวันลิขสิทธิ์

ตารางที่	หน้า
D.11 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤศจิกายน 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	163
D.12 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนธันวาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	164
D.13 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมกราคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	165
D.14 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกุมภาพันธ์ 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	166
D.15 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมีนาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	167
D.16 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนเมษายน 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	168
D.17 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤษภาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	169
D.18 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนมิถุนายน 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	170
D.19 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกรกฎาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	171
D.20 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนสิงหาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	172
D.21 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนกันยายน 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	173
D.22 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนตุลาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	174
D.23 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนพฤศจิกายน 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	175
D.24 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆเดือนธันวาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ.....	176

มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสุโขทัย

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาค NaCl ที่ความชื้นต่างๆ โดยเส้นทึบแสดงการเพิ่มขึ้น ของขนาดเมื่อความชื้นลดลง.....	10
2.2 ความเร็วของการร่วงหล่นที่ค่ารัศมีต่างๆ ของฝุ่นละออง.....	11
2.3 การรวมกันของเมฆกับฝุ่นละอองที่มีความหนาแน่นน้อยและฝุ่นละอองขนาดใหญ่.....	12
2.4 การรวมกันของเมฆกับฝุ่นละอองที่มีความหนาแน่นมากและฝุ่นละอองขนาดเล็ก.....	12
2.5 boundary layer ของบรรยากาศโลก.....	13
2.6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของบรรยากาศตามความสูงจากพื้นผิวโลก.....	13
2.7 ปริมาณและชนิดของฝุ่นละอองที่ระดับความสูงต่างๆ ของบรรยากาศ.....	14
2.8 แสดงการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศของโลก.....	14
2.9 แสดงการแปรค่าของ β ตามทัศนวิสัยที่ค่า α ต่างๆ	17
2.10 แสดงการแปรค่าของ $\tau_{a\lambda}$ กับ β_{m_a} ที่ α ต่าง = 1.3 และ 0.7.....	18
2.11 เครื่อง sunphotometer	19
2.12 เครื่อง Multi-filter rotating shadowband radiometer (MFR-7)	20
2.13 แสดงความสัมพันธ์ของค่า turbidity coefficient (B) กับข้อมูลทัศนวิสัยที่กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่.....	25
3.1 เครื่อง sunphotometer ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนากรุงเทพมหานคร.....	28
3.2 เครื่อง sunphotometer ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	29
3.3 แสดงเครื่อง Multi-filter rotating shadowband radiometer (MFR-7) ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	31
3.4 การตอบสนองของความยาวคลื่นของเครื่อง MFR-7.....	32
3.5 แสดงการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศ.....	34
3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_{0\lambda}$ กับ m_a	39
3.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีรวมและรังสีตรงของดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (25 กุมภาพันธ์ 2004).....	40
3.8 แสดงลักษณะท้องฟ้าจาก sky camera ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ.....	40
3.9 แสดงลักษณะท้องฟ้าจาก sky camera ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆ.....	41

รูปที่	หน้า
3.10 แสดงตัวอย่างการแปรค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง (τ_{λ}) โมเลกุลอากาศ($\tau_{r\lambda}$) และโอโซน ($\tau_{o\lambda}$) กับความยาวคลื่นที่เวลาต่างๆ ของข้อมูลสถานีนครปฐม วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2004.....	42
3.11 แสดงตัวอย่างการแปรค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง (τ_{λ}) กับความยาวคลื่นที่เวลาต่างๆ ของข้อมูลสถานีนครปฐม วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2004.....	43
3.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2005.....	45
3.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ในวันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004.....	46
3.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของกรมอุตุนิยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร ในวันที่ 19 เมษายน ค.ศ. 2004.....	46
3.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลในรอบปี ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	47
3.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลในรอบปี ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	48
3.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลในรอบปี ที่กรมอุตุนิยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.....	48
3.18 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของ 3 สถานี.....	49
3.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 413 นาโนเมตร ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	50
3.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	50
3.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 671 นาโนเมตร ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	51
3.22 แสดงการเปลี่ยนแปลงความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 864 นาโนเมตร ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	51

รูปที่	หน้า
3.23 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่รวมทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 413, 500, 613, 671 และ864 นาโนเมตร ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	52
3.24 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 368นาโนเมตร ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	52
3.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 675นาโนเมตร ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	53
3.26 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 778นาโนเมตร ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	53
3.27 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่รวมทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 368, 500, 675 และ778 นาโนเมตร ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	54
3.28 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	54
3.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	55
3.30 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	55
3.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	56
3.32 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD)ตามฤดูกาลที่รวมทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 380,440, 500, 670 และ870 นาโนเมตร ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	56
3.33 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ wavelenght exponent (α)ตามฤดูกาลในรอบปีที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	57
3.34 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ wavelenght exponent (α)ตามฤดูกาลในรอบปีที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	58

รูปที่	หน้า
3.35 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ wavelenght exponent (α)ตามฤดูกาลในรอบปีที่ กรมอุตุนิยมิวิทยา บางนา กรุงเทพมหานคร.....	58
3.36 แสดงการกระจายของ wavelenght exponent (α) ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	59
3.37 แสดงการกระจายของ wavelenght exponent (α)ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	59
3.38 แสดงการกระจายของ wavelenght exponent (α) ที่กรมอุตุนิยมิวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	60
3.39 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (α)ที่เปลี่ยนแปลง ตามฤดูกาลในรอบปี.ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	61
3.40 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (α)ที่เปลี่ยนแปลง ตามฤดูกาลในรอบปี.ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	61
3.41 แสดงการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (α)ที่เปลี่ยนแปลง ตามฤดูกาลในรอบปี. ที่กรมอุตุนิยมิวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	62
3.42 แสดงการกระจายสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (α) ที่เปลี่ยนแปลงตาม ฤดูกาลในรอบปี.ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	63
3.43 แสดงการกระจายสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (α) ที่เปลี่ยนแปลงตาม ฤดูกาลในรอบปี.ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	63
3.44 แสดงการกระจายสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (α) ที่เปลี่ยนแปลงตาม ฤดูกาลในรอบปี. ที่กรมอุตุนิยมิวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	64
3.45 แสดงดาวเทียม Earth probe (EP).....	65
3.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองกับความยาวคลื่นที่ เวลาต่างๆ ในรอบวัน.....	68
3.47 แสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่างความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ในรอบวัน.....	69
3.48 แสดงเครื่องไพราโนมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ สถานีกรุงเทพฯ.....	70
3.49 แสดงเครื่องไพราโนมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของสถานี AIT	70
3.50 แสดงเครื่องไพราโนมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของสถานีนครปฐม	71

รูปที่	หน้า
3.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ชนิดของ ฝุ่นละอองแบบต่างๆ กับค่ารังสีรวมที่ได้จากการวัดที่สถานีนครปฐม.....	72
3.52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ชนิดของ ฝุ่นละอองแบบต่างๆ กับค่ารังสีรวมที่ได้จากการวัดที่สถานี AIT.....	73
3.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ชนิดของ ฝุ่นละอองแบบต่างๆ กับค่ารังสีรวมที่ได้จากการวัดที่สถานี กรุงเทพฯ.....	74
3.54 แสดงเครื่องไพโรมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ของ กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร.....	76
3.55 แสดงเครื่องไพโรมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ของ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	76
3.56 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง 5S โดยกำหนดให้ฝุ่นละอองเป็นแบบ continental และจากการวัด ที่นครปฐมในวันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004.....	77
3.57 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง 5S โดยกำหนดให้ฝุ่นละอองเป็นแบบ continental และจากการวัด ที่นครปฐมในวันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004.....	77
3.58 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง 5S โดยกำหนดให้ฝุ่นละอองเป็นแบบ urban และจากการวัด ที่ AIT ในวันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004.....	78
3.59 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง 5S โดยกำหนดให้ฝุ่นละอองเป็นแบบ urban และจากการวัด ที่ AIT ในวันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004.....	78
3.60 แสดงอัตราส่วนการลดลงของพลังงานรังสีตรงเนื่องจากฝุ่นละออง (D_B) ในช่วงปี ค.ศ. 2004-2005 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	80
3.61 แสดงอัตราส่วนการลดลงของพลังงานรังสีตรงเนื่องจากฝุ่นละออง (D_B) ในช่วงปี ค.ศ. 2004-2005 ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	80
3.62 แสดงอัตราส่วนการลดลงของพลังงานรังสีรวมเนื่องจากฝุ่นละออง (D_G) ในช่วงปี ค.ศ. 2004-2005 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	81

รูปที่	หน้า
3.63 แสดงอัตราส่วนการลดลงของพลังงานรังสีรวมเนื่องจากฝุ่นละออง (D_G) ค.ศ. 2004-2005 ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	81
E.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดซึ่งเป็น กรณีที่บรรยากาศมีฝุ่นละอองและจากการคำนวณกรณีบรรยากาศไม่มีฝุ่นละออง ของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม วันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004.....	178
E.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดซึ่งเป็น กรณีที่บรรยากาศมีฝุ่นละอองและจากการคำนวณกรณีบรรยากาศไม่มีฝุ่นละออง ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปทุมธานี.วันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004.....	178
E.3 แสดงอัตราส่วนการลดลงของรังสีตรงของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในช่วงปี ค.ศ. 2004-2005 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	179
E.4 แสดงอัตราส่วนการลดลงของรังสีตรงของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในช่วงปี ค.ศ. 2004-2005 ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	179
E.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดซึ่งเป็น กรณีที่บรรยากาศมีฝุ่นละอองและจากการคำนวณกรณีบรรยากาศไม่มีฝุ่นละออง ของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐมวันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004.....	181
E.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดซึ่งเป็น กรณีที่บรรยากาศมีฝุ่นละอองและจากการคำนวณกรณีบรรยากาศไม่มีฝุ่นละออง ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ปทุมธานี.วันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004.....	181
E.7 แสดงอัตราส่วนการลดลงของรังสีรวมของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในช่วงปี ค.ศ. 2004-2005 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม.....	182
E.8 แสดงอัตราส่วนการลดลงของรังสีรวมของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในช่วงปี ค.ศ. 2004-2005 ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี.....	183

สัญลักษณ์

C	= จำนวนอนุภาคทั้งหมด
D_B	= อัตราส่วนการลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์รังสีตรงเนื่องจากฝุ่นละออง
D_G	= อัตราส่วนการลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์รังสีรวมเนื่องจากฝุ่นละออง
$E_{o\lambda}$	= ค่าแฟกเตอร์ของการสอบเทียบของหัววัดในแต่ละความยาวคลื่น
E_λ	= ค่าที่บันทึกได้จากเครื่องวัดเป็นค่าความต่างศักย์มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ (mV)
$f(r)dr$	= ความน่าจะเป็นที่จะพบอนุภาคของฝุ่นละอองที่มีรัศมีอยู่ในช่วง r ถึง $r + dr$
g	= ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ($980\text{cm}/\text{s}^2$)
G_n	= ความเข้มรังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของรังสี
G_n^*	= ค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในบรรยากาศที่ปราศจากฝุ่นละออง
G_{sc}	= solar constant
$H_{B,meas}$	= พลังงานแสงอาทิตย์รังสีตรงที่ได้จากการวัด (MJ)
$H_{B,model}$	= พลังงานแสงอาทิตย์รังสีตรงที่ได้จากแบบจำลอง 5S (MJ)
$H_{G,meas}$	= พลังงานแสงอาทิตย์รังสีรวมที่ได้จากการวัด (MJ)
$H_{G,model}$	= พลังงานแสงอาทิตย์รังสีรวมที่ได้จากแบบจำลอง 5S (MJ)
$I_{n\lambda}$	= ค่าความเข้มรังสีตรงเฉพาะขณะ (irradiance) ตกตั้งฉากกับระนาบการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์
$I_{on\lambda}$	= ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉพาะขณะนอกบรรยากาศโลก ซึ่งตกตั้งฉากกับระนาบของดวงอาทิตย์
$K_{o\lambda}$	= extinction coefficient ของโอโซน(cm^{-1})
l	= ปริมาณ โอโซน(cm)
M	= mixing ratio ที่ความดัน P
m_a	= มวลโมเลกุลของอากาศ
M_{air}	= มวลอากาศแห้ง
M_i	= mixing ratio ของบรรยากาศชั้นที่ i
m_r	= มวลอากาศที่ความกดดันและอุณหภูมิมาตรฐาน (NTP)
M_v	= มวลไอน้ำ
P	= ความดันบรรยากาศที่ความสูงใดๆ [mbar]
P_i	= ความดันบรรยากาศชั้นที่ i โดยที่ $i = 1,2,3,\dots,n$

P_0	= ความดันบรรยากาศที่พื้นผิวโลก [mbar]
P_v	= ความดันไอน้ำ [mbar]
P_{vs}	= ความดันไอน้ำอิ่มตัว (saturated vapour water) [mbar]
r	= รัศมีของอนุภาคของฝุ่นละออง
r_g	= ค่าเฉลี่ยรัศมีเชิงเรขาคณิต
rh	= ความชื้นสัมพัทธ์ (%)
S	= แฟกเตอร์สำหรับแก้ผลของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์
$S(r)$	= พื้นที่ผิวของอนุภาค
$S_{eff}(r)$	= พื้นที่ผิวยังผล
T	= อุณหภูมิของอากาศ ($^{\circ}C$)
V_t	= ความเร็วสุดท้าย (m/s)
vis	= ค่าทัศนวิสัย (km)
w	= ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ [cm]
\bar{x}	= ค่าเฉลี่ยของรัศมีอนุภาค
α	= Wavelength exponent
β	= Ångstrom's turbidity coefficient
λ	= ความยาวคลื่น (μm)
λ_1	= mean free path
θ_z	= มุมซิมิธของดวงอาทิตย์
ρ	= แฟกเตอร์สำหรับแก้ผลของการเปลี่ยนแปลงของโลกกับดวงอาทิตย์
σ	= ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน
σ_g	= ค่ามาตรฐานเชิงเรขาคณิต
$\tau_{a\lambda}$	= สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น λ ต่าง ๆ
$\tau'_{a\lambda}$	= ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในบรรยากาศเนื่องจากการกระเจิงและการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์
τ'_{CDA}	= ความลึกเชิงแสงของบรรยากาศกรณีที่ปราศจากฝุ่นละออง
$\tau'_{g\lambda}$	= ค่าความลึกเชิงแสง (optical depth) ของก๊าซเนื่องจากการกระเจิงของรังสีดวงอาทิตย์
$\tau'_{o\lambda}$	= ค่าความลึกเชิงแสงของโอโซนเนื่องจากการดูดกลืนของรังสีดวงอาทิตย์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

$\tau'_{r\lambda}$ = ค่าความลึกเชิงแสงของโมเลกุลอากาศเนื่องจากการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์
(Rayleigh scattering)

$\tau'_{w\lambda}$ = ค่าความลึกเชิงแสงของไอน้ำในบรรยากาศเนื่องจากการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

τ'_{λ} = ค่าความลึกเชิงแสงของบรรยากาศที่ความยาวคลื่น λ ต่างๆ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นอนุภาคของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ เกิดขึ้นจากกระบวนการในธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ กรณีการเกิดจากกระบวนการในธรรมชาติที่สำคัญ ได้แก่ การระเบิดของภูเขาไฟ การพัดพาอนุภาคของแข็งจากพื้นดินโดยกระแสลม และละอองเกลือจากทะเล เป็นต้น สำหรับฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญ ได้แก่ ฝุ่นละอองที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม ขวดยาน และการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีปริมาณมากน้อยเปลี่ยนแปลงไปตามสถานที่ และตามฤดูกาลในรอบปี เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เดินทางผ่านบรรยากาศโลกลงมายังพื้นดิน จะถูกฝุ่นละอองดูดกลืนและกระเจิง ทำให้รังสีที่ตกกระทบพื้นผิวโลกมีค่าลดลง ฝุ่นละอองจึงมีผลต่อสมดุลของพลังงานในบรรยากาศของโลก ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาวะอากาศบรรยากาศโลก นอกจากนี้ฝุ่นละอองในบรรยากาศยังเป็นแกนกลาง (nucleus) ของการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำของไอน้ำในบรรยากาศ ฝุ่นละอองจึงมีผลต่อการเกิดเมฆและฝน ซึ่งมีผลกระทบต่อระบบนิเวศน์และกิจกรรมทางเศรษฐกิจของมนุษย์ ทางด้านสุขภาพของมนุษย์ ฝุ่นละอองขนาดเล็กยังก่อให้เกิดอันตรายต่อระบบการหายใจ และเป็นสาเหตุของการเกิดภูมิแพ้ในระบบทางเดินหายใจด้วย

เนื่องจากในช่วงประมาณ 1 ศตวรรษที่ผ่านมา ประชากรของโลกเพิ่มมากขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวโลกเพื่อใช้ในการเกษตรและที่อยู่อาศัย ชุมชนเมืองขยายตัวเกิดการผลิตแบบอุตสาหกรรมและมีขวดยานพาหนะในการขนส่ง สิ่งเหล่านี้ได้ก่อให้เกิดการปลดปล่อยฝุ่นละอองขึ้นสู่บรรยากาศเป็นอย่างมาก ซึ่งจะส่งผลในทางลบต่อสภาวะของบรรยากาศโลก จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาและการติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยเฉพาะในบริเวณชุมชนเมืองขนาดใหญ่ เช่น กรุงเทพมหานครและปริมณฑล

โดยทั่วไปการศึกษาฝุ่นละอองสามารถทำได้โดยการดูดเก็บตัวอย่างในบริเวณพื้นดิน แต่วิธีการดังกล่าวสามารถทำได้เฉพาะจุดที่บริเวณพื้นผิวโลกเท่านั้น อย่างไรก็ตามการศึกษาปริมาณและสมบัติของฝุ่นละอองตลอดทั้งคอลัมน์ของอากาศ สามารถดำเนินการได้โดยการวิเคราะห์ความเข้มรังสีดวง-

อาทิตย์ที่เดินทางผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก ซึ่งจะสามารถศึกษาธรรมชาติของฝุ่นละอองได้ทั้งคอลัมน์ของบรรยากาศ การดำเนินการดังกล่าวจะต้องใช้อุปกรณ์วัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์หรือ sunphotometer สำหรับกรณีของประเทศไทยการศึกษาฝุ่นละอองในลักษณะดังกล่าวยังมีค่อนข้างจำกัด ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเสนอที่จะทำการศึกษาฝุ่นละอองในบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อให้ทราบธรรมชาติของฝุ่นละอองในบริเวณนี้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ดังนี้

- 1) เพื่อหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในบรรยากาศของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล
- 2) เพื่อจำแนกชนิดของฝุ่นละอองในบริเวณดังกล่าว
- 3) เพื่อหาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในบริเวณดังกล่าว

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาธรรมชาติของฝุ่นละอองเฉพาะที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ทั้งนี้เพราะเป็นบริเวณที่เป็นชุมชนเมืองขนาดใหญ่ และมีการติดตั้งเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาสมบัติของฝุ่นละอองได้

บทที่ 2

หลักการทางวิชาการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศ เป็นผลมาจากฝุ่นละอองที่กระจายในบรรยากาศ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงสมบัติทางฟิสิกส์ของฝุ่นละอองในบรรยากาศ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากฝุ่นละออง

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับฝุ่นละอองในบรรยากาศ

2.1.1 นิยามและการจำแนกฝุ่นละออง

ฝุ่นละออง (aerosol) ในที่นี้ หมายถึง อนุภาคของแข็ง หรือของเหลว หรือของผสมระหว่างของแข็งและของเหลวที่แขวนลอย อยู่ในอากาศ แต่จะไม่รวมถึงเมฆและหมอกซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกัน ฝุ่นละอองมีทั้งที่เกิดจากธรรมชาติและเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ฝุ่นละอองที่เกิดจากธรรมชาติแบ่งได้เป็น ฝุ่นละอองที่มาจากเปลือกโลก (crustal aerosol) ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากน้ำทะเล (maritime aerosol)

ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดมาจากเปลือกโลกจะเกิดจากการกัดกร่อนของลมต่อเปลือกโลก ซึ่งอาจเป็นพื้นดิน ทรายหรือหิน เป็นต้น โดยจะฟุ้งกระจายไปตามกระแสลม เราเรียกฝุ่นละอองที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของดินนี้ว่า “ ฝุ่นละอองแบบ continental ” ซึ่งรวมถึงฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ ซึ่งจะมีผลจะเป็นการเปลี่ยนแปลงก๊าซจากการเผาไหม้กลายเป็นอนุภาคของเถ้าถ่านเกิดเป็นฝุ่นละออง (gas-to-particle conversion) ซึ่งฟุ้งกระจายในบรรยากาศ ส่วนฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากน้ำทะเลจะเกิดจากการที่น้ำทะเลกระเซ็นเป็นฝอยลอยขึ้นไปในอากาศ เนื่องจากลมและคลื่น และมีการระเหยเป็นอนุภาคเล็กๆ ของเกลือแทรกตัวอยู่ในบรรยากาศ และมีองค์ประกอบของหยดน้ำเล็กๆ เหนือพื้นผิวทะเลหรือมหาสมุทรจะเรียกฝุ่นละอองแบบนี้ว่า “ ฝุ่นละอองแบบ maritime ”

ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ส่วนใหญ่ มีแหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรมและยานพาหนะต่างๆ โดยฝุ่นละอองจากอุตสาหกรรมจะเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการต่างๆ และเกิดจากกระบวนการผลิตที่มีการบดของแข็งให้ละเอียดเป็นอนุภาคเล็กๆ เช่น ฝุ่นละอองจากโรงสี และโรงโม่หิน เป็นต้น ฝุ่นละอองที่เกิดจากเขม่าที่ได้จากการเผาไหม้

เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์และถูกปลดปล่อยออกมาสู่บรรยากาศภายนอกเราจะเรียกฝุ่นที่เกิดจากชุมชนเมืองว่า “ ฝุ่นละอองแบบ urban ”

เนื่องจากฝุ่นละอองแต่ละแบบจะมีคุณสมบัติในการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ทั้งรังสีตรงและรังสีรวมของดวงอาทิตย์ ดังนั้นฝุ่นละอองจึงทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมีค่าลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณที่บรรยากาศมีมลพิษสูง จากการศึกษาของสแตนตัน โพร้เกตุ (2542) พบว่า ฝุ่นละอองมีบทบาทสำคัญที่ทำให้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ลดลงถึง 20% นอกจากนี้ฝุ่นละอองยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอีกด้วย

2.1.2. ชนิดของฝุ่นละอองในอากาศ

Tanre et al.(1987) ได้จำแนกองค์ประกอบของฝุ่นละอองดังนี้

1. dust-like component (D.L) เป็นองค์ประกอบที่มีลักษณะเป็นผงฝุ่น
2. oceanic component (O.C) เป็นองค์ประกอบที่มาจากทะเล จำพวกละอองน้ำ
3. water-soluble component (W.S) เป็นองค์ประกอบที่เป็นสารละลายน้ำได้
4. soot component (S.O) เป็นองค์ประกอบจำพวกเขม่า

เมื่อองค์ประกอบทั้ง 4 ผสมกันคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรต่างๆ กัน Tanre et al.(1987) ได้จำแนกฝุ่นละอองในอากาศเป็น 3 แบบ คือ

1. แบบ continental เป็นฝุ่นละอองที่มาจากภาคพื้นทวีปซึ่งเป็นการผสมกันขององค์ประกอบต่างๆ ดังนี้คือ องค์ประกอบที่มีลักษณะเป็นผงฝุ่น (D.L) 70% องค์ประกอบที่เป็นสารละลายน้ำได้ (W.S) 29% และองค์ประกอบจำพวกเขม่าควัน (S.O) 1%
2. แบบ maritime เป็นฝุ่นละอองที่มาจากทะเล ประกอบด้วยองค์ประกอบที่เป็นสารละลายน้ำได้ (W.S) 5% และองค์ประกอบที่มาจากทะเล (O.C) 95%
3. แบบ urban เป็นฝุ่นละอองที่มาจากเมืองเป็นการผสมกันขององค์ประกอบต่างๆ ดังนี้คือ องค์ประกอบที่มีลักษณะเป็นผงฝุ่น (D.L) 17% องค์ประกอบที่เป็นสารละลายน้ำได้ (W.S) 61% และองค์ประกอบจำพวกเขม่าควัน (S.O) 22%

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราส่วนผสมขององค์ประกอบที่รวมกันเป็นฝุ่นละอองชนิดต่างๆ

TYPE	Component (%)			
	dust-like component (D.L)	water-soluble component (W.S)	oceanic component (O.C)	soot component (S.O)
CONTINENTAL	0.70	0.29	0.00	0.01
MARITIME	0.00	0.05	0.95	0.00
URBAN	0.17	0.61	0.00	0.22

2.1.3. ขนาดและการแจกแจงขนาดของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองมีขนาดที่แตกต่างกัน ขึ้นกับแหล่งกำเนิดและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและฟิสิกส์ ในระหว่างที่ฟุ้งกระจายในบรรยากาศ เดิมมีการจำแนกฝุ่นละอองออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

1. Aitken nuclei particles มีรัศมีน้อยกว่า $0.1\mu\text{m}$
2. Large particles มีรัศมีในช่วง $0.1-1\mu\text{m}$
3. Giant particles มีรัศมีมากกว่า $1\mu\text{m}$

ในปัจจุบันมีการแบ่งขนาดของฝุ่นละอองเป็นแบบหยาบ (coarse particle) และชนิดละเอียด (fine particle) โดยขีดแบ่งฝุ่นละออง 2 ชนิด จะอยู่ที่ประมาณ $0.5\mu\text{m}$ ฝุ่นละอองชนิดละเอียดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงจากก๊าซไปเป็นอนุภาค (gas-to-particle) ในกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ ส่วนฝุ่นละอองชนิดหยาบเป็นฝุ่นละออง ที่มีแหล่งกำเนิดจากเปลือกโลกและจากน้ำทะเล

ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดเดียวกัน โดยทั่วไปจะมีขนาดไม่เท่ากัน ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการแจกแจงขนาดของฝุ่นละออง (size distribution) และได้มีการเสนอสมการการแจกแจงขึ้นมาหลายแบบ โดยสมการการแจกแจงที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางได้แก่ การแจกแจงแบบ lognormal (Reist, 1993)

$$f(r)dr = \frac{C}{r\sqrt{2\pi\ln\sigma_g}} \exp\left\{\frac{-\ln(r/r_g)}{2\ln^2\sigma_g}\right\} dr \quad (2.1)$$

เมื่อ $f(r)dr$ เป็นความน่าจะเป็นที่จะพบอนุภาคของฝุ่นละอองที่มีรัศมีอยู่ในช่วง r ถึง $r + dr$
 r เป็นรัศมีของอนุภาคของฝุ่นละออง

C	เป็นจำนวนอนุภาคทั้งหมด
r_g	เป็นค่าเฉลี่ยรัศมีเชิงเรขาคณิต
σ_g	เป็นค่ามาตรฐานเชิงเรขาคณิต

ค่า r_g หาได้จากสมการ

$$\bar{x} = \ln r_g \quad (2.2)$$

เมื่อ \bar{x} เป็นค่าเฉลี่ยของรัศมีอนุภาค

และค่า σ_g หาได้จากสมการ

$$\sigma = \ln \sigma_g \quad (2.3)$$

เมื่อ σ เป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

2.1.4. การเกิดฝุ่นละอองในบรรยากาศ

Warneck (1988) ได้ศึกษาอัตราการเกิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เกิดจากธรรมชาติและมนุษย์ ซึ่งฟุ้งกระจายในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์ (troposphere) จากการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยฝุ่นละอองของโลกขึ้นสู่บรรยากาศ (aerosol emission) มีค่าประมาณ 2,400 Tg/ปี (Tg = หน่วยของมวลค่าเท่ากับ 10^{12} กรัม) ในจำนวนนี้ประมาณครึ่งหนึ่งหรือประมาณ 1,000 Tg/ปี มีแหล่งกำเนิดมาจากทะเล และประมาณ 500 Tg/ปี มีแหล่งกำเนิดมาจากเปลือกโลก กระบวนการตามธรรมชาติที่ก่อให้เกิดอนุภาคของซัลเฟต (sulphate particles) ทำให้เกิดฝุ่นละอองในบรรยากาศประมาณ 240 Tg/ปี ฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคซัลเฟตที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ มีค่าประมาณ 220 Tg/ปี นอกจากนี้การปลดปล่อยฝุ่นละอองจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น จากขบวนการพาหนะและกระบวนการในอุตสาหกรรมมีค่าประมาณ 130 Tg/ปี ซึ่งถือว่าน้อยเมื่อเทียบกับฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศชั้นโทรโปสเฟียร์

2.1.5. กระบวนการเกิดฝุ่นละอองแต่ละชนิด

2.1.5.1 ฝุ่นละอองที่เกิดจากน้ำทะเล (maritime aerosol)

ฝุ่นละอองที่เกิดจากน้ำทะเลจะเป็นอนุภาคของเกลือ (sea-salt aerosol) ซึ่งเกิดจากการแตกของฟองอากาศที่ผิวทะเล ฟองเหล่านี้อาจเกิดขึ้นจากกระบวนการทางชีววิทยา ปฏิกิริยาเคมี หรือการกระเพื่อมของน้ำทะเลเนื่องจากลม ถ้าความเร็วลมมีค่ามากกว่า 3 m/s จะทำให้สันคลื่นแตกกระจายเป็นฝอยและเกิดฟองอากาศขึ้น โดยขนาดของฟองอากาศมีค่าตั้งแต่ 2-3 μm จนถึง 10 mm ฟองเหล่านี้จะมีผิวเป็นฟิล์มบางๆ ของน้ำทะเล ซึ่งเมื่อแตกออกก็จะเกิดเป็นหยดน้ำเล็กๆ (droplet) จำนวนมาก และถูกกระแสลมพัดฟุ้งกระจายไปในอากาศ หยดน้ำเหล่านี้จะมีการระเหยกลายเป็นไอ และอนุภาคของเกลือฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ โดยมีขนาดตั้งแต่ 0.25-2.0 μm Woolf และคณะ (1987) ได้ศึกษาในกรณีที่ความเร็วมีค่าสูงกว่า 10 m/s จะมีการฟุ้งของน้ำขึ้นไปในอากาศจากสันคลื่นและเกิดละอองน้ำที่มีขนาดใหญ่กว่าละอองของน้ำ ที่เกิดจากการแตกของฟองอากาศ ตามปกติขนาดอนุภาคของเกลือที่เกิดโดยกระบวนการนี้ อาจมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9 μm จากการศึกษาของ Fairall และคณะ (1983) พบว่าปริมาณเกลือที่เกิดขึ้นที่ความเร็วลม 6 m/s มีค่า $5.5 \times 10^{-8} \text{ g/m}^2 \cdot \text{s}$ กรณีลมสงบจะมีการเกิดละอองน้ำ 160 อนุภาค/ $\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ซึ่งเกิดโดยกระบวนการแตกของฟองอากาศ โดยทั่วไปองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากน้ำทะเลจะเหมือนองค์ประกอบของน้ำทะเล กล่าวคือส่วนใหญ่จะเป็น โซเดียมคลอไรด์ซึ่งสามารถดูดกลืนและคลายความชื้นได้

2.1.5.2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเปลี่ยนจากก๊าซไปเป็นอนุภาค (gas-to-particle)

ฝุ่นละอองแบบละเอียด (fine particle) ที่พบอยู่เหนือน้ำทะเล ส่วนใหญ่เป็นกรดซัลฟิวริกประมาณ 40% ammonium neutralized sulphate ประมาณ 60% ตามปกติซัลเฟอไดออกไซด์ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของกรดซัลฟิวริก จะพบในบรรยากาศเหนือพื้นดินที่ปลดปล่อยมาจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตามมีการค้นพบสารดังกล่าวเหนือพื้นน้ำในท้องทะเลที่ห่างจากชายฝั่งมาก โดยแหล่งกำเนิดของก๊าซดังกล่าวมาจากแหล่งฟองอากาศในน้ำทะเล ฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการดังกล่าวจะมีขนาดเล็ก เพราะเกิดจากปฏิกิริยาเคมีที่มีการเปลี่ยนจากสารเดิมที่มีสภาพเป็นก๊าซและเกิดสารใหม่ที่มีสภาพเป็นของเหลว

2.1.5.3 ฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากเปลือกโลก (coarse aerosol)

ฝุ่นละอองชนิดนี้มีกระบวนการเกิดจากแรงทางกลศาสตร์เป็นหลัก โดยทั่วไปจะเกิดจากการสึกกร่อนของดิน หิน หรือของแข็งอื่นๆ อันเนื่องมาจากแรงลม โดยลมจะทำให้อนุภาคของแข็งหลุดออกมาจากวัตถุและฟุ้งกระจายไปตามทิศทางการไหลของกระแสลม ซึ่งอนุภาคของ

ฝุ่นละอองจะมีรูปร่างไม่แน่นอน (irregular sharp) และเป็นรูปร่างแบบหยาบ (coarse particle) ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 40 -100 μm

2.1.5.4 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

เป็นฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมและขบวนการต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดในกระบวนการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ต่างๆ มีทั้งอนุภาคแบบละเอียดและแบบหยาบ เช่น เหม่าและควันไฟ เป็นต้น บางครั้งอาจจะอยู่ในรูปของเหลวหรือของผสมระหว่างของเหลวและของแข็ง โดยมีการกระจายอยู่อย่างหนาแน่นในย่านอุตสาหกรรมและชุมชนเมือง

2.1.6. การเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองในช่วงเวลาที่อยู่ในบรรยากาศ (aerosol evolution)

เมื่อฝุ่นละอองฟุ้งกระจายจากแหล่งกำเนิดขึ้นสู่บรรยากาศ โดยทั่วไปจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาด รูปร่างและจำนวนอนุภาค ซึ่งบางครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้วย ซึ่งสามารถจำแนกได้ดังนี้

2.1.6.1 การเชื่อมติดกัน (coagulation)

เป็นกระบวนการที่ฝุ่นละอองซึ่งมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion) มาชนกันและเชื่อมติดกันเป็นอนุภาคเดียว กระบวนการนี้จะทำให้อนุภาคขนาดเล็กกลดจำนวนลง และอนุภาคขนาดใหญ่มีจำนวนเพิ่มขึ้น โดยทั่วไปกระบวนการเชื่อมติดกันนี้จะเกิดขึ้นจากอนุภาคขนาดเล็กเท่านั้น

2.1.6.2 การกลั่นตัวของไอสารบนอนุภาคของแข็ง (heterogeneous condensation)

ไอสารดังกล่าวอาจเป็นไอน้ำหรือไอของสารอื่นๆ กระบวนการนี้เกิดจากไอสารในบรรยากาศบนอนุภาคของฝุ่นละอองที่เป็นของแข็งกลั่นตัวจะทำให้อนุภาคของแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยจะเกิดขึ้นจนกระทั่งถึงจุดสมดุลกล่าวคือ เมื่อถึงจุดสมดุลอัตราการกลั่นตัวจะเท่ากับอัตราการระเหย โดยทั่วไปอัตราการโตขึ้นของอนุภาคของแข็งเนื่องจากการกลั่นตัวจะถูกควบคุมด้วยอัตราการชนระหว่างอนุภาคของไอกับอนุภาคของแข็ง โดยอัตราดังกล่าวจะแปรตามพื้นที่ผิวขงผล (effective surface) ของอนุภาคของแข็งซึ่งหาได้จากสมการ

$$S_{eff}(r) = \frac{S(r)}{1 + \frac{2r}{\pi\lambda_1}} \quad (2.4)$$

เมื่อ $S_{eff}(r)$ เป็นพื้นที่ผิวขงผล

$S(r)$ เป็นพื้นที่ผิวของอนุภาค

r เป็นรัศมีของอนุภาค

λ_1 เป็น mean free path

จากสมการที่ (2.4) ค่า $S_{eff}(r)$ ลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อรัศมีของอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า $0.3 \mu\text{m}$ ดังนั้นกระบวนการกลั่นตัวเป็นเนื้อเดียวกันจะเกิดขึ้นอย่างเด่นชัด เมื่ออนุภาคมีขนาดเท่ากับ $0.1 - 0.5 \mu\text{m}$ Hoppel และคณะ (1990) ได้ศึกษากระบวนการดังกล่าวที่เกิดขึ้นกับฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากน้ำทะเลและพบว่าขนาดของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นจาก $0.005 \mu\text{m}$ เป็น $0.02 \mu\text{m}$ ในช่วงระยะเวลาประมาณ 1.4 วัน โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองโดยกระบวนการกลั่นตัวของไอสารบนอนุภาคของแข็งเกิดขึ้นมากกว่าการเชื่อมติดกันประมาณ 10 เท่า

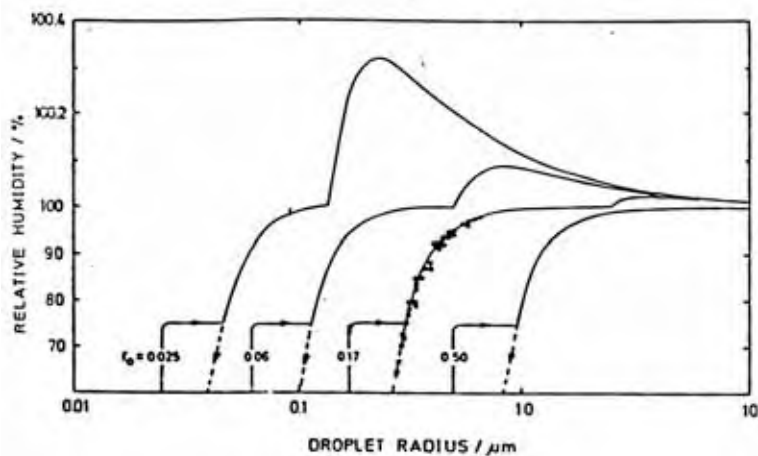
2.1.6.3 Oxidation ของสารต่างชนิดกัน (heterogeneous oxidation)

เกิดจากอนุภาคของฝุ่นละอองที่เป็นของเหลวเกิด oxidation กับออกซิเจนในบรรยากาศเกิดเป็นสารใหม่ เช่น ซัลเฟอไดออกไซด์ (SO_2) ที่ละลายอยู่ในละอองน้ำเกลือจากทะเล (sea – salt aerosol water) เกิด oxidation กับออกซิเจนหรือโอโซน (O_3) หรือ hydrogen peroxide เกิดเป็นสาร HSO_3 และ SO_3 ปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นเร็วขึ้นเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) เป็นไอออนของธาตุหนัก เช่น ไอออนของเหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) เป็นต้น กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่สำคัญในการทำให้กำมะถัน (S) ที่อยู่ในละอองน้ำทะเลลดลง เนื่องจากถูก oxidation ทำให้มีมวลเพิ่มขึ้นและร่วงหล่นลงสู่พื้นได้เร็วขึ้น

2.1.6.4 การโตขึ้นของอนุภาคฝุ่นละอองเนื่องมาจากความชื้นในบรรยากาศ (growth with ambient humidity)

เนื่องจากฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคของแข็ง มักเป็นสารประเภท hygroscopic กล่าวคือ สามารถดูดและคายความชื้นได้ ดังนั้นฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ดูดกลืนความชื้นเข้าไปจะมีมวลเพิ่มขึ้นขณะที่ฝุ่นละอองที่คายความชื้นจะมีมวลลดลง การดูดและคายความชื้นจะขึ้นกับชนิดของฝุ่นละออง ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของบรรยากาศ

Warneck (1988) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงขนาดของฝุ่นละอองที่เป็นอนุภาคโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ค่าต่างๆ ผลที่ได้แสดงไว้ในรูป 2.1 จากกราฟจะเห็นว่า การเพิ่มขึ้นและการลดลงของขนาดของอนุภาคจะไม่ย้อนรอยเดิม แต่มีลักษณะเป็น hysteresis cycles ซึ่งเป็นคุณสมบัติโดยทั่วไปของสาร hygroscopic



รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาค NaCl ที่ความชื้นต่าง ๆ โดยเส้นทึบแสดงการเพิ่มขึ้นของขนาดเมื่อความชื้นลดลง

2.1.6.5 กระบวนการดูดกลืนก๊าซของเมฆ (In-cloud processes)

โดยทั่วไปเมฆประกอบด้วยละอองน้ำเล็กๆ (water droplets) ซึ่งสามารถดูดกลืนก๊าซต่างๆ ได้ เมื่อดูดกลืนก๊าซบางชนิดเช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และ ไอโซน สามารถเกิดปฏิกิริยากับสารบางชนิดที่ละลายอยู่ในละอองน้ำเหล่านั้นกลายเป็นอนุภาคของแข็ง (particle matter) ได้ Langner และคณะ(1992) ได้ทำการศึกษาปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์เพียง 14% เท่านั้นที่ถูก oxidized กลายเป็น H_2SO_4 ส่วนอีกครึ่งหนึ่งของปริมาณซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกนำออกไปจากบรรยากาศโดยการร่วงหล่นสู่พื้น (dry deposition) และส่วนที่เหลือจะถูก oxidized ในละอองน้ำเล็กๆ ที่ประกอบเป็นเมฆ

2.1.7. กระบวนการที่ฝุ่นละอองหายไปจากบรรยากาศ (removal mechanisms)

ฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ มีการปลดปล่อยขึ้นสู่บรรยากาศและระหว่างที่อยู่ในบรรยากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดและจำนวนด้วยกระบวนการต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้ว ฝุ่นละอองเหล่านี้จะมีการระเหยออกไปจากบรรยากาศด้วยกระบวนการต่างๆ ดังนี้

2.1.7.1 การร่วงหล่นลงสู่พื้นโดยไม่เกี่ยวกับการกลั่นตัว (dry deposition)

กระบวนการนี้เกิดจากการที่ฝุ่นละอองถูกแรงโน้มถ่วงดึงดูดให้ตกลงสู่พื้นผิวโลก โดยไม่มีการควบแน่นเข้ามาเกี่ยวข้อง กระบวนการดังกล่าวจะขึ้นกับเงื่อนไขทางด้านอุตุนิยมวิทยา โกลด์ผิวโลก ความหยาบของพื้นผิวโลก (surface roughness) คุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีของอนุภาคฝุ่นละอองโดยทั่วไปจะวัดอัตราการร่วงหล่นในรูปแบบฟังก์ชันของอนุภาคต่อความเข้มข้นของ

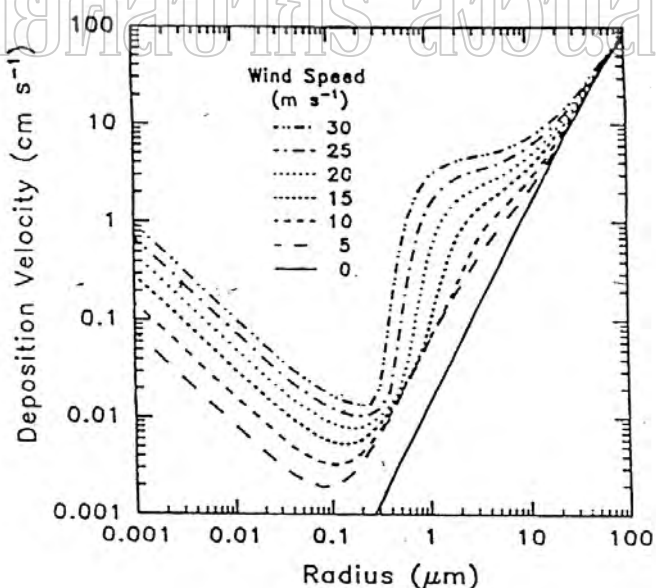
อนุภาคใกล้พื้นผิวโลก โดยอัตราการร่วงหล่นจะถูกควบคุมโดยแรงโน้มถ่วงและความปั่นป่วน (turbulent) ของบรรยากาศ การร่วงหล่นโดยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า $1 \mu\text{m}$ ที่ความเร็วลมเป็นศูนย์จะสามารถคำนวณความเร็วสุดท้าย (terminal velocity) ได้จากสมการ

$$V_t = (2.38 \times 10^{-4}) r^2 \quad (2.5)$$

เมื่อ V_t เป็นความเร็วสุดท้าย (m/s)

r เป็นรัศมีของอนุภาค (μm)

Smith และคณะ (1993) ได้ศึกษาความเร็วของการร่วงหล่นของฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ และที่ความเร็วลมค่าต่าง ๆ เหนือพื้นน้ำทะเลซึ่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 98.3% พบว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า $10 \mu\text{m}$ จะมีความเร็วของการร่วงหล่นด้วยอิทธิพลเหมือนกับกรณีที่การร่วงหล่นเกิดจากเฉพาะแรงโน้มถ่วง ส่วนอนุภาคที่มีขนาด $1 - 10 \mu\text{m}$ ความเร็วของการร่วงหล่นจะขึ้นกับความเร็วลม โดยผลการศึกษาแสดงไว้ดังกราฟ รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความเร็วของการร่วงหล่นที่ค่ารัศมีต่างๆ ของฝุ่นละออง

2.1.7.2 การร่วงหล่นลงสู่พื้นโดยเกี่ยวข้องกับการกลั่นตัว (wet deposition)

กระบวนการนี้เป็นกรณีลดจำนวนฝุ่นละอองในบรรยากาศเนื่องจากการกลั่นตัวของเมฆกลายเป็นฝนตกลงพื้นผิวโลก โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กระบวนการที่เกิด

ภายในเมฆ (in-cloud process) และกระบวนการที่เกิดขึ้นใต้เมฆ (below-cloud process) กระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเมฆเกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำบนฝุนละออง จนมีขนาดใหญ่กลายเป็นฝุนตกลงสู่พื้นผิวโลก กระบวนการนี้เกิดขึ้นกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า $0.1 \mu\text{m}$ โดยจะเกิดขึ้นกับอนุภาคขนาดใหญ่ก่อน หลังจากนั้นจะเกิดกับอนุภาคที่มีขนาดเล็กโดยทั่วไปอัตราการกลั่นตัวจะช้าลงเมื่อหยดน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้น

กรณีกระบวนการที่เกิได้เมฆจะเกิดขึ้นเมื่อเมฆกลั่นตัวเป็นฝุน จะเกิดการชนกันของละอองเล็กๆ (cloud droplet) ซึ่งจะจับเอาฝุนละอองเข้าไว้และเมื่อกลั่นตัวกลายเป็นฝุน ฝุนละอองเหล่านี้จะถูกนำออกจากบรรยากาศสู่พื้นผิวโลกพร้อมกับฝุน นอกจากนี้ฝุนละอองที่อยู่ในแนวทางการเคลื่อนที่ของเม็ดฝุนก็จะถูกจับร่วงหล่นลงสู่พื้นผิวโลกเช่นเดียวกัน กระบวนการนี้เกิดขึ้นมากกับอนุภาคที่มีขนาดโตกว่า $2 \mu\text{m}$ แต่ฝุนละอองที่มีขนาดในช่วง $0.1-2 \mu\text{m}$ จะได้รับผลจากกระบวนการที่เกิได้เมฆเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นกระบวนการดังกล่าวจึงเป็นผลที่สำคัญต่อฝุนละอองที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น

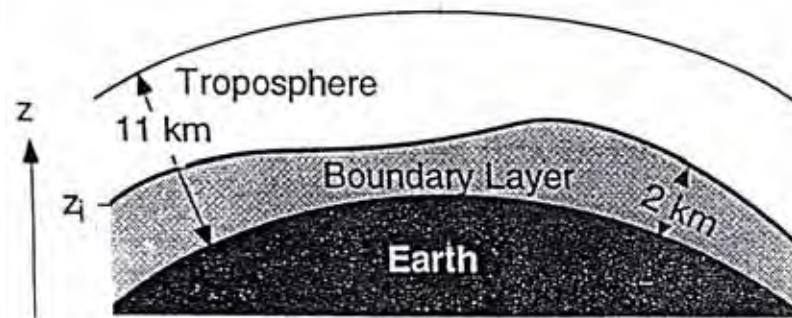


รูปที่ 2.3 การรวมกันของเมฆกับฝุนละอองที่มีความหนาแน่นน้อย และอนุภาคของฝุนละอองมีขนาดใหญ่ จะทำให้แสงส่องผ่านมายังพื้นผิวโลกได้มาก

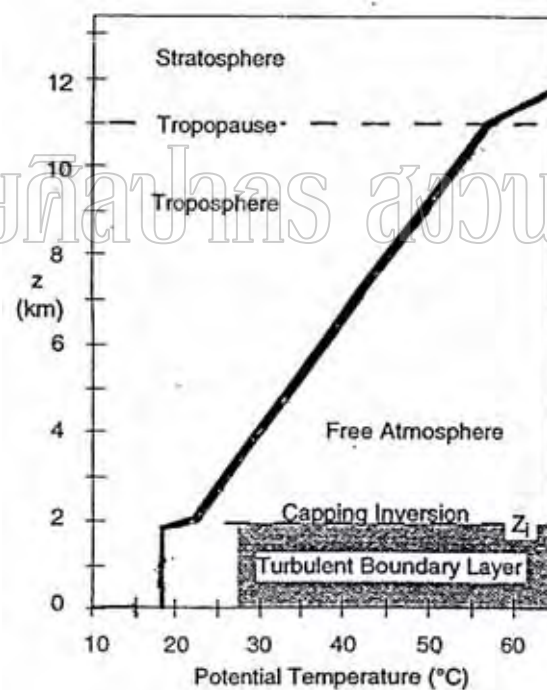
รูปที่ 2.4 การรวมกันของเมฆกับฝุนละอองที่มีความหนาแน่นมากและอนุภาคของฝุนละอองมีขนาดเล็กจะทำให้แสงประมาณ 90% สะท้อนกลับสู่บรรยากาศนอกโลก จึงทำให้แสงส่องผ่านมายังพื้นผิวโลกได้น้อย

2.1.8. การกระจายของฝุนละอองตามความสูงจากพื้นผิวโลก

การกระจายของฝุนละอองตามความสูง จะมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างในแนวตั้งของบรรยากาศของโลกที่อยู่ใกล้พื้นผิวโลกที่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นวัฏจักรตามเวลาในรอบวัน อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วลม ชั้นดังกล่าวจะเรียกว่า boundary layer ซึ่งสูงจากพื้นผิวโลก 2 กิโลเมตร ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.5 โดยอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงตามความสูงตามรูปที่ 2.6



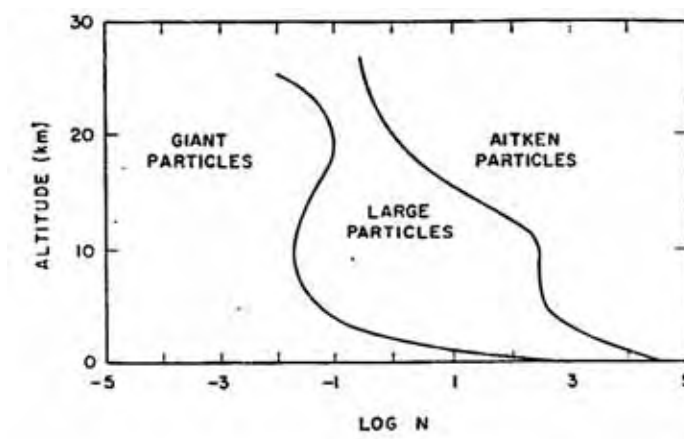
รูปที่ 2.5 boundary layer ของบรรยากาศโลก



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของบรรยากาศตามความสูงจากพื้นผิวโลก

จากการเปลี่ยนแปลงตามความสูงของอุณหภูมิของบรรยากาศ (boundary layer) จะเห็นว่า มีค่าคงที่ หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มขึ้น ลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้มีผลทำให้สามารถแบ่งชั้นของ ฝุ่นละอองได้เป็น ฝุ่นละอองในชั้น boundary layer จะอยู่ที่ระดับความสูง 0-2 กิโลเมตร และ ฝุ่นละอองอิสระในชั้นโทรโพสเฟียร์ (Troposphere) อยู่ที่ระดับความสูง 2-11 กิโลเมตร จากนั้นจะ

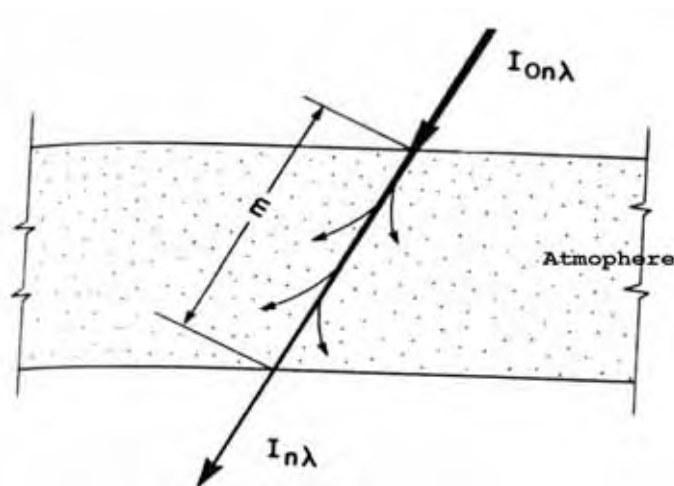
เป็นฝุ่นละอองที่อยู่ในชั้นสตราโทเฟียร์ (Stratosphere) ที่ระดับความสูงมากกว่า 11 กิโลเมตร ปริมาณของฝุ่นละอองที่พบในระดับความสูงต่างๆ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ปริมาณและชนิดของฝุ่นละอองที่พบที่ระดับความสูงต่างๆ ของบรรยากาศ (N เป็นจำนวนของอนุภาคต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

2.1.9. การลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากอวกาศผ่านบรรยากาศของโลกจะถูกลดลง (attenuation) โดยกระบวนการดูดกลืน (absorbition) และการกระเจิง (scattering) โดยองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เมื่อเคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศของโลก

โดยทั่วไปกรณีท้องฟ้าปราศจากเมฆเราสามารถคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มาถึงพื้นโลกได้โดยอาศัยกฎของ Bouguer (Iqbal 1983:109) ได้ดังนี้

$$I_{n\lambda} = I_{on\lambda} \exp(-\tau'_{a\lambda} m_a) \quad (2.6)$$

เมื่อ $I_{n\lambda}$ เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น λ ต่างๆ ซึ่งผ่านบรรยากาศมากระทบพื้นผิวโลกในแนวตั้งฉาก

$I_{on\lambda}$ เป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่น λ ต่างๆ ที่เหนือบรรยากาศโลก

$\tau'_{a\lambda}$ เป็นค่าความลึกเชิงแสงของบรรยากาศที่ความยาวคลื่น λ ต่างๆ

m_a เป็นมวลโมเลกุลของอากาศ

จากสมการที่ (2.6) ค่าความลึกเชิงแสงของบรรยากาศเป็นผลมาจากกระบวนการดูดกลืนและกระบวนการกระเจิงแสงของแต่ละองค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศ ในกรณีของค่าความลึกเชิงแสงของการดูดกลืนและการกระเจิงของโมเลกุลอากาศ ไอน้ำ แก๊ส และโอโซน สามารถหาได้เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้ มีคุณสมบัติในการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ที่แน่นอน แต่กรณีของฝุ่นละอองการหาค่าความลึกเชิงแสงทำได้ยากเพราะฝุ่นละอองมีหลายชนิด และแต่ละชนิดมีขนาดและองค์ประกอบที่แตกต่างกัน

ในช่วงต้นศตวรรษที่ 20 Angstrom (1929) ได้เสนอสูตรการหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (aerosol optical depth) โดยอาศัยสมการที่เสนอโดย Lundholm ซึ่งเขียนได้ดังนี้

$$\tau'_{a\lambda} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (2.7)$$

β ซึ่งโดยทั่วไปจะเรียกว่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม จะเป็นดัชนีบ่งชี้ปริมาณของฝุ่นละอองในบรรยากาศในแนวตั้ง ส่วน α จะมีความสัมพันธ์กับขนาดของฝุ่นละอองที่กระจายอยู่โดยทั่วไป β จะแปรค่าอยู่ในช่วง 0-0.5 และ α จะแปรค่าจาก 0-4 เมื่อฝุ่นละอองมีขนาดเล็กมาก α จะมีค่าเข้าใกล้ 4 และเมื่อฝุ่นละอองขนาดใหญ่ α จะมีค่าเข้าใกล้ 0 สำหรับสภาพฝุ่นละอองโดยทั่วไปที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ α จะมีค่าเท่ากับ 1.3 ± 0.5 สำหรับค่า β ในสภาพที่มีความขุ่นมัวในระดับต่างๆ จะแสดงไว้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของ Angstrom ในสภาพบรรยากาศต่างๆ

Atmosphere	Angstrom turbidity coefficient, β
Clean	0.00
Clear	0.10
Turbid	0.2
Very turbid	0.4

ค่า β และ α ก็เช่นเดียวกันกับตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาอื่นๆ กล่าวคือ จะแปรค่าตลอดทั้งวันซึ่งมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การระเหยของน้ำ และการกลั่นตัวของไอน้ำในบรรยากาศ การเปลี่ยนแปลงนี้เองอาจทำให้ค่า β และ α เพิ่มขึ้นหรือลดลงแล้วแต่สภาพอากาศ ในกรณีที่ไม่สามารถหาค่า β จากการวัดได้จำเป็นต้องหาวิธีการคำนวณจากค่าทัศนวิสัย Meclatchey and Selby (1927) ได้เสนอแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าจากทัศนวิสัยดังสมการที่ (2.8)

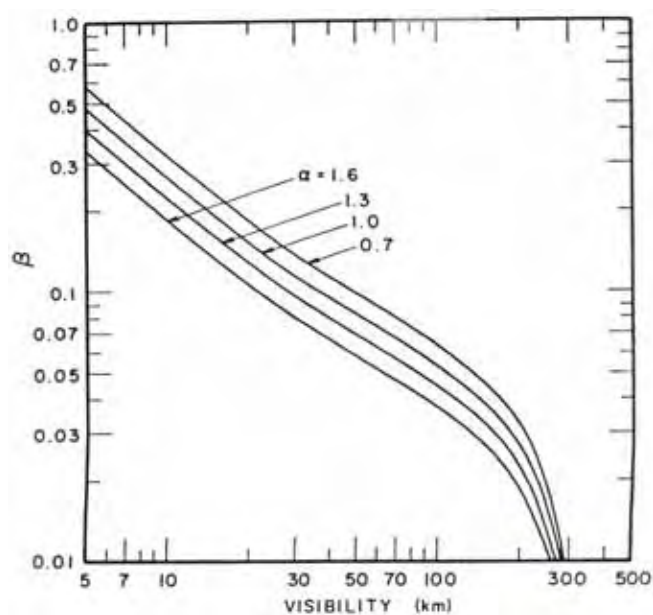
$$\beta = (0.55)^\alpha \left(\frac{3.912}{vis} - 0.01162 \right) [0.02472(vis - 5) + 1.132] \quad (2.8)$$

เมื่อ β เป็น Ångstrom's turbidity coefficient

α เป็น Wavelength exponent

vis เป็น ค่าทัศนวิสัย (km)

ความสัมพันธ์ระหว่าง β , α และทัศนวิสัย สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 2.9 (Iqbal 1983:121)



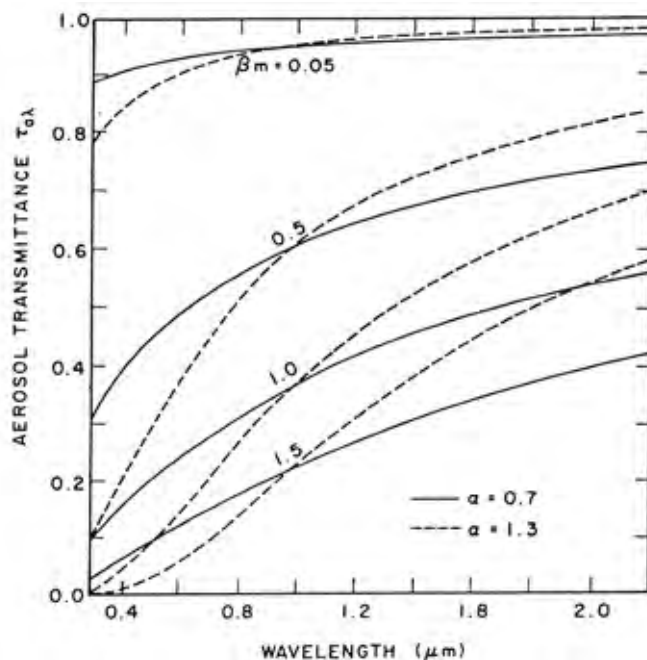
รูปที่ 2.9 แสดงการแปรค่าของ β ตามทัศนวิสัย ที่ค่า α ต่างๆ

จากกราฟที่ค่า β ที่กำหนดให้จะเห็นว่าค่า α ต่างๆ จะสอดคล้องกับค่าทัศนวิสัยสูงๆ หรืออากาศที่มีความโปร่งใสมาก

จากสูตรของ Ångstrom's (1929) เราสามารถเขียนสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละอองได้ดังสมการ

$$\tau_{a\lambda} = \exp(-\beta\lambda^{-\alpha} m_a) \quad (2.9)$$

เมื่อ $\tau_{a\lambda}$ เป็นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น λ ต่าง ๆ



รูปที่ 2.10 แสดงการแปรค่าของ $\tau_{a\lambda}$ กับ βm_a ที่ $\alpha = 1.3$ และ 0.7

จากรูปที่ 2.10 (Iqbal 1983:121) แสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นมีความสำคัญต่อ $\tau_{a\lambda}$ เมื่อค่า βm_a มีค่าสูงในกรณีการหาค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละออง และเมื่อต้องอินทิเกรตทุกความยาวคลื่นหรือสัมประสิทธิ์ในช่วงความยาวคลื่นกว้าง Machler (1983) ได้เสนอให้ใช้สมการ (2.10)

$$\tau_{a\lambda} = (0.12445\alpha - 0.0162) + (1.003 - 0.125\alpha) \exp[\beta m_a (1.089\alpha + 0.5123)] \quad (2.9)$$

เพื่อความสะดวกในการศึกษาผลการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละอองในอากาศสามารถเขียนสมการในรูปสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละออง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่าทัศนวิสัยและทัศนวิสัยสัมพันธ์กับ β และ α ตามสมการที่ (2.8) ดังนั้นจะได้ว่า

$$\tau_{a\lambda} = [0.97 - 1.265(vis)^{-0.66}] m_a^{(0.9)} \quad (2.10)$$

Angstrom (1961) ได้เสนอวิธีการคำนวณค่าและเสนอให้ β เป็นดัชนีชี้ระดับความขุ่นมัวของบรรยากาศ (atmospheric turbidity) และได้เสนอวิธีการหาค่า β โดยการวัดความเข้มรังสี

ตรงที่ความยาวคลื่น 2 ค่า คือ λ_1 และ λ_2 เมื่อ λ_1 และ λ_2 เป็นความยาวคลื่นที่ไม่มีการดูดกลืนโดยไอน้ำและก๊าซอื่นๆ (Angstrom, 1964) โดยทั่วไปจะเลือกใช้ $\lambda_1 = 0.380 \mu\text{m}$ และ $\lambda_2 = 0.5 \mu\text{m}$ จากนั้นใช้สมการ (6) กับค่าที่วัดได้ 2 ความยาวคลื่น เพื่อคำนวณหา β และ α ในการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่น λ_1 และ λ_2 Angstrom (1964) ได้เสนอให้ทำการวัดโดยใช้เครื่องโฟโตมิเตอร์ซึ่งมีแผ่นกรองแสงช่วย

เนื่องจากการหาค่า β โดยใช้วิธีของอังสตรอม โดยใช้โฟโตมิเตอร์ ซึ่งติดแผ่นกรองแสงมีความยุ่งยากในการทำงานเพราะต้องมีการเปลี่ยน แผ่นกรองแสงระหว่างการวัดของอุปกรณ์สำหรับวัดรังสีของดวงอาทิตย์ที่ 2 ความยาวคลื่นได้พร้อมกันซึ่งสะดวกในการนำไปคำนวณค่า β เครื่องมือดังกล่าวเรียกว่า Sun photometer



รูปที่ 2.11 เครื่อง Sun photometer

นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆ หลายความยาวคลื่น โดยสามารถวัดได้ทั้งรังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวม ซึ่งสามารถเลือกความเข้มรังสีตรง 2 ความยาวคลื่น มาใช้ในการคำนวณค่า β ได้ อุปกรณ์ดังกล่าวเรียกว่า Multi-filter rotating shadow band radiometer (MFR-7)



รูปที่ 2.12 เครื่อง Multi-filter rotating shadow band radiometer (MFR-7)

นอกจากนี้ยังมีเครื่องวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ เช่น Spectroradiometer ซึ่งสามารถใช้ในการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับคำนวณค่า β ได้ก็ตาม แต่อุปกรณ์ดังกล่าวมักมีราคาแพงและบางชนิดไม่สามารถติดตั้งกลางแจ้งเพื่อทำการวัดระยะยาวได้

ดังนั้น Louche และคณะ (1987) จึงได้พัฒนาวิธีการหาค่า β จากข้อมูลความเข้มรังสีตรงที่ได้จากเครื่องวัดโฟโตโวลตาอิกใน ช่วงความยาวคลื่นกว้าง (λ อยู่ใน ช่วง $0.29 - 2.5 \mu\text{m}$) ซึ่งจะลดความยุ่งยากในการเปลี่ยนแผ่นกรองแสง

นอกจากการใช้ Ångstrom's turbidity coefficient (β) เป็นดัชนีความขุ่นมัวของบรรยากาศเนื่องจากฝุ่นละอองแล้ว ยังมีการใช้สัมประสิทธิ์อื่นๆ อีก เช่น Link turbidity factor, Unsworth-Monteith coefficient (Tu) และ Schiapp turbidity coefficient(B)

Link turbidity factor จะเป็นตัวเลขที่ใช้คูณ total optical depth ของบรรยากาศที่ปราศจากฝุ่นละออง เพื่อแสดงผลของฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เป็นจริง โดยทั่วไปบรรยากาศที่ปราศจากฝุ่นละอองเราสามารถคำนวณค่ารังสีตรงได้จากสมการ

$$G_n = \left(\frac{G_{sc}}{\rho^2} \right) \exp(-\tau'_{CDA} m_a) \quad (2.11)$$

เมื่อ G_n เป็นความเข้มรังสีตรงที่ตกตั้งฉากกับระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของรังสี

G_{sc} เป็น solar constant

ρ เป็นแฟกเตอร์สำหรับแก้ผลของการเปลี่ยนแปลงของโลกกับดวงอาทิตย์

τ'_{CDA} เป็นความลึกเชิงแสงของบรรยากาศที่ปราศจากฝุ่นละออง
 m_a เป็น air mass

ในกรณีที่บรรยากาศมีฝุ่นละออง Link ได้เสนอให้คำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยการคูณ optical depth ของบรรยากาศด้วย T_L และเรียก T_L ว่า Link turbidity factor โดยความเข้มรังสีตรงของบรรยากาศที่มีฝุ่นละอองจะเขียนได้ดังสมการ

$$G_n = \left(\frac{G_{sc}}{\rho^2} \right) \exp(-\tau'_{CDA} T_L m_a) \quad (2.12)$$

ค่า T_L จะหาได้จากการวัดความเข้มรังสีตรงในช่วงความยาวคลื่นกว้างแล้วนำมาเข้าสู่ตรรกศาสตร์ตามสมการ (2.12)

ข้อดี ของการใช้ Link turbidity factor ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลสเปกตรัมซึ่งวัดได้ยาก

ข้อเสีย กล่าวคือค่า T_L จะขึ้นกับมวลอากาศ (air mass) ซึ่งเป็นการยากที่จะเปรียบเทียบ สภาพ

ความขุ่นมัวโดยใช้ T_L Unsworth-Monteith coefficient (Tu) เป็นการแสดงผลของฝุ่นละอองในรูปแบบของอัตราส่วนของบรรยากาศที่มีฝุ่นละอองกับบรรยากาศที่ปราศจากฝุ่นละออง โดยนิยามตามสมการ

$$\frac{G_n}{G_n^*} = \exp(-T_{u\lambda} m_a) \quad (2.13)$$

$$G_n^* = G_{on} \tau_R \tau_g \tau_w \tau_{oz} \quad (2.14)$$

เมื่อ G_n เป็นค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

G_n^* เป็นค่าเฉลี่ยของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในบรรยากาศที่ปราศจากฝุ่นละออง

$\exp(-T_{u\lambda} m_a)$ เป็นค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านสเปกตรัมของฝุ่นละออง

เราสามารถจัดรูป Unsworth-Monteith coefficient (Tu) ในสมการ(2.13) ใหม่จะได้สมการ

คือ

$$T_{u\lambda} = -\frac{1}{m_a} \ln \left(\frac{G_n}{\left(\frac{G_{sc}}{\rho^2} \right) \tau_R \tau_g \tau_w \tau_{oz}} \right) \quad (2.15)$$

กรณีของ *Schüepf* turbidity coefficient(B) ซึ่งได้เสนอโดย *Schüepf* หาได้โดยทำการแทนค่า β ด้วยค่า B จะคล้ายกับค่า β เพียงแต่ค่า B ใช้ log ฐานสิบแทนการใช้ e และใช้ความยาวคลื่น $0.5 \mu m$ แทนการใช้ $1 \mu m$ ความสัมพันธ์ระหว่าง β และ B หาได้ดังสมการ

$$e^{-\frac{\beta}{\lambda a}} = 10^{-\frac{B}{(2\lambda)^a}} \quad (2.16)$$

$$B = \beta 2^\alpha \log e \quad (2.17)$$

กรณี $\alpha = 1.3$ จะได้

$$B = \beta 1.07 \quad (2.18)$$

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆจะมีความเข้มลดลง (attenuation) เนื่องจากกระบวนการต่างๆ ได้แก่ การกระเจิงโดยโมเลกุลของอากาศ หรือ Rayleigh scattering การกระเจิงและการดูดกลืนของฝุ่นละอองในบรรยากาศ และการดูดกลืนในบางช่วงของความยาวคลื่นอันเนื่องมาจากก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ (selective absorption) โดยทั่วไปมักไม่มีปัญหาในการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกกระเจิงโดยโมเลกุลของอากาศและการดูดกลืนบางช่วงของความยาวคลื่นจากโมเลกุลอากาศ แต่ปัญหาสำคัญอยู่ที่การดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ทั้งนี้เพราะฝุ่นละอองมีหลายชนิดแต่ละชนิดมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน นอกจากนี้ยังมีการกระจายในแนวตั้ง และการกระจายตามพื้นที่และเวลาในรอบปีที่ยากต่อการศึกษา ถึงแม้ว่าเราจะสามารถใช้ทฤษฎีของ Mie หากการกระเจิงและการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละอองได้ก็ตาม แต่ทฤษฎีดังกล่าวมีความสลับซับซ้อนและยากต่อการนำมาใช้ในทางปฏิบัติ ในช่วงต้นทศวรรษที่ 20 Angstrom (1929) เป็นคนแรกที่เสนอวิธีการคำนวณการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง โดยพิจารณาผลรวมของการลดลงทั้งจากการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ของฝุ่นละออง และบอกเป็นค่าความขุ่นมัวของบรรยากาศเนื่องจากฝุ่นละออง โดยใช้ค่า Turbidity coefficient (β) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ ต่อมา Moon (1940) ได้ตั้งสมมติฐานว่าการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองเกิดจากการกระเจิงเพียงอย่างเดียว และได้เสนอสูตรสำหรับการคำนวณค่า scattering coefficient ของฝุ่นละออง

ในช่วงทศวรรษที่ 1930 เป็นต้นมา นักวิจัยของประเทศสหภาพรัสเซียได้ทำการศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งยังพัฒนาอุปกรณ์วัดและทฤษฎี ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณผลของฝุ่นละอองที่มีต่อรังสีดวงอาทิตย์ งานวิจัยที่สำคัญงานหนึ่งได้แก่การพัฒนาทฤษฎีการกระเจิงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยฝุ่นละออง โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ Mie เป็นคนตั้งชื่อเรียกทฤษฎีนี้ว่า Mie's theory (Bohren and Huffmar 1983) โดยทฤษฎีดังกล่าวอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของ Maxwell ซึ่งยังคงใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน งานวิจัยที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งของนักวิจัยชาวรัสเซีย คือการศึกษาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองโดยอาศัยการวัดรังสีตรงที่พื้นผิวโลก ซึ่งดำเนินการโดย Genikhovich and Rusian (Berlyand 1974) ในงานดังกล่าวผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีตรงซึ่งวัดได้ที่เมือง Repetek ในเดือนตุลาคม ค.ศ. 1970 มาทำการวิเคราะห์ ในการวัดดังกล่าวได้ใช้แผ่นกรองแสงมาช่วยตัดแสงในบางความยาวคลื่นออกไป จากนั้นจึงทำการคำนวณหาค่า Aerosol Optical Depth ในช่วงความยาวคลื่น 0.38- 0.53 μm และ 0.53- 0.69 μm จากผลการวิเคราะห์พบว่าค่า Aerosol Optical Depth ที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวัน และค่า Aerosol Optical Depth ในช่วงความยาวคลื่น 0.38- 0.53 μm มีค่าสูงกว่าในช่วง 0.53- 0.69 μm

Watt (1978) ได้ทำการศึกษาองค์ประกอบของบรรยากาศในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆที่มีผลต่อการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ สรุปได้ว่าตัวแปรที่มีผลต่อการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์คือ โอโซน 0.5-3.0% โมเลกุลอากาศแห้ง 11-13% ไอน้ำ 3.5-14% และฝุ่นละอองในอากาศ 0.1-26%

ในช่วงทศวรรษ 1970 เป็นต้นมา ได้มีการนำเทคนิคการใช้ข้อมูลดาวเทียมมาช่วยในการศึกษาค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก เช่น ในประเทศออสเตรเลีย Dr. Nunez แห่งมหาวิทยาลัย Tasmania ได้พัฒนาการใช้ข้อมูลดาวเทียมในการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งมีผลงานตั้งแต่ช่วงปลายทศวรรษ 1970 ต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน ในงานวิจัย Nunez(1993) ได้ใช้ข้อมูลดาวเทียมอุตุนิยมวิทยา GMS ทำการศึกษาค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกในบริเวณเขตร้อนของมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของประเทศไทย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย และภาคเหนือของประเทศออสเตรเลีย ตามโครงการ Tropical Ocean Global Atmosphere (TOGA) ในโครงการดังกล่าว Dr.Nunez ได้พัฒนาแบบจำลองเชิงฟิสิกส์ซึ่งใช้คำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในเขตร้อนได้ดี จากการวิจัยนี้ (Nunez 1993) ได้พบว่าฝุ่นละอองในอากาศมีผลในการดูดกลืนและกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ ผลการศึกษาพบว่าบริเวณกรุงเทพมหานคร ฝุ่นละอองมีผลทำให้รังสีดวงอาทิตย์ลดลง 19 %

K.Al-Jamal (1992) ได้ทำการศึกษาในปี 1990-1991 พบว่าในเดือนตุลาคม ซึ่งอยู่ในช่วงฤดูร้อนมีค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองมากที่สุดคือ 0.22 แต่มีความถี่เพียง 21% จากข้อมูลทั้งหมด และจากข้อมูลส่วนใหญ่พบว่า ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจะน้อยกว่า 0.12 นอก

จากนี้ยังได้ทำการเลือกพิจารณาวันที่มีค่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มรังสีนอกบรรยากาศโลก และที่พื้นผิวโลก ความลึกเชิงแสงของโอโซน โมเลกุลอากาศ และไอน้ำที่มีค่าพอๆกันเพื่อหาค่าการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งตรงกับวันที่ 9 มิถุนายน 1990 (ท้องฟ้าปราศจากเมฆ) และวันที่ 14 กันยายน 1991 (ท้องฟ้าขุ่นมัว) พบว่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าขุ่นมัวมีค่าลดลงเป็น 4 เท่าของวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยจะแสดงค่าข้อมูลที่ใช้พิจารณาในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลที่ใช้พิจารณาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆและวันที่ท้องฟ้าขุ่นมัว

Date	Hour	Type	Temp(C°)	RH(%)	$I_0(W/m^2)$	$I(W/m^2)$
9 Jun 1990	11.30	Clear	31	22	1311	976
14 Sep 1991	12.00	Dusty	31.3	29.5	1340	797
	T_{oz}	T_R	A_w	τ_a		
9 Jun 1990	0.977	0.904	0.102	0.05		
14 Sep 1991	0.976	0.893	0.115	0.21		

Estelles และคณะ(2002) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 500 nm ของ 2 ฤดูกาลคือ ฤดูร้อน และฤดูหนาว พบว่าในฤดูหนาวมีค่าความลึกเชิงแสงต่ำที่สุดในเดือนมกราคม คือ 0.1 และมีค่าสูงในฤดูร้อนเท่ากับ 0.4-0.5 ในเดือนมิถุนายน ขณะเดียวกันได้ทำการหาค่า wavelength exponent (α) โดยในเดือนมกราคมมีค่าเท่ากับ 1.2 และในเดือนมิถุนายนมีค่า 0.8

นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยชาวอิตาลี Francesco และคณะ (2004) ได้ทำการศึกษาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม ค.ศ. 2003 ที่ความยาวคลื่น 480 และ 780 nm พบว่า ค่าความลึกเชิงแสงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในรอบวันและที่ความยาวคลื่น 480 nm จะมีค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองมากกว่าที่ความยาวคลื่น 780 nm ซึ่งค่าสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 480 nm ในเดือน สิงหาคมมีค่าเท่ากับ 0.56 และค่าต่ำสุดอยู่ในเดือนกรกฎาคม พร้อมกันนี้ยังได้หาค่า β และ α อีกด้วย โดยค่าสูงสุดของ α เท่ากับ 0.94 ± 0.14 ในเดือนตุลาคม และค่าต่ำสุดในเดือนมิถุนายนมีค่าเท่ากับ 1.73 ± 0.25 ส่วนค่า β พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.15 ± 0.02 ในเดือนสิงหาคม และ 0.14 ± 0.02 ในเดือนตุลาคม และมีค่าต่ำสุดในเดือนมิถุนายนมีค่าเท่ากับ 0.08 ± 0.02

สำหรับในประเทศไทย Exell (1978) สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียได้ทำการหาค่าสภาพขุ่นมัวของบรรยากาศ (atmospheric turbidity) โดยอาศัยตารางคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆของ Schiiepp (Robinson 1966) จากตารางดังกล่าวสามารถหาค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ ถ้าทราบปริมาณไอน้ำในอากาศ และการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง Exell ได้ใช้ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของสถานีกรุงเทพมหานคร และเชียงใหม่ ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆมาคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอากาศ (turbidity coefficient) โดยใช้ตารางของ Schiiepp จากนั้นนำค่า turbidity coefficient ที่ได้มาหาความสัมพันธ์กับข้อมูลทัศนวิสัย ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ดังกราฟรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงความสัมพันธ์ของค่า turbidity coefficient (B) กับข้อมูลทัศนวิสัย ที่กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่ (Exell, 1978)

25 ปีต่อมา Janjai และคณะ (2003) นักวิจัยของห้องปฏิบัติการฟิสิกส์บรรยากาศ มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้ทำการศึกษาสภาพความขุ่นมัวของบรรยากาศในประเทศไทยของสถานีต่าง ๆ ทั้งหมด 53 สถานี ซึ่งตั้งกระจายกันอยู่ทั่วประเทศไทย โดยใช้วิธีต่าง ๆ 3 วิธีในการหาค่า Ångstrom's turbidity coefficient (β) คือ วิธีของ Langley วิธีการของ Louche และแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นใหม่ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง β และทัศนวิสัย ในช่วง ค.ศ. 1998-2000 จากผลการวิจัยพบว่าในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ค่า β มีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง (พฤษภาคม - ตุลาคม) และมีค่าต่ำในช่วงฤดูฝน (พฤศจิกายน-เมษายน) สำหรับภาคใต้ค่า β ค่อนข้างต่ำและมีค่าเกือบคงที่ตลอดทั้งปี

ในปีถัดมา Pipat และ Surapong (2004) นักวิจัยด้านพลังงานของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ได้ทำการศึกษาสภาพความขุ่นมัวของบรรยากาศของท้องฟ้าประเทศไทย โดยทำการเปรียบเทียบจาก 3 วิธี คือ Linke factor (T_L), Ångstrom coefficient (β) และ Illuminance turbidity factor (T_{ii}) โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ มกราคม 2000 ถึง มิถุนายน 2002 จากผลการวิจัยพบว่าทั้ง 3 วิธี

ให้ผลที่สอดคล้องกันคือ ค่า β จะมีค่าต่ำในฤดูแล้งเดือนกันยายน ถึงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งค่าเฉลี่ยรายปีจะเท่ากับ 0.098 และในช่วงฤดูแล้งขนาดของฝุ่นละอองจะมีขนาดเล็ก และฝุ่นละอองจะมีขนาดใหญ่ในเดือนมีนาคมถึงสิงหาคม และเมื่อทำการหาการกระจายความถี่ของขนาดของฝุ่นละอองพบว่าขนาดของฝุ่นละอองที่พบมีค่าอยู่ในช่วง 1.3 ± 0.5 ซึ่งตรงกับที่ Angstrom (1929) ได้เสนอไว้

เนื่องจากในอดีตที่ผ่านมา การศึกษาเรื่องฝุ่นละอองในประเทศไทยยังมีไม่มากนักดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอที่จะทำการศึกษาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ที่บริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยวิธีการศึกษาจะกล่าวในรายละเอียดในบทถัดไป

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการและผล

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (aerosol optical depth) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงสภาพการส่งผ่านของแสงเนื่องจากฝุ่นละออง ทั้งนี้เพราะค่าความลึกเชิงแสงเป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เพื่อใช้ในงานด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยในการดำเนินการวิจัยจะประกอบไปด้วยการหาค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากฝุ่นละออง การจำแนกชนิดของฝุ่นละออง พร้อมทั้งทำการหาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยใช้ข้อมูลจากการวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร ($13.73^{\circ}N$, $100.57^{\circ}E$) สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชียจังหวัดปทุมธานี ($14.08^{\circ}N$, $100.62^{\circ}E$) และคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ($13.82^{\circ}N$, $100.04^{\circ}E$) ตามรายละเอียดด้านต่างๆ ดังนี้

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.1 การหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง

3.1.1 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ใช้ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง คือ sunphotometer ซึ่งทำการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นซึ่งมีเฉพาะการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีดวงอาทิตย์จากฝุ่นละอองและโมเลกุลอากาศเท่านั้น หรือมีการดูดกลืนเพียงเล็กน้อยจากก๊าซอื่นๆ โดยเครื่องมือแต่ละสถานที่มีรายละเอียดดังนี้

3.1.1.1 การวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา (สถานีกรุงเทพฯ)

เครื่องมือดังกล่าวเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้ (portable sunphotometer) ที่ผลิตโดยบริษัท CIMEL โดยทำการวัดบนดาวฟ้าของกรมอุตุนิยมวิทยา บางนา กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีละติจูดเท่ากับ $13.73^{\circ}N$ และลองจิจูดเท่ากับ $100.57^{\circ}E$ โดยเครื่องนี้มีลักษณะเป็นกล่องกว้างประมาณ 20 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร และสูงประมาณ 10 เซนติเมตร และจะมีท่อเหล็กทรงกระบอกกวางยาวประมาณ 10 เซนติเมตร ต่ออยู่ที่ส่วนบนของเครื่องวัดและหันปากกระบอกไปตามดวงอาทิตย์ เพื่อให้รังสีดวงอาทิตย์ส่องเข้าไปในกระบอก ดังรูปที่ 3.1 ค่าที่วัดได้เป็นค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นต่างๆ เป็น digital count โดยเครื่องดังกล่าวจะทำการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นทั้งหมด 6 ความยาวคลื่น ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงความยาวคลื่นของเครื่อง sunphotometer ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร

ช่องสัญญาณ	ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)
1	380
2	440
3	500
4	670
5	870
6	937

ในการบันทึกข้อมูลจะทำการบันทึกที่ 3 ครั้งต่อวัน คือที่เวลา 9.00 น. 12.00 น. และ 15.00 น. ในการทำการวัดแต่ละครั้งจะมีผู้ชำนาญการเป็นผู้วัดและบันทึกข้อมูล ผู้วิจัยจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 3.1 เครื่อง sunphotometer ที่กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา กรุงเทพมหานคร

3.1.1.2 การวัดที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (สถาบัน AIT)

เครื่องมือที่ใช้เป็น sunphotometer แบบติดตั้งถาวรกลางแจ้งที่ผลิตโดยบริษัท EKO รุ่น MS-110 ติดตั้งบน sun tracker อยู่บนคานฟ้าของอาคารพลังงาน (Energy Building) ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ซึ่งมีละติจูดเท่ากับ 14.08°N และลองจิจูดเท่ากับ 100.62°E ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยเครื่องดังกล่าวจะทำการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นทั้งหมด 5 ความยาวคลื่น ดังแสดงในตารางที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงเครื่อง Sun photometer ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี

ตารางที่ 3.2 แสดงความยาวคลื่นของเครื่อง sunphotometer ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี

ช่องสัญญาณ	ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)
1	368
2	500
3	675
4	778
5	862

เครื่อง sunphotometer นี้ประกอบด้วยหัววัดและเครื่องบันทึกข้อมูล ส่วนของหัววัดมีลักษณะเป็นทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร และจะหมุนปากกระบอกตามดวงอาทิตย์ด้วย sun tracker แบบอัตโนมัติเพื่อให้รังสีดวงอาทิตย์ส่องตรงเข้าไปในหัววัดที่อยู่ภายใน จากนั้นเครื่องบันทึกข้อมูลจะนำสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ต่อเข้า data logger และบันทึกข้อมูลทุก 1 นาที ข้อมูลที่ได้จะแสดงผลเป็นค่าความต่างศักย์มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ (mV) ในการนำข้อมูลมาใช้งานจะต้องนำค่าที่วัดได้ไปหารค่าแฟกเตอร์ของการสอบเทียบ (calibration factor) ของหัววัดในแต่ละความยาวคลื่น แล้วจึงจะได้ข้อมูลเป็นค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ในแต่ละความยาวคลื่น ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) เครื่องมือได้ส่งไปสอบเทียบยังบริษัทผู้ผลิตเมื่อปี ค.ศ. 2002 ค่าแฟกเตอร์ของการสอบเทียบของแต่ละความยาวคลื่นจะแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าแฟกเตอร์ของการสอบเทียบของแต่ละความยาวคลื่น

ความยาวคลื่น (nm)	แฟกเตอร์ของการสอบเทียบ (mV)
368	4.30
500	5.68
675	4.98
778	5.29
862	3.22

ข้อมูลที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าจากหัววัด จะถูกบันทึกลง data logger โดยมีเจ้าหน้าที่ของ AIT เป็นผู้ดูแลเครื่องมือและ load ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลซึ่งเป็นค่าความต่างศักย์มาใช้วิเคราะห์หาความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง

3.1.1.3 การวัดที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร (สถานีนครปฐม)

ในการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะใช้เครื่อง Multi-filter rotating shadowband radiometer (MFR-7) ซึ่งมีหลักการพื้นฐานเหมือนกับเครื่อง Sunphotometer กล่าวคือสามารถวัดความเข้มรังสีตรงในช่วงความยาวคลื่นแคบๆ ที่ 6 ความยาวคลื่น ดังแสดงในตารางที่ 3.4 เครื่องวัดดังกล่าวผลิตโดยบริษัท Yankee Environment Eystem รุ่น MFRSR-1 ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เครื่อง MFR-7 นี้จะประกอบด้วยหัววัดและเครื่องบันทึกข้อมูล โดยส่วนของหัววัดจะมีแผ่นโลหะเป็นแถบกว้างประมาณ 0.5 cm ซึ่งจะหมุนไปบังหัววัด ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ระหว่างที่หัววัดไม่ถูกบัง sensor จะทำหน้าที่วัดรังสีรวม และเมื่อหัววัดถูกบัง sensor จะวัดค่ารังสีกระจาย และจากค่ารังสีรวมและรังสีกระจายจะสามารถหาค่ารังสีตรงได้ ในส่วนของการบันทึกข้อมูลผู้วิจัยได้ตั้งโปรแกรม

บันทึกข้อมูลทุกๆ 24 วินาที แล้วทำการเฉลี่ยทุกๆ 6 นาที แล้วจึงบันทึกข้อมูลเฉลี่ยลงในเครื่องบันทึกซึ่งจะมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภายในช่วยในการคำนวณค่ารังสีตรงโดยมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) พร้อมทั้งคำนวณค่าโคไซน์ของมุมดวงอาทิตย์ (Cosine of Zenith) ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาค่ามวลอากาศ (air mass) ในขณะนั้นได้ด้วย เครื่องดังกล่าวได้ทำการติดตั้งอยู่บนดาดฟ้าของอาคารวิทยาศาสตร์ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และได้ส่งไปสอบเทียบยังบริษัทผู้ผลิตเมื่อเดือน เมษายน ค.ศ. 2003 ผู้วิจัยเป็นผู้ดูแลรับผิดชอบการวัดและการ load ข้อมูล

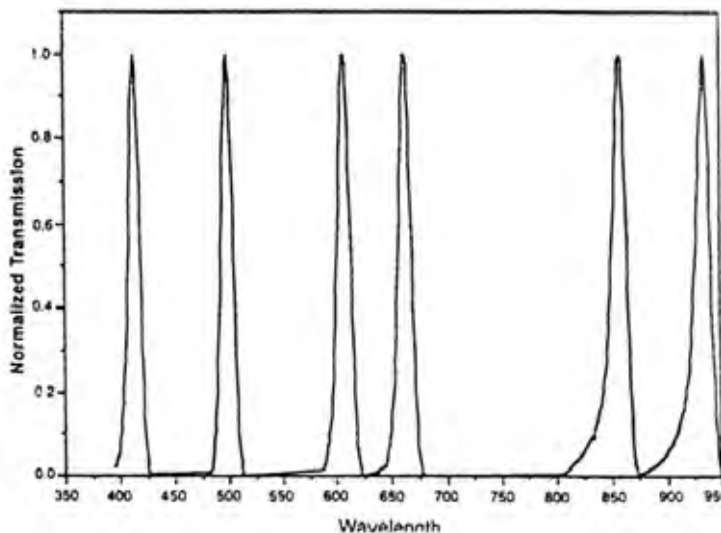


รูปที่ 3.3 แสดงเครื่อง Multi-filter rotating shadow band radiometer (MFR-7) ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

ตารางที่ 3.4 แสดงความยาวคลื่นของเครื่อง Multi-filter rotating shadowband radiometer (MFR-7) ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

ช่องสัญญาณ	ความยาวคลื่น(นาโนเมตร)
1	Broadband (300-1100)
2	413
3	500
4	613
5	691
6	863
7	940

สำหรับค่าช่วงกว้างความยาวคลื่น (band width) จะมีค่าเท่ากับ 10 nm ซึ่งมีช่วงการตอบสนองดังกราฟรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การตอบสนองของความยาวคลื่นของเครื่อง MFR-7

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

3.1.2 ข้อมูล

ถึงแม้ว่าข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จาก sunphotometer ทั้ง 3 แห่ง จะมีการวัดและบันทึกข้อมูลมาหลายปีแล้วก็ตาม แต่ผู้วิจัยจะเลือกใช้ข้อมูลเฉพาะในช่วงวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 2004 จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม ค.ศ. 2005 รวมเวลาประมาณ 2 ปี ทั้งนี้เพราะเป็นการวัดหลังจากที่เครื่องมือได้รับการสอบเทียบใหม่แล้ว โดยข้อมูลที่นำมาใช้จะเลือกเฉพาะในช่วงเวลาที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งบอกได้จากข้อมูลปริมาณเมฆ ซึ่งบอกได้จากข้อมูลปริมาณเมฆ กรณีของการวัดที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จะบอกสภาพท้องฟ้าจากข้อมูลภาพถ่ายท้องฟ้าซึ่งได้จากเครื่อง sky camera

เพื่อความสะดวกในการอ้างอิงถึงผู้วิจัยจะเรียกชื่อสถานที่วัดต่างๆ ว่าเป็นสถานีวัด ทั้งนี้เพราะเป็นการวัดต่อเนื่องประจำระยะยาว โดยจะเรียกการวัดที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา ว่าสถานีกรุงเทพฯ การวัดที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จะเรียกว่า สถานี AIT และการวัดที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จะเรียกว่า สถานีนครปฐม สำหรับข้อมูลสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์จาก sunphotometer ทั้งหมดและรายละเอียดสถานีได้แสดงไว้ตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงรายละเอียดสถานีและข้อมูล

สถานี	พิกัด		ช่วงเวลาข้อมูล	ข้อมูลที่นำมาใช้
	Lattitude	Longitude		
1. สถานีกรุงเทพฯ	13.73	100.57	ราย 3 ชม.	174
2. สถานี AIT	14.08	100.62	ราย 5 นาที (2004) ราย 1 นาที (2005)	324
3. สถานีนครปฐม	13.82	100.04	ราย 6 นาที	335

3.1.3 วิธีการ

วิธีการในการหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองของแต่ละสถานี จะแตกต่างกันออกไป ดังนั้นผู้วิจัยจะขออธิบายวิธีการของแต่ละสถานีดังนี้

3.1.3.1 ข้อมูลจากการวัดที่สถานีนครปฐม

ในการนำข้อมูล MFR-7 มาใช้หาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลความเข้มรังสีตรงที่ความยาวคลื่น 413, 500, 613, 675 และ 863 นาโนเมตร มาทำการวิเคราะห์โดยใช้กฎของ Bouguer's ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มรังสีตรงของแต่ละความยาวคลื่นที่ตกกระทบพื้นผิวโลกกับค่าความลึกเชิงแสงของโมเลกุลอากาศ ฝุ่นละออง ไออน้ำ ไอโซน และก๊าซต่างๆ ความสัมพันธ์ดังกล่าวเขียนในรูปสมการได้ดังนี้

$$I_{n\lambda} = I_{on\lambda} \exp[-(\tau'_{a\lambda} + \tau'_{r\lambda} + \tau'_{o\lambda} + \tau'_{w\lambda} + \tau'_{g\lambda})m_a] \quad (3.1)$$

เมื่อ $I_{n\lambda}$ เป็นค่าความเข้มรังสีตรงเฉพาะขณะ (irradiance) ตกตั้งฉากกับระนาบการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

$I_{on\lambda}$ เป็นค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉพาะขณะนอกบรรยากาศโลก ซึ่งตกตั้งฉากกับระนาบของดวงอาทิตย์

$\tau'_{g\lambda}$ เป็นค่าความลึกเชิงแสง (optical depth) ของก๊าซเนื่องจากการกระเจิงของรังสีดวงอาทิตย์

$\tau'_{r\lambda}$ เป็นค่าความลึกเชิงแสงของโมเลกุลอากาศเนื่องจากการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ (Rayleigh scattering)

$\tau'_{o\lambda}$ เป็นค่าความลึกเชิงแสงของไอโซนเนื่องจากการดูดกลืนของรังสีดวงอาทิตย์

$\tau'_{w\lambda}$ เป็นค่าความลึกเชิงแสงของไออน้ำในบรรยากาศเนื่องจากการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

$\tau'_{a\lambda}$ เป็นค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในบรรยากาศเนื่องจากการกระเจิงและการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์

m_a เป็นมวลอากาศ

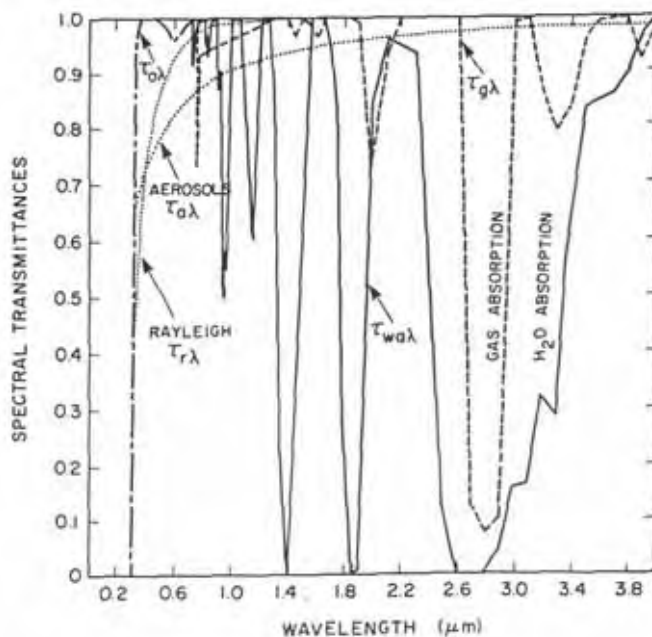
เมื่อใส่ \ln ทั้ง 2 ด้านของสมการ (3.1) จะได้

$$\ln I_{n\lambda} = \ln I_{on\lambda} - (\tau'_{a\lambda} + \tau'_{r\lambda} + \tau'_{o\lambda} + \tau'_{w\lambda} + \tau'_{g\lambda}) m_a \quad (3.2)$$

จัดรูปสมการ (3.2) ใหม่ จะได้สมการของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองดังนี้

$$\tau'_{a\lambda} = \frac{\ln I_{n\lambda} - \ln I_{on\lambda}}{m_a} - (\tau'_{r\lambda} + \tau'_{o\lambda} + \tau'_{w\lambda} + \tau'_{g\lambda}) \quad (3.3)$$

ในการหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจะหาที่ละความยาวคลื่น เช่นที่ความยาวคลื่น 413 นาโนเมตร พบว่าที่ความยาวคลื่นนี้ไม่ถูกดูดกลืนโดยไอน้ำ และก๊าซต่างๆ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากกราฟ การส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศได้จากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงการส่งผ่านของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากองค์ประกอบต่างๆ ในบรรยากาศ

ดังนั้นจึงเหลือองค์ประกอบในบรรยากาศที่เราต้องพิจารณาเพียงแค่ 3 องค์ประกอบ คือ ฝุ่นละออง โมเลกุลอากาศ และโอโซน สมการที่ (3.3) จึงเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$\tau'_{a\lambda} = \frac{\ln I_{0\lambda} - \ln I_{n\lambda}}{m_a} - (\tau'_{o\lambda} + \tau'_{r\lambda}) \quad (3.4)$$

จากสมการที่(3.4) ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉพาะขณะนอกบรรยากาศโลกซึ่งตกตั้งฉากกับระนาบของดวงอาทิตย์เป็นค่าคงที่ของแต่ละความยาวคลื่น สามารถหาได้จากตารางในเอกสารอ้างอิง (Iqbal , 1983)

ค่า $\tau'_{o\lambda}$ สามารถคำนวณได้จาก

$$\tau'_{o\lambda} = K_{o\lambda} l \quad (3.5)$$

เมื่อ $K_{o\lambda}$ เป็น extinction coefficient ของโอโซน (cm^{-1})
 l เป็นปริมาณ โอโซน (cm)

ค่า $\tau'_{r\lambda}$ สามารถคำนวณได้จาก

$$\tau'_{r\lambda} = 0.008735 \lambda^{-4.08} \quad (3.6)$$

เมื่อ λ เป็นความยาวคลื่น (μm)

และ m_a ซึ่งคำนวณได้จาก

$$m_a = m_r \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (3.7)$$

เมื่อ m_r เป็นมวลอากาศที่ความกดดันและอุณหภูมิมาตรฐาน (NTP)

P เป็นความดันบรรยากาศของสถานีวัดที่ทำการหาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

P_0 เป็นความดันบรรยากาศมาตรฐาน (mbar)

โดยค่า m_r คำนวณได้จาก

$$m_r = [\cos \theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253}]^{-1} \quad (3.8)$$

เมื่อ θ_z เป็นมุมซิมิทริกของดวงอาทิตย์

เมื่อแทนค่าต่างๆที่หาได้แล้ว ลงในสมการที่ (3.4) ก็จะสามารหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองๆ ได้

หลังจากได้ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองแล้ว เราสามารถนำค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ 2 ความยาวคลื่นมาคำนวณสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (Angstrom's turbidity coefficient) โดยอาศัยสมการ

$$\tau'_{a\lambda} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (3.9)$$

เมื่อ $\tau'_{a\lambda}$ เป็นความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง
 β เป็นสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม
 α เป็น wavelength exponent
 λ เป็นความยาวคลื่น (หน่วย μm)

ในการหาค่า β ต้องใช้ข้อมูลจากการวัดที่ 2 ความยาวคลื่นนั้นคือ λ_1 และ λ_2 กรณีข้อมูลของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ผู้วิจัยได้เลือกความยาวคลื่นที่ 413 และ 863 nm เพราะที่ความยาวคลื่นทั้ง 2 นี้ไม่ถูกดูดกลืนโดยโอโซน ไออน้ำ และก๊าซต่างๆ ดังนั้นจากสมการที่ (3.9) จะเขียนได้เป็น

$$\tau'_{a,413_1} = \beta(0.413)^{-\alpha} \quad (3.10)$$

$$\tau'_{a,863} = \beta(0.863)^{-\alpha} \quad (3.11)$$

จากสมการ (3.10) และ (3.11) เราสามารถหาค่า β และ α ได้ดังนี้

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{\tau'_{a,413}}{\tau'_{a,863}}\right)}{\ln\left(\frac{0.863}{0.413}\right)} \quad (3.12)$$

$$\beta = \frac{\tau'_{a,413}}{(0.413)^{-\alpha}} \quad \text{หรือ} \quad \beta = \frac{\tau'_{a,863}}{(0.863)^{-\alpha}} \quad (3.13)$$

3.1.3.2 ข้อมูลจากการวัดที่สถานี AIT

ในการนำข้อมูล sunphotometer มาใช้หาค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากฝุ่นละออง จะใช้ข้อมูลความเข้มรังสีตรงที่ความยาวคลื่น 378, 500, 675 และ 778 นาโนเมตร ซึ่งวิธีการดำเนินการจะคล้ายกับกรณีข้อมูลที่มหาวิทยาลัยศิลปากร กล่าวคือจะใช้กฎของ Bouguer แต่เนื่องจากข้อมูลที่บ้านที่วัดได้เป็นค่าความต่างศักย์ที่มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ (mV) ดังนั้นการใช้งานจะต้องนำค่าที่วัดได้ ไปคูณกับแฟลคเตอร์สำหรับแก้ผลของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (mean sun – earth distance, S) แล้วจึงนำไปหารค่าแฟลคเตอร์ของการสอบเทียบของหัววัดในแต่ละความยาวคลื่น ซึ่งจะได้ค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากฝุ่นละอองตามสมการ

$$\tau'_{a\lambda} = \frac{\ln\left(\frac{E_{o\lambda}}{E_{\lambda} \cdot S}\right)}{m_a} - (\tau'_{o\lambda} + \tau'_{r\lambda} + \tau'_{w\lambda} + \tau'_{g\lambda}) \quad (3.14)$$

เมื่อ $E_{o\lambda}$ เป็นค่าแฟลคเตอร์ของการสอบเทียบของหัววัดในแต่ละความยาวคลื่นดังที่ได้แสดงในตารางที่ 3.2

E_{λ} เป็นศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ (mV)

S เป็นแฟลคเตอร์สำหรับแก้ผลการเปลี่ยนแปลงระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ A.1 ของภาคผนวก ข.

แต่เนื่องจากที่ความยาวคลื่นในช่วง 378 nm ถึง 778 nm ไม่มีการดูดกลืนของไอน้ำและก๊าซอื่น ๆ เราสามารถตัดค่า $\tau'_{w\lambda}$ และ $\tau'_{g\lambda}$ ออกจากสมการนี้ซึ่งสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\tau'_{a\lambda} = \frac{\ln\left(\frac{E_{o\lambda}}{E_{\lambda} \cdot S}\right)}{m_a} - (\tau'_{o\lambda} + \tau'_{r\lambda}) \quad (3.15)$$

สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของออสโตรอม จะใช้ค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากฝุ่นละอองที่ 2 ความยาวคลื่น โดยเลือกความยาวคลื่นที่ 378 และ 778 nm เพราะที่ความยาวคลื่นทั้ง 2 นี้ไม่ถูกดูดกลืนโดยโอโซน ไออน้ำ และก๊าซต่างๆ ดังนั้นจะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของออสโตรอมได้จากสมการที่ (3.9)

3.1.3.3 ข้อมูลที่ได้จากการวัดที่สถานีกรุงเทพฯ

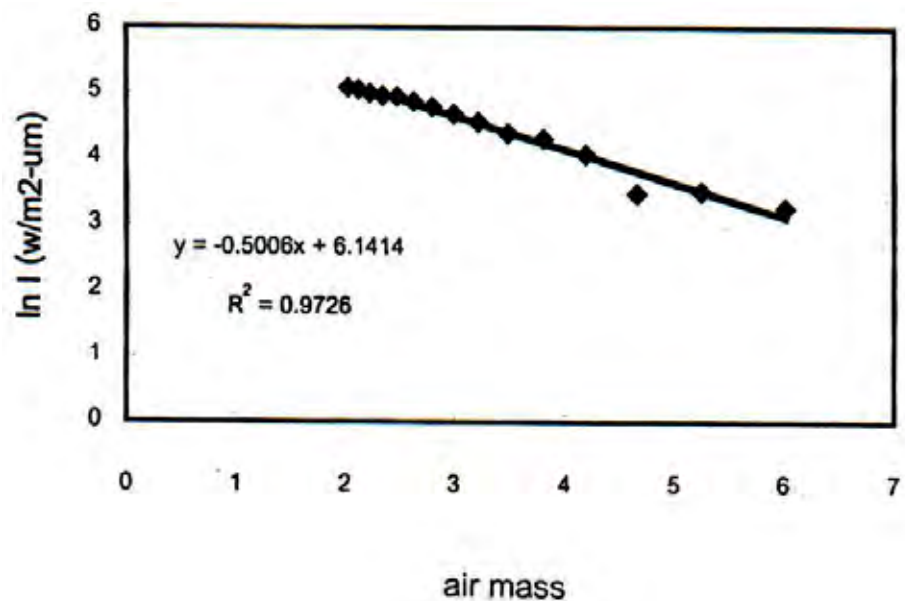
เนื่องจากข้อมูล sunphotometer ของกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา ที่บันทึกผลเป็น digital count ไม่สามารถนำมาคำนวณค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองโดยตรงได้จากสมการ (3.3) ได้ จำเป็นต้องหาค่า $\ln I_{on\lambda}$ ในรูปของ digital count ด้วย ผู้วิจัยจึงนำกฎของ Bouguer มาเขียนในรูปของสมการลอกาลิทึมดังนี้

$$\ln I_{n\lambda} = \ln I_{on\lambda} - (\tau'_{a\lambda} + \tau'_{r\lambda} + \tau'_{o\lambda} + \tau'_{w\lambda} + \tau'_{g\lambda})m_a$$

กรณีที่เลือกความยาวคลื่นที่ไม่มีผลจากไออน้ำและก๊าซ จะเขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\ln I_{n\lambda} = \ln I_{on\lambda} - (\tau'_{a\lambda} + \tau'_{r\lambda} + \tau'_{o\lambda})m_a \quad (3.16)$$

สมการนี้เมื่อนำค่า $\ln I_{n\lambda}$ มาเขียนกราฟกับ m_a จะได้สมการเส้นตรงซึ่งมีจุดตัดแกนเป็น $\ln I_{on\lambda}$ ตามตัวอย่างดังรูป



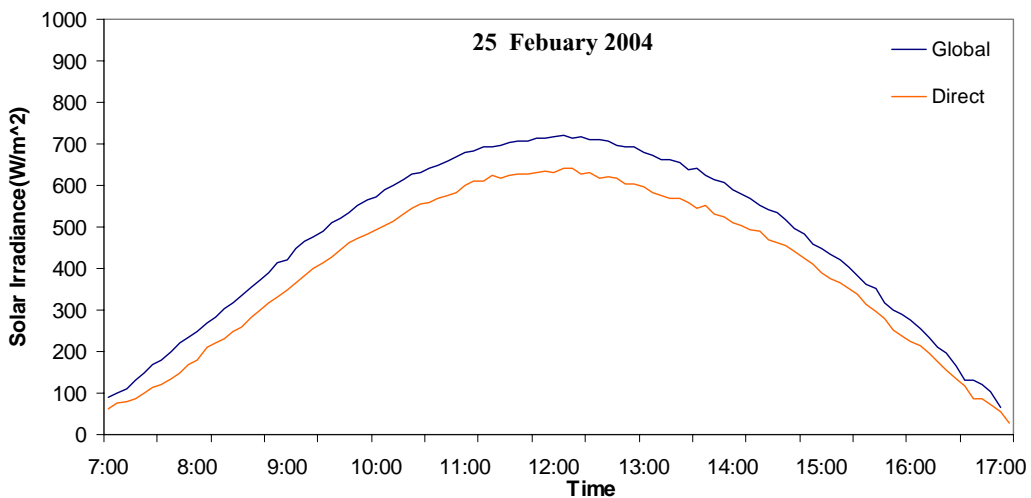
รูปที่ 3.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า $\ln I_{on\lambda}$ กับ m_a

จากนั้นผู้วิจัยจะนำค่า $\ln I_{on\lambda}$ ที่ได้ไปใช้คำนวณค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่น 500 nm โดยอาศัยสมการ (3.3)

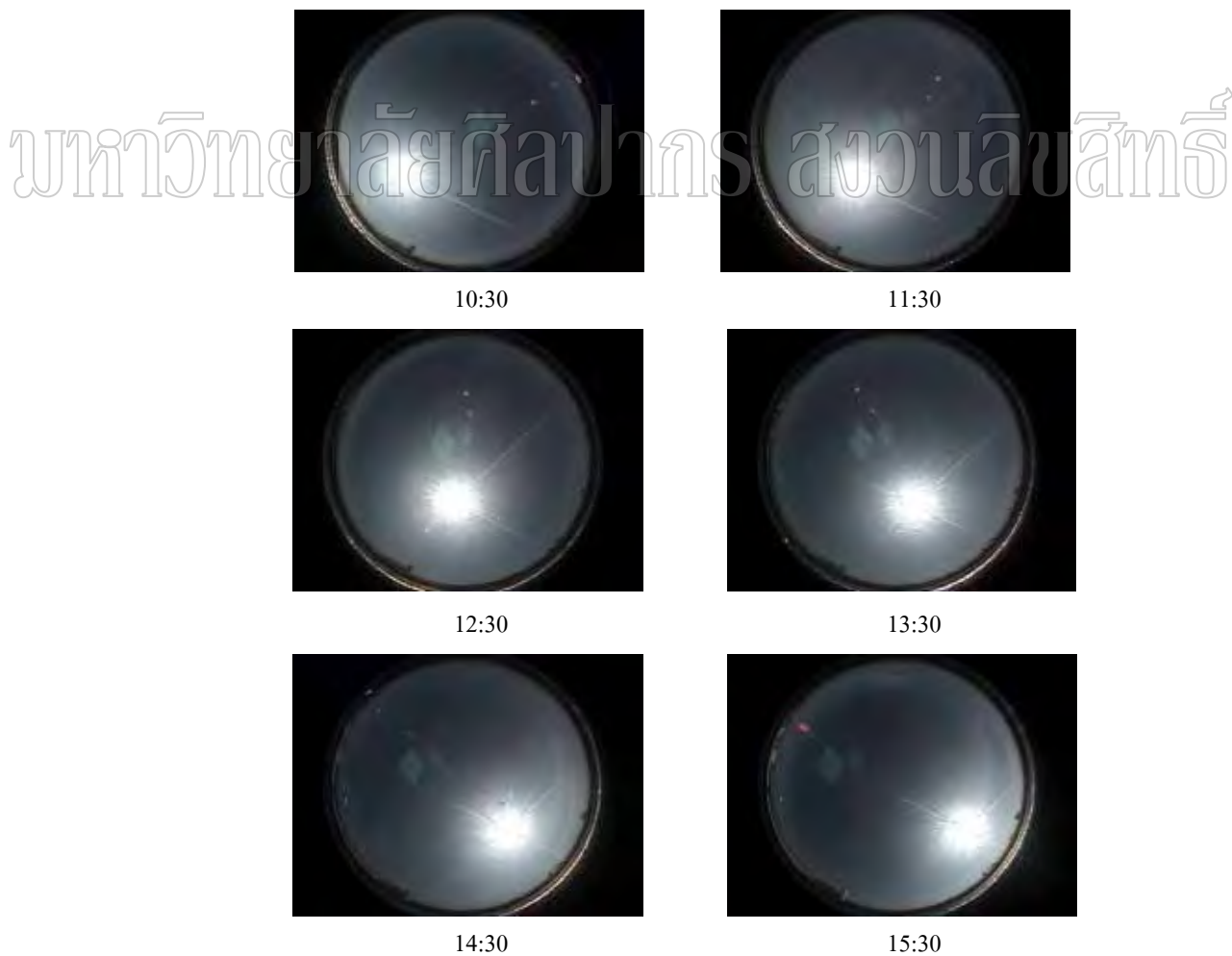
3.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการหาค่าความลึกเชิงแสงจากข้อมูลสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดของทั้ง 3 สถานี ผู้วิจัยจะดำเนินการตามลำดับขั้นตอนดังนี้

- 1) เลือกข้อมูลช่วงที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยกรณีข้อมูลของสถานีนครปฐม จะสังเกตด้วยสายตา และการสังเกตจากภาพถ่ายท้องฟ้าที่ได้จาก sky camera สำหรับสถานี อุตุนิยมหาวิทยาลัยบางนา จะใช้ข้อมูลเมฆ และการสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ กรณีสถานี AIT จะอาศัยการดูลักษณะการเปลี่ยนแปลงรังสีดวงอาทิตย์ ตัวอย่างลักษณะการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆของนครปฐม แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 ผู้วิจัยจะเลือกใช้ข้อมูลที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆทั้งวันทั้งท้องฟ้าและปราศจากเมฆเฉพาะตรงตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วย



รูปที่ 3.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มรังสีรวมและรังสีตรงของดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (25 กุมภาพันธ์ 2004)

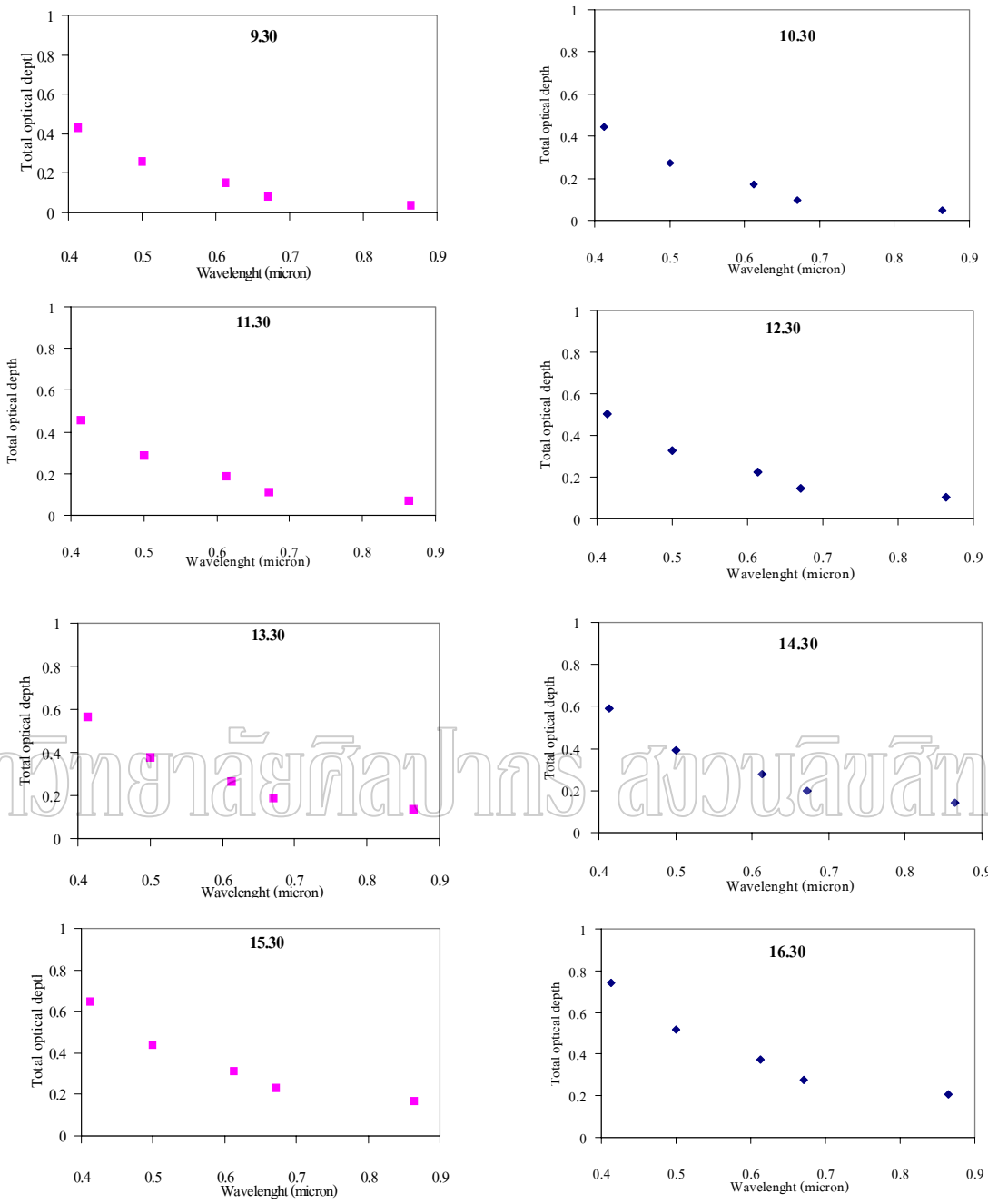


รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะท้องฟ้าจาก sky camera ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะท้องฟ้าจาก sky camera ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆ

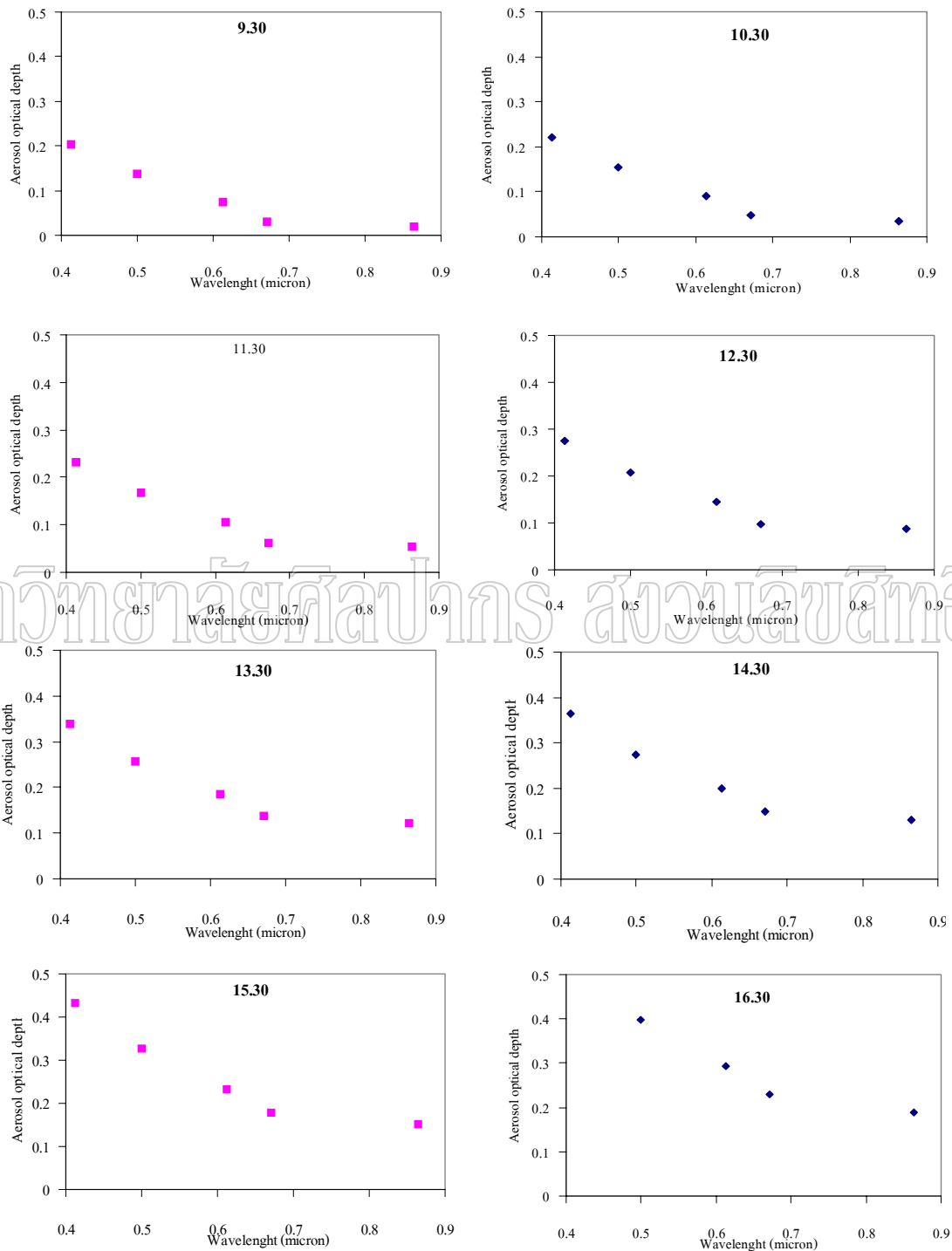
- 2). นำข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์แต่ละความยาวคลื่นที่ได้จาก sunphotometer หาค่าความลึกเชิงแสงตามสมการที่ (3.4) และ สมการที่ (3.15) แล้วแต่กรณี ซึ่งจะได้ค่าความลึกเชิงแสงรวมที่มีผลจากโอโซนและโมเลกุลอากาศ จากนั้นนำค่าความลึกเชิงแสงที่ได้ของแต่ละเวลา มาเขียนกราฟกับค่าความยาวคลื่น ดังที่แสดงในรูป



รูปที่ 3.10 แสดงตัวอย่างการแปรค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ($\tau'_{a\lambda}$) โมเลกุลอากาศ ($\tau'_{r\lambda}$) และโอโซน ($\tau'_{o\lambda}$) กับความยาวคลื่นที่เวลาต่างๆ ของข้อมูลสถานีนครปฐม วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2004

3). คำนวณความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ($\tau'_{a\lambda}$) โดยการแก้ค่าผลจากโมเลกุลอากาศ และ โอโซน โดยอาศัยสมการที่ (3.5) และ (3.6) และใช้ข้อมูลโอโซนจากดาวเทียม

TOMS/EP ทำการคำนวณทั้ง 3 สถานี โดยข้อมูลปริมาณโอโซน ของทั้ง 3 สถานีจะ
 แสดงไว้ในตารางที่ A.2 – A.7 ของภาคผนวก ข. ตัวอย่างผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างการแปรค่าตามเวลาของความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง ($\tau'_{a\lambda}$) กับ
 ความยาวคลื่นที่เวลาต่างๆ ของข้อมูลสถานีนครปฐม วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2004

- 4). ที่แต่ละความยาวคลื่นจะนำค่าความลึกเชิงแสงของแต่ละเวลามาหาค่าเฉลี่ยรายวันจะ
ได้ค่าความลึกเชิงแสงเฉลี่ยวันละ 1 ค่า ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของสถานีนครปฐมจากข้อมูลเดือนมกราคม ค.ศ. 2004

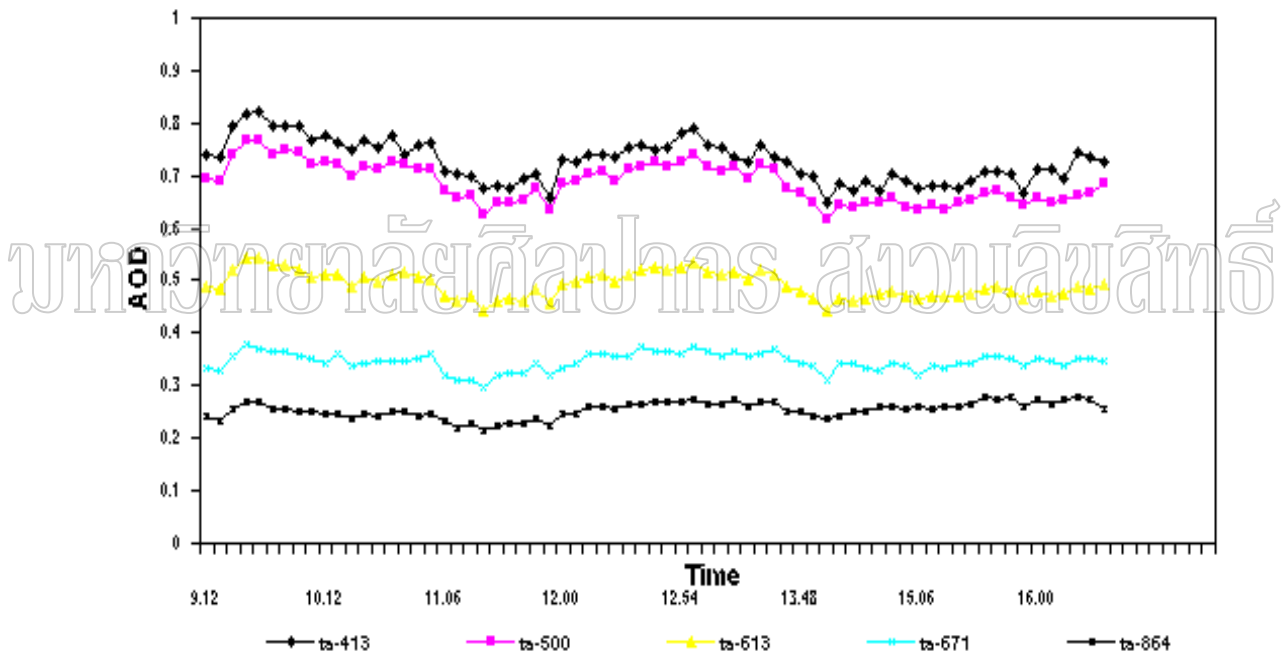
Date	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.376	0.403	0.281	0.200	0.155
2	0.547	0.539	0.370	0.261	0.196
3	0.551	0.537	0.371	0.267	0.203
4	0.490	0.491	0.336	0.236	0.178
5	0.657	0.634	0.439	0.307	0.228
6	0.668	0.650	0.462	0.333	0.256
7	0.646	0.619	0.432	0.311	0.239
8	0.581	0.571	0.396	0.281	0.214
9	0.849	0.810	0.585	0.432	0.334
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

- 5). นำค่าความลึกเชิงแสงเฉลี่ยรายวันที่ได้ไปทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงตามรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

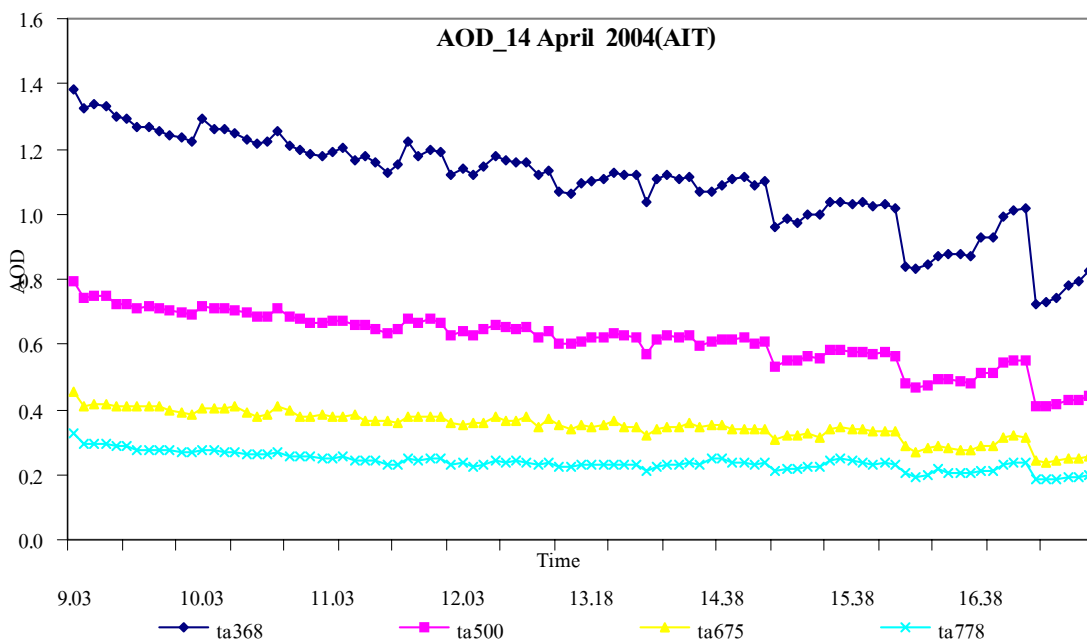
3.1.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความลึกเชิงแสงในรอบวัน

เมื่อทราบองค์ประกอบต่างๆในบรรยากาศ จะสามารถหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่มีการเปลี่ยนแปลงในรอบวันได้ โดยใช้สมการที่ (3.4) และ สมการที่ (3.15) แล้วแต่กรณี ตัวอย่างผลที่ได้ของทั้ง 3 สถานีจะแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 3.12 – รูปที่ 3.14 โดยส่วนใหญ่จะพบว่าค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในช่วงเช้าจะมีค่าสูงแล้วค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น

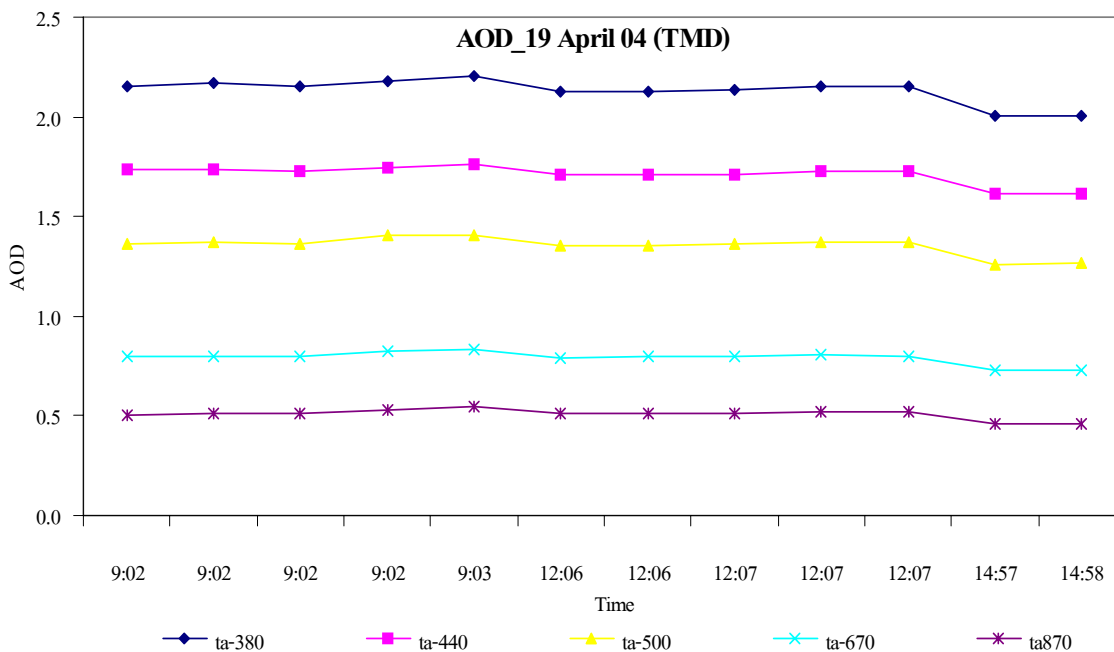
AOD_3 Febuary 2005 (NP)



รูปที่ 3.12 แสดงค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากฝุ่นละอองที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ในวันที่ 3 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 2005



รูปที่ 3.13 แสดงค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากฝุ่นละอองที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ในวันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004

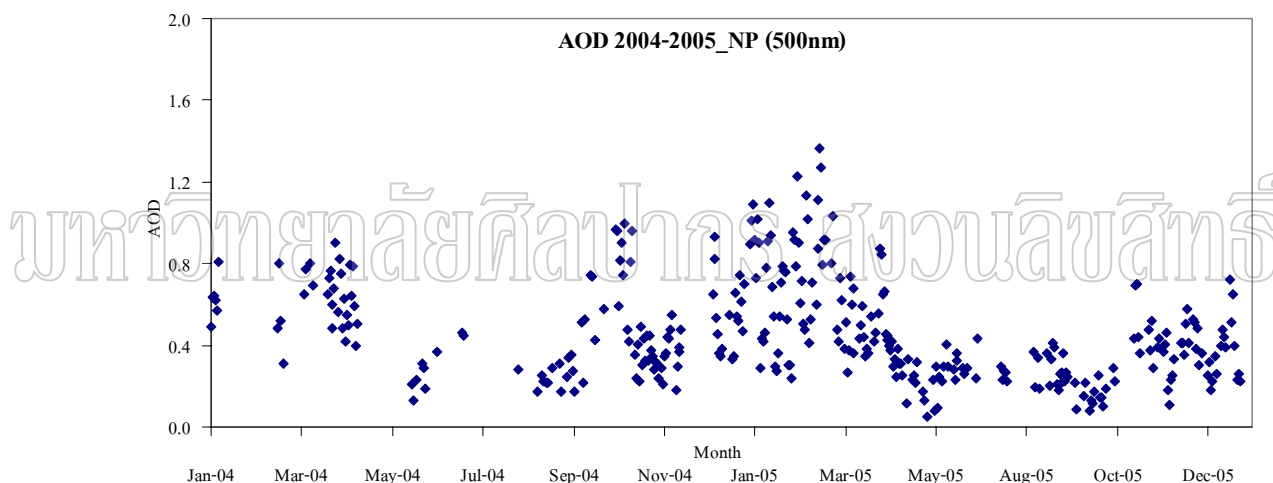


รูปที่ 3.14 แสดงค่าความลึกเชิงแสงเนื่องจากฝุ่นละอองที่เปลี่ยนแปลงในรอบวันของกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร ในวันที่ 19 เมษายน ค.ศ. 2004

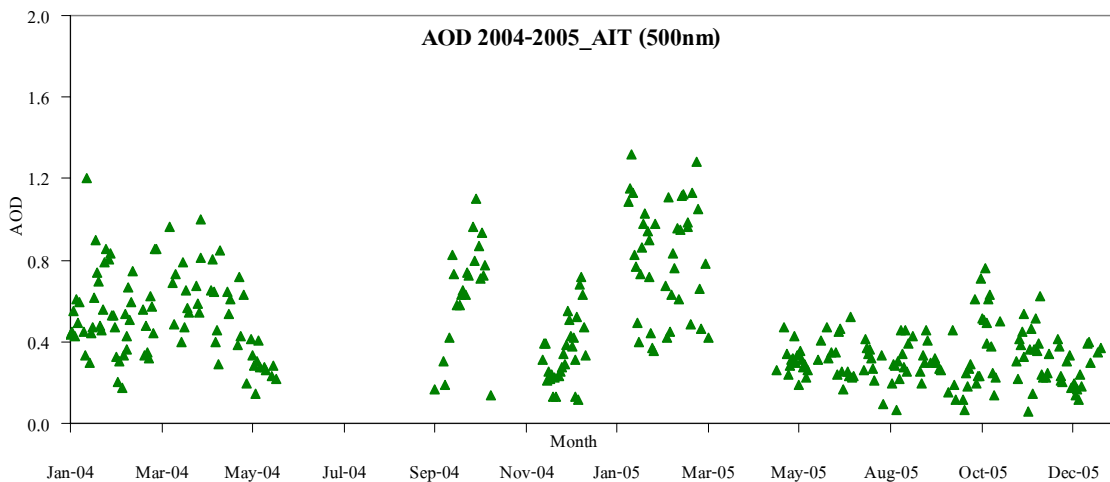
3.1.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความลึกเชิงแสงตามฤดูกาลในรอบปี

หลังจากนั้นนำค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่หาได้ตลอดทั้งวัน มาเฉลี่ยเป็นค่ารายวัน แล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลา เนื่องจากค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ใช้ในการคำนวณผลของฝุ่นละออง นิยมใช้ค่าที่ความยาวคลื่น 500 nm ประกอบกับข้อมูลที่ทำการวัดทั้ง 3 สถานี มีการวัดที่ความยาวคลื่น 500 nm เหมือนกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความลึกเชิงแสงที่ความยาวคลื่น 500 nm (สำหรับค่าความลึกเชิงแสงที่ความยาวคลื่นอื่นจะแสดงไว้ในภาคผนวก ค. – ภาคผนวก จ. ในตารางที่ B.1-D.24)

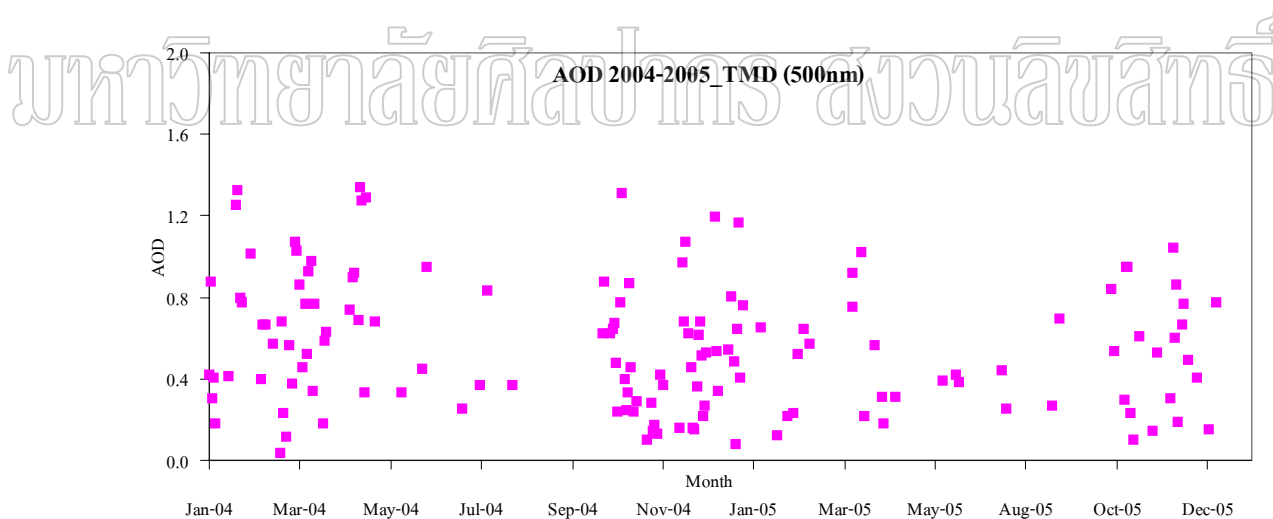
การเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีกรุงเทพฯ นครปฐม และ AIT จะแสดงไว้ในรูปที่ 3.15 - 3.17 และรูปที่ 3.18 จะแสดงการเปรียบเทียบผลของทั้ง 3 สถานี



รูปที่ 3.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล
ในรอบปีที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



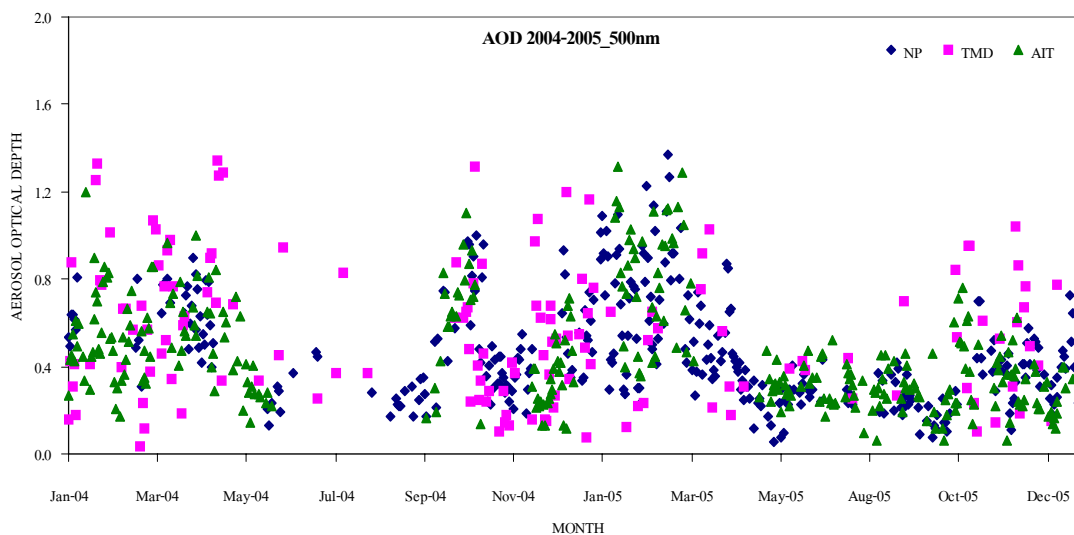
รูปที่ 3.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 3.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร

จากกราฟทั้ง 3 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันกล่าวคือ ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจะมีค่าสูงในฤดูแล้งโดยจะมีค่าประมาณ 0.4-1.2 ส่วนในช่วงฤดูฝนจะมีค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองต่ำ โดยมีค่าน้อยกว่า 0.4 ทั้ง 2 ปี แต่ในช่วงเดือนตุลาคม ค.ศ. 2004 จะเห็นว่าค่า AOD สูงกว่า 0.4 ทั้งๆที่เป็นช่วงปลายฤดูฝน เป็นเพราะว่าในเดือนดังกล่าวตลอดทั้งเดือน ไม่มีฝนตก

ซึ่งต่างกับเดือนเดียวกันในปีค.ศ. 2005 ซึ่งมีฝนตกตลอดทั้งเดือนและมีฝนตกเรื่อยมาจนถึงเดือน ธันวาคม ค.ศ. 2005 จึงส่งผลให้ในปีค.ศ. 2005 มีค่า AOD น้อยกว่า ปีค.ศ. 2004



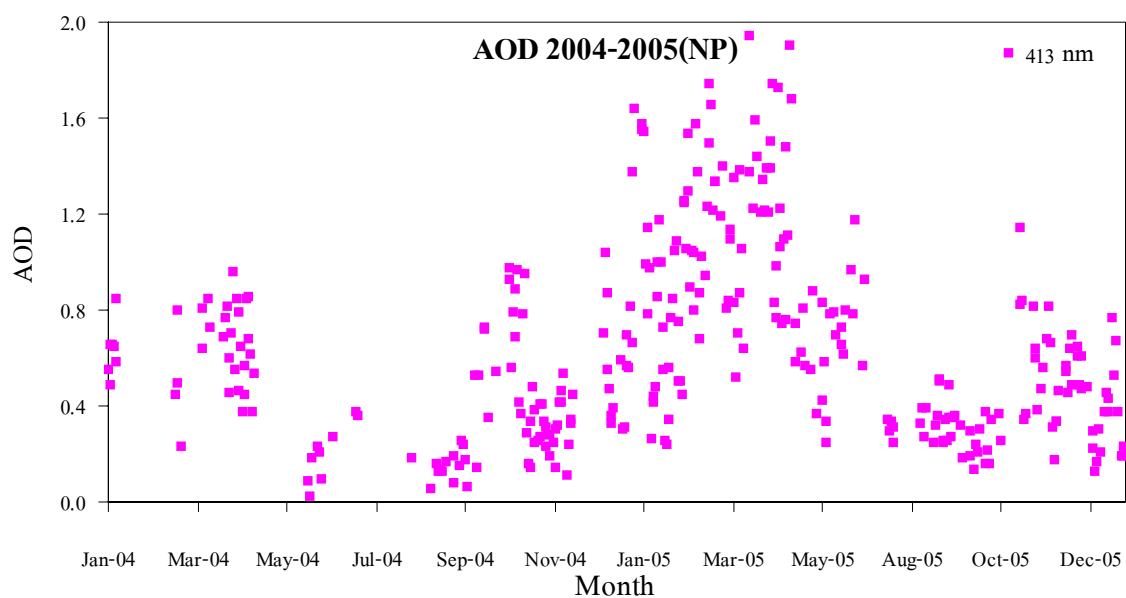
รูปที่ 3.18 แสดงการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของ 3 สถานี

จากรูปจะเห็นว่า ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองทั้ง 3 สถานีมีลักษณะการแปรค่าตามฤดูกาลในรอบปีที่สอดคล้องกัน กล่าวคือจะมีค่าค่อนข้างสูงในเดือนมกราคม ถึงเดือนเมษายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง (dry season) จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงและมีค่าต่ำในเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน (rainy season) ทั้งนี้เพราะในช่วงฤดูแล้งมีฝุ่นละอองที่เกิดจากพื้นดินฟุ้งกระจาย ขึ้นสู่บรรยากาศเนื่องจากลมและการลอยตัวของอากาศร้อน รวมถึงการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ ในช่วงฤดูแล้งทำให้ปริมาณของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีค่าสูง โดยค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองในช่วงดังกล่าวมีค่าสูงสุดประมาณ 1.2 สำหรับในช่วงฤดูฝนอิทธิพลจากฝนทำให้มีการร่วงหล่นของฝุ่นละอองลงสู่พื้นดินทำให้ปริมาณของฝุ่นละอองในบรรยากาศลดลง ค่าความลึกเชิงแสงในช่วงดังกล่าวมีค่าน้อยกว่า 0.4

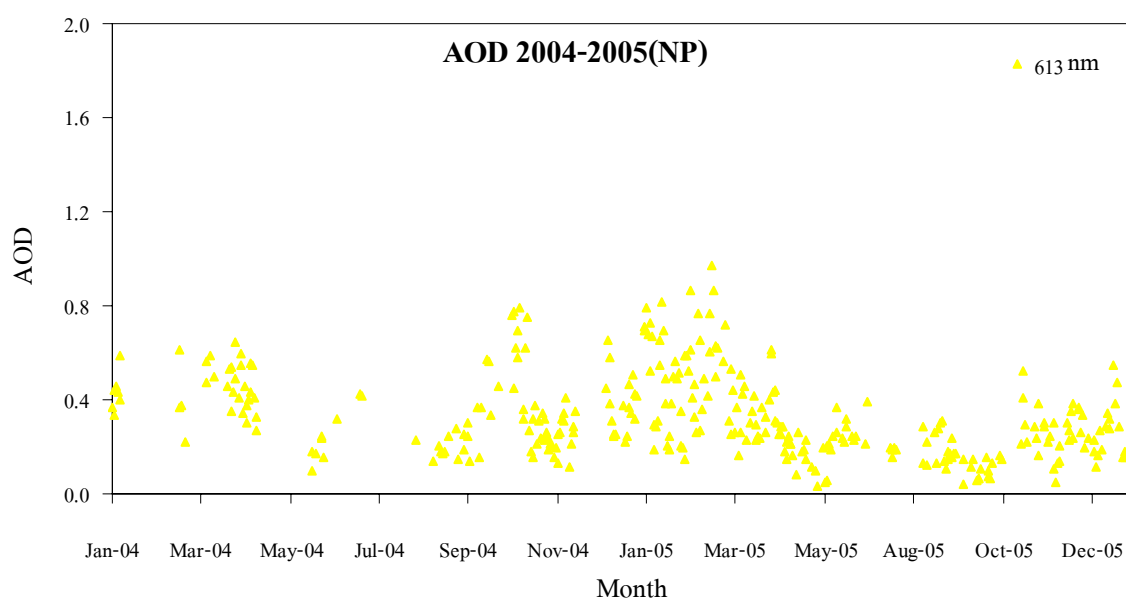
โดยค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองเฉลี่ยทั้งปีที่ความยาวคลื่น 500 nm ของสถานีกรุงเทพ สถานี AIT และสถานีนครปฐมเท่ากับ 0.55 ± 0.31 , 0.46 ± 0.26 และ 0.47 ± 0.25 ตามลำดับ

สำหรับค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นอื่นๆ ของทั้ง 3 สถานีสามารถหาได้โดยใช้วิธีการเดียวกัน ที่สถานีนครปฐมผลที่ได้แสดงในรูปที่ 3.19- รูปที่ 3.23 และรูปที่ 3.24 – รูปที่ 3.27 แสดงการเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นอื่นๆ ของสถานี

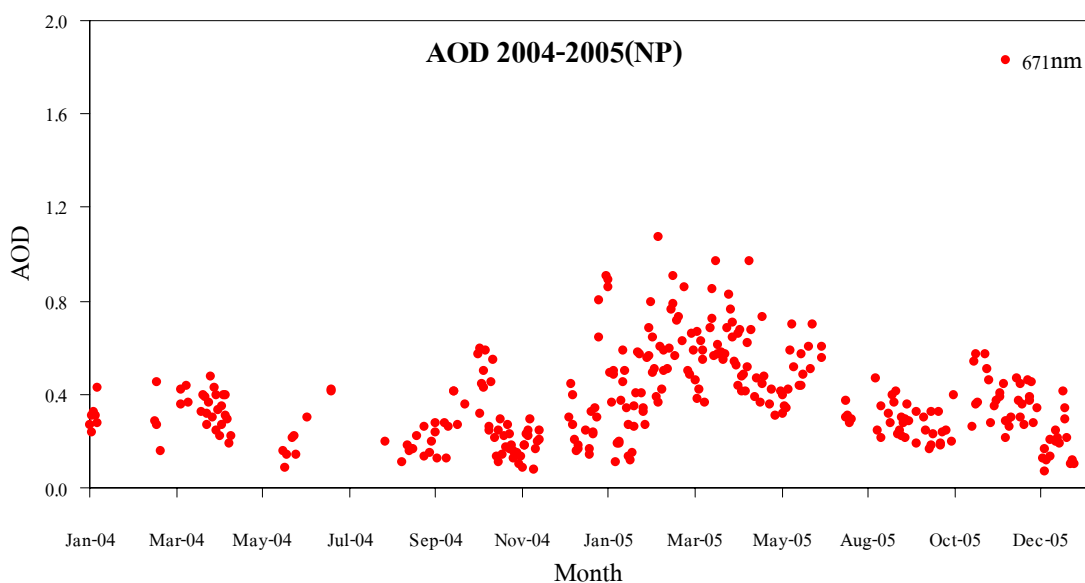
AIT และ รูปที่ 3.28 –รูปที่ 3.32 แสดงการเปรียบเทียบค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นอื่นๆ ของสถานีกรุงเทพฯ



รูปที่ 3.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล ที่ความยาวคลื่น 413 นาโนเมตร ของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



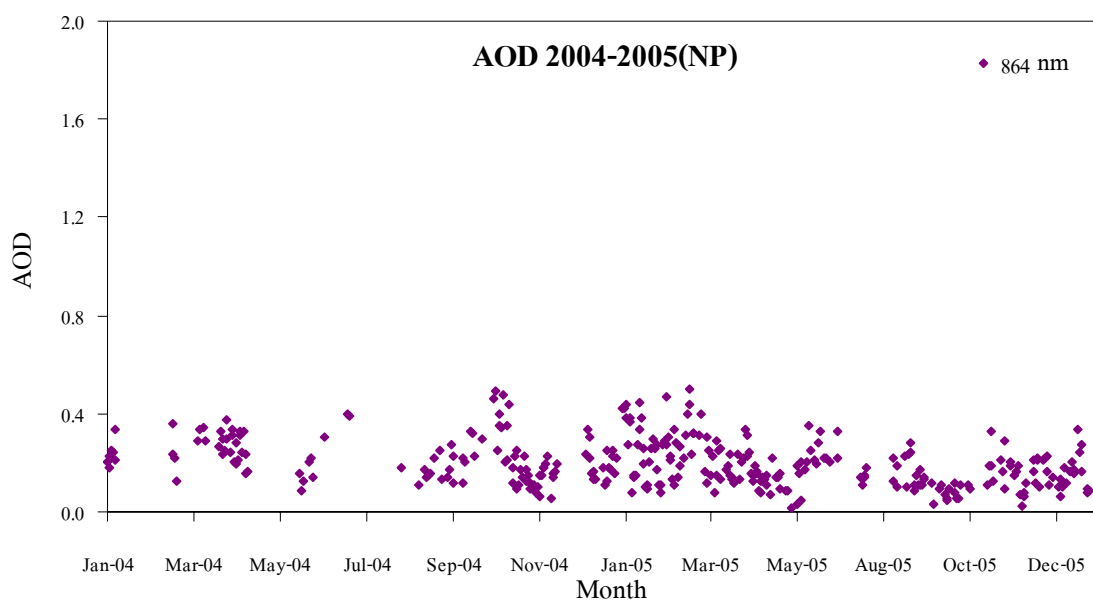
รูปที่ 3.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล ที่ความยาวคลื่น 613 นาโนเมตร ของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 3.21 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล

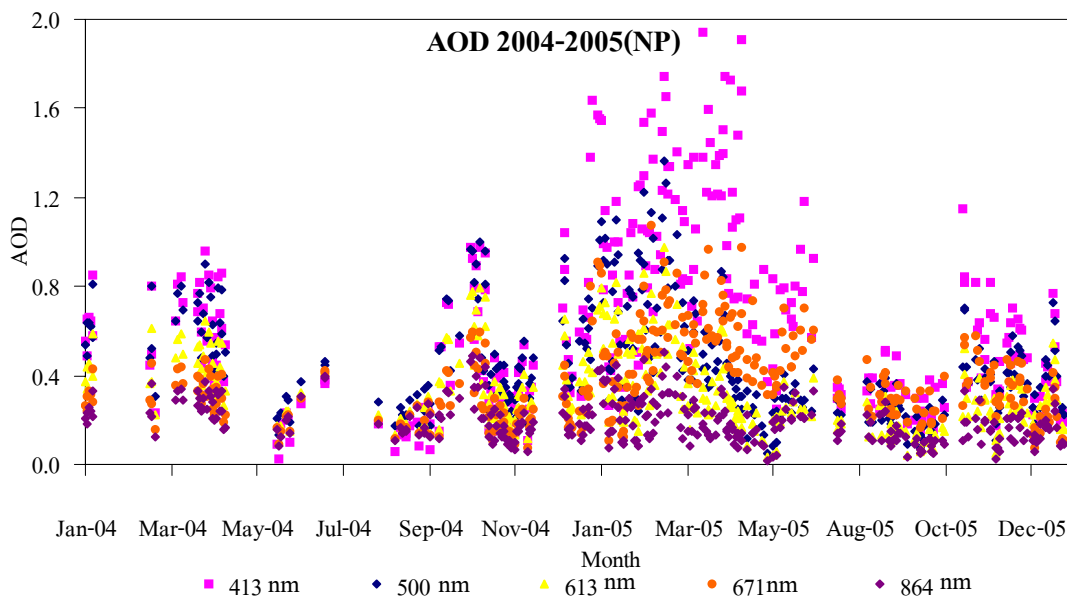
ที่ความยาวคลื่น 671 นาโนเมตร ของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



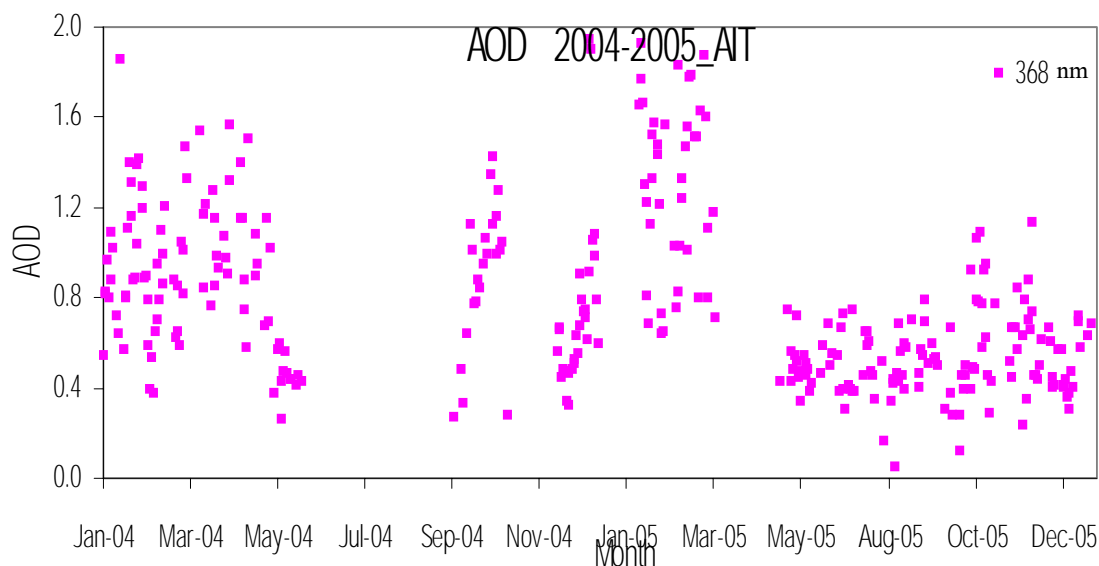
รูปที่ 3.22 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล

ที่ความยาวคลื่น 864 นาโนเมตร ของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

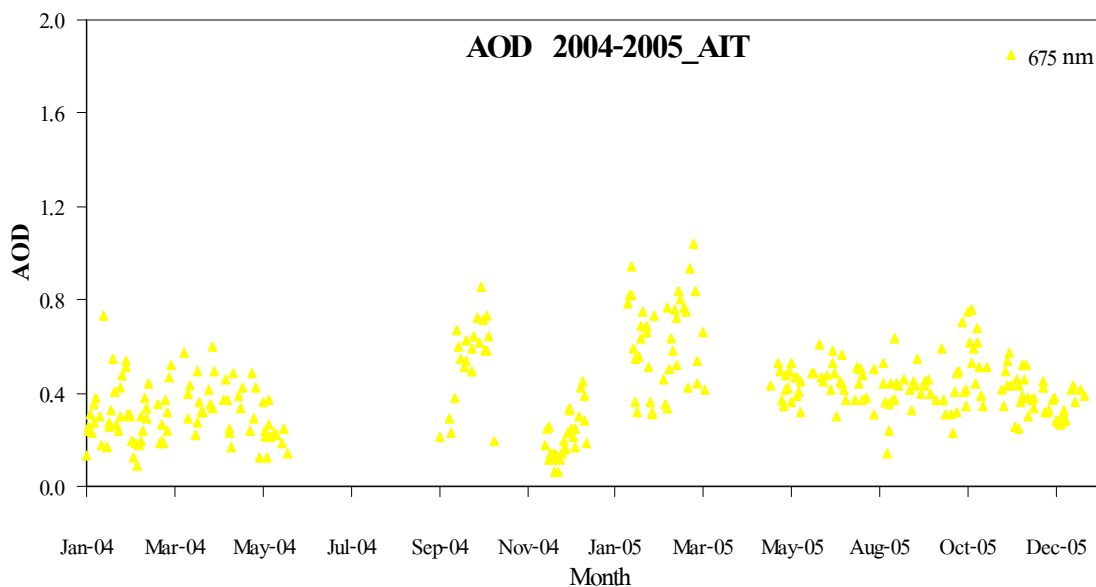


รูปที่ 3.23 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล
 ที่รวมทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 413, 500, 613, 671 และ 864 นาโนเมตร
 ของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



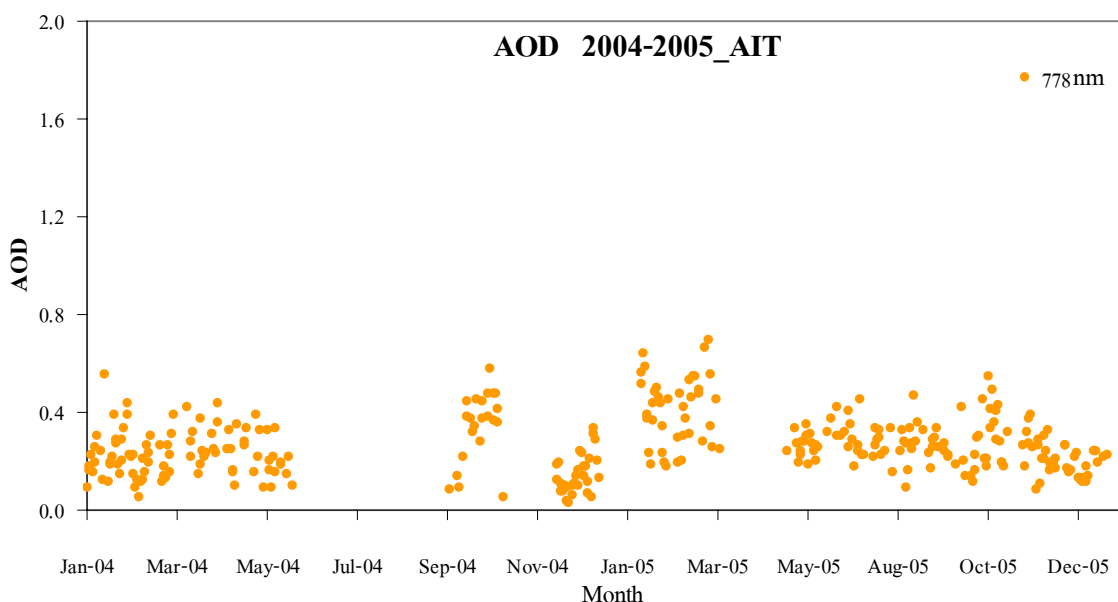
รูปที่ 3.24 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล
 ที่ความยาวคลื่น 368 นาโนเมตร ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย
 จังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 3.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล
ที่ความยาวคลื่น 368 นาโนเมตร ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

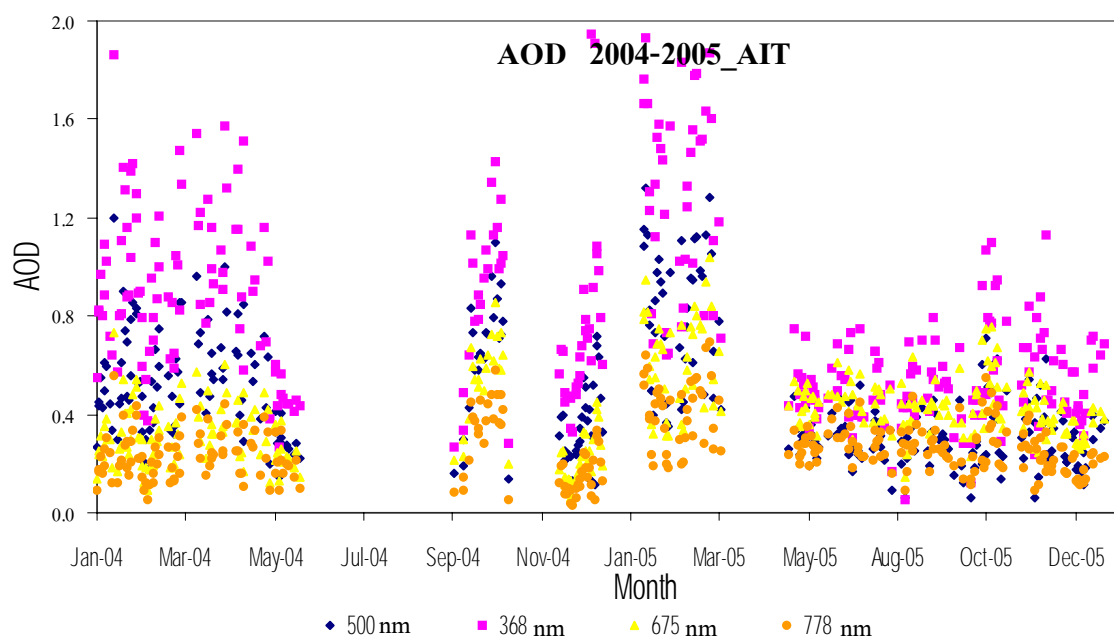
จังหวัดปทุมธานี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



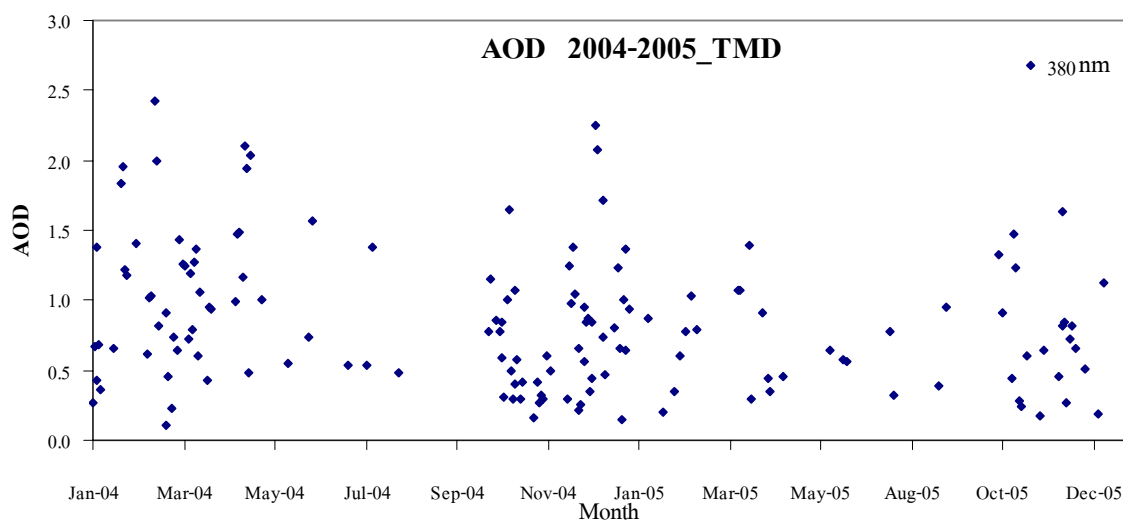
รูปที่ 3.26 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล
ที่ความยาวคลื่น 778 นาโนเมตร ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

จังหวัดปทุมธานี



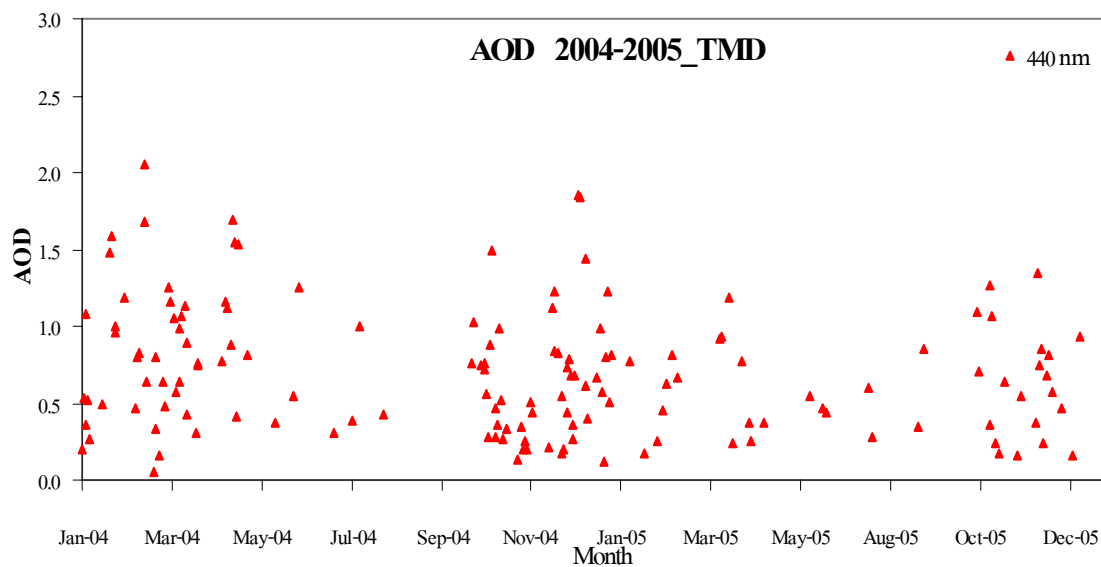
รูปที่ 3.27 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล

ที่รวมทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 368, 500, 675 และ 778 นาโนเมตร
ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี

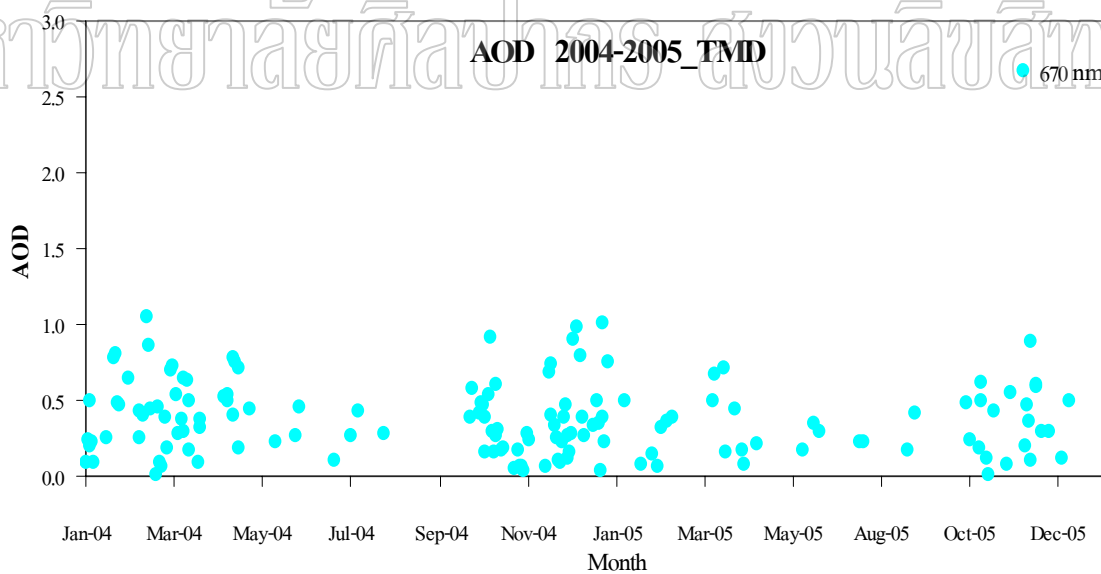


รูปที่ 3.28 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล

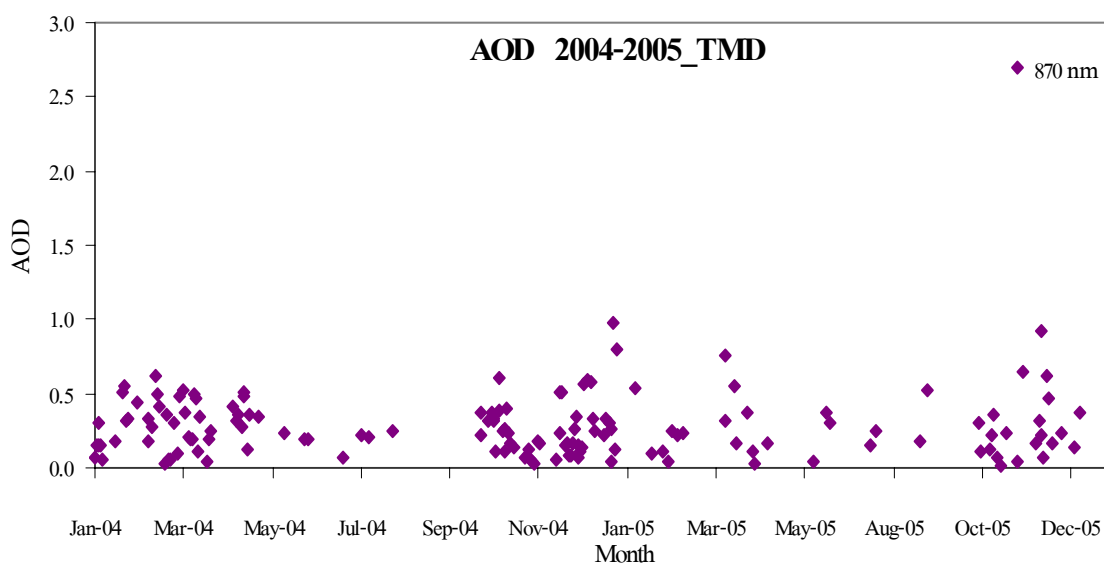
ที่ความยาวคลื่น 380 นาโนเมตร ของกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร



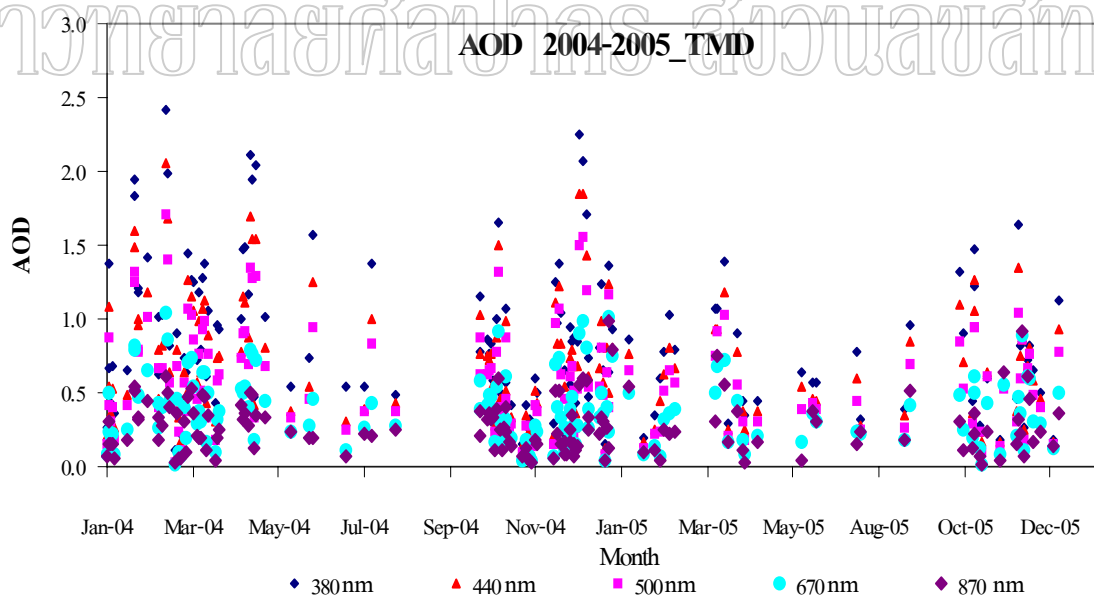
รูปที่ 3.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล ที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ของกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 3.30 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล ที่ความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร ของกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 3.31 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล
ที่ความยาวคลื่น 870 นาโนเมตร ของกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร

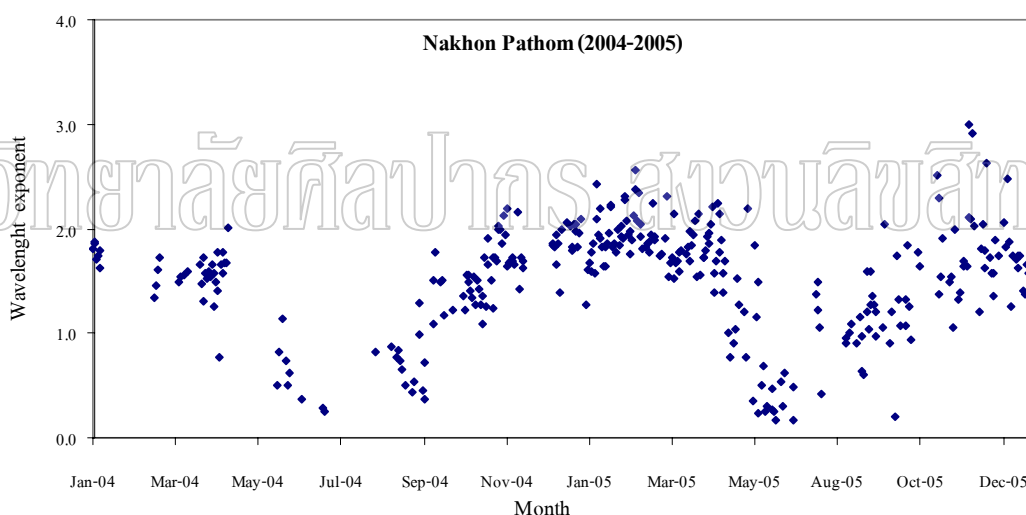


รูปที่ 3.32 แสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาล
ที่รวมทุกความยาวคลื่นตั้งแต่ 380, 440, 500, 670 และ 870 นาโนเมตร
ของกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร

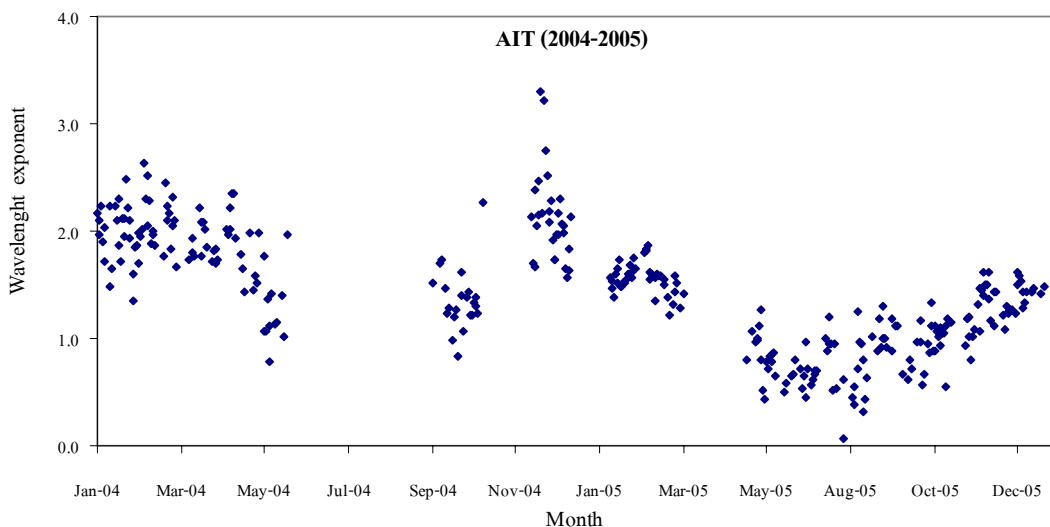
จากรูปที่ 3.23 , 3.27 และ 3.32 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ตามฤดูกาลที่รวมทุกความยาวคลื่น ของสถานีนครปฐม สถานี AIT และสถานีกรุงเทพ ตามลำดับ พบว่า ผลที่ได้มีลักษณะที่คล้ายกัน กล่าวคือ ที่ความยาวคลื่นสั้นๆ จะมีค่าความลึกเชิงแสงมากกว่าที่ความยาวคลื่นยาว เป็นเพราะฝุ่นละอองมีการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นสั้นมากกว่าที่ความยาวคลื่นยาว

3.1.7 การเปลี่ยนแปลงของค่า wavelength exponent ตามฤดูกาลในรอบปี

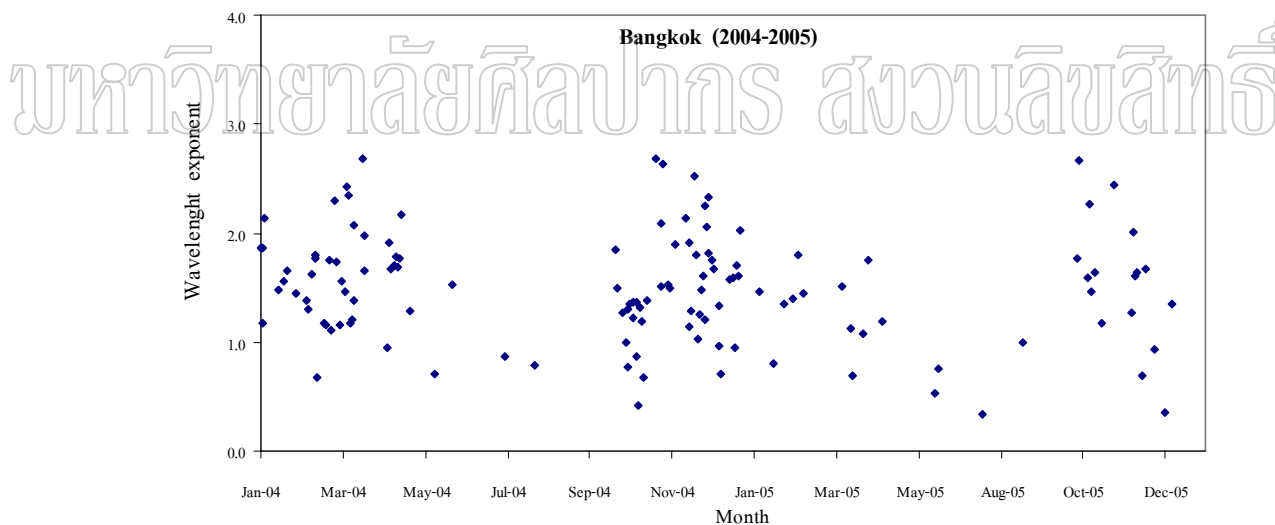
ค่า wavelength exponent (α) จะเป็นตัวบอกขนาดของฝุ่นละออง ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-4 โดยค่า α จะมีค่าสูงเมื่อฝุ่นละอองมีขนาดเล็ก และฝุ่นละอองในธรรมชาติทั่วไปจะมีค่า α อยู่ในช่วง 1.3 ± 0.5 ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการหาค่า α ของฝุ่นละอองทั้ง 3 สถานี ผลที่ได้แสดงในกราฟรูปที่ 3.33 - 3.35



รูปที่ 3.33 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ Wavelength exponent (α) ตามฤดูกาลในรอบปี
ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



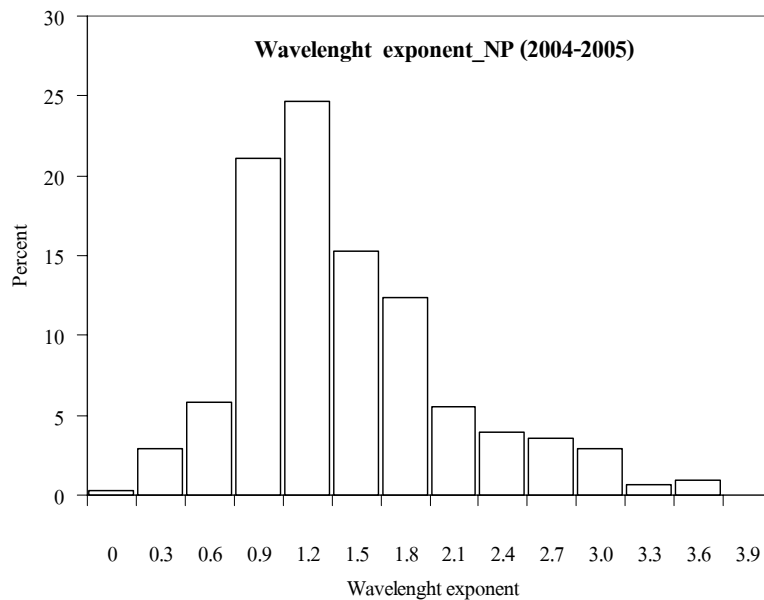
รูปที่ 3.34 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ Wavelength exponent (α) ตามฤดูกาลในรอบปีที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 3.35 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของ Wavelength exponent (α) ตามฤดูกาลในรอบปีที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร

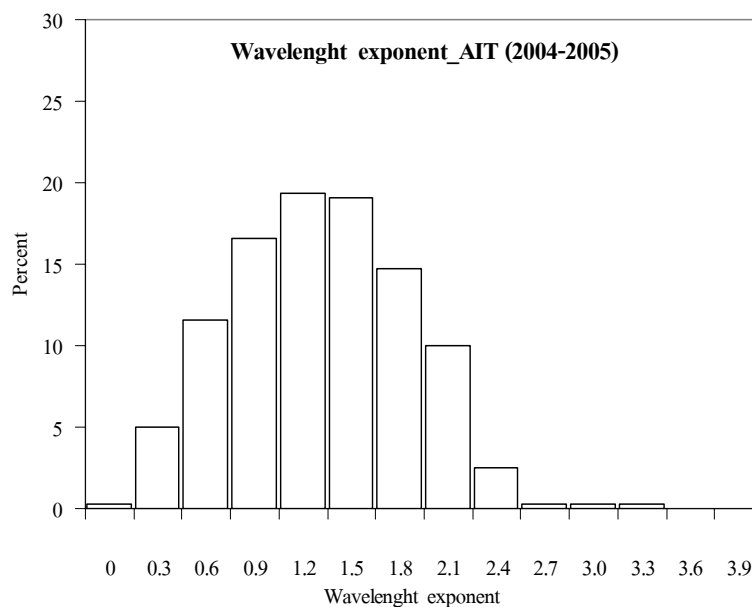
จากรูปจะเห็นว่า ค่า Wavelength exponent, α มีการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง กล่าวคือในช่วงฤดูแล้งฝุ่นละอองจะมีขนาดเล็กกว่าในช่วงฤดูฝน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงฤดูฝน ฝุ่นละอองมีการดูดกลืนความชื้น หรือมีการกลั่นตัวของไอน้ำที่มีฝุ่นละอองเป็นแกนกลางจึงทำให้ฝุ่นละอองมีขนาดใหญ่

เมื่อนำค่าของ α มาทำการแจกแจงจะได้ผลดังรูปที่ 3.36 - 3.38



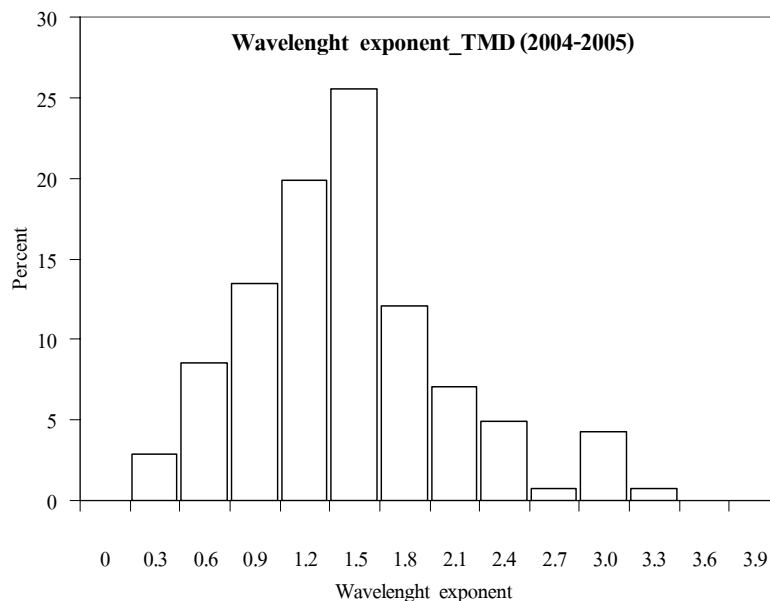
รูปที่ 3.36 แสดงการกระจายของ wavelength exponent α

ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 3.37 แสดงการกระจายของ wavelength exponent α

ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี

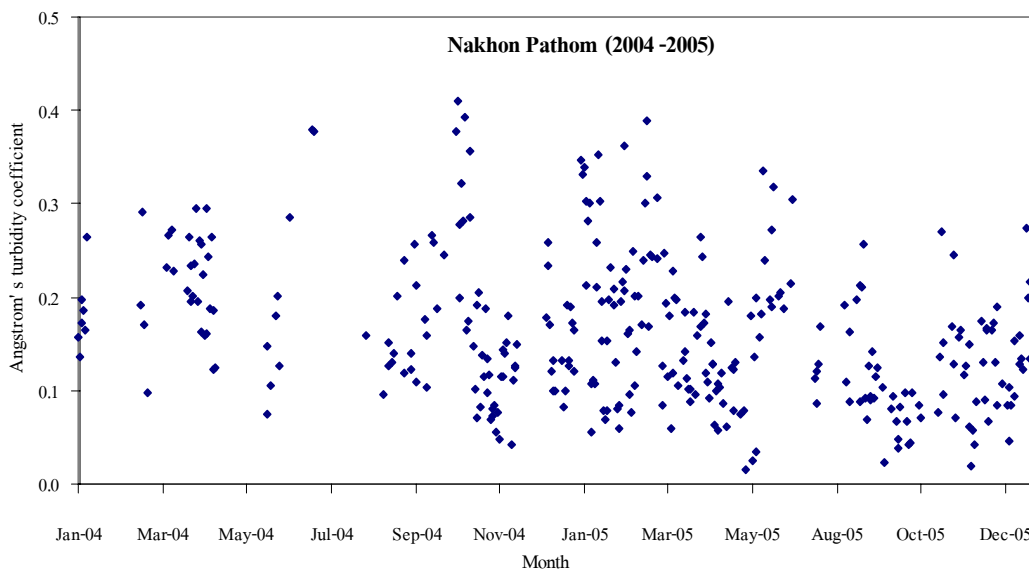


รูปที่ 3.38 แสดงการกระจายของ wavelength exponent α ที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร

จากรูปจะเห็นว่าลักษณะของการแจกแจงของทั้ง 3 สถานี มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ของการแจกแจงสูงสุดของค่า α อยู่ในช่วง 1.2-1.8 ซึ่งสอดคล้องกับการแจกแจงของ α ของฝุ่นละอองในธรรมชาติทั่วไป โดยค่าเฉลี่ยทั้งปีของค่า α ของสถานีกรุงเทพ สถานี AIT และสถานีนครปฐมเท่ากับ 1.50 ± 0.5 , 1.46 ± 0.55 และ 1.54 ± 0.52 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าสถานีทั้ง 3 มีบรรยากาศขุ่นมัว

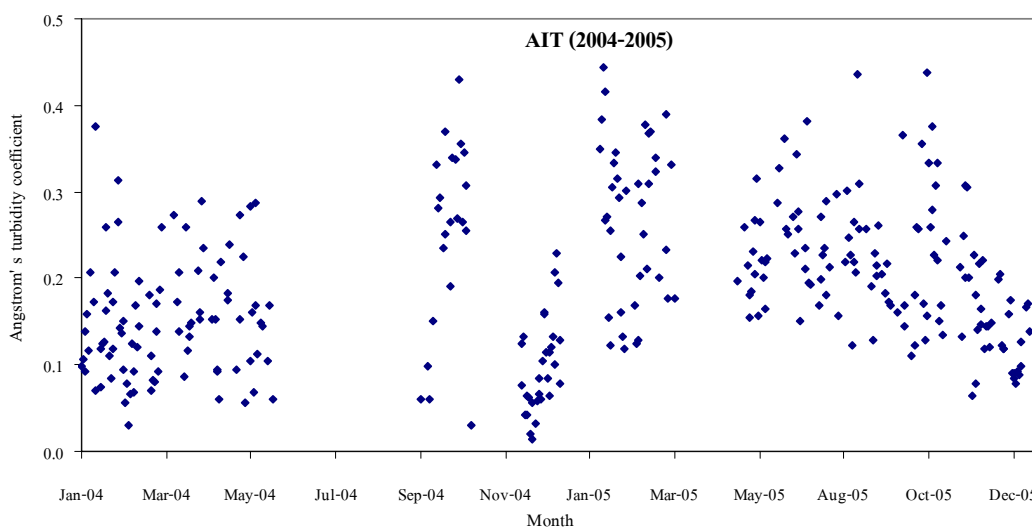
3.1.8 การเปลี่ยนแปลงของสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอมตามฤดูกาลในรอบปี

สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (β) จะเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ซึ่งโดยทั่วไปค่า β จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.0-0.5 ค่า β สูง หมายถึงในบรรยากาศมีปริมาณฝุ่นละอองมาก หรือในบรรยากาศมีความขุ่นมัว โดย Iqbal ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่างค่า β กับความขุ่นมัวในบรรยากาศ ดังตารางที่ 2.2 ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.1.9 ผู้วิจัยได้ทำการหาค่า β จากทั้ง 3 สถานี แล้วนำมาเขียนกราฟกับเวลา ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 3.39 – 3.41

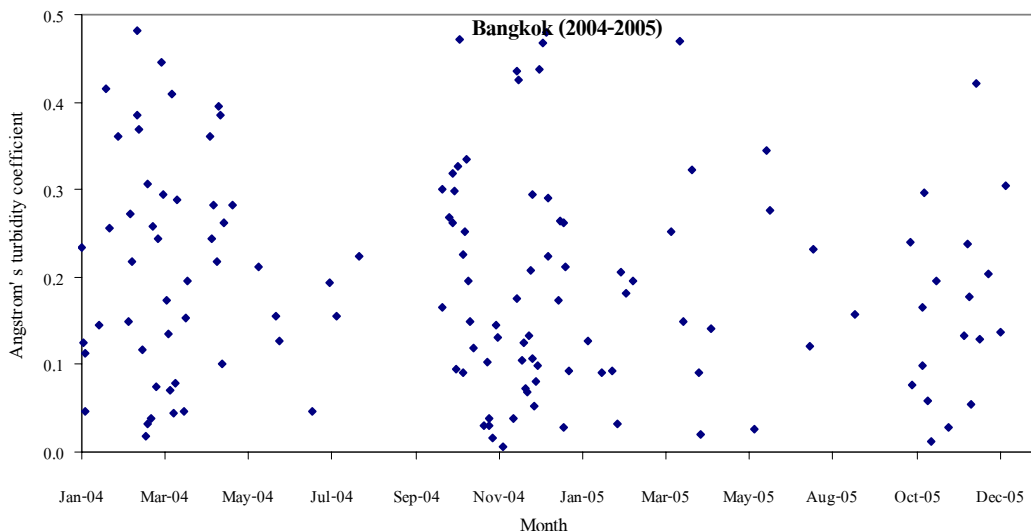


รูปที่ 3.39 แสดงการแปรค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม β ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



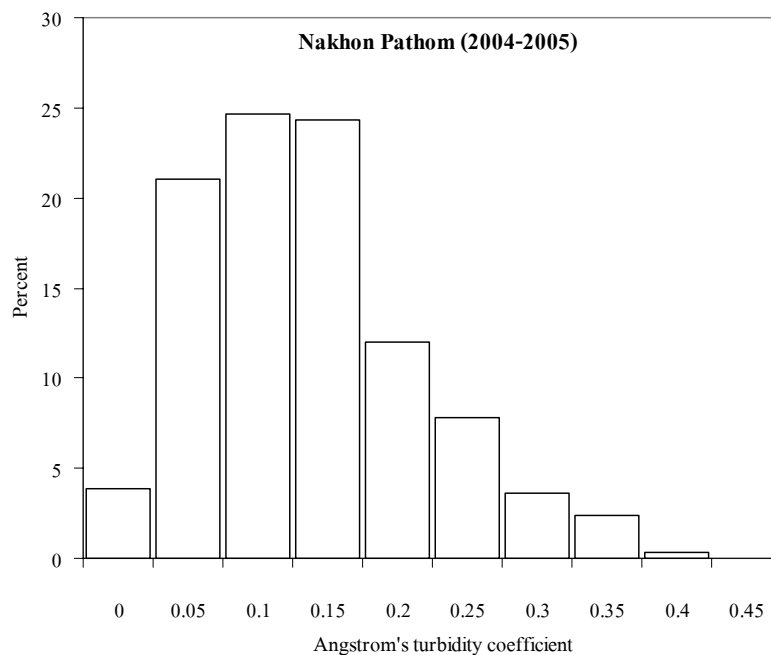
รูปที่ 3.40 แสดงการแปรค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม β ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี



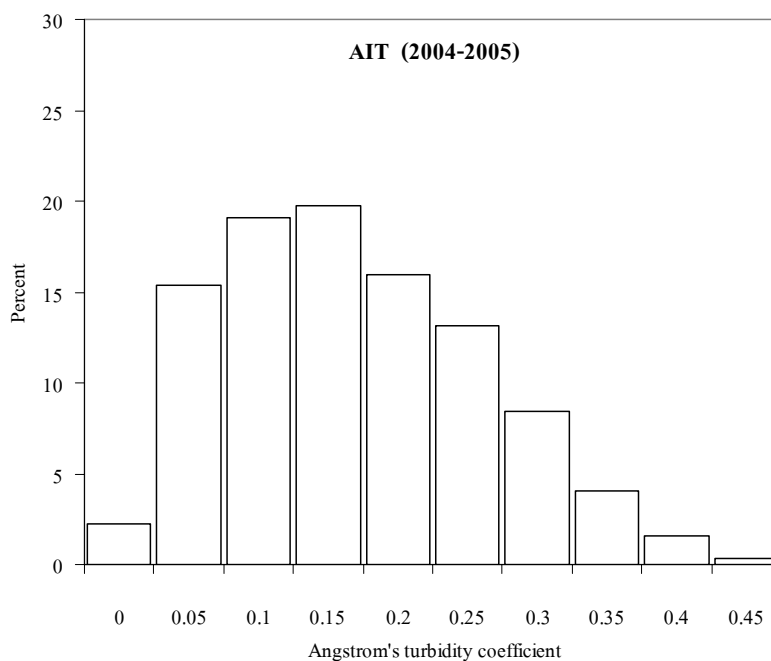
รูปที่ 3.41 แสดงการแปรค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม β ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร

จากรูปจะเห็นว่าค่า β ของทั้ง 3 สถานี มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีคล้ายกัน กล่าวคือค่า β มีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง และลดลงในช่วงฤดูฝน สอดคล้องกับค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง นอกจากนี้ถ้านำค่า β ที่ได้ไปเทียบกับตารางที่ 2.2 ตามที่ Iqbal ได้แบ่งสภาพท้องฟ้า โดยใช้ค่า β จะพบว่าในบริเวณกรุงเทพและปริมณฑล มีปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศค่อนข้างมากและมีสภาพบรรยากาศแบบขุ่นมัว (Turbid) โดยสามารถแบ่งอย่างละเอียดได้ดังนี้ คือ

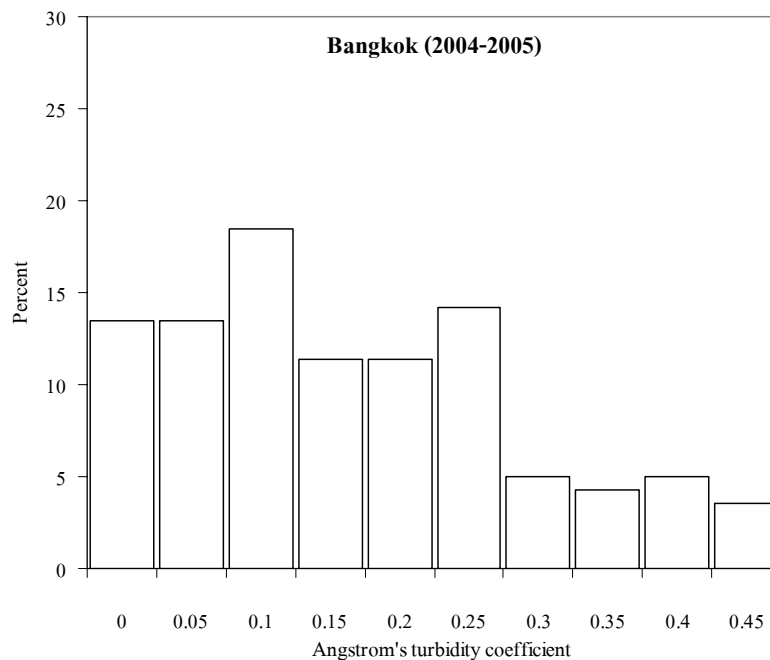
1. มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม มีค่าการกระจายของ β อยู่ในช่วง 0.05-0.15 แสดงว่าที่จังหวัดนครปฐมมีสภาพบรรยากาศแจ่มใส (clear)
2. สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี มีค่าการกระจายของ β อยู่ในช่วง 0.05-0.25 แสดงว่าที่จังหวัดปทุมธานี มีสภาพบรรยากาศขุ่นมัว (Turbid)
3. กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร มีค่าการกระจายของ β อยู่ในช่วง 0.00-0.25 แสดงว่าที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร มีสภาพบรรยากาศขุ่นมัวค่อนข้างมาก (Turbid) และเมื่อนำค่า β มาแจกแจง ผลที่ได้จะแสดงไว้ในรูปที่ 3.42- รูปที่ 3.44



รูปที่ 3.42 แสดงการกระจายสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม β ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 3.43 แสดงการกระจายสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม β ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี



รูปที่ 3.44 แสดงการกระจายสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม β ที่เปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปีที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร จากรูปจะพบว่าเปอร์เซ็นต์ความถี่ที่มีค่า β สูงสุดจะเกิดขึ้นที่ β มีค่าอยู่ในช่วง 0.1-0.2

โดยค่าเฉลี่ยทั้งปีของค่า β ของสถานีกรุงเทพ สถานี AIT และสถานีนครปฐมเท่ากับ 0.19 ± 0.12 , 0.19 ± 0.09 และ 0.16 ± 0.08 ตามลำดับ ซึ่งถือว่าสถานีทั้ง 3 มีบรรยากาศขุ่นมัว

3.2 การจำแนกชนิดของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีหลายชนิด แต่ละชนิดมีสมบัติในการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการจำแนกชนิดของฝุ่นละอองของทั้ง 3 สถานีโดยอาศัยแบบจำลองการถ่ายเทรังสีของบรรยากาศ (radiative transfer model) คำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ แล้วทำการแปรชนิดของฝุ่นละออง จนกระทั่งผลการคำนวณสอดคล้องกับค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัด ตามรายละเอียดดังนี้

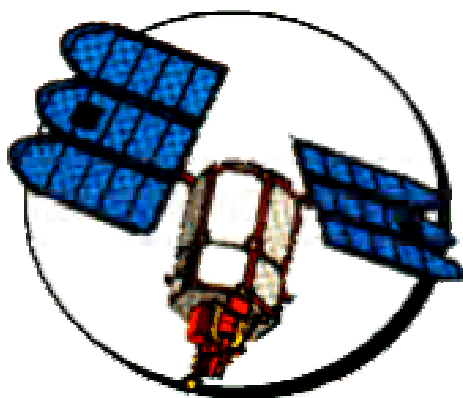
3.2.1 แบบจำลองการถ่ายเทรังสีของบรรยากาศ (radiative transfer model)

เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ จะถูกกระเจิงและดูดกลืนโดยองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศ อากาศหลักการและความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ทางฟิสิกส์ เราสามารถคำนวณรังสีดวงอาทิตย์ ณ จุดต่างๆ ในบรรยากาศได้ เราจะเรียกสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวว่า แบบจำลองการถ่ายเทรังสีของบรรยากาศ ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการพัฒนา

แบบจำลองการถ่ายเทรังสีหลายแบบจำลอง เช่น LOWTRAN MODTRAN LIBLADTRAN UVSPEC และ 5S ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะเลือกใช้แบบจำลอง 5S ซึ่งพัฒนาโดย Tanre´ et al (1987) (โดยจะกล่าวถึงแบบจำลองอย่างละเอียดในภาคผนวก ก.) ทั้งนี้เพราะเป็นแบบจำลองที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ทั่วไป และไม่ยุ่งยากในการคำนวณมากนักก็อีกทั้งยังมีความละเอียดถูกต้องค่อนข้างสูง ในการคำนวณโดยใช้แบบจำลองดังกล่าวต้องใส่ข้อมูลพื้นฐาน 5 อย่างคือ

1. มุมเซนนิธ (zenith angle) และมุมอาซิมุท (azimuth angle) ของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในรอบวัน
2. ข้อมูลปริมาณโอโซน ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลนี้จากเครื่องวัด Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) ซึ่งติดตั้งอยู่บนดาวเทียม Earth Probe (EP) ขององค์การ NASA ดังแสดงในรูปที่ 3.45 โดยดาวเทียมดังกล่าวจะวัดค่าปริมาณโอโซนวันละ 1 ครั้ง และแต่ละครั้งจะมีความละเอียดเชิงพื้นที่ (spatial resolution) 1° ตามแนวละติจูด และ 1.25° ตามแนวลองจิจูด โดยจะใช้ข้อมูลปริมาณโอโซนที่ได้จากเครื่องวัด TOMS ในช่วงปี 2004 – 2005

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



รูปที่ 3.45 แสดงดาวเทียม Earth Probe (EP)

3. ข้อมูลปริมาณไอน้ำ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลนี้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนจากอุปกรณ์ radiosonde ของกรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งทำการตรวจวัดทุกวันที่เวลา 07.00 น. ซึ่งจะทำให้การวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ระดับความดันบรรยากาศต่างๆ โดยการคำนวณ

จะเริ่มจากการคำนวณค่าความดันไอน้ำอิ่มตัว (P_{vs}) ที่กรมอุตุนิยมวิทยาซึ่งทำการวัดที่ เขตบางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร หลังจากนั้นจะคำนวณค่าความดันไอน้ำ (P_v) โดยอาศัยข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์ (rh) จาก radiosonde และค่า P_{vs} จากนั้นทำการ คำนวณหาค่า mixing ratio (M) โดยใช้ข้อมูลความดันบรรยากาศ (P) ซึ่งได้จาก radiosonde และค่าความดันไอน้ำ (P_v) โดยความดันไอน้ำอิ่มตัวสามารถคำนวณได้ จากสมการ

$$P_{vs} = \begin{cases} 6.1078 \times 10^{(7.5T)/(273.3+T)} & ; T > 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ 6.1078 \times 10^{((9.321T)/(261.24+T))} & ; T < 0 \text{ } ^\circ\text{C} \end{cases} \quad (3.20)$$

เมื่อ P_{vs} เป็นความดันไอน้ำอิ่มตัว (saturated vapour water) [mbar]

T เป็นอุณหภูมิของอากาศ ($^\circ\text{C}$)

ในขณะที่เดียวกันความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีความสัมพันธ์กับความดันของไอน้ำ

ดัง สมการที่ (3.21)

$$rh = \frac{P_v}{P_{vs}} \quad (3.21)$$

เมื่อ rh เป็นความชื้นสัมพัทธ์ (%)

P_v เป็นความดันไอน้ำ [mbar]

จากคุณสมบัติของอากาศชื้น (moist air) สามารถหาความสัมพันธ์ของ mixing ratio (M) กับความดันบรรยากาศและความดันไอน้ำได้ดังนี้

$$M = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} \quad (3.22)$$

เมื่อ P เป็นความดันบรรยากาศ [mbar]

โดย Mixing ratio (M) เป็นอัตราส่วนของมวลไอน้ำต่อมวลอากาศแห้ง ซึ่งหาได้จาก สมการ

$$M = M_v / M_{air} \quad (3.23)$$

เมื่อ M_v เป็นมวลไอน้ำ

M_{air} เป็นมวลอากาศแห้ง

โดยทั่วไปปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจะเปลี่ยนแปลงตามความสูงจากพื้นผิวโลก ขึ้นไปสู่บรรยากาศชั้นบน ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจะทำการคำนวณปริมาณไอน้ำดังกล่าว โดยอาศัยสมการของ Pierrehumbert (1972)

$$w = \int_{p_0}^0 \left(\frac{M}{g} \right) dp \quad (3.24)$$

เมื่อ w เป็นปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ [cm]

M เป็น mixing ratio ที่ความดัน P

P เป็นความดันบรรยากาศที่ความสูงใดๆ [mbar]

P_0 เป็นความดันบรรยากาศที่พื้นผิวโลก [mbar]

g เป็นความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (980 cm/s^2)

ในการคำนวณปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ ผู้วิจัยได้แบ่งชั้นบรรยากาศออกเป็นชั้นย่อยๆ ตามค่าความดันบรรยากาศที่บันทึกได้เป็นช่วงๆ จาก radiosonde และทำการแปลงสมการ (3.24) ให้อยู่ในรูปของสมการ

$$w = [(P_0 - P_1)M_1 + (P_1 - P_2)M_2 + (P_2 - P_3)M_3 + \dots + (P_n - P_{n+1})M_{n+1}] / g \quad (3.25)$$

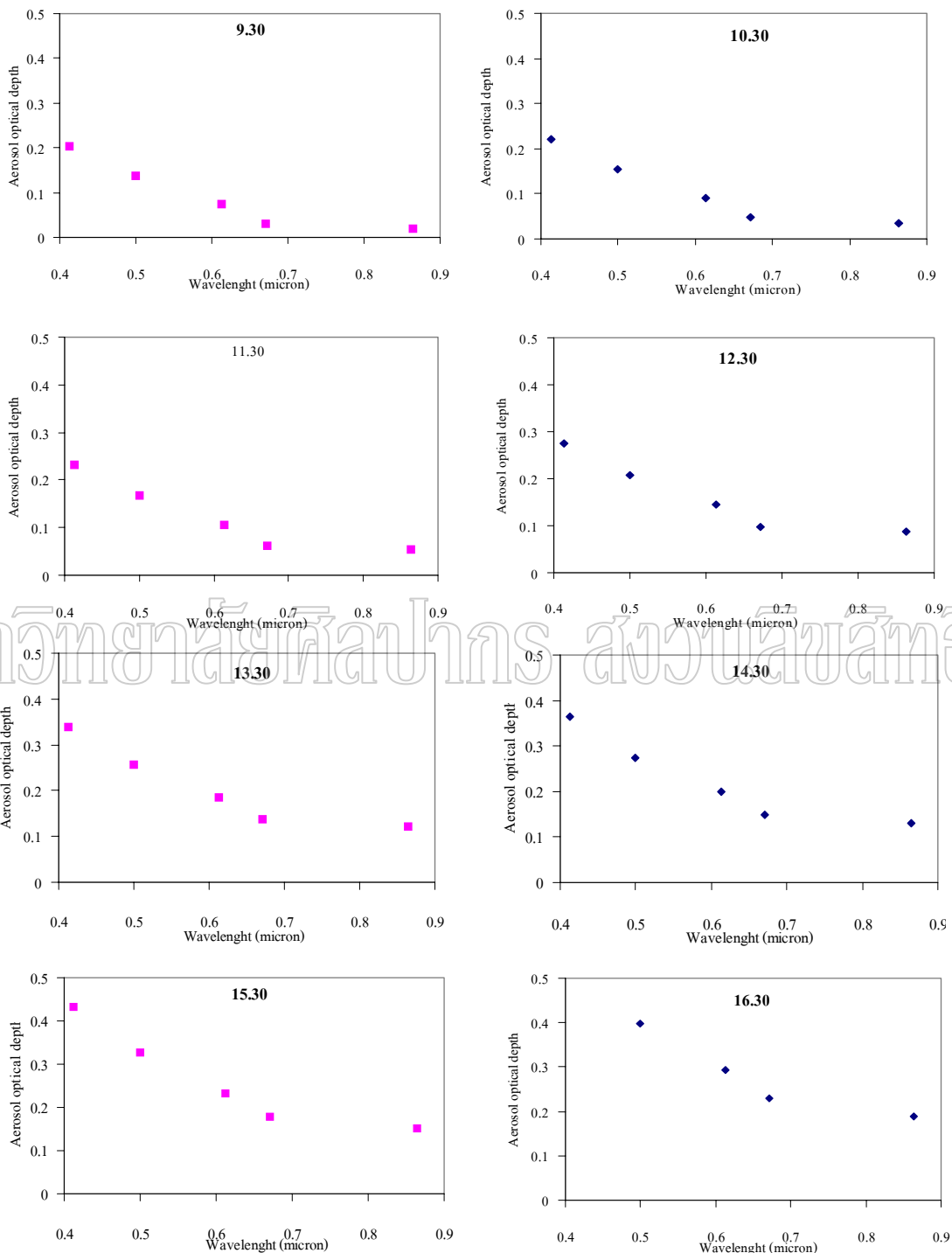
เมื่อ P_i เป็นความดันบรรยากาศชั้นที่ i โดยที่ $i = 1, 2, 3, \dots, n$

M_i เป็น mixing ratio ของบรรยากาศชั้นที่ i

ผลของข้อมูลปริมาณไอน้ำ (w) ที่คำนวณได้จากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบน ในช่วงปี 2004 – 2005 จะแสดงในตารางที่ A.8 - A.9 ของภาคผนวก ข.

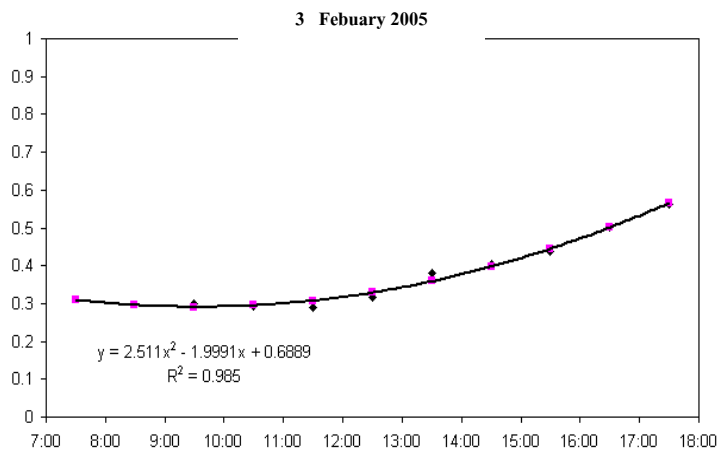
- ผู้วิจัยจะนำค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ทำได้ในช่วง 1 ชั่วโมง มาหาค่าเฉลี่ยรายชั่วโมง โดยทำเหมือนกันกับทุกความยาวคลื่น แล้วนำค่าเฉลี่ยดังกล่าวมาเขียนกราฟ

กับความยาวคลื่น ดังรูปที่ 3.46



รูปที่ 3.46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง
กับความยาวคลื่นที่เวลาต่างๆ ในรอบวัน

จากนั้นจะทำการ interpolate ให้ได้ค่าความถี่เชิงแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ของทุกชั่วโมง



รูปที่ 3.47 แสดงการเปลี่ยนแปลงระหว่างความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง ที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตรในรอบวัน

5. ชนิดของฝุ่นละอองซึ่งแบ่งตามแบบจำลองของ Tanre et al (1987) โดยแบ่งออกเป็น

4 อย่างด้วยกันคือ

- 0 หมายถึง บรรยากาศปราศจากฝุ่นละออง (No aerosol)
- 1 หมายถึง ฝุ่นละอองแบบ continental
- 2 หมายถึง ฝุ่นละอองแบบ maritime
- 3 หมายถึง ฝุ่นละอองแบบ urban

3.2.2 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

ในการจำแนกชนิดของฝุ่นละออง จำเป็นต้องนำข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากแบบจำลองการถ่ายเทรังสี แต่เนื่องจากสถานีวัดทั้ง 3 แห่งมีการวัดรังสีรวมอยู่แล้ว ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลรังสีรวมจากทั้ง 3 สถานีมาใช้งาน โดยคัดเลือกเฉพาะข้อมูลในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ลักษณะของเครื่องวัดของแต่ละสถานีแสดงในรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 แสดงเครื่องไพราโนมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์
ของสถานีกรุงเทพฯ

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



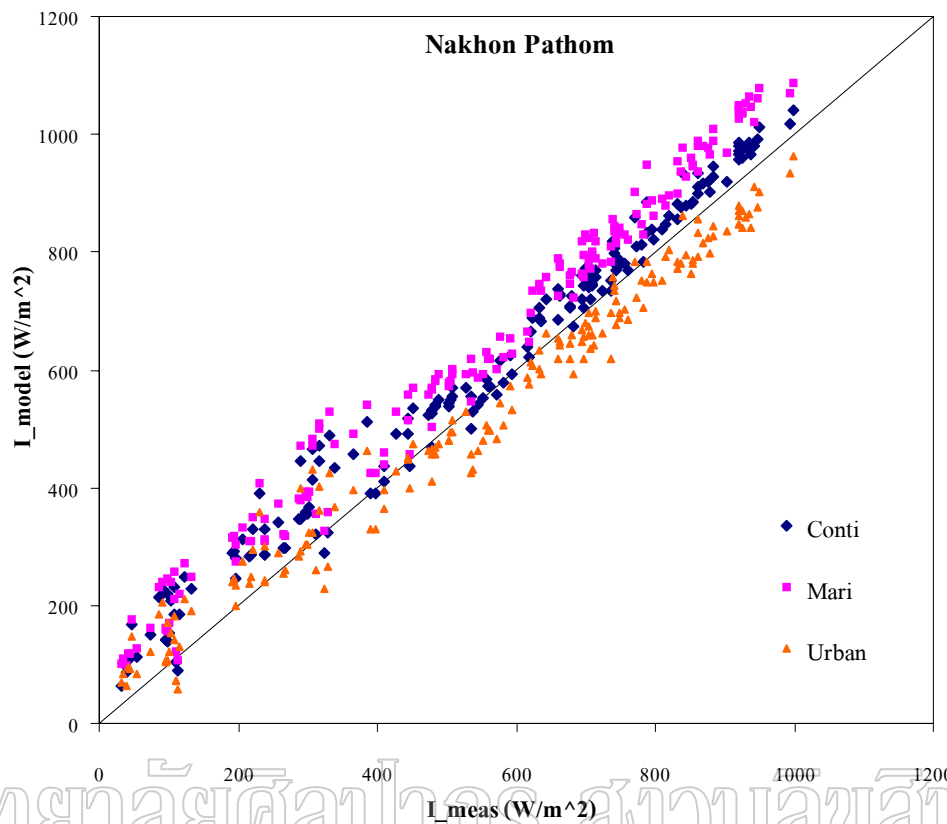
รูปที่ 3.49 แสดงเครื่องไพราโนมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์
ของสถานี AIT



รูปที่ 3.50 แสดงเครื่องไพราโนมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์
ของสถานีนครปฐม

3.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและผล

ผู้วิจัยได้ดำเนินการคำนวณความเข้มรังสีรวมในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ณ ตำแหน่ง
สถานีวัดทั้ง 3 สถานี โดยใช้ค่าปริมาณโอโซนจากดาวเทียม TOMS/EP ค่าปริมาณไอน้ำจากข้อมูล
ตรวจอากาศชั้นบนที่กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา และค่าความลึกเชิงแสงที่ความยาวคลื่น 550 nm
ของแต่ละสถานี จากนั้นได้แปรค่าชนิดของฝุ่นละออง แล้วนำค่าความเข้มรังสีรวมจากฝุ่นละออง
ชนิดต่างๆ มาเขียนกราฟกับค่ารังสีรวมที่ได้จากการวัดของทั้ง 3 สถานี ผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่
3.51- 3.53

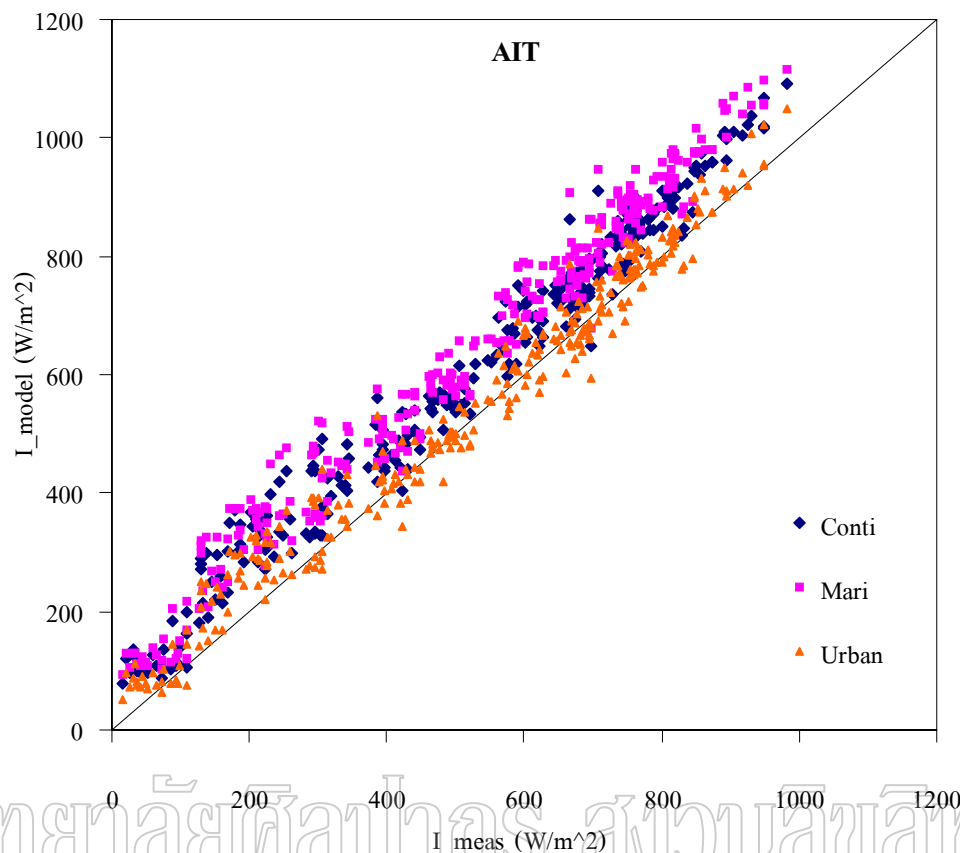


มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

รูปที่ 3.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้

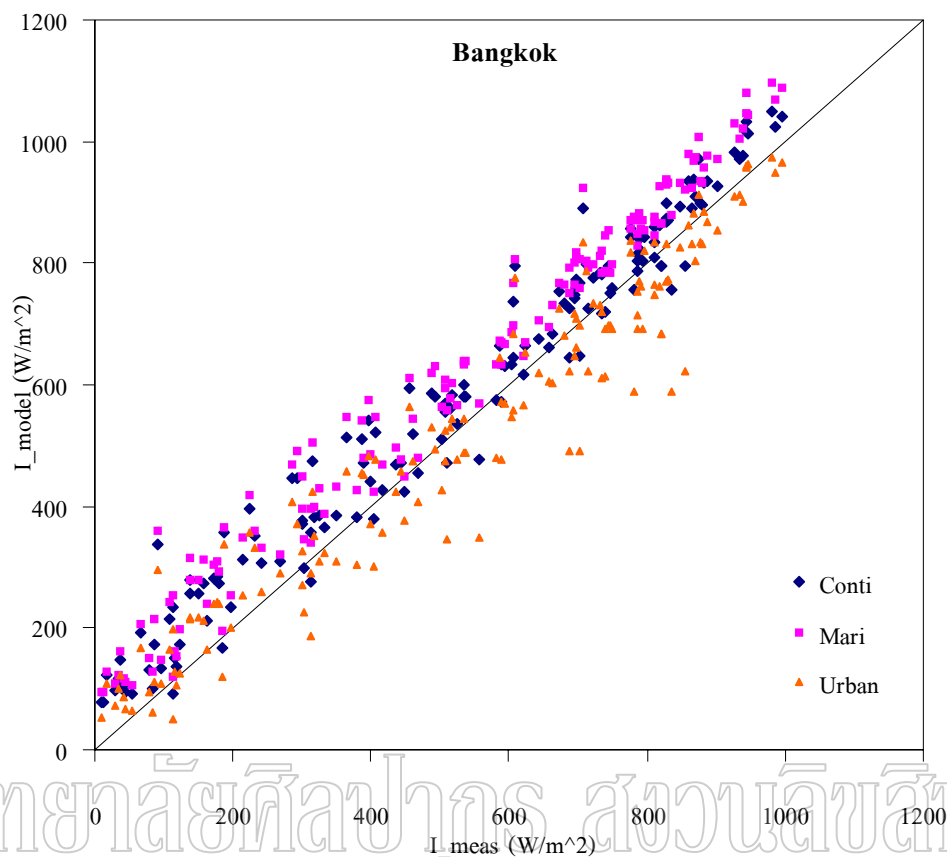
ชนิดของผืนละอองแบบต่างๆ กับค่ารังสีรวมที่ได้จากการวัดที่สถานีนครปฐม

จากกราฟรูปที่ 3.51 พบว่าผืนละอองที่นครปฐมเป็นผืนละอองที่มีการผสมกันระหว่างผืนละอองแบบ continental และแบบ urban ซึ่งตรงกับความเป็นจริงว่าจังหวัดนครปฐมมีลักษณะแบบกึ่งชนบท (semi-rural) มีผืนละอองบางส่วนเกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และชวดยานพาหนะ และบางส่วนเกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ในอนาคตอีก 10 - 20 ปีข้างหน้า คาดว่าผืนละอองในจังหวัดนครปฐมน่าจะเป็นผืนละอองแบบ urban มากขึ้น



รูปที่ 3.52 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ชนิดของฝุ่นละอองแบบต่างๆ กับค่ารังสีรวมที่ได้จากการวัดที่สถานี AIT

จากกราฟรูปที่ 3.52 พบว่าฝุ่นละอองที่จังหวัดปทุมธานี สามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเป็นฝุ่นละอองแบบ urban ซึ่งตรงกับความเป็นจริงว่าในจังหวัดปทุมธานีได้กลายเป็นเมืองอุตสาหกรรมขนาดใหญ่แล้ว มีโรงงานอุตสาหกรรม และ ยวดยานพาหนะต่างๆ มากมาย จึงทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศส่วนใหญ่ เป็นฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมและยวดยานพาหนะต่างๆ



รูปที่ 3.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีรวมที่ได้จากแบบจำลองโดยใช้ชนิดของฝุ่นละอองแบบต่างๆ กับค่ารังสีรวมที่ได้จากการวัดที่สถานีกรุงเทพฯ

จากกราฟรูปที่ 3.53 พบว่าฝุ่นละอองที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานครเป็นฝุ่นละอองที่มีการผสมกันระหว่างฝุ่นละอองแบบ continental และแบบ urban ซึ่งตรงกับความเป็นจริงว่าเดิมทีที่ตั้งของเขตบางนาค่อนข้างออกไปทางนอกเมือง แต่ในปัจจุบันที่ตั้งกลายเป็นเมืองที่มีความเป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เป็นแหล่งที่ตั้งของท่าเรือขนส่งสินค้าขนาดใหญ่ของประเทศ มีโรงงานอุตสาหกรรม จึงมีขบวนการพาหนะต่างๆ ที่ใช้ในการขนส่งสินค้ารวมถึงพาหนะต่างๆ ไปอีกมากมาย จึงทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองที่เกิดจากสังคมชนบท (นอกเมือง) รวมอยู่กับฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ทั้งจากยานอุตสาหกรรมและกระบวนการขนส่งต่างๆ และในอนาคตฝุ่นละอองในบริเวณนี้น่าจะเป็นฝุ่นละอองแบบ urban มากขึ้น เช่นเดียวกับที่จังหวัดนครปฐม

3.3 การคำนวณการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง

เนื่องจากฝุ่นละอองจะดูดกลืนและกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์มีผลทำให้รังสีดวงอาทิตย์ทั้งรังสีตรงและรังสีรวมที่ตกกระทบพื้นผิวโลกลดลง และผลดังกล่าวมีความสำคัญต่อสมดุลทางความร้อนของบรรยากาศ และการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการหาปริมาณของรังสีที่ลดลงดังกล่าวโดยอาศัยวิธีการเปรียบเทียบความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กรณีที่ไม่มีฝุ่นละอองกับกรณีมีฝุ่นละออง สำหรับกรณีไม่มีฝุ่นละอองจะได้จากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองการถ่ายเทรังสี 5S และกรณีมีฝุ่นละอองจะอาศัยค่าจากการวัดที่ 3 สถานี ตามรายละเอียดดังนี้

3.3.1 รังสีดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและฝุ่นละออง

ผู้วิจัยจะใช้แบบจำลองการถ่ายเทรังสี 5S คำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆและฝุ่นละออง ณ ตำแหน่งสถานีวัด 3 สถานี โดยใช้ข้อมูลปริมาณโอโซนจากดาวเทียม TOMS/EP ข้อมูลปริมาณไอน้ำซึ่งหาจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนที่กรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลความลึกเชิงแสงที่ความยาวคลื่น 550 nm ที่ได้จาก sunphotometer ซึ่งหาไว้แล้วในหัวข้อ 3.1 จากนั้นจะทำการคำนวณความเข้มรังสีรวมและรังสีตรง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าจากการวัด

3.3.2 ข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

กรณีข้อมูลรังสีรวมจะใช้ข้อมูลชุดเดียวกับที่ใช้ในการจำแนกชนิดของฝุ่นละออง สำหรับข้อมูลรังสีตรง (direct normal solar irradiance) ของสถานีนครปฐม และ AIT จะใช้ข้อมูลจากไพเฮลิโอมิเตอร์ (pyrheliometer) ของสถานี โดยข้อมูลของทั้ง 2 สถานี จะใช้ตั้งแต่ 1 มกราคม ค.ศ. 2004 ถึง 31 ธันวาคม ค.ศ. 2005 ลักษณะของเครื่องวัดของแต่ละสถานีแสดงในรูปที่ 3.54 – 3.55



รูปที่ 3.54 แสดงเครื่องไพเฮริโอมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์
ของสถานีสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

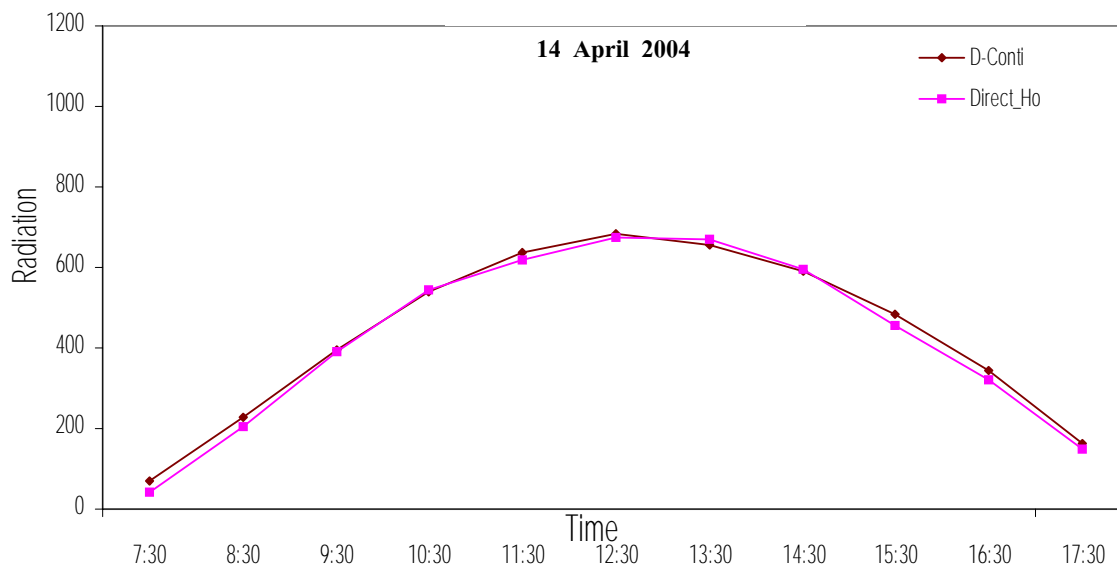


รูปที่ 3.55 แสดงเครื่องไพเฮริโอมิเตอร์สำหรับวัดความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์
ของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

3.3.3 การทดสอบความละเอียดถูกต้องของแบบจำลอง

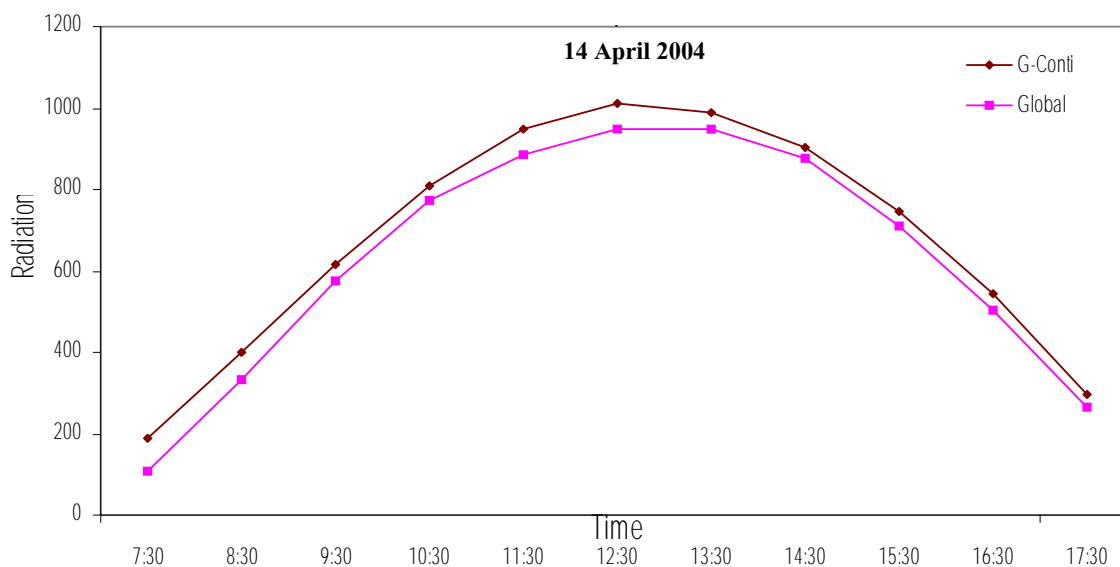
ก่อนที่จะนำแบบจำลอง 5S ไปใช้หาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีที่ท้องฟ้าแบบจำลองปราศจากเมฆ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความละเอียดถูกต้องของแบบจำลอง โดยการใช้แบบจำลองดังกล่าวคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีมีฝุ่นละอองทั้งกรณีรังสีตรงและรังสีรวม โดย

การเปรียบเทียบกับการวัด ตัวอย่างผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.57-3.62 จากรูปผลการทดสอบพบว่าค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่คำนวณจากแบบจำลอง 5S ส่วนใหญ่สอดคล้องกับค่าจากการวัด



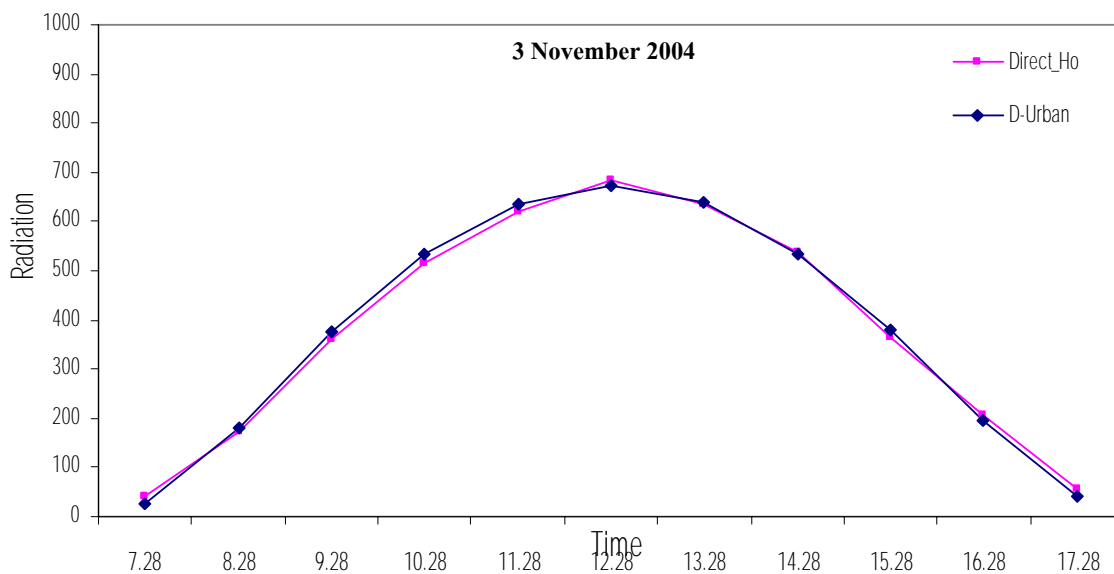
รูปที่ 3.56 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง 5S

โดยกำหนดให้ฝุ่นละอองเป็นแบบ continental และจากการการวัดที่นครปฐม
ในวันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004



รูปที่ 3.57 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง 5S

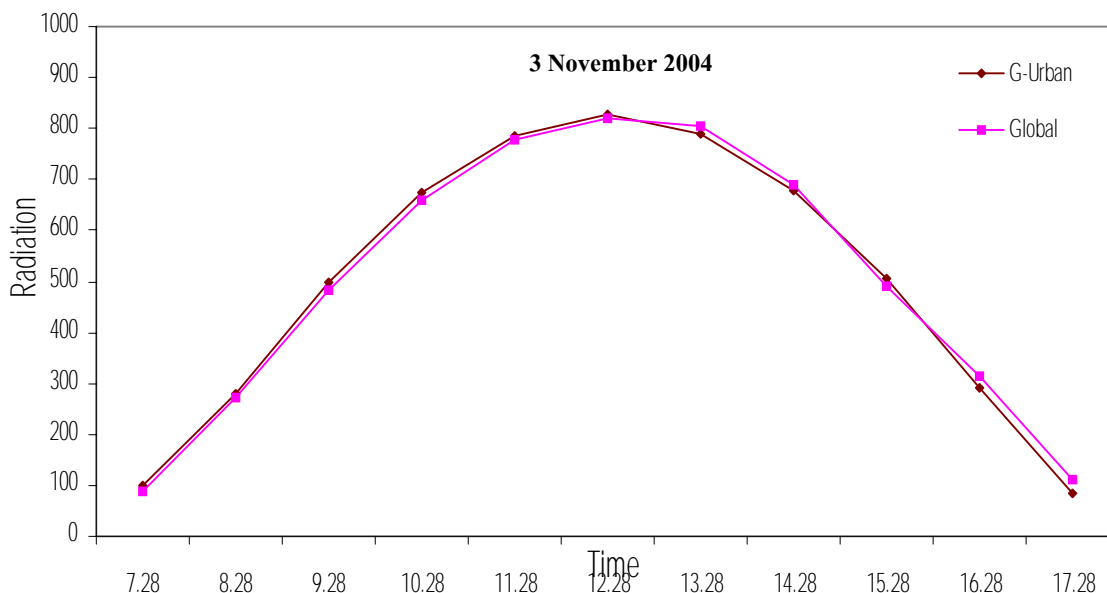
โดยกำหนดให้ฝุ่นละอองเป็นแบบ continental และจากการการวัดที่นครปฐม
ในวันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004



รูปที่ 3.58 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง 5S

โดยกำหนดให้ฝุ่นละอองเป็นแบบ urban และจากการวัดที่สถาบันเทคโนโลยี-
 แห่งเอเชียจังหวัดปทุมธานี ในวันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



รูปที่ 3.59 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลอง 5S

โดยกำหนดให้ฝุ่นละอองเป็นแบบ urban และจากการวัดที่สถาบันเทคโนโลยี-
 แห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ในวันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004

3.3.4 วิธีวิเคราะห์ข้อมูลและผล

ลำดับแรกผู้วิจัยจะใช้แบบจำลอง 5S ทำการคำนวณความเข้มรังสีตรงและรังสีรวมในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ โดยใช้ข้อมูลปริมาณโอโซนจากดาวเทียม TOMS/EP และข้อมูลปริมาณไอน้ำซึ่งคำนวณจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนจากกรมอุตุนิยมวิทยา บางนา และกำหนดให้บรรยากาศไม่มีฝุ่นละออง (No aerosol) จากนั้นจะคำนวณปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ตลอดวันทั้งรังสีรวม ($H_{G,model}$) และรังสีตรง ($H_{B,model}$) ในขณะเดียวกันผู้วิจัยจะหาค่าพลังงานแสงอาทิตย์รังสีรวม ($H_{G,meas}$) และรังสีตรง ($H_{B,meas}$) ซึ่งได้จากการวัดรายวัน ความแตกต่างระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้กับที่คำนวณได้จะเป็นผลมาจากฝุ่นละอองในบรรยากาศ สามารถเขียนได้ในรูปของอัตราส่วนการลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง (aerosol depletion) หลังจากนั้นจึงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง โดยอาศัยสมการกรณีรังสีตรง

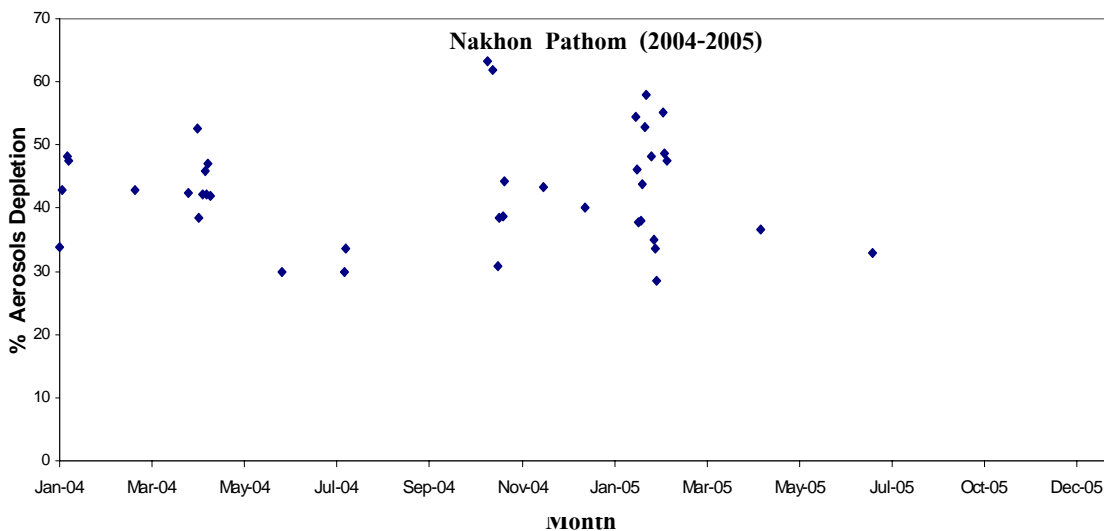
$$\%D_B = \left(\frac{H_{B,model} - H_{B,meas}}{H_{B,model}} \right) \times 100 \quad (3.26)$$

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

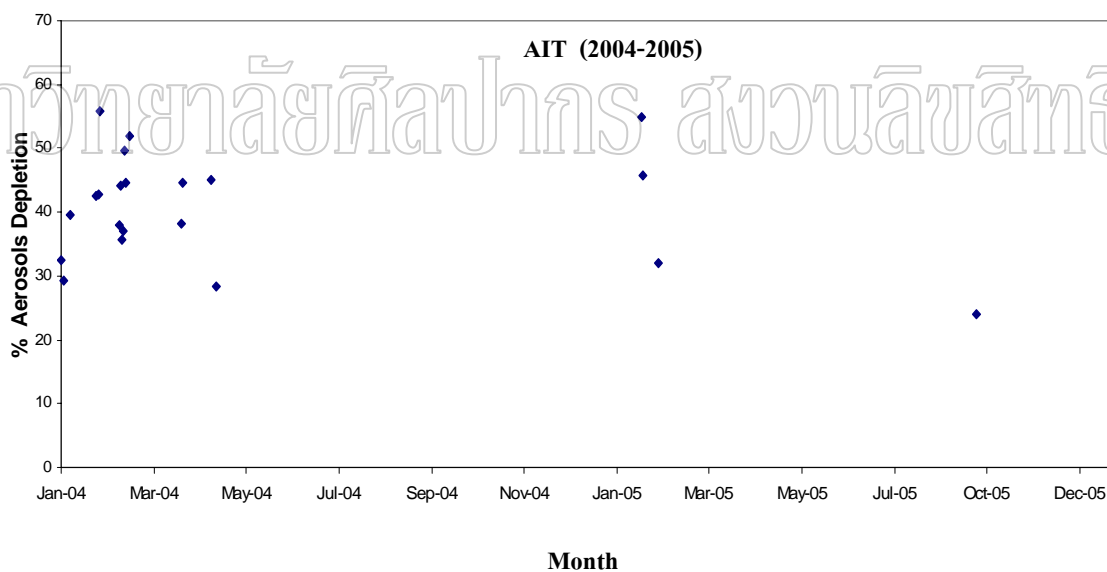
$$\%D_G = \left(\frac{H_{G,model} - H_{G,meas}}{H_{G,model}} \right) \times 100 \quad (3.26)$$

เมื่อ D_B	เป็นอัตราส่วนการลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์รังสีตรงเนื่องจากฝุ่นละออง
D_G	เป็นอัตราส่วนการลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์รังสีรวมเนื่องจากฝุ่นละออง
$H_{B,model}$	เป็นพลังงานแสงอาทิตย์รังสีตรงที่ได้จากแบบจำลอง 5S (MJ)
$H_{B,meas}$	เป็นพลังงานแสงอาทิตย์รังสีตรงที่ได้จากการวัด (MJ)
$H_{G,model}$	เป็นพลังงานแสงอาทิตย์รังสีรวมที่ได้จากแบบจำลอง 5S (MJ)
$H_{G,meas}$	เป็นพลังงานแสงอาทิตย์รังสีรวมที่ได้จากการวัด (MJ)

หลังจากนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการคำนวณค่า D_B และ D_G ของสถานีนครปฐมและสถานี AIT โดยผลของค่า D_B จะแสดงในรูปที่ 3.60 - รูปที่ 3.61 และสำหรับกรณีของรังสีรวมค่า D_G ของสถานีนครปฐมและสถานี AIT แสดงในรูปที่ 3.62 - รูปที่ 3.63

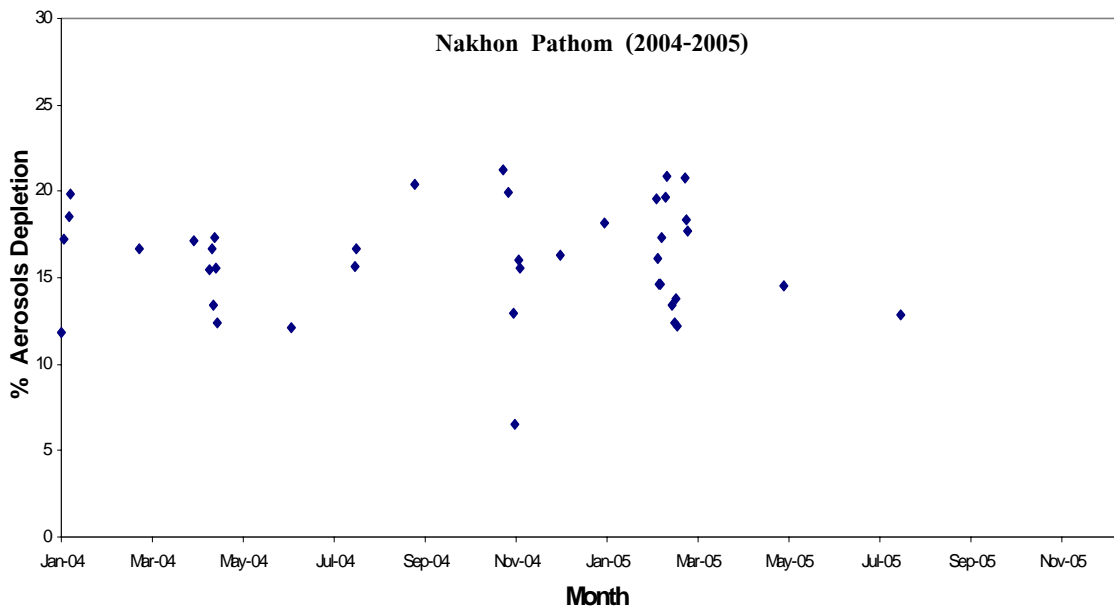


รูปที่ 3.60 แสดงอัตราส่วนการลดลงของพลังงานรังสีตรงเนื่องจากฝุ่นละออง (D_B) ในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

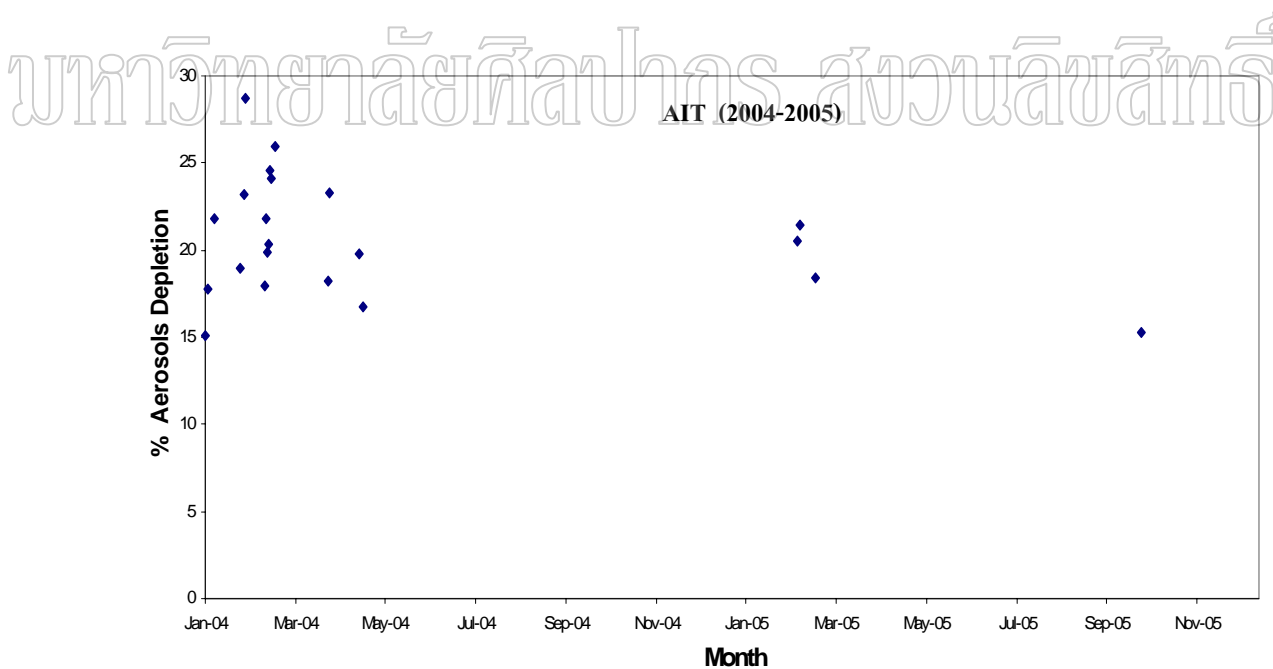


รูปที่ 3.61 แสดงอัตราส่วนการลดลงของพลังงานรังสีตรงเนื่องจากฝุ่นละออง (D_B) ในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี

กราฟรูปที่ 3.60 – รูปที่ 3.61 แสดงอัตราส่วนการลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์รังสีตรงเนื่องจากฝุ่นละอองในรอบ 2 ปีของทั้ง 3 สถานีในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 จากรูปจะพบว่าในกรณีของรังสีตรงค่า D_B จะแปรค่าอยู่ในช่วง 30% - 60% โดยมีค่าเฉลี่ยรายปีของสถานี AIT และสถานีนครปฐมเท่ากับ $40.8 \pm 8.6\%$ และ $43.0 \pm 8.7\%$ ตามลำดับ



รูปที่ 3.62 แสดงอัตราส่วนการลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์รังสีรวมเนื่องจากฝุ่นละออง ในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 3.63 แสดงอัตราส่วนการลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์รังสีรวมเนื่องจากฝุ่นละออง ในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี

และสำหรับกรณีรังสีรวม ค่า D_G จะแปรค่าอยู่ในช่วง 10% - 30% โดยมีการลดลงเฉลี่ยรายปีของ สถานี AIT และสถานีนครปฐมเท่ากับ $20.7 \pm 3.5\%$ และ $16.1 \pm 3.1\%$ ตามลำดับ

บทที่ 4

บทสรุป

จากความสำคัญของฝุ่นละอองที่มีต่อสภาวะแวดล้อม ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาธรรมชาติของฝุ่นละอองที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล 2 แห่ง ได้แก่ ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี และมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม โดยได้ทำการวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ด้วย MFR-7 ที่จังหวัดนครปฐม และนำข้อมูลที่ได้จากการวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ของกรมอุตุนิยมวิทยา ที่บางนา และการวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ที่อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี เป็นข้อมูลจำนวน 2 ปี (ค.ศ. 2004 - ค.ศ. 2005) มาทำการวิเคราะห์

ในลำดับแรกผู้วิจัยจะคัดเลือกช่วงเวลาที่ท้องฟ้าไม่มีเมฆมาบังดวงอาทิตย์ เพื่อนำค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นซึ่งไม่มีการดูดกลืนของไอน้ำและก๊าซต่างๆ มาดำเนินการหาค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองโดยใช้กฎของ Bouguer แล้วจึงนำค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ได้มาวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี ผลที่ได้พบว่าค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองทั้ง 3 สถานีมีความสอดคล้องกัน กล่าวคือ ค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองจะมีค่าสูงในช่วงฤดูแล้ง และมีค่าลดลงในช่วงฤดูฝน โดยค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองเฉลี่ยรายปีที่ความยาวคลื่น 500 nm ของสถานีกรุงเทพฯ สถานี AIT และสถานีนครปฐมมีค่าเท่ากับ 0.55 ± 0.31 , 0.46 ± 0.26 และ 0.47 ± 0.25 ตามลำดับ

จากค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ได้ ผู้วิจัยได้นำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวของอังสตรอม (β) และ wavelength exponent (α) โดยอาศัยสมการของอังสตรอม ผลการคำนวณพบว่าค่า β เฉลี่ยทั้งปีของสถานีกรุงเทพฯ สถานี AIT และสถานีนครปฐมมีค่าเท่ากับ 0.19 ± 0.12 , 0.19 ± 0.09 และ 0.16 ± 0.08 ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีค่าค่อนข้างสูง และค่า α เฉลี่ยทั้งปีของสถานีกรุงเทพฯ สถานี AIT และสถานีนครปฐมมีค่าเท่ากับ 1.50 ± 0.50 , 1.46 ± 0.55 และ 1.54 ± 0.52 ตามลำดับ โดยขนาดของฝุ่นละอองมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ดำเนินการจำแนกชนิดของฝุ่นละอองของทั้ง 3 สถานี โดยการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีรวมซึ่งคำนวณโดยใช้แบบจำลองการถ่ายเทรังสี 5S ที่ฝุ่นละอองแบบต่างๆ กับค่าความเข้มรังสีรวมที่ได้จากการวัดของแต่ละสถานี ผลที่ได้พบว่าฝุ่นละอองที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา ซึ่งอยู่ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ของกรุงเทพมหานครมีฝุ่นละอองแบบผสม

ระหว่างฝุ่นละอองแบบ continental กับแบบ urban สำหรับสถานี AIT มีฝุ่นละอองเป็นแบบ urban และสถานีนครปฐมมีฝุ่นละอองแบบผสมระหว่างฝุ่นละอองแบบ continental กับแบบ urban เช่นเดียวกับสถานีกรุงเทพฯ

สุดท้ายผู้วิจัยได้ดำเนินการหาเปอร์เซ็นต์การลดลงของพลังงานแสงอาทิตย์รังสีตรง และรังสีรวมเนื่องจากฝุ่นละออง โดยอาศัยการเปรียบเทียบพลังงานแสงอาทิตย์รายวันที่ได้จากการคำนวณแบบจำลอง 5S โดยสมมติให้ในบรรยากาศไม่มีฝุ่นละออง (No aerosol) จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จริงของแต่ละสถานี ผลการคำนวณพบว่า การลดลงของรังสีตรงรายวันเฉลี่ยต่อปีของวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆที่สถานี AIT และสถานีนครปฐม มีค่าเท่ากับ $40.8 \pm 8.6\%$ และ $43.0 \pm 8.7\%$ ตามลำดับ สำหรับกรณีของรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อปีของวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆที่สถานี AIT และสถานีนครปฐม มีค่าเท่ากับ $20.7 \pm 3.5\%$ และ $16.1 \pm 3.1\%$ ตามลำดับ แต่ของสถานีกรุงเทพฯ ไม่สามารถสรุปได้เป็นเพราะจำนวนข้อมูลมีน้อยเกินไป การลดลงดังกล่าวของสถานีนครปฐม และสถานี AIT ถือว่ามีค่าค่อนข้างสูงซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของอากาศในระยะยาว

เนื่องจากข้อมูลที่ทำการศึกษานี้มีช่วงระยะเวลา 2 ปี จึงยากที่จะเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว ผู้วิจัยจึงเสนอแนะให้มีการดำเนินการวัดและวิเคราะห์ข้อมูลต่อเนื่องไปในอนาคตเพื่อนำมาวิเคราะห์หาแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้การวัดสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ด้วย sunphotometer สถานีวัดมีจำนวนค่อนข้างจำกัด จึงสมควรที่จะส่งเสริมให้มีการจัดตั้งสถานีวัดให้กระจายไปยังส่วนต่างๆ ของประเทศ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการศึกษา และติดตามการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองในประเทศต่อไป

บรรณานุกรม

- สายันต์ โปธิ์เกตุ, “การศึกษาการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศของประเทศไทย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2542.
- วิลาวรรณ คำหาญ, “การศึกษาสภาพความขุ่นมัวของบรรยากาศในประเทศไทย.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2543.
- Al-Jamal, K. “Aerosol optical depth in Northern Jordan.” **Renewable Energy** Vol.3, No.6/7 ,627-631 (1993).
- Angstrom, A. “On the atmospheric transmission of sun radiation and dust in the air.” **Geographic Annal.** 2 , 156-166 (1929).
- Angstrom, A. “The parameters of atmospheric turbidity.” **Tellus** 16, 64-75 (1964).
- Chaiwiwatworakul, P., Chirarattananon, S. “An investigation of atmospheric turbidity of Thai sky.” **Energy and Building** 36, 650-659 (2004).
- Exell, R.H.B. “The water content and turbidity of the atmosphere in Thailand.” **Solar energy** 20, 429-430 (1978).
- Esposito, F., Leone, L., Pavese, G., Restieri, R., Serio, C. “Seasonal variation of aerosols properties in South Italy: a study on aerosol optical depths, Angstrom turbidity parameters and aerosol size distributions.” **Atmospheric Environment** 38 , 1605-1614 (2004).
- Estelles, V., Utrillas, M.P., Martinez-Lozano, J.A. “Aerosol optical depth and related parameters along 2002 in Valencia , A Mediterranean coastal site.” **The European Aerosol Conference 2003** , S1127-S1128 (2003).
- Fairall, W.C., Davidson, L.K. , Schacher, E.G. “An analysis of the surface produce of sea-salt aerosol.” **Tellus** 16B, 31-39 (1983).

- Hoppel, W.A., Frick, G.M., Fitzgerald, J.W., Larson, R.E. “Marine boundary layer of G measurement of new particle formation and the effects nonprecipitating clouds have on aerosol size distribution.” **Journal Geophysical Research** 99, 14443-14459 (1994)
- Iqbal, M., **An introduction to solar radiation..** Academic Press, New York (1983).
- Janjai, S., Kumharn, W. and Laksanaboonsong J. “Determination of Angstrom’s turbidity coefficient over Thailand.” **Renewable Energy** 28 , 1685-1700 (2003).
- Langner, J., Rodhe, H., Crutzen, J. P., Zimmermann, P. “Anthropogenic influence on the distribution of tropospheric sulphate aerosol.” **Nature** 359 , 712-715 (1992).
- Louche, A., Mural, M., Simonnot, G., Peri, G., Iqbal, M. “Determination of Angstrom’s turbidity coefficient from direct total solar irradiance measurements.” **Solar energy** 38, 89-96 (1987).
- Machler, M. **Parameter of solar irradiation under clear skies.** M.A.Sc. Thesis, University of British Columbia (1983).
- Masmoudi, M., Chaabane, M., Medhioub, K., Elleuch, F. “Variability of aerosol optical thickness and atmospheric turbidity in Tunisia.” **Atmospheric Research** 66 , 175-188 (2003).
- McClatchey, R.A., and Selby, J.E. “Atmospheric transmittance from 0.25 to 38.5 μm : computer code LOWTRAN-2.” , Air Force Cambridge Research Laboratories, AFCAL-72-0745, **Environ. Res. Paper** 427 (1972).
- Moon, P. “proposed standard solar radiation curves for engineering use.” **J. Frankli Inst** 230, 583-617 (1940).
- Nunez, M. “Solar energy statistics of Australian capital regions.” **Solar Energy** 44, 343-354 (1990).
- Pinker, R.T., Pandithurai, G., Holben, B.N., Keefer, T.O., Goodrich, D. “Aerosol radiation properties in the semiarid Western United States.” **Atmospheric Research** 71, 243-252 (2004).
- Ramachandran, S., Jayaraman, A. “Spectral aerosol optical depths over Bay of Bengal and Chennai: I- measurements.” **Atmospheric Environment** 37 , 1941-1949(2003).
- Smith, H.M., and Park, P. “Marine aerosol concentrations and estimated fluxes over the sea.” **Journal of the Royal Meteorological Society** 119, 809-824 (1993).

Tanré, D., Deroo, C., Duhaut, P., hermam, N., Morcrette, J.J., Perbos, J. and Deschamps, P.Y. **Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (5S)**. Technical Report, Laboratoire d'Optique Atmosphérique, Université Des Science et Technique de Lille, 59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France (1987).

Valiente, J.A. **A Study and parameterization of oceanic aerosol interaction by interpreting spectral solar radiation measurement at Nauru during TOGA-COARE**. Ph.D. Thesis, Tasmania University, Australia (1996).

Warneck, P. **In International Geophysics Series**. Academic Press, New York (1988).

Watt, A.D. **On the nature and distribution of solar radiation**. HCP/T2552-01 ,U.S. Department of energy, Washington, D.C., U.S.G.P.O. (1978).

Woolf, K. D., Bowyer, A. P., Monahan, C. E. “Discriminating between the film drop and jet drops produced by a simulated whitecap.” **Journal Geophysical Research** 92, 5142-5150 (1987)

World Meteorological Organization. **WMO operations manual for sampling and analysis techniques for chemical constituents in air and precipitation**. WMO No.229 (1971).

Xin, J., Wang, S., Wang, Y., Yuan, J., Zhang, W., Sun, Y. “Optical properties and size distribution of aerosols over the Tengger Desert in Northern China.” **Atmospheric Environment** 39 , 5971-5978 (2005).

Zakey, A.S., Abdelwahab, M.M., Makar, P.A. “Atmospheric turbidity over Egypt” **Atmospheric Environment** 38 , 1579-1591(2004).

ภาคผนวก ก.

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนนิเทศน์
แบบจำลองของ Tanre et al

แบบจำลองของ Tanre' et al

1. หลักการ

แบบจำลองของ Tanre' et al เป็นแบบจำลองที่ใช้สำหรับคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวโลกและสะท้อนไปยังดาวเทียมต่างๆ ได้แก่ METOSSET, GOES-EAST, GOES-WEST, HRV(SPOT), LANDSAT และ NOAA โดยแบบจำลองดังกล่าวจะพิจารณาเฉพาะในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ และพิจารณารังสีดวงอาทิตย์ตั้งแต่เริ่มเข้าสู่บรรยากาศของโลก ตกกระทบพื้นโลก และสะท้อนผ่านบรรยากาศกลับไปยังอวกาศภายนอกโดยบางส่วนดาวเทียมสามารถรับได้ แบบจำลองดังกล่าวจะพิจารณาการดูดกลืนและการกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ของบรรยากาศ ได้แก่ ไอน้ำ ฝุ่นละออง โอโซน และโมเลกุลของแก๊สต่างๆ นอกจากนี้ยังพิจารณาสัมประสิทธิ์การกระเจิงรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดจากพื้นผิวโลกชนิดต่างๆ ด้วย แบบจำลองนี้สามารถคำนวณค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกทั้งรังสีรวมและรังสีกระจาย ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ได้ด้วย สมการหลักของแบบจำลองของ Tanre' et al ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิวโลกและบรรยากาศในสภาพท้องฟ้าแจ่มใส (clear sky earth atmospheric reflectance) ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$\rho'(\theta_s, \theta_v, \Phi_v) = \rho_a(\theta_s, \theta_v, \Phi_v) + \frac{T(\theta_s)}{1 - \langle \rho(M) \rangle S} (\rho_c(M) e^{\tau/\mu_v} + \langle \rho(M) \rangle t_d(\theta_v)) \quad (1)$$

เมื่อ $\rho'(\theta_s, \theta_v, \Phi_v)$ เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลกและบรรยากาศที่ดาวเทียมรับได้ในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ

$\rho_a(\theta_s, \theta_v, \Phi_v)$ เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศ

θ_s เป็นมุมซิมิทริกของดวงอาทิตย์

θ_v เป็นมุมซิมิทริกของดาวเทียม

Φ_v เป็นมุมอาซิมุทของดาวเทียม

$t_d(\theta_v)$ เป็นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีกระจายที่ดาวเทียมรับได้

S เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พื้นผิวโลก

$T(\theta_s)$ เป็นสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามายังโลก

τ เป็นความลึกเชิงแสงของบรรยากาศ (optical thickness of the atmosphere)

สัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงพื้นโลก สามารถเขียนได้ในรูป

$$T(\theta_s) = e^{-\tau/\mu_s} + t_d(\theta_s) \quad (2)$$

เมื่อ $\mu_s = \cos \theta_s$ และ

$$\mu_v = \cos \theta_v$$

สำหรับสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากสภาพแวดล้อม กำหนดให้

$\rho_c(M)$ เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนจากสภาพแวดล้อมเดียวกัน

$\langle \rho(M) \rangle$ เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนเฉลี่ยจากสภาพแวดล้อม

$$\langle \rho(M) \rangle = \frac{1}{t_d(\theta_v)} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \rho(x, y) e(x, y, \theta_v) dx dy \quad (3)$$

เมื่อ $e(x, y, \theta_v)$ เป็นส่วนของรังสีกระจายที่มีผลต่อ $t_d(\theta_v)$

$\rho(x, y)$ เป็นสัมประสิทธิ์การสะท้อนของจุดที่อยู่ตรงกับดาวเทียม

ในการดูคลื่นและการกระเจิงของฝุ่นละออง จากแบบจำลองของ Tanre' et al จะแยกฝุ่นละอองออกเป็น 3 แบบ ดังนี้คือ continental, maritime และ urban โดยจะคำนวณ phase function ที่ phase angle ต่างๆ 83 มุม และที่ค่าความยาวคลื่น 10 ความยาวคลื่น ดังนี้คือ 0.400, 0.515, 0.550, 0.633, 0.694, 0.860, 1.536, 2.250 และ 3.750 ไมโครเมตร จากค่าดังกล่าวข้างต้นทำให้สามารถคำนวณการดูคลื่นและการกระเจิงของฝุ่นละอองได้ ซึ่งจะนำผลที่ได้ไปใช้คำนวณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง นอกจากนี้แบบจำลองของ Tanre' et al ยังสามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองโดยใช้ข้อมูลทัศนวิสัย หรือใช้ข้อมูลความลึกเชิงแสง (aerosol optical depth) ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ตามต้องการ

เนื่องจากการคำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามแบบจำลองของ Tanre' et al ประกอบด้วยกระบวนการหลายขั้นตอน Tanre' et al จึงได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในภาษา fortran ขึ้นเพื่อช่วยในการคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ทั้งที่ตกกระทบผิวโลก และส่วนที่สะท้อนขึ้นไปถึงหัววัดของดาวเทียม โดยผู้ใช้สามารถเลือกตัวแปรและเงื่อนไขต่างๆ ได้ ซึ่งมีเงื่อนไขที่สำคัญและข้อจำกัดดังนี้

1. เงื่อนไขเชิงเรขาคณิต (geometrical condition) ได้แก่ มุมเซนิตของดวงอาทิตย์ (solar zenith) และมุมเซนิตของดาวเทียม (satellite zenith angle) ต้องไม่มากกว่า 60 องศา

2. แบบจำลองเกี่ยวกับองค์ประกอบของบรรยากาศ (atmospheric model) ไม่มีข้อจำกัดในการใช้

3. แบบจำลองฝุ่นละออง (aerosol model) ค่าทัศนวิสัยที่ใช้ในแบบจำลองนี้ต้องมากกว่า 5 กิโลเมตร สำหรับค่าที่ต่ำกว่าจะมีผลทำให้การคำนวณค่าผิดพลาด

4. เงื่อนไขของสเปกตรัม (spectral condition) สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของก๊าซ และฟังก์ชันการกระเจิงใช้ได้กับความยาวคลื่นในช่วง $0.25 - 4.0 \mu m$ แต่ในทางปฏิบัติจะมีผลกระทบระหว่างการดูดกลืนและการกระเจิง ถ้าต้องการคำนวณในส่วนของการดูดกลืนให้นำผลกระทบนี้กลับไปพิจารณาด้วย

5. สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พื้นผิว (ground reflectance (type)) เป็นการพิจารณาชนิดของพื้นที่เป้าหมายที่มีการสะท้อนออกในแนวเชิงมุมตามแนวรัศมีทรงกลม และการสะท้อนของสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบๆ

6. สัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พื้นผิว (ground reflectance (spectral variation)) โดยทั่วไปสเปกตรัมในการสะท้อนถูกกำหนดไว้ 4 แบบ โดยสเปกตรัมช่วงนี้จะต่างจากสเปกตรัมที่เราเลือก กรณีที่เลือกการสะท้อนเป็นชุด 0 ซึ่งจะอยู่นอกระยะนี้เนื่องจากข้อบกพร่องของข้อมูลผู้ใช้ต้องตรวจสอบข้อจำกัดนี้

2. วิธีการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากแบบจำลองของ Tanre[´] et al

ในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากแบบจำลองของ Tanre[´] et al ได้มีการกำหนดเงื่อนไขที่ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ตามต้องการซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1). ผู้ใช้เลือกเงื่อนไขเชิงเรขาคณิต (Geometrical condition) ซึ่งมีให้เลือกตั้งแต่ 0 ถึง 7 โดยที่ 1 ถึง 7 เป็นเงื่อนไขที่กำหนดไว้ในโปรแกรมซึ่งเป็นข้อมูลของดาวเทียมดวงต่างๆ คือ METOSSET, GOES-EAST, GOES-WEST, NOAA8, NOAA9, SPOT และ LANDSAT ตามลำดับ ในกรณีที่ผู้ใช้เลือกเงื่อนไข 0 ผู้ใช้ต้องใส่ข้อมูล มุมเซนนิธและ มุมอาซิมุทของดวงอาทิตย์ (solar zenith angle and solar azimuth angle) ตามตำแหน่งที่ต้องการในหน่วยองศา

2). เลือกแบบจำลองของบรรยากาศ (atmospheric model) ในโปรแกรมจะมีข้อมูลของบรรยากาศแบบต่างๆ ให้เลือกจาก 0 ถึง 8 ดังนี้

0 ไม่มีการดูดกลืนโดยก๊าซ

1 tropical (เขตร้อนชื้น)

2 Midlatitude summer

3 Midlatitude winter

4 Subarctic summer

5 Subarctic winter

6 US standard 62

7 ผู้ใช้เลือกเองจากการตรวจอากาศชั้นบน 34 ระดับ โดยใส่ข้อมูล ระดับความสูง (altitude) ในหน่วยกิโลเมตร ความดัน (mbar) อุณหภูมิ (K) ความหนาแน่นของน้ำ (g/m^3) ความหนาแน่นของโอโซน (g/m^3)

8 ผู้ใช้เลือกที่จะใส่ข้อมูลปริมาณไอน้ำ และปริมาณโอโซน

3). เลือกแบบจำลองชนิดของฝุ่นละออง (aerosol model) ผู้ใช้สามารถเลือกชนิดของฝุ่นละอองได้ดังนี้

0 ไม่มีฝุ่นละออง (no aerosol)

1 Continental model

2 Maritime model

3 Urban model

หรือจะกำหนดแบบจำลองเอง โดยใส่จำนวนส่วนผสมขององค์ประกอบในแต่ละชนิดเอง นั่นคือ เลือกแบบจำลอง 4 โดยใส่ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของปริมาตร ของแต่ละองค์ประกอบ เช่น องค์ประกอบที่มีลักษณะเป็นผงฝุ่น ละอองน้ำ องค์ประกอบที่เป็นสารละลายน้ำได้ และพวกเขม่าควัน เมื่อเลือกแบบจำลองแล้วผู้ใช้ใส่ข้อมูลทัศนวิสัย (visibility)

4). เลือกเงื่อนไขของสเปกตรัม (spectral condition) โดยผู้ใช้สามารถเลือกช่วงสเปกตรัมของดาวเทียมแต่ละดวงได้ โดยเลือกเงื่อนไข 2 ถึง 21 ในกรณีที่ผู้ใช้จะกำหนดเองสามารถทำได้โดยเลือกเงื่อนไข -1, 0 หรือ 1

5). เลือกสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พื้นผิว (ground reflectance) เราพิจารณาพื้นผิวเป็นแบบ homogenous ซึ่งในโปรแกรมจะมีข้อมูลสัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวแบบต่างๆ สามารถเลือกได้ตั้งแต่ 1 ถึง 4 แต่ในกรณีที่เลือก 0 จะเป็นการใช้ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พื้นผิวดังที่ทุกความยาวคลื่นโดยผู้ใช้สามารถใส่ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนที่พื้นผิวตามต้องการได้

6). เป็นการเลือกที่จะทำการเปรียบเทียบกันระหว่างค่าที่ใช้สมการคณิตศาสตร์ วิเคราะห์จากสถานการณ์จำลอง กับค่าที่ได้จากการคำนวณจากกระบวนการ Successive Orders Method โดยมีเงื่อนไขในการเลือกดังนี้

0 ไม่มีการเปรียบเทียบ

1 มีการเปรียบเทียบ

ภาคผนวก ข.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ตารางแสดงข้อมูลต่างๆ

ตารางที่ A.1 แสดงแฟคเตอร์สำหรับแก้ผลของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์, S

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	0.967	0.971	0.982	0.999	1.016	1.029	1.034	1.030	1.018	1.002	0.985	0.973
2	0.967	0.971	0.983	0.999	1.016	1.029	1.034	1.030	1.018	1.002	0.984	0.972
3	0.967	0.972	0.983	1.000	1.017	1.029	1.034	1.030	1.018	1.001	0.984	0.972
4	0.967	0.972	0.984	1.001	1.017	1.029	1.034	1.029	1.017	1.000	0.983	0.971
5	0.967	0.972	0.984	1.001	1.018	1.030	1.034	1.029	1.016	1.000	0.983	0.971
6	0.967	0.973	0.985	1.002	1.018	1.030	1.034	1.029	1.016	0.999	0.982	0.971
7	0.967	0.973	0.985	1.002	1.019	1.030	1.034	1.028	1.015	0.999	0.982	0.970
8	0.967	0.973	0.986	1.003	1.019	1.030	1.034	1.028	1.015	0.998	0.981	0.970
9	0.967	0.974	0.986	1.003	1.019	1.031	1.034	1.028	1.014	0.997	0.981	0.970
10	0.967	0.974	0.987	1.004	1.020	1.031	1.034	1.027	1.014	0.997	0.980	0.970
11	0.967	0.974	0.987	1.005	1.020	1.031	1.034	1.027	1.014	0.996	0.980	0.969
12	0.967	0.975	0.988	1.005	1.021	1.031	1.033	1.027	1.013	0.996	0.979	0.969
13	0.967	0.975	0.988	1.006	1.021	1.032	1.033	1.026	1.012	0.995	0.979	0.969
14	0.968	0.975	0.989	1.006	1.022	1.032	1.033	1.026	1.012	0.995	0.979	0.969
15	0.968	0.976	0.989	1.007	1.022	1.032	1.033	1.026	1.011	0.994	0.978	0.969
16	0.968	0.976	0.990	1.007	1.023	1.032	1.033	1.025	1.010	0.993	0.978	0.968
17	0.968	0.977	0.990	1.008	1.023	1.032	1.033	1.025	1.010	0.993	0.977	0.968
18	0.968	0.977	0.991	1.008	1.023	1.032	1.033	1.024	1.009	0.992	0.977	0.968
19	0.968	0.977	0.991	1.009	1.024	1.033	1.033	1.024	1.009	0.992	0.976	0.968
20	0.968	0.978	0.992	1.010	1.024	1.033	1.032	1.024	1.008	0.991	0.976	0.968
21	0.968	0.978	0.993	1.010	1.025	1.033	1.032	1.023	1.008	0.991	0.976	0.968
22	0.969	0.979	0.993	1.011	1.025	1.033	1.032	1.023	1.007	0.990	0.975	0.968
23	0.969	0.979	0.994	1.011	1.025	1.033	1.032	1.022	1.007	0.990	0.975	0.967
24	0.969	0.980	0.994	1.012	1.026	1.033	1.032	1.022	1.006	0.989	0.975	0.967
25	0.969	0.980	0.995	1.012	1.026	1.033	1.032	1.022	1.006	0.989	0.974	0.967
26	0.970	0.981	0.995	1.013	1.026	1.033	1.031	1.021	1.005	0.988	0.974	0.967
27	0.970	0.981	0.996	1.013	1.027	1.033	1.031	1.021	1.004	0.987	0.974	0.967
28	0.970	0.982	0.997	1.014	1.027	1.034	1.031	1.020	1.004	0.987	0.973	0.967
29	0.970	0.982	0.997	1.014	1.028	1.034	1.031	1.020	1.003	0.986	0.973	0.967
30	0.971		0.998	1.015	1.028	1.034	1.031	1.019	1.003	0.986	0.973	0.967
31	0.971		0.998		1.028		1.030	1.019		0.985		0.967

ตารางที่ A.2 แสดงค่าปริมาณโอโซนที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
(13.82 °N ,100.04 °E) ปี ค.ศ. 2004

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	230	225	247	271	277	282	280	274	263	257	254	240
2	234	240	244	270	279	281	292	274	276	268	258	241
3	230	230	251	272	277	276	276	281	285	287	245	245
4	230	240	244	270	279	278	282	268	279	268	259	241
5	230	229	249	270	277	269	274	276	276	280	257	239
6	221	235	251	267	288	276	273	278	274	268	254	241
7	230	245	262	270	277	278	277	273	282	283	253	246
8	227	252	249	269	274	279	272	272	278	268	252	241
9	230	249	244	273	277	281	277	276	277	273	254	233
10	220	240	244	269	274	292	275	272	273	268	253	241
11	230	240	245	273	260	284	277	271	269	272	252	243
12	235	247	245	273	262	288	279	274	269	273	254	241
13	230	243	243	273	261	276	277	278	274	266	254	250
14	229	236	242	275	274	284	269	278	273	267.72	257	241
15	230	239	251	273	283	284	277	283	278	268	250	248
16	233	237	244	276	280	286	268	277	269	267	259	241
17	230	239	243	273	289	276	277	274	271	261	256	246
18	225	237	247	276	273	284	272	281	273	263	245	241
19	230	238	250	273	276	287	277	278	275	266	240	245
20	229	239	251	278	283	279	274	275	275	262	244	241
21	230	240	266	273	272	276	277	271	275	263	251	241
22	240	240	251	276	286	288	278	279	275	268	245	235
23	230	246	251	273	272	288	277	267	272	267	244	242
24	231	243	252	275	277	292	283	271	275	264	252	241
25	230	237	254	273	270	287	277	275	285	267	258	243
26	232	245	257	271	281	286	286	275	275	265	257	232
27	230	241	258	273	291	281	277	278	272	271	251	244
28	232	246	256	281	279	285	278	270	275	265	242	241
29	230	246	255	273	277	272	277	275	277	265	238	242
30	229		256	280	277	277	276	273	275	259	251	234
31	230		259		285		283	270		261		233

ตารางที่ A.3 แสดงค่าปริมาณโอโซนที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
(13.82 °N ,100.04 °E)ปี ค.ศ. 2005

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	228	237	259	251	278	273	272	-	266	266	247	225
2	235	235	259	246	271	275	268	278	-	262	241	233
3	233	250	261	266	279	277	271	272	272	269	247	235
4	234	233	266	272	260	279	274	280	270	270	244	238
5	231	250	273	266	257	274	282	283	269	266	246	228
6	231	241	261	249	266	272	281	275	-	265	243	244
7	223	250	264	266	255	274	275	274	271	269	244	-
8	228	242	264	261	271	267	277	276	271	261	244	224
9	231	250	269	266	258	274	285	271	273	263	240	219
10	237	244	259	267	262	276	268	271	270	259	240	228
11	242	250	270	266	262	274	272	275	268	264	240	221
12	245	254	264	257	266	273	265	272	273	265	239	228
13	237	250	265	266	269	274	275	272	275	260	246	220
14	246	253	268	267	265	268	276	275	280	261	232	224
15	259	250	277	266	267	274	283	279	273	261	241	235
16	250	254	276	265	266	275	275	271	258	255	233	233
17	248	250	264	266	279	265	276	272	265	251	240	225
18	246	256	265	269	268	269	268	267	265	255	253	238
19	239	250	280	266	273	276	270	268	268	254	244	226
20	240	258	262	272	270	279	273	266	270	258	264	225
21	239	254	262	266	272	264	277	268	268	250	248	233
22	244	259	264	271	267	270	273	268	258	261	239	230
23	240	254	275	266	270	269	278	277	269	264	238	216
24	236	255	267	267	269	270	285	271	266	255	235	228
25	237	256	280	276	267	268	283	271	273	252	240	217
26	238	258	272	269	265	276	277	273	267	254	244	221
27	241	254	269	266	277	276	274	277	273	241	241	219
28	243	258	255	271	274	287	268	273	268	249	231	227
29	239		260	279	277	274	260	281	266	250	228	227
30	243		259	273	277	272	269	274	269	252	227	232
31	245		251		273			264		242		229

ตารางที่ A.4 แสดงค่าปริมาณโอโซนที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี
(14.08 °N ,100.62 °E)ปี ค.ศ. 2004

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	232	232	249	266	-	282	272	270	267	261	253	239
2	230	-	246	268	283	294	285	-	279	-	253	243
3	230	229	249	269	-	285	277	268	280	271	249	245
4	228	-	247	279	280	277	279	-	280	-	257	238
5	225	234	251	271	-	271	278	273	279	276	253	243
6	223	-	255	267	270	292	276	-	275	-	255	-
7	220	241	246	267	-	288	281	272	275	273	250	245
8	224	-	253	271	279	284	276	-	275	-	252	-
9	221	242	243	269	-	280	274	276	273	271	249	231
10	218	-	242	270	267	291	270	277	269	-	258	-
11	217	238	246	267	-	280	275	282	271	267	251	240
12	220	-	246	278	257	280	282	271	277	-	255	-
13	-	242	247	274	-	284	276	271	275	267	251	250
14	228	-	253	278	274	277	274	274	275	-	253	-
15	235	253	275	-	282	-	283	274	261	248	245	
16	229	236	243	276	274	285	268	276	270	250		
17	-	239	244	277	-	281	-	272	273	257	243	242
18	225	238	246	278	266	279	271	277	272	-	243	-
19	-	240	250	281	281	283	-	274	273	266	239	245
20	231	242	249	283	286	290	270	273	273	256	243	-
21	-	244	253	-	280	281	-	270	276	263	246	235
22	233	246	253	277	288	282	279	277	266	264	247	-
23	-	246	258	-	287	281	-	270	275	265	243	240
24	226	244	251	280	278	279	279	271	272	264	251	-
25	-	239	258	-	277	282	-	271	278	260	248	242
26	232	243	257	281	287	282	278	271	262	267	260	-
27	-	242	253	-	290	285	-	270	266	270	241	244
28	232	245	252	280	280	283	278	275	270	262	239	-
29	-	249	256	-	282	277	-	271	279	263	237	243
30	232		256	282	279	279	266	269	-	261	234	238
31	-		262		280		-	265		261		236

ตารางที่ A.5 แสดงค่าปริมาณโอโซนที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี
(14.08 °N ,100.62 °E)ปี ค.ศ. 2005

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	245	239	263	252	285	268	268	-	267	-	253	-
2	247	238	260	252	274	272	272	280	279	262	253	225
3	246	235	261	248	283	270	270	-	280	-	249	225
4	246	235	260	264	264	272	272	276	280	268	257	226
5	244	233	260	255	268	284	284	-	279	-	253	221
6	240	241	264	242	272	276	276	272	275	269	255	236
7	236	236	262	260	261	277	277	-	275	-	250	218
8	235	240	262	268	270	275	275	271	275	264	252	225
9	242	236	269	-	271	281	281	-	273	262	249	216
10	248	246	259	268	265	271	271	272	269	259	258	227
11	258	-	266	-	271	287	287	-	271	257	251	222
12	252	254	266	262	267	277	277	275	277	258	255	230
13	248	-	266	-	270	265	265	-	275	262	251	221
14	259	256	270	269	272	281	281	279	286	257	253	223
15	261	-	286	-	275	274	274	-	277	258	248	217
16	254	255	276	266	272	273	273	270	260	257	250	219
17	257	-	279	-	281	273	273	-	265	256	243	221
18	260	254	269	273	271	274	274	267	264	252	243	229
19	251	-	270	-	283	273	273	266	276	252	239	224
20	252	262	263	272	284	269	269	266	267	259	243	228
21	-	-	269	-	273	270	270	267	274	250	246	218
22	256	257	266	277	271	269	269	265	259	260	247	223
23	252	-	277	-	269	280	280	275	262	259	243	218
24	247	257	267	270	270	273	273	267	267	255	251	220
25	248	-	279	-	273	282	282	272	-	256	248	215
26	248	255	279	279	272	280	280	269	270	253	260	219
27	255	255	273	-	282	269	269	278	-	241	241	219
28	254	257	260	280	281	265	265	278	273	251	239	229
29	253		265	-	280	267	267	273	-	248	237	229
30	244		266	274	288	267	267	269	269	251	234	230
31	241		257		279	269	269	265		241		231

ตารางที่A.6 แสดงค่าปริมาณโอโซนที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร
(14.08 °N ,100.62 °E)ปี ค.ศ. 2004

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	233	227	250	267	-	283	273	272	268	260	250	238
2	232	-	248	267	282	293	282	-	278	-	255	243
3	229	232	252	274	-	280	276	277	280	273	249	243
4	228	-	246	271	277	275	277	-	279	-	257	242
5	224	235	256	270	-	269	275	278	275	287	257	239
6	221	-	253	272	273	287	273	-	271	-	258	-
7	220	243	242	270	-	282	281	271	280	278	251	244
8	227	-	250	264	273	281	276	271	274	-	256	-
9	226	232	237	270	-	278	277	277	278	274	258	232
10	221	-	244	273	273	287	277	274	274	-	258	-
11	-	258	247	272	-	279	281	284	276	275	258	240
12	229	-	244	275	260	292	273	274	272	-	255	-
13	-	244	247	275	-	280	-	278	273	270	252	250
14	232	235	243	273	280	279	279	274	280	-	253	-
15	-	240	251	274	-	287	-	287	277	259	252	246
16	233	241	244	273	276	289	270	275	269	-	253	-
17	-	240	247	281	-	289	-	271	271	262	244	244
18	229	243	248	279	278	280	273	277	275	-	245	-
19	-	241	256	-	273	284	-	277	272	265	238	245
20	231	246	254	282	287	285	268	274	271	260	246	-
21	-	245	258	-	275	277	-	268	272	260	249	239
22	232	246	258	273	288	276	281	276	264	263	248	-
23	242	255	25/	-	284	285	-	268	277	265	244	244
24	231	249	252	276	280	286	286	272	275	264	248	-
25	-	239	257	-	284	288	-	273	283	261	253	244
26	233	248	253	274	275	282	288	277	264	267	255	-
27	-	243	255	-	291	286	-	273	267	270	240	241
28	234	247	253	278	280	279	279	271	-	264	245	-
29	-	248	259	-	287	277	-	275	275	259	236	242
30	234		256	284	282	276	272	273	-	254	239	235
31	-		259		280			269		262		236

ตารางที่ A.7 แสดงค่าปริมาณโอโซนที่กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร
(14.08 °N ,100.62 °E)ปี ค.ศ. 2005

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	233	237	264	251	285	273	272	-	266	-	247	225
2	237	239	264	250	275	275	268	278	-	262	241	228
3	233	235	266	250	282	277	271	272	270	-	247	227
4	241	235	264	263	266	279	274	280	270	270	244	230
5	234	237	262	252	264	279	282	283	275	-	246	218
6	232	243	261	249	270	275	281	275	271	265	243	236
7	223	240	259	259	259	271	275	274	271	-	244	225
8	228	240	264	266	272	275	277	271	271	261	240	224
9	230	-	274	-	269	-	285	271	273	263	240	219
10	239	247	263	268	264	274	268	273	270	259	240	228
11	240	-	271	-	261	-	272	275	268	255	240	221
12	250	256	267	265	272	273	265	272	272	259	239	228
13	239	-	269	-	269	-	275	272	277	256	-	220
14	251	258	274	269	267	268	276	275	280	253	232	224
15	247	-	279	273	273	276	276	279	273	254	-	227
16	249	254	279	271	270	271	275	277	267	252	233	220
17	249	-	272	-	273	265	275	272	265	251	-	225
18	249	257	270	275	269	268	267	270	265	255	234	230
19	245	-	273	-	275	-	270	269	268	254	-	226
20	244	262	266	269	267	270	273	266	270	258	240	225
21	238	-	264	-	269	269	277	269	270	250	-	226
22	244	258	268	275	271	268	282	267	266	257	239	226
23	241	-	273	-	270	265	2778	274	269	259	-	216
24	235	258	277	270	265	268	285	271	269	249	235	228
25	236	-	279	-	268	267	283	273	266	250	-	217
26	241	259	272	276	276	270	277	272	267	250	244	221
27	241	256	269	-	281	274	274	277	273	241	-	219
28	248	258	261	277	279	276	270	276	272	249	248	227
29	241		268	276	-	281	272	277	266	250	-	227
30	245		262	276	278	-	269	271	269	252	227	232
31	240		254		274		275	268		242		229

ตารางที่A.8 แสดงค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนที่กรมอุตุนิยมวิทยา
 บางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร(14.08 °N ,100.62 °E)ปี ค.ศ. 2004

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	1.473	3.079	1.501	2.689	3.490	3.083	3.743	2.317	4.474	3.966	1.418	1.450
2	1.654	2.814	1.845	2.235	3.980	3.294	3.732	0.033	3.939	3.800	2.478	1.975
3	1.896	2.771	1.101	2.989	3.945	3.664	3.552	3.867	3.950	3.909	1.949	1.435
4	1.870	3.241	1.282	2.981	3.527	3.642	3.438	1.344	3.931	3.160	1.714	1.056
5	1.598	2.937	1.955	2.782	4.491	4.153	3.624	1.516	3.750	3.784	1.726	0.977
6	1.745	2.929	2.733	3.493	4.509	3.850	3.541	4.017	4.007	3.396	2.172	0.912
7	1.561	3.720	2.936	3.909	4.118	3.621	3.204	4.061	3.930	2.799	0.962	0.994
8	1.865	3.659	1.605	2.225	4.513	4.229	3.275	2.516	3.363	2.504	1.365	1.763
9	2.230	2.582	2.681	-	2.163	4.280	3.434	4.197	4.159	2.878	1.960	2.160
10	3.060	2.066	1.744	3.171	3.518	3.879	3.737	4.042	3.461	2.966	1.909	1.911
11	3.526	1.287	2.500	3.397	4.016	4.477	4.104	2.294	3.267	3.240	2.304	1.806
12	4.127	0.877	2.325	2.314	3.823	4.255	3.637	3.521	3.769	3.837	2.244	1.756
13	3.057	0.811	2.264	1.826	3.986	3.758	1.275	-	4.147	3.149	1.592	1.128
14	2.371	0.508	1.598	1.457	3.867	4.247	3.884	3.100	3.740	2.359	-	0.934
15	2.804	1.059	3.033	1.857	-	4.253	2.903	3.631	3.993	2.407	-	1.056
16	2.373	-	-	1.310	3.504	3.627	3.162	4.246	3.861	2.852	-	1.515
17	2.640	1.047	-	1.291	3.779	4.388	3.207	3.850	3.950	2.411	-	0.119
18	2.475	0.941	1.542	2.573	3.506	3.218	3.758	3.989	3.780	1.379	-	0.486
19	1.937	2.495	2.956	2.862	2.690	4.382	3.341	4.112	3.530	2.144	-	-
20	-	1.863	1.719	2.231	4.500	3.629	3.781	4.488	3.959	1.557	-	-
21	1.512	1.591	3.404	3.405	2.358	3.226	3.966	3.794	3.814	1.297	-	-
22	3.030	1.485	3.282	3.881	3.977	2.997	3.991	4.106	3.725	2.269	-	-
23	2.527	1.161	3.025	2.594	3.049	2.687	4.009	3.783	3.603	1.893	-	-
24	1.402	1.369	2.301	2.724	2.807	3.260	3.944	3.351	2.235	1.813	-	-
25	1.185	1.219	1.670	3.633	3.421	3.487	4.035	3.236	2.956	2.815	-	-
26	1.415	-	1.087	2.899	3.610	3.025	3.874	3.512	3.435	1.592	-	-
27	1.375	1.111	1.334	3.219	3.725	3.605	4.011	3.722	2.789	1.746	-	-
28	1.759	0.707	1.905	3.065	3.314	3.425	4.286	3.455	2.446	2.117	-	0.034
29	2.238	0.897	2.823	3.659	2.863	2.696	3.519	3.877	2.120	3.068	-	0.174
30	2.960		2.025	2.744	3.735	2.649	1.800	4.407	3.756	2.213	-	1.046
31	3.042		2.297		3.967		3.781	2.293		1.668		

ตารางที่ A.9 แสดงค่าปริมาณไอน้ำในบรรยากาศจากข้อมูลตรวจอากาศชั้นบนที่กรมอุตุนิยมวิทยา
 บางนา จังหวัดกรุงเทพมหานคร(14.08 °N ,100.62 °E)ปี ค.ศ. 2005

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	-	2.212	-	-	3.031	-	3.752	-	-	3.703	2.692	-
2	-	2.033	-	-	2.361	-	3.964	-	-	3.845	3.476	-
3	-	-	-	-	2.636	3.800	3.780	-	-	4.253	3.235	-
4	-	2.317	-	-	2.132	4.110	3.824	-	-	4.000	3.533	-
5	-	1.197	-	-	3.609	4.250	4.201	-	-	3.905	4.180	-
6	-	0.947	-	-	2.670	4.040	-	-	-	3.738	3.787	-
7	-	2.046	-	-	3.288	3.965	3.703	-	-	3.925	3.787	-
8	-	1.992	-	-	4.235	4.071	4.051	-	-	3.537	3.731	-
9	-	1.767	-	-	4.137	4.410	3.950	-	-	4.322	-	-
10	-	2.120	-	-	4.000	3.969	3.593	-	4.299	4.120	-	-
11	-	3.138	-	-	4.664	3.844	3.267	-	4.189	3.488	-	-
12	-	1.967	-	-	2.265	3.389	-	-	0.000	4.275	-	-
13	-	2.316	-	2.761	4.213	3.389	-	-	4.527	3.871	-	-
14	-	3.098	-	3.215	3.922	3.787	-	-	5.412	4.476	-	-
15	-	1.781	-	3.416	4.048	4.118	-	-	-	4.403	-	-
16	-	1.210	-	1.161	4.547	4.448	3.426	-	-	3.327	-	-
17	-	1.425	-	3.245	4.230	-	3.221	-	-	3.933	-	-
18	-	1.061	-	3.447	-	3.597	3.752	-	-	3.709	-	-
19	-	1.233	-	3.370	4.276	4.044	1.060	-	-	3.733	-	-
20	-	1.336	-	1.586	4.098	4.180	3.782	-	-	-	-	-
21	-	2.115	-	2.782	4.031	4.070	4.126	-	-	3.560	-	-
22	-	1.897	-	2.854	-	3.706	4.371	-	-	3.768	-	-
23	-	1.900	-	2.694	3.717	4.253	4.246	-	-	4.043	-	-
24	-	2.833	-	1.158	3.463	3.981	4.387	-	4.069	4.385	-	-
25	-	1.543	-	3.082	3.510	4.180	4.059	-	3.927	4.355	-	-
26	-	1.817	-	3.084	2.942	4.031	4.094	-	3.758	4.041	-	-
27	-	1.390	-	3.282	3.212	3.929	4.235	-	3.903	3.780	-	-
28	-	1.768	-	3.508	3.525	3.720	4.087	-	3.995	3.831	-	-
29	-		-	2.302	3.567	4.562	4.097	-	3.673	2.067	-	-
30	-		-	2.927	-	3.807	4.401	-	4.286	2.417	-	-
31	-		-		4.064			-		2.410	-	-

ภาคผนวก ก.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
การวิเคราะห์เชิงปริมาณ
ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของสสารประกอบ

ตารางที่ B.1 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือน มกราคม 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.376	0.403	0.281	0.200	0.155
2	0.547	0.539	0.370	0.261	0.196
3	0.551	0.537	0.371	0.267	0.203
4	0.490	0.491	0.336	0.236	0.178
5	0.657	0.634	0.439	0.307	0.228
6	0.668	0.650	0.462	0.333	0.256
7	0.646	0.619	0.432	0.311	0.239
8	0.581	0.571	0.396	0.281	0.214
9	0.849	0.810	0.585	0.432	0.334
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวนวัฒนวิทยา

ตารางที่ B.2 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือน กุมภาพันธ์ 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	0.445	0.483	0.364	0.287	0.232
21	0.804	0.800	0.608	0.455	0.361
22	0.494	0.518	0.374	0.271	0.216
23	-	-	-	-	-
24	0.233	0.309	0.224	0.160	0.124
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสิทธิ์

ตารางที่ B.3 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือน มีนาคม 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	0.643	0.647	0.477	0.358	0.288
11	0.808	0.771	0.565	0.426	0.333
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	0.844	0.803	0.586	0.438	0.342
15	-	-	-	-	-
16	0.726	0.691	0.495	0.365	0.289
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	0.686	0.647	0.456	0.330	0.262
27	0.768	0.728	0.527	0.397	0.327
28	0.815	0.765	0.535	0.387	0.299
29	0.455	0.482	0.352	0.274	0.236
30	0.596	0.596	0.430	0.318	0.253
31	0.703	0.680	0.490	0.366	0.294

ตารางที่ B.4 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนเมษายน 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.960	0.901	0.648	0.475	0.373
2	-	-	-	-	-
3	0.551	0.567	0.409	0.305	0.244
4	0.852	0.821	0.592	0.433	0.333
5	0.791	0.754	0.543	0.398	0.309
6	0.466	0.485	0.344	0.250	0.206
7	0.646	0.631	0.456	0.338	0.279
8	0.373	0.420	0.305	0.226	0.195
9	0.567	0.548	0.375	0.270	0.208
10	0.448	0.500	0.398	0.348	0.330
11	0.845	0.792	0.554	0.399	0.312
12	0.681	0.639	0.434	0.308	0.242
13	0.859	0.787	0.548	0.402	0.331
14	0.615	0.590	0.411	0.295	0.237
15	0.376	0.395	0.268	0.188	0.158
16	0.537	0.507	0.330	0.222	0.167
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-

ตารางที่ B.5 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤษภาคม 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	0.088	0.207	0.177	0.162	0.158
26	0.024	0.130	0.101	0.091	0.084
27	-	-	-	-	-
28	0.183	0.232	0.171	0.146	0.124
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ B.6 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมิถุนายน 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.229	0.307	0.242	0.216	0.201
2	0.209	0.286	0.239	0.221	0.217
3	0.097	0.189	0.153	0.145	0.138
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	0.270	0.369	0.319	0.299	0.302
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	0.378	0.463	0.424	0.420	0.395
30	0.362	0.448	0.416	0.416	0.391

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวนวัฒนวิทยากร

ตารางที่ B.7 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกรกฎาคม 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสัตว์

ตารางที่ B.8 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนสิงหาคม 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	0.182	0.281	0.226	0.199	0.180
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	0.059	0.174	0.135	0.115	0.109
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	0.164	0.256	0.204	0.183	0.168
26	0.129	0.223	0.176	0.157	0.142
27	-	-	-	-	-
28	0.138	0.217	0.174	0.164	0.145
29	0.125	0.220	0.180	0.164	0.154
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวนวัฒนคดี

ตารางที่ B.9 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกันยายน 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.171	0.287	0.244	0.222	0.218
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	0.193	0.310	0.274	0.262	0.252
7	0.080	0.174	0.145	0.137	0.129
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	0.151	0.243	0.184	0.149	0.142
12	0.254	0.340	0.253	0.200	0.169
13	-	-	-	-	-
14	0.240	0.351	0.306	0.282	0.275
15	0.179	0.271	0.241	0.235	0.223
16	0.065	0.172	0.140	0.129	0.120
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	0.531	0.510	0.369	0.282	0.219
23	0.145	0.215	0.157	0.127	0.116
24	0.532	0.530	0.365	0.262	0.205
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	0.725	0.744	0.567	0.418	0.331
29	0.717	0.739	0.561	0.416	0.324
30	-	-	-	-	-

ตารางที่ B.10 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนตุลาคม 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.353	0.423	0.334	0.267	0.223
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	0.542	0.578	0.456	0.360	0.294
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	0.979	0.969	0.761	0.571	0.461
17	0.929	0.960	0.778	0.599	0.491
18	0.558	0.589	0.446	0.322	0.251
19	0.795	0.814	0.617	0.446	0.349
20	0.890	0.901	0.695	0.505	0.401
21	0.687	0.745	0.579	0.429	0.346
22	0.972	0.997	0.792	0.592	0.477
23	-	-	-	-	-
24	0.420	0.477	0.360	0.262	0.206
25	0.371	0.418	0.317	0.250	0.210
26	0.784	0.806	0.621	0.455	0.355
27	0.951	0.958	0.749	0.549	0.439
28	-	-	-	-	-
29	0.284	0.354	0.273	0.214	0.177
30	0.161	0.238	0.179	0.139	0.120
31	0.335	0.401	0.315	0.250	0.224

ตารางที่ B.11 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤศจิกายน 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.146	0.225	0.157	0.110	0.090
2	0.479	0.493	0.375	0.296	0.247
3	0.248	0.304	0.211	0.145	0.108
4	0.385	0.430	0.313	0.224	0.174
5	-	-	-	-	-
6	0.252	0.324	0.241	0.178	0.143
7	0.407	0.447	0.344	0.267	0.226
8	0.275	0.324	0.231	0.166	0.126
9	0.411	0.444	0.318	0.230	0.173
10	0.332	0.373	0.262	0.187	0.148
11	0.316	0.348	0.235	0.160	0.116
12	0.235	0.278	0.184	0.127	0.093
13	0.282	0.317	0.212	0.144	0.107
14	0.282	0.308	0.207	0.148	0.111
15	0.194	0.242	0.155	0.105	0.076
16	-	-	-	-	-
17	0.246	0.291	0.195	0.137	0.101
18	0.143	0.206	0.134	0.089	0.065
19	0.308	0.349	0.251	0.184	0.145
20	0.319	0.361	0.258	0.186	0.147
21	0.416	0.438	0.315	0.227	0.181
22	0.418	0.434	0.310	0.221	0.176
23	0.466	0.480	0.344	0.246	0.192
24	0.534	0.551	0.404	0.294	0.227
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	0.110	0.183	0.116	0.076	0.057
28	0.244	0.295	0.215	0.167	0.137
29	0.329	0.367	0.263	0.197	0.156
30	0.347	0.388	0.284	0.207	0.160

ตารางที่ B.12 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนธันวาคม 2004 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.445	0.477	0.351	0.248	0.191
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	0.705	0.646	0.447	0.305	0.233
24	1.038	0.929	0.655	0.447	0.338
25	0.873	0.823	0.581	0.397	0.304
26	0.553	0.535	0.382	0.270	0.217
27	0.471	0.458	0.309	0.209	0.159
28	0.359	0.359	0.241	0.162	0.130
29	0.325	0.346	0.249	0.183	0.163
30	0.394	0.386	0.256	0.169	0.132
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสิทธิ์

ตารางที่ B.13 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมกราคม 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	0.621	0.593	0.417	0.284	0.223
5	-	-	-	-	-
6	0.369	0.387	0.279	0.196	0.159
7	0.314	0.346	0.245	0.165	0.129
8	0.692	0.656	0.466	0.326	0.247
9	0.572	0.542	0.369	0.243	0.177
10	0.560	0.517	0.346	0.229	0.170
11	0.814	0.740	0.508	0.341	0.253
12	0.664	0.610	0.426	0.302	0.226
13	1.378	0.468	0.318	0.805	0.159
14	1.640	0.703	0.416	0.648	0.223
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	1.573	0.893	0.696	0.906	0.418
20	1.550	1.011	0.708	0.893	0.418
21	1.543	1.088	0.793	0.857	0.434
22	0.992	0.915	0.675	0.492	0.383
23	0.786	0.727	0.520	0.367	0.276
24	1.140	1.020	0.724	0.501	0.369
25	0.974	0.901	0.668	0.488	0.380
26	0.261	0.292	0.189	0.111	0.078
27	0.438	0.432	0.295	0.194	0.144
28	0.419	0.418	0.288	0.191	0.146
29	0.479	0.461	0.308	0.197	0.145
30	0.852	0.779	0.545	0.373	0.277
31	0.998	0.912	0.653	0.454	0.337

ตารางที่ B.14 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกุมภาพันธ์ 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	1.178	1.099	0.818	0.587	0.449
2	1.001	0.940	0.697	0.502	0.384
3	0.728	0.686	0.492	0.346	0.254
4	0.551	0.540	0.384	0.268	0.199
5	0.258	0.293	0.202	0.135	0.103
6	0.241	0.276	0.187	0.121	0.091
7	0.433	0.440	0.308	0.211	0.161
8	0.560	0.541	0.382	0.267	0.200
9	0.767	0.711	0.501	0.351	0.259
10	0.870	0.816	0.592	0.423	0.318
11	-	-	-	-	-
12	1.045	0.767	0.494	0.583	0.256
13	1.085	0.755	0.515	0.572	0.274
14	0.834	0.600	0.398	0.469	0.211
15	0.505	0.301	0.202	0.323	0.106
16	0.504	0.301	0.193	0.344	0.109
17	0.445	0.236	0.145	0.268	0.079
18	1.246	0.952	0.588	0.560	0.273
19	1.258	0.915	0.589	0.682	0.293
20	1.060	0.785	0.522	0.562	0.273
21	1.534	1.224	0.863	0.798	0.469
22	1.297	0.900	0.609	0.642	0.307
23	0.894	0.607	0.408	0.492	0.211
24	1.034	0.696	0.452	0.515	0.231
25	0.798	0.502	0.330	0.391	0.136
26	1.042	0.478	0.263	0.369	0.112
27	1.574	1.134	0.768	1.076	0.337
28	1.374	1.017	0.650	0.603	0.282

ตารางที่ B.15 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมีนาคม 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.684	0.413	0.270	0.420	0.141
2	0.873	0.526	0.358	0.502	0.186
3	1.021	0.705	0.492	0.592	0.262
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	0.944	0.596	0.412	0.507	0.221
7	1.231	0.874	0.600	0.600	0.314
8	1.495	1.109	0.771	0.762	0.395
9	1.742	1.368	0.975	0.910	0.503
10	1.656	1.269	0.865	0.786	0.437
11	1.179	0.823	0.558	0.653	0.281
12	1.338	0.917	0.625	0.720	0.322
13	1.355	0.954	0.640	0.730	0.326
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	1.191	0.803	0.563	0.631	0.312
18	1.403	1.032	0.716	0.859	0.395
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	0.806	0.476	0.309	0.498	0.166
22	0.838	0.420	0.252	0.489	0.118
23	1.137	0.729	0.530	0.665	0.308
24	1.094	0.618	0.438	0.591	0.248
25	-	-	-	-	-
26	0.830	0.382	0.261	0.459	0.148
27	1.348	0.515	0.366	0.668	0.225
28	0.523	0.264	0.160	0.381	0.081
29	0.707	0.377	0.260	0.421	0.151
30	1.383	0.737	0.503	0.626	0.292
31	0.875	0.596	0.422	0.586	0.251

ตารางที่ B.16 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนเมษายน 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	1.058	0.676	0.453	0.549	0.256
2	0.642	0.363	0.230	0.365	0.136
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	1.380	0.433	0.301	0.687	0.169
7	1.942	0.499	0.347	0.722	0.185
8	2.533	0.592	0.420	0.851	0.235
9	1.417	0.472	0.322	0.665	0.179
10	2.029	0.345	0.226	0.968	0.131
11	1.594	0.383	0.249	0.614	0.134
12	1.444	0.358	0.233	0.573	0.117
13	-	-	-	-	-
14	1.210	0.540	0.370	0.580	0.231
15	-	-	-	-	-
16	1.347	0.422	0.261	0.553	0.130
17	1.212	0.466	0.330	0.570	0.200
18	-	-	-	-	-
19	1.391	0.558	0.397	0.684	0.217
20	1.208	0.871	0.611	0.829	0.339
21	1.502	0.846	0.595	0.763	0.316
22	1.396	0.650	0.430	0.644	0.227
23	1.746	0.665	0.442	0.707	0.240
24	0.832	0.457	0.311	0.544	0.157
25	0.987	0.449	0.300	0.525	0.146
26	0.767	0.423	0.256	0.439	0.126
27	1.725	0.396	0.289	0.659	0.185
28	1.222	0.374	0.256	0.680	0.160
29	1.065	0.415	0.282	0.481	0.164
30	0.743	0.298	0.183	0.412	0.087

ตารางที่ B.17 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤษภาคม 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	1.096	0.335	0.219	0.484	0.128
2	0.756	0.245	0.149	0.413	0.078
3	1.483	0.381	0.243	0.620	0.140
4	1.110	0.307	0.210	0.515	0.130
5	1.907	0.310	0.210	0.976	0.145
6	1.680	0.250	0.164	0.680	0.108
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	0.588	0.113	0.086	0.388	0.069
10	0.746	0.335	0.263	0.470	0.219
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	0.625	0.232	0.181	0.368	0.142
14	1.455	0.254	0.185	0.735	0.142
15	0.811	0.220	0.147	0.450	0.097
16	0.565	0.317	0.232	0.480	0.158
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	0.552	0.171	0.110	0.358	0.088
21	-	-	-	-	-
22	0.877	0.133	0.099	0.419	0.087
23	-	-	-	-	-
24	0.369	0.054	0.030	0.314	0.019
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	0.836	0.230	0.196	0.411	0.188
29	0.428	0.079	0.045	0.318	0.031
30	0.585	0.298	0.204	0.396	0.159
31	0.334	0.097	0.059	0.354	0.043

ตารางที่ B.18 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมิถุนายน 2005 ของสถานีกรปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.246	0.243	0.214	0.347	0.206
2	-	-	-	-	-
3	0.786	0.223	0.186	0.422	0.169
4	1.558	0.297	0.242	0.591	0.201
5	-	-	-	-	-
6	0.792	0.407	0.370	0.705	0.348
7	0.698	0.296	0.260	0.522	0.250
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	0.726	0.278	0.235	0.436	0.211
12	0.653	0.229	0.218	0.439	0.197
13	0.620	0.324	0.283	0.577	0.281
14	0.804	0.360	0.320	0.489	0.326
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	0.970	0.292	0.245	0.605	0.217
19	0.780	0.259	0.232	0.511	0.215
20	-	-	-	-	-
21	1.179	0.292	0.246	0.700	0.205
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	0.567	0.237	0.211	0.560	0.220
28	0.926	0.432	0.387	0.603	0.327
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-

ตารางที่ B.19 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกรกฎาคม 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	0.366	0.287	0.195	0.345	0.136
16	0.302	0.230	0.151	0.293	0.104
17	0.357	0.272	0.184	0.298	0.137
18	0.306	0.263	0.190	0.267	0.146
19	0.239	0.213	0.173	0.279	0.169
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	0.396	0.341	0.277	0.574	0.259
29	0.067	0.078	0.052	0.180	0.041
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

ตารางที่ B.20 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนสิงหาคม 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	0.327	0.370	0.283	0.468	0.221
8	0.388	0.193	0.127	0.250	0.121
9	-	-	-	-	-
10	0.273	0.338	0.218	0.347	0.188
11	0.391	0.188	0.125	0.219	0.104
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	0.251	0.364	0.261	0.317	0.224
17	-	-	-	-	-
18	0.318	0.199	0.131	0.277	0.104
19	0.363	0.331	0.274	0.397	0.233
20	0.510	0.414	0.306	0.363	0.242
21	0.506	0.392	0.308	0.416	0.281
22	-	-	-	-	-
23	0.248	0.210	0.141	0.231	0.109
24	0.253	0.178	0.109	0.251	0.083
25	0.346	0.262	0.181	0.300	0.147
26	0.258	0.218	0.149	0.227	0.111
27	0.352	0.264	0.168	0.279	0.112
28	0.491	0.361	0.241	0.294	0.173
29	0.270	0.225	0.156	0.219	0.111
30	0.354	0.266	0.175	0.355	0.136
31	0.363	0.246	0.169	0.289	0.144

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสิทธิ์

ตารางที่ B.21 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกันยายน 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	0.316	0.215	0.147	0.326	0.121
6	0.186	0.089	0.044	0.189	0.030
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	0.195	0.153	0.112	0.300	0.092
12	0.295	0.217	0.143	0.251	0.112
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	0.136	0.077	0.055	0.168	0.069
16	0.243	0.130	0.062	0.330	0.049
17	0.209	0.118	0.067	0.185	0.057
18	0.300	0.176	0.103	0.231	0.097
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	0.379	0.256	0.157	0.327	0.118
23	0.157	0.143	0.100	0.180	0.079
24	0.217	0.145	0.075	0.192	0.055
25	0.159	0.104	0.063	0.237	0.052
26	-	-	-	-	-
27	0.345	0.184	0.131	0.243	0.111
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวนวัฒนวิทยา

ตารางที่ B.22 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนตุลาคม 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	0.365	0.286	0.166	0.203	0.109
3	0.255	0.223	0.145	0.399	0.091
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	1.145	0.437	0.215	0.265	0.109
18	0.821	0.697	0.407	0.540	0.191
19	0.840	0.699	0.521	0.574	0.330
20	0.343	0.437	0.294	0.358	0.189
21	0.371	0.360	0.217	0.368	0.126
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	0.819	0.475	0.289	0.575	0.210
28	0.602	0.377	0.240	0.514	0.161
29	0.637	0.521	0.387	0.464	0.286
30	0.386	0.285	0.167	0.282	0.094
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสิทธิ์

ตารางที่ B.23 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤศจิกายน 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	-	-	-	-	-
2	0.473	0.391	0.287	0.354	0.189
3	0.561	0.433	0.300	0.371	0.201
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	0.680	0.371	0.217	0.389	0.149
7	0.814	0.403	0.244	0.410	0.161
8	-	-	-	-	-
9	0.662	0.462	0.301	0.445	0.189
10	0.316	0.183	0.106	0.283	0.074
11	0.173	0.108	0.053	0.218	0.026
12	0.335	0.234	0.134	0.287	0.077
13	0.333	0.253	0.137	0.266	0.060
14	0.465	0.330	0.204	0.304	0.115
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	0.543	0.410	0.303	0.471	0.208
20	0.568	0.411	0.270	0.373	0.164
21	0.459	0.351	0.229	0.299	0.119
22	0.638	0.506	0.353	0.444	0.209
23	0.700	0.579	0.380	0.359	0.217
24	0.489	0.409	0.233	0.267	0.098
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	0.652	0.529	0.369	0.461	0.210
28	0.609	0.513	0.356	0.372	0.217
29	0.491	0.380	0.260	0.388	0.163
30	0.607	0.484	0.338	0.454	0.230

ตารางที่ B.24 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนธันวาคม 2005 ของสถานีนครปฐม

DATE	AOD				
	413	500	613	671	864
1	0.469	0.306	0.194	0.279	0.110
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	0.483	0.362	0.233	0.339	0.139
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	0.222	0.255	0.180	0.130	0.105
9	0.296	0.317	0.227	0.165	0.131
10	0.129	0.180	0.116	0.074	0.059
11	0.171	0.224	0.163	0.118	0.102
12	-	-	-	-	-
13	0.306	0.346	0.268	0.211	0.182
14	0.211	0.258	0.188	0.138	0.114
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	0.374	0.395	0.283	0.201	0.162
18	0.455	0.474	0.347	0.246	0.200
19	0.434	0.444	0.316	0.215	0.172
20	0.373	0.393	0.278	0.194	0.157
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	0.767	0.726	0.548	0.415	0.337
24	0.529	0.514	0.384	0.298	0.244
25	0.676	0.647	0.473	0.346	0.271
26	0.374	0.395	0.288	0.212	0.168
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	0.195	0.232	0.154	0.101	0.080
30	0.233	0.260	0.176	0.120	0.096
31	0.190	0.225	0.154	0.106	0.089

ภาคผนวก ง.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ตารางแสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง
ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของสถานี AIT

ตารางที่ C.1 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือน มกราคม 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	0.576	0.283	0.144	0.092
2	0.759	0.392	0.210	0.144
3	0.547	0.266	0.136	0.091
4	0.739	0.388	0.207	0.142
5	0.775	0.426	0.236	0.162
6	0.971	0.549	0.312	0.226
7	0.783	0.417	0.225	0.154
8	0.951	0.536	0.304	0.220
9	0.880	0.493	0.276	0.191
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	0.647	0.390	0.253	0.204
14	0.639	0.335	0.180	0.122
15	1.764	1.110	0.659	0.490
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	0.561	0.286	0.159	0.112
19	0.733	0.406	0.232	0.165
20	0.810	0.468	0.271	0.198
21	1.105	0.607	0.320	0.212
22	1.427	0.914	0.554	0.401
23	1.316	0.739	0.402	0.276
24	1.156	0.690	0.398	0.279
25	0.859	0.462	0.255	0.175
26	0.887	0.459	0.234	0.151
27	0.976	0.520	0.273	0.180
28	1.338	0.758	0.398	0.265
29	1.376	0.827	0.463	0.323
30	-	-	-	-
31	1.175	0.782	0.508	0.405

ตารางที่ C.2 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือน กุมภาพันธ์ 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	0.892	0.527	0.307	0.225
2	0.878	0.516	0.295	0.212
3	0.753	0.434	0.267	0.202
4	0.566	0.302	0.172	0.125
5	0.397	0.206	0.120	0.090
6	0.524	0.281	0.159	0.095
7	-	-	-	-
8	0.376	0.173	0.088	0.055
9	0.654	0.337	0.178	0.118
10	0.965	0.544	0.301	0.209
11	0.664	0.333	0.171	0.105
12	0.729	0.390	0.209	0.132
13	0.912	0.547	0.312	0.213
14	0.849	0.499	0.282	0.188
15	0.999	0.592	0.337	0.233
16	1.205	0.746	0.436	0.308
17	1.242	0.790	0.473	0.339
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	0.879	0.559	0.355	0.266
24	0.521	0.255	0.130	0.073
25	0.661	0.362	0.201	0.127
26	0.650	0.349	0.196	0.138
27	0.580	0.311	0.177	0.123
28	1.015	0.598	0.352	0.251
29	1.376	0.827	0.463	0.323

ตารางที่ C.3 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือน มีนาคม 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	1.010	0.574	0.320	0.226
2	0.822	0.442	0.238	0.159
3	1.472	0.857	0.463	0.312
4	1.311	0.838	0.508	0.375
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	1.540	0.963	0.572	0.422
15	-	-	-	-
16	1.156	0.680	0.384	0.271
17	0.839	0.480	0.287	0.216
18	1.220	0.730	0.431	0.324
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	0.703	0.365	0.197	0.128
23	1.100	0.642	0.374	0.270
24	0.825	0.454	0.256	0.173
25	1.107	0.622	0.340	0.229
26	0.974	0.557	0.317	0.216
27	0.917	0.527	0.311	0.230
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

ตารางที่ C.4 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนเมษายน 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	0.950	0.558	0.329	0.241
2	0.978	0.581	0.347	0.248
3	0.899	0.534	0.323	0.232
4	1.515	0.966	0.582	0.428
5	1.250	0.771	0.462	0.341
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	1.138	0.645	0.361	0.249
13	1.191	0.668	0.377	0.265
14	1.154	0.644	0.366	0.254
15	0.685	0.360	0.205	0.136
16	0.880	0.457	0.245	0.162
17	0.583	0.291	0.165	0.105
18	1.509	0.845	0.488	0.356
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	1.012	0.601	0.359	0.259
24	0.893	0.527	0.333	0.259
25	0.936	0.603	0.432	0.356
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	0.682	0.383	0.238	0.155

ตารางที่ C.5 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤษภาคม 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	1.065	0.660	0.446	0.358
2	0.559	0.317	0.206	0.140
3	-	-	-	-
4	1.007	0.617	0.409	0.323
5	-	-	-	-
6	0.381	0.196	0.125	0.091
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	0.571	0.312	0.206	0.160
11	0.364	0.221	0.187	0.154
12	0.263	0.145	0.127	0.095
13	0.479	0.306	0.260	0.216
14	0.563	0.406	0.373	0.338
15	0.467	0.276	0.209	0.160
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	0.432	0.262	0.213	0.184
19	0.423	0.233	0.188	0.164
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	0.412	0.234	0.187	0.146
24	0.436	0.269	0.235	0.201
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	0.432	0.218	0.142	0.100
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

ตารางที่ C.6 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมิถุนายน 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนอนุรักษ์สัตว์

ตารางที่ C.7 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกรกฎาคม 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ C.8 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนสิงหาคม 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	0.346	0.205	0.248	0.102
24	-	-	-	-
25	0.407	0.270	0.306	0.166
26	0.472	0.301	0.310	0.157
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนอนุรักษ์สัตว์

ตารางที่ C.9 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกันยายน 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	0.270	0.163	0.214	0.087
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	0.486	0.301	0.295	0.145
23	0.332	0.189	0.229	0.091
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	0.644	0.424	0.380	0.216
27	-	-	-	-
28	1.127	0.830	0.670	0.451
29	1.017	0.733	0.597	0.387
30	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร - สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ C.10 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนตุลาคม 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	0.779	0.582	0.546	0.375
2	-	-	-	-
3	0.783	0.583	0.512	0.318
4	0.883	0.630	0.541	0.344
5	0.849	0.652	0.629	0.456
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	0.951	0.627	0.496	0.285
9	1.065	0.737	0.591	0.376
10	0.991	0.725	0.640	0.444
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	1.345	0.962	0.726	0.478
14	1.127	0.797	0.619	0.385
15	1.425	1.100	0.853	0.580
16	-	-	-	-
17	1.162	0.873	0.716	0.478
18	0.994	0.709	0.586	0.368
19	1.277	0.932	0.732	0.481
20	1.014	0.722	0.583	0.360
21	1.045	0.775	0.643	0.417
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	0.285	0.139	0.196	0.053
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

ตารางที่ C.11 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤศจิกายน 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร - สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ C.12 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนธันวาคม 2004 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนอนุรักษ์สัตว์

ตารางที่ C.13 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมกราคม 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	1.660	1.086	0.785	0.517
31	1.767	1.154	0.817	0.562

มหาวิทยาลัยศิลปากร - สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ C.14 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกุมภาพันธ์ 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	1.932	1.317	0.945	0.642
2	1.662	1.133	0.816	0.589
3	1.307	0.826	0.595	0.393
4	1.226	0.767	0.544	0.379
5	0.807	0.493	0.362	0.238
6	0.684	0.400	0.319	0.188
7	1.125	0.732	0.552	0.370
8	1.333	0.864	0.635	0.441
9	1.524	0.979	0.686	0.488
10	1.578	1.027	0.745	0.506
11	-	-	-	-
12	1.481	0.939	0.687	0.464
13	1.433	0.896	0.663	0.437
14	1.213	0.716	0.508	0.344
15	0.731	0.442	0.365	0.235
16	0.645	0.367	0.309	0.196
17	0.648	0.353	0.314	0.181
18	1.573	0.975	0.735	0.456
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	1.027	0.670	0.462	0.297
26	0.758	0.420	0.356	0.196
27	1.831	1.109	0.767	0.482
28	0.832	0.449	0.333	0.205

ตารางที่ C.15 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ

เดือนมีนาคม 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	1.030	0.627	0.506	0.305
2	1.326	0.830	0.637	0.420
3	1.242	0.759	0.582	0.375
4	-	-	-	-
5	1.468	0.957	0.757	0.531
6	1.012	0.607	0.521	0.313
7	1.558	0.949	0.725	0.463
8	1.781	1.117	0.838	0.546
9	1.785	1.122	0.800	0.548
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	1.513	0.983	0.767	0.494
13	1.516	0.963	0.749	0.477
14	-	-	-	-
15	0.798	0.485	0.427	0.284
16	1.633	1.129	0.936	0.669
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	1.873	1.286	1.037	0.698
20	1.600	1.050	0.838	0.555
21	1.109	0.656	0.538	0.343
22	0.803	0.465	0.439	0.259
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	1.183	0.781	0.660	0.455
26	-	-	-	-
27	0.712	0.421	0.411	0.251
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

ตารางที่ C.16 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนเมษายน 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนอนุรักษ์สัตว์

ตารางที่ C.17 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤษภาคม 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	0.435	0.263	0.432	0.240
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	0.748	0.473	0.533	0.338
20	-	-	-	-
21	0.565	0.341	0.497	0.274
22	0.430	0.237	0.369	0.199
23	0.484	0.285	0.348	0.231
24	0.549	0.312	0.414	0.242
25	0.518	0.319	0.474	0.282
26	0.719	0.428	0.424	0.280
27	0.447	0.296	0.497	0.303
28	0.473	0.331	0.527	0.349
29	0.340	0.188	0.361	0.190
30	-	-	-	-
31	0.545	0.358	0.469	0.317

ตารางที่ C.18 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมิถุนายน 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	0.509	0.314	0.470	0.273
2	0.457	0.276	0.387	0.246
3	0.482	0.293	0.408	0.267
4	0.385	0.222	0.313	0.203
5	0.426	0.264	0.452	0.263
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	0.464	0.310	0.483	0.323
13	-	-	-	-
14	0.586	0.406	0.485	0.379
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	0.689	0.470	0.612	0.424
19	0.499	0.321	0.470	0.304
20	-	-	-	-
21	0.556	0.347	0.453	0.306
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	0.542	0.348	0.472	0.321
25	-	-	-	-
26	0.386	0.239	0.414	0.260
27	0.666	0.447	0.581	0.405
28	0.733	0.462	0.532	0.354
29	0.400	0.257	0.484	0.287
30	0.309	0.168	0.296	0.181

ตารางที่ C.19 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกรกฎาคม 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	0.411	0.254	0.446	0.269
4	0.394	0.233	0.438	0.247
5	0.749	0.521	0.565	0.452
6	0.391	0.224	0.412	0.231
7	0.389	0.230	0.367	0.231
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	0.458	0.257	0.370	0.217
15	0.653	0.412	0.509	0.338
16	0.654	0.373	0.441	0.267
17	0.588	0.342	0.498	0.288
18	0.607	0.364	0.502	0.299
19	0.478	0.315	0.478	0.328
20	0.458	0.265	0.373	0.228
21	-	-	-	-
22	0.353	0.210	0.380	0.240
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	0.516	0.334	0.505	0.340
28	0.166	0.094	0.312	0.159
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

ตารางที่ C.20 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนสิงหาคม 2005 ของสถานี AIT

DATE				
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	0.342	0.197	0.441	0.246
4	0.439	0.291	0.524	0.330
5	0.424	0.284	0.357	0.283
6	0.050	0.063	0.142	0.094
7	0.470	0.304	0.355	0.273
8	0.430	0.220	0.239	0.167
9	0.691	0.454	0.443	0.336
10	0.564	0.342	0.374	0.277
11	0.460	0.277	0.369	0.253
12	0.598	0.454	0.632	0.472
13	0.396	0.253	0.441	0.286
14	0.580	0.393	0.430	0.362
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	0.703	0.426	0.456	0.330
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	0.463	0.251	0.417	0.237
24	0.409	0.194	0.322	0.171
25	0.573	0.332	0.450	0.286
26	0.544	0.300	0.433	0.259
27	0.795	0.458	0.433	0.299
28	0.699	0.403	0.544	0.334
29	-	-	-	-
30	0.509	0.296	0.394	0.257
31	-	-	-	-

ตารางที่ C.21 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกันยายน 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	-	-	-	-
2	0.596	0.319	0.446	0.246
3	0.528	0.298	0.433	0.272
4	-	-	-	-
5	0.533	0.269	0.460	0.230
6	0.506	0.263	0.393	0.220
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	0.307	0.154	0.368	0.189
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	0.673	0.458	0.587	0.427
16	0.378	0.190	0.366	0.205
17	0.284	0.119	0.305	0.138
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	0.284	0.119	0.305	0.138
23	0.123	0.065	0.230	0.116
24	0.461	0.246	0.407	0.227
25	0.395	0.181	0.318	0.165
26	0.455	0.271	0.482	0.298
27	0.498	0.293	0.494	0.304
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-
30	0.926	0.606	0.703	0.452

ตารางที่ C.22 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนตุลาคม 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	0.399	0.198	0.403	0.211
2	0.489	0.232	0.344	0.180
3	0.481	0.234	0.414	0.208
4	1.065	0.711	0.750	0.548
5	0.797	0.513	0.616	0.413
6	0.781	0.508	0.530	0.341
7	1.096	0.762	0.759	0.490
8	0.772	0.491	0.594	0.360
9	0.579	0.388	0.441	0.288
10	0.921	0.607	0.613	0.405
11	0.948	0.628	0.674	0.432
12	0.621	0.379	0.510	0.285
13	0.460	0.245	0.388	0.199
14	0.291	0.137	0.385	0.194
15	0.433	0.227	0.342	0.180
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	0.780	0.498	0.511	0.325
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	0.517	0.305	0.410	0.264
30	0.448	0.218	0.342	0.180
31	0.669	0.416	0.490	0.318

ตารางที่ C.23 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤศจิกายน 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	0.673	0.384	0.431	0.273
2	0.672	0.448	0.535	0.373
3	0.843	0.539	0.570	0.394
4	0.575	0.328	0.427	0.260
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	0.237	0.061	0.259	0.088
8	0.634	0.363	0.457	0.292
9	0.796	0.467	0.428	0.263
10	0.353	0.145	0.245	0.113
11	0.707	0.360	0.365	0.210
12	0.878	0.518	0.523	0.307
13	0.661	0.356	0.384	0.214
14	0.736	0.389	0.455	0.240
15	1.133	0.622	0.523	0.332
16	0.461	0.236	0.299	0.166
17	0.455	0.224	0.378	0.193
18	-	-	-	-
19	0.443	0.222	0.366	0.192
20	0.499	0.249	0.338	0.171
21	0.618	0.341	0.383	0.212
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	0.667	0.410	0.423	0.269
28	0.605	0.377	0.448	0.269
29	0.453	0.230	0.321	0.170
30	0.404	0.208	0.318	0.161

ตารางที่ C.24 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนธันวาคม 2005 ของสถานี AIT

DATE	AOD			
	368	500	675	778
1	0.412	0.204	0.325	0.162
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	0.569	0.306	0.373	0.218
5	-	-	-	-
6	0.575	0.330	0.376	0.234
7	0.402	0.173	0.286	0.131
8	0.416	0.178	0.272	0.125
9	0.436	0.194	0.284	0.135
10	0.359	0.139	0.262	0.114
11	0.377	0.165	0.275	0.130
12	0.312	0.113	0.297	0.120
13	0.477	0.243	0.323	0.177
14	0.403	0.182	0.286	0.140
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	0.700	0.395	0.415	0.239
19	0.719	0.398	0.428	0.245
20	0.585	0.299	0.364	0.198
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	0.638	0.345	0.410	0.222
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	0.687	0.373	0.384	0.228
29	-	-	-	-
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-

ภาคผนวก จ.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ตารางแสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละออง
ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ของสถานีกรุงเทพฯ

ตารางที่ D.1 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือน มกราคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	0.282	0.220	0.158	0.108	0.099
2	0.791	0.639	0.509	0.296	0.187
3	0.261	0.202	0.154	0.090	0.067
4	0.664	0.540	0.424	0.240	0.147
5	1.373	1.078	0.878	0.499	0.304
6	0.426	0.354	0.306	0.206	0.148
7	0.682	0.522	0.409	0.227	0.147
8	0.362	0.263	0.179	0.090	0.062
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	0.652	0.489	0.411	0.254	0.179
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	1.828	1.483	1.253	0.785	0.515
24	1.951	1.590	1.325	0.813	0.547
25	-	-	-	-	-
26	1.215	0.995	0.797	0.486	0.323
27	1.183	0.956	0.776	0.476	0.332
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสิทธิ์

ตารางที่ D.2 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือน กุมภาพันธ์ 2004 ของสถานี กรุงเทพฯ

DATE					
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	0.621	0.462	0.400	0.257	0.181
5	1.013	0.795	0.666	0.429	0.326
6	-	-	-	-	-
7	1.026	0.823	0.664	0.409	0.273
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	2.420	2.049	1.708	1.048	0.617
11	1.992	1.683	1.405	0.860	0.496
12	0.815	0.645	0.571	0.445	0.406
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	0.109	0.048	0.034	0.007	0.022
18	0.908	0.795	0.679	0.465	0.360
19	0.456	0.329	0.234	0.093	0.051
20	-	-	-	-	-
21	0.223	0.165	0.114	0.064	0.050
22	-	-	-	-	-
23	0.741	0.640	0.568	0.398	0.301
24	1.951	1.590	1.325	0.813	0.547
25	-	-	-	-	-
26	1.215	0.995	0.797	0.486	0.323
27	1.183	0.956	0.776	0.476	0.332
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-

ตารางที่ D.3 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือน มีนาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	1.244	1.051	0.864	0.544	0.365
2	-	-	-	-	-
3	0.724	0.575	0.460	0.288	0.212
4	-	-	-	-	-
5	1.186	0.986	0.768	0.380	0.190
6	0.792	0.634	0.521	0.299	0.195
7	1.276	1.067	0.929	0.643	0.491
8	-	-	-	-	-
9	1.371	1.131	0.979	0.638	0.473
10	0.607	0.430	0.340	0.169	0.104
11	1.056	0.891	0.768	0.500	0.349
12	0.646	0.462	0.361	0.176	0.101
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	0.426	0.300	0.184	0.092	0.047
18	0.953	0.743	0.589	0.319	0.199
19	0.932	0.755	0.627	0.381	0.247
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

ตารางที่ D.4 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนเมษายน 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	0.995	0.779	0.741	0.530	0.412
13	-	-	-	-	-
14	1.517	1.195	0.943	0.543	0.371
15	1.484	1.114	0.917	0.535	0.356
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	1.162	0.874	0.692	0.400	0.275
19	2.107	1.695	1.341	0.785	0.505
20	1.943	1.545	1.276	0.763	0.488
21	-	-	-	-	-
22	0.479	0.419	0.336	0.187	0.127
23	2.038	1.537	1.287	0.722	0.353
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	1.010	0.807	0.682	0.442	0.338

ตารางที่ D.5 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤษภาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	0.544	0.375	0.333	0.234	0.232
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ D.6 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมิถุนายน 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	0.735	0.540	0.452	0.271	0.191
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	1.569	1.247	0.947	0.454	0.188
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	0.542	0.311	0.255	0.109	0.064

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ D.7 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกรกฎาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	0.535	0.389	0.371	0.264	0.217
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	1.381	0.995	0.831	0.430	0.211
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ D.8 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนสิงหาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	0.483	0.426	0.372	0.278	0.250
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ D.9 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกันยายน 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ D.10 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนตุลาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	0.861	0.744	0.624	0.423	0.319
14	-	-	-	-	-
15	0.770	0.720	0.647	0.489	0.365
16	0.839	0.763	0.671	0.467	0.314
17	0.588	0.558	0.481	0.385	0.332
18	0.310	0.278	0.241	0.160	0.114
19	-	-	-	-	-
20	1.002	0.881	0.779	0.542	0.387
21	1.648	1.498	1.314	0.913	0.604
22	-	-	-	-	-
23	0.496	0.460	0.401	0.304	0.254
24	0.298	0.282	0.246	0.161	0.110
25	0.400	0.356	0.337	0.276	0.268
26	1.070	0.988	0.871	0.605	0.403
27	0.575	0.517	0.458	0.314	0.230
28	-	-	-	-	-
29	0.295	0.270	0.241	0.182	0.164
30	-	-	-	-	-
31	0.421	0.338	0.291	0.190	0.141

ตารางที่ D.11 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤศจิกายน 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	0.159	0.135	0.100	0.048	0.066
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	0.411	0.351	0.285	0.180	0.126
9	0.264	0.205	0.142	0.063	0.051
10	0.319	0.256	0.176	0.072	0.044
11	-	-	-	-	-
12	0.291	0.203	0.132	0.044	0.026
13	-	-	-	-	-
14	0.597	0.507	0.417	0.277	0.180
15	-	-	-	-	-
16	0.498	0.435	0.373	0.237	0.160
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	0.295	0.270	0.241	0.182	0.164
30	-	-	-	-	-

ตารางที่ D.12 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนธันวาคม 2004 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	0.289	0.214	0.158	0.073	0.052
2	-	-	-	-	-
3	1.251	1.115	0.974	0.690	0.510
4	0.978	0.835	0.679	0.405	0.229
5	1.377	1.221	1.076	0.742	0.508
6	-	-	-	-	-
7	1.042	0.827	0.623	0.332	0.150
8	-	-	-	-	-
9	0.659	0.547	0.454	0.263	0.160
10	0.218	0.168	0.160	0.107	0.084
11	0.251	0.194	0.153	0.098	0.081
12	-	-	-	-	-
13	0.559	0.443	0.364	0.228	0.162
14	0.948	0.730	0.614	0.393	0.255
15	0.846	0.788	0.681	0.471	0.348
16	0.869	0.684	0.516	0.272	0.147
17	0.342	0.273	0.215	0.118	0.070
18	0.436	0.362	0.270	0.157	0.105
19	0.842	0.678	0.528	0.279	0.138
20	-	-	-	-	-
21	2.253	1.850	1.507	0.902	0.559
22	-	-	-	-	-
23	2.071	1.847	1.554	0.986	0.591
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	1.708	1.435	1.195	0.799	0.578
27	0.739	0.616	0.539	0.393	0.332
28	0.469	0.398	0.340	0.268	0.246
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

ตารางที่ D.13 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมกราคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	0.804	0.667	0.546	0.338	0.217
5	-	-	-	-	-
6	1.235	0.992	0.802	0.495	0.330
7	-	-	-	-	-
8	0.658	0.574	0.487	0.356	0.299
9	0.150	0.121	0.078	0.040	0.036
10	1.004	0.801	0.642	0.398	0.265
11	1.364	1.230	1.166	1.015	0.982
12	0.637	0.500	0.409	0.234	0.125
13	-	-	-	-	-
14	0.937	0.809	0.764	0.755	0.791
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	0.866	0.768	0.650	0.496	0.538
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

ตารางที่ D.14 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกุมภาพันธ์ 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	0.195	0.171	0.124	0.088	0.101
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	0.342	0.252	0.218	0.144	0.113
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	0.599	0.450	0.235	0.074	0.048
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	0.779	0.628	0.520	0.324	0.248
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	1.028	0.809	0.648	0.367	0.226
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-

ตารางที่ D.15 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมีนาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	0.790	0.671	0.576	0.385	0.240
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ D.16 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนเมษายน 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	1.075	0.924	0.757	0.497	0.310
2	1.071	0.929	0.921	0.680	0.752
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	1.390	1.181	1.024	0.717	0.549
9	-	-	-	-	-
10	0.294	0.244	0.215	0.160	0.165
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	0.908	0.779	0.562	0.447	0.374
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	0.442	0.370	0.308	0.178	0.115
23	0.342	0.254	0.180	0.077	0.029
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ D.17 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤษภาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

Date	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	0.450	0.377	0.310	0.210	0.167
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวนวัฒนคดีทรี

ตารางที่ D.18 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนมิถุนายน 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	0.642	0.542	0.391	0.171	0.042
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	0.571	0.463	0.424	0.354	0.370
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	0.567	0.439	0.383	0.302	0.306
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-

ตารางที่ D.19 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกรกฎาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	0.772	0.594	0.439	0.230	0.157
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	0.326	0.279	0.257	0.225	0.243
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์

ตารางที่ D.20 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนสิงหาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	0.391	0.340	0.267	0.179	0.178
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	0.951	0.851	0.699	0.421	0.520
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสิทธิ์

ตารางที่ D.21 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนกันยายน 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-

มหาวิทยาลัยศิลปากร ส่วนวิจัยสิทธิ์

ตารางที่ D.22 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนตุลาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	1.323	1.098	0.842	0.480	0.308
2	-	-	-	-	-
3	0.905	0.712	0.533	0.243	0.106
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-
10	0.444	0.359	0.298	0.188	0.122
11	1.474	1.270	0.949	0.501	0.226
12	1.226	1.060	0.950	0.618	0.364
13	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-
15	0.279	0.240	0.230	0.128	0.073
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	0.602	0.637	0.607	0.431	0.230
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	0.181	0.166	0.143	0.078	0.035
31					

ตารางที่ D.23 แสดงค่าความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนพฤศจิกายน 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	0.458	0.378	0.308	0.203	0.159
7	-	-	-	-	-
8	1.638	1.352	1.041	0.469	0.313
9	0.823	0.749	0.604	0.362	0.220
10	0.842	0.856	0.865	0.885	0.920
11	0.266	0.244	0.185	0.109	0.069
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	0.725	0.686	0.670	0.611	0.617
15	0.819	0.811	0.769	0.592	0.464
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	0.653	0.578	0.493	0.302	0.163
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	0.504	0.461	0.405	0.294	0.233
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	0.181	0.166	0.143	0.078	0.035

ตารางที่ D.24 แสดงค่าความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ความยาวคลื่นต่างๆ
เดือนธันวาคม 2005 ของสถานีกรุงเทพฯ

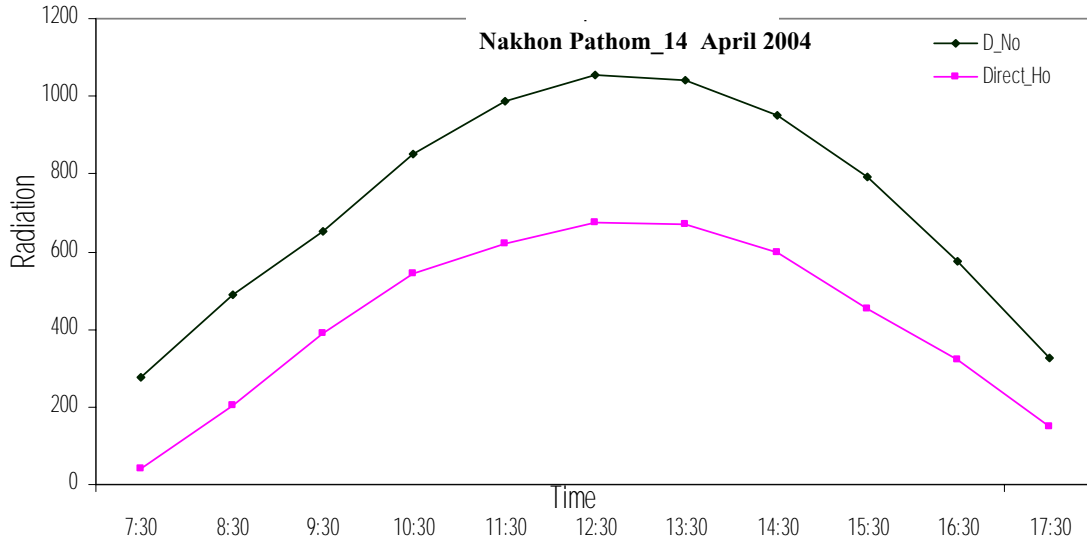
DATE	AOD				
	380	440	500	670	870
1	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-
9	0.186	0.162	0.149	0.126	0.144
10	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-
14	1.123	0.934	0.774	0.503	0.367
15	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	-
28	-	-	-	-	-
29	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-

ภาคผนวก ฉ.

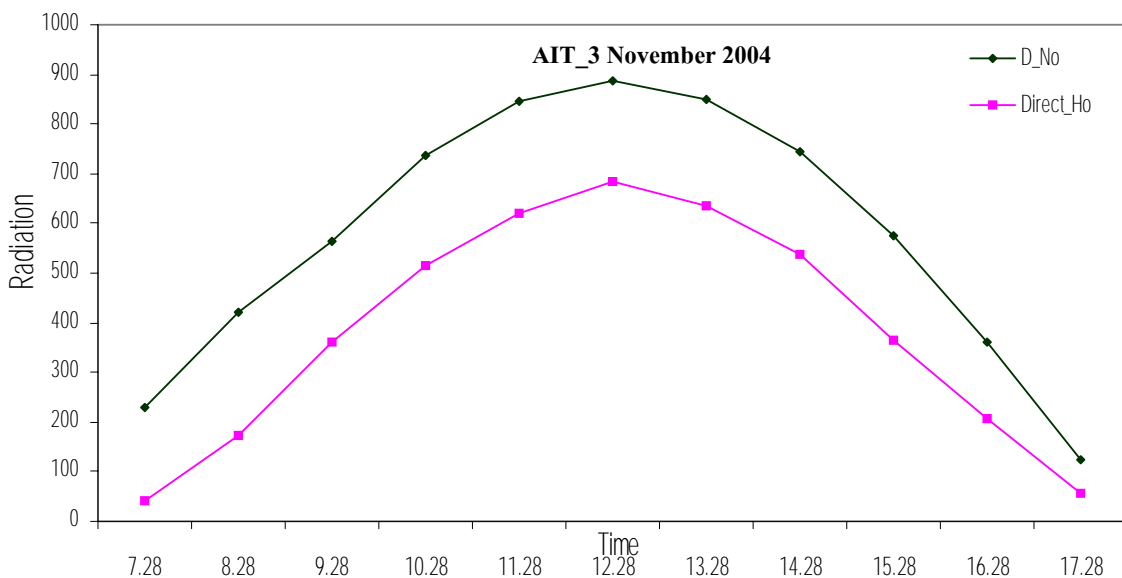
อัตราส่วนการลดลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในรอบปี
ของสถานีนครปฐมและสถานี AIT

1. อัตราส่วนการลดลงของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์

หลังจากทำการทดสอบความละเอียดถูกต้องของแบบจำลองแล้ว ผู้วิจัยได้นำค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดจริงเป็นกรณีที่บรรยากาศมีฝุ่นละออง มาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณในกรณีที่บรรยากาศไม่มีฝุ่นละอองในรอบวัน ผลที่ได้ของสถานีนครปฐมและสถานี AIT แสดงดังรูปที่ E.1 - รูปที่ E.2



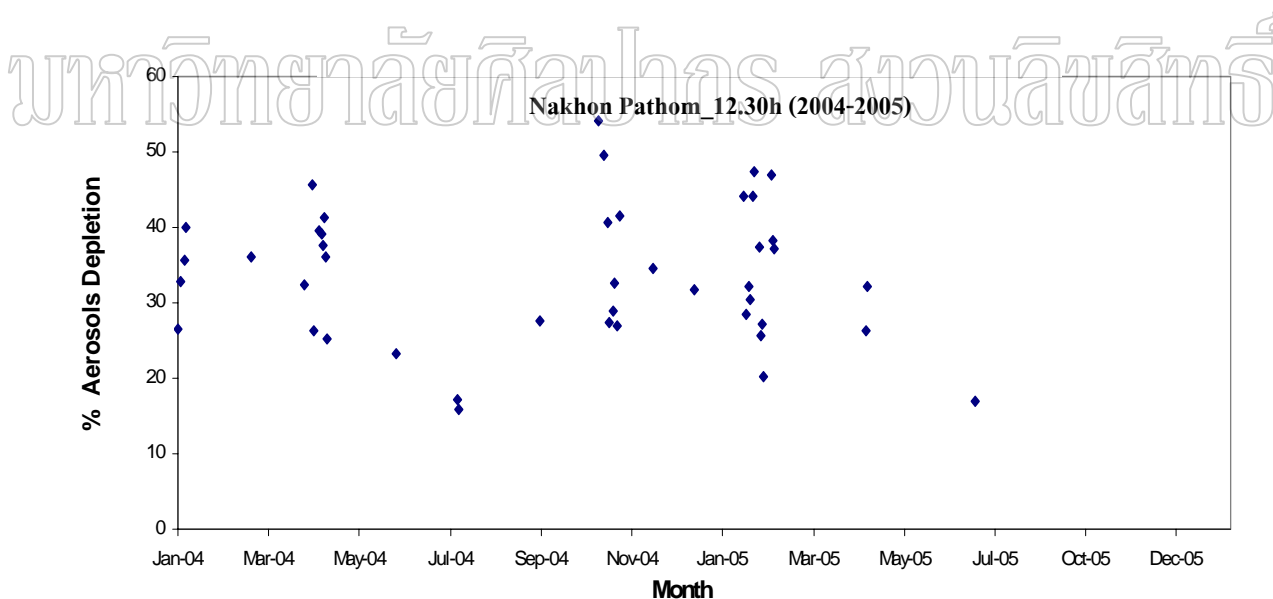
รูปที่ E.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการการวัดซึ่งเป็นกรณีที่บรรยากาศมีฝุ่นละอองและจากการคำนวณในกรณีที่บรรยากาศไม่มีฝุ่นละอองของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ในวันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004



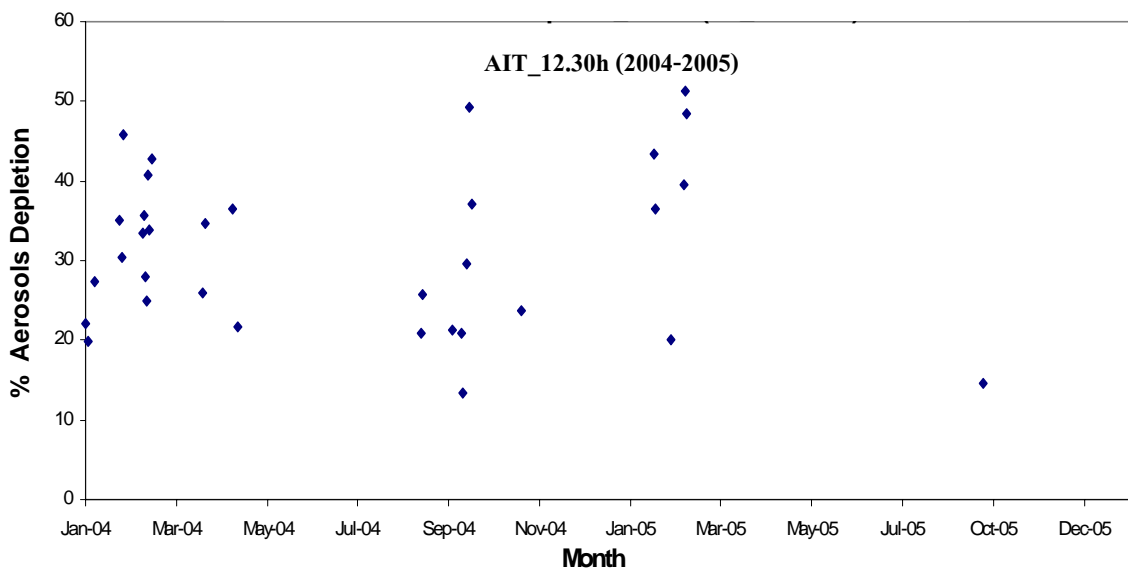
รูปที่ E.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการการวัดซึ่งเป็นกรณีที่บรรยากาศมีฝุ่นละอองและจากการคำนวณในกรณีที่บรรยากาศไม่มีฝุ่นละอองของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ในวันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004

จากกราฟรูปที่ E.1 - รูปที่ E.2 พบว่าค่าความเข้มข้นรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการวัดจริงมีค่าความเข้มข้นน้อยกว่าความเข้มข้นรังสีตรงของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณ ในกรณีที่บรรยากาศไม่มีฝุ่นละออง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าฝุ่นละอองมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์จริง ทำให้ความเข้มข้นรังสีตรงของดวงอาทิตย์ลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อคำนวณโดยใช้สมการที่ 3.26 กับ ทั้ง 2 สถานีโดยพิจารณาที่เวลา 12.30น. ของวันที่ 14 เมษายน ค.ศ.2004 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม พบว่าค่าความเข้มข้นรังสีตรงของดวงอาทิตย์ลดลงถึง 36.01% สำหรับสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ที่เวลา 12.30น. ของวันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004 พบว่าค่าความเข้มข้นรังสีตรงของดวงอาทิตย์ ลดลงถึง 23.80% ซึ่งถือว่าความเข้มข้นรังสีตรงของดวงอาทิตย์ลดลงมากพอสมควร

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนการลดลงของรังสีตรงของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในรอบ 2 ปีของทั้ง 2 สถานีในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 พบว่าที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ความเข้มข้นรังสีตรงของดวงอาทิตย์ลดลงประมาณ 15–55% ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ความเข้มข้นรังสีตรงของดวงอาทิตย์ลดลงประมาณ 20–50% โดยอัตราส่วนการลดลงของรังสีตรงของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในรอบ 2 ปีของสถานีนครปฐมและสถานี AIT แสดงในรูปที่ E.3 – รูปที่ E.4



รูปที่ E.3 แสดงอัตราส่วนการลดลงของรังสีตรงของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

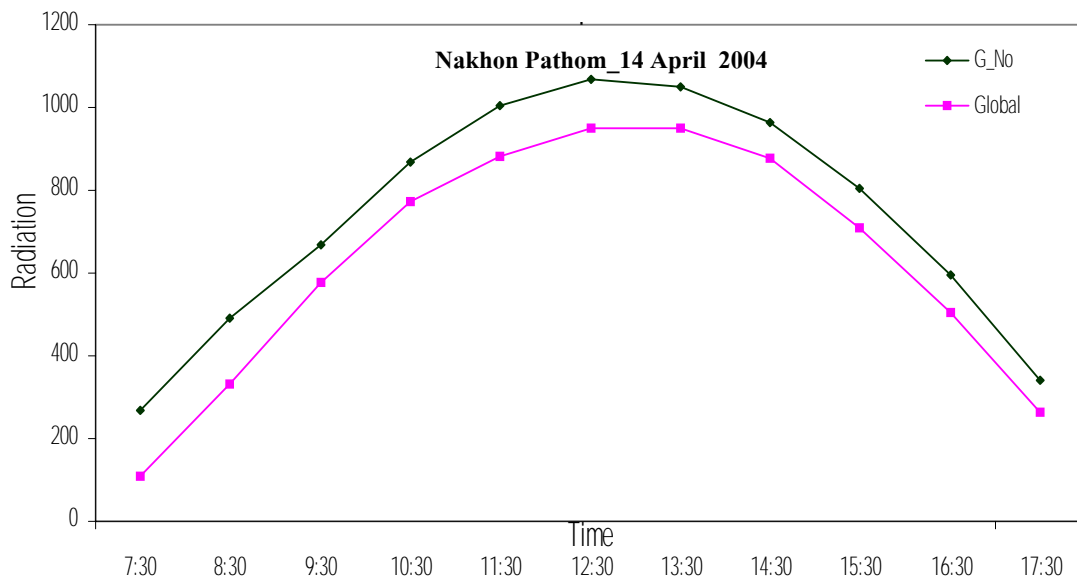


รูปที่ E.4 แสดงอัตราส่วนการลดลงของรังสีตรงของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี

จากรูปที่ E.3– รูปที่ E.4 จะเห็นว่าโดยผลที่ได้จะคล้ายๆ กันทั้ง 2 สถานี กล่าวคือในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน -เดือนพฤษภาคม) อัตราส่วนการลดลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองค่อนข้างสูงโดยมีค่าลดลงประมาณ 25 - 50% ส่วนในช่วงฤดูฝนคือเดือนมิถุนายน-เดือนสิงหาคม อัตราส่วนการลดลงของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองโดยมีค่าลดลงประมาณ 10-25% ซึ่งมีค่าการลดลงน้อยกว่าในช่วงฤดูแล้ง

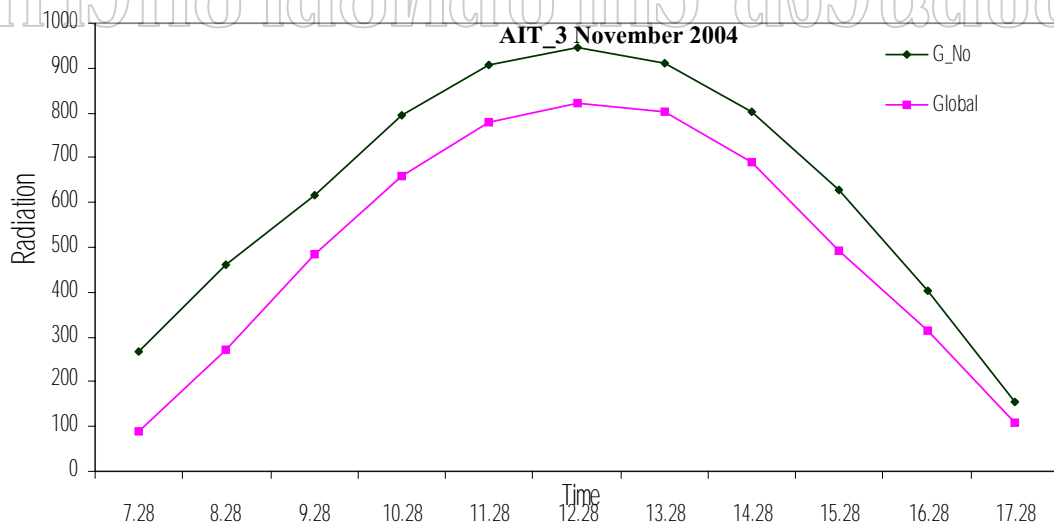
2. อัตราส่วนการลดลงของความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์

สำหรับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ก็เช่นเดียวกัน ผู้วิจัยได้ทำการเทียบค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้ในกรณีที่บรรยากาศไม่มีฝุ่นละออง กับความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่วัดได้จริงของทั้ง 3 สถานีผลที่ได้ของสถานีนครปฐมและสถานี AIT แสดงในกราฟรูปที่ E.5 – รูปที่ E.6



รูปที่ E.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการการวัดซึ่งเป็นกรณีที่มีบรรยากาศมีฝุ่นละอองและการคำนวณในกรณีที่บรรยากาศไม่มีฝุ่นละอองของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ในวันที่ 14 เมษายน ค.ศ. 2004

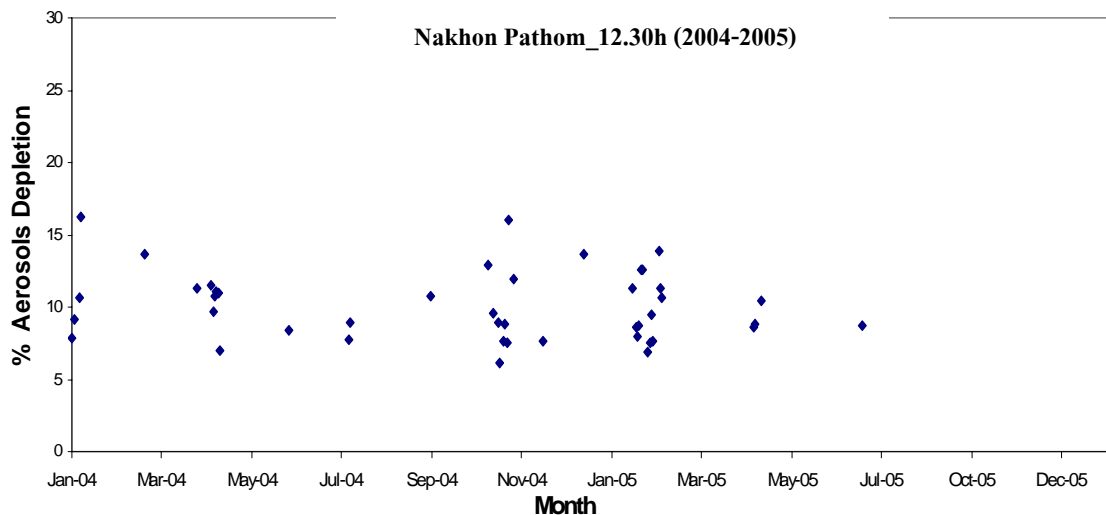
มหาวิทยาลัยศิลปากร สงวนลิขสิทธิ์



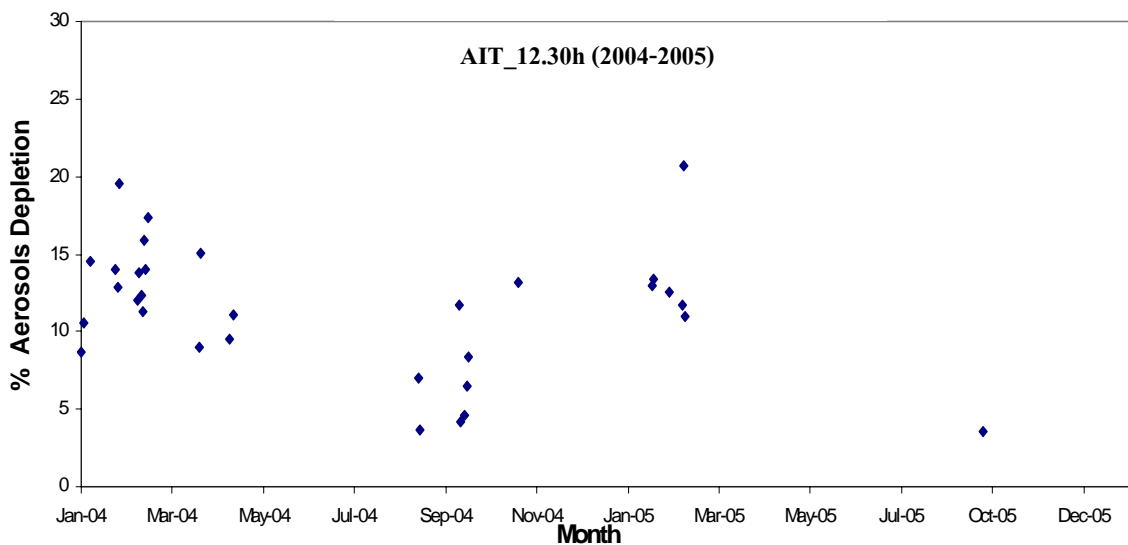
รูปที่ E.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการการวัดซึ่งเป็นกรณีที่บรรยากาศมีฝุ่นละอองและการคำนวณในกรณีที่บรรยากาศไม่มีฝุ่นละอองของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ในวันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004

จากกราฟรูปที่ E.5 - รูปที่ E.6 มีลักษณะคล้ายกับกราฟของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ กล่าวคือ ค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่วัดได้จริงมีค่าความเข้มน้อยกว่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ที่ได้จากการคำนวณกรณีที่บรรยากาศไม่มีฝุ่นละออง ซึ่งแสดงว่าฝุ่นละอองมีอิทธิพลต่อความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์เหมือนกับกรณีของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ แต่ค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ลดลงเพียงเล็กน้อย ไม่มากเหมือนกันกรณีของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ เมื่อคำนวณหาอัตราส่วนการลดลงของรังสีดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง โดยพิจารณาที่เวลา 12.30น. ในวันที่ 14 เมษายน ค.ศ.2004 ของมหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม พบว่าค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ลดลงเพียง 10.97% ที่เวลา 12.30น. ในวันที่ 3 พฤศจิกายน ค.ศ. 2004 ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ ลดลงถึง 13.22% ซึ่งค่าที่ลดลงนี้น้อยกว่าในกรณีความเข้มรังสีตรงอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนการลดลงของรังสีรวมของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในรอบ 2 ปีของทั้ง 2 สถานีในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 พบว่าที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ลดลงประมาณ 5 – 15% ที่สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี ความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์ลดลงประมาณ 10 - 20% โดยอัตราส่วนการลดลงของรังสีรวมของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในรอบ 2 ปีของสถานีนครปฐม และสถานี AIT แสดงในรูปที่ E.7– รูปที่ E.8



รูปที่ E.7 แสดงอัตราส่วนการลดลงของรังสีรวมของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 ที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ E.8 แสดงอัตราส่วนการลดลงของรังสีรวมของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองในช่วงปี ค.ศ. 2004 – 2005 ของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย จังหวัดปทุมธานี

สำหรับกราฟรูปที่ E.7 – รูปที่ E.8 เป็นกราฟที่แสดงค่าอัตราส่วนการลดลงของความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละออง โดยค่าที่ได้มีลักษณะที่สอดคล้องกันทั้ง 2 สถานีซึ่งคล้ายกับกราฟรูปที่ E.5 – รูปที่ E.6 แต่ค่าการลดลงของความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองมีค่าน้อยกว่าในกรณีของความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์ เป็นเพราะว่าค่าความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์เป็นผลรวมของความเข้มรังสีตรงและความเข้มรังสีกระจายของดวงอาทิตย์ จึงทำให้อัตราส่วนการลดลงของความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์น้อยกว่าความเข้มรังสีตรงของดวงอาทิตย์โดยในช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน – เดือนพฤษภาคม) ค่าอัตราส่วนการลดลงของความเข้มรังสีรวมของดวงอาทิตย์เนื่องจากฝุ่นละอองมีค่ามากกว่า 10% และในช่วงฤดูฝน (เดือนกรกฎาคม-เดือนตุลาคม) จะมีค่าลดลงน้อยกว่า 10%

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นางสาวสุภารัตน์ สุนทรโรภาส
ที่อยู่	9/2 หมู่ 9 ตำบลคอนกระเบื้อง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี 70110
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2541	สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาปีที่ 6 โรงเรียนนารีนุติ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี
พ.ศ. 2545	สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
พ.ศ. 2546	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2545-2546	ผู้ช่วยสอนรายวิชาปฏิบัติฟิสิกส์ทั่วไป 1 และ 2 สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม

มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม