

ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของก๊าซโอโซน ออกไซด์ของไนโตรเจน และ
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามแนวระดับความสูง และการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ
พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเขตเมือง



นางสาวธิดา อินทเสน

สถาบันวิทยบริการ
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE EFFECTS OF CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERIC PROFILE ON VERTICAL
DISTRIBUTION OF OZONE, OXIDES OF NITROGEN AND CARBONMONOXIDE
CONCENTRATIONS AND ITS EFFECTS ON POLYCYCLIC AROMATIC
HYDROCARBONS IN URBAN AREA



Miss Teeta Intasean

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของก๊าซ
โอโซน ออกไซด์ของไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตาม
แนวระดับความสูง และการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบ
พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเขตเมือง

โดย

นางสาวธิดา อินทเสน

สาขาวิชา

สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

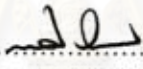
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ

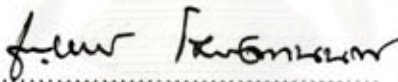
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

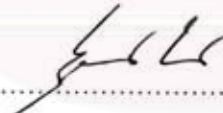
อาจารย์ ดร. ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....  คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบุญ)


คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ ไชยิตานนท์)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

.....  กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. พัชราวดี สุวรรณธาดา)

ธีตา อินทเสน : ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของก๊าซโอโซน ออกไซด์ของไนโตรเจน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามแนวระดับความสูง และการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเขตเมือง. (THE EFFECTS OF CHARACTERISTICS OF ATMOSPHERIC PROFILE ON VERTICAL DISTRIBUTION OF OZONE, OXIDES OF NITROGEN AND CARBONMONOXIDE CONCENTRATIONS AND ITS EFFECTS ON POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN URBAN AREA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ
อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ.ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์, 169 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของ O_3 , NO_x และ CO ตามแนวระดับความสูง และการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในเขตเมือง โดยศึกษาการกระจายตัวใน 3 ระดับความสูง ได้แก่ ชั้นล่าง คือ ระดับความสูงที่อยู่เหนือชั้น Roughness layer ชั้นกลาง คือ ระดับความสูงที่อยู่ในชั้น Surface layer และชั้นบน คือ ระดับความสูงที่อยู่เหนือชั้น Surface layer สำหรับการศึกษาการกระจายตัวของก๊าซในแต่ละพื้นที่ พบว่า ความเข้มข้นของ NO_2 และ O_3 มีความสอดคล้องกันในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล โดยปัจจัยสำคัญของการเกิดปฏิกิริยา คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ โดยสังเกตจากอัตราส่วน NO_2/NO_x ซึ่งสามารถบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของ NO_x ในบรรยากาศเมื่อมีปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลเกิดขึ้น ดังจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ในปฏิกิริยานี้ในแต่ละชั้นความสูงของทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา เช่น พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ การเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลถูกจำกัดด้วยความเข้มแสงอาทิตย์ ประกอบกับในบรรยากาศมี O_3 ค่อนข้างต่ำ ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลง NO ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูป NO_2 เป็นไปได้น้อย ค่าอัตราส่วน NO_2/NO_x ในชั้นล่างและกลางจึงมีค่าต่ำ สำหรับ CO เป็นดัชนีที่บ่งบอกกิจกรรมของมนุษย์ในเขตเมือง ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ NO_2 ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการปลดปล่อย NO_x และปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลที่มีแสงอาทิตย์ในช่วงเช้าเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ สำหรับการกระจายตัวของ PAHs พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ในแต่ละชั้นจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัวด้วยกัน อาทิเช่น O_3 และ NO_2 รวมไปถึงลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาบางตัว คือ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความเข้มแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ระดับความสูงผสมยังมีอิทธิพลต่อการกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศด้วย ดังจะเห็นได้จากในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ พบว่ามีระดับความสูงผสมในเวลากลางวันต่ำที่สุด จึงทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ที่อยู่ในอนุภาค PM_{10} มีความเข้มข้นมากที่สุด ใน 3 พื้นที่ศึกษา

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา 2551.....

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5087145120 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : VERTICAL DISTRIBUTION / ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER /
PHOTOCHEMICAL REACTION / POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS /

TEETA INTASEAN: THE EFFECTS OF CHARACTERISTICS OF
ATMOSPHERIC PROFILE ON VERTICAL DISTRIBUTION OF OZONE,
OXIDES OF NITROGEN AND CARBONMONOXIDE CONCENTRATIONS AND
ITS EFFECTS ON POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN URBAN
AREA. ADVISOR: ASST. PROF. SURAT BUALERT, Ph.D., CO-ADVISOR:
SIWAT PONGPIACHAN, Ph.D., 169 pp.

The objective of the study is to investigate ozone (O_3), oxides of nitrogen (representing NO_2 and NO_x), carbon monoxide (CO) concentrations and quantify the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in fine particle matter (PM_{10}) at three heights in an urban site which are Amphur Hatyai-Songkla province, Bangkok, and Amphur Muang-Chiangmai province: at the above roughness length, the surface layer and the urban boundary layer. NO_2 and O_3 are related in photochemical reaction with radiation as an important factor. The ratio of NO_2/NO_x directly represents the transformation of oxides of nitrogen when presence the photochemical reaction or ozone concentration has adulterated in the atmosphere. CO is primary gaseous pollutants which its concentration is varied from the traffic situation. Vertical distribution of PAHs varies upon the O_3 and NO_2 concentrations. Furthermore, there are also other factors that influence the concentration of the PAHs in 3-level, for example, temperature, wind speed, radiation, and mixing height. In Chiangmai province, mixing height has been found as the lowest so PAHs have the highest concentration following by Bangkok and Amphur Hatyai-Songkla province respectively.

Field of Study : Environmental Science.....

Academic Year : 2008.....

Student's Signature Teeta Intasean

Advisor's Signature S Surat

Co-Advisor's Signature Siwat Pongpiachan

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยลักษณะของชั้นบรรยากาศและผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลสารทางอากาศสำหรับประเทศไทย โดยได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่ง จากหลายๆ ฝ่าย ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ จนมีผลให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ยังได้กรุณาให้ข้อคิดต่างๆ และทักษะในการทำงาน ตลอดจนมอบรางวัลส่งมอบการดำเนินชีวิตในสังคมอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อศิษย์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร. ศิวัช พงษ์เพียจันทร์ ที่ให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมของการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำปรึกษา ตลอดจนดูแลแก้ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการวิจัยด้วยดีตลอดมา รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ชาญวิทย์ โสมจิตานนท์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมถึงรองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และ ดร.พัชรราวดี สุวรรณธาดา ที่กรุณาเสียสละเวลาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ตลอดจนช่วยตรวจรายละเอียดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้มอบทุนอุดหนุนวิจัยบางส่วน สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้ใช้เครื่องมือและห้องปฏิบัติการ อาจารย์กิตติชัย ดวงมาลย์ ที่ให้ความรู้ และความช่วยเหลือทุกอย่างในภาคสนาม น.ส.ปญญาณิช บริเวชานันท์ น.ส.สุพร มณฑาสุวรรณ นายหิรัญ แสงแก้ว นายสุทธิชาน์ นิลฤทธิ และนายสุทธิศักดิ์ พุฒิชานุศักดิ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือเกือบทุกด้านเป็นอย่างดีตลอดมา รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา รวมทั้งครอบครัวที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ให้โอกาส และสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างอย่างดียิ่งเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฏ
รายการคำย่อ.....	ด
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ขอบเขตของชั้นบรรยากาศ.....	4
2.1.1 Roughness Layer.....	4
2.1.2 Surface Layer.....	5
2.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ.....	6
2.3 สภาพการคงตัวของบรรยากาศ.....	7
2.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระดับความสูง.....	8
2.4.1 Adiabatic lapse rate.....	8
2.4.2 Super Adiabatic lapse rate.....	9
2.4.3 Sub Adiabatic lapse rate.....	10
2.4.4 Isothermal.....	10
2.4.5 Inversion.....	11
2.5 ประเภทของอุณหภูมิผกผัน.....	12

บทที่	หน้า
2.5.1 คุณหมุมิผกผันจากการแผ่รังสี.....	12
2.5.2 คุณหมุมิผกผันจากการจมน้ำ.....	12
2.6 ความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ.....	12
2.6.1 ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน.....	13
2.6.2 ความปั่นป่วนเนื่องจากเชิงกล.....	13
2.7 ระดับความสูงผสม.....	14
2.8 ผลของระดับความสูงผสมที่มีต่อความเข้มข้นของมลสาร.....	15
2.9 ปฏิกริยาโฟโตเคมีคัล.....	15
2.10 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสาร.....	18
2.11 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	19
2.11.1 ปฏิกริยาในบรรยากาศ.....	23
2.11.2 การย่อยสลายด้วยแสง.....	23
2.11.3 การกลายเป็นไอ.....	24
2.11.4 การรวมตัวกับอนุภาคในอากาศ.....	24
2.11.5 ชนิดของ PAHs ในฝุ่นละออง.....	25
2.11.6 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของ PAHs.....	26
2.11.7 ปฏิกริยารีดอกซ์ระหว่างอนุภาค PAHs และอนุภาคก๊าซ.....	28
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	28
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	31
3.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา.....	31
3.1.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	31
3.1.2 กรุงเทพมหานคร.....	32
3.1.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	33
3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการศึกษา.....	34
3.2.1 เครื่องมือวัดความเข้มข้นก๊าซ O ₃ NO _x และ CO.....	34
3.2.2 เครื่องมือเก็บฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน.....	35
3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs.....	36
3.2.4 เครื่องมือเก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา.....	37
3.2.5 วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมีในการเตรียมการสกัดสาร PAHs.....	38

บทที่	หน้า
3.3 การดำเนินการศึกษา.....	40
3.3.1 การเก็บข้อมูล.....	40
3.3.2 การหาปริมาณความเข้มข้นฝุ่น PM ₁₀	42
3.3.3 การสกัด PAHs ในฝุ่น PM ₁₀	42
3.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมี.....	47
3.3.5 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ PAHs	50
3.3.6 Standard Reference Material.....	51
3.3.7 วิธีการคำนวณความเข้มข้นของ PAHs โดยใช้ Internal Standard ...	51
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล.....	52
4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	53
4.1 ลักษณะของชั้นบรรยากาศ.....	53
4.1.1 ลักษณะอุณหภูมิมิถุนายน.....	53
4.1.2 ลักษณะอุณหภูมิมิถุนายน.....	71
4.2 ความเข้มข้นของมลสารในบรรยากาศ.....	76
4.2.1 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์.....	76
4.2.2 ก๊าซโอโซน.....	82
4.2.3 ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์.....	90
4.2.4 สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....	94
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของ O ₃ NO ₂ และ CO กับลักษณะของชั้นบรรยากาศตามระดับความสูง.....	113
4.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple correlations) ของความเข้มข้น PAHs.....	115
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	117
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	117
5.1.1 การกระจายตัวของ O ₃ NO _x และ CO ตามระดับความสูง.....	117
5.1.2 ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของ O ₃ NO _x และ CO ตามระดับความสูง.....	117
5.1.3 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุคูณของความเข้มข้น PAHs.....	119
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	119

บทที่	ญ	หน้า
รายการอ้างอิง.....		120
ภาคผนวก.....		127
ภาคผนวก ก.....		128
ภาคผนวก ข.....		138
ภาคผนวก ค.....		143
ภาคผนวก ง.....		150
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....		169



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของ PAHs..... 20
2.2	การแบ่งชนิด PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง..... 22
3.1	สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์ PAH _s 47
3.2	Retention time ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 15 ชนิด และ Internal Standard PAHs 2 ชนิด..... 49
3.3	ค่า Instrumental Detection Limit, Resolution, Number of Theoretical Plates และ Height Equivalent of Theoretical Plate..... 50
3.4	ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน..... 51
4.1	ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ระหว่างวันที่ 18-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550..... 72
4.2	ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศ บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 19 – 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551..... 73
4.3	ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 26-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551..... 74
4.4	แหล่งกำเนิดของ PAHs จากการเทียบอัตราส่วน PAHs (Binary ratio)..... 95

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	การแบ่งชั้นบรรยากาศภายในชั้นของ Troposphere.....	4
2.2	สภาพบรรยากาศและความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความสูง.....	7
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูง.....	8
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Adiabatic lapse rate.....	9
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Super adiabatic lapse rate.....	9
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Unstable condition.....	10
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Stable condition.....	10
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Inversion.....	11
2.9	การเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิและความสูงในรอบวัน.....	11
2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความสูง.....	14
2.11	องค์ประกอบของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย.....	24
3.1	พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	31
3.2	พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	32
3.3	พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	33
3.4	เครื่องมือเก็บตัวอย่างก๊าซ.....	35
3.5	อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น PM ₁₀ ชนิดไฮโดรม.....	36
3.6	Gas Chromatography-Mass spectrometer (GC/MS).....	37
3.7	เครื่องมือตรวจวัดอนุภาคมิยาพื้นผิว.....	38
3.8	แผนผังแสดงขั้นตอนการสกัด PAHs ในฝุ่น PM ₁₀	46
3.9	โครมาโตแกรมของสาร PAHs 17 ชนิด.....	48

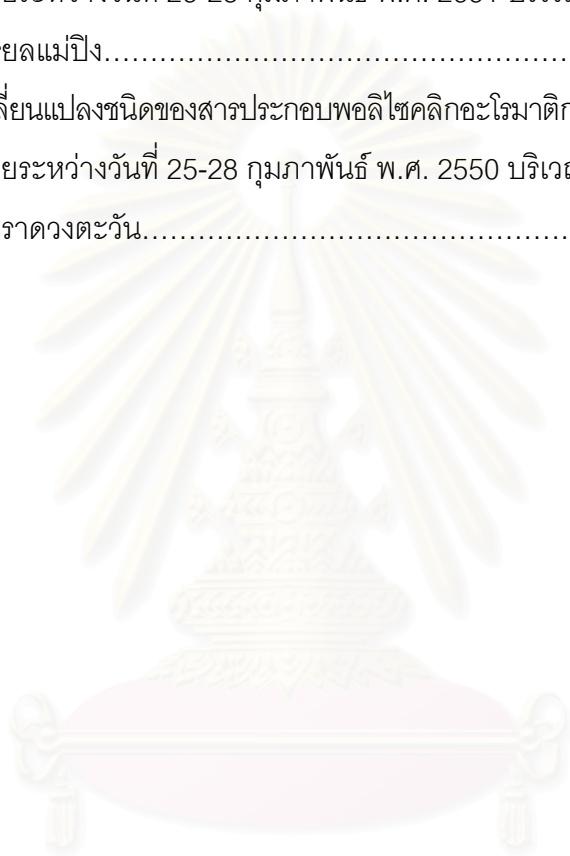
4.1	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	54
4.2	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	55
4.3	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	56
4.4	ทิศทางและความเริ่มลมระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	57
4.5	ทิศทางและความเริ่มลมระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนท์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	57
4.6	ทิศทางและความเริ่มลมระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณ ดาดฟ้าโรงแรมลี การ์เดนท์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	57
4.7	การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	58
4.8	ทิศทางและความเริ่มลมระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น 10 โรงแรมไพบยกสุท กรุงเทพมหานคร.....	59
4.9	ทิศทางและความเริ่มลมระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณ ดาดฟ้าโรงแรมไพบยกสุท กรุงเทพมหานคร.....	60
4.10	ทิศทางและความเริ่มลมระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณดาดฟ้า โรงแรมไพบยกสกาย กรุงเทพมหานคร.....	60
4.11	การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	61
4.12	ทิศทางและความเริ่มลมระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น 4 โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	62
4.13	ทิศทางและความเริ่มลมระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น ดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	62
4.14	ทิศทางและความเริ่มลมระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณชั้น ดาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	63

4.15	การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	63
4.16	การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	65
4.17	การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	66
4.18	การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	67
4.19	การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	68
4.20	การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	70
4.21	การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	71
4.22	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Potential Temperature) ตามระดับความสูงเวลา 12.00 นาฬิกา ในวันที่สองของการเก็บตัวอย่างของแต่ละพื้นที่ศึกษา.....	75
4.23	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	77
4.24	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO _x) ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	77
4.25	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	79
4.26	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) และออกไซด์ไนโตรเจน (NO _x) ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	79

4.27	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	81
4.28	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂) และออกไซด์ไนโตรเจน (NO _x) ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	82
4.29	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	83
4.30	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO NO ₂ NO _x และ O ₃ ในรอบวันเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับความสูง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	84
4.31	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร.....	85
4.32	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO NO ₂ NO _x และ O ₃ ในรอบวันเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับความสูงในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	86
4.33	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	88
4.34	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO NO ₂ NO _x และ O ₃ ในรอบวันเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับความสูงในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	88
4.35	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	91
4.36	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร.....	92
4.37	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	93

4.38	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา.....	97
4.39	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบ วันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณชั้น 8 ของโรงแรมโนโว เทล เซนทารา หาดใหญ่.....	98
4.40	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบ วันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณชั้น 14 ของโรงแรมดี การ์เดนท์ หาดใหญ่.....	99
4.41	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบ วันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมดี การ์เดนท์.....	100
4.42	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร.....	103
4.43	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบ วันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น 10 โรงแรมใบ หยกสุท.....	104
4.44	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบ วันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรม ใบหยกสุท.....	105
4.45	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบ วันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบ หยกสกาย.....	106
4.46	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่.....	109

4.47	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบ วันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น 4 โรงแรมเซนทา ราดวงตะวัน.....	110
4.48	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบ วันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรม อิมพีเรียลแมปิง.....	111
4.49	การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบ วันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรม เซนทาราดวงตะวัน.....	112



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการคำย่อ

$^{\circ}\text{C}$	หมายถึง	องศาเซลเซียส
CO	หมายถึง	ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์
$\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	หมายถึง	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
km	หมายถึง	กิโลเมตร
m	หมายถึง	เมตร
$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	หมายถึง	เมตรต่อวินาที
μl	หมายถึง	ไมโครลิตร
μm	หมายถึง	ไมโครเมตร
ml	หมายถึง	มิลลิลิตร
$\text{ml} \cdot \text{min}^{-1}$	หมายถึง	มิลลิลิตรต่อนาที
ng	หมายถึง	นาโนกรัม
$\text{ng} \cdot \text{m}^{-3}$	หมายถึง	นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
nm	หมายถึง	นาโนเมตร
NO	หมายถึง	ก๊าซไนตริกออกไซด์
NO ₂	หมายถึง	ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
NO _x	หมายถึง	ออกไซด์ของไนโตรเจน
O ₃	หมายถึง	ก๊าซโอโซน
PAHs	หมายถึง	สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
ppb	หมายถึง	ส่วนในพันล้านส่วน
ppm	หมายถึง	ส่วนในล้านส่วน
PM ₁₀	หมายถึง	อนุภาคฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
$\text{w} \cdot \text{m}^{-2}$	หมายถึง	วัตต์ต่อตารางเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ชั้นขอบเขต (Boundary layer) เป็นชั้นบรรยากาศย่อยของชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ตั้งแต่พื้นผิวจนถึงความสูงประมาณ 500 m มีระดับความสูงขึ้นอยู่กับลักษณะของสภาพอากาศท้องถิ่น (Local weather) บรรยากาศชั้นนี้เป็นบรรยากาศชั้นแรกที่ได้รับอิทธิพลต่างๆ โดยตรงจากพื้นผิวโลกอุณหภูมิของบรรยากาศชั้นนี้จะเปลี่ยนไปตามเวลาในระหว่างกลางวัน และกลางคืน อุณหภูมิในบรรยากาศชั้นขอบเขตขึ้นอยู่กับความร้อนจำเพาะของดิน และอากาศ และกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนพลังงาน เช่นการนำความร้อน การแผ่รังสี เป็นต้น และอาจกล่าวได้ว่าชั้นบรรยากาศตามระดับความสูง (Vertical distribution) ส่งผลต่อพฤติกรรมของมลพิษในอากาศ และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดิน ก่อให้เกิดการสะสมมลพิษทางอากาศที่มีความรุนแรงขึ้น ดังเช่นในปัจจุบันสภาพอากาศในเขตเมืองของประเทศไทยกำลังเผชิญกับภาวะวิกฤติของปัญหามลพิษทางอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ที่ล้วนมาจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การจราจร การเผาไหม้และการขนส่งทางอุตสาหกรรม ฯลฯ ซึ่งมีปริมาณและความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้น มลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาสู่บรรยากาศจะเป็นมลพิษปฐมภูมิ ได้แก่ ก๊าซและฝุ่นละอองชนิดต่างๆ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) เมื่อไปทำปฏิกิริยาต่อเนื่องทางเคมีในชั้นบรรยากาศจะกลายเป็นมลพิษทุติยภูมิ ได้แก่ ก๊าซโอโซน (O_3) เป็นต้น และสารมลพิษอีกชนิดที่สำคัญ คือ สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons : PAHs) ซึ่งจัดเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง และ/หรือมีผลกระทบต่ออาการทางพันธุกรรมของมนุษย์ ซึ่งอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบในบรรยากาศ เกิดเป็นสารชนิดใหม่ที่อาจมีความเป็นพิษยิ่งกว่าสารชนิดเดิม (จินตนา สายวรรณ, 2541)

การศึกษาการกระจายตัวของมลสารตามระดับความสูงในเขตเมืองนั้น ยังไม่มีการศึกษาในประเทศไทย งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการกระจายตัวของมลสารที่สำคัญ คือ ก๊าซโอโซน (O_3) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามระดับความสูง (Vertical distribution) และการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ลักษณะของชั้นบรรยากาศตามระดับความสูงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการสะสมของมลสาร

ในบรรยากาศ อาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของมลสาร และการกระจายตัวให้เกิดการผสมในบรรยากาศ เมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นความกดอากาศจะค่อยๆ ลดลง ดังนั้นที่ระดับความสูงต่างๆ จะมีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ทำให้ความกดอากาศแตกต่างกันด้วย มวลอากาศจึงมีการเคลื่อนที่ระหว่างสองบริเวณหรือที่เรียกว่าลมมันเอง ลมจึงเป็นตัวการที่ทำให้มลสารกระจายตัวในบรรยากาศได้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงผสมซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากลักษณะของชั้นบรรยากาศแบบอุณหภูมิผกผัน กล่าวคือ ถ้าชั้นอุณหภูมิผกผันอยู่ใกล้ผิวโลกมากจะทำให้ระดับความสูงผสมมีค่าต่ำลงไปด้วย ซึ่งแสดงถึงปริมาตรของบรรยากาศที่ให้มลสารเข้าไปผสมและกระจายตัวอยู่ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของลักษณะของชั้นบรรยากาศ กับการกระจายตัวของก๊าซโอโซน (O_3) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามระดับความสูง (Vertical distribution) ในเขตเมืองในรอบวัน (Diurnal variation)

1.2.2 ศึกษาความสัมพันธ์ก๊าซโอโซน (O_3) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ในแต่ละชั้นความสูง (Vertical distribution) ในเขตเมืองในรอบวัน (Diurnal variation)

1.2.3 ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยขนาดไม่เกิน $10 \mu m$ (PM_{10}) กับก๊าซโอโซน (O_3) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษา

1.3.1.1 พื้นที่ 3 ระดับความสูงในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ได้แก่ ที่ระดับความสูงประมาณ 30 m 60 m และ 125 m (วันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550)

1.3.1.2 พื้นที่ 3 ระดับความสูงในกรุงเทพมหานคร ได้แก่ ที่ระดับความสูงประมาณ 38 m 158 m และ 328 m (วันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551)

1.3.1.3 พื้นที่ 3 ระดับความสูงในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ ที่ระดับความสูงประมาณ 12 m 52 m และ 152 m (วันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551)

โดยแต่ละระดับความสูงที่เลือกศึกษา พิจารณาจาก

- ชั้นล่าง คือระดับความสูงที่อยู่เหนือชั้น Roughness layer (Above roughness layer) ซึ่งชั้น Roughness layer เป็นชั้นที่รับผลกระทบโดยตรงจากความขรุขระพื้นผิว มีความสูงจากพื้นดินจนถึงระดับประมาณ 10 m ลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศในระดับชั้นนี้ ได้รับอิทธิพลมาจากสิ่งกีดขวางที่อยู่บนพื้นดิน เช่น อาคาร บ้านเรือน ต้นไม้ เป็นต้น สิ่งกีดขวางที่มีอยู่ระดับชั้นนี้มีอิทธิพลค่อนข้างสูงต่อการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบ (Advection)

- ชั้นกลาง เป็นระดับความสูงที่อยู่ในชั้น Surface layer ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสูงจากพื้นดินจนถึงระดับประมาณ 100 m โดยบรรยากาศในชั้นนี้จะได้รับอิทธิพลจากสิ่งกีดขวาง (เช่นเดียวกับ Roughness layer) นอกจากนั้นยังได้รับอิทธิพลจากเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งเนื่องจากอิทธิพลที่ได้รับมาจากความร้อนที่เกิด และส่งผลให้เกิดการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศ โดยลักษณะความแตกต่างของพื้นที่ส่งผลถึงการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้งที่แตกต่างกัน เป็นระดับความสูงเหนือผิวดิน

- ชั้นบน เป็นระดับความสูงที่อยู่เหนือชั้น Surface layer ขึ้นไป ซึ่งจะเรียกว่า Urban boundary layer (UBL) ซึ่งเป็นชั้นที่ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบน้อยที่สุด

1.3.2 เก็บข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาพื้นผิวของแต่ละพื้นที่ศึกษา ตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

1.3.3 ศึกษาความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (O_3) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามระดับความสูงตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่อง

1.3.4 ศึกษาปริมาณสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยขนาดไม่เกิน $10 \mu m$ (PM_{10}) ทุก 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่อง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบลักษณะทางอุตุนิยมิวิทยาของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของก๊าซโอโซน (O_3) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)ตามแนวระดับความสูงในเขตเมือง

1.4.2 ทราบช่วงเวลาในการเกิดการสะสม และการกระจายตัวของก๊าซโอโซน (O_3) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันทางอากาศในเขตเมือง

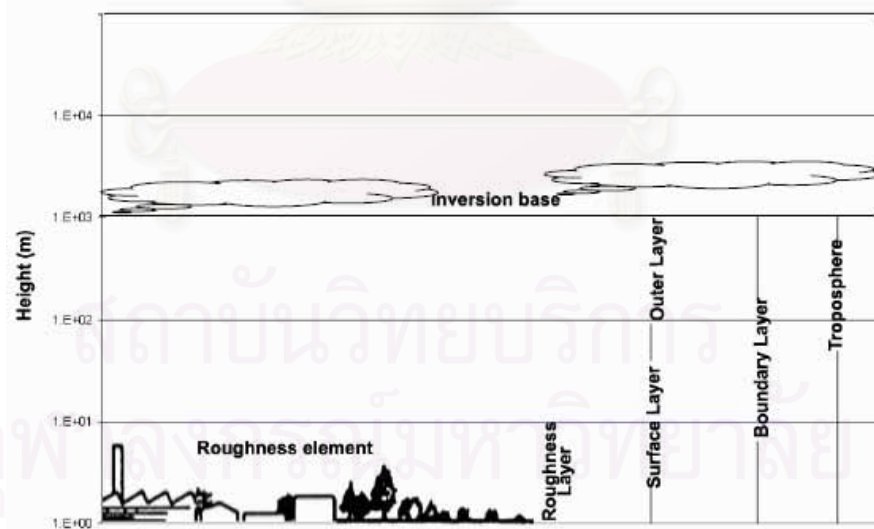
1.4.3 ทราบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยขนาดไม่เกิน $10 \mu m$ (PM_{10}) จากการกระจายตัวของก๊าซโอโซน (O_3) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขอบเขตของชั้นบรรยากาศ (Atmospheric boundary layer)

การเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระดับหรือแนวตั้ง (vertical) และการเคลื่อนที่ในแนวระนาบหรือแนวนอนนั้น (horizontal movement) เกิดขึ้นเนื่องมาจากมวลของอากาศได้รับพลังงาน ในรูปของพลังงานแสงอาทิตย์ (solar radiation) ซึ่งการที่โลกได้รับพลังงานดังกล่าวในปริมาณที่ไม่เท่ากันจึงก่อให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิและความดันของอากาศ และส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ การเคลื่อนที่ของอากาศบนผิวโลกนั้นเกิดขึ้นได้ในทุกระดับความสูงจากผิวโลก เพียงแต่มีข้อแตกต่างกันอันเนื่องมาจากอิทธิพลของสิ่งกีดขวางหรือสิ่งที่ปกคลุมผิวโลก ดังนั้นในการศึกษาสภาพบรรยากาศจึงได้มีการแบ่งชั้นบรรยากาศตามผลกระทบจากอิทธิพลของสิ่งที่ปกคลุมผิวโลกที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ซึ่งชั้นบรรยากาศของโลก เรียกว่า Atmospheric boundary layer จะอยู่ภายใต้บรรยากาศของชั้น Troposphere สามารถแบ่งได้ดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 การแบ่งชั้นบรรยากาศภายในชั้นของ Troposphere (สุวิรัตน์ บัวเลิศ, 2547)

2.1.1 Roughness Layer

ชั้นนี้จะอยู่ระดับล่างสุดมีความสูงจากพื้นดินในเมืองเฉลี่ยประมาณ 1 - 10 m เป็นชั้นที่ได้รับผลกระทบโดยตรงจากความขรุขระของพื้นผิว ซึ่งได้แก่ สิ่งก่อสร้างต่างๆ อาคาร

บ้านเรือน ต้นไม้ เป็นต้น โดยส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบ (Advection) ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่าในชั้นนี้จะได้รับอิทธิพลโดยตรงจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบ หรือจากการได้รับอิทธิพลจากความปั่นป่วนเชิงกล (Mechanical Turbulent)

2.1.2 Surface Layer

เป็นชั้นที่ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบ และการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้ง (Convection) กล่าวคือ ในระดับที่ความสูงเพิ่มขึ้น สิ่งกีดขวางจากพื้นผิวย่อมลดน้อยลง ทำให้ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบลดลง และจะได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งที่เป็นผลมาจากความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulent) ทำให้เกิดการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศจะขึ้นกับความแตกต่างของพื้นที่ เช่น เมืองและชนบท ความสูงของ Atmospheric boundary layer จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ระดับความร้อน ความเย็นของพื้นผิว ลักษณะภูมิอากาศหรือความขรุขระของพื้นผิว การเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบและแนวตั้ง ความสูงต่ำของชั้นบรรยากาศนี้เป็นความสูงเดียวกันกับชั้นความสูงผสม (Mixing layer) โดยเป็นชั้นความสูงที่เมื่อมลสารถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด มลสารจะมีการเคลื่อนที่ผสมกับบรรยากาศชั้นนี้ และถูกจำกัดขอบเขตโดยชั้นอุณหภูมิผกผัน (Inversion layer) ดังนั้น ถ้าชั้นนี้มีความสูงมากก็จะมีปริมาตรให้มลสารเข้าผสมได้มาก ทำให้เกิดการกระจายได้ดี ความเข้มข้นของมลสารจะลดลง ความสูงผสมของชั้นนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาและสถานที่ โดยจะมีค่าแตกต่างตั้งแต่ 10 m จนถึง 1 - 2 km ความหนาของชั้นนี้จะเรียกว่า ความสูงผสม (Mixing height) การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศในช่วงเวลาของวัน (Diurnal variation) มี 2 ประเภท คือ

- ขอบเขตของชั้นบรรยากาศในเวลากลางวัน (Convection boundary layer: CBL) ในเวลากลางวันมีแสงจากดวงอาทิตย์ส่องลงมายังผิวโลก ผิวโลกจะร้อนขึ้น อุณหภูมิด้านล่างจึงร้อนกว่าด้านบน มวลอากาศร้อนจึงเคลื่อนตัวขึ้นไปในแนวตั้งแล้วขยายตัวออกตามกระบวนการ Adiabatic cooling process ดังนั้นสิ่งที่มีบทบาทเด่นในช่วงเวลากลางวันคือ ความร้อน (Thermal property) ทำให้เวลาในช่วงเวลากลางวันบรรยากาศจะอยู่ในสภาวะ unstable condition ปริมาตรของบรรยากาศในการผสมผสานของมลสารจึงมีมาก ชั้นอุณหภูมิผกผันสูงขึ้น ดังนั้น ความสูงผสมก็จะมีค่ามาก

- ขอบเขตของชั้นบรรยากาศในเวลากลางคืน (Stable boundary layer: SBL) ในเวลากลางคืนความร้อนที่ถูกเก็บสะสมไว้ในพื้นดินและก้อนเมฆจะมีการแผ่รังสีความร้อน (Re-radiation) ออกมาในรูปร่างคลื่นยาว อุณหภูมิของพื้นดินจึงลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ และการที่มีเมฆแผ่รังสีความร้อนออกมาทำให้มวลอากาศร้อนเรียงเป็นแนวอยู่ด้านบน เหตุการณ์เช่นนี้ทำให้บรรยากาศอยู่ในสภาพของอุณหภูมิผกผัน คือ มวลอากาศไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง การไหลของมวลอากาศมีน้อยกว่าในเวลากลางวัน สิ่งที่เข้ามาบีบคั้นสำคัญในเวลากลางคืน คือ สมบัติทางกายภาพ (Physical property) เช่น ความขรุขระพื้นผิว (Surface roughness) มีผลทำให้ความเร็วลมลดลง อากาศจึงไม่มีการเคลื่อนที่ เมื่ออากาศนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งจึงทำให้ชั้นอุณหภูมิผกผันต่ำลงมา ความสูงผสมจึงลดลงมาด้วย มลสารมีการสะสมในบรรยากาศสูง

2.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ

ลักษณะการเคลื่อนที่ของมวลอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้ง (vertical movement) เรียกว่า การเคลื่อนที่ด้วยการพาความร้อน (Convection) และการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวนอน (horizontal movement) เรียกว่า Advection โดยการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งเกิดจากกระบวนการของ Adiabatic Cooling Process โดยเมื่อมวลอากาศมวลหนึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศภายนอก มวลอากาศนั้นพยายามลอยตัวสูงขึ้นเนื่องจากมวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความดันต่ำกว่า (สุรพันธ์ บัวเลิศ, 2547) เมื่อมวลอากาศลอยตัวสูงขึ้น มวลอากาศนั้นไม่มีการถ่ายเทอุณหภูมิให้กับมวลอากาศบริเวณข้างเคียง แต่อุณหภูมิของมวลอากาศนั้นลดลง เนื่องจากการลอยตัวสูงขึ้นมวลอากาศจะใช้พลังงานในการขยายตัว เพราะเมื่อความสูงเพิ่มขึ้นความกดดันลดลงส่งผลให้เกิดการขยายตัวของมวลอากาศ เมื่อพลังงานถูกใช้เพื่อการขยายตัวจึงส่งผลให้อุณหภูมิของมวลอากาศลดลง การลดลงของอุณหภูมิของมวลอากาศต่อความสูงนี้เรียกว่า Adiabatic Lapse Rate โดยเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น 100 m อุณหภูมิลดลงประมาณ 0.98°C (เกษม จันทรแก้ว, 2522) เมื่อการเคลื่อนที่ขึ้นของมวลอากาศเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิต่อของบรรยากาศภายนอกแล้ว มวลอากาศก็จะหยุดนิ่ง เมื่อมวลอากาศเคลื่อนที่ขึ้น มวลอากาศที่อยู่บริเวณด้านล่างไหลเข้ามาแทนที่ เกิดเป็นการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวนอนเกิดขึ้น

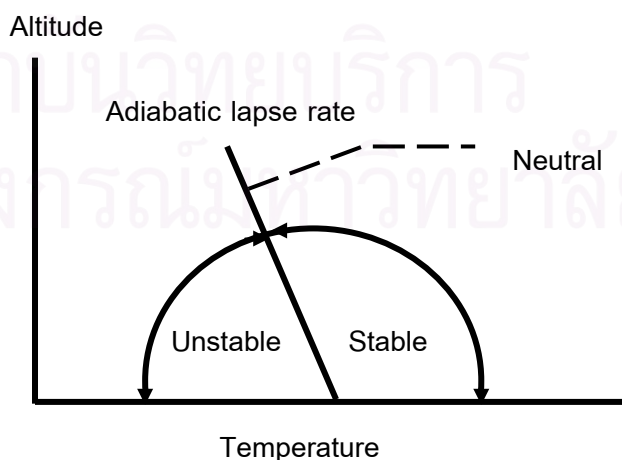
2.3 สภาพการคงตัวของบรรยากาศ

สภาพการคงตัวของอากาศ เป็นสิ่งที่ใช้อธิบายลักษณะหรือสภาพของบรรยากาศสำหรับการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวระดับ (Vertical direction) และแนวระนาบ (Horizontal direction) เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพบรรยากาศอ้างอิงที่มีอัตราการลดลงของอุณหภูมิบรรยากาศเท่ากับ Adiabatic lapse rate ซึ่งสามารถแบ่งสภาพบรรยากาศออกได้เป็น 3 ลักษณะคือ

2.3.1 สภาพอากาศที่มีสภาพเป็นกลาง (neutral condition) หมายถึง สภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิลดลงตามความสูงมีความสัมพันธ์ในลักษณะแบบอเดียบาติก กล่าวคือ อุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราประมาณ 0.98°C ต่อ 100 m

2.3.2 สภาพอากาศที่มีสภาพไม่คงตัว (unstable condition) หมายถึง สภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราที่มากกว่า 0.98°C ต่อ 100 m ในสภาพดังกล่าวก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศได้มากกว่าในสภาพเป็นกลาง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของมวลอากาศและบรรยากาศภายนอกมีสูงกว่าเมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงเดียวกันเมื่อมวลอากาศอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง

2.3.3 สภาพอากาศที่มีสภาพคงตัว (stable condition) หมายถึง สภาพบรรยากาศที่อุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตราที่น้อยกว่า 0.98°C ต่อ 100 m ในสภาพดังกล่าวก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศได้ต่ำกว่าในสภาพเป็นกลาง เนื่องจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของมวลอากาศและบรรยากาศภายนอกมีน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่ระดับความสูงเดียวกันเมื่อมวลอากาศอยู่ในสภาพที่เป็นกลาง

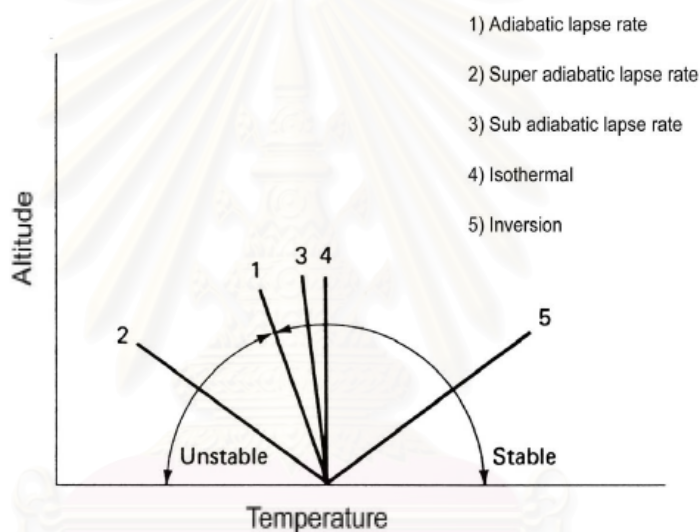


ภาพที่ 2.2 สภาพบรรยากาศและความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูง

(สุรัตน์ บัวเลิศ, 2547)

2.4 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระดับความสูง (Temperature profiles)

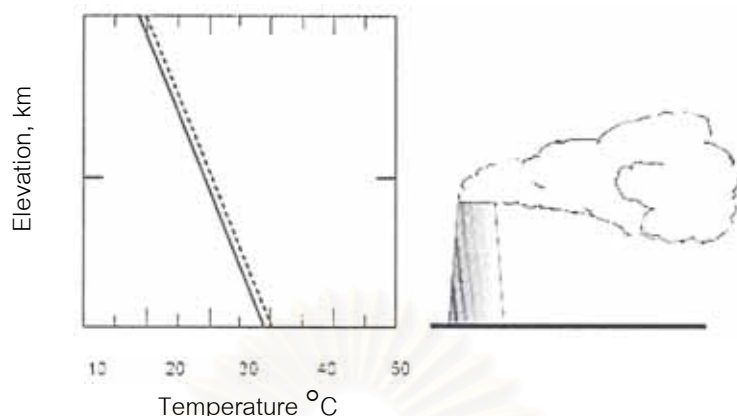
การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของมลสารและปริมาณของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นเพื่อกระจายมลสารให้เกิดการผสมในบรรยากาศ โดยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ระนาบต่างๆในบรรยากาศ ที่ระดับน้ำทะเลมีความกดอากาศประมาณ 1 atm และเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นความกดอากาศจะค่อยๆลดลง ดังนั้นที่ระดับความสูงต่างๆ มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ทำให้ความกดอากาศแตกต่างกันด้วย มวลอากาศจึงมีการเคลื่อนที่ระหว่างสองบริเวณหรือที่เรียกว่าลมนั่นเอง ลมจึงเป็นตัวการที่ทำให้มลสารกระจายตัวในบรรยากาศได้ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงมีหลายแบบ ดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 2.3)



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูง (สุรัตน์ บัวเลิศ, 2547)

2.4.1 Adiabatic lapse rate

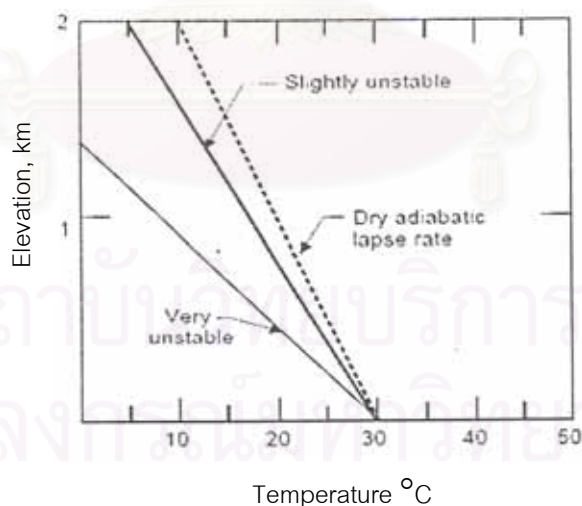
มวลอากาศจะมีการเคลื่อนที่ในทิศทางแนวระนาบและแนวระดับตามกระบวนการ Adiabatic cooling process ตามปกติ โดยที่อุณหภูมิลดลง 0.98°C ต่อ 100 m (U.S.EPA, 2005) ซึ่งเรียกสภาวะเช่นนี้ว่า Neutral condition หรือสภาวะเป็นกลาง มลสารจะมีการกระจายตัวตามปกติ (ดังแสดงในภาพที่ 2.4)



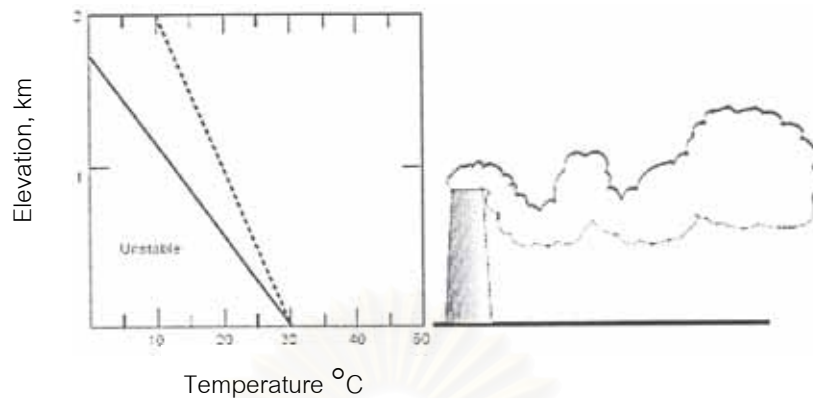
ภาพที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ
Adiabatic lapse rate (US.EPA, 2005)

2.4.2 Super adiabatic lapse rate

เป็นการลดลงของอุณหภูมิตามความสูงซึ่งจะลดลงมากกว่า Adiabatic lapse rate ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของมวลอากาศมากทั้งในทิศทางแนวระดับและแนวระนาบ มวลอากาศจึงมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว มลสารกระจายตัวได้ดี Super adiabatic lapse rate จะมีอุณหภูมิลดลงมากกว่า 0.98°C ต่อ 100 m เรียกสภาวะเช่นนี้ว่า Unstable condition



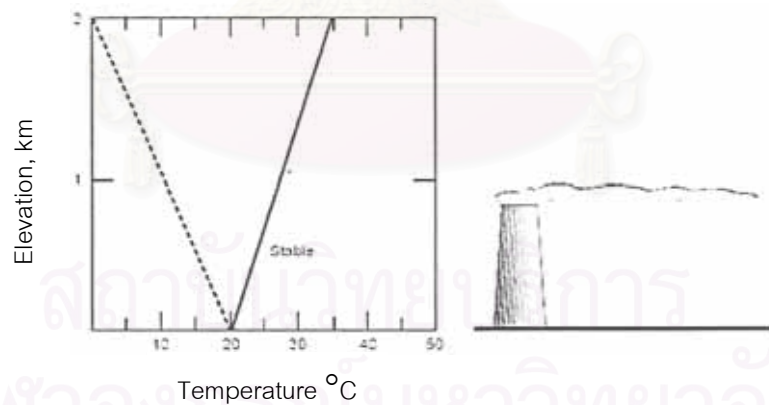
ภาพที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ
Super adiabatic lapse rate (U.S.EPA., 2005)



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความสูงและการกระจายตัวของมลสารแบบ Unstable condition (U.S.EPA, 2005)

2.4.3 Sub adiabatic lapse rate

เป็นการลดลงของอุณหภูมิตามความสูงซึ่งจะลดลงน้อยกว่า การลดลงของ Adiabatic lapse rate ทำให้มีการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในทิศทางแนวระดับและแนวระนาบน้อย เพราะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจากมวลอากาศกับบรรยากาศภายนอกน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับสภาพที่เป็นกลาง โดยอุณหภูมิจะลดลงน้อยกว่า 0.98°C ต่อ 100 เมตร เรียกสภาวะเช่นนี้ว่า Stable condition (ดังแสดงในภาพที่ 2.7)



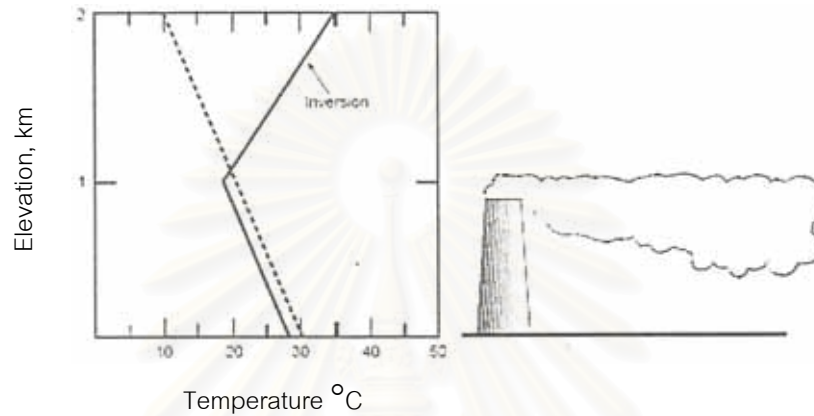
ภาพที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Stable condition (U.S.EPA, 2005)

2.4.4 Isothermal

มวลอากาศไม่มีการเคลื่อนตัวในแนวตั้ง เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

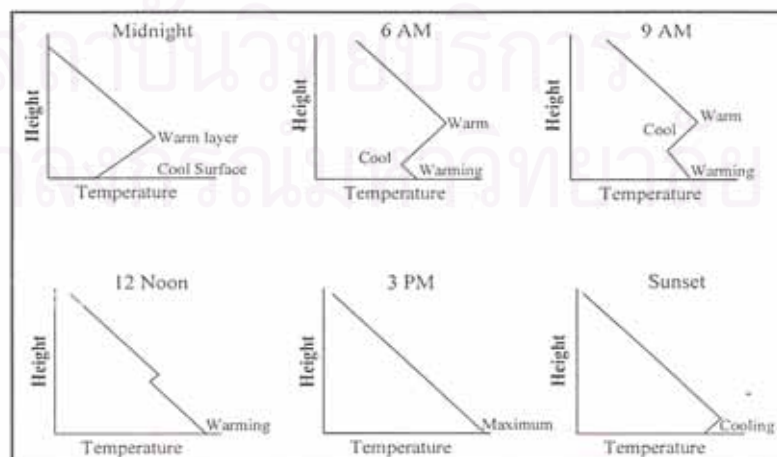
2.4.5 Inversion

ชั้นอุณหภูมิผกผัน คือ ชั้นที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูง ทำให้มวลอากาศไม่มีการเคลื่อนตัว เพราะมวลอากาศไม่สามารถลอยตัวขึ้นได้ เนื่องจากมีชั้นความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่าอยู่กั้นอยู่เกิดการสะสมของมลสารภายในชั้นบรรยากาศด้านล่าง (ดังแสดงในภาพที่ 2.8)



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูงของลักษณะบรรยากาศแบบ Inversion (U.S.EPA, 2005)

นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตามระดับความสูงแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (Diurnal Temperature profiles) อีกด้วย คือ ในเวลากลางคืนที่ไม่มีรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ บรรยากาศจะสงบนิ่ง โดยด้านล่างจะเย็นกว่าด้านบน เนื่องจากด้านบนมีการแผ่รังสีความร้อนจากเมฆออกมา ภาวะเช่นนี้คือ การเกิดภาวะอุณหภูมิผกผัน เมื่อเริ่มสว่างและมีรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เช่นในเวลากลางวัน บรรยากาศด้านล่างจะเริ่มร้อนขึ้น ชั้นอุณหภูมิผกผันจะค่อยๆ หายไป และจะกลับมาอีกครั้งเมื่อในเวลากลางคืน (ดังแสดงในภาพที่ 2.9)



ภาพที่ 2.9 การเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิและความสูงในรอบวัน (Clinton, 2005)

2.5 ประเภทของอุณหภูมิผกผัน

2.5.1 อุณหภูมิผกผันจากการแผ่รังสี (Radiative inversion)

ในเวลากลางวันความร้อนจากดวงอาทิตย์จะแผ่รังสีความร้อนมายังโลก โดยพื้นดินและก้อนเมฆจะเป็นตัวเก็บความร้อนนี้ไว้ เมื่อถึงเวลากลางคืนพื้นดินและก้อนเมฆจะแผ่รังสีความร้อน (Re-radiation) ออกมาในรูปรังสีคลื่นยาว โดยอุณหภูมิของพื้นดินจะลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศด้านบน เหตุการณ์นี้นำไปสู่การทำให้มีมวลอากาศร้อนอยู่ด้านบนและมวลอากาศเย็นอยู่ด้านล่าง ซึ่งเป็นการผกผันของอุณหภูมิ ดังนั้น การเกิดการผกผันของอุณหภูมิจากการแผ่รังสีจะเกิดในเวลากลางคืนและจะหายไปในช่วงกลางวัน (U.S.EPA, 2005)

2.5.2 อุณหภูมิผกผันจากการจมตัว (Subsidence inversion)

อากาศจะจมตัวลงสู่ระดับที่ต่ำซึ่งมีความกดอากาศสูง มวลอากาศจึงถูกกดและทำให้อุณหภูมิของอากาศนั้นเพิ่มขึ้นสูงกว่าอุณหภูมิที่บริเวณนั้นก่อนที่จะมีการจมตัวลง แต่ในขณะที่เดียวกันอากาศที่ใกล้ผิวโลกจะมีการจมตัวน้อย ทำให้เกิดชั้นอุณหภูมิผกผันสารมลพิษที่ปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดไม่ลอยตัวสูงขึ้นแต่จะลอยตัวกระจายอยู่ในบริเวณของบรรยากาศใกล้ผิวโลกซึ่งจะอยู่ในลักษณะของการอบ ทำให้บรรยากาศใกล้ผิวโลกมีการสะสมมลสาร (Michaelson, 2007)

2.6 ความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ (Turbulence)

ความปั่นป่วน หมายถึง การไหลของอากาศที่มีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (Eddy) โดยเป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระของมวลอากาศในลักษณะขึ้นลง โดยความปั่นป่วนมีความสำคัญในการก่อให้เกิดการเจือจางของมลสาร (วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, 2543) ในความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศจะเห็นได้อย่างชัดเจนของความรุนแรงในการเคลื่อนที่ของลม การเคลื่อนที่ส่วนใหญ่ของลมในชั้นของ Atmospheric Boundary Layer จะเป็นการเคลื่อนที่แบบมีความปั่นป่วนเกิดขึ้นในบริเวณที่ใกล้พื้นผิวความปั่นป่วนจะเห็นได้ชัดจากการสั่นไหวของกิ่งไม้ และใบไม้ การเคลื่อนตัวของควันหรือฝุ่นและระลอกคลื่นที่เกิดขึ้นบนผิวน้ำ (Arya, 1999) การปั่นป่วนของบรรยากาศส่งผลต่อการกระจายตัวของมลพิษในอากาศ โดยพบว่าเมื่อมีการปั่นป่วนของบรรยากาศส่งผลต่อการกระจายตัวของมลพิษในอากาศ เมื่อการปั่นป่วนของบรรยากาศลดลง ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดในบริเวณใดบริเวณหนึ่งจะมีค่าความเข้มข้นสูง แต่หากบรรยากาศมีความปั่นป่วนเพิ่มมากขึ้น ความเข้มข้นของสารมลพิษในบริเวณหนึ่งๆ จะมีค่าลดลงเนื่องจากเกิดการกระจายตัวมากขึ้น โดยลักษณะความปั่นป่วนของบรรยากาศเกิดจากสาเหตุ

หลักๆ ได้แก่ เกิดจากความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulence) โดยเกิดจากการที่พื้นผิวโลกหรือวัตถุต่างๆ ที่อยู่บนพื้นผิวได้รับความร้อน และส่งผลต่อมวลอากาศ และอีกสาเหตุหนึ่งเกิดจากความปั่นป่วนทางกายภาพ (Mechanical Turbulence) ซึ่งเกิดจากลักษณะทางกายภาพที่เกิดจากตำแหน่งของสิ่งก่อสร้างและความเรียบหรือความขรุขระของพื้นผิว (วารวุธ เสือดี, 2542)

2.6.1 ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulence)

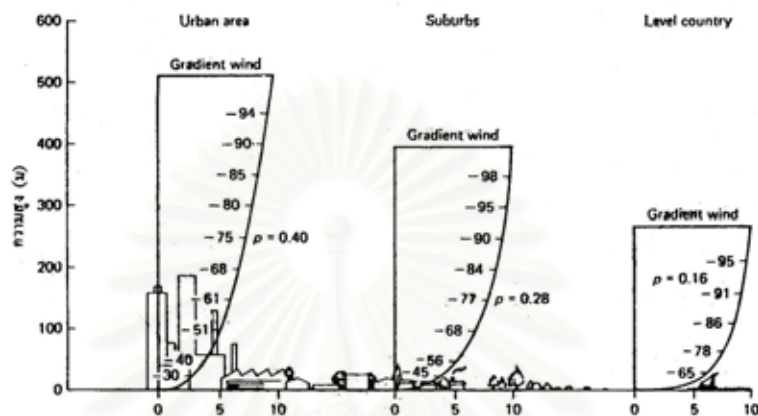
ปัจจัยทางด้านความร้อนเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเนื่องมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยรังสีที่ส่งมาจากดวงอาทิตย์สู่โลกมีทั้งรังสีคลื่นสั้น (Shortwave Radiation) ซึ่งมีความยาวคลื่นน้อยกว่า 4 nm เช่น รังสีอุลตราไวโอเล็ต รังสีแกมมา เป็นต้น และรังสีคลื่นยาว (Long-wave Radiation) ซึ่งมีความยาวคลื่นมากกว่า 4 nm เช่น คลื่นเรดาร์ คลื่นวิทยุ เป็นต้น โดยรังสีคลื่นสั้นสามารถสะท้อนกลับออกไปจากชั้นบรรยากาศของโลกได้ แต่รังสีคลื่นยาวจะไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปได้แต่เป็นการแผ่รังสีกลับออกไปจากชั้นบรรยากาศของโลกในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นรังสีที่เหลืออยู่ของโลกหรือรังสีสุทธิที่โลกได้รับสามารถคำนวณได้จากรังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ทั้งรังสีคลื่นสั้นและรังสีคลื่นยาวและรังสีที่โลกสะท้อนหรือแผ่กลับออกไปจากโลก (วิชานิยม, 2535)

ความร้อนที่ถูกนำไปใช้ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่ เช่นหากพื้นที่เป็นพื้นที่ในป่าหรือเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ ค่าของปริมาณรังสีสุทธิจะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำมากกว่าลงสู่ดินหรือเผาผลาญอากาศ แต่หากเป็นพื้นที่ในบริเวณเขตเมือง ปริมาณรังสีสุทธิที่เกิดขึ้นถูกนำไปใช้ในการเผาผลาญอากาศหรือลงสู่ดินมากกว่าที่จะถูกนำไปใช้ในการเผาผลาญน้ำส่งผลให้อากาศในบริเวณเขตเมืองมีความร้อนสูงและส่งผลต่อเนื่องไปถึงการเคลื่อนที่ของมวลอากาศและลักษณะการคงตัวของบรรยากาศต่อไป (เกษม จันทร์แก้ว, 2522)

2.6.2 ความปั่นป่วนเชิงกล (Mechanical Turbulence)

ความปั่นป่วนเชิงกลเกิดขึ้นเนื่องมาจาก มวลอากาศเคลื่อนที่ผ่านวัตถุที่อยู่บนพื้นผิวส่งผลให้การไหลของอากาศต้องเปลี่ยนทิศทางและความเร็ว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวส่งผลให้เกิดกระแสวน (Eddy) (Jacobson, 1999) โดยความเร็วลมที่ช้าลงเนื่องจากความเสียดทานซึ่งมีผลมาจากลักษณะความเรียบหรือความขรุขระของพื้นผิว หรือมีผลจากปัจจัยทางด้านกายภาพของภูมิประเทศที่มีอยู่ เช่น ชนิดของพื้นผิว ลักษณะพื้นที่ที่เป็นภูเขา พื้นน้ำ ป่าไม้ ตำแหน่งและความหนาแน่นของพืช และเขตเมือง เป็นต้น (ภาพที่ 2.10) ลักษณะเหล่านี้ก่อให้เกิด

ความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของลมที่ความสูงแตกต่างกัน ซึ่งมีผลมาจากความเสียดทานส่งผลให้การกระจายตัวของมลสารแตกต่างกันออกไป ลักษณะของความแตกต่างของพื้นที่ รวมถึงวัสดุหรือสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่ในพื้นที่นี้เรียกว่าค่าความขรุขระพื้นผิว (Surface Roughness)



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความสูง (Tunner, 1994)

ในการประเมินถึงค่าความขรุขระพื้นผิว การจัดแบ่งหมวดหมู่ของการการใช้ประโยชน์ที่ดินช่วยให้การประเมินค่านี้ง่ายขึ้น เช่น การแบ่งพื้นที่ออกเป็นพื้นที่สำหรับการทำเกษตรกรรม พื้นที่ชนบททั่วไป และพื้นที่ที่เป็นเขตเมือง เป็นต้น (Hansen, 1994)

2.7 ระดับความสูงผสม (Mixing height)

ระดับความสูงผสม (Mixing height หรือ Mixing depth) คือ ระยะทางจากพื้นโลกขึ้นไปจนถึงชั้นบรรยากาศแบบอุณหภูมิมักผัน ดังนั้น ถ้าชั้นอุณหภูมิมักผันอยู่ใกล้ผิวโลกมาก ความสูงผสมก็จะมีค่าน้อย แสดงให้เห็นว่า ปริมาตรของบรรยากาศที่สามารถให้มลสารเข้าไปผสมได้นั้นมีปริมาณน้อย มลสารจึงมีความเข้มข้นสูง แต่ในทางกลับกันถ้าความสูงผสมมีค่ามาก ปริมาตรของบรรยากาศก็จะเพียงพอให้มลสารเข้าไปผสมความเข้มข้นของมลสารจึงลดลง

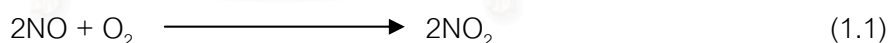
การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงผสมจะเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา โดยในตอนกลางวัน ความสูงผสมจะมากกว่าตอนกลางคืน เพราะมีการเคลื่อนตัวของมวลอากาศในแนวตั้ง ความสูงผสมจึงสูง ส่วนตอนกลางคืนจะเกิดภาวะอากาศนิ่ง มวลอากาศไม่มีการเคลื่อนที่ ความสูงผสมจึงต่ำอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงผสม คือ ฤดูกาล ในฤดูร้อนจะเกิดเหตุการณ์เช่นเดียวกับในเวลากลางวัน คือ อากาศมีการขยายตัวมาก ส่วนฤดูหนาวอากาศที่มีความกดอากาศสูงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศได้น้อยความสูงผสมต่ำ

2.8 ผลของระดับความสูงผสมที่มีต่อความเข้มข้นของมลสาร

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระดับความสูงผสมเป็นผลอันเนื่องมาจากลักษณะของชั้นบรรยากาศแบบอุณหภูมิผกผัน กล่าวคือถ้าชั้นอุณหภูมิผกผันอยู่ใกล้ผิวโลกมากจะทำให้ระดับความสูงผสมมีค่าต่ำลงไปด้วย ซึ่งแสดงถึงปริมาตรของบรรยากาศที่ให้มลสารเข้าไปผสมและกระจายตัวอยู่ได้ ดังนั้นการที่มีลักษณะของชั้นบรรยากาศแบบอุณหภูมิผกผันแล้วทำให้ระดับความสูงผสมต่ำลงนั่นเอง จึงส่งผลต่อการสะสมของมลสารในบรรยากาศ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับภาวะปกติ การกระจายตัวของมลสารในภาวะปกติจะเกิดขึ้นได้ดี สามารถแพร่กระจายไปยังบริเวณต่างๆ ในชั้นบรรยากาศได้ จึงไม่เกิดการสะสมตัวของมลสาร แต่เมื่อชั้นบรรยากาศมีลักษณะแบบอุณหภูมิผกผัน มลสารจะไม่สามารถลอยตัวสูงขึ้นไปในแนวตั้งได้ จึงไม่มีการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ รวมทั้งปริมาตรของบรรยากาศก็มีน้อย ทำให้เกิดการสะสมตัวของมลสารได้มาก จึงสามารถสรุปได้ว่า ระดับความสูงผสมที่มีผลอันเนื่องมาจากลักษณะของชั้นบรรยากาศแบบอุณหภูมิผกผันสามารถเป็นดัชนีบ่งชี้ปัญหามลพิษได้

2.9 ปฏิกริยาโฟโตเคมีคัล (Photochemical reaction)

ในกระบวนการเกิดปฏิกริยานี้เริ่มต้นจากก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้จะถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) เป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ในบรรยากาศ การเกิดปฏิกริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) จะเกิดได้ดีและรวดเร็ว ถ้ามีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) อยู่ด้วย ดังสมการ

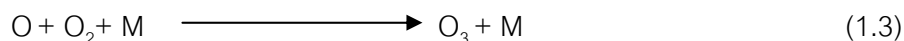


ที่อุณหภูมิปกติ อัตราของปฏิกริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ NO และก๊าซออกซิเจน (O₂) เพิ่มขึ้น (Williamson, 1973) โดยทั่วไปอากาศจากการเผาไหม้ที่ปล่อยออกมาจะมีความเข้มข้นของ O₂ น้อย เป็นเหตุให้อัตราของปฏิกริยามีค่าต่ำไปด้วย ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ NO จะมีมาก และเมื่อผสมกับอากาศในบรรยากาศจะทำให้ความเข้มข้นของ O₂ เพิ่มขึ้น แต่ในเวลาเดียวกันความเข้มข้นของ NO จะลดลง เป็นเหตุให้อัตราของปฏิกริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นช้ามาก ในบรรยากาศของพื้นที่ในเมืองที่มีการระบายอากาศไม่ดี ความเข้มข้นของ NO₂ ที่เกิดจาก NO จะมีค่าประมาณ 0.1 ppm หรือมากกว่า

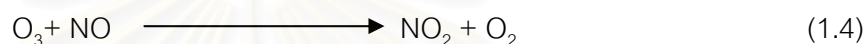
NO₂ ที่เกิดขึ้น จะถูกรีดิวซ์ (reduce) เป็น NO และ O อะตอม โดยแสงอุลตราไวโอเล็ต (Photolysis)



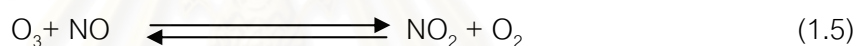
O อะตอม จากสมการ (1.2) จะทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็นก๊าซโอโซน (O_3)



ซึ่ง M เป็นโมเลกุลที่ 3 ทำหน้าที่ดูดความร้อนส่วนเกิน ดังได้กล่าวมาแล้ว และ O_3 สามารถทำปฏิกิริยากับ NO เกิดเป็น NO_2 และ O_2 ดังสมการ



หรืออาจสรุปปฏิกิริยาการเกิด O_3 โดยแสงอาทิตย์ตั้งแต่สมการ (1.2) - (1.4) ได้ดังสมการ



$$[\text{O}_3] = \frac{K_1[\text{NO}_2]}{K_2[\text{NO}]} \quad (1.6)$$

จากสมการ (1.5) - (1.6) ถ้า NO_2 มีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้ O_3 มากขึ้นด้วยในทางตรงข้ามกัน ถ้า NO สูงจะทำให้ O_3 น้อยลง

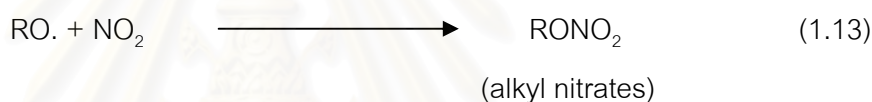
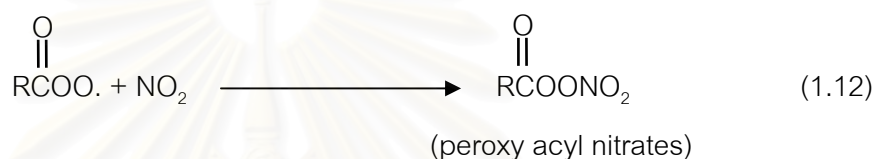
O และ O_3 ที่เกิดจากสมการ (1.2) - (1.4) จะทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซมีเทนไฮโดรคาร์บอน (Non-Methane Hydrocarbons; NMHC) ก๊าซมีเทน (CH_4) และอัลดีไฮด์ (Aldehydes) รวมถึงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่มีคุณลักษณะพฤติกรรมคล้าย VOCs เมื่ออยู่ในชั้นบรรยากาศระดับล่าง (Troposphere) (Akimoto et al., 1994) เกิดเป็น free radicals และสารอื่นๆ





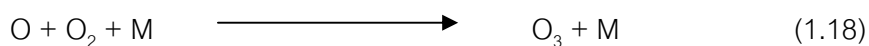
NO_2 ที่เกิดจากสมการข้างต้นจะเกิดปฏิกิริยา

- Photochemical ได้ O_3 เป็นผลผลิต ดังสมการ (1.2) – (1.3)
- กับ free radical เกิดเป็นออกซิแดนท์ (oxidants) ดังนี้



จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เป็นเหตุให้ความเข้มข้นของ NO และ HC มีค่าลดลง ส่วนระดับของ NO_2 , O_3 และออกซิแดนท์จะมีค่ามากขึ้นในเวลาต่อมา

ในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลสามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง CO และ O_3 ได้ดังสมการ 1.14 – 1.18 (Tsutsumi et al., 2000)



ซึ่ง M เป็นโมเลกุลที่ 3 ซึ่งอาจเป็นก๊าซ เช่น N_2 หรือ O_2 จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่า CO ในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลสามารถสร้าง O_3 ขึ้น แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้า (Tsutsumi et al., 2000)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมด สามารถใช้อธิบายการเกิด O_3 ในบรรยากาศ จะเห็นได้ว่าในตอนเช้าบรรยากาศเริ่มสะสม NO และ HC เนื่องจากการจราจรคับคั่ง เมื่อเริ่มมีแสงอาทิตย์ NO จะถูกออกซิไดซ์เป็น NO_2 โดย O_2 ดังสมการที่ 1.1 และเมื่อแสงอาทิตย์เริ่มจ้าขึ้น NO_2 จะสลายตัวอย่างรวดเร็ว เกิดเป็น NO และ O อะตอม ดังสมการที่ 1.2 NO ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะรวมตัวกับ NO ที่ปล่อยออกมากับอากาศเสีย (ไอเสียจากรถยนต์) ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นในบรรยากาศ และ O อะตอมที่เกิดจากปฏิกิริยาจะรวมตัวกับ O_2 เป็น O_3 ดังสมการที่ 1.3 ทั้ง O อะตอม และ O_3 ที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยากับ HC ที่เป็นสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่มีความเข้มข้นมากให้น้อยลง ดังสมการที่ 1.7 - 1.10 ซึ่งทั้ง free radical และ O_3 ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ NO (ความเข้มข้นลดลง) ดังสมการที่ 1.4 และ 1.8 - 1.10 เป็นเหตุให้ NO_2 มีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของ O_3 มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังสมการที่ 1.5 และจะมีค่าสูงสุดในเวลากลางวัน ซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มของแสงอุลตราไวโอเล็ต สูงสุด ในตอนบ่าย NO_2 ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกับ free radical ทำให้ oxidants มีมากที่สุด ซึ่ง NO , NO_2 และ HC จะมีค่าต่ำสุดจนกระทั่งถึงตอนเย็นซึ่งไม่มีแสงอาทิตย์ตัวออกซิไดซ์จะลดลง ส่วน NO_x และ HC จะเพิ่มขึ้นอีกและเพิ่มถึงค่าสูงสุดในตอนเช้าเป็นเช่นนี้เรื่อยไปทุกวัน (दनัย จิตธรรม, 2530)

2.10 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสาร

ธิดารัตน์ แก้วประสงค์ (2550) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อความชื้นสัมพัทธ์ ที่มีต่อความเข้มข้นของมลสารต่างๆ ในบรรยากาศ พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของมลสารต่างๆ มีแนวโน้มแปรผันแบบผกผันกับอุณหภูมิ เนื่องจากได้รับอิทธิพลจากความกดอากาศ กล่าวคือ ในช่วงที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าความกดอากาศต่ำ ซึ่งเมื่อบรรยากาศมีความกดอากาศต่ำจะทำให้มวลอากาศเบา ส่งผลให้ระดับความสูงผสม (Mixing Height) ของบรรยากาศสูง ทำให้มลพิษกระจายตัวในบรรยากาศได้ดี ในขณะที่อุณหภูมิต่ำความกดอากาศจะมีค่าสูง ทำให้มวลอากาศหนักกดลงส่งผลให้ระดับความสูงผสมของบรรยากาศต่ำ ก่อให้เกิดการสะสมของมลพิษในระดับสูง ดังนั้น จึงพบว่ามลสารต่างๆ จะมีความเข้มข้นสูงในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ

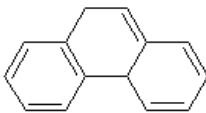
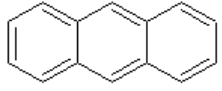
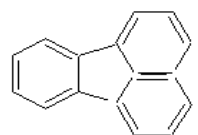
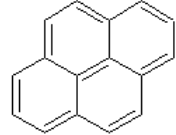
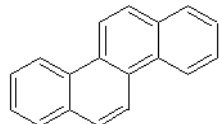
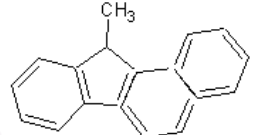
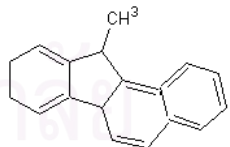
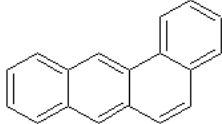
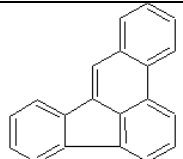
วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ (2543) กล่าวว่า อุณหภูมิของบรรยากาศควบคุมการกระจายตัวของสารมลพิษ ตามปกติอากาศจะเย็นลงเป็นลำดับตามความสูง ลักษณะเช่นนี้มักเกิดขึ้นในเวลากลางวันเมื่อแสงแดดส่องถึงพื้นดิน และช่วยพาให้สารมลพิษลอยสูงขึ้น ส่วนในเวลากลางคืนจวบจนรุ่งสางก่อนพระอาทิตย์ขึ้น พื้นดินจะแผ่รังสีความร้อนที่สะสมไว้ บรรยากาศใกล้พื้นจึงเย็นลงกว่าอากาศข้างบน ลักษณะความผกผันของอุณหภูมิ (Inversion) นี้ นอกจากไม่ช่วยให้สารมลพิษกระจายตัวขึ้นสูงแล้ว ยังกลับเก็บกักไว้กับที่หรือกดให้ลอยต่ำลง

दनัย จิตตธรรม (2530) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ O_3 Non-Methane Hydrocarbons; NMHC และ NO_x กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร พบว่า ความเข้มข้นของ O_3 มีค่าสูงสุดในเวลาเที่ยงวัน และตรวจวัดไม่พบในเวลากลางคืน ซึ่งความเข้มข้นของ O_3 มีความสัมพันธ์กับความเข้มแสงอุลตราไวโอเล็ตมีค่าสหสัมพันธ์ 0.912 ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .001 ความเข้มข้นของ NMHC มีความเข้มข้นสูงสุดเฉลี่ยในเวลา 3 ชั่วโมงในแต่ละวัน คือ ช่วงเวลา 06.00 – 09.00 นาฬิกา ความเข้มข้นมีค่าระหว่าง 0.33 – 0.60 ppm ซึ่งเกินมาตรฐานของสหรัฐอเมริกาที่กำหนดไว้ แม้ว่าความเข้มข้นของ NMHC จะมีค่าสูง แต่ความเข้มข้นของ O_3 ที่ตรวจพบยังมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน และจากข้อมูล NO_x จะพบว่า NO มีความเข้มข้นสูงในเวลาเช้าและต่ำสุดในเวลากลางวัน เนื่องจากไอเสียรถยนต์ทำให้มีค่าสูงในเวลาเช้า และปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลทำให้มีค่าต่ำในตอนเที่ยงวัน เพราะ NO เปลี่ยนเป็นสารอื่น ส่วน NO_2 มีระดับความเข้มข้นต่ำจนตรวจวัดไม่พบ ซึ่งเท่ากับการเกิดโดยธรรมชาติ และมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานมาก

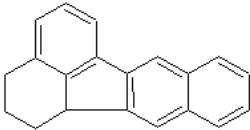
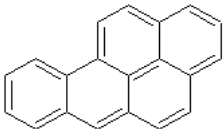
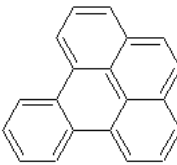
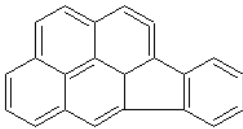
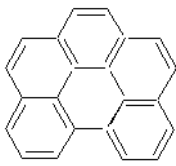
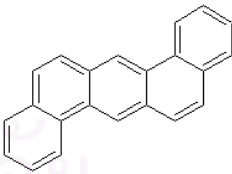
2.11 สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs)

สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นสารเคมีที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติก (Aromatic ring) ตั้งแต่ 2 วงเชื่อมต่อกัน การเชื่อมต่อกันได้ทั้งแบบเส้นตรง มุมงอ หรือต่อกันเป็นกลุ่ม PAHs ที่อุณหภูมิปกติทั่วไป จะเป็นของแข็ง มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง ความดันไอต่ำละลายน้ำได้น้อยมาก PAHs เป็นสารที่เฉื่อย และสามารถสลายในสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยา Photodecomposition และปฏิกิริยาที่เกิดกับ NO_x SO_x O_3 และ OH-radical PAHs สามารถก่อตัวเป็นสารต่างๆ ได้หลากหลายขึ้นอยู่กับจำนวนวงอะโรมาติกที่อยู่ในโมเลกุล สามารถเข้าสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายทางทั้งจากธรรมชาติ และกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การซึมของน้ำมันดิบสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ และดิน ไฟไหม้ป่า ภูเขาไฟระเบิด ซึ่งเหล่านี้ทำให้เกิดการปนเปื้อนโดยธรรมชาติ ส่วนการกระทำของมนุษย์ที่สำคัญคือ การเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์จากรถยนต์ ซึ่งเป็นการเผาไหม้ในสภาวะที่มี O_2 จำกัด ทำให้สารประกอบอินทรีย์ของธาตุคาร์บอนไม่ถูกออกซิไดซ์เป็น CO_2 จนหมด การเผาไหม้ชนิดไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิด PAHs ได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่เผาไหม้ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ปล่อย PAHs ได้แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่เผาไหม้ ซึ่งเป็นกิจกรรมที่สำคัญที่ปล่อย PAHs ปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน

ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของ PAHs

ชื่อเคมี	ชื่อย่อ	น้ำหนักโมเลกุล (กรัม)	สูตรโครงสร้าง
Phenantrene	Phe	178.2	
Anthracene	An	178.2	
Fluoranthene	Fluo	202.3	
Pyrene	Pyr	202.3	
Chrysene	Chry	228.3	
11H-Benzo(a)Fluorene	11H-B(a)F	216	
11H-Benzo(b)Fluorene	11H-B(b)F	216	
Benzo(a)Anthracene	B(a)A	228.3	
Benzo(b)Fluoranthene	B(b)F	252.3	

ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของ PAHs (ต่อ)

ชื่อเคมี	ชื่อย่อ	น้ำหนักโมเลกุล (กรัม)	สูตรโครงสร้าง
Benzo(k)Fluoranthene	B(k)F	252.3	
Benzo(a)Pyrene	B(a)P	252.3	
Benzo(e)Pyrene	B(e)P	252.3	
Indeno(1,2,3-c,d)Pyrene	Ind	276.3	
Benzo(g,h,i)Perylene	B(g,h,i)P	276.3	
Dibenzo(a,h)Anthracene	D(a,h)A	278.4	

ที่มา IPCS, 1998

PAHs แบ่งเป็น 3 กลุ่มตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็ง สารที่อาจก่อมะเร็ง และสารที่ไม่ก่อมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer [IARC], 1983) การจัดกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลองสามารถแสดงในตาราง 2.2 น่าสังเกตว่าไม่มี PAHs ใดที่ IARC จัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์ แม้ว่า PAHs หลายสารเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง และเป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่

ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่ามีสาเหตุหรือเป็นส่วนที่ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ เช่น คาร์บอนหรือ น้ำมันดิบ เขม่าจากเตาเผาถ่าน หรือจากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากเป็นการยากที่จะตรวจยืนยันปริมาณความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดที่มนุษย์ได้รับในสารผสมเหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีสารก่อมะเร็งอื่นๆ ปะปนอยู่ในสารผสมดังกล่าวด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

ตารางที่ 2.2 การแบ่งชนิด PAHs ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง

กลุ่ม 2A	สารที่น่าจะก่อมะเร็ง (Probably carcinogen to humans) มี 3 สาร		
	Benzo(a)Anthracene	Benzo(a)Pyrene	
	Dibenzo(a,h)Anthracene		
กลุ่ม 2B	สารที่อาจก่อมะเร็ง (Possibly carcinogen to humans) มี 11 สาร		
	Benzo(b)Fluorathene	Benzo(j)Fluorathene	
	Benzo(k)Fluorathene	Dibenzo(a,e)Pyrene	
	Dibenzo(a,h)Pyrene	Dibenzo(a,i)Pyrene	
	Dibenzo(a,l)Pyrene	Dibenzo(a,j)Acridine	
	Dibenzo(a,h)Acridine	Indeno(1,2,3-cd)Pyrene	
	Naphthalene		
กลุ่ม 3	สารที่ไม่ก่อมะเร็ง (Unclassifiable as to carcinogenicity to human) มี 23 สาร		
	Antracene	Benzo(a)Acridine	Benzo(a)Fluorene
	Benzo(a)Phenanthrene	Benzo(b)Fluorene	Benzo(c)Fluorene
	Benzo(e)Pyrene	Benzo(g,h,i)Fluorathene	Benzo(g,h,i)Perylene
	Cyclopental(c,d)Pyrene	Dibenzo(a,c)Anthracene	Dibenzo(a,j)Anthracene
	Dibenzo(a,e)Fluorathene	Dibenzo(h,r,s,t)Pentaphene	Dibenzo(c)Acridine
	Fluorene	Fluorantene	Perylene
	Phenanthrene	Pyrene	Triphenylene

ที่มา : ดัดแปลงมาจากข้อมูลกรมควบคุมมลพิษ (2543)

PAHs จะมีฤทธิ์เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity) ด้วยเนื่องจาก PAHs บางชนิดที่เข้าสู่ร่างกายจะถูกเมตาโบไลต์ด้วยเอนไซม์ Cytochrome P-450 ทำให้เกิดการเติมหมู่ hydroxyl (-OH) ที่วงเบนซินได้เป็นสารอนุพันธ์ epoxide ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวมาก สามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ได้ดีกับสารพวกกรดนิวคลีอิก และโปรตีน จากการศึกษาตำแหน่งบนโครงสร้าง

DNA พบว่าเบสและหมู่ฟอสเฟตเป็นตำแหน่งที่สร้างพันธะโควาเลนต์กับสารก่อมะเร็ง (ไพลิน ใบ ผกา, 2546)

2.11.1 ปฏิกริยาในบรรยากาศ

ปริมาณและการกระจายของ PAHs จะขึ้นกับความคงตัวของ PAHs ในบรรยากาศด้วย เมื่อ PAHs ถูกปล่อยออกสู่อากาศ อนุภาคเหล่านี้จะเข้าสู่กระบวนการหลายอย่างซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

- กระบวนการทางกายภาพ โดยการตกกลับโดยมวลของอนุภาคตามแรงโน้มถ่วงของโลกหรือแบบแห้ง (Dry deposition) หรือถูกชะด้วยอนุภาคน้ำฝน อนุภาคน้ำ (Wet deposition)

- การเคลื่อนย้าย และการเคลื่อนที่ด้วยการยกตัวของมวลอากาศ การปั่นป่วน (turbulence) และการเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความร้อนในบรรยากาศ

- การย่อยสลาย (Degradation) และการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (Conversion) ด้วยกระบวนการทางเคมี หรือทำปฏิกิริยากับแสง

- การแลกเปลี่ยนสถานะระหว่างก๊าซ และที่ดูดซับอนุภาคเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลของสถานะ

2.11.2 การย่อยสลายด้วยแสง

กระบวนการ Photodegradation เป็นกระบวนการสำคัญของการสลายตัวของ PAHs ในบรรยากาศ เป็นผลมาจากการกระตุ้นของแสง เช่น จะเกิดปฏิกิริยาได้ดีระหว่างเดือนที่ร้อน เนื่องจากมีชั่วโมงที่มีแสงสว่างมากกว่า และมีความเข้มของแสงที่มาก (Panther และคณะ, 1999) ข้อมูลการย่อยสลายด้วยแสงของ PAHs ในอากาศ ซึ่งส่วนใหญ่ถูกดูดซับอยู่บนเถ้าลอย ผง ถ่าน มีความแตกต่างกันอย่างมาก ถึงแม้ว่าเป็น PAHs สารกลุ่มเดียวกันก็ตามคือ มีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่า 1 ชั่วโมงจนถึง 1000 ชั่วโมง Behymer และ Hites (1988) ศึกษาว่ามีปัจจัยใดมีผลต่อการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs จากการศึกษพบว่าค่าครึ่งชีวิตของการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs ไม่ว่าจะโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติกกี่วงก็ตาม ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเถ้าลอย เช่น องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอน พื้นที่ผิวและสี ซึ่งมีความสำคัญมาก เถ้าลอยยังมีสีเข้มมากเท่าใด ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ก็ยิ่งมากคือ สลายตัวได้ช้า เนื่องจากเถ้าลอยที่มีสีเข้มดูดกลืนแสงได้ดี ทำ

ให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับ PAHs ได้น้อย ถ้าลอยมีสีจางค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ยิ่งน้อยสลายตัวได้เร็ว

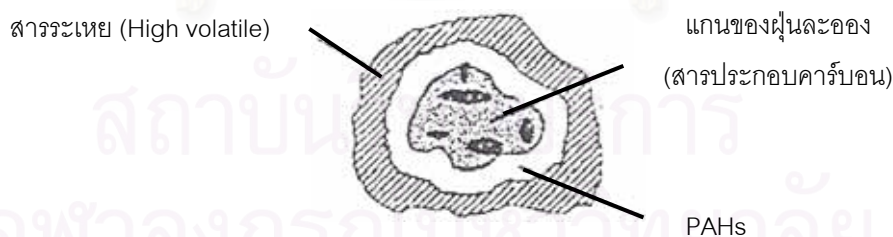
2.11.3 การกลายเป็นไอ (Evaporation)

PAHs เกือบทุกชนิด จะเหายกลายเป็นไอได้น้อยมากที่อุณหภูมิห้อง Benzo(g,h,i) Perylene มีค่าความดันไอเพียง 1×10^{-10} mmHg ที่ 20°C Naphthalene มีค่าความดันไอที่ 1 mmHg ที่ 53°C และระเหิดได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการกลายเป็นไอของ PAHs ที่อุณหภูมิห้องเกิดได้น้อยมากหรือไม่เกิดเลย จึงไม่เป็นวิธีสำคัญที่ทำให้ PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อม

2.11.4 การรวมตัวกับอนุภาคในบรรยากาศ

PAHs สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นาน 1 เดือนถึง 1 ปี กระบวนการที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ ได้แก่ การควบแน่น (condensation) การดูดซับ (absorption) สามารถแบ่ง PAHs ได้ 2 สถานะ ดังภาพที่ 2.11 คือ

- 1) สถานะก๊าซ (gas phase) เป็นสารระเหย อยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C
- 2) สถานะฝุ่นละออง (particulate phase หรือ particle-bound PAHs, pPAHs) ซึ่งจะเกาะหรือดูดซับกับอนุภาคฝุ่นละออง



ภาพที่ 2.11 องค์ประกอบของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (Chetwittayachan, 2001)

PAHs จะเกาะอยู่บนอนุภาคที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ มีลักษณะโครงสร้างแบบชั้น (shell structure) และ PAHs จะถูกปกคลุมด้วยสารกลุ่ม high volatile ชั้นอื่นอีกชั้นหนึ่ง สามารถจำแนกลักษณะของอนุภาคออกเป็น 3 ประเภท คือ

- 1) PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอนมีขนาดเล็กกว่า $0.1 \mu\text{m}$

2) PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคขนาดเล็ก หรือถูกดูดซับที่อนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.1-2 μm ห่อหุ้มด้วยสารประกอบในกลุ่ม high volatile

3) PAHs ที่เข้าไปเกาะติดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (ขนาด 2-10 μm)

2.11.5 ชนิดของ PAHs ในฝุ่นละออง

ปาจริย์ ทองสนิท (2545) ศึกษา pPAHs ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 μm ในกรุงเทพมหานคร ได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ดินแดง สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม โรงเรียนสิงหราช และมหาวิทยาลัยกรุงเทพ พบว่า Benzo(e)Pyrene, indeno(1,2,3-cd)Pyrene และ Benzo(g,h,i)Perylene เป็นองค์ประกอบหลักของ PAHs ในฝุ่นซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 97 ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.95 μm ที่ปล่อยจากรถยนต์ดีเซล และพบว่ารถยนต์เบนซินมี Benzo(g,h,i)Perylene เป็นองค์ประกอบหลัก

Bi และคณะ (2003) ศึกษา PAHs 37 ชนิดในฝุ่น TSP และก๊าซ โดยเก็บตัวอย่างบริเวณ LiWan ซึ่งเป็นพื้นที่พักอาศัย การค้าขาย โรงเรียน และบริเวณจราจรที่ติดขัด เก็บตัวอย่างในเดือนเมษายน และกรกฎาคม ที่ระดับพื้น และสูงจากพื้นดิน 25 m พบว่าค่า total PAHs มีค่า 134.4-298.5 $\text{ng}\cdot\text{m}^{-3}$ ที่ระดับพื้นพบ Phenanthrene, Fluoranthene, Pyrene, Chrysene, indeno(1,2,3-cd)Pyrene และ Benzo(g,h,i)Perylene ที่ระดับร้อยละ 69 และที่ 25 m พบร้อยละ 77 และพบว่า PAHs ที่เป็น semi-volatile จะปรากฏอยู่ได้ทั้งรูปของฝุ่นและก๊าซ ซึ่งขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะปรากฏอยู่ในรูปก๊าซ Phenanthrene, Fluoranthene และ Pyrene (3-4 rings) ในขณะที่ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะอยู่ในรูปฝุ่น จาก Chrysene จนถึง Coronene ยกเว้น Perylene

Garivait และ Polprasert (1999) พบว่า PAHs ที่มีวงแหวน 4 วงขึ้นไป ส่วนมากจะอยู่ในรูปของฝุ่น โดย Benzo(a)Anthracene และ Benzo(e)Pyrene จะอยู่ในรูปฝุ่นร้อยละ 77 และ Benzo(a)Pyrene, Dibenzo(a,h)Anthracene และ Benzo(g,h,i)Perylene อยู่ในรูปฝุ่น 100 %

ชูชัย หล่อนิมิตดี (2548) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs กับฝุ่น PM_{10} ในจังหวัดพิษณุโลก 4 จุด บริเวณริมถนน ได้แก่ วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก วัดราชบูรณะ ถนนบรมไตรโลกนาถ และสถานีตำรวจภูธรพิษณุโลก ระหว่างเดือนมิถุนายน 2546 ถึงเดือนมกราคม 2547

พบ Dibenzo(a,h)Anthracene, Benzo(b)Fluoranthene, Benzo(a)Pyrene และ Indeno[1,2,3-cd] Pyrene เป็นองค์ประกอบหลักในฝุ่น PM₁₀

2.11.6 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของ PAHs

1) อุณหภูมิ

โดยทั่วไปตัวแปรเกี่ยวกับการกระจายตัวของ PAHs คือ อุณหภูมิ พบว่า PAHs มีปริมาณสูงเมื่ออุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ PAHs เปลี่ยนสถานะกลายเป็นก๊าซได้ดี Fang และคณะ (2003) ศึกษา pPAHs และ gas-PAHs ในได้หวั่น 2 แห่งคือ บริเวณ Taichung Industrial Park (TIP) ซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และบริเวณ Tunghai University Campus (THUC) เป็น suburban โดยเก็บวิเคราะห์ PAHs ในตัวอย่างฝุ่น TSP เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า ความเข้มข้น PAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยพบว่าความสัมพันธ์ของความเข้มข้น PAHs ทั้ง 2 แห่งกับอุณหภูมิแปรผกผันกัน โดย gas-PAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (Correlation coefficients) $R_{THU} = -0.459$ $R_{TIP} = -0.604$ สำหรับ pPAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ $R_{THU} = -0.022$ $R_{TIP} = -0.216$

Guo และคณะ (2003) ทำการศึกษาความเข้มข้น PAHs ในฝุ่น PM_{2.5} และ PM₁₀ ในฮ่องกงในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-มีนาคม) และฤดูร้อน (มิถุนายน-สิงหาคม) โดยพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ย่านธุรกิจการค้า และที่อยู่อาศัย พบว่า PAHs ในช่วงฤดูหนาวมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูร้อนทั้งในฝุ่น PM_{2.5} และ PM₁₀ ฤดูหนาว PAHs ในฝุ่น PM_{2.5} และ PM₁₀ มีค่า 41.75 และ 54.72 ng m⁻³ ตามลำดับ และในฤดูร้อน PAHs ในฝุ่น PM_{2.5} และ PM₁₀ มีค่า 4.87 และ 5.82 ng m⁻³ ตามลำดับ

Park และคณะ (2002) พบว่า PAHs มีปริมาณสูงในฤดูหนาว เนื่องจากมีการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ให้ความร้อนภายในที่อยู่อาศัย และประกอบกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น lower mixing layer และ lower air temperature เป็นต้น

2) ความชื้นสัมพัทธ์

McDow และคณะ (1999) กล่าวว่ากระบวนการ water sorption โดย aerosol ในฝุ่นจะจับกับ PAHs ไม่ดีนัก PAHs ในควันจากเขม่ารถยนต์ดีเซลจะเกี่ยวข้องกับพวกชั้นของเหลวที่เป็นสารอินทรีย์ที่เคลือบบนของแข็งที่เป็น element carbon จึงทำให้ส่วนของน้ำที่บรรจุด้วย organic layer กับ PAHs เกี่ยวข้องกับการสลายตัวด้วยแสงของ McDow และคณะ

(1994) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสลายตัวของ PAHs กับแสงและความเข้มข้นของไอน้ำ (water vapor concentration) โดยเก็บฝุ่นบนกระดาษกรอง Teflon coated glass fiber filters ทำการเก็บตัวอย่าง 3 ชนิด คือ wood smoke จากปล่องเตาผิงในบ้านเรือน diesel soot และ gasoline power พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างน้ำที่ดูดซับบนฝุ่นกับความเข้มข้นสัมพัทธ์ โดยเมื่อน้ำหนักตัวอย่างเพิ่มขึ้น เปอร์เซนต์ความเข้มข้นจะสูงขึ้นด้วย โดยตัวอย่างจากรถเบนซิน และ wood smoke มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำหนักจากตัวอย่างรถดีเซล 3-5 เท่า ที่ความเข้มข้นสัมพัทธ์เดียวกัน พบว่าค่าประมาณของ wood smoke ที่มีน้ำอยู่ต่ำสุด 5-10% ในฝุ่นชนิดนี้มีความเข้มข้นสัมพัทธ์ที่ 90% จากพื้นฐานนี้จึงทดลองการเกิด Photodegradation ของ Benzo(a)Anthracene และ Benzo(k)Fluoranthene ใน methoxyphenol mixtures ที่ไม่มีส่วนของน้ำ ผลนี้ชี้ว่าอัตราการเกิด Photodegradation ของ PAHs เพิ่มขึ้นเมื่อส่วนประกอบของน้ำมากขึ้นใน particle organic layer

3) ความเร็วและทิศทางการลม

ความเร็วลมมีผลต่อความเข้มข้นของ PAHs โดยเมื่อความเร็วลมสูงจะทำให้ PAHs เกิดการกระจายตัวได้ดี ความเข้มข้นจะลดต่ำลง แต่ถ้าความเร็วลมต่ำจะทำให้ความเข้มข้นมลพิษสูง Fang และคณะ (2003) ศึกษา PAHs ในฝุ่น TSP และ gas-PAHs ในได้หวั่น พบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีความสัมพันธ์แปรผกผันกับความเร็วลม โดยพบว่า pPAHs และ gas-PAHs มีความสัมพันธ์กับความเร็วลม (Correlation coefficient) $R = -0.388$ และ -0.202 ตามลำดับ

4) ความเข้มแสง

แสงอาทิตย์เกี่ยวข้องกับ PAHs เนื่องจาก PAHs สามารถเกิดปฏิกิริยา Photodegradation ด้วยแสง ซึ่งเกิดจากกระบวนการ Photolysis โดยตรงจากแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 290 nm และกระบวนการ Photolysis ทางอ้อมด้วย oxidizing agent เช่น OH O₃ และ NO₃ ในอากาศ โดยทั่วไป Photolysis ทางอ้อมหรือ Photooxidation เป็นกระบวนการที่สำคัญกว่ากระบวนการ Photolysis โดยตรง และ PAHs ที่ดูดซับบนเขม่าที่เกิดปฏิกิริยากับ NO_x พบว่ามีค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวตั้งแต่ 3.7-30 และพบว่าการสลายตัวของ PAHs จะช้าเมื่อมีแสงแดดน้อย (IPCS, 1998)

2.11.7 ปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous reaction) ระหว่างอนุภาค PAHs และอนุภาคก๊าซ

Fan และคณะ (1996) ศึกษาปฏิกิริยาระหว่าง O_3 และ NO_2 กับ Nitro-pPAHs จากเขม่าของเครื่องยนต์ดีเซลภายในห้องปฏิบัติการ โดยมีการเติม O_3 0.6-0.9 ppm และ NO_2 0.03-0.5 ppm พบว่าอัตราการสลายตัวของ Nitro-pPAHs ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับ O_3 มีค่าอยู่ระหว่าง $(1.5 - 2.5) \times 10^{-3} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$ และอัตราการสลายตัวของ Nitro-pPAHs ที่เกิดในปฏิกิริยาระหว่าง NO_2 - NO_3 - N_2O_5 พบว่ามีค่าน้อยกว่า $0.001 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$ แต่อย่างไรก็ตามการสลายตัวของ Nitro-pPAHs ในตอนกลางวันจะเกิดจากปฏิกิริยา Photodegradation มากกว่าการทำปฏิกิริยากับ O_3

Pucknat และคณะ (1981) พบการสูญหายของ Benzo(a)Pyrene 15-50 % ที่อยู่บนกระดาษกรองและในกลุ่มควัน เมื่อให้ถูกแสงนาน 6 ชั่วโมง และพบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Anthracene และ Pyrene เมื่อถูกแสงอุลตราไวโอเล็ต ภายในบรรยากาศที่มี O_2 อยู่ด้วย

Pitts และคณะ (1981) ได้ศึกษาปฏิกิริยาระหว่าง PAHs และ NO_x ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ พบว่า Benzo(a)Pyrene และ Perylene บนแผ่นกรองจะเปลี่ยนรูปเป็น nitro-derivatives ของ PAHs โดยการรวมตัวกับ NO_2

Brorström และคณะ (2003) พบว่า NO_2 และ O_3 มีผลต่อการย่อยสลาย pPAHs ได้แก่ Pyrene, Benzo(a)Anthracene และ Benzo(a)Pyrene จะสลายตัวในปฏิกิริยาไนเตรชัน (Nitration reaction)

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Chan และ Kwork (2000) ศึกษาการกระจายตัวของอนุภาคในอากาศตามระดับความสูงในฮ่องกง โดยเลือกสถานที่เก็บตัวอย่าง 4 อาคาร ซึ่งตั้งอยู่บนถนนที่มีโครงสร้างและสิ่งแวดล้อมแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังแบ่งโครงสร้างถนนออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ถนนที่มีอาคารสูงปิดทึบทั้งสองฝั่ง (street canyon) และถนนเปิดโล่ง (open street) ผลการศึกษา พบว่า บริเวณถนนที่มีอาคารปิดทึบ ความเข้มข้นจะลดลงตามความสูง ซึ่งเป็นผลจากอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะตกลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วง และอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะกระจายออกไปมากกว่า การแพร่กระจายของอนุภาคบริเวณถนนที่มีอาคารปิดทึบขึ้นอยู่กับทิศทางลมบริเวณนั้นๆ และโครงสร้างของถนน ส่วนบริเวณ

ถนนเปิดโล่ง ความเข้มข้นในแนวระดับขึ้นอยู่กับ vertical mixing, local distribution และปัจจัยภายนอก เช่น ลมทะเล เป็นต้น

Chetwittayachan (2001) ศึกษาความเข้มข้นของ pPAHs ในกรุงเทพมหานคร ทำการศึกษาในเดือนมีนาคม (ฤดูร้อน) และเดือนสิงหาคม (ฤดูฝน) ปี 2548 พบว่าที่ความสูงระดับพื้น ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ pPAHs ทั้ง 2 ฤดู ไม่แตกต่างกัน แต่ที่ระดับความสูงของอาคาร 4 ชั้น ความเข้มข้นเฉลี่ยของ pPAHs ในฤดูฝนสูงกว่าฤดูร้อน เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของ pPAHs และปัจจัยอื่นๆ สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Multiple linear regression model) พบว่า ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ pPAHs คือ ธรณีวิทยาขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดหลักของ pPAHs ความเร็วลม และอุณหภูมิ

Garivait และ Polprasert (1999) ศึกษาพฤติกรรม และการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในบรรยากาศของกรุงเทพมหานครตามระดับความสูง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยแบ่งการศึกษา PAHs เป็นชนิดฝุ่นละอองและก๊าซ พบ PAHs 9 ชนิด ได้แก่ Pyrene, Benzo(a)Anthracene, Benzo(e)Pyrene, Benzo(k)Fluorene, Benzo(a)Pyrene, Dibenzo(a,h)Anthracene และ Benzo(g,h,i)Perylene พบว่าความร้อนมีผลต่อพฤติกรรมของ PAHs ในสถานะก๊าซ เพราะเขตศูนย์สูตรมีอุณหภูมิเฉลี่ย 35°C พบ PAHs ที่มีมวลโมเลกุลต่ำกว่า 202 เท่านั้น แต่ไม่พบ PAHs ที่มีโมเลกุลมากกว่าเลย

Costabile และ Allegrini (2007) ศึกษาความเข้มข้นของ NO_x และ O_3 ในเขตเมือง Suzhou ประเทศจีน โดยทำการศึกษา 1 สัปดาห์ โดยพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณ street canyon ซึ่งทำการศึกษาที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ที่ระดับพื้นบริเวณสนาม และที่ระดับความสูงจากหลังคา 25 เมตร พบว่า ความเข้มข้นของ O_3 ที่ระดับพื้นสนามที่มีค่าน้อยกว่าบริเวณหลังคา แต่ความเข้มข้นของ NO_x ที่ระดับพื้นสนามมีค่าสูงกว่าบริเวณหลังคา เนื่องจากพบว่า ในบริเวณพื้นสนามมีการเปลี่ยนรูปของ NO เป็น NO_2 ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการทำลาย O_3 ในบริเวณนั้น ทำให้ปริมาณ O_3 บริเวณนั้นเกิดขึ้นได้น้อยกว่าบริเวณหลังคา นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลในบริเวณหลังคาเกิดขึ้นได้ดีกว่าบริเวณพื้นสนาม ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของมลสารทั้ง 2 ระดับความสูง จะขึ้นกับการปล่อยมลสารในแต่ละระดับ กระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการเคลื่อนที่ของลม ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อระดับความเข้มข้นของมลสารทั้งสิ้น

Kalaiarasan และคณะ (2007) ศึกษาการกระจายตัวของ PAHs ในฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ตามระดับความสูงที่แตกต่างกัน 3 ระดับของอาคารสูง 16 ชั้น คือ ระดับล่างที่ความสูงจากพื้นดิน 11 m

ระดับกลางที่ความสูงจากพื้นดิน 28 m และระดับบนสุดที่ความสูงจากพื้นดิน 39 m โดยพื้นที่ที่ทำการศึกษาอยู่ในบริเวณที่มีทางด่วนสายหลักๆ และมีการจราจรคับคั่งในประเทศสิงคโปร์ พบว่าระดับล่าง PAHs จะมีความเข้มข้นสูงที่สุด และจะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เมื่อกระจายตัวขึ้นไปยังระดับกลาง และระดับบนสุด ซึ่งสอดคล้องกับความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น กล่าวคือ ระดับล่างสุดจะมีความเร็วลมน้อยที่สุดจึงก่อให้เกิดการสะสมตัวของ PAHs ในชั้นนี้มากกว่าชั้นอื่น แต่ในทางกลับกันพบว่าอนุภาคนิวเมอโรในระดับล่างมีค่าสูงที่สุด และลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าไม่ได้สอดคล้องกับการสะสมตัวของ PAHs ในความสูงระดับล่าง และจากการศึกษายังพบว่า PAHs ที่เป็นองค์ประกอบหลักในฝุ่น $PM_{2.5}$ ในการศึกษานี้ได้แก่ Naphthalene, Phenanthrene, Fluoranthene และ Benzo(g,h,i)Perylene



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

3.1.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา เป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเล เพราะอยู่ทางภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยของประเทศไทย มีการจราจรที่หนาแน่น อันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและมีจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นเมืองท่องเที่ยว และศูนย์กลางการค้าไม่ว่าจะเป็นนักท่องเที่ยวชาวไทย และนักท่องเที่ยวที่มาจากต่างประเทศ นอกจากนี้ยังมีปัญหาหมอกควันข้ามแดนจากประเทศเพื่อนบ้าน เช่น ประเทศอินโดนีเซีย และประเทศมาเลเซีย รวมทั้งยังเป็นแหล่งอุตสาหกรรม จากข้อมูลกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่าอำเภอหาดใหญ่เป็นอำเภอที่มีโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุดในจังหวัดสงขลา (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)



ภาพที่ 3.1 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

(1) โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่

(2) โรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่

การศึกษาวิจัยในพื้นที่นี้ได้ทำการศึกษา 3 ระดับความสูง ดังนี้

1. ชั้นล่าง (Above Roughness Length) มีความสูงประมาณ 40 m จากระดับพื้นดิน (ชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่)

2. ชั้นกลาง (Surface Layer) มีความสูงประมาณ 70 m จากระดับพื้นดิน (ชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่)

3. ชั้นบน (Urban Boundary Layer) มีความสูงประมาณ 132 m จากระดับพื้นดิน (ชั้น 32 ชั้นตาดฟ้าของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่)

3.1.2 กรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น สภาพทางภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบลุ่มมีระดับต่ำ อยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่เกิน 1.5 – 2.0 m ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงเกือบตลอดปี เนื่องจากตั้งอยู่ใกล้อ่าวไทย ซึ่งมีไอน้ำพัดเข้าถึงสม่ำเสมอ และทัศนวิสัยของกรุงเทพฯ เมื่อเวลา 07.00 น.จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.6-8.0 km ปัจจุบันเป็นเมืองที่มีการคมนาคมคับคั่ง เนื่องจากมีการจัดการเดินรถที่ไม่พอดี อีกทั้งยังมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณรถอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการจราจรที่คับคั่งนี้จะทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้ช้า เกิดการถ่ายเทอากาศน้อย การสันดาปของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ จึงก่อให้เกิดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศออกมา ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAH_s) และฝุ่นละออง โดยเฉพาะฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 μm (PM_{10}) เมื่อสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) และ NO_x ในบรรยากาศทำปฏิกิริยาเป็นออกซิแดนท์ (Oxidants) ในบรรยากาศโดยแสงอุลตราไวโอเล็ต (UV)



ภาพที่ 3.2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

(1) โรงแรมไบฮอกสกาย

(2) โรงแรมไบฮอกสุท

การศึกษาวิจัยในพื้นที่นี้ได้ทำการศึกษา 3 ระดับความสูง ดังนี้

1. ชั้นล่าง (Roughness Layer) มีความสูงประมาณ 38 m จากระดับพื้นดิน (ชั้น 10 โรงแรมไบเทคหจก)
2. ชั้นกลาง (Surface Layer) มีความสูงประมาณ 158 m จากระดับพื้นดิน (ชั้น 43 ชั้นดาดฟ้าโรงแรมไบเทคหจก)
3. ชั้นบน (Urban Boundary Layer) มีความสูงประมาณ 328 m จากระดับพื้นดิน (ชั้น 83 ชั้นดาดฟ้าของโรงแรมไบเทคสกาย)

3.1.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ เป็นศูนย์กลางของความเจริญทางภาคเหนือของประเทศไทย และมีอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นอันดับสองรองจากกรุงเทพมหานคร เนื่องจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของเชียงใหม่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นพิษย่อมเกิดขึ้น ทั้งจากสภาพภูมิศาสตร์ของเชียงใหม่ที่ล้อมรอบไปด้วยเทือกเขา ทำให้ใจกลางเมืองมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง และรวมไปถึงมลพิษทางอากาศที่เกิดจากท่อไอเสียรถยนต์ รถจักรยานยนต์ที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นทุกวัน พอเข้าสู่ฤดูร้อนหรือหน้าแล้งครวไรโต มักเกิดปัญหาหมอกควันจากไฟป่า สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้กลายเป็นมลพิษแผ่เข้าปกคลุมเมืองใหญ่เข้าชั้นวิกฤติ ที่เห็นชัดเจนคือ สภาพอากาศปิดจากหมอกควันลอยคลุมไปทั่วเมือง



ภาพที่ 3.3 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

- (1) โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง
- (2) โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน

การศึกษาวิจัยในพื้นที่นี้ได้ทำการศึกษา 3 ระดับความสูง ดังนี้

1. ชั้นล่าง (Roughness Layer) มีความสูงประมาณ 12 m จากระดับพื้นดิน (ชั้น 4 โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน)
2. ชั้นกลาง (Surface Layer) มีความสูงประมาณ 52 m จากระดับพื้นดิน (ชั้น 16 ชั้นตาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแมงป่อง)
3. ชั้นบน (Urban Boundary Layer) มีความสูงประมาณ 152 m จากระดับพื้นดิน (ชั้น 23 ชั้นตาดฟ้าของโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน)

3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินการศึกษา

3.2.1 เครื่องมือวัดความเข้มข้นก๊าซ O_3 , NO_x และ CO

3.2.1.1 เครื่อง UV Adsorption O_3 Analyzer Model 400 E: Teledyne Technologies Company เป็นเครื่องมืออัตโนมัติ ซึ่งตรวจวัดความเข้มข้นของ O_3 ในบรรยากาศ โดยวิธีดูดกลืนแสง UV ของโมเลกุล O_3 เมื่อมี Path length ความเข้มข้นและความยาวช่วงคลื่นของแสง UV คงที่ ความเข้มข้นของ O_3 จะมีความสัมพันธ์เป็นไปตามกฎของ Beer - Lambert Law

3.2.1.2 เครื่อง Chemiluminescence $NO/NO_2/NO_x$ Analyzer: Model 200E: Teledyne Technologies Company เป็นเครื่องมืออัตโนมัติ ซึ่งตรวจวัดความเข้มข้นของ NO , NO_2 และ NO_x ในบรรยากาศ โดยหลักการ Chemiluminescence อาศัยให้เครื่องตรวจวัด NO_x และ NO ก่อน แล้วจึงนำค่าทั้งสองมาหักออกจากกันก็จะได้ค่า NO_2 ในขั้นแรกจะตรวจวัด NO ก่อนโดยอาศัยหลักการที่ NO ทำปฏิกิริยากับ O_3 แล้วให้ $NO + O_2$ โดยที่ NO_2 ที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูป electronically - excited state (NO^*) และกลับสู่ ground state ทันทีพร้อมกับคายพลังงานแสง (photon) ออกมา พลังงานแสงที่ออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณ NO ซึ่งสามารถตรวจวัดปริมาณได้โดย photomultiplier tube สำหรับการตรวจวัด NO_x ก็ทำได้โดยการเปลี่ยนออกไซด์ของไนโตรเจนตัวอื่น ๆ ให้กลายเป็น NO แล้ววัดปริมาณ NO ทั้งหมด ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าออกไซด์ของไนโตรเจนทั้งหมด จากนั้นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในเครื่องมือวัดก็จะคำนวณค่า NO_2 ได้โดยนำค่า NO_x หักออกจากค่า NO_x

3.2.1.3 เครื่อง Gas Filter Correlation CO Analyzer: Model 300 E: Teledyne Technologies Company เป็นเครื่องมืออัตโนมัติ ซึ่งตรวจวัดความเข้มข้นของ CO โดยใช้หลักการ Non-dispersive Infrared กล่าวคือ รังสีอินฟราเรด (Infrared: IR) จะถูกดูดกลืนด้วยสารต่างชนิด

ไม่เท่ากัน สารต่างชนิดกันจะดูดกลืนรังสี IR ที่ความยาวคลื่นต่างกัน ดังเช่น CO_2 จะดูดกลืนรังสี IR ที่ความยาวคลื่น 4.0 ถึง 4.5 nm และ CO จะดูดกลืนรังสี IR ที่ความยาวคลื่น 4.5 ถึง 5.0 nm การตรวจวัดจะทำการดูดก๊าซที่ต้องการวัดผ่านเข้าไปในหลอด ซึ่งฉายแสง IR ตลอดเวลา ถ้าก๊าซมี CO อยู่ จะทำการดูดกลืนรังสี IR ซึ่งรังสี IR สุดท้ายจะลดลงแปรตามปริมาณของ CO



(1)

(2)

(3)

ภาพที่ 3.4 แสดงเครื่องมือ (1) Chemiluminescence NO/NO₂/NO_x Analyzer: Model 200E

(2) Gas Filter Correlation CO Analyzer: Model 300 E

(3) UV Adsorption O₃ Analyzer Model 400 E

3.2.2 เครื่องมือเก็บฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (High volume air sampler)

เครื่องมือเก็บฝุ่น PM₁₀ มีขนาดและรูปร่างของชุดเก็บตัวอย่างมาตรฐาน US.EPA CFR 40, App. J, Part 50 ดังแสดงในภาพที่ 3.5 ในชุดเก็บตัวอย่างจะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ อุปกรณ์ดูดอากาศ และอุปกรณ์บันทึกอัตราการไหลหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเครื่องบันทึกอัตราการไหลนี้จะต้องปรับแต่ง โดยปรับเทียบกับความดันของน้ำ ซึ่งคำนวณกลับไปเป็นอัตราการไหลของชุดปรับเทียบ แล้วจึงนำไปเก็บตัวอย่าง โดยที่อากาศจะดูดผ่านกระดาศกรอง ในอัตราการไหล 1.012 m³ min⁻¹ ให้ฝุ่น PM₁₀ ถูกดักไว้ที่กระดาศกรองชนิดควออร์ต (Quartz fiber filter) ความเข้มข้นของฝุ่น PM₁₀ ในบรรยากาศ (μg m⁻³) จะคำนวณได้จากปริมาณของฝุ่นบนกระดาศกรองที่ซึ่งได้กับปริมาตรของอากาศที่ผ่านกระดาศกรองดังกล่าว โดยนำกระดาศกรองควออร์ตที่เก็บตัวอย่างฝุ่นไปชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

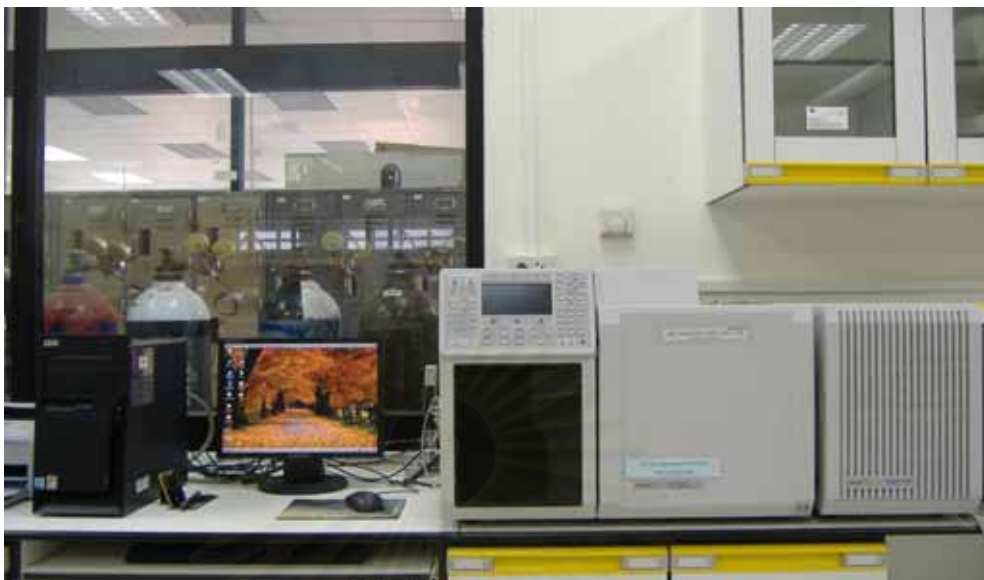


ภาพที่ 3.5 อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่น PM₁₀ ชนิดไฮโวลูม

3.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs

เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่น สำหรับการศึกษาคั้งนี้ คือ เครื่อง Gas Chromatography ต่อกับ Mass Spectrometer (GC/MS) โดยการศึกษาใช้ Gas Chromatography รุ่น CP-3800 ต่อกับ Mass Spectrometer รุ่น Saturn 2200 ผลิตโดยบริษัท Varian แสดงดังภาพที่ 3.6 และติดตั้ง Capillary column ชนิด DB-5ms ที่มีความยาว 60 m ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (I.D) 0.25 mm และความหนาของฟิล์มของเหลว (film thickness) 0.25 μm โดย column มีขีดจำกัดของอุณหภูมิใช้งาน 350 $^{\circ}\text{C}$ ผลิตโดยบริษัท Agilent Technologies เครื่อง GC/MS ได้รับความอนุเคราะห์จากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้งานหลังการสกัดสาร PAHs เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณสาร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 3.6 Gas Chromatography-Mass spectrometer (GC/MS)

3.2.4 เครื่องมือเก็บข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

สำหรับข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา ได้มีการเก็บข้อมูล 2 ระดับคือ

3.2.4.1 อุตุนิยมวิทยาชั้นบน (Upper meteorology) ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดลมชั้นบน (Radiosonde) โดยการปล่อยบอลลูนของกรมอุตุนิยมวิทยาประจำจังหวัดของพื้นที่ศึกษา ได้แก่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ และ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ซึ่งระยะเวลาในการปล่อยบอลลูนของกรมอุตุนิยมวิทยาของสองพื้นที่นี้จะปล่อยทุกๆ 6 ชั่วโมงต่อเนื่องกัน ดังนี้ 07.00 13.00 19.00 และ 01.00 นาฬิกา ส่วนพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครจะปล่อยบอลลูน ณ กรมอุตุนิยมวิทยา (บางนา) ซึ่งระยะเวลาในการปล่อยบอลลูนจะปล่อยทุกๆ 3 ชั่วโมงต่อเนื่อง ดังนี้ 07.00 10.00 13.00 19.00 01.00 นาฬิกา

3.2.4.2 อุตุนิยมวิทยาพื้นผิว (On-site meteorology) ข้อมูลที่ใช้ คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสงอาทิตย์ ทิศทางและความเร็วลม ด้วยเครื่อง weather monitor รุ่น vantage pro 2 ของบริษัท Davis ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเก็บข้อมูลตามระดับชั้นความสูง โดยจะรายงานผลทุกๆ 15 นาที เครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาพื้นผิวแสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 แสดงเครื่องมือตรวจวัดอนุภาคมินิวิฟ

3.2.5 วัสดุ อุปกรณ์ และสารเคมีในการเตรียมการสกัดสาร PAHs

3.2.5.1 วัสดุและอุปกรณ์

- 1) ตู้อบ (Oven)
- 2) เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 3) ตู้ดูดความชื้น (Desiccators)
- 4) ตู้ดูดควัน (Hood)
- 5) ชุดสกัดซอกเล็ต (Soxhlet)
 - ซอกเล็ต (Soxhlet body)
 - คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- 6) ขวดกลมขนาด 250 หรือ 500 ml
- 7) เตาลูกม (Heating Mantle)
- 8) ชุดระเหย (Evaporator)
- 9) ชุด Fractionation Chromatography
- 10) คีมคีบปากแบน (forceps) พันด้วยพาราฟิล์ม
- 11) หลอดแก้วก้านยาว (Disposable Glass Pipette) พร้อมลูกยาง

- 12) ขวดแก้วขนาด 15 ml
- 13) กระดาษฟอยล์อะลูมิเนียม (Aluminum Foil)
- 14) แท่งแก้วนำก๊าซไนโตรเจน
- 15) ใยแก้ว (Glass wool)
- 16) ลูกแก้ว (Anti Bumper)
- 17) ขวดปริมาตร (flask) ขนาด 250 และ 500 ml
- 18) กระจกตวง (Volumetric flask) ขนาด 15 และ 50 ml
- 19) ขวดทิ้งสารเคมี ติดฉลากแยกชนิดของสารเคมี
- 20) ขวด vial ขนาด 2 ml พร้อม insert vial ขนาด 200 μ l
- 21) ตู้เย็น อุณหภูมิต่ำกว่า 5 $^{\circ}$ C
- 22) เข็มฉีดขนาด 10 50 100 และ 500 μ l
- 23) กระดาษสติ๊กเกอร์สำหรับทำฉลากติดขวดตัวอย่าง

3.2.5.2 สารเคมี

- 1) ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas)
- 2) ก๊าซฮีเลียม 99.999% (Helium gas)
- 3) สารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane, DCM) AR grade
- 4) สารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane, DCM) HPLC grade
- 5) สารตัวทำละลายเฮกเซน (n-Hexane) HPLC grade
- 6) สารตัวทำละลายโทลูอีน (Toluene) HPLC grade
- 7) สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) HPLC grade
- 8) สารตัวทำละลายอะซีโตน (Acetone)
- 9) สารตัวทำละลายเมทานอล (Methanol)
- 10) ซิลิกาเจล (Silica gel)

3.2.5.3 สารละลายมาตรฐาน

1) สารละลายมาตรฐานของสาร PAHs 15 ชนิด (Norwegian Standard: NS 9815) ผลิตโดยบริษัท Chiron ประเทศนอร์เวย์ ซึ่งประกอบด้วย

ฟีแนนทรีน	Phenanthrene
แอนทราซีน	Anthracene
ฟลูออแรนทีน	Fluoranthene
ไพรีน	Pyrene
11 (เอช)-เบนโซ(เอ)ฟลูออแรนทีน	11H-Benzo(a)Fluoranthene
11 (เอช)-เบนโซ(บี)ฟลูออแรนทีน	11H-Benzo(b)Fluoranthene
เบนโซ(เอ)แอนทราซีน	Benzo(a)Anthracene
ไครซีน	Chrysene
เบนโซ(บี)ฟลูออแรนทีน	Benzo(b)Fluoranthene
เบนโซ(เค)ฟลูออแรนทีน	Benzo(k)Fluoranthene
เบนโซ(อี)ไพรีน	Benzo(e)Pyrene
เบนโซ(เอ)ไพรีน	Benzo(a)Pyrene
อินดีโน	Indeno(123-cd)Pyrene
ไดเบนโซ(เอ,เอช)แอนทราซีน	Dibenzo(a,h)Anthracene
เบนโซ(จี,เอช,ไอ)ไพรีน	Benzo(g,h,i)Pyrene

2) สาร Recovery ISTD-PAH ผลิตโดยบริษัท Chiron ประเทศนอร์เวย์ ซึ่งประกอบด้วย

ฟลูออรีน-ดี ₁₂	Fluorene-d ₁₂
เพอร์ลิซีน-ดี ₁₂	Perylene-d ₁₂

3.3 การดำเนินการศึกษา

3.3.1 การเก็บข้อมูล

พื้นที่เก็บตัวอย่าง

1) อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 17-20 ธันวาคม 2550 กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 3 ระดับความสูง ได้แก่

- ชั้น 8 ของโรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ ที่ระดับความสูง 30 m

- ชั้น 14 ของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ ที่ระดับความสูง 60 m
- ชั้น 32 ของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ ที่ระดับความสูง 125 m

2) กรุงเทพมหานคร ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ 2551 กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 3 ระดับความสูง ได้แก่

- ชั้น 10 ของโรงแรมไพบยกุล ที่ระดับความสูง 38 m
- ชั้น 42 ของโรงแรมไพบยกุลที่ระดับความสูง 158 m
- ชั้น 83 ของโรงแรมไพบยกุลที่ระดับความสูง 328 m

3) อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ 2551 กำหนดจุดเก็บตัวอย่าง 3 ระดับความสูง ได้แก่

- ชั้น 5 ของโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน ที่ระดับความสูง 15 m
- ชั้น 14 ของโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง ที่ระดับความสูง 55 m
- ชั้น 26 ของโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน ที่ระดับความสูง 125 m

ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1) การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ O_3 , NO_x และ CO จะรายงานผลออกมาทุกๆ 15 นาที ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันตลอดการเก็บตัวอย่าง โดยความเข้มข้นของก๊าซ O_3 และ NO_x มีหน่วยการวัดเป็นส่วนในพันล้านส่วน (ppb) และก๊าซ CO มีหน่วยการวัดเป็นส่วนในล้านส่วน (ppm)

2) เก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{10} ในบรรยากาศทุก 3 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างฝุ่นทั้ง 3 พื้นที่รวมเป็น 224 ตัวอย่าง นำตัวอย่างฝุ่นวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ PAHs โดยวิธีทางเคมี สำหรับขั้นตอนการใช้เครื่องมือเก็บฝุ่นขนาดเล็กกว่า $10 \mu m$ (High volume air sampler) มีดังนี้

- ติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น High volume air sampler เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่น ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนหัวคัดขนาดฝุ่น (PM_{10}) ตัวควบคุมอัตราการไหลของอากาศ และติดตั้งสายไฟให้เรียบร้อย

- นำกระดาษกรองควอร์ต (Quartz fiber filter) ที่เก็บรักษาไว้ในกระดาษอลูมิเนียมฟอยล์ แกะออกจากถุงซีป แล้วใช้คีมคีบปากแบน (Forceps) ที่พันด้วยพาราฟิล์ม คีบกระดาษกรองออกมาวางไว้ตรงหัวคัดขนาดอนุภาค ไม่ให้มือสัมผัสผิวกระดาษกรอง

- ใส่กระดาษ Flow chart ไปใน Flow recorder เพื่อบันทึกอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านกระดาษกรอง

- เปิดสวิทช์ให้เครื่องทำงาน และตรวจสอบอัตราการไหลของอากาศในเบื้องต้น โดยทำการตรวจสอบจากกระดาษ Flow chart

- บันทึกวันที่ เวลา หมายเลขกระดาษกรอง จดบันทึกเลขมิเตอร์ของเครื่อง High volume air sample และจดบันทึกสภาพลมฟ้าอากาศในแต่ละครั้งก่อนทำการเก็บตัวอย่าง

- หลังเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{10} ครบ 3 ชั่วโมง ปิดเครื่อง High volume air sample ก่อนจะนำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างครบเวลาที่กำหนดแล้วออกจากเครื่อง จะต้องใช้คีมคีบปากแบบที่พันด้วยพาราฟิล์ม พับกระดาษกรองครึ่งหนึ่งแล้วเก็บใส่ในกระดาษอลูมิเนียมฟอยล์แผ่นเดิม ใส่ถุงซิปป่าให้เรียบร้อยแล้วนำไปแช่เย็น

- บันทึกวันที่ เวลา จดเลขมิเตอร์เริ่มต้นของเครื่อง High volume air sample และจดบันทึกสภาพลมฟ้าอากาศหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง

3) เก็บข้อมูลอุตุนิยามวิทยา ระหว่างเก็บข้อมูลก๊าซ และตัวอย่างฝุ่น PM_{10} โดยเก็บข้อมูลอุตุนิยามวิทยาพื้นผิว (On-site meteorology) ด้วยเครื่อง weather monitor รุ่น vantage pro2 ของบริษัท Davis เก็บตัวอย่างแบบต่อเนื่องทุก 15 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง

3.3.2 การหาปริมาณความเข้มข้นฝุ่น PM_{10}

ปริมาณฝุ่น PM_{10} ในบรรยากาศ สามารถคำนวณหาความเข้มข้นได้ ดังนี้

$$\text{น้ำหนักฝุ่น } (\mu\text{g}) = \left[\text{น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง} - \text{น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง} \right] \times 10^{-6}$$

$$\text{ความเข้มข้นฝุ่น } (\mu\text{g m}^{-3}) = \frac{\text{น้ำหนักฝุ่น } (\mu\text{g})}{\text{ปริมาตรอากาศ } (\text{m}^3)}$$

3.3.3 การสกัด PAHs ในฝุ่น PM_{10} สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

การทำความสะอาดเครื่องแก้ว และอุปกรณ์

- 1) ล้างชอกเลต และขวดปริมาตรขนาด 500 ml ด้วยน้ำยาล้างแก้ว และน้ำประปาหลังจากนั้นรินด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง
- 2) ล้างกระดาษฟอยล์อะลูมิเนียมด้วย Dichloromethane (DCM) AR grade
- 3) รินเครื่องแก้วด้วย Acetone เพื่อระเหยน้ำ หลังจากนั้นนำเครื่องแก้วเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C ทิ้งไว้หนึ่งคืน

4) รอให้เครื่องแก้วเย็น ริน DCM ลงในเครื่องแก้วทั้งหมด 3 ครั้ง

5) เท DCM ที่ค้างอยู่ในเครื่องแก้วลงใน Beaker ขนาดใหญ่เพื่อนำไปเก็บในขวดแก้วสำหรับเก็บ Organic Waste

6) ริน DCM ลงใน Condenser ประมาณ 3 ครั้ง

ขั้นตอนการสกัด PAHs โดยใช้ Soxhlet

1) ใช้คีบคีบปากแบนคีบกระดาษกรอง แล้วนำมาใส่ในชอกเลต

2) หยอดลูกแก้วประมาณ 3-4 เม็ดลงในขวดกลมขนาด 500 ml

3) หลังจากนั้นทำการติดตั้งชอกเลตและคอนเดนเซอร์บนเตาหลุม (Heating Mantle)

4) Spike Internal Standard ลงบนกระดาษกรองตัวอย่างละ 50 μ l

5) เท DCM HPLC grade ลงไปในชอกเลตประมาณ 1 รอบครึ่ง

6) เปิดสวิทช์เตาหลุม

7) เปิดน้ำประปาตรวจสอบให้แน่ใจว่าคอนเดนเซอร์ทำงาน

8) เปิดเตาหลุมเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ปิดเตาหลุมทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีจนกว่าเครื่องจะเย็น

9) ใช้คีบคีบปากแบนคีบกระดาษกรองออกแล้วนำ DCM ที่ตกค้างอยู่ในขวดปริมาตร 500 ml ไปเข้าเครื่องระเหยสาร

ขั้นตอนการลดปริมาตร DCM โดยใช้เครื่อง Evaporator

1) นำขวดปริมาตร 500 ml ที่บรรจุ DCM AR grade ไปเข้าเครื่อง ระเหยสาร หมุนอย่างช้าๆ หากมีฟองอากาศเกิดขึ้นให้ลดความเร็วลงทันที ระเหยสารไปจนกว่าปริมาตรของสารตัวทำละลายได้คลอโรมีเทนเหลืออยู่ประมาณ 2-3 ml

2) ทำการล้างขวดแก้วขนาด 15 ml โดยใช้ DCM AR grade ทำซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นเปะฉลากตัวอย่างบนขวดแก้ว

3) ปิดเครื่องระเหยสารแล้วทำการถ่ายเทสารตัวทำละลายได้คลอโรมีเทน โดยใช้ปิเปต (Disposable Glass Pipette) ลงในขวดแก้วขนาด 15 ml หลังจากนั้นรินด้วย DCM HPLC grade แล้วดูดออกมาใส่ในขวดแก้วขนาด 15 ml ทำซ้ำแบบนี้ 3 ครั้ง

4) ปิดฝาขวดแก้วแล้วนำกลับไปแช่ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C

การ Cleanup and Blow-down Process

- 1) ตวง Hexane 10 ml ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 ml
- 2) เปิดฝาขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่างแล้วนำปิเปตที่ต่อกับท่อก๊าซไนโตรเจน ไว้ในขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่าง แล้วค่อยๆ เปิดก๊าซเบาๆ พอให้เห็นว่าสารตัวอย่างกระเพื่อมเล็กน้อย
- 3) เมื่อ DCM ออกไปเกือบหมด Disposable Glass Pipette ตูด Hexane ในกระบอกตวง แล้วรินลงในขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่างเพื่อไล่ให้ DCM ระเหยออกไปพร้อมกับพ่นก๊าซไนโตรเจน ลงไปจนเหลือปริมาตรประมาณ 10 ml หลังจากนั้นภายในขวดแก้วจะไม่มี DCM หลงเหลืออยู่แต่จะมี Hexane มาแทนที่
- 4) นำกลับไปแช่ตู้เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C

การ Activated Silica Gel

- 1) ตวงซิลิกาเจล 1.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาดเล็ก ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์อะลูมิเนียม
- 2) นำไปอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง
- 3) นำออกมาไว้ในตู้ดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น

การ Fractionation Chromatography แบ่งเป็น 2 ชั้น ดังนี้

- 1) ใส่ใยแก้วปริมาณเล็กน้อยลงในคอลัมน์ (Column) โดยใช้คีมคีบปากแบน
- 2) เท Hexane 3 ml ลงในบีกเกอร์ ทำการ Activated ซิลิกาเจล อย่างช้าๆ ซิลิกาเจล จะละลายในสารตัวทำละลายเฮกเซน
- 3) เทซิลิกาเจลที่ละลายแล้วใส่ลงในคอลัมน์แล้วใช้ปิเปตตูด Hexane ฉีดล้างซิลิกาเจลที่ติดอยู่ด้านข้างของบีกเกอร์เทลงในคอลัมน์ให้หมด โดยใยแก้ว และซิลิกาเจลจะทำหน้าที่กรองสิ่งอื่นไม่พึงประสงค์เอาไว้
- 4) เปิดวาล์วให้สารตัวทำละลายเฮกเซน ในคอลัมน์ค่อยๆ ไหลลงขวดปริมาตรขนาด 250 ml จนสารตัวทำละลายเฮกเซนเหลืออยู่ที่ระดับคอขวด

- 5) เทสารตัวทำละลายเฮกเซนลงในกระบอกตวงปริมาณ 15 ml

Fraction 1

- 6) เทสารตัวอย่างที่ผ่านการ Blow-down แล้วลงในคอลัมน์แล้วใช้ปิเปตตูดสาร Hexane จากกระบอกตวง ล้างสารตัวอย่างที่ติดอยู่ด้านข้างขวดแก้วให้หมดแล้วเทลงในคอลัมน์
- 7) ปิดจุกคอลัมน์แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันเท่ากับ 1.0 mbar

8) ปรับให้มีอัตราการไหล 1 หยด ต่อ 1 วินาที ให้สารตัวอย่างไหลลงมาจนอยู่ในระดับประมาณ 0.5-1 cm จากคอขวด ระวังอย่าให้ซิลิกาเจลแห้งเด็ดขาด

Fraction 2

9) ตวง Hexane + Toluene (Hexane 96 ml: Toluene 54 ml) 15 ml ใส่ลงในกระบอกตวง 50 ml ของตัวอย่างเดิม

10) เท Hexane + Toluene ลงในคอลัมน์ให้หมด

11) ปิดจุกคอลัมน์แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันเท่ากับ 1.0 mbar

12) ปรับอัตราการไหล 1 หยด ต่อ 1 วินาที จนสารตัวอย่างแห้งสนิท

13) นำขวดปริมาตรที่บรรจุสารตัวอย่างไปทำขั้นตอนระเหยสารต่อไป

ขั้นตอนการลดปริมาตร Hexane: Toluene โดยเครื่อง Evaporator

1) เติม Methanol ประมาณ 5-6 ml ลงไปในขวดปริมาตรที่บรรจุสารตัวอย่าง

2) ปรับอุณหภูมิของน้ำประมาณ 50-55 °C

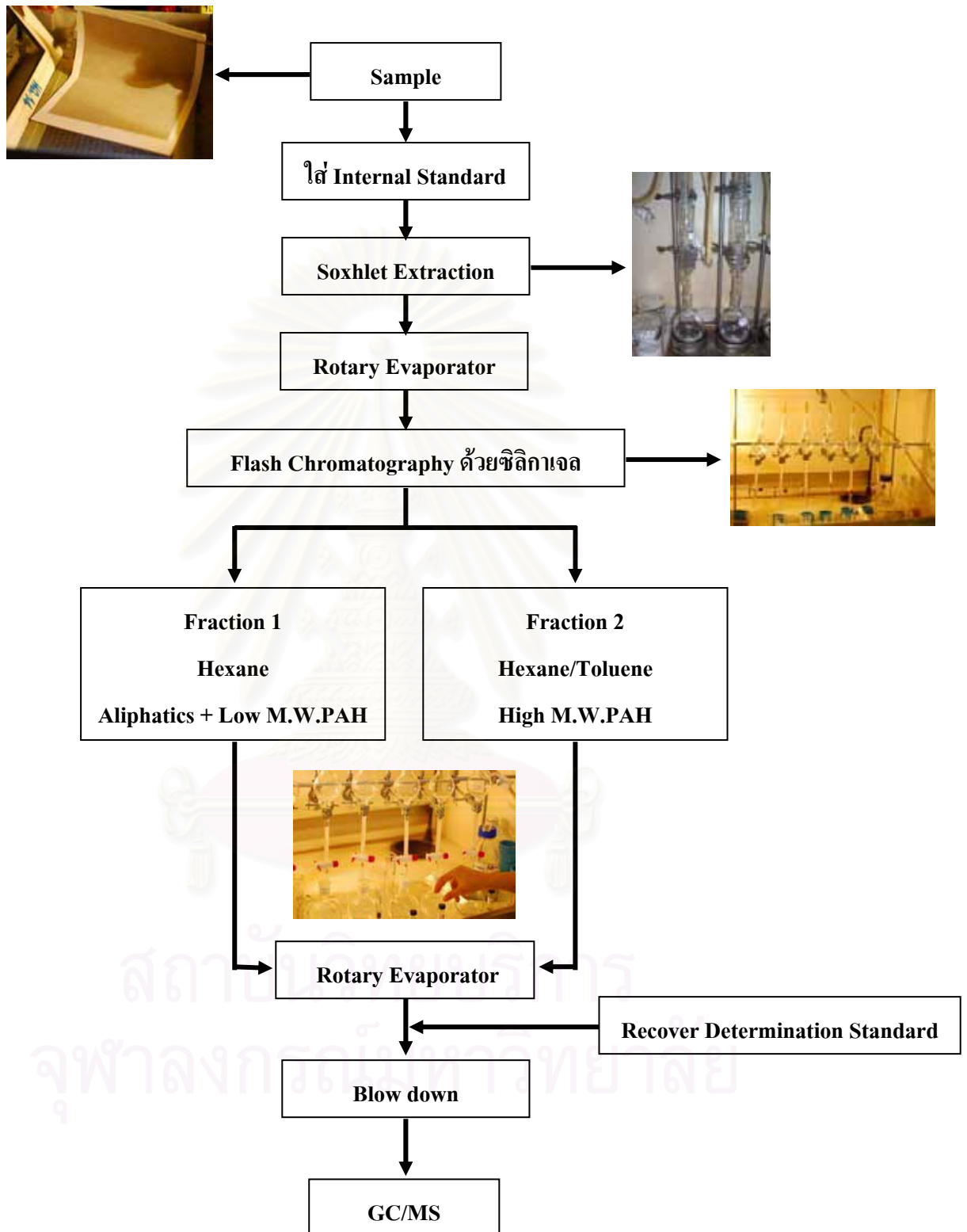
3) ระเหยสารจนเหลือปริมาตรเพียง 1-2 ml

4) เทลงขวดแก้วขนาด 15 ml ขวดใหม่ที่เตรียมไว้

การ Blow-down

1) นำขวดตัวอย่างมาทำการลดปริมาตร (Blow down) อีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน พ่นใส่ตัวอย่างให้เกิดแห้ง จากนั้นดูด Cyclohexane ล้างให้รอบๆ ขวดตัวอย่าง 3 รอบ และพ่นก๊าซไนโตรเจนต่อจนเหลือตัวอย่างเพียงเล็กน้อย เกือบถึงก้นขวด

2) ดูดตัวอย่างใส่ใน insert vial ปรับปริมาตรตัวอย่างที่ 100 µl ปิดฝาขวด vial พันพาราฟิล์ม นำไปแช่เย็น รอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS



ภาพที่ 3.8 แผนผังแสดงขั้นตอนการสกัด PAHs ในฝุ่น PM₁₀

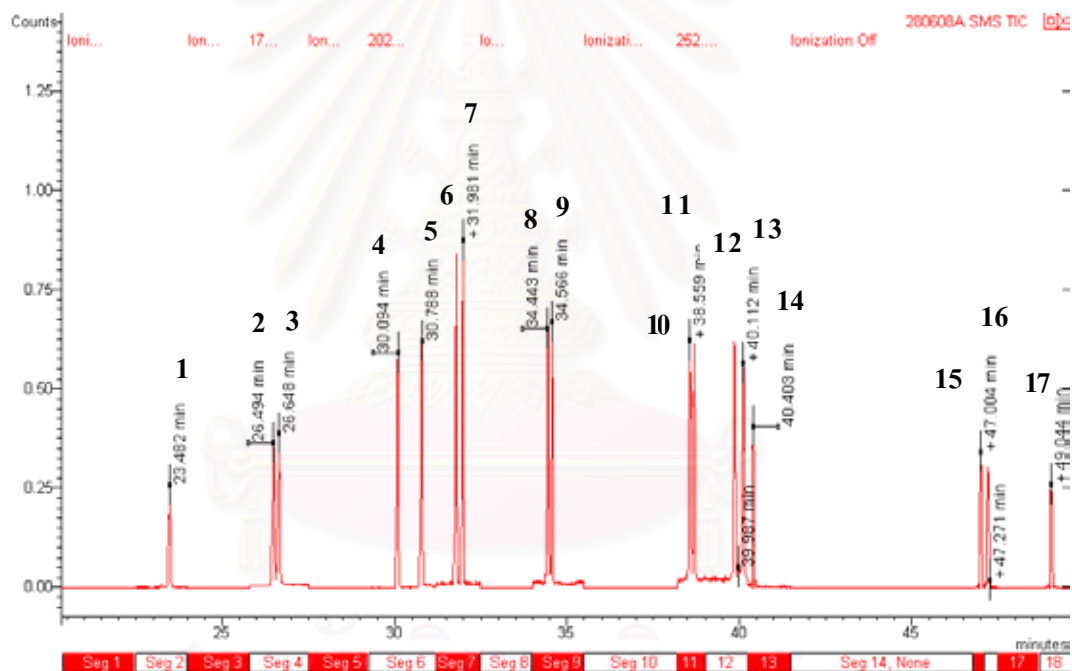
3.3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมีของ PAHs

ตารางที่ 3.1 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์ PAHs

GC	ชนิดของคอลัมน์	แคปิลลารี รุ่น CP-5865 ยาว 60 m
	(Column type)	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 mm
		ความหนาของฟิล์มเหลว 0.25 μm
	เฟสเคลื่อนที่	ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) มีความบริสุทธิ์ 99.999%
	(Mobile phase)	อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 ml/min
	อุณหภูมิของ Injector	300 $^{\circ}\text{C}$
	อุณหภูมิของ Transferline	200 $^{\circ}\text{C}$
โหมดการฉีดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 μl (splitless liner)	
MS	ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร	Ion trap
	โหมดการแตกตัวเป็นไอออน	อิเล็กตรอนอิมแพค (EI^+)
	พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว	70 eV
	โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน	SIS (Selected Ion Spectrum)

กำหนดสภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS โดยฉีดสารละลายตัวอย่าง PAHs ที่สกัดเข้าสู่เครื่อง GC โดยผ่าน Injector ที่อุณหภูมิ 300 $^{\circ}\text{C}$ ปริมาณ 1 μl เข้าสู่คอลัมน์ CP-5865 ซึ่งเคลือบด้วยสารละลายผสม Diphenyl 5% และ Dimethyl 95% มีความยาว 60 เมตร ที่สภาวะการแยกใช้อัตราการพาของก๊าซฮีเลียม 1 ml/min อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นไว้ที่ 40 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นเร่งอุณหภูมิให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 8 $^{\circ}\text{C}$ ต่อนาทีจนระดับอุณหภูมิขึ้นสูงที่ 300 $^{\circ}\text{C}$ และรักษาอุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลา 50 นาที สาร PAHs ต่างชนิดกันจะมีการกระจายตัวอย่างอยู่ระหว่างเฟสของเหลวที่เป็นฟิล์มเคลือบอยู่ภายในคอลัมน์ และเฟสที่เป็นก๊าซที่เป็นตัวพาด้วยอัตราที่ต่างกัน โดยมีอุณหภูมิของเตา GC เป็นปัจจัยช่วยหน่วง หรือเร่งการกระจายตัวของสาร ทำให้เกิดการแยกสารขึ้น สาร PAHs ที่ถูกหน่วงน้อยที่สุดจะถูกแยกออกจากคอลัมน์ก่อน และสารตัวอื่นที่ถูกหน่วงมากกว่าก็จะแยกออกมาตามลำดับ เมื่อสารเคลื่อนผ่านพ้นเครื่อง GC เข้าสู่ Transferline ระหว่างเครื่อง GC กับ MS ที่อุณหภูมิ 200 $^{\circ}\text{C}$ เพื่อกันไม่ให้ไอของสารเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งไอสารที่แยกจะถูกผ่านเข้าสู่เครื่อง MS ซึ่งเป็นส่วนของ Ion trap ทำหน้าที่วิเคราะห์มวลสารโดยการยิงอิเล็กตรอนพลังงานสูง (EI^+ 70 eV) ในสารตัวอย่างทำให้สารเกิดการแตกตัวเป็น Fragment ion ที่มีประจุบวกหนึ่ง และกักเก็บประจุเหล่านี้เอาไว้ ทำให้ได้ Fragment ion

ทั้งหมดจากการสแกน 1 ครั้งตกลงสู่เครื่องตรวจวัดของส่วน MS และมีการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมของเครื่องทำให้สามารถบันทึกผล และรายงานเป็นกราฟโครมาโตแกรมที่แสดงปริมาณ และมวลของสารด้วย Mass spectrum ของแต่ละสารได้ อีกทั้งยังสามารถใช้โหมดการบันทึกไอออนเฉพาะหรือไอออนเดี่ยวได้คือ โหมด SIS (Selected Ion Spectrum) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถใช้หาปริมาณสาร PAHs โดยการสแกนเฉพาะ Peak ของ Fragment ion หรือ Mass spectrum ของสาร PAHs ที่เราสนใจแทนที่จะทำการสแกนทั้งหมด ซึ่งทำให้ผลการตรวจวัดแต่ละ Peak ดียิ่งขึ้น และเป็นการประหยัดเวลาอีกด้วย ผลจากการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายมาตรฐานของ PAHs 15 ชนิด รวมถึงสาร Recovery ISTD-PAH 2 ชนิด จะได้สภาวะที่ใช้ในการฉีดตัวอย่างเป็นโครมาโตแกรมดังภาพที่ 3.9



- | | | |
|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 1. Fluorene-d ₁₂ | 8. Benzo(e)Pyrene | 15. Indeno(1,2,3-cd)Pyrene |
| 2. Phenanthrene | 9. Chrysene | 16. Dibenzo(a,h)Anthracene |
| 3. Anthracene | 10. Perylene-d ₁₂ | 17. Benzo(g,h,i)Perylene |
| 4. Fluoranthene | 11. Benzo(b)Fluoranthene | |
| 5. Pyrene | 12. Benzo(k)Fluoranthene | |
| 6. 11H-Benzo(a)Fluoranthene | 13. Benzo(e)Pyrene | |
| 7. 11H-Benzo(b)Fluoranthene | 14. Benzo(a)Pyrene | |

ภาพที่ 3.9 โครมาโตแกรมของสาร PAHs 17 ชนิด

ตารางที่ 3.2 Retention time ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 15 ชนิด และ Internal Standard PAHs 2 ชนิด

สาร PAHs	M.I. [M ⁺]	R.T. (min)
PAHs Standard		
Phenanthrene	178	26.511
Anthracene	178	26.672
Fluoranthene	202	30.126
Pyrene	202	30.810
11H-Benzo(a)Fluoranthene	216	31.814
11H-Benzo(b)Fluoranthene	216	32.013
Benzo(e)Pyrene	228	34.436
Chrysene	228	34.557
Benzo(b)Fluoranthene	252	38.574
Benzo(k)Fluoranthene	252	38.707
Benzo(e)Pyrene	252	39.863
Benzo(a)Pyrene	252	40.128
Indeno (1,2,3-cd)Pyrene	276	47.008
Dibenzo(a,h)Anthracene	278	47.208
Benzo(g,h,i)Perylene	276	49.005
Internal Standard PAHs		
Fluorene-d ₁₂	176	23.515
Perylene-d ₁₂	264	40.341

3.3.5 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ PAHs

เงื่อนไขในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย ขีดจำกัดการวิเคราะห์ของเครื่องมือ (Instrumental Detection Limit: IDL) ของสาร PAHs แต่ละชนิด ความละเอียดในการแยกพีค (Peak's Resolution: R) จำนวนของเพลต (Hypothetical Plate Number: N) และความหนาของเพลต (Height Equivalent of Theoretical Plate: HETP) แสดงดังตารางที่ 3.3 ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ค่า Instrumental Detection Limit, Resolution, Number of Theoretical Plates และ Height Equivalent of Theoretical Plate

PAH _s	IDL (pg μl^{-1})	R	N	HETP (mm)
Phenantrene	2.63	1.44	931693	0.064
Anthracene	2.80	1.44	936934	0.067
Fluoranthene	1.47	7.62	2136956	0.029
Pyrene	1.35	7.62	1624902	0.037
11H-Benzo(a)Fluoranthene	0.77	2.10	1577749	1.227
11H- Benzo(b)Fluoranthene	0.79	2.10	1133837	1.498
Benzo(a)Anthracene	0.86	0.94	2418061	0.026
Chrysene	0.84	0.94	1962729	0.032
Benzo(b)Fluoranthene	48.66	1.35	2102556	0.034
Benzo(k)Fluoranthene	43.42	1.35	2112533	0.038
Benzo(e)Pyrene	49.04	2.40	2096553	0.030
Benzo(a)Pyrene	61.25	2.40	2176625	0.036
Indeno(1,2,3-cd)Pyrene	61.25	2.45	3913510	0.017
Dibenzo(a,h)Anthracene	45.39	2.45	2244480	0.489
Benzo(g,h,i)Perylene	2.21	-*	403043	3.930

* Peak ของ Benzo(g,h,i)Perylene แยกจาก Peak ของ PAHs ชนิดอื่นได้อย่างชัดเจน

จากการคำนวณค่า IDL, R, N และ HETP พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยหลายฉบับ (Kalaitzoglou et al, 2004; Lim et al, 1999; Yunker et al, 2003) นอกจากนี้ PAHs ทุกตัว

ยังมีค่า IDL ต่ำกว่า $100 \text{ pg } \mu\text{l}^{-1}$ ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าสารมาตรฐาน (Running Standard: $100 \text{ ng } \mu\text{l}^{-1}$) ที่ใช้ในการคำนวณระดับความเข้มข้นของ PAHs ในสารตัวอย่างถึง 1,000 เท่า

3.3.6 Standard Reference Material (SRM)

Standard Reference Material (SRM) เป็นการควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ กล่าวคือ เป็นตัวประกันคุณภาพในการทดลอง โดยใช้ Standard Reference Material 1941b organics in marine sediment มาทำการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ ด้วยวิธีเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งจะยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำกับมา แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน

PAHs	N	ค่าที่กำกับมา ng/g dry wt.	ค่าที่วิเคราะห์ได้ ng/g dry wt.	% recovery
Phenanthrene	8	406 ± 44	486 ± 66	119 ± 16
Fluoranthene	8	651 ± 50	733 ± 79	112 ± 12
Pyrene	8	581 ± 39	551 ± 65	95 ± 11
Benzo[a]Anthracene	8	335 ± 25	277 ± 46	82 ± 13
Chrysene	8	291 ± 31	227 ± 83	77 ± 28
Benzo[b]Fluoranthene	8	453 ± 21	396 ± 134	87 ± 29
Benzo[k]Fluoranthene	8	225 ± 18	197 ± 86	87 ± 38
Benzo[e]Pyrene	8	325 ± 25	409 ± 175	125 ± 53
Indeno[1,2,3-cd]Pyrene	8	341 ± 57	438 ± 92	128 ± 26
Benzo[g,h,i]Perylene	8	307 ± 45	382 ± 84	124 ± 27

Anthracene, 11H-Benzo[a]Fluoranthene, 11H-Benzo[b]Fluoranthene, Benzo[a]Pyrene และ Dibenzo[a,h]Anthracene ไม่สามารถวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐานได้ เนื่องจากเกิดความผิดพลาดในระหว่างการสกัด

3.3.7 วิธีการคำนวณความเข้มข้นของ PAHs โดยใช้ Internal Standard

$$C_{\text{Nat}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deut}}} \times W_{\text{Deut}} \times \frac{1}{\text{RRF}} \times \frac{1}{V}$$

เมื่อ C_{Nat} : ความเข้มข้นของ Native-PAHs ในตัวอย่าง (ng m^{-3})
 A_{Nat} : พื้นที่พีคของ Native-PAHs ในตัวอย่าง
 A_{Deut} : พื้นที่พีคของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง
 W_{Deut} : น้ำหนักของ Deuterated-PAHs ในตัวอย่าง (ng)
 V : ปริมาตรอากาศที่ทำการเก็บ (m^3)
 RRF : ปัจจัยการตอบสนองของเชิงสัมพัทธ์ของเครื่องมือวิเคราะห์

$$\text{RRF} = \frac{(A_{\text{Nat}} / C_{\text{Nat}})}{(A_{\text{Deut}} / C_{\text{Deut}})} = \frac{A_{\text{Nat}} \times C_{\text{Deut}}}{A_{\text{Deut}} \times C_{\text{Nat}}}$$

เมื่อ A_{Nat} : พื้นที่พีคของ Native-PAHs
 A_{Deut} : พื้นที่พีคของ Deuterated-PAHs
 C_{Nat} : ความเข้มข้นของ Native-PAHs
 C_{Deut} : ความเข้มข้นของ Deuterated-PAHs

3.4 ชั้นวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล

3.4.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของ O_3 , NO_2 , CO กับลักษณะของชั้นบรรยากาศตามระดับความสูง

3.4.2 วิเคราะห์การกระจายตัวของ PAHs ในแต่ละชั้นความสูง

3.4.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple correlations) ของความเข้มข้น PAHs กับ O_3 , NO_2 , CO ในแต่ละชั้นความสูง

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะของชั้นบรรยากาศ

4.1.1 อุณหภูมิตามพื้นที่

อุณหภูมิ

1) พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้น 8 ของโรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ พบว่า อุณหภูมิมีค่าระหว่าง $25.3-30.1^{\circ}\text{C}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (Diurnal variation) พบว่าในระหว่างการศึกษาดูอุณหภูมิชั้นล่างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 29.1°C ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 26.0°C ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

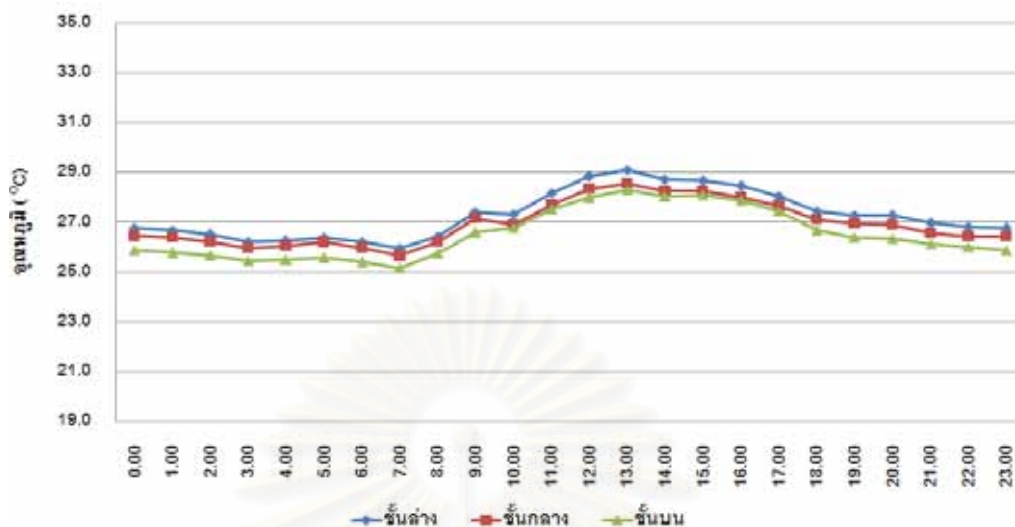
1.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้น 14 ของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ พบว่า อุณหภูมิมีค่าระหว่าง $25.0-29.3^{\circ}\text{C}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาดูอุณหภูมิในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 28.6°C ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 25.7°C ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

1.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ พบว่า อุณหภูมิมีค่าระหว่าง $24.4-29.2^{\circ}\text{C}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาดูอุณหภูมิมีค่าสูงสุดเท่ากับ 28.3°C ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 25.2°C ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสุท พบว่าอุณหภูมิมีค่าระหว่าง 22.2-31.0 °C และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาอุณหภูมิมีค่าสูงสุดเท่ากับ 30.6 °C ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 23.6 °C ในช่วงเวลา 07.00 และ 08.00 นาฬิกา

2.2) ชั้นกลาง

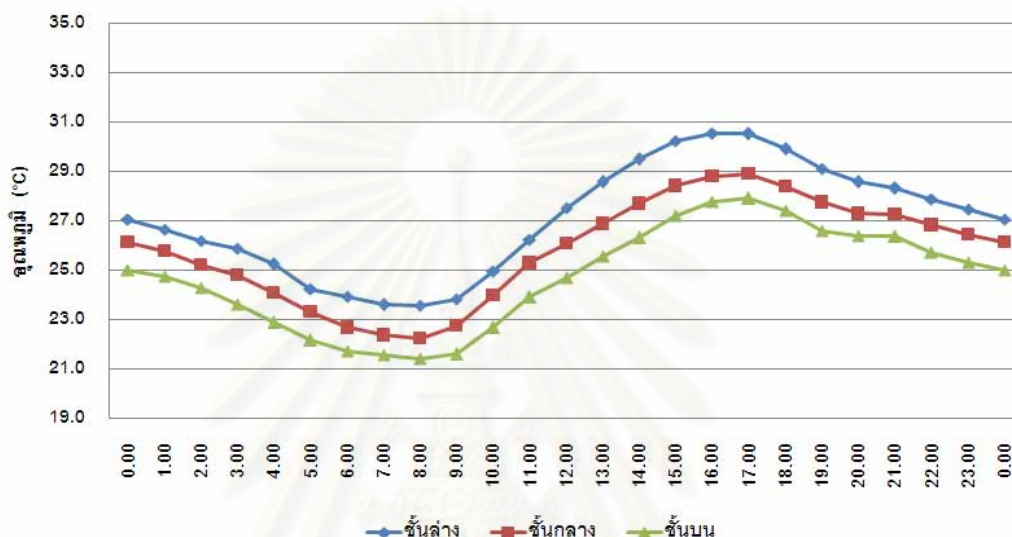
ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสุท พบว่าอุณหภูมิมีค่าระหว่าง 20.9-29.4 °C และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาอุณหภูมิในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 28.9 °C ในช่วงเวลา 17.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 22.3 °C ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา

2.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสุท พบว่าอุณหภูมิมีค่าระหว่าง 20.2-28.6 °C และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อ

แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคุณภูมิมีค่าสูงสุดเท่ากับ 27.9 °C ในช่วงเวลา 17.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 21.4 °C ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

3) พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน พบว่า อุณหภูมิมีค่าระหว่าง 17.9-34.6 °C และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า ในระหว่างการศึกษาคุณภูมิมีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.0 °C ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 20.4 °C ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

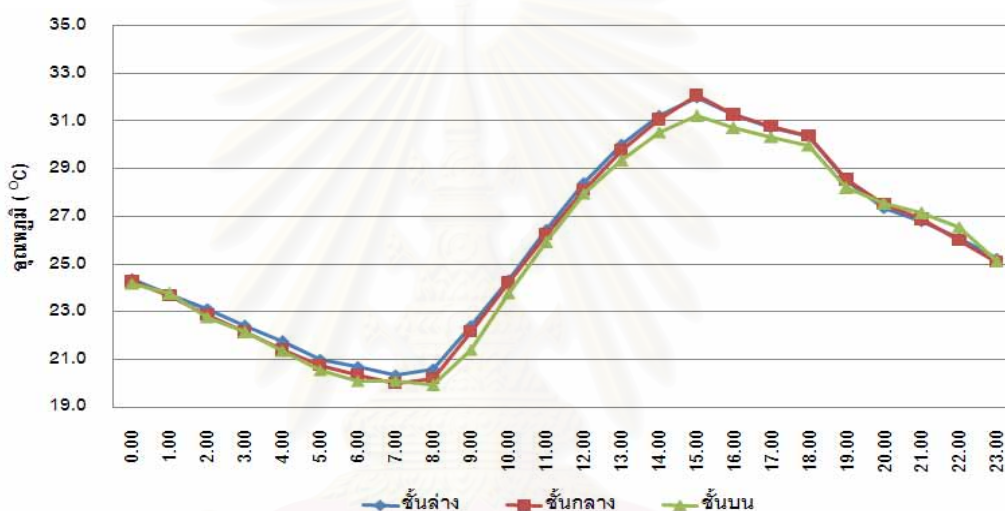
3.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง พบว่า อุณหภูมิมีค่าระหว่าง 18.7-34.6 °C และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคุณภูมิในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 32.1°C ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 20.0 °C ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

3.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน พบว่า อุณหภูมิมีค่าระหว่าง $17.9-34.0^{\circ}\text{C}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าอุณหภูมิมีค่าสูงสุดเท่ากับ 31.2°C ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 19.9°C ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ แสดงดังภาพที่ 4.3



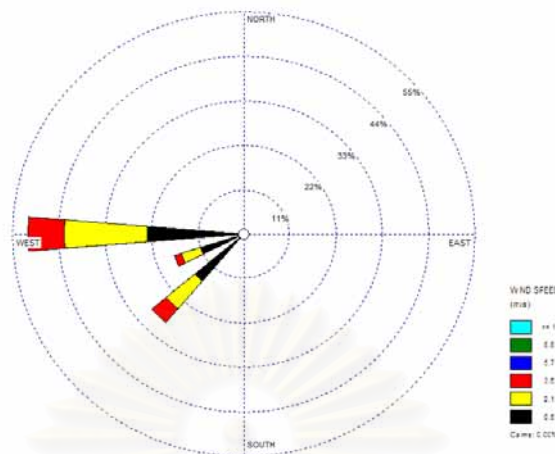
ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ความเร็วและทิศทางลม

1) พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1) ชั้นล่าง

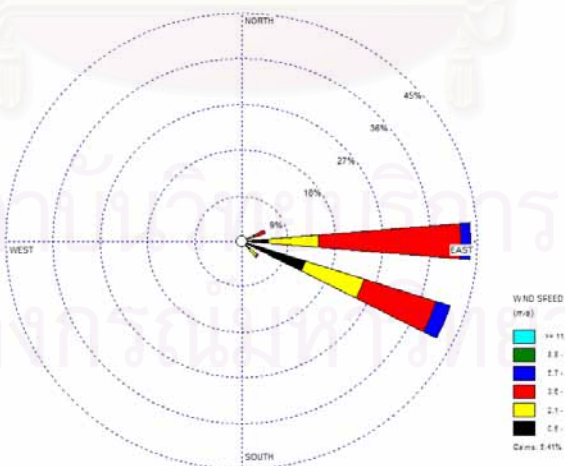
ผลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางลมบริเวณชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ พบว่า ความเร็วลมมีค่าระหว่าง $0.9-5.4\text{ m s}^{-1}$ และมีทิศทางลมพัดจากทิศตะวันตก (ภาพที่ 4.4) และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.3 m s^{-1} ในช่วงเวลา 10.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.7 m s^{-1} ในช่วงเวลา 05.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.7)



ภาพที่ 4.4 ทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทาวา หาดใหญ่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.2) ชั้นกลาง

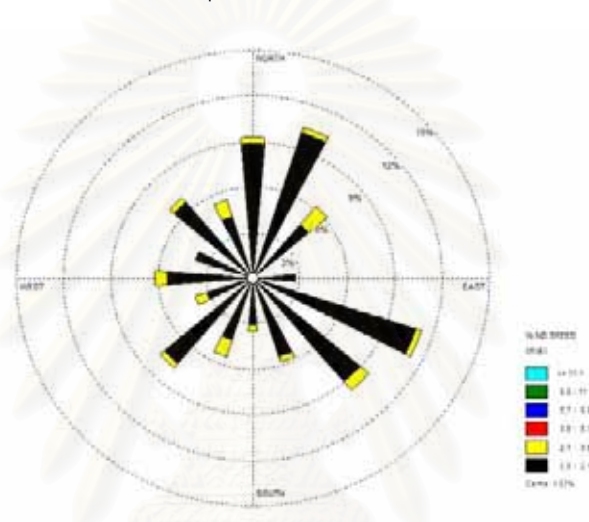
ผลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางลมบริเวณชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่า ความเร็วลมมีค่าระหว่าง $0.9-6.7 \text{ m s}^{-1}$ และมีทิศทางลมพัดจากทิศตะวันออก (ภาพที่ 4.5) และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคือความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 4.6 m s^{-1} ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.2 m s^{-1} ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.7)



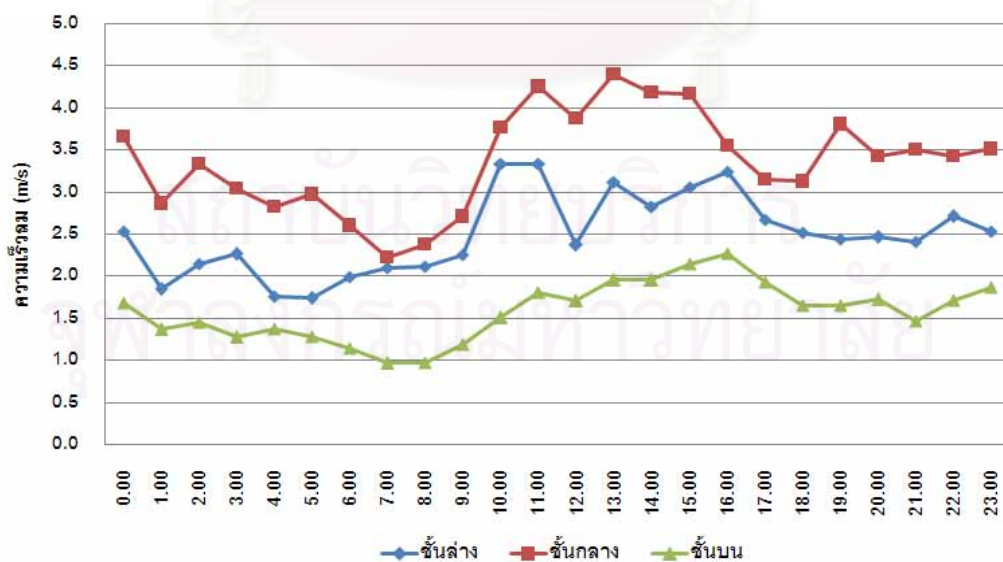
ภาพที่ 4.5 ทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนส์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเร็ว และทิศทางลมบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรม ดี การ์เดนท์ พบว่าความเร็วลมมีค่าระหว่าง $0.4-3.1 \text{ m s}^{-1}$ และมีทิศทางลมพัดจากตะวันตก และ ทิศเหนือ (ภาพที่ 4.6) และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการ เปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.3 m s^{-1} ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.0 m s^{-1} ในช่วงเวลา 07.00-08.00 นาฬิกา



ภาพที่ 4.6 ทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณชั้นดาดฟ้า โรงแรมดี การ์เดนท์ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

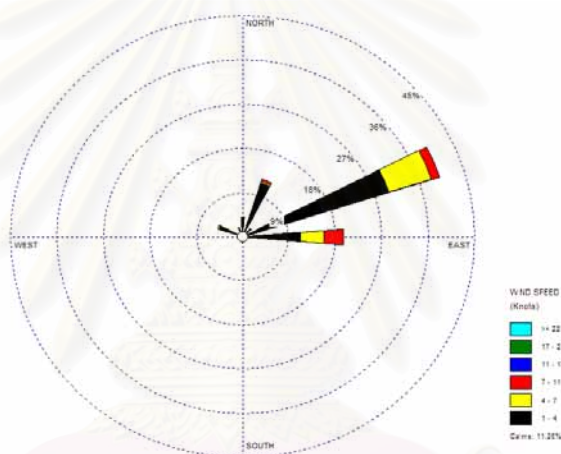


ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1) ชั้นล่าง

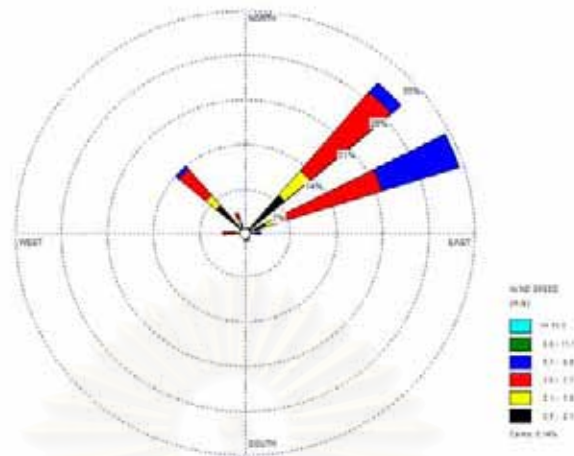
ผลการตรวจวัดความเร็ว และทิศทางลมบริเวณชั้นตาดฟ้าโรงแรมไบก์ไฮก สูท พบว่า ความเร็วลมมีค่าระหว่าง $0.0-4.9 \text{ m s}^{-1}$ และมีทิศทางลมพัดจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 4.8) และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความเร็วลมเฉลี่ยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.7 m s^{-1} ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.8 m s^{-1} ในช่วงเวลา 22.00 และ 23.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.8 ทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น 10 โรงแรมไบก์ไฮก สูท กรุงเทพมหานคร

2.2) ชั้นกลาง

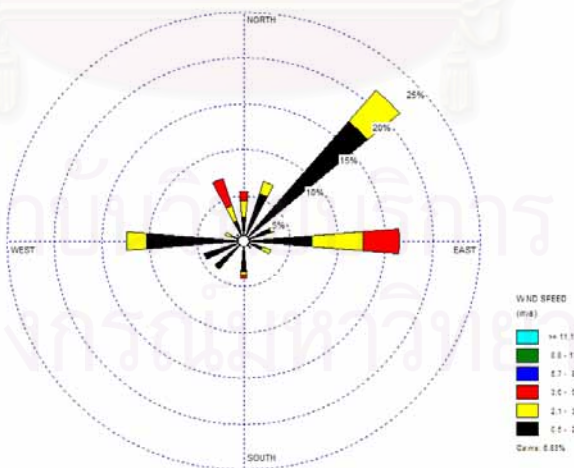
ผลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางลมบริเวณชั้นตาดฟ้าโรงแรมไบก์ไฮก สูท พบว่า ความเร็วลมมีค่าระหว่าง $0.0-8.0 \text{ m s}^{-1}$ และมีทิศทางลมพัดจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 4.9) และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความเร็วลมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 5.5 m s^{-1} ในช่วงเวลา 06.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.1 m s^{-1} ในช่วงเวลา 23.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.9 ทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณชั้นดาดฟ้า โรงแรมไอยกสภุท กรุงเทพมหานคร

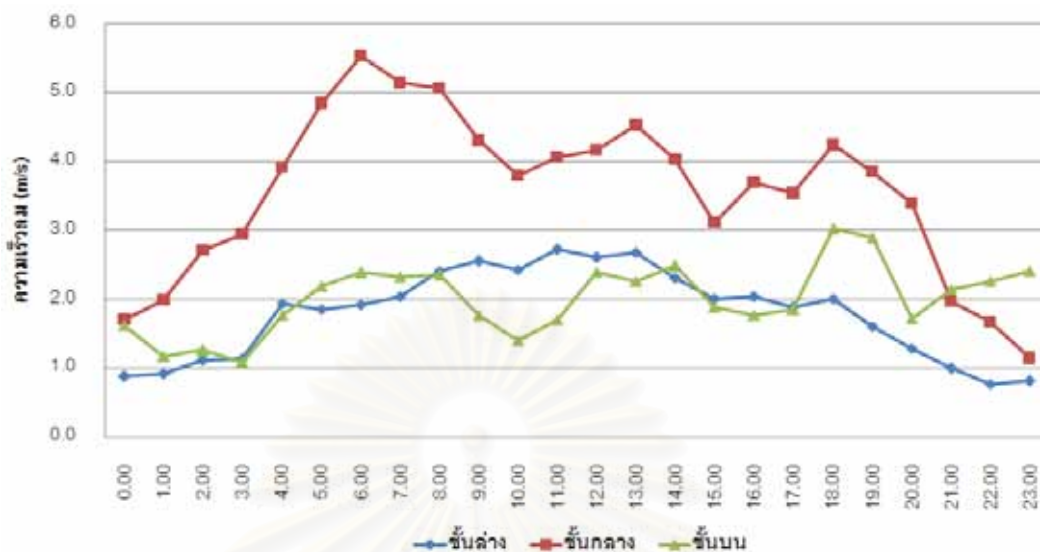
2.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางลมบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมไอยกสภุท สกาย พบว่า ความเร็วลมมีค่าระหว่าง $0.4-4.9 \text{ m s}^{-1}$ และมีทิศทางลมพัดจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ (ภาพที่ 4.10) และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษความเร็วลมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.0 m s^{-1} ในช่วงเวลา 18.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.1 m s^{-1} ในช่วงเวลา 03.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.10 ทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้นดาดฟ้า โรงแรมไอยกสภุท กรุงเทพมหานคร

การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 4.11



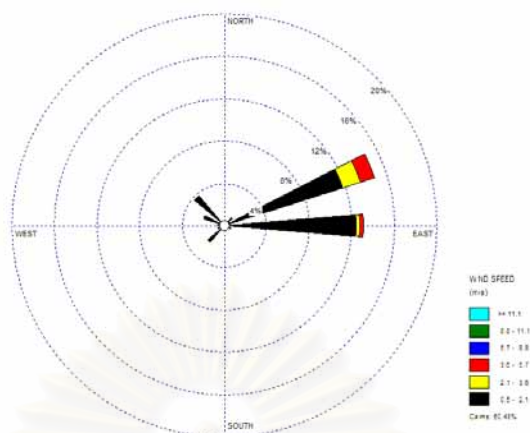
ภาพที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมตามระดับความสูงในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ความเร็วลมในชั้นล่าง และชั้นกลางแสดงการเพิ่มขึ้นของความเร็วลมต่อระดับความสูง ส่วนในชั้นบนความเร็วลมลดลงต่ำกว่าความเร็วลมในชั้นล่างและชั้นกลาง เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนบริเวณที่เก็บตัวอย่างมีข้อจำกัดจากสิ่งกีดขวางประเภทอุปกรณ์สื่อสาร และเสาขนาดใหญ่ ส่งผลให้ความเร็วลมที่ตรวจวัดได้ในชั้นบนมีค่าต่ำกว่าชั้นล่าง และชั้นกลาง

3) พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1) ชั้นล่าง

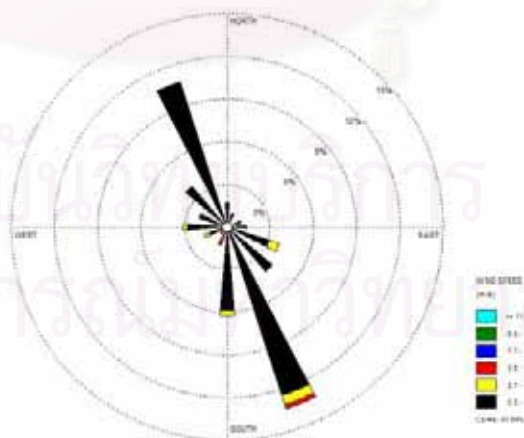
ผลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางลมบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่า ความเร็วลมมีค่าระหว่าง $0.0-4.9 \text{ m s}^{-1}$ และมีทิศทางลมพัดจากทิศตะวันตก (ภาพที่ 4.12) และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคือความเร็วลมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.4 m s^{-1} ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.1 m s^{-1} ในช่วงเวลา 23.00 06.00 และ 07.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.12 ทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น 4 อาคารจอดรถโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.2) ชั้นกลาง

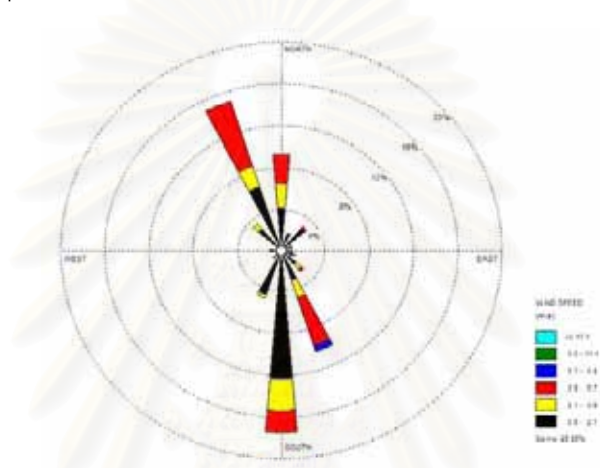
ผลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางลมบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง พบว่า ความเร็วลมมีค่าระหว่าง $0.0-3.6 \text{ m s}^{-1}$ และมีทิศทางลมพัดจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือและทิศตะวันออกเฉียงใต้ (ภาพที่ 4.13) และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษความเร็วลมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.0 m s^{-1} ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.3 m s^{-1} ในช่วงเวลา 09.00-11.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.13 ทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น 16 โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

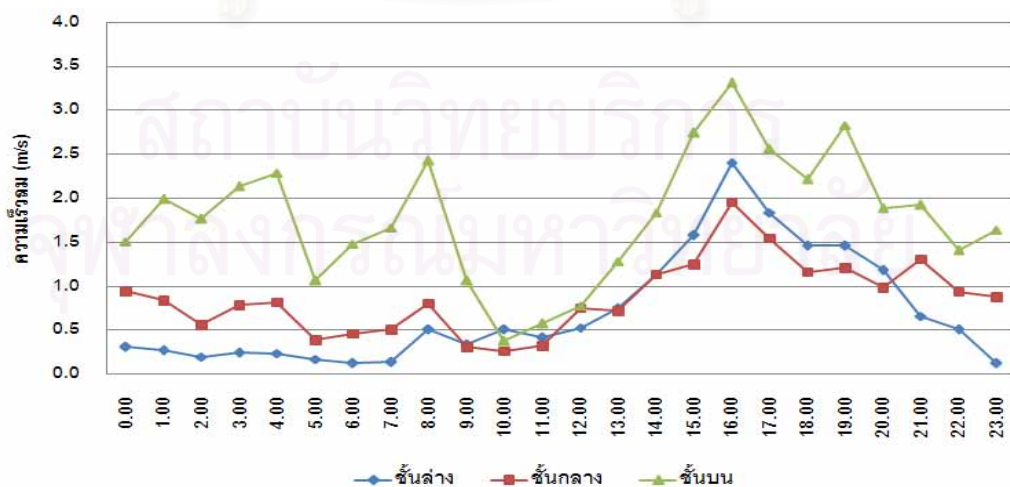
3.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเร็วและทิศทางลมบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่า ความเร็วลมมีค่าระหว่าง $0.0-7.2 \text{ m s}^{-1}$ และมีทิศทางลมพัดจากทิศเหนือและใต้ (ภาพที่ 4.14) และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเร็วลมมีค่าสูงสุดเท่ากับ 3.3 m s^{-1} ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.4 m s^{-1} ในช่วงเวลา 10.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.15)



ภาพที่ 4.14 ทิศทางและความเร็วลมระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณชั้น 23 โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

การเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ แสดงดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณ พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ความเข้มแสงอาทิตย์

1) พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ พบว่า ในช่วงเวลาที่มีแสง ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง $1-1056 \text{ w.m}^{-2}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าความเข้มแสงอาทิตย์ในระหว่างการศึกษา มีค่าสูงสุดเท่ากับ 514 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 11 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

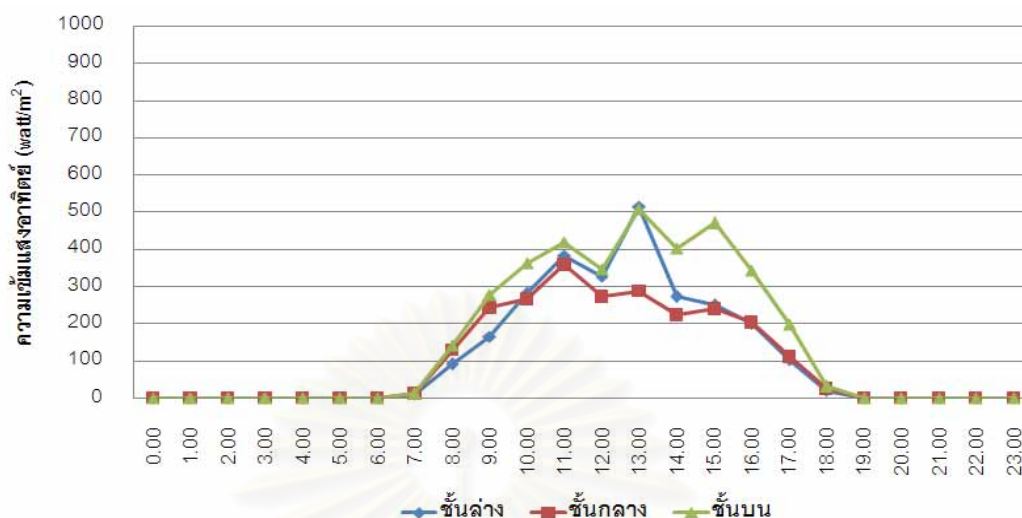
1.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง $2-882 \text{ w.m}^{-2}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 359 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 11.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 12 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

1.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณดาดฟ้าอาคารโรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง $1-1200 \text{ w.m}^{-2}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 507 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 12 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอาทิตย์ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แสดงดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณชั้นดาดฟ้าอาคารจอดรถ โรงแรมใบหยกสกาย พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง $2-992 \text{ w.m}^{-2}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 961 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 19.00 นาฬิกา

2.2) ชั้นกลาง

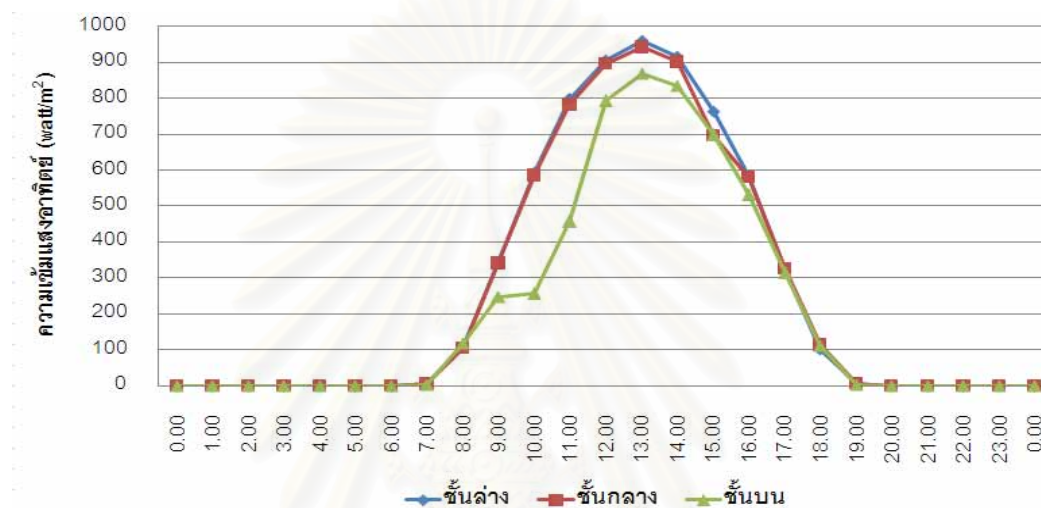
ผลการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสกาย พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง $1-987 \text{ w.m}^{-2}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มแสงอาทิตย์ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 942 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 5 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

2.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสกาย พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง $1-897 \text{ w.m}^{-2}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดใน

ระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 867 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 4 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 19.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอาทิตย์ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

3) พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง $1-1,018 \text{ w.m}^{-2}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 905 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

3.2) ชั้นกลาง

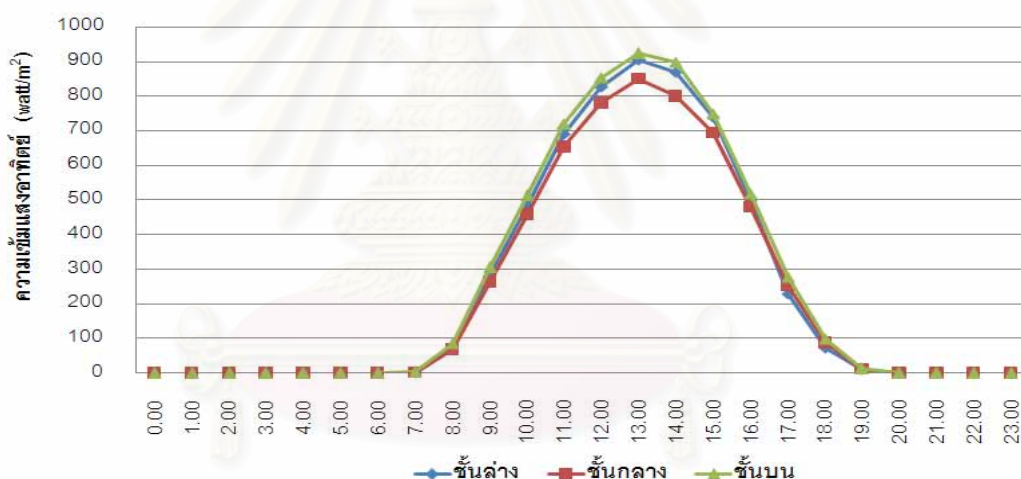
ผลการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียล แม็ปปิง พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง $4-947 \text{ w.m}^{-2}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างความเข้ม

แสงอาทิตย์ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 850 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

3.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มแสงอาทิตย์ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่า ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าระหว่าง $1-1,015 \text{ w.m}^{-2}$ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเท่ากับ 923 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3 w.m^{-2} ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอาทิตย์ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ แสดงดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ความสัมพันธ์

1) พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความสัมพันธ์บริเวณชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ พบว่า ความสัมพันธ์มีค่าระหว่างร้อยละ 67-90 และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าความสัมพันธ์ใน

ระหว่างการศึกษาที่มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 86.4 ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ ร้อยละ 70.5 ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา

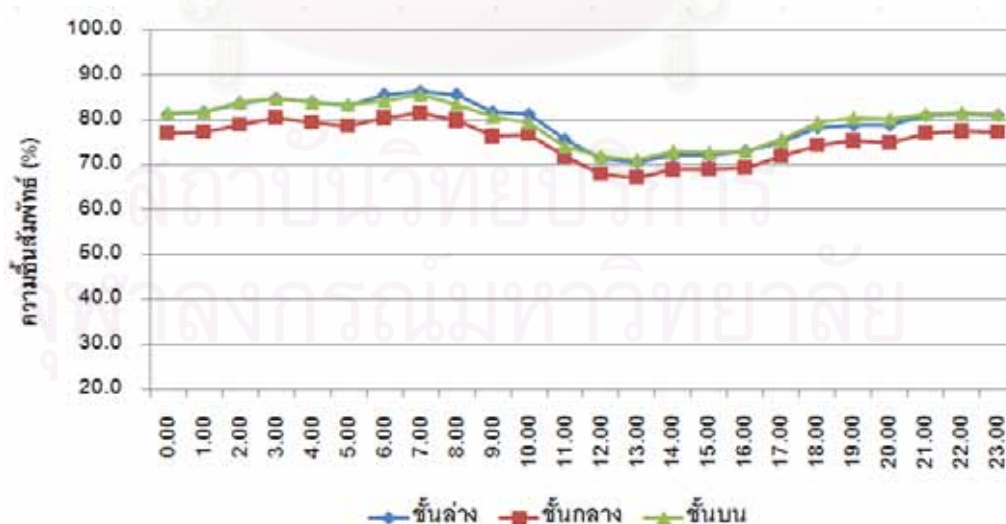
1.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์บริเวณชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่างร้อยละ 65-85 และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความชื้นสัมพัทธ์ในชั้น กลางมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 81.7 ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 67.3 ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา

1.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่างร้อยละ 68-89 และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงสุด เท่ากับร้อยละ 85.7 ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 71.2 ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แสดงดังภาพที่ 4.19



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสุทพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่างร้อยละ 36-80 และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 64.3 ในช่วงเวลา 02.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 41.2 ในช่วงเวลา 16.00 และ 17.00 นาฬิกา

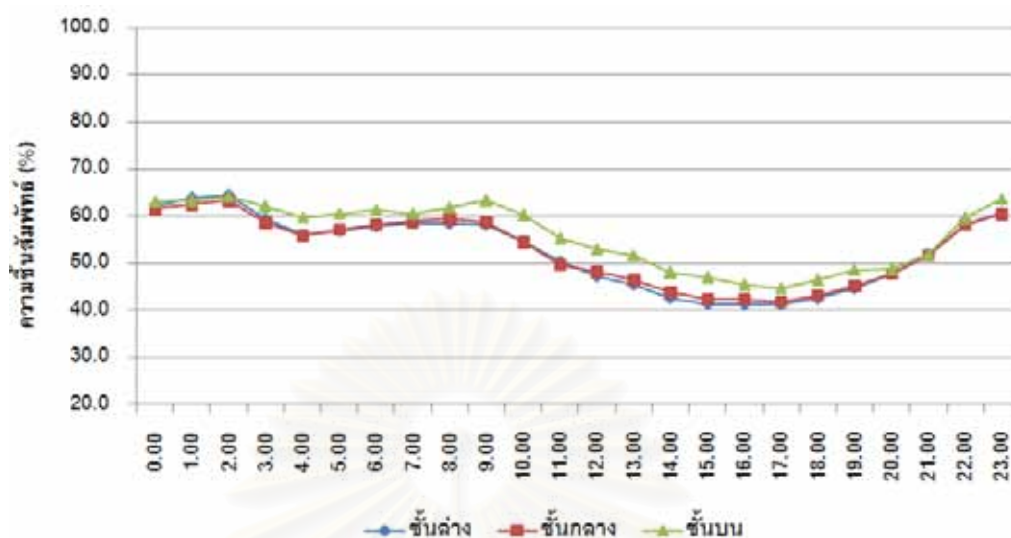
2.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสุทพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่างร้อยละ 37-82 และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความชื้นสัมพัทธ์ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 63.3 ในช่วงเวลา 02.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 41.8 ในช่วงเวลา 17.00 นาฬิกา

2.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความชื้นสัมพัทธ์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสกายพบว่า ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่างร้อยละ 38-85 และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 64.2 ในช่วงเวลา 02.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 44.8 ในช่วงเวลา 17.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงความขึ้นสัมพันธ์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

3) พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความขึ้นสัมพันธ์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรม เซนทารา ดวงตะวัน พบว่า ความขึ้นสัมพันธ์มีค่าระหว่างร้อยละ 17-80 และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความขึ้นสัมพันธ์มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 63.8 ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 35.8 ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา

3.2) ชั้นกลาง

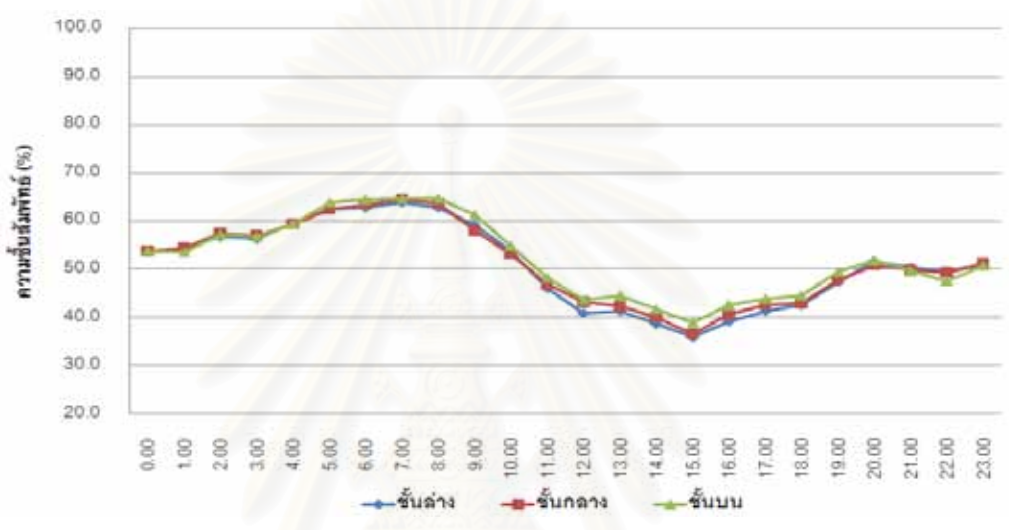
ผลการตรวจวัดความขึ้นสัมพันธ์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียล แมปิง พบว่า ความขึ้นสัมพันธ์มีค่าระหว่างร้อยละ 18-81 และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความขึ้นสัมพันธ์ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 64.6 ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 36.6 ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา

3.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความขึ้นสัมพันธ์บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่า ความขึ้นสัมพันธ์มีค่าระหว่างร้อยละ 19-84 และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา

3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความชื้นสัมพัทธ์ มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 64.8 ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับร้อยละ 39 ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่แสดงดังภาพที่ 4.21



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

4.1.2 อุตุณิยมวิทยาชั้นบน

จากการเก็บข้อมูลอุตุณิยมวิทยาชั้นบน (Upper meteorology) โดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดลมชั้นบน (Radiosonde) โดยการปล่อยบอลลูนของกรมอุตุณิยมวิทยาประจำจังหวัดของพื้นที่ศึกษา แล้วนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าระดับความสูงผสม (Mixing height) ที่มีต่อมลสารทางอากาศในแต่ละวัน โดยชุดคำสั่งสำเร็จรูป Rawinsonde Observation เวอร์ชัน 5.8 (RAOB 5.8) ดังนี้

- 1) พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ข้อมูลอุตุณิยมวิทยาชั้นบนของบริเวณอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่ทำการตรวจวัดระหว่างวันที่ 18-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 ระหว่างเวลา 00.00, 06.00, 12.00 และ 18.00 นาฬิกา พบว่าอัตราการลดลงของอุณหภูมิตามความสูงจนถึงระดับชั้นบนสุดของจุดเก็บตัวอย่างในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีค่าลดลงระหว่าง 1.3-8.3 °C km⁻¹ หรืออาจกล่าวได้ว่าจากข้อมูลอุตุณิยมวิทยาชั้นบนสภาพการคงตัวของบรรยากาศอยู่ในสภาพคงตัว (Stable) เมื่อเทียบกับอัตรา

การลดลงของอากาศแบบแห้ง (Adiabatic lapse rate) ส่วนค่าระดับความสูงผสมไม่สามารถคำนวณได้ ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าระดับความสูงผสมในช่วงที่ทำการศึกษาอยู่ในระดับความสูงที่เกินระยะความสูงที่ทำการตรวจวัด และพบชั้นที่อุณหภูมิแปรผกผันกับความสูง (Inversion condition) แบบ Subsidence ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ระหว่างวันที่ 18-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550

เวลา	อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อความสูง ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$)	ความสูงผสม (m)
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550		
00.00	-3.1	-
06.00	-4.8	-
12.00	-4.1	-
18.00	-2.5	-
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550		
00.00	-4.4	-
06.00	-8.3	-
12.00	-3.3	-
18.00	-2.5	-
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550		
00.00	-1.6	-
06.00	-3.3	-
12.00	-6.6	-

- หมายถึง ไม่สามารถคำนวณหาระดับความสูงผสมได้

2) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

ข้อมูลอุตุนิยามวิทยาชั้นบนของบริเวณกรุงเทพมหานครที่ทำการตรวจวัดระหว่างวันที่ 19-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ระหว่างเวลา 00.00, 03.00, 06.00, 09.00, 12.00 และ 18.00 นาฬิกา พบว่าอัตราการลดลงของอุณหภูมิตามความสูงจนถึงระดับชั้นบนสุดของจุดเก็บตัวอย่าง

ในกรุงเทพมหานครมีค่าลดลงระหว่าง 1.2-18.2 °C km⁻¹ หรืออาจกล่าวได้ว่าจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบนสภาพการคงตัวของบรรยากาศอยู่ในสภาพคงตัว (Stable) ถึงสภาพไม่คงตัว (Unstable) เมื่อเทียบกับอัตราการลดลงของอากาศแบบแห้ง (Adiabatic lapse rate) นอกจากนี้จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบนสามารถคำนวณค่าระดับความสูงผสมที่มีระดับตั้งแต่ 22-1899 m และพบชั้นที่อุณหภูมิแปรผกผันกับความสูง (Inversion condition) แบบ Subsidence

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 19 – 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

เวลา	อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อความสูง (°C km ⁻¹)	ความสูงผสม (m)
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551		
00.00	-1.2	-
03.00	-16.8	955
06.00	-16.6	1034
09.00	-15.6	1899
12.00	-2.7	-
18.00	-2.1	-
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551		
00.00	-2.5	-
03.00	-12.5	472
06.00	-18.2	-
09.00	-14.2	1273
12.00	-11.2	1659
18.00	-1.8	1626
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551		
00.00	-1.2	22
03.00	-11.0	377
06.00	-17.2	1430
09.00	-17.1	1688

12.00	-11.0	1785
-------	-------	------

- หมายถึง ไม่สามารถคำนวณหาระดับความสูงผสมได้

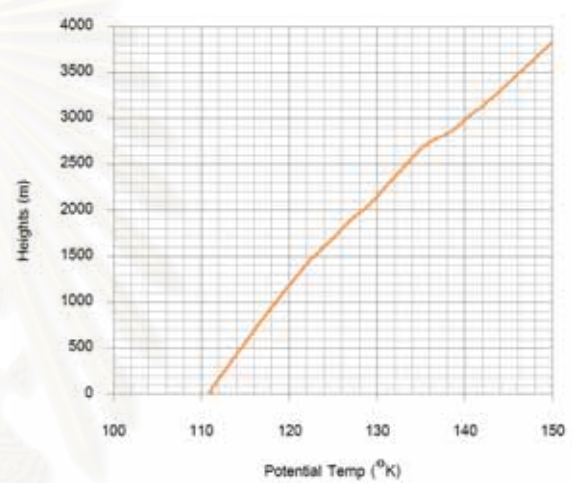
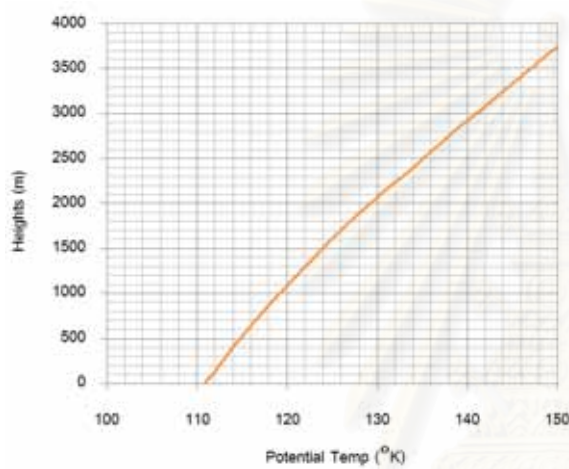
3) พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบนของบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ที่ทำการตรวจวัดระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ระหว่างเวลา 00.00, 06.00, 12.00 และ 18.00 นาฬิกา พบว่าอัตราการลดลงของอุณหภูมิตามความสูงจนถึงระดับชั้นบนสุดของจุดเก็บตัวอย่างในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าลดลง ($6.5-20.8\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$) และเพิ่มขึ้น ($0.8-24.4\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$) หรืออาจกล่าวได้ว่าจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบนสภาพการคงตัวของบรรยากาศอยู่ในสภาพคงตัว (Stable) ถึงสภาพไม่คงตัว (Unstable) เมื่อเทียบกับอัตราการลดลงของอากาศแบบแห้ง (Adiabatic lapse rate) และพบชั้นที่อุณหภูมิแปรผกผันกับความสูง (Inversion condition) แบบ Subsidence และ Radiation Inversion นอกจากนี้จากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบนสามารถคำนวณค่าระดับความสูงผสมที่มีระดับตั้งแต่ 536 -3215 m ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่าระดับความสูงผสมที่มีค่าน้อยที่สุดในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างเกิดขึ้นในเวลากลางวัน (12.00 นาฬิกา)

ตารางที่ 4.3 ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 26-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

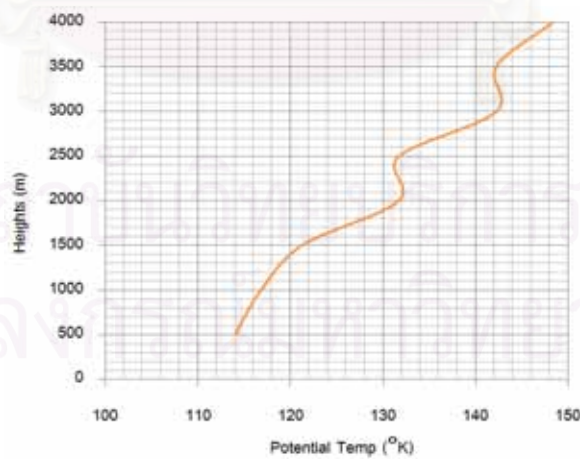
เวลา	อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อความสูง ($^{\circ}\text{C km}^{-1}$)	ความสูงผสม (m)
25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551		
18.00	24.4	-
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551		
00.00	15.0	-
06.00	-19.0	631
12.00	19.8	3215
18.00	-20.0	2567
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551		
00.00	22.5	-
06.00	-19.8	1048

12.00	-9.9	536
18.00	-6.5	-
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551		
00.00	0.8	-
06.00	-20.8	1131
12.00	-16.4	1889



อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

กรุงเทพมหานคร



อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ภาพที่ 4.22 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Potential Temperature) ตามระดับความสูง เวลา 12.00 นาฬิกา ในวันที่สองของการเก็บตัวอย่างของแต่ละพื้นที่ศึกษา

จากภาพที่ 4.22 แสดงให้เห็นถึงการเกิดชั้นอุณหภูมิผกผัน (Inversion layer) ในเวลา 12.00 นาฬิกา ของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ที่ส่งผลให้มวลอากาศมีการลอยตัวขึ้นได้น้อยมากหรือไม่สามารถลอยตัวขึ้นได้เลย เนื่องจากมีชั้นความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกั้นอยู่ทำให้เกิดการสะสมของมลสารภายในชั้นบรรยากาศด้านล่าง

4.2 ความเข้มข้นของมลสารในบรรยากาศ

4.2.1 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂)

1) พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัด NO₂ บริเวณลานชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ พบว่า ความเข้มข้น NO₂ มีค่าระหว่าง 0.8-4.2 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (Diurnal variation) พบว่า ในระหว่างการศึกษา NO₂ ในชั้นล่างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 2.6 ppb ในช่วงเวลา 17.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.2 ppb ในช่วงเวลา 02.00 นาฬิกา

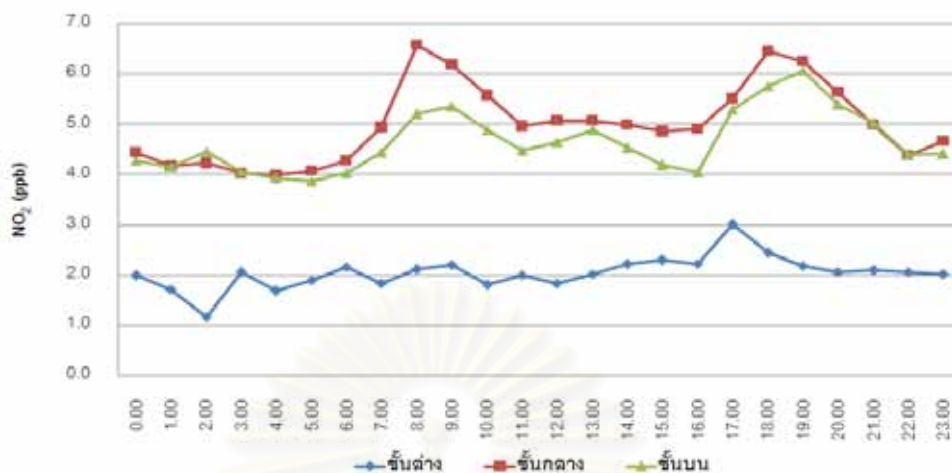
1.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัด NO₂ บริเวณชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่า NO₂ มีค่าระหว่าง 1.3-8.0 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า ในระหว่างการศึกษา NO₂ ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.6 ppb ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 4.0 ppb ในช่วงเวลา 03.00 และ 04.00 นาฬิกา

1.3) ชั้นสูงสุด

ผลการตรวจวัด NO₂ บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่า NO₂ มีค่าระหว่าง 3.3-6.9 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษา NO₂ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 6.1 ppb ในช่วงเวลา 19.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 3.9 ppb ในช่วงเวลา 04.00 และ 05.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของ NO₂ ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แสดงดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO₂ ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ความเข้มข้นของ NO₂ ทั้ง 3 ระดับความสูงในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าชั้นกลางมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 5.1 ppb) และชั้นล่างมีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 2.1 ppb) ซึ่งจากข้อมูลพบว่าในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษาเป็นช่วงที่มีเมฆมาก ความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำ (ภาพที่ 4.16) และค่าความเข้มข้นของ O₃ ต่ำ (ภาพที่ 4.29) อัตราส่วนของ NO₂ /NO_x จึงมีค่าค่อนข้างต่ำ (0.18-0.55) (ภาพที่ 4.24) โดยอัตราส่วนของ NO₂ /NO_x สามารถบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของ NO_x ในบรรยากาศเมื่อมีปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลหรือกรณีที่ก๊าซชนิดอื่น เช่น O₃ ปนอยู่ เนื่องจากความเข้มข้นของ NO₂ เปลี่ยนแปลงตามการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล โดยการออกซิไดซ์ NO ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ NO₂



ภาพที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ NO₂ /NO_x ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัด NO_2 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสุท พบว่าความเข้มข้น NO_2 มีค่าระหว่าง 15.7-63.9 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น NO_2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 57.6 ppb ในช่วงเวลา 21.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 21.1 ppb ในช่วงเวลา 14.00 นาฬิกา

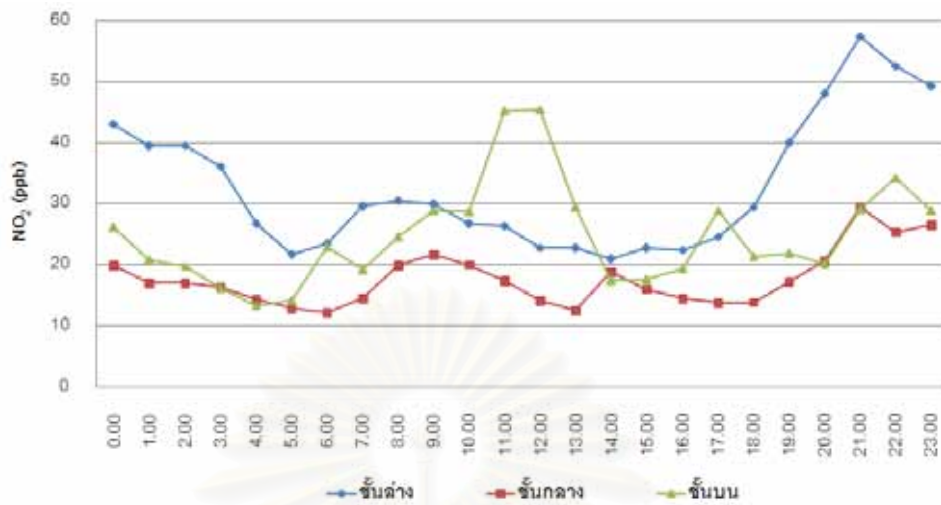
2.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัด NO_2 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสุท พบว่าความเข้มข้น NO_2 มีค่าระหว่าง 7.5-61.1 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น NO_2 ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 29.5 ppb ในช่วงเวลา 21.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 12.3 ppb ในช่วงเวลา 06.00 นาฬิกา

2.3) ชั้นสูงสุด

ผลการตรวจวัด NO_2 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสุท พบว่าความเร็วมพบค่าความเข้มข้น NO_2 มีค่าระหว่าง 7.5-87.2 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น NO_2 อุณหภูมิมีค่าสูงสุดเท่ากับ 45.5 ppb ในช่วงเวลา 12.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.5 ppb ในช่วงเวลา 04.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของ NO_2 ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 4.25



ภาพที่ 4.25 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO₂ ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

ความเข้มข้นของ NO₂ ทั้ง 3 ระดับความสูงในกรุงเทพมหานคร พบว่าชั้นล่างมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 33.4 ppb) และชั้นกลางมีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 18.1 ppb) ในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครเป็นช่วงที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูง ท้องฟ้าโปร่ง อัตราส่วนของ NO₂/NO_x มีค่าอยู่ระหว่าง 0.80-0.82 (ภาพที่ 4.26) นอกจากนี้กรุงเทพมหานครเป็นเมืองขนาดใหญ่การปลดปล่อย NO_x และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนปริมาณมาก ดังนั้นจึงไม่เป็นปัจจัยจำกัดในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล การออกซิไดซ์ NO ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ NO₂ จึงสามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่องอัตราส่วนจึงมีค่าสูง



ภาพที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของ NO₂ /NO_x ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

3) พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัด NO_2 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน พบว่าความเข้มข้น NO_2 มีค่าระหว่าง 0.2-37.3 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มข้น NO_2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 23.3 ppb ในช่วงเวลา 21.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.3 ppb ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา

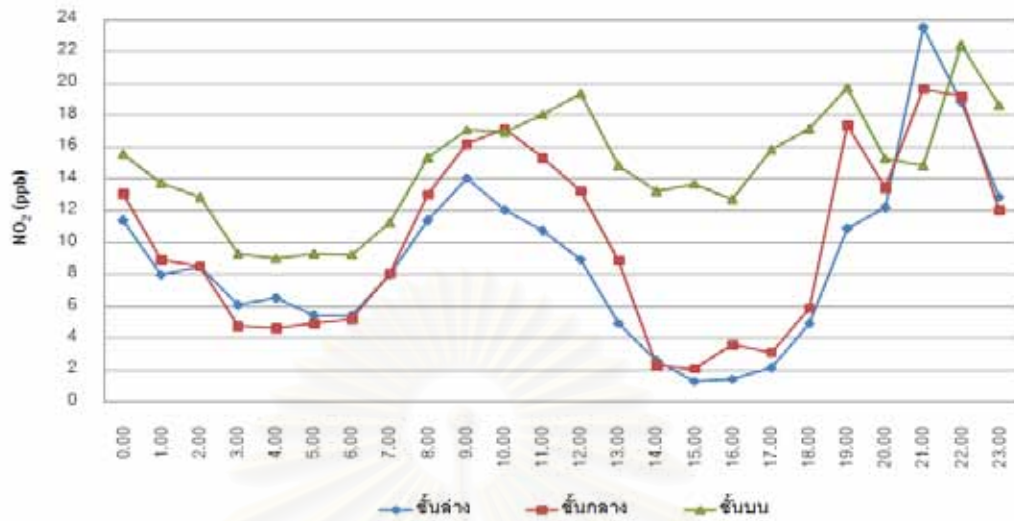
3.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัด NO_2 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง พบว่าความเข้มข้น NO_2 มีค่าระหว่าง 0.0-41.9 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มข้น NO_2 ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 19.7 ppb ในช่วงเวลา 21.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.1 ppb ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา

3.3) ชั้นสูงสุด

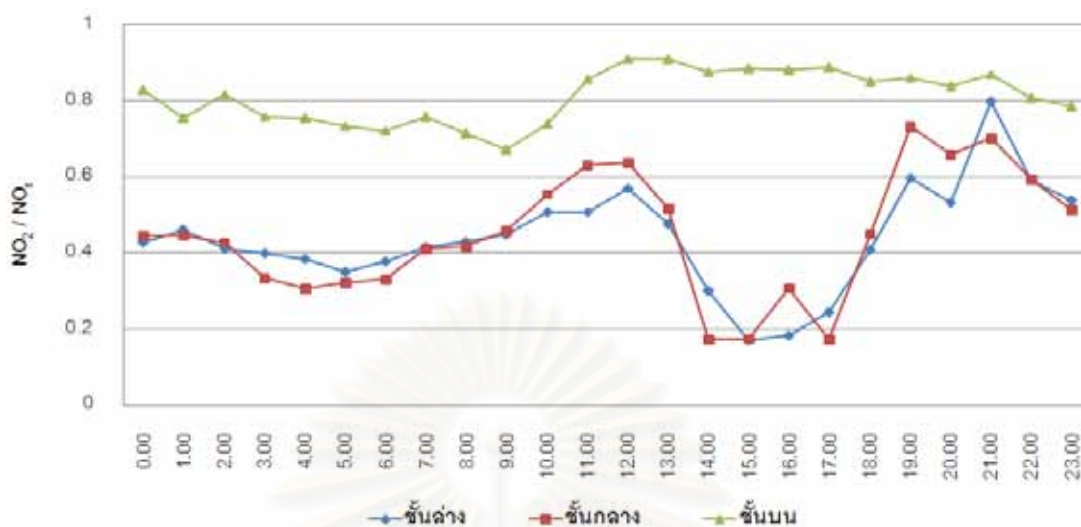
ผลการตรวจวัด NO_2 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่าความเข้มข้น NO_2 มีค่าระหว่าง 5.6-34.6 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มข้น NO_2 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 22.4 ppb ในช่วงเวลา 22.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 9.0 ppb ในช่วงเวลา 04.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของ NO_2 ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ แสดงดังภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.27 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO_2 ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ความเข้มข้นของ NO_2 ทั้ง 3 ระดับในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าชั้นบนมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 14.8 ppb) และชั้นล่างมีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 9.10 ppb) นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราส่วนของ NO_2/NO_x สามารถบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของ NO_x ในบรรยากาศเมื่อมีปฏิกิริยาทางเคมีในบรรยากาศนั้น อัตราส่วนดังกล่าวมีค่าอยู่ระหว่าง 0.36-0.82 (ภาพที่ 4.28) ทั้งนี้เนื่องจากในชั้นล่างและชั้นกลาง (เวลากลางคืน) การทำปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลถูกจำกัดด้วยความเข้มแสงอาทิตย์ประกอบกับในบรรยากาศมี O_3 ค่อนข้างต่ำ (10-15 ppb) ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลง NO ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ NO_2 เป็นไปได้น้อย ค่าอัตราส่วนของ NO_2/NO_x ในชั้นล่างและกลางจึงมีค่าต่ำ และพบว่าเมื่อเวลา 11.00 นาฬิกาเป็นต้นไป การเพิ่มขึ้นของ O_3 ตามปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ส่งผลให้ความเข้มข้นของ NO_2 ลดลง ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลจึงถูกจำกัดด้วยปัจจัยดังกล่าว ส่งผลให้การออกซิไดซ์ NO ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของ NO_2 จึงไม่สามารถกระทำได้อย่างต่อเนื่อง อัตราส่วนจึงมีค่าลดลงในช่วง 14.00-16.00 นาฬิกา ส่วนในชั้นบนที่มีอัตราส่วนที่ค่อนข้างสูง และคงที่ตลอดเวลาเนื่องจากในช่วงดังกล่าวค่าความเข้มข้น NO_x สูงกว่าชั้นกลางและชั้นล่าง ส่งผลให้ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลสามารถดำเนินได้อย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 4.28 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนอัตราส่วนของ NO_2/NO_x ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

4.2.2 ก๊าซโอโซน (O_3)

1) พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัด O_3 บริเวณชั้น 8 ของโรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ พบว่าความเข้มข้น O_3 มีค่าระหว่าง 5.7-28.3 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (Diurnal variation) พบว่าในระหว่างการศึกษา O_3 ชั้นล่างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 19.6 ppb ในช่วงเวลา 02.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.6 ppb ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา

1.2) ชั้นกลาง

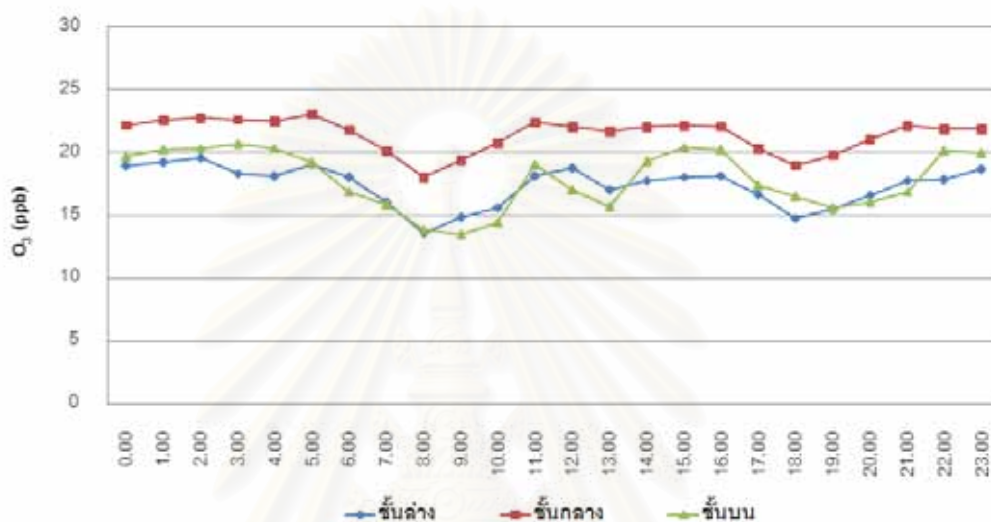
ผลการตรวจวัด O_3 บริเวณชั้น 14 ของโรงแรมดี การ์เดนท์ หาดใหญ่ พบว่า O_3 มีค่าระหว่าง 9.9-24.1 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษา O_3 ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 23.1 ppb ในช่วงเวลา 05.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 18.0 ppb ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา

1.3) ชั้นสูงสุด

ผลการตรวจวัด O_3 บริเวณชั้นดาดฟ้าของโรงแรมดี การ์เดนท์ หาดใหญ่ พบว่า O_3 มีค่าระหว่าง 5.4-22.1 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อ

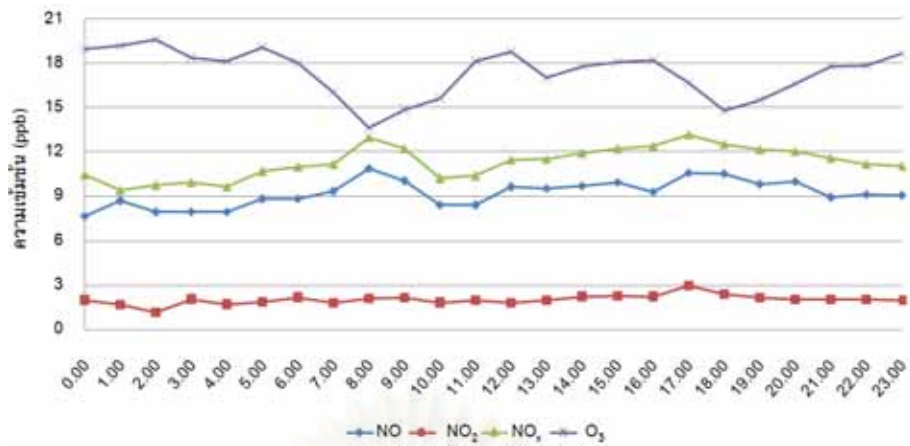
แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษา O_3 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 20.7 ppb ในช่วงเวลา 03.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.5 ppb ในช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของ O_3 ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แสดงดังภาพที่ 4.29

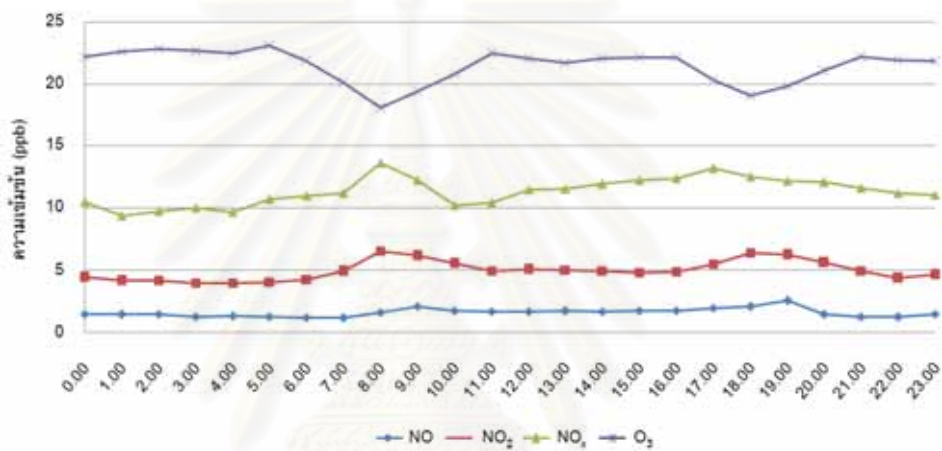


ภาพที่ 4.29 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น O_3 ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ O_3 ทั้ง 3 ระดับความสูงในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าชั้นกลางมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 21.2 ppb) และชั้นล่างมีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 17.1 ppb) ค่าที่ตรวจวัดมีค่าค่อนข้างคงที่ และมีแนวโน้มของความเข้มข้นสูงในเวลากลางวัน และลดต่ำลงในเวลากลางคืน อย่างไรก็ตามก็เนื่องจากความเข้มข้นของ O_3 มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล กล่าวคือความเข้มข้นของ O_3 จะเพิ่มสูงขึ้นในเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ และเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาทั้งหมด พบว่า ในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างมีเมฆมากส่งผลให้ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างต่ำ (ภาพที่ 4.16) ดังนั้น จึงส่งผลให้การออกซิไดซ์ NO ให้เป็น NO_2 และ O_3 ในแต่ละชั้นเกิดขึ้นค่อนข้างต่ำกว่าในทุกพื้นที่ศึกษา (ภาพที่ 4.30)



(ก) ชั้นล่าง



(ข) ชั้นกลาง



(ค) ชั้นบน

ภาพที่ 4.30 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO NO₂ NO_x และ O₃ ในรอบวันเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับ ความสูงในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1) ชั้นล่าง

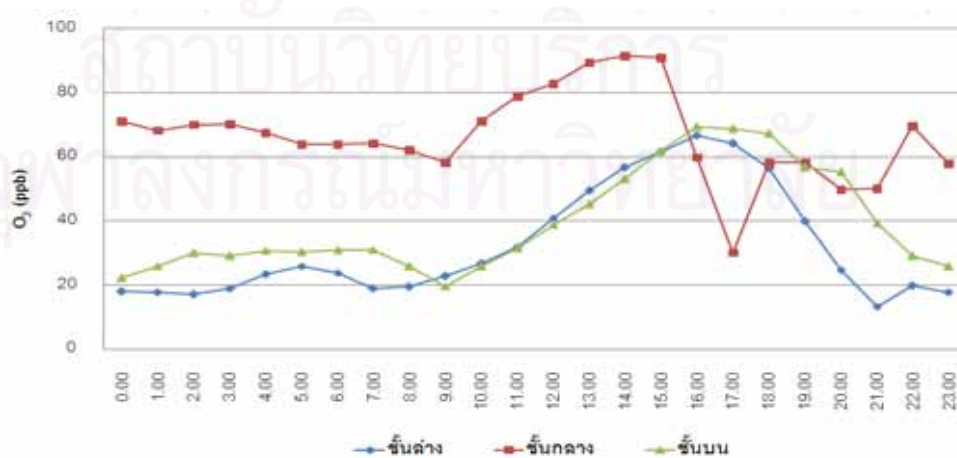
ผลการตรวจวัด O_3 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสภท พบว่าความเข้มข้น O_3 มีค่าระหว่าง 0.2-90.2 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น O_3 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 66.7 ppb ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.4 ppb ในช่วงเวลา 21.00 นาฬิกา

2.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัด O_3 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสภท พบว่าความเข้มข้น O_3 มีค่าระหว่าง 0.9-87.9 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น O_3 ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 60.8 ส่วนในพื้นด้านล่าง ในช่วงเวลา 14.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 21.7 ppb ในช่วงเวลา 17.00 นาฬิกา

2.3) ชั้นสูงสุด

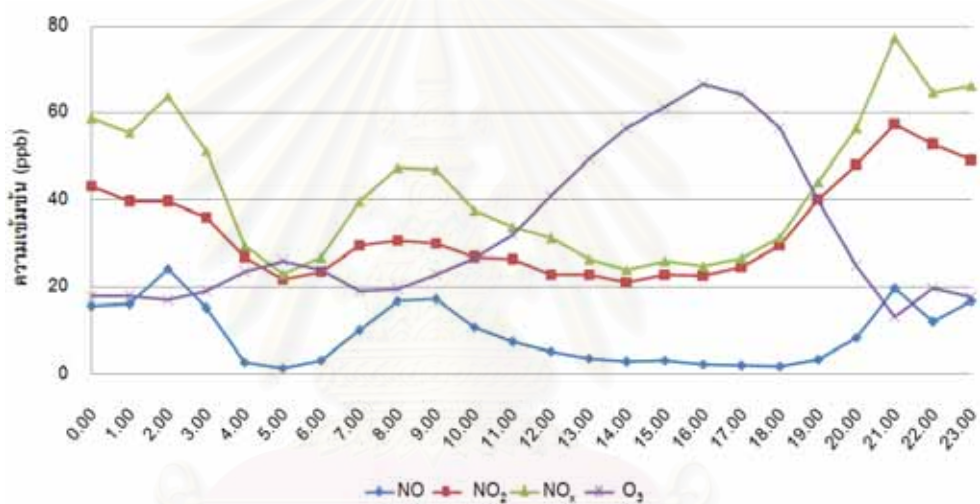
ผลการตรวจวัด O_3 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมใบหยกสภท พบว่าความเข้มข้น O_3 มีค่าระหว่าง 1.5-94.9 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น O_3 ชั้นบนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 69.2 ppb ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 19.7 ppb ในช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา



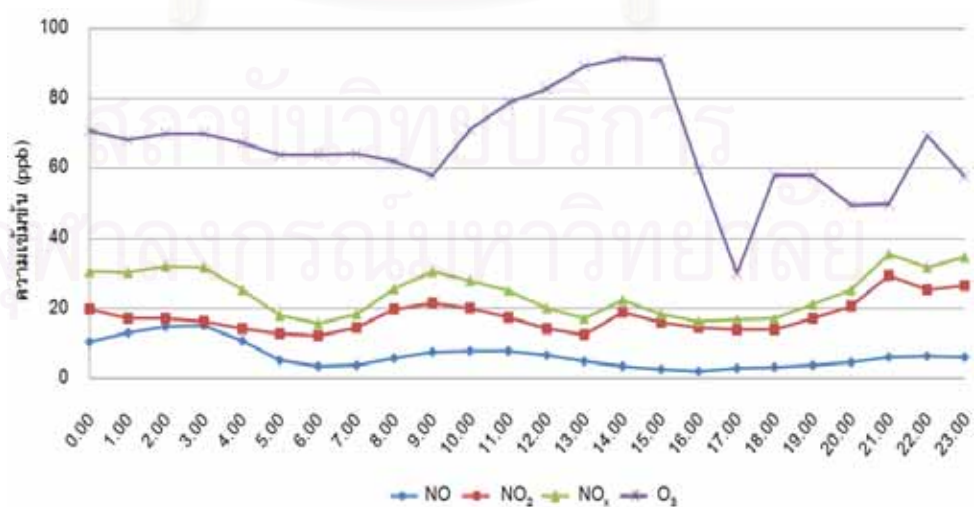
ภาพที่ 4.31 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น O_3 ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ O_3 ทั้ง 3 ระดับความสูงในกรุงเทพมหานคร พบว่าชั้นบนมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 39.4 ppb) และชั้นล่างมีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 32.2 ppb) โดยมีแนวโน้มของความเข้มข้นสูงในเวลาบ่าย และลดต่ำลงในเวลากลางคืน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล กล่าวคือ ความเข้มข้นของ O_3 จะเพิ่มสูงขึ้นในเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ (ภาพที่ 4.17) นอกจากนี้ค่าความเข้มข้นของ O_3 จะแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของ NO_2 (ภาพที่ 4.32)

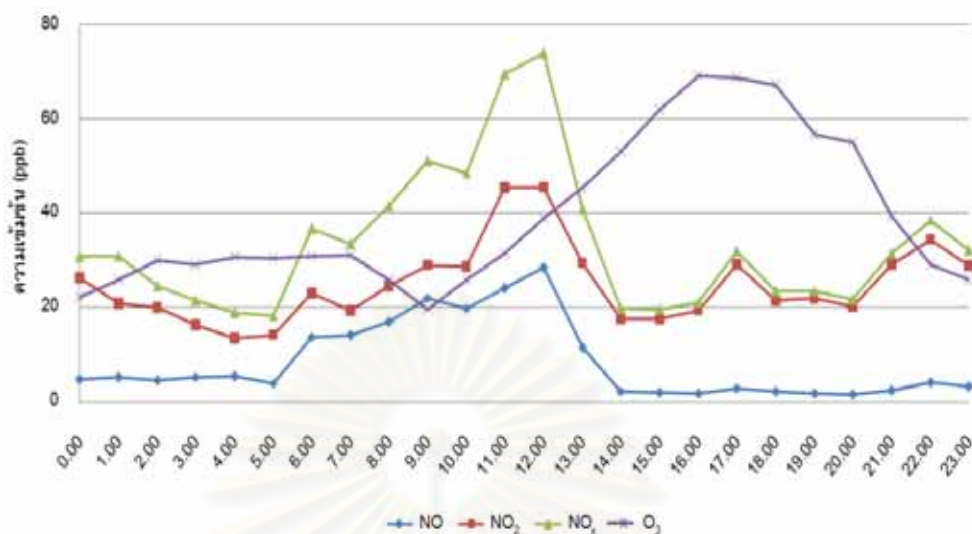
อย่างไรก็ดีเนื่องจากกรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีการปลดปล่อย NO_x สูง จากแหล่งกำเนิดยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินอย่างต่อเนื่อง NO_2/NO_x จึงมีค่าค่อนข้างคงที่ (ภาพที่ 4.26)



(ก) ชั้นล่าง



(ข) ชั้นกลาง



(ค) ชั้นบน

ภาพที่ 4.32 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO NO₂ NO_x และ O₃ ในรอบวันเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับ ความสูงในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

3) พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1) ชั้นล่าง

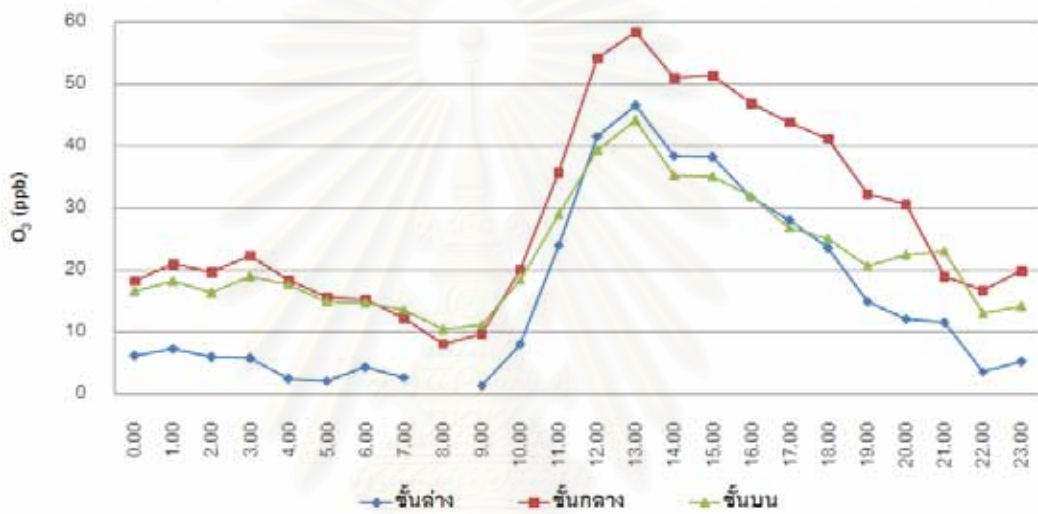
ผลการตรวจวัด O₃ บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน พบว่าความเข้มข้น O₃ มีค่าระหว่าง 0.00-63.0 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษา ความเข้มข้น O₃ มีค่าสูงสุดเท่ากับ 46.6 ppb ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.4 ppb ในช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา

3.2) ชั้นกลาง

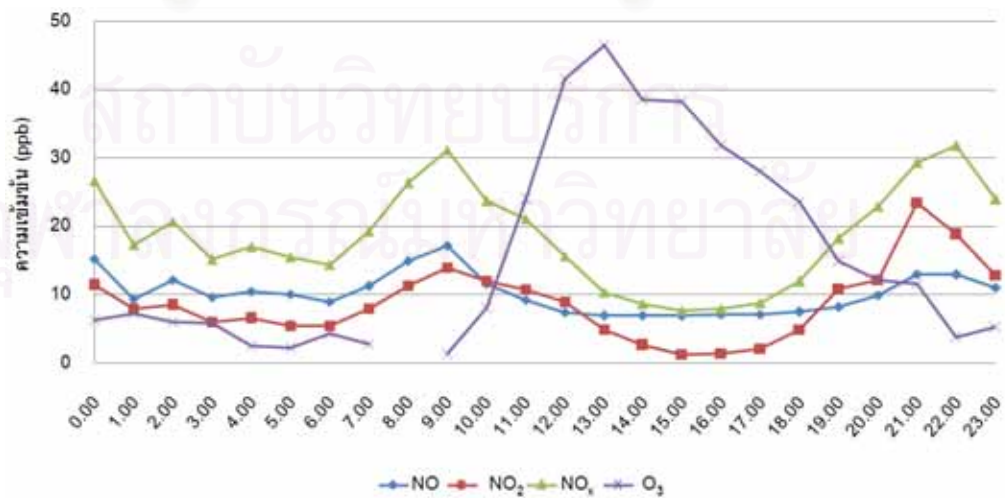
ผลการตรวจวัด O₃ บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง พบว่าความเข้มข้น O₃ มีค่าระหว่าง 4.1-79.7 ppb เมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความเข้มข้น O₃ ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 58.5 ppb ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.2 ppb ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา

3.3) ชั้นสูงสุด

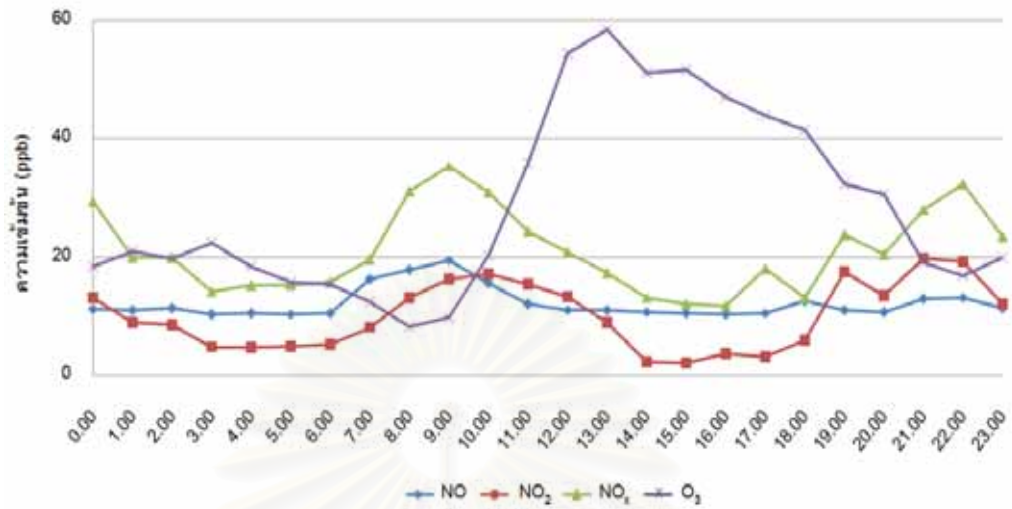
ผลการตรวจวัด O_3 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน พบว่า ความเข้มข้น O_3 มีค่าระหว่าง 3.7-63.3 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า ในระหว่างการศึกษาค้นคว้า ความเข้มข้น O_3 มีค่าสูงสุดเท่ากับ 44.2 ppb ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 10.6 ppb ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา



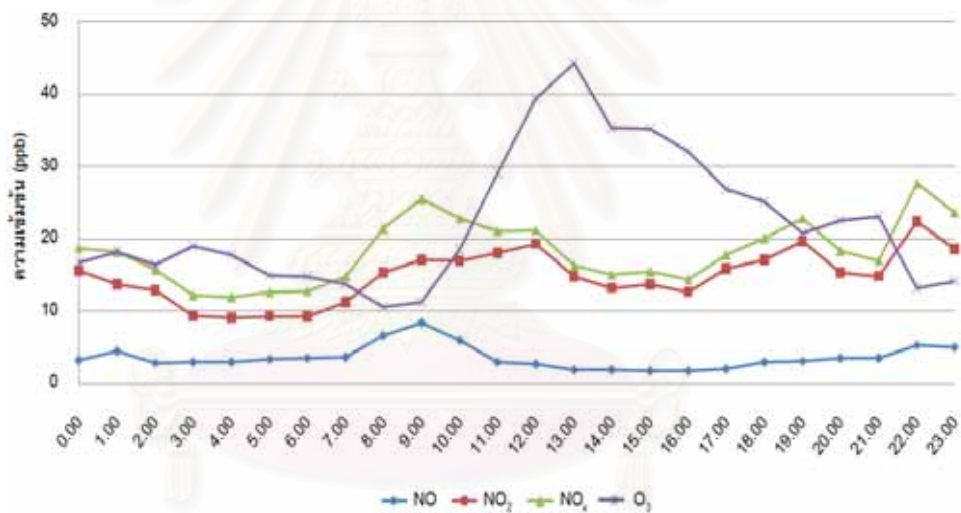
ภาพที่ 4.33 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น O_3 ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่



(ก) ชั้นล่าง



(ข) ชั้นกลาง



(ค) ชั้นบน

ภาพที่ 4.34 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น NO NO_2 NO_x และ O_3 ในรอบวันเฉลี่ยทั้ง 3 ระดับ ความสูงในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ O_3 ทั้ง 3 ระดับความสูงในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าชั้นกลางมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 28.6 ppb) และชั้นล่างมีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 20.4 ppb) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความเข้มแสงอาทิตย์ (ภาพที่ 4.18) และค่าความเข้มข้นของ NO_2 โดยพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ O_3 เพิ่มสูงขึ้นในเวลากลางวัน ความเข้มข้นของ NO_2 จะลดลง (ภาพที่ 4.34)

นอกจากนั้นยังพบว่าในกรณีนี้ที่ NO_x เป็นปัจจัยจำกัดของการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล การเกิด NO_2 ถูกจำกัดส่งผลให้ อัตราส่วนของ NO_2/NO_x มีค่าต่ำลง (ภาพที่ 4.28)

4.23 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

1) พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัด CO บริเวณชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ พบว่าความเข้มข้น CO มีค่าระหว่าง 0.01-0.70 ppm และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (Diurnal variation) พบว่าในระหว่างการศึกษา CO ในชั้น Roughness layer มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.21 ppm ในช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.01 ppm ในช่วงเวลา 02.00-05.00 นาฬิกา

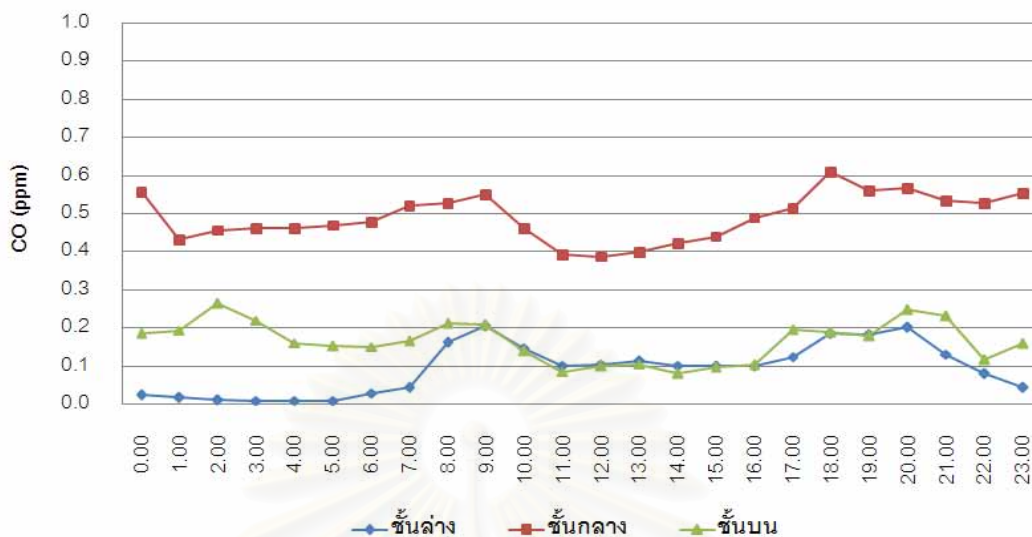
1.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัด CO บริเวณชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่า CO มีค่าระหว่าง 0.12-0.78 ppm และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า ในระหว่างการศึกษา CO ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.61 ppm ในช่วงเวลา 18.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.39 ppm ในช่วงเวลา 11.00 และ 12.00 นาฬิกา

1.3) ชั้นสูงสุด

ผลการตรวจวัด CO บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่า CO มีค่าระหว่าง 0.01-0.66 ppm และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษา CO มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.27 ppm ในช่วงเวลา 02.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.08 ppm ในช่วงเวลา 14.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของ CO ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาแสดงดังภาพที่ 4.35



ภาพที่ 4.35 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น CO ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ในการศึกษาครั้งนี้ ความเข้มข้นของ CO เป็นดัชนีที่บ่งบอกกิจกรรมของมนุษย์ในเขตเมือง โดยเฉพาะกิจกรรมการจราจร ซึ่งค่าความเข้มข้นในชั้นล่างของพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีค่าความเข้มข้นต่ำ เนื่องจากจุดตรวจวัด ซึ่งตั้งอยู่เหนือชั้น Roughness layer และได้รับอิทธิพลของเมืองที่มีอาคารหนาแน่น ส่งผลให้บริเวณจุดตรวจวัดไม่ได้รับอิทธิพลโดยตรงจากแหล่งกำเนิด CO ส่วนค่าความเข้มข้นในชั้นกลางและชั้นบนของพื้นที่ศึกษา พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้นั้นมีค่าลดลงตามลำดับ

2) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัด CO บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมไบฮกยูกูท พบว่าความเข้มข้น CO มีค่าระหว่าง 0.01-1.27 ppm และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการการศึกษา ความเข้มข้น CO มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.2 ppm ในช่วงเวลา 23.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.5 ppm ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา

2.2) ชั้นกลาง

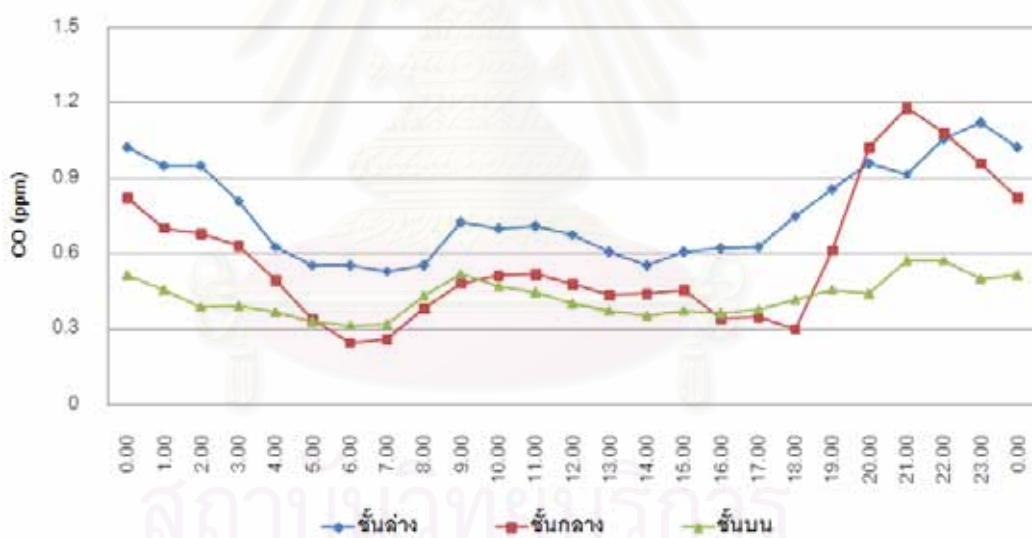
ผลการตรวจวัด CO บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมไบฮกยูกูท พบว่าความเข้มข้น CO มีค่าระหว่าง 0.01-1.82 ppm และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ย

เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น CO ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.18 ppm ในช่วงเวลา 21.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.25 ppm ในช่วงเวลา 06.00 นาฬิกา

2.3) ชั้นสูงสุด

ผลการตรวจวัด CO บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมไพบยภักศกาย พบว่าความเข้มข้น CO มีค่าระหว่าง 0.24-1.12 ppm และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษา ความเข้มข้น CO มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.58 ppm ในช่วงเวลา 22.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.32 ppm ในช่วงเวลา 06.00 และ 07.00

การเปลี่ยนแปลงของ CO ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 4.36



ภาพที่ 4.36 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น CO ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

3) พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัด CO บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่าความเข้มข้น CO มีค่าระหว่าง 0.20-2.24 ppm และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า ในระหว่างการศึกษา ความเข้มข้น CO มี

ค่าสูงสุดเท่ากับ 1.2 ppm ในช่วงเวลา 02.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.4 ppm ในช่วงเวลา 19.00 นาฬิกา

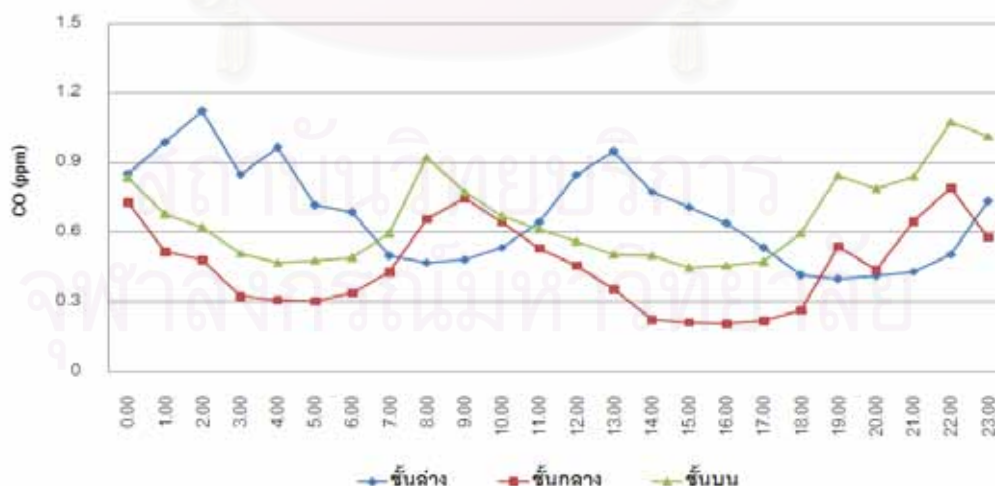
3.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัด CO บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง พบว่า ความเข้มข้น CO มีค่าระหว่าง 0.06-1.85 ppm และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า ในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น CO ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.79 ppm ในช่วงเวลา 22.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.21 ppm ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา

3.3) ชั้นสูงสุด

ผลการตรวจวัด CO บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน พบว่า ความเข้มข้น CO มีค่าระหว่าง 0.00-1.58 ppm และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น CO มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.08 ppm ในช่วงเวลา 22.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.45 ppm ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา

การเปลี่ยนแปลงของ CO ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ แสดงดังภาพที่ 4.37



ภาพที่ 4.37 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น CO ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

4.2.4 สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

1) พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้น 8 ของโรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 0.59 ng m⁻³ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มข้น PAHs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.09 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 06.00 – 09.00 นาฬิกา ซึ่งสอดคล้องกับ CO มีค่าสูงสุดในเวลา 09.00 นาฬิกา ที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ อีกทั้งยังพบว่าในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา ความเข้มข้นของ O₃ ในชั้นล่างมีค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นผลทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ซึ่งจัดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนกึ่งระเหยง่าย (Semi-Volatile Organic Compounds) ที่สามารถถูกออกซิไดซ์ในปฏิกิริยา Photooxidation นั้น จึงเกิดได้ไม่มากนักภายในชั้นนี้ และค่าความเข้มข้น PAHs มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.04 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 03.00 – 06.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นผลมาจากในช่วงเวลา 03.00 – 06.00 นาฬิกา ตลอด 3 วันที่ทำการเก็บตัวอย่าง พบว่าในการเก็บตัวอย่างวันแรกจะมีฝนตกปรอยๆ และมีความชื้นสูง (Wet Deposition) อีกทั้งในวันที่สองและวันที่สามของการเก็บตัวอย่างมีลมแรง ส่งผลให้เกิดกระบวนการชะล้าง (Dry Deposition) อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลานี้มีค่าต่ำที่สุดในรอบวันเฉลี่ย (ภาพที่ 4.38) และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ย พบว่ามีค่าอยู่ที่ 0.06 ± 0.07 ng m⁻³ โดยพบว่า B(g,h,i)P มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุด (0.17 ng/m³) รองลงมา คือ Ind (0.13 ng m⁻³), B(a)P (0.08 ng m⁻³), B(e)P (0.069 ng m⁻³) และ B(b)F (0.066 ng m⁻³) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.39) จะเห็นได้ว่าในชั้นล่างส่วนใหญ่จะพบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 โดยส่วนใหญ่ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะปรากฏในอนุภาคแขวนลอย มากกว่าก๊าซ ดังนั้นจึงมักพบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากที่ระดับพื้นผิว

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่าเมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/[B(a)P + Chry] มีค่าเท่ากับ 0.683 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากเครื่องยนต์เบนซิน (ตารางที่ 4.4)

ตารางที่ 4.4 แสดงแหล่งกำเนิดของ PAHs จากการเทียบอัตราส่วน PAHs (Binary ratio)

อัตราส่วนของ PAHs	ค่าอัตราส่วน	แหล่งกำเนิด	อ้างอิง
B(a)P/B(g,h,i)P	0.5–0.6	Traffic emission	Pandey et al. (1999) Park et al. (2002)
B(a)P / [B(a)P+Chry]	0.5 0.73	Diesel Gasoline	Pandey et al. (1999) Park et al. (2002)
Ind/[Ind+B(,h,i)P]	0.56 – 0.62	Biomass	Grimer et al. (1983) Kavouras et al. (2001) Ravindra (2006)

1.2) ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้น 14 ของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 0.43 ng m^{-3} และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น PAHs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.12 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00 – 06.00 นาฬิกา และความเข้มข้นของ PAHs มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.03 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 12.00 – 15.00 นาฬิกา ซึ่งจะสอดคล้องกับอุณหภูมิ และความเข้มแสง กล่าวคือ พบว่าในช่วงเวลาที่ความเข้มข้น PAHs ต่ำที่สุด (12.00 – 15.00 นาฬิกา) เป็นช่วงที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิสูงสุดในเวลา 13.00 นาฬิกา ดังนั้นในช่วงเวลานี้ PAHs จะถูกย่อยสลายด้วยแสงในกระบวนการ Photodegradation ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลานี้มีค่าต่ำที่สุดในรอบวันเฉลี่ย (ภาพที่ 4.38) และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีค่าอยู่ที่ $0.07 \pm 0.09 \text{ ng m}^{-3}$ โดยพบว่า B(g,h,i)P มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุด (0.19 ng m^{-3}) รองลงมา คือ B(a)P และ Pyr (0.15 ng m^{-3}), B(e)P (0.129 ng m^{-3}) Ind (0.127 ng m^{-3}) และ B(b)F (0.126 ng m^{-3}) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.40)

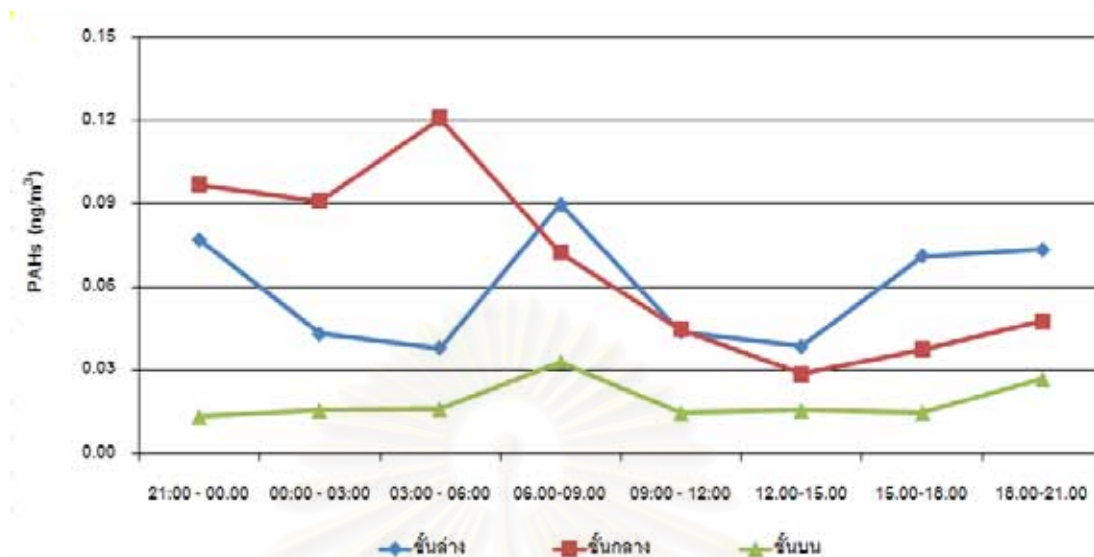
จากผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นตาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่าเมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(h,i)P มีค่าเท่ากับ 0.76 ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า PAHs ในชั้นนี้มาจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ชั้นล่างนั้นก็คือการจราจร (ตารางที่ 4.4)

1.3) ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นตาดฟ้าโรงแรมลี การ์เดนส์ พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 0.20 ng m⁻³ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้น PAHs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.033 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 06.00 – 09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.013 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 21.00 – 00.00 นาฬิกา เนื่องจากสองวันแรกของการเก็บตัวอย่างในช่วงเวลานี้มีฝนตก และลมแรง ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลานี้มีค่าต่ำที่สุดในรอบวันเฉลี่ย และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีค่าอยู่ที่ 0.019 ± 0.024 ng m⁻³ โดยพบว่า B(g,h,i)P มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (0.06 ng m⁻³) รองลงมาคือ Ind (0.03 ng m⁻³), Pyr (0.02 ng m⁻³), Chry (0.012 ng m⁻³) และ Fluo (0.011 ng m⁻³) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.41)

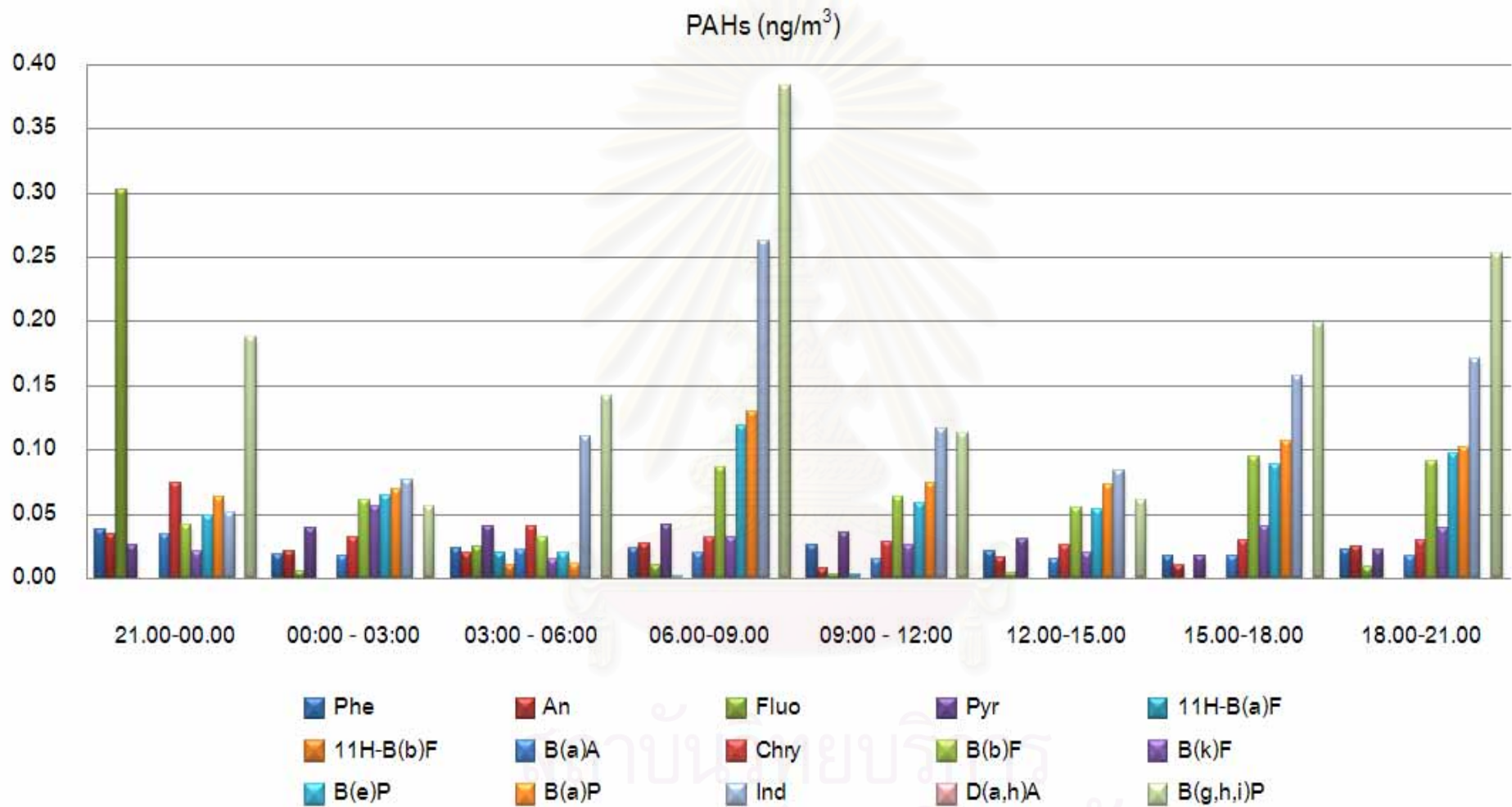
จากผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นตาดฟ้าโรงแรมเซนทารา ดวงตะวัน พบว่าเมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนระหว่าง Ind/[Ind+B(h,i)P] มีค่าเท่ากับ 0.65 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ชีวมวล (ตารางที่ 4.4) การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แสดงดังภาพที่ 4.38

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

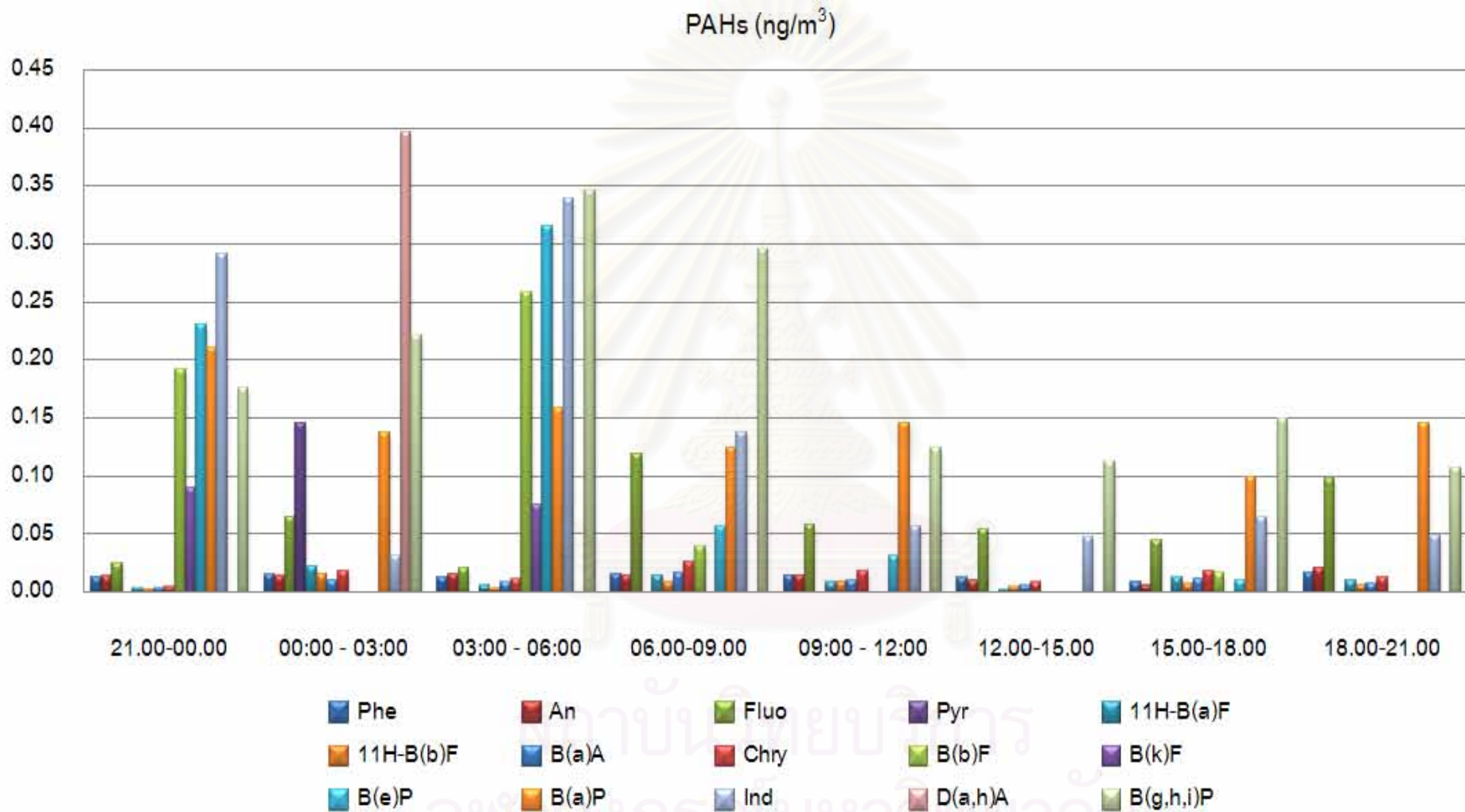


ภาพที่ 4.38 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

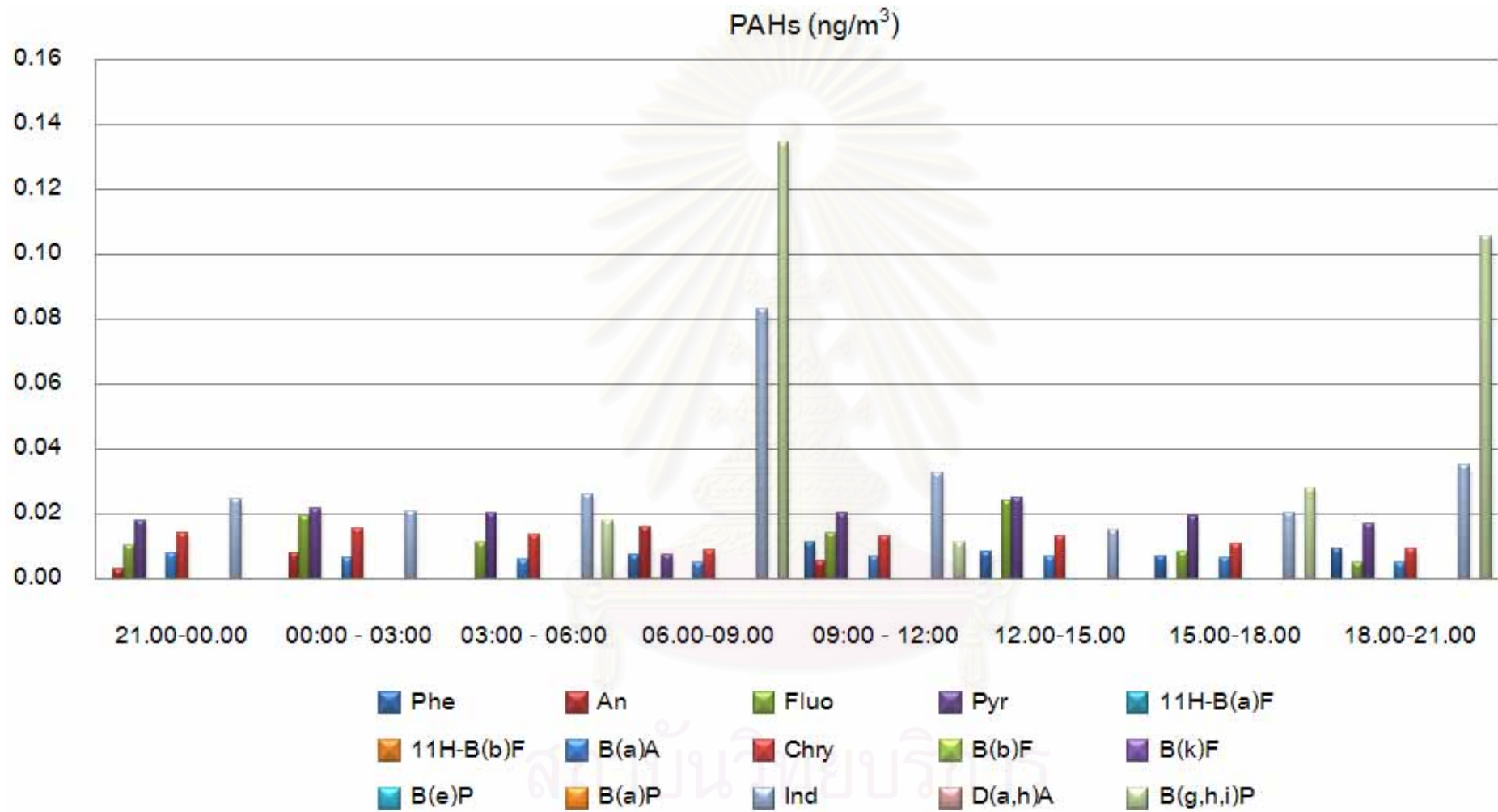
การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูงในพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าชั้นกลางมีความเข้มข้นสูงสุด และชั้นบนมีความเข้มข้นต่ำที่สุด ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในชั้นกลาง กระแสลมจะพัดมาจากทางทิศตะวันออกเป็นหลัก ซึ่งจะแตกต่างจากชั้นล่าง และชั้นบนที่มีกระแสลมพัดมาจากทางทิศตะวันตกเป็นหลัก ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ PAHs ในชั้นกลางมาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างจากชั้นล่าง และชั้นบน นอกจากนี้พบว่าแหล่งกำเนิดหลักในชั้นล่าง และชั้นกลางของพื้นที่ศึกษามาจากการจราจร และชั้นบนมาจากการเผาไหม้ชีวมวลซึ่งเป็นไปตามหลักการแพร่กระจายมลพิษในระยะไกล (Long Range Transport) นอกจากนี้ยังได้ศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs ต่อกระบวนการย่อยสลายด้วยแสงหรือปฏิกิริยา Photodegradation และการทำปฏิกิริยากับก๊าซต่างๆ อาทิเช่น O_3 , NO_x และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล เป็นต้น เนื่องจาก B(a)P มีความไวในการถูกย่อยสลายโดยแสงได้ง่าย (photosensitive) กล่าวคือ มีความเสถียรน้อยกว่าเมื่อเทียบกับ B(e)P ซึ่งถูกจัดว่าเป็น PAHs ที่มีความเสถียรมากที่สุด (Behymer and Hites; 1988 และ Ohkouchi et al., 1999) พบว่าอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบนมีค่าเท่ากับ 1.14, 1.13 และ N.D. ตามลำดับ โดยพบว่า B(a)P และ B(e)P ในชั้นกลางมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากชั้นล่างเกือบ 2 เท่า แต่อัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ของชั้นกลางกลับมีค่าน้อยลง แสดงให้เห็นถึงว่า PAHs ในชั้นกลางมีความเสถียรน้อยกว่า PAHs ในชั้นล่าง



ภาพที่ 4.39 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณชั้น 8 ของโรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่



ภาพที่ 4.40 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณชั้น 14 ของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่



ภาพที่ 4.41 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณ
 ชั้นดาดฟ้าของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่

2) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมโบหยกสุท พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 8.10 ng m^{-3} และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความเข้มข้น PAHs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.02 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 18.00 – 21.00 นาฬิกา ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของ PM_{10} ที่เริ่มมีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ($R = 0.507$) ในเวลา 21.00 นาฬิกา อีกทั้งสภาพอากาศขณะเก็บตัวอย่างมีความชื้นน้อยจนถึงแห้ง รวมทั้งความเร็วลมที่ค่อนข้างเบาจนถึงเงียบ ส่งผลให้มีการกระจายตัวของ PAHs ได้ดีในช่วงเวลานี้ และความเข้มข้น PAHs มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.49 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 12.00 – 15.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงที่ O_3 ค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนมีค่าสูงสุดในเวลา 16.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.31) โดยจะไปสัมพันธ์กับ NO_2 ซึ่งมีค่าต่ำลงในช่วงเวลานี้ (ภาพที่ 4.25) แสดงให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลขึ้นในช่วงเวลานี้ ทำให้ PAHs เกิดปฏิกิริยากับ OH-radical ที่เกิดขึ้นจากเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีค่าอยู่ที่ $0.74 \pm 0.65 \text{ ng m}^{-3}$ โดยพบว่า An มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุด (1.99 ng m^{-3}) รองลงมา คือ B(g,h,i)P (1.34 ng m^{-3}), Pyr (0.99 ng m^{-3}), B(b)F (0.97 ng m^{-3}) และ Phe (0.85 ng m^{-3}) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.43) และเมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(g,h,i)P มีค่าเท่ากับ 0.53 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลัก และส่วนใหญ่มาจากเครื่องยนต์ดีเซล (อัตราส่วนระหว่าง B(a)P/[B(a)P+Chry] = 0.55) (ตารางที่ 4.4)

2.2) ชั้นกลาง

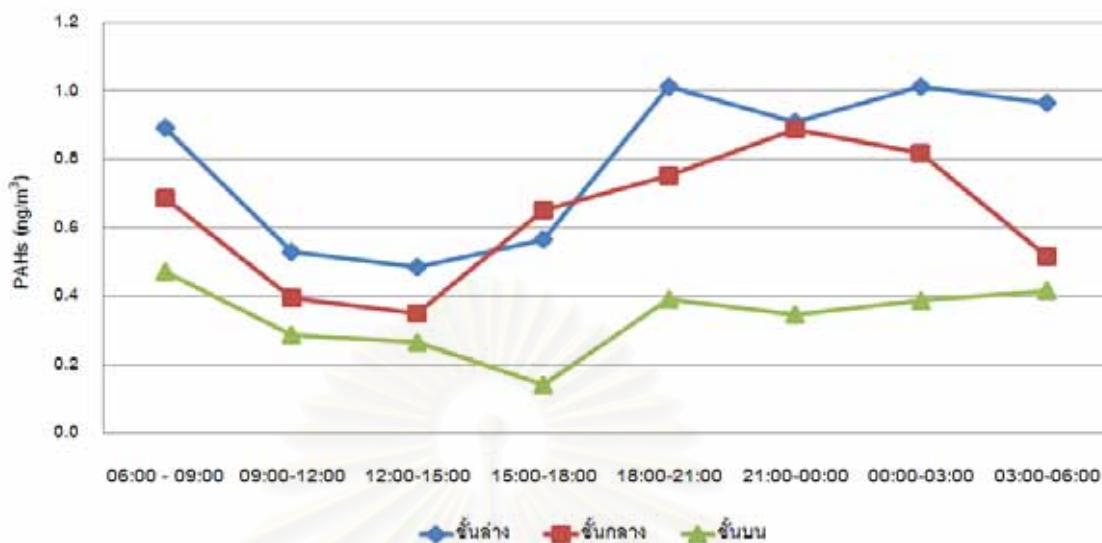
ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมโบหยกสุท พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 5.83 ng m^{-3} และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความเข้มข้น PAHs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.89 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 21.00 – 00.00 นาฬิกา ซึ่งสอดคล้องกับ CO มีค่าสูงสุดในเวลา 21.00 นาฬิกา ที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ ซึ่งพบว่ามีค่า Pearson correlation (R) เท่ากับ 0.509 และความเข้มข้น PAHs มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.35 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 12.00 – 15.00 นาฬิกา ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาที่ O_3 มีค่าสูงสุดในเวลา 15.00 นาฬิกา และเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกันเหมือนในชั้นล่าง ส่งผลให้ PAHs มีความเข้มข้นต่ำที่สุดในช่วงเวลานี้ และเมื่อนำ

ผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ย พบว่ามีค่าอยู่ที่ $0.63 \pm 0.76 \text{ ng m}^{-3}$ โดยพบว่า B(b)F มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (2.54 ng m^{-3}) รองลงมา คือ B(e)P (1.37 ng m^{-3}), D(a,h)A (0.80 ng m^{-3}), An (0.65 ng m^{-3}) และ B(a)P (0.64 ng m^{-3}) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.44) เมื่อนำมาเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/[B(a)P + Chry] มีค่าเท่ากับ 0.57 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากเครื่องยนดีเซล (ตารางที่ 4.4) อาจกล่าวได้ว่า PAHs ที่มาจากแหล่งกำเนิดเครื่องยนดีเซลในชั้นล่างได้เคลื่อนตัวขึ้นมายังชั้นนี้

2.3) ชั้นบน

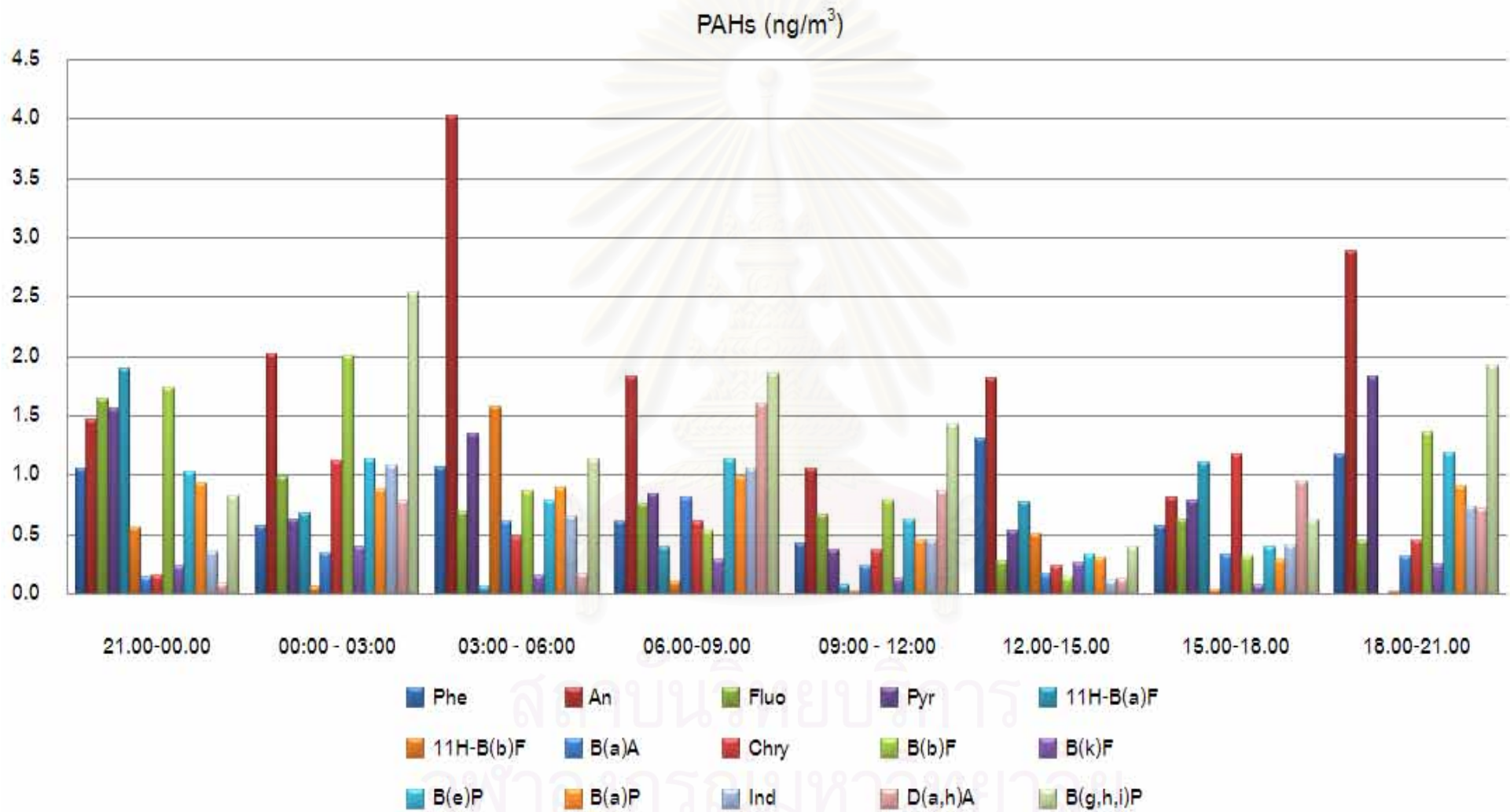
ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมไบฮกสกาย พบว่า ความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 2.60 ng m^{-3} และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาความเข้มข้น PAHs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.47 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 06.00 – 09.00 นาฬิกา และความเข้มข้น PAHs มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.14 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00 – 18.00 นาฬิกา เนื่องจากในช่วงเวลา 16.00 – 17.00 นาฬิกา อุณหภูมิ และความเร็วลม (ภาพที่ 4.3, 4.12) ในชั้นนี้มีค่าสูงสุด อีกทั้งในเวลา กลางวันความเข้มข้นของ O_3 จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงสุดในเวลา 16.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.31) และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีค่าอยู่ที่ $0.34 \pm 0.40 \text{ ng m}^{-3}$ โดยพบว่า An มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (1.31 ng m^{-3}) รองลงมา คือ B(b)F (0.77 ng m^{-3}), B[g,h,i]P (0.65 ng m^{-3}), Ind (0.43 ng m^{-3}) และ B(e)P (0.37 ng m^{-3}) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.45) เมื่อนำมาเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(g,h,i)P มีค่าเท่ากับ 0.39 และอัตราส่วนระหว่าง Ind/[Ind+B(h,i)P] มีค่าเท่ากับ 0.40 ซึ่งไม่ได้จัดอยู่ในแหล่งกำเนิดที่มาจากจราจร และการเผาไหม้ชีวมวลดังในตารางที่ 4.4 ได้กำหนดไว้ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าในชั้นบนสุดของพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานครมีความสูงที่แตกต่างต่างจากชั้นกลาง และชั้นล่างเป็นอย่างมาก ทำให้อยู่ห่างไกลจากแหล่งกำเนิดหลักที่อยู่ด้านล่าง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 4.42

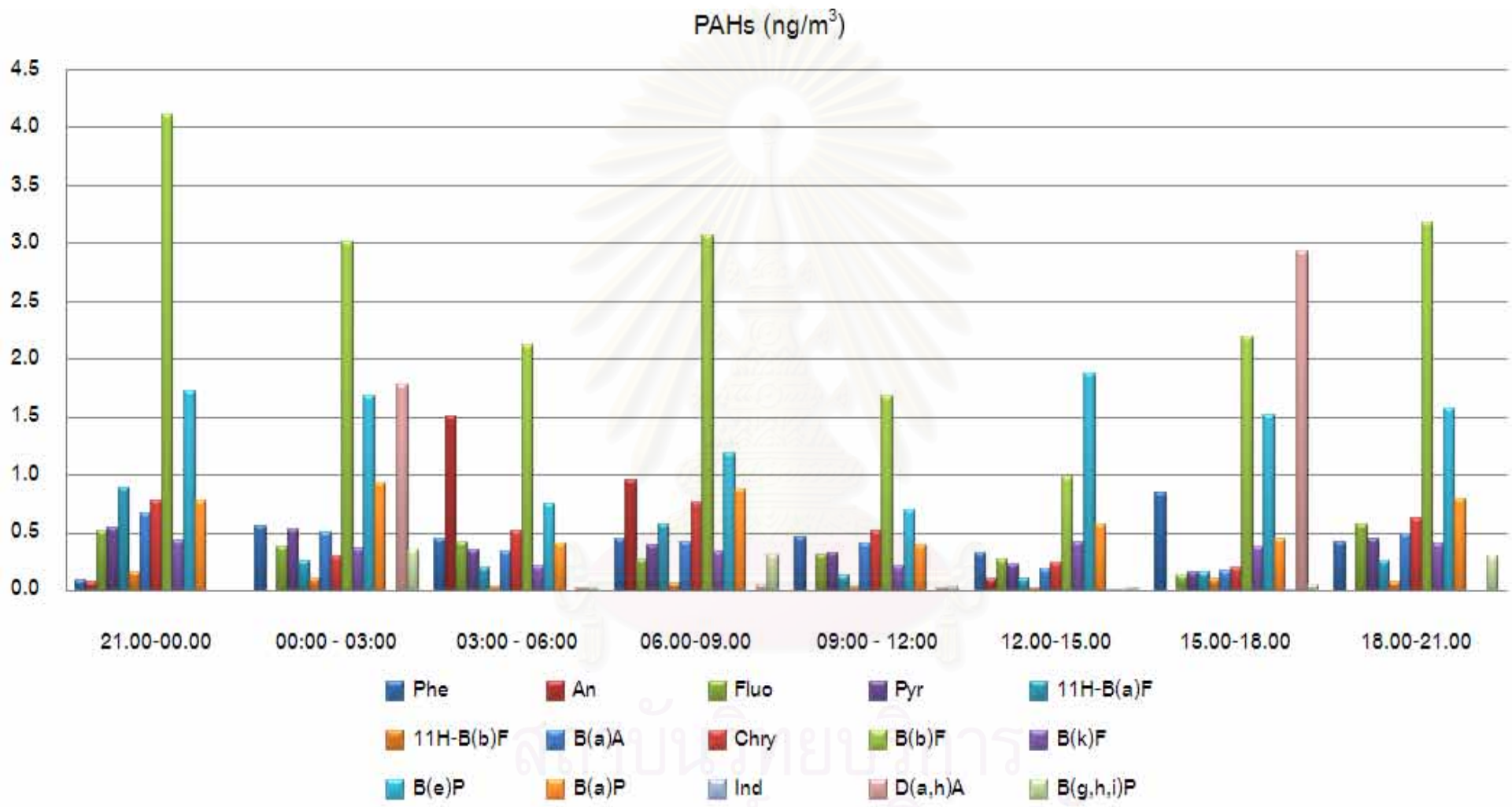


ภาพที่ 4.42 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

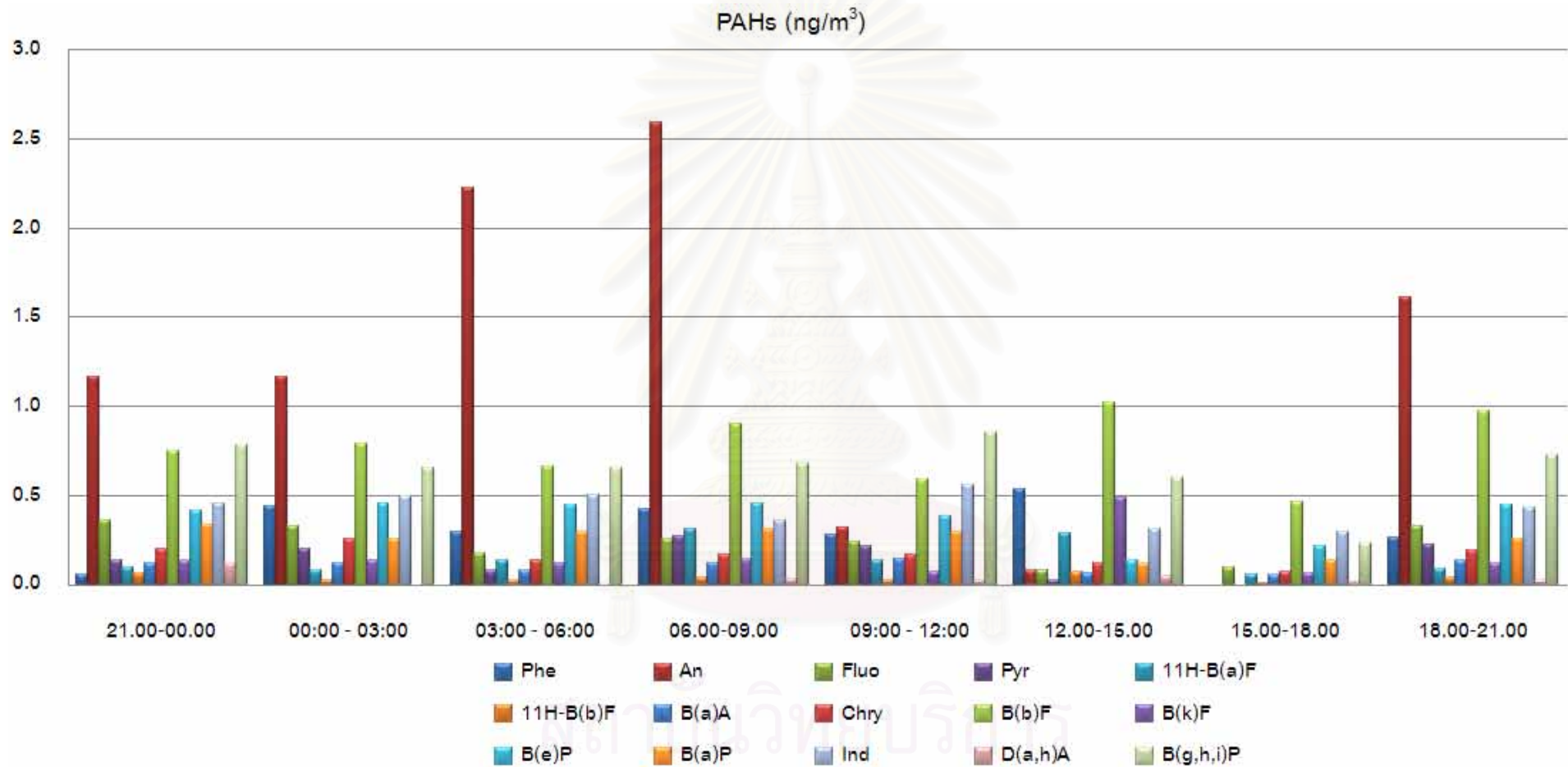
การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูงในพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร พบว่าชั้นล่างมีความเข้มข้นสูงสุด และชั้นบนมีความเข้มข้นต่ำที่สุด แหล่งกำเนิดหลักในชั้นล่าง และชั้นกลางมาจากการจราจร สำหรับในชั้นบนนั้นเนื่องจากมีความเข้มข้นต่ำมาก จึงทำให้ไม่สามารถหาแหล่งกำเนิดของ PAHs ในชั้นนี้ได้ และอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs พบว่าอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบนมีค่าเท่ากับ 0.85, 0.47 และ 0.68 ตามลำดับ โดยพบว่าความเข้มข้นของ B(a)P จะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น แต่ความเข้มข้นของ B(e)P กลับมีค่าสูงที่สุดในชั้นกลาง จึงทำให้อัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ในชั้นกลางมีค่าต่ำที่สุด ประกอบกับในชั้นกลางของพื้นที่ศึกษามีความเข้มข้นของ O_3 สูงที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นล่าง และชั้นบน โดย O_3 จะมีความสามารถในการออกซิไดซ์ PAHs มาก (Brorström, 2003) ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้พบว่า อัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ในชั้นกลางมีค่าต่ำที่สุด



ภาพที่ 4.43 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณ
 ฐานดาตฟ้าโรงแรมไบกซ์



ภาพที่ 4.44 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมไบกัส



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.45 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น ดาดฟ้าโรงแรมไพบยภักศกาย

3) พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1) ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดคุณภาพบริเวณชั้นตาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน พบว่าพบค่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 5.47 ng m⁻³ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มข้น PAHs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.37 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 06.00 – 09.00 นาฬิกา ซึ่งสอดคล้องกับสภาพอุตุนิยมวิทยาพื้นผิว กล่าวคือ ในช่วงเวลา 06.00 – 07.00 นาฬิกา มีความเข้มแสงและความเร็วลมต่ำที่สุด นอกจากนี้อุณหภูมิจะยังคงมีค่าต่ำอยู่ในช่วง 06.00 – 08.00 นาฬิกา และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นในเวลา 09.00 นาฬิกา แต่ในช่วงเวลานี้ O₃ จะมีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำที่สุดในเวลา 09.00 นาฬิกา และความเข้มข้น PAHs มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.15 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 15.00 – 18.00 นาฬิกา พบว่าในช่วงเวลานี้มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM₁₀ น้อยที่สุด อีกทั้งในวันที่สองของการเก็บตัวอย่างนั้นเครื่อง High-volume ที่ทำการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ได้ล้มลงในเวลา 15.15 นาฬิกา เนื่องจากในวันที่สองและวันที่สามของการเก็บตัวอย่างมีความเร็วลมกระโชกแรง จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลานี้มีค่าน้อยที่สุด และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีค่าอยู่ที่ 0.79 ± 0.79 ng m⁻³ โดยพบว่า Ind มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (1.88 ng m⁻³) รองลงมา คือ B(b)F (1.72 ng m⁻³), B(g,h,i)P (1.11 ng m⁻³), B(e)P (0.97 ng m⁻³) และ Pyr (0.96 ng m⁻³) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.47) และเมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(g,h,i)P มีค่าเท่ากับ 0.83 และอัตราส่วนระหว่าง [Ind]/(Ind + B(g,h,i)P) มีค่าเท่ากับ 0.54 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการจราจร และการเผาไหม้ชีวมวล (ตารางที่ 4.4)

3.2) ชั้นกลาง

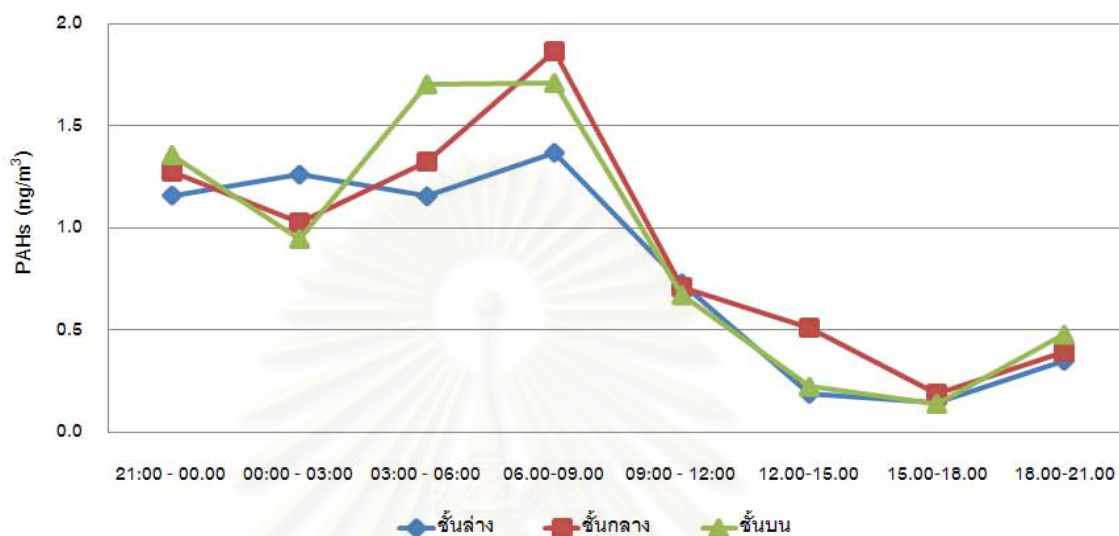
ผลการตรวจวัดคุณภาพบริเวณชั้นตาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง พบว่าพบค่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 7.12 ng m⁻³ และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มข้น PAHs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.87 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 06.00 – 09.00 นาฬิกา พบว่าระหว่างเก็บตัวอย่างในช่วงเวลานี้ จะมีหมอกจางถึงจางมาก ซึ่งความเข้มแสงจะน้อยและจะมีค่าน้อยที่สุดในเวลา 07.00 นาฬิกา ที่เป็นเวลาเดียวกันกับอุณหภูมิมียุคต่ำสุดในชั้นนี้ นอกจากนี้ยังพบว่า O₃ มีความเข้มข้นต่ำที่สุดในเวลา 08.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.33) และความเข้มข้น PAHs มีค่าต่ำสุด

เท่ากับ 0.19 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00 – 18.00 นาฬิกา ซึ่งกำลังเป็นช่วงที่มี O_3 ความเข้มข้นสูง ประกอบกับมีอุณหภูมิสูงสุดในเวลา 15.00 นาฬิกา และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีค่าอยู่ที่ $0.92 \pm 0.13 \text{ ng m}^{-3}$ โดยพบว่า Ind มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (2.35 ng m^{-3}) รองลงมา คือ B(b)F (2.27 ng m^{-3}), B(g,h,i)P (1.80 ng m^{-3}), B(e)P (1.29 ng m^{-3}) และ B(a)P (1.22 ng m^{-3}) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.48) และเมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(g,h,i)P มีค่าเท่ากับ 0.52 และอัตราส่วนระหว่าง [Ind/(Ind + B(g,h,i)P)] มีค่าเท่ากับ 0.57 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการจราจร และการเผาไหม้ชีวมวลเช่นเดียวกับชั้นล่าง (ตารางที่ 4.4)

3.3) ชั้นบน

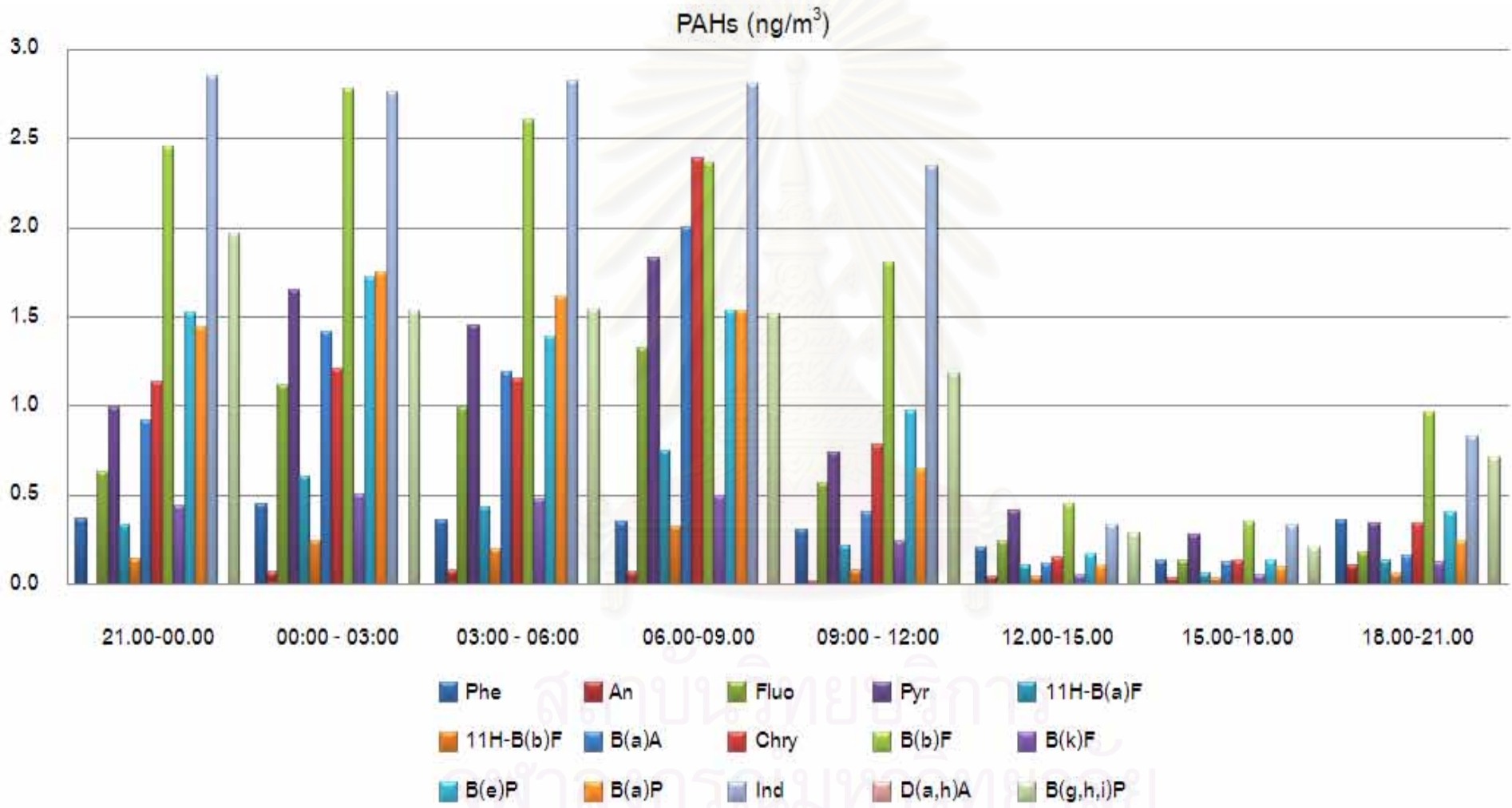
ผลการตรวจวัดอุณหภูมิบริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน พบว่าพบค่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 5.80 ng m^{-3} และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มข้น PAHs มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.02 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 18.00 – 21.00 นาฬิกา ซึ่งสอดคล้องกับ CO เริ่มมีค่าสูงสุดในเวลา 18.00 นาฬิกา (ภาพที่ 4.38) และความเข้มข้น PAHs มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.49 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 12.00 – 15.00 นาฬิกา เป็นช่วงที่อุณหภูมิ ความเข้มแสง และ O_3 มีค่าสูงสุดในรอบ 3 วันเฉลี่ย และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีค่าอยู่ที่ $0.91 \pm 1.01 \text{ ng m}^{-3}$ โดยพบว่า B(g,h,i)P มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด (1.75 ng m^{-3}) รองลงมา คือ B(a)A (1.71 ng m^{-3}), B(b)F (1.61 ng m^{-3}), B(a)P (1.58 ng m^{-3}) และ Ind (1.45 ng m^{-3}) ตามลำดับ (ภาพที่ 4.49) และเมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(g,h,i)P มีค่าเท่ากับ 0.91 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลัก (ตารางที่ 4.4)

การเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ย ณ บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ แสดงดังภาพที่ 4.46

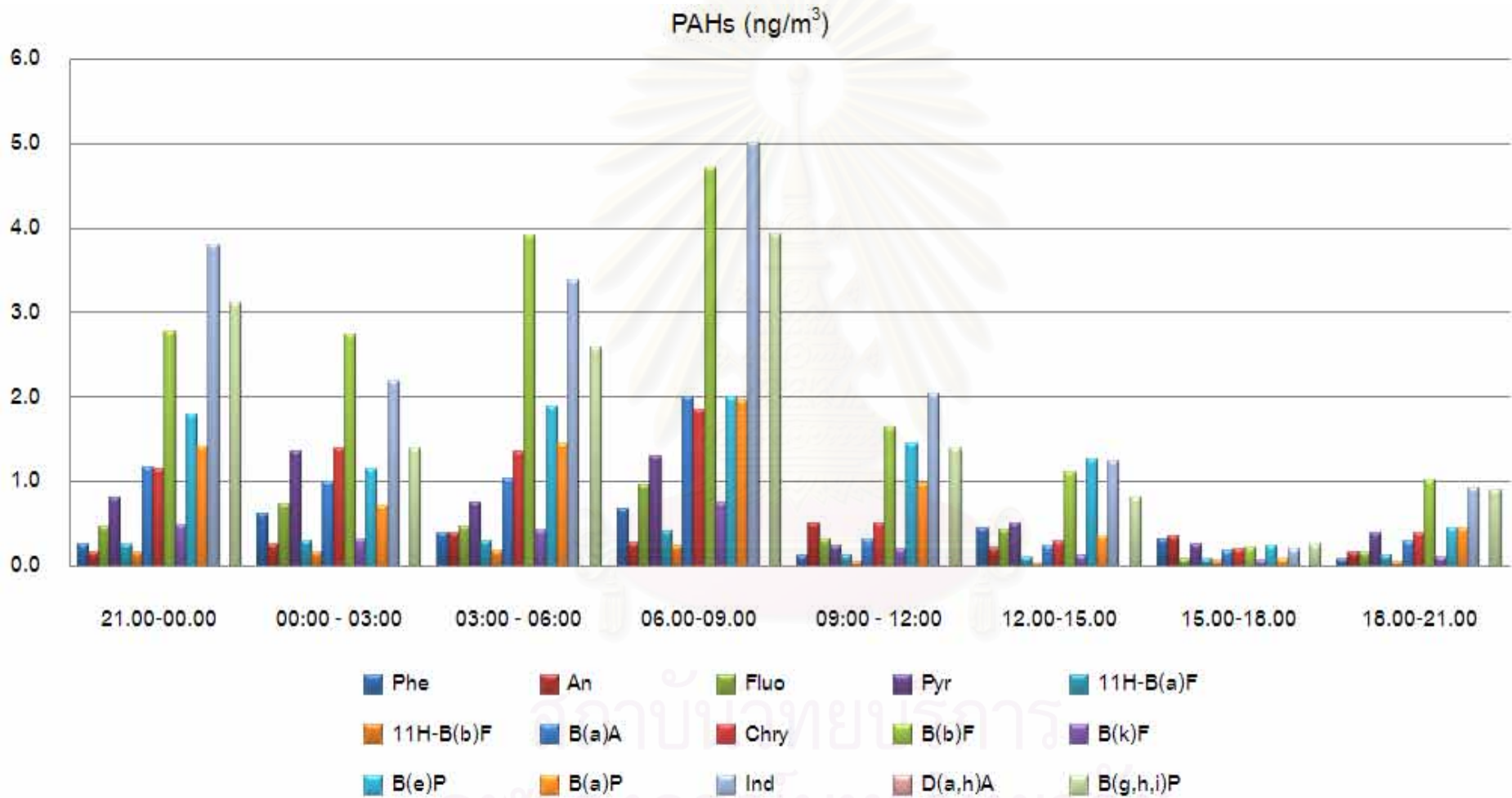


ภาพที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

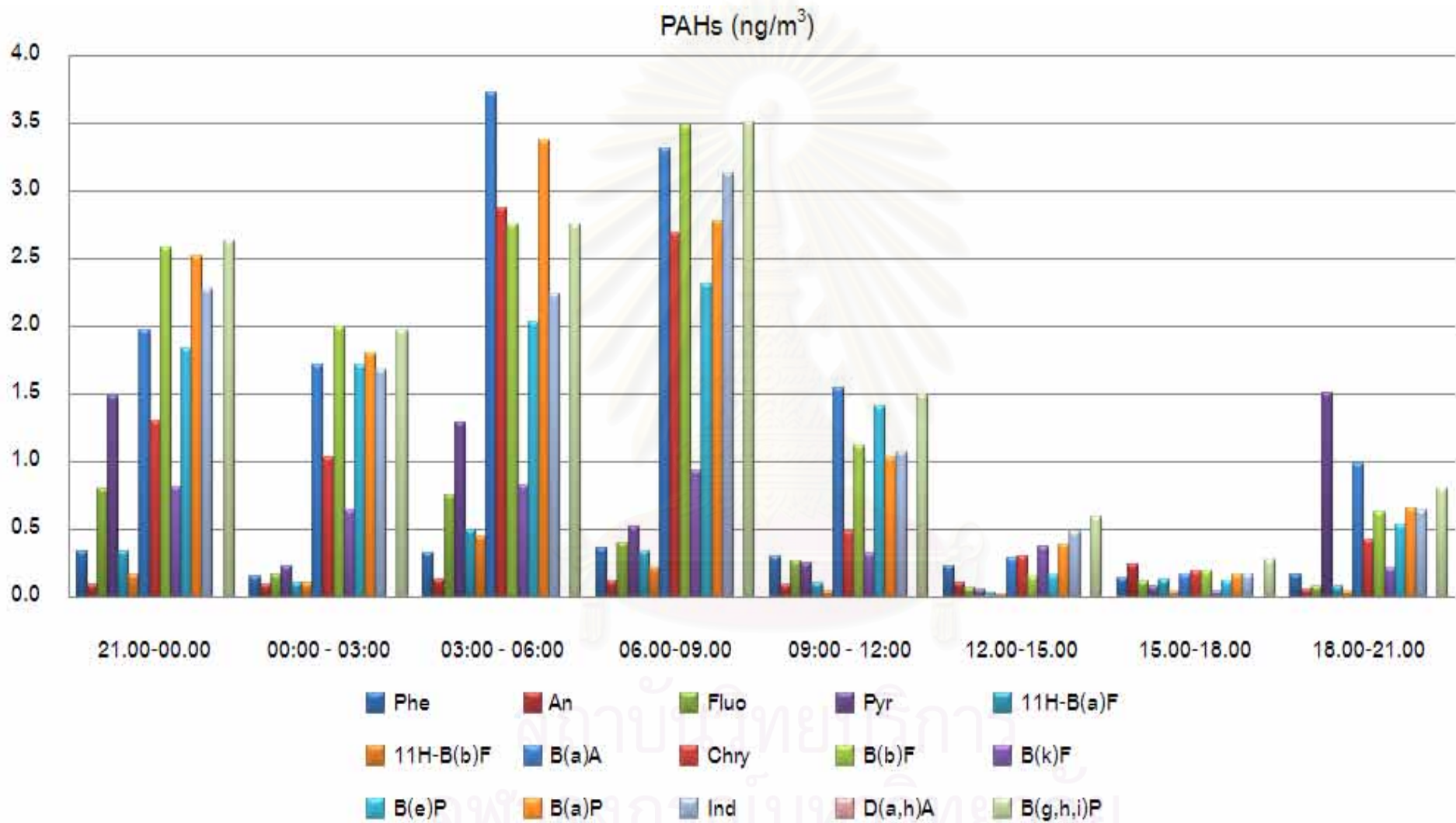
การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูงในพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าชั้นกลางมีความเข้มข้นสูงสุด และชั้นล่างมีความเข้มข้นต่ำที่สุด และเมื่อหาความสัมพันธ์ของ PAHs ระหว่างชั้นล่างและชั้นบน พบว่ามีค่า coefficient of determination (R^2) เท่ากับ 0.84 แสดงให้เห็นว่า PAHs มีการกระจายตัวจากชั้นล่างขึ้นไปยังชั้นบนมาก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าพื้นที่ศึกษานี้มีความแตกต่างของความสูงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มากนักเมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร และอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา แหล่งกำเนิดหลักของพื้นที่ศึกษานี้มาจากการจราจร และการเผาไหม้ชีวมวล และอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs พบว่าอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบนมีค่าเท่ากับ 1.26, 0.95 และ 0.72 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ของชั้นล่างมีค่ามากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของ O_3 และ NO_2 ในชั้นล่างที่พบว่ามีค่าเข้มข้นน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นกลางและชั้นบน



ภาพที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณชั้น 4 โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน



ภาพที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณ
 ชั้นดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง



ภาพที่ 4.49 การเปลี่ยนแปลงชนิดของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 บริเวณชั้น ดาดฟ้าโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ มีความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ยสูงที่สุด ($0.87 \pm 0.89 \text{ ng m}^{-3}$) เนื่องจากเมื่อพิจารณาระดับความสูงผลสมที่คำนวณจากข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบน พบว่ามีระดับความสูงผลสมต่ำที่สุดใน 3 พื้นที่ศึกษา ซึ่งจากการคำนวณพบว่าในช่วงเวลา 12.00 นาฬิกา มีระดับความสูงผลสมต่ำที่สุด คือ 536 เมตร ซึ่งปกติค่าระดับความสูงผลสมในเวลากลางวันควรมีค่ามากกว่า 1,000 เมตรขึ้นไป ประกอบกับในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัว (เดือนกุมภาพันธ์) เป็นช่วงที่มักเกิดปัญหามลพิษจากเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล เช่น การเผาหญ้าเพื่อการเกษตร หรือกลุ่มของหมอกควันที่เกิดจากไฟป่า เป็นต้น รองลงมาคือ กรุงเทพมหานคร ($0.60 \pm 0.47 \text{ ng m}^{-3}$) และที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ($0.05 + 0.06 \text{ ng m}^{-3}$) มีความเข้มข้นของ PAHs ต่ำที่สุด ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า PAHs ในชั้นล่างของทุกพื้นที่ศึกษาจะมีความเสถียรมากที่สุด โดยเทียบจากอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของ O_3 NO_2 และ CO กับลักษณะของชั้นบรรยากาศตามระดับความสูง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลความเข้มข้น O_3 NO_2 CO กับลักษณะของชั้นบรรยากาศตามระดับความสูง จะเห็นได้ว่าลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลสารในแต่ละชั้นที่เห็นได้ชัดเจน คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่เป็นปัจจัยหลักในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (दनัย, 2530) ของมลสารที่มีความไวในการเกิดปฏิกิริยา (Reactive gas) ได้แก่ NO_2 และ O_3 โดยที่ CO นั้นมักถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา (Non-reactive gas หรือ Inert gas) ดังนั้น CO จะเป็นตัวที่บ่งบอกถึงกิจกรรมของมนุษย์ในเขตเมืองโดยเฉพาะกิจกรรมการจราจร นอกจากนี้ยังมีความเร็วลม และรวมไปถึงระดับความสูงผลสมที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ CO ด้วย

4.3.1 ความเข้มแสงอาทิตย์

ความเข้มแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล โดยพบว่าความเข้มแสงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของ O_3 และ NO_2 ในบรรยากาศ กล่าวคือ จะสังเกตได้ว่าในช่วงเวลากลางวัน พบว่าความเข้มข้นของ O_3 จะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในเวลากลางวันที่มีแสงอาทิตย์ และจะลดต่ำลงในเวลากลางคืน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการออกซิไดซ์ NO ให้เป็น NO_2 และ O_3 เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำ ดังเช่นในพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าในช่วงระยะเวลาเก็บตัวอย่างค่อนข้างมีเมฆมากจึงส่งผลให้ความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างต่ำ โดยจะ

เห็นได้จากอัตราส่วนของ NO_2/NO_x ที่มีค่าต่ำ จากข้อมูลความเข้มข้นของ NO_2 และ O_3 พบว่าในชั้นล่างมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากมีความเข้มข้นแสงอาทิตย์ที่เป็นตัวกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยาการเกิด NO_2 และ O_3 น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ชั้นความสูง จึงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาข้างลงความเข้มข้นของ NO_2 และ O_3 จึงเกิดขึ้นได้น้อย เช่นเดียวกันกับที่พบในชั้นล่างของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีความเข้มข้นของ NO_2 และ O_3 ต่ำที่สุดเนื่องมาจากความเข้มข้นแสงอาทิตย์ ซึ่งจะแตกต่างจากพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครที่พบว่าถึงแม้ในชั้นล่างมีความเข้มข้นแสงอาทิตย์สูงที่สุดแต่กลับพบว่าความเข้มข้นของ O_3 มีค่าต่ำที่สุดนั้น เป็นเพราะว่าในปฏิกิริยาการเกิด O_3 จะต้องอาศัยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา และระยะทางในการรวมตัวกันของสารตั้งต้น ซึ่งก็คือ NO_2 และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นจึงจะเห็นได้ว่าในชั้นบน O_3 จะมีความเข้มข้นสูงที่สุด และ NO_2 มีความเข้มข้นต่ำที่สุด

4.3.2 ทิศทางและความเร็วลม

จากข้อมูลทิศทางและความเร็วลม พบว่าในชั้นกลางของพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีทิศทางลมที่พัดมาจากทิศตะวันออกเฉียง ซึ่งแตกต่างจากชั้นล่าง และชั้นบนที่มีทิศทางลมพัดมาจากทิศตะวันตก อีกทั้งยังเป็นชั้นที่มีความเร็วลมสูงที่สุด ดังนั้นจึงเห็นได้ถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมลสารในชั้นกลางแตกต่างจากชั้นอื่น พบว่าความเข้มข้นของ O_3 , NO_2 และ CO มีค่าสูงที่สุด ซึ่งในความเป็นจริงแล้วกระแสลมจะต้องทำให้เกิดการเจือจางของมลสารต่างๆ ในบรรยากาศบริเวณนั้น แต่ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่ากระแสลมที่พัดมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงได้นำพามลสารเหล่านี้มาจากที่อื่น อีกทั้งตรงบริเวณตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างของชั้นกลางนี้มีลักษณะเปรียบเสมือนช่องลม ดังนั้นจึงทำให้ชั้นกลางเป็นบริเวณที่มีมลสารมารวมตัวกันมากที่สุด โดยปกติแล้วความเร็วลมมักจะสัมพันธ์กับมลสารในอากาศที่ค่อนข้างไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาซึ่งก็คือ CO โดยจะพบว่าในพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง ดังนั้นจึงพบว่าความเข้มข้นของ CO ในชั้นล่างมีความเข้มข้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นกลาง และชั้นบน แต่ทั้งนี้อาจไม่ได้ขึ้นกับปัจจัยของความเร็วลมเพียงอย่างเดียว เนื่องจากต้องคำนึงถึงแหล่งกำเนิดต่างๆ ของ CO ที่มีอยู่ในชั้นล่างด้วย สำหรับพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร พบว่าทั้ง 3 ชั้นความสูงมีทิศทางลมที่พัดมาจากทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือเช่นเดียวกันหมด กล่าวคือ กระแสลมจะพัดผ่านบริเวณที่เป็นทางด่วนต่างระดับแล้วพัดมายังโรงแรมไบฮกสกาย และโรงแรมไบฮกสทูท ตามลำดับ ดังนั้นในชั้นล่างและชั้นกลางของโรงแรมไบฮกสทูทจะได้รับอิทธิพลจากลมที่พัดมาจากทางด่วนต่างระดับน้อยกว่าพื้นที่ศึกษาชั้นบนของโรงแรมไบฮกสกาย แต่ทั้งนี้พบว่าในชั้นบนความเร็วลมลดลงต่ำกว่าความเร็วลม

ในชั้นล่างและชั้นกลาง เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมีสิ่งกีดขวางประเภทอุปกรณีสื่อสาร และเสาสัญญาณขนาดใหญ่ ส่งผลให้ความเร็วลมที่ตรวจวัดได้ในชั้นบนมีค่าต่ำที่สุด ประกอบกับพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครมีความแตกต่างกันของความสูงในแต่ละชั้นมาก ดังนั้นจึงไม่สามารถกล่าวได้แน่ชัดว่าความเร็วลมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมลสารในแต่ละชั้นอย่างไร

4.3.3 ระดับความสูงผสม

จากการวิเคราะห์ระดับความสูงผสม พบว่าค่าระดับความสูงผสมของพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ได้แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นมลสารชัดเจนที่สุดกว่าพื้นที่ศึกษาอื่น เนื่องจากในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 เวลา 12.00 นาฬิกา มีระดับความสูงผสมประมาณ 536 เมตร ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่ต่ำมาก เมื่อเทียบกับระดับความสูงผสมของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของ CO ในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ที่มีความเข้มข้นสูงในช่วงเวลากลางวัน

4.4 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์พหุคูณ (Multiple correlations) ของความเข้มข้น PAHs

การวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs กับข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซต่างๆ คือ O_3 , NO_x , CO โดยจะแบ่งความสัมพันธ์ออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ และช่วงเวลากลางคืนที่ปราศจากความเข้มแสงอาทิตย์ ในแต่ละพื้นที่ศึกษา 3 พื้นที่ ดังนี้ (วิธีการวิเคราะห์ความถดถอยพหุคูณดูได้จากภาคผนวก ง)

4.4.1 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs กับตัวแปรก๊าซต่างๆ พบว่าทั้งในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ และในเวลากลางคืนที่ปราศจากความเข้มแสงอาทิตย์ PAHs ในชั้นล่างมีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกันอย่างมีนัยสำคัญกับ CO ($R = -.308$ และ $-.341$ ตามลำดับ) ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว PAHs และ CO ส่วนใหญ่มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ความสัมพันธ์น่าจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน แต่สาเหตุที่ PAHs และ CO มีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกันนั้น อาจเป็นไปได้ว่า PAHs เป็นสารที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่า CO ดังนั้น เมื่อ PAHs และ CO ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน PAHs จะมีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบเร็วกว่า CO ในขณะที่ CO ยังคงรูปเดิมอยู่ และในชั้นกลาง พบว่าในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ PAHs มีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกันอย่างมีนัยสำคัญกับ O_3 ($R = -.262$) กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของ O_3 เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ ความเข้มข้นของ PAHs จะลดลง ซึ่งเป็นไปตาม

หลักการที่ว่า O_3 มีคุณสมบัติในการออกซิไดซ์ PAHs ดังนั้นความเข้มข้นของ PAHs จะต้องลดลงเมื่อความเข้มข้นของ O_3 เพิ่มขึ้น สำหรับในชั้นบนพบว่า PAHs มีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกันอย่างมีนัยสำคัญ NO_2 ในทิศทางตรงกันข้าม ($R = -.230$) ในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ แต่ไม่พบความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซต่างๆ ในเวลากลางคืน ซึ่งเป็นไปได้ว่าความเข้มข้นของ PAHs ในชั้นนี้ค่อนข้างน้อยมาก จึงทำให้ไม่สามารถเห็นความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs กับตัวแปรก๊าซต่างๆ

4.4.2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs กับตัวแปรก๊าซต่างๆ พบความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ CO ในชั้นล่างทั้งในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ และในช่วงเวลากลางคืน ($R = -.377$ และ $-.209$ ตามลำดับ) ซึ่งมีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกันอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs กับ CO ที่พบในพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ PAHs และ NO_2 มีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกันอย่างมีนัยสำคัญ ($R = -.330$) กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของ NO_2 เพิ่มขึ้นในบรรยากาศ ความเข้มข้นของ PAHs จะลดลง เนื่องจาก NO_2 มีความสามารถในการออกซิไดซ์ PAHs เช่นเดียวกับ O_3 โดย NO_2 จะออกซิไดซ์ PAHs ในปฏิกิริยาไนเตรชัน (Nitration reaction) ให้อยู่ในรูปสารอนุพันธ์ nitro-PAHs (Pitts, 1981) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs กับ O_3 จะพบในชั้นกลาง และชั้นบนเฉพาะในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ ($R = -.622$ และ $-.492$ ตามลำดับ)

4.4.3 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs กับตัวแปรก๊าซต่างๆ พบว่าในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ PAHs จะมีความสัมพันธ์กับ O_3 , NO_x และ CO ในชั้นล่าง ($R = -.543$, $.467$ และ $.255$ ตามลำดับ) และในชั้นกลาง ($R = -.329$, $.312$ และ $.303$ ตามลำดับ) สำหรับในชั้นบนจะพบว่าในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ PAHs จะมีความสัมพันธ์เฉพาะกับ O_3 เท่านั้น ($R = -.292$) โดยพบว่า PAHs ในทุกระดับชั้นจะมีความสัมพันธ์กับ O_3 มากกว่า NO_x และ CO ส่วนในเวลากลางคืนที่ปราศจากแสงอาทิตย์จะพบว่ามีเพียงความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs กับ CO ในชั้นล่างเท่านั้น ($R = .559$)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สำหรับการศึกษาคั้งนี้สามารถสรุปตามประเด็นต่างๆ ดังนี้ การกระจายตัวของ O_3 NO_x และ CO ตามระดับความสูง ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของ O_3 NO_x และ CO ตามระดับความสูง และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs กับ O_3 NO_x และ CO

5.1.1 การกระจายตัวของ O_3 NO_x และ CO ตามระดับความสูง

O_3 เป็นก๊าซที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยามาก (Reactive gas) โดย O_3 เป็นมลสารทุติยภูมิเกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และ NO_x ในบรรยากาศโดยมีแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในการเกิด O_3 จะต้องอาศัยระยะเวลา และระยะทางในการรวมตัวกันของสารตั้งต้น ดังนั้นในการศึกษานี้จึงมักพบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ O_3 จะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยจะพบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงสุดในชั้นกลาง และจะไม่พบว่า O_3 มีความเข้มข้นสูงสุดในชั้นล่างเลย ดังนั้น ในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ NO_x จะลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นมลสารตั้งต้นในการเกิด O_3 ในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลตามที่ได้กล่าวไว้ นอกจากนี้ยังพบว่าทั้ง NO_x และ CO จะมีความเข้มข้นสูงสุดในชั้นล่างของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจาก NO_x และ CO เป็นมลสารปฐมภูมิที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ในชั้นล่างซึ่งส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมการจราจร โดยจะพบว่า CO มักจะมีความเข้มข้นลดลงเมื่ออยู่ในระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น แต่ในพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าที่ระดับความสูงชั้นกลางจะมีความเข้มข้นของมลสารทุกตัวที่ทำการศึกษาสูงที่สุดในชั้นนี้ เนื่องจาก ณ จุดเก็บตัวอย่างมีลักษณะเปรียบเสมือนช่องลมซึ่งจะนำพามลสารให้มารวมตัวกันมากที่สุด

5.1.2 ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของ O_3 NO_x และ CO ตามระดับความสูง

1) ความเข้มแสงอาทิตย์

ความเข้มแสงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล โดยพบว่าเมื่อเริ่มมีแสงอาทิตย์ NO จะถูกออกซิไดซ์เป็น NO_2 โดย O_2 และเมื่อแสงอาทิตย์เริ่มจางขึ้น NO_2 จะ

สลายตัวอย่างรวดเร็ว โดย O อะตอมที่ได้จากการสลายตัวของ NO₂ จะรวมตัวกับ O₂ ในบรรยากาศเป็น O₃ ทั้งนี้การเกิดปฏิกิริยาจะเกิดได้ดีและรวดเร็วถ้าในบรรยากาศมีการปลดปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (दन्य जित्तरुम, 2530) อยู่ด้วย โดยอัตราส่วนของ NO₂/NO_x สามารถบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงของ NO_x ในบรรยากาศเมื่อมีปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลหรือกรณีที่ O₃ ปนอยู่ ดังจะเห็นได้จากในพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ที่มีอัตราส่วนของ NO₂/NO_x ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในช่วงเก็บตัวอย่างเป็นช่วงที่มีเมฆมาก ทำให้ความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำ ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลจึงเกิดขึ้นได้น้อย

2) ความเร็วและทิศทางลม

โดยปกติแล้วความเร็วลมมักจะมีอิทธิพลต่อมลสารในอากาศที่ค่อนข้างไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาซึ่งก็คือ CO โดยจะพบว่าความเร็วลมจะมีผลต่อการเจือจางมลสารในบรรยากาศ กล่าวคือความเร็วลมและความเข้มข้นของมลสารจะมีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกัน เมื่อความสูงเพิ่มขึ้นจะพบว่าความเร็วลมจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากสิ่งกีดขวางทิศทางลมเริ่มลดน้อยลง ดังนั้นในชั้นบนย่อมมีความเร็วลมสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นล่าง และชั้นกลาง ดังจะเห็นได้จากในพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าความเข้มข้นของ CO ในชั้นล่างมีความเข้มข้นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับชั้นกลาง และชั้นบน

3) ระดับความสูงผสม

การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงผสมจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยพบว่าในช่วงที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าความกดอากาศต่ำ ซึ่งเมื่อบรรยากาศมีความกดอากาศต่ำจะทำให้มวลอากาศเบา ส่งผลให้ระดับความสูงผสมของบรรยากาศสูง ทำให้มลสารกระจายตัวในบรรยากาศได้ดี ในขณะที่อุณหภูมิต่ำความกดอากาศจะมีค่าสูง ทำให้มวลอากาศหนักกดลงส่งผลให้ระดับความสูงผสมของบรรยากาศต่ำ ก่อให้เกิดการสะสมของสารในระดับสูง ดังนั้น จึงพบว่ามลสารต่างๆ จะมีความเข้มข้นสูงในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ ดังจะเห็นได้ว่าในช่วงที่เก็บตัวอย่างที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ในเดือนกุมภาพันธ์ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำค่อนข้างต่ำ โดยพบว่าในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 เวลา 12.00 นาฬิกา มีระดับความสูงผสมต่ำมาก เมื่อเทียบกับระดับความสูงผสมของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด เป็นผลให้ความเข้มข้นของ CO ในทุกความสูงของวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 มีความเข้มข้นสูงกว่าในสองวันแรกของการเก็บตัวอย่าง

5.1.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs กับ O_3 , NO_x และ CO

จากการศึกษา พบว่า O_3 และ NO_2 มีอิทธิพลต่อความเสถียรของ PAHs ในปฏิกิริยา Photooxidation เนื่องจากทั้ง O_3 และ NO_2 มีความสามารถในการออกซิไดซ์ PAHs สูง (Brorström, 2003) โดยจะพบว่าในชั้นล่าง PAHs จะมีความเสถียรมากที่สุด เนื่องจากพบว่าทั้ง O_3 และ NO_2 จะมีความเข้มข้นต่ำที่สุดในชั้นล่างของทุกพื้นที่ศึกษา ดังนั้นจึงทำให้มีการออกซิไดซ์ PAHs เกิดขึ้นได้น้อย PAHs จึงมีความเสถียรมากที่สุดในชั้นนี้ นอกจากนี้ยังพบว่าในชั้นที่ O_3 มีความเข้มข้นสูงที่สุด PAHs จะมีความเสถียรน้อยที่สุด ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร และความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs กับ CO นั้น ส่วนใหญ่มักจะพบว่ามีความสัมพันธ์ที่แปรผกผันกันอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ และจะมีความสัมพันธ์ที่แปรผันกันอย่างมีนัยสำคัญในช่วงเวลาที่ปราศจากความเข้มแสงอาทิตย์ เนื่องจากในช่วงเวลากลางวัน PAHs จะถูกย่อยสลายด้วยแสงอาทิตย์ (Photodegradation) จึงมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วกว่า CO ที่จัดว่าเป็นก๊าซที่ค่อนข้างไม่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.1 เนื่องจากระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างของแต่ละพื้นที่ค่อนข้างสั้น จึงอาจทำให้ไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางอุตุนิยมิวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสารได้ชัดเจนนัก โดยเฉพาะระดับความสูงผสม ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรมีการศึกษาในแต่ละฤดูกาล หรือทำการศึกษาตลอดทั้งปี

5.2 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ดังนั้นเพื่อที่จะได้เห็นถึงความสัมพันธ์ในปฏิกิริยานี้ชัดเจนขึ้น ควรทำการศึกษหาสารประกอบไฮโดรคาร์บอนด้วย ซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กัลยา วานิชย์บัญชา. 2543. การใช้ SPSS for Windows ในการวิเคราะห์ข้อมูลเวอร์ชัน 7-10. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กมลนารี ลายคราม. 2546. การพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร บริเวณริมถนนเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกษม จันทร์แก้ว. 2522. คู่มือประกอบคำบรรยายอุตุนิยมหาวิทยาลัยไถ่ผิวดิน. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาอุตุรุษวิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทาลัยเกษตรศาสตร์.
- ควบคุมมลพิษ, กรม. 2543. พีเอเอช (PAHs). กรุงเทพมหานคร: กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.
- จินตนา สายวรรณ. 2541. การศึกษาโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากอนุภาคไอเสียรถยนต์ที่อยู่ในอากาศในกทม. กรุงเทพมหานคร. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชูชัย หล่อนิมิตดี. 2548. ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM₁₀) กับสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเมืองพิษณุโลก. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ 10: 1-4.
- दनัย จิตตรธรรม. 2530. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซน ไฮโดรคาร์บอน ในโตรเจนออกไซด์กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธิดารัตน์ แก้วประสงค์. 2550. ผลของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณการจราจร ต่อความเข้มข้นของสารกรดในบรรยากาศบริเวณการจราจรหนาแน่น. การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ 1. 1-7.

- ปาจารย์ ทองสนิท. 2545. สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองแต่ละขนาดใน
อากาศกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พงษ์ศักดิ์ อยู่หุ่น. 2545. ความชื้น อุณหภูมิ และความเสถียรของบรรยากาศ. [Online]. Available
from: www.agi.nu.ac.th/webnewasp/ereading/101302/04.pdf [26 พฤศจิกายน
2551].
- ไพลิน ไบพกา. 2546. การเคลื่อนที่และการกระจายตัวของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก
ไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยภายในอาคารพาณิชย์บริเวณสถานีรถไฟฟ้า
พระโขนง. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิต
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เมทินี วรรณวิจิตร. 2548. การกระจายตัวตามแนวนอนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก
ไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (pPAHs) บริเวณพื้นที่ริมถนนในเขต
กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิต
วิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2550. รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมจังหวัดสงขลา. [Online].
Available from: www.industry.go.th/DocLib13/ใต้/สงขลา.doc [14 พฤศจิกายน
2551].
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต. 2543. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 6.
กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รวารุช เสือดี. 2542. คู่มือประกอบการสอนวิชามลพิษทางอากาศ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- วิชา นิยม. 2535. อุทกวิทยาป่าไม้. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์.
- สุนทร ดุริยะประพันธ์. 2550. ไอโซน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 22: 2: 227-29.
- สุรัตน์ บัวเลิศ. 2547. คู่มือประกอบการสอนวิชา Fundamental Air Pollution. กรุงเทพมหานคร:
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

- Akimoto, H., Nakane, H., and Matsumoto, Y. 1994. "The Chemistry of Oxidant Generation: Tropospheric Ozone Increase in Japan", The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact on Global Change. Blackwell Scientific Publication: 261-263.
- Arya, S. 1999. Air Pollution Meteorology and Dispersion. USA: Oxford University Press.
- Behymer, T.D. and Hites, R.A. 1988. Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on fly ash. Environmental Science & Technology 22 : 1311-1319.
- Bi, X., Sheng, G., Peng, P., Chen, Y., Zang, Z., and Fu, J. 2003. Distribution of particle- and vapor-phase n-alkanes polycyclic aromatic hydrocarbons in urban atmospheres of Guangzhou, China. Atmospheric Environment 37: 289-298.
- Brorström, E., Grennfelt, P., Lindskog, A. 2003. The effect of nitrogen dioxide and ozone on the decomposition of particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons during sampling from the atmosphere. Atmospheric Environment 17: 601-605.
- Chan, L.Y., and Kwock, W.S. 2000. Vertical dispersion of suspended particulate in urban area of Hongkong. Atmospheric Environment 34: 4403-4412.
- Chetwittayachan, T. 2001. Temporal variation of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (pPAHs) concentration and risk assessment of their possible human exposure in urban air environments. Doctoral dissertation, Graduated school, University of Tokyo.
- Costabile, F. and I. Allerini. 2007. Measurement and analyses of nitrogen oxides and ozone in the yard and on the roof of a street-canyon in Suzou. Atmospheric Environment 41: 6637-6647.
- Faith, W.L., and Atkinson, A.A. 1972. Air Pollution. Wiley-Interscience, New York, USA.

- Fan, Z., Kamens, R.M., Zhang, J., and Hu, J. 1996. Ozone-nitrogen dioxide-NPAH heterogeneous soot particle reactions and modeling NPAH in the atmosphere. Environmental science & technology 30: 2821-2827.
- Fang, G.-C., Yuh-Shen, W., Fu, P., Yang, I.-L., and Chen, M.-H. 2003. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in ambient air of suburban and industrial regions of central Taiwan. Atmospheric Environment 54: 443-452.
- Garivait, H., and Polprasert, C. 1999. Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) in Bangkok Urban Air II. Level and Distribution. Polycyclic Aromatic Compounds 13: 313-327.
- Guo, H., Lee, S.C., Ho, K.F., Wang, X.M., and Zou, S.C. 2003. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Hongkong. Atmospheric Environment 37 : 5307-5317.
- Hansen, V. F. 1994. Surface roughness lengths. Army Research Laboratory. ARL-TR-61.
- Hathairatana, G., 1999. A study on air pollution by airborne polycyclic aromatic hydrocarbons in Bangkok urban atmosphere. AIT Dissertation No. EV-99-1.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 1983. Polynuclear aromatic compounds Part 1. Chemical Environment and Experimental Data 32.
- IPCS. 1998. Environmental Health Criteria 202: selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft World Health Organization.
- Jacobson, Z. 1999. Fundamentals of Atmospheric Modelling. USA: Cambridge University Press,
- Kalaiarasan, M., Balasubramanian, R., Cheong, K.W.D., and Tham, K.W. 2007. Particulate-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in naturally ventilated multi-

- storey residential buildings of Singapore: Vertical distribution and potential health risks. Building and Environment 44: 418– 425
- Kalaitzoglou, M., Terzi, E and Samara, C. 2004. Patterns and sources of particle-phase aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban and rural sites of western Greece. Atmospheric Environment 38: 2545-2560.
- Karppinen, A., Eresmaa, N., and Härkönen, J. 2007. Mixing height studies. ILMATIETEEN LAITOS: Finnish Meteorological Institute.
- Li, C.K., and Kamens, R.M. 1993. The use of polycyclic aromatic hydrocarbons as source signatures in receptor modeling. Atmospheric Environment 27: 523–32.
- McDow, S.R., Giger, W., Burtscher, H., Schmidt-Ott, A., and Siegmann, H.C. 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons and combustion aerosol photoemission. Atmospheric Environment 24 : 2911-2916.
- McDow, S.R., Vartiainen, M., Sun, Q., Hong, Yuseng., Yao, Y., and Kamens, R.M., 1999. Combustion aerosol water content and its effect on polycyclic aromatic hydrocarbons reactivity. Atmospheric Environment 29 : 791-797.
- Okuda, T., Kumata, H., Naraoka, H., and Takada, H. 2002. Origin of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Chinese cities solved by compound-specific stable carbon isotopic analyses. Organic Geochemistry 33: 1737–1745.
- Panther, B.C., Hooper, M.A., and Tapper, N.J. 1999. A comparison of air particulate matter and associated PAHs in some tropical and temperate urban environment. Atmospheric Environment 33: 4081-4099.
- Park, S.S., Kim, Y.J., and Kang, C.H. 2002. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Seoul, Korea. Atmospheric Environment 36 : 2917-2924.

- Pisitikopoulos, P., Masclet, P., and Mouvier, G. 1989. A receptor model adapted to reactive to reactive species: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; Evaluation of source contributions in an open urban site—I. particle compounds. Atmospheric Environment 24: 1189-1197, 1990.
- Pitts, J.N., Winer, A.M., Lokensgard, D.M., Shaffer, S.D., Tuazon, E.C., and Harris, G.W. 1981. Interactions between diesel emissions and gaseous copollutants in photochemical air pollution: Some health implications. Environment International 5: 235-242.
- Pucknat, A.W. 1981. Health impact of polynuclear aromatic hydrocarbons. Noyes Data Corporation, New Jersey, USA.
- Ravindra, K., Sokhi, R., and Grieken, R.V. 2008. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. Atmospheric Environment 42: 2895–2921.
- The Denning Research Group. 2002. Biocycle: The Rectifier Effect. [Online]. Available from: [http://biocycle.atmos.colostate.edu/rectifiereffect .htm](http://biocycle.atmos.colostate.edu/rectifiereffect.htm) [2008, December 9].
- Tsutsumi, Y., and Matsueda, H. 2000. Relationship of ozone and CO at the summit of Mt. Fuji (35.35°N, 138.73°E, 3776 m above sea level) in summer 1997. Atmospheric Environment 34: 553-561.
- Turner, D.B. 1994. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates : An introduction of dispersion modelling. Lewis Publishers, USA.
- Turner, D.B. 2001. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An introduction of dispersion modeling. USA: Lewis Publishers.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1999. Health Assessment Document for Diesel Engine Exhaust. United State Environmental Protection Agency. United State.

- U.S. Environmental Protection Agency. 2005. Vertical Motion and Atmospheric Stability:
[Online]. Available from: http://yosemite.epa.gov/oaqps/EOGtrain.nsf/DisplayView/SI_409_4?OpenDocument [2007, July 19].
- Wang, P., et al. 2006. Observation of Air Pollutants over Northern China. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences.
- Williamson, S.J. Fundamentals of Air Pollution. 1973. Addison-Wesley Publishing. USA.
- Yunker, B. M and Macdonald, W. R. 2003. Petroleum biomarker sources in suspended particulate matter and sediments from the Fraser River Basin and Strait of Georgia, Canada, Organic Geochemistry 34: 1525-1541.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
สภาพการคงตัวของบรรยากาศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก1 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

วัน	เวลา	อัตราการลดลงของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$)	สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)
17 ธันวาคม พ.ศ. 2550	22:00	-0.86	stable
17 ธันวาคม พ.ศ. 2550	23:00	-0.86	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	00:00	-0.88	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	01:00	-0.97	neutral
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	02:00	-0.88	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	03:00	-0.78	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	04:00	-0.72	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	05:00	-0.78	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	06:00	-0.88	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	07:00	-0.84	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	08:00	-0.65	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	09:00	-0.84	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	10:00	-0.72	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	11:00	-0.84	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	12:00	-0.97	neutral
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	13:00	-1.01	neutral
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	14:00	-0.65	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	15:00	-0.44	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	16:00	-0.51	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	17:00	-0.36	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	18:00	-0.74	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	19:00	-0.82	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	20:00	-0.84	stable

วัน	เวลา	อัตราการลดลงของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$)	สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	21:00	-0.84	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	22:00	-0.86	stable
18 ธันวาคม พ.ศ. 2550	23:00	-0.84	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	00:00	-0.95	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	01:00	-0.93	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	02:00	-0.93	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	03:00	-0.91	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	04:00	-0.97	neutral
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	05:00	-0.93	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	06:00	-0.97	neutral
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	07:00	-0.93	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	08:00	-0.80	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	09:00	-0.74	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	10:00	-0.82	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	11:00	-0.95	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	12:00	-0.97	neutral
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	13:00	-0.86	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	14:00	-0.82	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	15:00	-0.74	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	16:00	-0.61	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	17:00	-0.80	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	18:00	-0.86	stable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	19:00	-0.97	neutral
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	20:00	-0.99	neutral

วัน	เวลา	อัตราการลดลงของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$)	สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	00:00	-1.05	unstable
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	21:00	-0.99	neutral
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	22:00	-1.03	neutral
19 ธันวาคม พ.ศ. 2550	23:00	-1.05	unstable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	01:00	-1.09	unstable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	02:00	-0.88	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	03:00	-0.82	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	04:00	-0.80	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	05:00	-0.95	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	06:00	-0.86	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	07:00	-0.86	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	08:00	-0.67	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	09:00	-0.74	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	10:00	-0.95	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	11:00	-0.93	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	12:00	-0.76	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	13:00	-0.78	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	14:00	-0.78	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	15:00	-0.63	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	16:00	-0.59	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	17:00	-0.67	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	18:00	-0.82	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	19:00	-0.95	stable
20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	20:00	-1.05	unstable

ก2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

วัน	เวลา	อัตราการลดลงของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)	สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)
18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	21:00	-0.82	stable
18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	22:00	-0.75	stable
18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	23:00	-0.76	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	00:00	-0.76	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	01:00	-0.77	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	02:00	-0.62	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	03:00	-0.72	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	04:00	-0.74	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	05:00	-0.77	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	06:00	-0.74	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	07:00	-0.66	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	08:00	-0.72	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	09:00	-0.79	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	10:00	-0.83	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	11:00	-0.88	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	12:00	-1.01	neutral
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	13:00	-1.04	neutral
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	14:00	-1.23	unstable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	15:00	-1.12	unstable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	16:00	-0.95	neutral
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	17:00	-0.98	neutral
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	18:00	-0.97	neutral
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	19:00	-1.03	neutral

วัน	เวลา	อัตราการลดลงของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)	สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	21:00	-0.83	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	22:00	-0.81	stable
19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	23:00	-0.88	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	00:00	-0.81	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	01:00	-0.73	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	02:00	-0.79	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	03:00	-0.82	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	04:00	-0.80	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	05:00	-0.86	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	06:00	-0.79	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	07:00	-0.68	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	08:00	-0.86	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	09:00	-0.88	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	10:00	-0.87	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	11:00	-0.81	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	12:00	-0.90	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	13:00	-1.03	neutral
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	14:00	-1.02	neutral
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	15:00	-1.04	neutral
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	16:00	-0.98	neutral
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	17:00	-0.95	neutral
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	18:00	-0.86	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	19:00	-0.76	stable
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	20:00	-0.64	stable

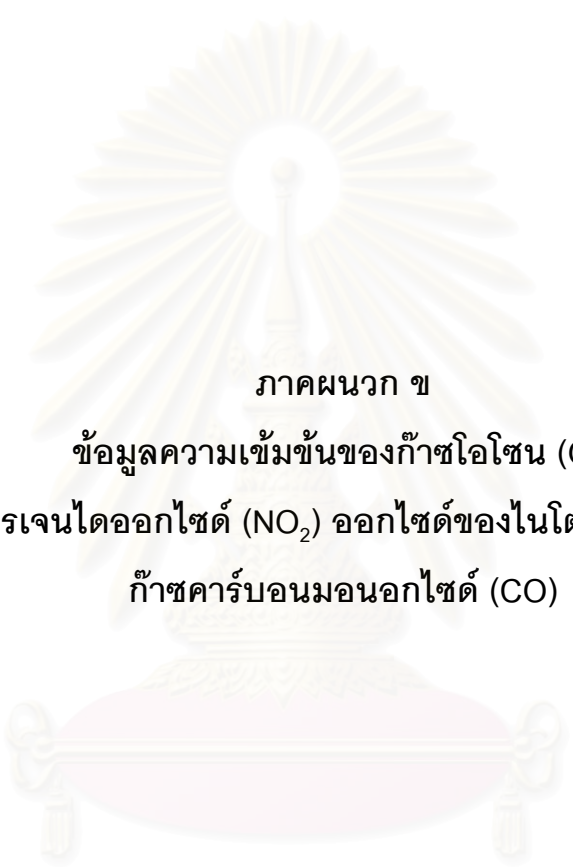
วัน	เวลา	อัตราการลดลงของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}/100\text{m}$)	สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)
20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	23:00	-0.59	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	00:00	-0.57	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	01:00	-0.50	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	02:00	-0.60	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	03:00	-0.81	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	04:00	-0.88	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	05:00	-0.83	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	06:00	-0.78	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	07:00	-0.74	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	08:00	-0.68	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	09:00	-0.69	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	10:00	-0.66	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	11:00	-0.73	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	12:00	-0.90	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	13:00	-0.97	neutral
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	14:00	-1.06	unstable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	15:00	-1.06	unstable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	16:00	-0.95	neutral
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	17:00	-0.81	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	18:00	-0.79	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	19:00	-0.79	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	20:00	-0.67	stable
21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	21:00	-0.49	stable

ก3 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

วัน	เวลา	อัตราการลดลงของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$)	สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)
25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	21:00	0.18	inversion
25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	22:00	0.49	inversion
25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	23:00	0.29	inversion
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	00:00	-0.11	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	01:00	0.16	inversion
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	02:00	-0.35	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	03:00	-0.20	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	04:00	-0.33	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	05:00	-0.56	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	06:00	-0.60	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	07:00	0.15	inversion
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	08:00	-0.67	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	09:00	-1.07	unstable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	10:00	-1.04	unstable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	11:00	-0.44	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	12:00	-0.47	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	13:00	-0.49	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	14:00	-0.65	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	15:00	-0.55	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	16:00	-0.56	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	17:00	-0.45	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	18:00	-0.24	stable
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	19:00	0.18	inversion

วัน	เวลา	อัตราการลดลงของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$)	สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	21:00	1.49	inversion
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	22:00	1.05	inversion
26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	23:00	-0.16	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	00:00	-0.49	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	01:00	-0.20	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	02:00	-0.36	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	03:00	-0.58	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	04:00	-0.51	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	05:00	-0.55	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	06:00	-0.51	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	07:00	-0.67	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	08:00	-0.75	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	09:00	-0.87	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	10:00	-0.24	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	11:00	-0.07	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	12:00	-0.13	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	13:00	-0.49	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	14:00	-0.58	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	15:00	-0.64	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	16:00	-0.55	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	17:00	-0.40	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	18:00	-0.45	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	19:00	-0.55	stable
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	20:00	-0.49	stable

วัน	เวลา	อัตราการลดลงของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m}$)	สภาพการคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric stability)
27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	23:00	-0.31	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	00:00	-0.04	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	01:00	0.02	inversion
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	02:00	-0.11	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	03:00	-0.04	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	04:00	-0.18	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	05:00	-0.16	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	06:00	-0.45	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	07:00	-0.31	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	08:00	-0.40	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	09:00	-0.60	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	10:00	-0.35	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	11:00	-0.69	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	12:00	-0.56	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	13:00	-0.67	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	14:00	-0.75	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	15:00	-0.80	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	16:00	-0.53	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	17:00	-0.35	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	18:00	-0.40	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	19:00	-0.53	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	20:00	-0.31	stable
28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	21:00	-0.27	stable



ภาคผนวก ข

ข้อมูลความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (O_3)

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และ

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข1 ก๊าซโอโซน (ppb)

เวลา	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา			กรุงเทพมหานคร			อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
0:00	18.98	22.18	19.68	17.97	71.03	22.12	6.31	18.39	16.68
1:00	19.21	22.60	20.22	17.88	68.23	25.93	7.35	21.01	18.26
2:00	19.61	22.80	20.37	17.14	70.06	29.99	6.10	19.76	16.46
3:00	18.37	22.66	20.65	19.02	70.13	29.04	5.89	22.45	18.98
4:00	18.14	22.49	20.30	23.48	67.46	30.74	2.60	18.42	17.80
5:00	19.10	23.10	19.25	25.91	63.92	30.34	2.28	15.64	14.99
6:00	18.02	21.81	16.90	23.88	63.93	30.97	4.35	15.44	14.78
7:00	16.04	20.12	15.82	19.05	64.13	31.04	2.85	12.41	13.78
8:00	13.61	18.03	13.83	19.46	62.07	25.81	-	8.18	10.57
9:00	14.82	19.42	13.48	22.80	58.11	19.66	1.40	9.78	11.23
10:00	15.62	20.78	14.44	26.74	71.14	25.89	8.16	20.24	18.55
11:00	18.14	22.43	19.02	31.98	78.91	31.55	24.01	35.87	29.05
12:00	18.78	22.07	17.01	40.93	82.75	38.84	41.71	54.32	39.45
13:00	17.04	21.71	15.68	49.47	89.33	45.38	46.59	58.48	44.24
14:00	17.81	22.03	19.34	56.61	91.61	53.16	38.60	51.06	35.28
15:00	18.10	22.12	20.47	61.43	90.95	61.88	38.35	51.50	35.13
16:00	18.18	22.11	20.25	66.73	59.83	69.24	31.93	47.04	32.12
17:00	16.67	20.33	17.41	64.16	30.10	68.73	28.10	43.93	26.90
18:00	14.80	19.01	16.47	56.59	58.18	67.28	23.63	41.35	25.18
19:00	15.48	19.82	15.57	39.93	58.21	56.68	14.96	32.33	20.73
20:00	16.60	21.03	16.03	24.79	49.71	55.12	12.17	30.67	22.54
21:00	17.80	22.16	16.91	13.36	50.03	39.28	11.64	19.05	23.09
22:00	17.83	21.88	20.12	19.72	69.51	29.12	3.73	16.85	13.13
23:00	18.68	21.86	19.97	17.80	57.83	25.88	5.37	19.93	14.19

ข2 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (ppb)

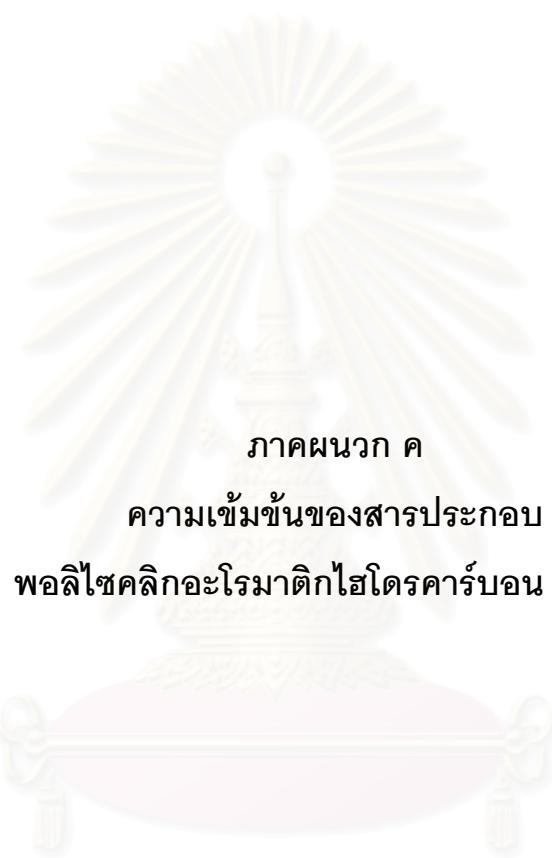
เวลา	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา			กรุงเทพมหานคร			อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
0:00	1.98	4.44	4.28	43.21	20.01	26.21	11.42	13.08	15.56
1:00	1.70	4.16	4.14	39.54	17.12	20.87	8.03	8.92	13.72
2:00	1.16	4.22	4.45	39.58	17.13	19.90	8.50	8.52	12.84
3:00	2.04	4.02	4.04	36.18	16.39	16.19	6.08	4.76	9.31
4:00	1.67	3.98	3.92	26.83	14.45	13.46	6.53	4.63	9.03
5:00	1.88	4.06	3.87	21.73	12.94	14.22	5.44	4.93	9.29
6:00	2.15	4.27	4.02	23.62	12.26	23.02	5.46	5.22	9.25
7:00	1.82	4.93	4.44	29.64	14.58	19.31	8.03	8.09	11.25
8:00	2.10	6.57	5.19	30.66	19.92	24.60	11.40	13.04	15.33
9:00	2.19	6.18	5.34	30.05	21.77	28.96	14.02	16.20	17.13
10:00	1.80	5.56	4.88	26.83	20.04	28.74	12.04	17.15	16.93
11:00	1.99	4.95	4.47	26.54	17.47	45.37	10.75	15.33	18.08
12:00	1.83	5.07	4.64	22.93	14.23	45.54	8.97	13.26	19.35
13:00	2.01	5.06	4.87	22.84	12.67	29.43	4.96	8.90	14.81
14:00	2.21	4.98	4.52	21.08	18.89	17.50	2.61	2.30	13.22
15:00	2.28	4.85	4.18	22.90	16.14	17.64	1.32	2.11	13.69
16:00	2.22	4.91	4.04	22.58	14.56	19.41	1.47	3.63	12.69
17:00	7.77	5.50	5.29	24.72	13.94	29.05	2.17	3.13	15.83
18:00	2.42	6.45	5.75	29.60	13.99	21.41	4.92	5.91	17.14
19:00	2.17	6.25	6.06	40.06	17.35	21.93	10.90	17.40	19.72
20:00	2.05	5.63	5.39	48.12	20.68	20.16	12.21	13.47	15.31
21:00	2.08	4.98	5.03	57.56	29.46	29.17	23.48	19.67	14.85
22:00	2.06	4.38	4.38	52.73	25.44	34.39	18.84	19.20	22.41
23:00	2.01	4.66	4.40	49.33	26.57	28.90	12.90	12.06	18.62

ข3 ออกไซด์ของไนโตรเจน (ppb)

เวลา	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา			กรุงเทพมหานคร			อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
0:00	10.43	10.43	9.19	58.82	30.57	30.90	26.72	29.30	18.78
1:00	9.38	9.37	9.20	55.60	30.24	30.98	17.41	19.96	18.19
2:00	9.72	9.72	13.00	63.80	32.17	24.45	20.70	19.87	15.72
3:00	9.92	9.97	9.48	51.38	31.96	21.43	15.20	14.23	12.25
4:00	9.62	9.62	7.42	29.58	25.38	18.85	17.01	15.12	11.96
5:00	10.66	10.66	7.79	23.11	18.27	18.17	15.51	15.27	12.64
6:00	10.97	10.97	7.78	26.80	15.92	36.79	14.46	15.70	12.81
7:00	11.16	11.16	7.73	39.68	18.53	33.44	19.32	19.60	14.84
8:00	12.99	13.63	8.33	47.53	25.71	41.52	26.39	31.16	21.43
9:00	12.20	12.20	9.38	47.06	30.74	50.99	31.22	35.38	25.49
10:00	10.19	10.19	8.40	37.66	28.03	48.59	23.73	30.88	22.87
11:00	10.36	10.36	7.66	33.88	25.28	69.50	21.11	24.29	21.10
12:00	11.43	11.43	7.83	31.26	20.32	73.93	15.71	20.84	21.24
13:00	11.51	11.51	7.98	26.53	17.30	40.93	10.43	17.24	16.30
14:00	11.90	11.90	7.63	23.94	22.47	19.70	8.69	13.18	15.07
15:00	12.21	12.21	7.33	26.10	18.43	19.58	7.72	12.09	15.47
16:00	12.37	12.37	6.88	24.86	16.39	21.04	8.03	11.77	14.41
17:00	13.16	13.16	8.07	26.73	17.01	31.92	8.89	17.99	17.81
18:00	12.49	12.49	8.94	31.41	17.27	23.49	11.99	13.12	20.13
19:00	12.15	12.15	9.43	44.21	21.20	23.57	18.26	23.72	22.89
20:00	12.04	12.04	10.27	56.55	25.34	21.71	22.92	20.44	18.27
21:00	11.57	11.57	9.66	77.29	35.63	31.56	29.40	28.04	17.05
22:00	11.17	11.17	7.93	64.77	31.82	38.53	31.82	32.37	27.73
23:00	11.06	11.06	8.40	66.28	34.65	32.12	23.99	23.44	23.68

ข4 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (ppm)

เวลา	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา			กรุงเทพมหานคร			อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
0:00	0.03	0.56	0.19	1.02	0.82	0.51	0.85	0.73	0.84
1:00	0.02	0.43	0.20	0.95	0.70	0.46	0.99	0.52	0.68
2:00	0.01	0.46	0.27	0.95	0.68	0.39	1.12	0.48	0.62
3:00	0.01	0.46	0.22	0.81	0.63	0.39	0.85	0.32	0.51
4:00	0.01	0.46	0.16	0.63	0.50	0.37	0.97	0.31	0.47
5:00	0.01	0.47	0.15	0.56	0.34	0.33	0.72	0.31	0.48
6:00	0.03	0.48	0.15	0.56	0.25	0.32	0.69	0.34	0.49
7:00	0.05	0.52	0.17	0.53	0.26	0.32	0.50	0.43	0.59
8:00	0.16	0.53	0.21	0.55	0.38	0.43	0.47	0.66	0.92
9:00	0.21	0.55	0.21	0.73	0.48	0.52	0.48	0.75	0.78
10:00	0.15	0.46	0.14	0.70	0.52	0.47	0.54	0.65	0.67
11:00	0.10	0.39	0.09	0.71	0.52	0.45	0.64	0.53	0.61
12:00	0.11	0.39	0.10	0.68	0.48	0.40	0.85	0.46	0.56
13:00	0.11	0.40	0.11	0.61	0.44	0.38	0.95	0.36	0.51
14:00	0.10	0.42	0.08	0.56	0.44	0.36	0.78	0.22	0.50
15:00	0.10	0.44	0.10	0.61	0.46	0.38	0.71	0.22	0.45
16:00	0.10	0.49	0.10	0.62	0.35	0.36	0.64	0.21	0.46
17:00	0.13	0.51	0.20	0.63	0.35	0.38	0.54	0.22	0.47
18:00	0.19	0.61	0.19	0.75	0.30	0.42	0.42	0.27	0.60
19:00	0.18	0.56	0.18	0.86	0.62	0.46	0.40	0.54	0.84
20:00	0.20	0.57	0.25	0.96	1.02	0.44	0.42	0.44	0.79
21:00	0.13	0.54	0.23	0.92	1.18	0.57	0.43	0.65	0.84
22:00	0.08	0.53	0.12	1.06	1.08	0.58	0.51	0.79	1.08
23:00	0.05	0.56	0.16	1.12	0.96	0.50	0.74	0.58	1.02



ภาคผนวก ค

ความเข้มข้นของสารประกอบ

พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค1 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1 ชั้นล่าง

	21:00-00:00	00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00
Phe	0.0385	0.0181	0.0236	0.0233	0.0256	0.0210	0.0171	0.0224
An	0.0345	0.0216	0.0196	0.0268	0.0074	0.0161	0.0103	0.0253
Fluo	0.3030	0.0059	0.0246	0.0104	0.0035	0.0045	ND	0.0086
Pyr	0.0259	0.0386	0.0407	0.0416	0.0360	0.0302	0.0175	0.0217
11H-B[a]F	ND	ND	0.0199	0.0013	0.0027	ND	ND	ND
11H-B[b]F	ND	ND	0.0104	ND	ND	ND	ND	ND
B[a]A	0.0338	0.0179	0.0219	0.0196	0.0146	0.0151	0.0175	0.0174
Chry	0.0742	0.0322	0.0399	0.0313	0.0285	0.0261	0.0299	0.0301
B[b]F	0.0416	0.0608	0.0317	0.0865	0.0634	0.0549	0.0949	0.0915
B[k]F	0.0209	0.0564	0.0149	0.0315	0.0262	0.0202	0.0409	0.0396
B[e]P	0.0491	0.0646	0.0202	0.1188	0.0581	0.0540	0.0882	0.0978
B[a]P	0.0635	0.0689	0.0114	0.1293	0.0739	0.0731	0.1071	0.1025
Ind	0.0507	0.0763	0.1100	0.2622	0.1164	0.0843	0.1574	0.1703
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	0.1879	0.0560	0.1415	0.3830	0.1134	0.0612	0.1990	0.2532

N.D. = not detected

1.2 ชั้นกลาง

	21:00-00:00	00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00
Phe	0.0133	0.0151	0.0133	0.0158	0.0145	0.0123	0.0085	0.0173
An	0.0138	0.0145	0.0156	0.0145	0.0147	0.0098	0.0060	0.0209
Fluo	0.0245	0.0646	0.0202	0.1188	0.0581	0.0540	0.0441	0.0978
Pyr	ND	0.1455	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11H-B[a]F	0.0033	0.0222	0.0059	0.0144	0.0084	0.0021	0.0126	0.0097
11H-B[b]F	0.0030	0.0157	0.0034	0.0091	0.0094	0.0045	0.0073	0.0065

B[a]A	0.0036	0.0105	0.0084	0.0172	0.0102	0.0057	0.0119	0.0080
Chry	0.0046	0.0179	0.0116	0.0268	0.0187	0.0087	0.0187	0.0134
B[b]F	0.1916	ND	0.2583	0.0389	ND	ND	0.0166	ND
B[k]F	0.0903	ND	0.0758	ND	ND	ND	ND	ND
B[e]P	0.2305	ND	0.3144	0.0567	0.0311	ND	0.0108	ND
B[a]P	0.2107	0.1376	0.1581	0.1242	0.1450	ND	0.0992	0.1456
Ind	0.2915	0.0316	0.3394	0.1372	0.0566	0.0474	0.0640	0.0483
D[a,h]A	ND	0.3955	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	0.1756	0.2208	0.3461	0.2950	0.1246	0.1129	0.1491	0.1076

N.D. = not detected

1.3 ชั้นบน

	21:00-00:00	00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00
Phe	ND	ND	ND	0.0073	0.0114	0.0083	0.0072	0.0093
An	0.0031	0.0082	ND	0.0160	0.0056	ND	ND	ND
Fluo	0.0105	0.0193	0.0115	0.0005	0.0141	0.0244	0.0084	0.0050
Pyr	0.0179	0.0220	0.0202	0.0077	0.0205	0.0251	0.0196	0.0170
11H-B[a]F	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11H-B[b]F	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[a]A	0.0078	0.0066	0.0060	0.0049	0.0071	0.0070	0.0067	0.0051
Chry	0.0144	0.0154	0.0136	0.0091	0.0133	0.0130	0.0109	0.0092
B[b]F	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[k]F	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[e]P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[a]P	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ind	0.0248	0.0207	0.0258	0.0832	0.0327	0.0152	0.0204	0.0351
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	ND	ND	0.0179	0.1346	0.0112	ND	0.0279	0.1057

ค2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1 ชั้นล่าง

	21:00-00:00	00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00
Phe	1.0484	0.5726	1.0730	0.6087	0.4307	1.3146	0.5768	1.1816
An	1.4690	2.0169	4.0295	1.8360	1.0488	1.8165	0.8138	2.8831
Fluo	1.6417	0.9812	0.6896	0.7632	0.6656	0.2722	0.6261	0.4459
Pyr	1.5627	0.6256	1.3463	0.8434	0.3737	0.5327	0.7866	1.8366
11H-B[a]F	1.9006	0.6792	0.0683	0.4009	0.0834	0.7707	1.1062	ND
11H-B[b]F	0.5559	0.0628	1.5808	0.1096	0.0275	0.4989	0.0352	0.0210
B[a]A	0.1400	0.3447	0.6079	0.8085	0.2436	0.1731	0.3367	0.3189
Chry	0.1586	1.1279	0.4843	0.6097	0.3689	0.2391	1.1760	0.4514
B[b]F	1.7350	2.0071	0.8628	0.5365	0.7924	0.1397	0.3123	1.3610
B[k]F	0.2329	0.4027	0.1602	0.2848	0.1354	0.2653	0.0775	0.2452
B[e]P	1.0239	1.1406	0.7805	1.1296	0.6212	0.3324	0.4039	1.1941
B[a]P	0.9287	0.8807	0.8984	0.9881	0.4463	0.3018	0.2909	0.9107
Ind	0.3601	1.0763	0.6483	1.0589	0.4474	0.1145	0.4066	0.7355
D[a,h]A	0.0943	0.7908	0.1689	1.6014	0.8645	0.1368	0.9444	0.7145
B[g,h,i]P	0.8270	2.5370	1.1334	1.8603	1.4269	0.3989	0.6258	1.9314

N.D. = not detected

2.2 ชั้นกลาง

	21:00-00:00	00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00
Phe	0.0904	0.5499	0.4371	0.4373	0.4538	0.3178	0.8393	0.4138
An	0.0648	ND	1.5058	0.9469	ND	0.0936	ND	ND
Fluo	0.5124	0.3759	0.4077	0.2683	0.3102	0.2622	0.1208	0.5598
Pyr	0.5425	0.5170	0.3379	0.3865	0.3214	0.2243	0.1584	0.4442
11H-B[a]F	0.8868	0.2516	0.1964	0.5612	0.1269	0.0970	0.1535	0.2512
11H-B[b]F	0.1577	0.1011	0.0279	0.0538	0.0255	0.0107	0.0918	0.0664

B[a]A	0.6628	0.4941	0.3329	0.4183	0.4039	0.1844	0.1595	0.4811
Chry	0.7713	0.2965	0.5053	0.7634	0.5091	0.2367	0.1955	0.6174
B[b]F	4.1034	3.0137	2.1188	3.0654	1.6726	0.9780	2.1809	3.1703
B[k]F	0.4272	0.3586	0.2030	0.3346	0.2084	0.4143	0.3677	0.4022
B[e]P	1.7121	1.6796	0.7492	1.1852	0.6917	1.8664	1.5110	1.5736
B[a]P	0.7702	0.9157	0.3965	0.8689	0.3924	0.5662	0.4406	0.7902
Ind	ND	ND	ND	ND	ND	0.0004	0.0019	ND
D[a,h]A	ND	1.7713	0.0216	0.0394	0.0185	0.0031	2.9226	ND
B[g,h,i]P	ND	0.3415	0.0121	0.3094	0.0288	0.0153	0.0400	0.2889

N.D. = not detected

2.3 ^๕ชั้นบน

	21:00-00:00	00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00
Phe	0.0586	0.4416	0.2934	0.4244	0.2791	0.5390	ND	0.2675
An	1.1632	1.1669	2.2237	2.5964	0.3221	0.0769	ND	1.6157
Fluo	0.3593	0.3270	0.1746	0.2522	0.2390	0.0796	0.0939	0.3251
Pyr	0.1366	0.2015	0.0792	0.2708	0.2165	0.0242	ND	0.2234
11H-B[a]F	0.0978	0.0833	0.1355	0.3105	0.1381	0.2893	0.0590	0.0907
11H-B[b]F	0.0657	0.0268	0.0212	0.0402	0.0253	0.0695	0.0108	0.0417
B[a]A	0.1186	0.1205	0.0804	0.1240	0.1461	0.0634	0.0550	0.1332
Chry	0.2041	0.2574	0.1391	0.1702	0.1703	0.1232	0.0716	0.1956
B[b]F	0.7480	0.7870	0.6598	0.9010	0.5928	1.0191	0.4607	0.9753
B[k]F	0.1358	0.1395	0.1233	0.1414	0.0723	0.4843	0.0680	0.1197
B[e]P	0.4158	0.4591	0.4460	0.4562	0.3871	0.1359	0.2167	0.4452
B[a]P	0.3375	0.2529	0.2967	0.3135	0.2958	0.1201	0.1396	0.2563
Ind	0.4582	0.4968	0.5016	0.3600	0.5589	0.3124	0.2942	0.4280
D[a,h]A	0.1213	ND	ND	0.0324	0.0253	0.0487	0.0134	0.0228
B[g,h,i]P	0.7855	0.6568	0.6545	0.6753	0.8573	0.5969	0.2297	0.7287

ค3 พื้นที่ศึกษอำเภอมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1 ชั้นล่าง

	21:00-00:00	00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00
Phe	0.3652	0.4436	0.3545	0.3496	0.2990	0.1983	0.1256	0.3557
An	ND	0.0615	0.0706	0.0624	0.0097	0.0423	0.0318	0.1047
Fluo	0.6235	1.1105	0.9893	1.3226	0.5640	0.2403	0.1333	0.1750
Pyr	0.9826	1.6445	1.4497	1.8305	0.7306	0.4047	0.2756	0.3372
11H-B[a]F	0.3309	0.5991	0.4283	0.7453	0.2142	0.1017	0.0572	0.1305
11H-B[b]F	0.1341	0.2407	0.1882	0.3199	0.0789	0.0387	0.0278	0.0537
B[a]A	0.9158	1.4073	1.1820	1.9969	0.4014	0.1148	0.1245	0.1567
Chry	1.1331	1.2000	1.1486	2.3859	0.7777	0.1441	0.1286	0.3371
B[b]F	2.4529	2.7741	2.6022	2.3627	1.8021	0.4442	0.3422	0.9605
B[k]F	0.4377	0.5029	0.4728	0.4901	0.2401	0.0456	0.0442	0.1216
B[e]P	1.5167	1.7158	1.3828	1.5262	0.9662	0.1641	0.1264	0.3998
B[a]P	1.4357	1.7419	1.6096	1.5261	0.6482	0.1050	0.0902	0.2405
Ind	2.8441	2.7535	2.8234	2.8009	2.3433	0.3312	0.3260	0.8277
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	1.9599	1.5308	1.5350	1.5121	1.1757	0.2801	0.2052	0.7085

N.D. = not detected

3.2 ชั้นกลาง

	21:00-00:00	00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00
Phe	0.2624	0.6237	0.3941	0.6873	0.1338	0.4575	0.3296	0.0870
An	0.1768	0.2613	0.3996	0.2815	0.5133	0.2165	0.3489	0.1707
Fluo	0.4806	0.7423	0.4784	0.9698	0.3185	0.4283	0.0916	0.1645
Pyr	0.8126	1.3602	0.7620	1.3022	0.2393	0.5106	0.2688	0.3968
11H-B[a]F	0.2650	0.3093	0.3046	0.4213	0.1396	0.1036	0.0861	0.1301
11H-B[b]F	0.1749	0.1769	0.1812	0.2392	0.0601	0.0407	0.0654	0.0512
B[a]A	1.1653	1.0046	1.0436	2.0014	0.3254	0.2445	0.1883	0.2963

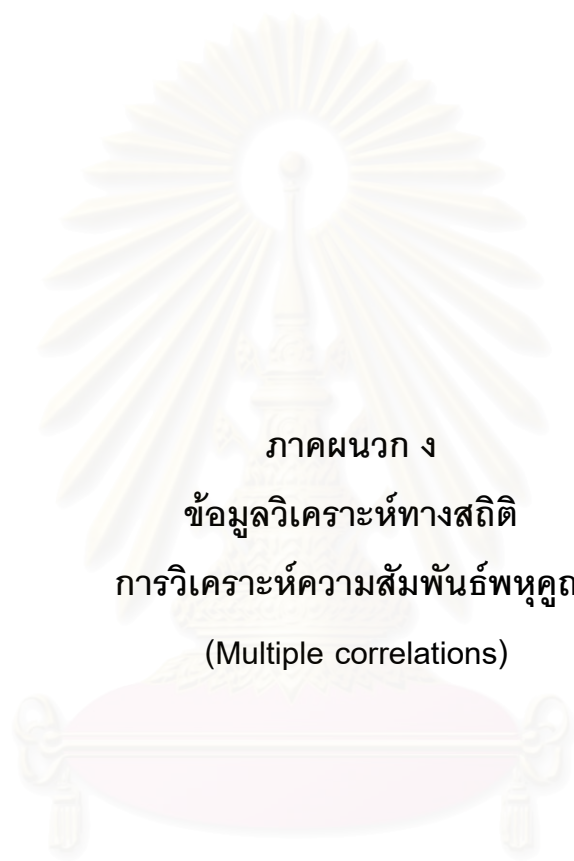
Chry	1.1493	1.3980	1.3708	1.8607	0.5135	0.3001	0.2160	0.3935
B[b]F	2.7726	2.7354	3.9091	4.7164	1.6504	1.1117	0.2261	1.0233
B[k]F	0.4862	0.3217	0.4282	0.7543	0.2053	0.1327	0.0759	0.1145
B[e]P	1.8044	1.1614	1.8944	1.9980	1.4603	1.2707	0.2538	0.4538
B[a]P	1.4219	0.7191	1.4535	1.9660	0.9895	0.3646	0.0889	0.4552
Ind	3.7952	2.1915	3.3775	5.0073	2.0369	1.2402	0.2123	0.9321
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	3.1305	1.3983	2.5839	3.9396	1.3966	0.8097	0.2555	0.9151

N.D. = not detected

3.3 ^๕ชั้นบน

	21:00-00:00	00:00-03:00	03:00-06:00	06:00-09:00	09:00-12:00	12:00-15:00	15:00-18:00	18:00-21:00
Phe	0.3318	0.1489	0.3122	0.3584	0.2904	0.2229	0.1290	0.1647
An	0.0867	0.0882	0.1249	0.1155	0.0835	0.1015	0.2375	0.0504
Fluo	0.7931	0.1646	0.7443	0.3931	0.2515	0.0615	0.1071	0.0711
Pyr	1.4791	0.2172	1.2764	0.5072	0.2395	0.0444	0.0714	1.4948
11H-B[a]F	0.3335	0.0995	0.4900	0.3271	0.0943	0.0200	0.1164	0.0728
11H-B[b]F	0.1552	0.0979	0.4400	0.2090	0.0400	0.0111	0.0310	0.0403
B[a]A	1.9639	1.7039	3.7229	3.3115	1.5407	0.2754	0.1621	0.9785
Chry	1.2884	1.0195	2.8699	2.6873	0.4815	0.2956	0.1832	0.4167
B[b]F	2.5737	1.9870	2.7423	3.4775	1.1137	0.1503	0.1817	0.6164
B[k]F	0.8065	0.6327	0.8209	0.9330	0.3210	0.3666	0.0355	0.2081
B[e]P	1.8317	1.7039	2.0239	2.3086	1.4024	0.1629	0.1158	0.5264
B[a]P	2.5164	1.7903	3.3711	2.7672	1.0207	0.3780	0.1579	0.6528
Ind	2.2743	1.6728	2.2298	3.1179	1.0559	0.4711	0.1617	0.6290
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	2.6283	1.9674	2.7500	3.4996	1.4898	0.5801	0.2702	0.7970

N.D. = not detected



ภาคผนวก ง

ข้อมูลวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์พหุคูณ

(Multiple correlations)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง1 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1 ชั้นล่าง

Correlations

		PAHs_day	CO_day	O3_day	NOx_day	NO2_day
Pearson Correlation	PAHs_day	1	-0.308	0.262	0.18	-0.356
	CO_day	-0.308	1	-0.612	0.33	0.552
	O3_day	0.262	-0.612	1	-0.132	0.254
	NOx_day	0.18	0.33	-0.132	1	0.653
	NO2_day	-0.356	0.552	0.254	0.653	1
Sig. (1-tailed)	PAHs_day	.	0.034	0.055	0.108	0.203
	CO_day	0.034	.	0	0.01	0.052
	O3_day	0.055	0	.	0.183	0.032
	NOx_day	0.108	0.01	0.183	.	0.019
	NO2_day	0.203	0.052	0.032	0.019	.
N	PAHs_day	49	49	49	49	49
	CO_day	49	49	49	49	49
	O3_day	49	49	49	49	49
	NOx_day	49	49	49	49	49
	NO2_day	49	49	49	49	49

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Correlations

		PAHs_night	CO_night	O3_night	NOx_night	NO2_night
Pearson Correlation	PAHs_night	1.000	-.341	.107	.138	.359
	CO_night	-.341	1.000	-.484	-.190	.036
	O3_night	.107	-.484	1.000	.134	-.435
	NOx_night	.138	-.190	.134	1.000	.087
	NO2_night	.359	.026	-.435	.087	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_night	.	.027	.230	.170	.063
	CO_night	.027	.	.000	.093	.038
	O3_night	.230	.000	.	.177	.319
	NOx_night	.170	.093	.177	.	.482
	NO2_night	.063	.038	.319	.482	.
N	PAHs_night	50	50	50	50	50
	CO_night	50	50	50	50	50
	O3_night	50	50	50	50	50
	NOx_night	50	50	50	50	50
	NO2_night	50	50	50	50	50

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 ^๕ชั้นกลาง

Correlations

		PAHs_day	O3_day	CO_day	NOx_day	NO2_day
Pearson Correlation	PAHs_day	1.000	-.262	-.308	-.021	.473
	O3_day	-.262	1.000	-.512	-.087	-.227
	CO_day	-.308	-.512	1.000	.198	.085
	NOx_day	-.021	-.087	.198	1.000	-.592
	NO2_day	.473	-.227	.085	-.592	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_day	.	.037	.221	.447	.427
	O3_day	.037	.	.000	.287	.360
	CO_day	.021	.000	.	.098	.355
	NOx_day	.447	.287	.098	.	.219
	NO2_day	.427	.360	.355	.219	.
N	PAHs_day	44	44	44	44	44
	O3_day	44	44	44	44	44
	CO_day	44	44	44	44	44
	NOx_day	44	44	44	44	44
	NO2_day	44	44	44	44	44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Correlations

		PAHs_night	NOx_night	CO_night	O3_night	NO2_night
Pearson Correlation	PAHs_night	1.000	.305	-.341	.014	.363
	NOx_night	.305	1.000	-.542	.275	.242
	CO_night	-.341	-.542	1.000	-.331	.055
	O3_night	.014	.275	-.331	1.000	-.675
	NO2_night	.363	.242	.055	-.675	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_night	.	.059	.134	.462	.075
	NOx_night	.059	.	.000	.029	.586
	CO_night	.134	.000	.	.011	.234
	O3_night	.462	.029	.011	.	.108
	NO2_night	.075	.586	.234	.108	.
N	PAHs_night	48	48	48	48	48
	NOx_night	48	48	48	48	48
	CO_night	48	48	48	48	48
	O3_night	48	48	48	48	48
	NO2_night	48	48	48	48	48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ^๕ชั้นบน

Correlations

		PAHs_day	NOx_day	CO_day	O3_day	NO2_day
Pearson Correlation	PAHs_day	1.000	-.169	.207	-.246	-.230
	NOx_day	-.169	1.000	-.266	.251	.215
	CO_day	.207	-.266	1.000	-.265	.443
	O3_day	-.246	.251	-.265	1.000	-.503
	NO2_day	-.230	.215	.443	-.503	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_day	.	.190	.140	.099	.045
	NOx_day	.190	.	.082	.094	.532
	CO_day	.140	.082	.	.082	.028
	O3_day	.099	.094	.082	.	.321
	NO2_day	.045	.532	.028	.321	.
N	PAHs_day	29	29	29	29	29
	NOx_day	29	29	29	29	29
	CO_day	29	29	29	29	29
	O3_day	29	29	29	29	29
	NO2_day	29	29	29	29	29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Correlations

		PAHs__night	NOx_night	O3_night	CO_night	NO2_night
Pearson Correlation	PAHs__night	1.000	-.286	-.330	-.032	-.089
	NOx_night	-.286	1.000	-.252	.144	.243
	O3_night	-.330	-.252	1.000	.111	.072
	CO_night	-.032	.144	.111	1.000	.651
	NO2_night	-.089	.243	.072	.651	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs__night	.	.083	.054	.441	.085
	NOx_night	.083	.	.112	.246	.137
	O3_night	.054	.112	.	.298	.559
	CO_night	.441	.246	.298	.	.350
	NO2_night	.085	.137	.559	.350	.
N	PAHs__night	25	25	25	25	25
	NOx_night	25	25	25	25	25
	O3_night	25	25	25	25	25
	CO_night	25	25	25	25	25
	NO2_night	25	25	25	25	25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.1 ชั้นล่าง

Correlations

		PAHs_day	CO_day	O3_day	NO2_day	NOx_day
Pearson Correlation	PAHs_day	1.000	-.377	.001	-.330	-.118
	CO_day	-.377	1.000	.216	-.115	.414
	O3_day	.001	.216	1.000	-.370	.215
	NO2_day	-.330	-.115	-.370	1.000	.551
	NOx_day	-.118	.414	.215	.551	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_day	.	.045	.497	.029	.326
	CO_day	.045	.	.049	.191	.360
	O3_day	.497	.049	.	.002	.427
	NO2_day	.029	.191	.002	.	.251
	NOx_day	.326	.360	.427	.251	.
N	PAHs_day	60	60	60	60	60
	CO_day	60	60	60	60	60
	O3_day	60	60	60	60	60
	NO2_day	60	60	60	60	60
	NOx_day	60	60	60	60	60

Correlations

		PAHs_night	CO_night	O3_night	NOx_night	NO2_night
Pearson Correlation	PAHs_night	1.000	-.209	-.073	-.011	-.208
	CO_night	-.209	1.000	-.090	-.162	.165
	O3_night	-.073	-.090	1.000	-.217	-.342
	NOx_night	-.011	-.162	-.217	1.000	.659
	NO2_night	-.208	.165	-.342	.659	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_night	.	.027	.292	.468	.479
	CO_night	.027	.	.248	.110	.394
	O3_night	.292	.248	.	.049	.175
	NOx_night	.468	.110	.049	.	.652
	NO2_night	.479	.394	.175	.652	.
N	PAHs_night	59	59	59	59	59
	CO_night	59	59	59	59	59
	O3_night	59	59	59	59	59
	NOx_night	59	59	59	59	59
	NO2_night	59	59	59	59	59

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ^๕ชั้นกลาง

Correlations

		PAHs_day	NOx_day	CO_day	O3_day	NO2_day
Pearson Correlation	PAHs_day	1.000	-.171	.010	-.622	-.515
	NOx_day	-.171	1.000	-.142	-.072	.078
	CO_day	.010	-.142	1.000	-.228	.219
	O3_day	-.622	-.072	-.228	1.000	-.447
	NO2_day	-.515	.078	.219	-.447	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_day	.	.103	.472	.013	.414
	NOx_day	.103	.	.148	.298	.168
	CO_day	.472	.148	.	.045	.233
	O3_day	.013	.298	.045	.	.257
	NO2_day	.414	.168	.233	.257	.
N	PAHs_day	56	56	56	56	56
	NOx_day	56	56	56	56	56
	CO_day	56	56	56	56	56
	O3_day	56	56	56	56	56
	NO2_day	56	56	56	56	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Correlations

		PAHs_night	CO_night	O3_night	NOx_night	NO2_night
Pearson Correlation	PAHs_night	1.000	.370	-.652	-.020	.105
	CO_night	.370	1.000	-.493	-.016	-.224
	O3_night	-.652	-.493	1.000	-.133	.086
	NOx_night	-.020	-.016	-.133	1.000	.673
	NO2_night	.105	-.224	.086	.673	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_night	.	.209	.514	.444	.400
	CO_night	.209	.	.000	.455	.351
	O3_night	.514	.000	.	.176	.789
	NOx_night	.444	.455	.176	.	.054
	NO2_night	.400	.351	.789	.054	.
N	PAHs_night	51	51	51	51	51
	CO_night	51	51	51	51	51
	O3_night	51	51	51	51	51
	NOx_night	51	51	51	51	51
	NO2_night	51	51	51	51	51

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 ^๕ชั้นบน

Correlations

		PAHs_day	CO_day	O3_day	NOx_day	NO2_day
Pearson Correlation	PAHs_day	1.000	-.009	-.492	-.150	-.092
	CO_day	-.009	1.000	-.800	.071	.105
	O3_day	-.492	-.800	1.000	.189	-.224
	NOx_day	-.150	.071	.189	1.000	.485
	NO2_day	-.092	.105	-.224	.485	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_day	.	.473	.013	.133	.062
	CO_day	.473	.	.000	.300	.112
	O3_day	.013	.000	.	.080	.095
	NOx_day	.133	.300	.080		.687
	NO2_day	.062	.112	.095	.687	.
N	PAHs_day	57	57	57	57	57
	CO_day	57	57	57	57	57
	O3_day	57	57	57	57	57
	NOx_day	57	57	57	57	57
	NO2_day	57	57	57	57	57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Correlations

		PAHs_night	NOx_night	CO_night	O3_night	NO2_night
Pearson Correlation	PAHs_night	1.000	-.014	-.208	.041	-.302
	NOx_night	-.014	1.000	.179	-.172	.439
	CO_night	-.208	.179	1.000	-.474	.372
	O3_night	.041	-.172	-.474	1.000	-.521
	NO2_night	-.302	.439	.372	-.521	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_night	.	.460	.059	.380	.553
	NOx_night	.460	.	.090	.098	.076
	CO_night	.059	.090	.	.000	.034
	O3_night	.380	.098	.000	.	.023
	NO2_night	.553	.076	.034	.023	.
N	PAHs_night	58	58	58	58	58
	NOx_night	58	58	58	58	58
	CO_night	58	58	58	58	58
	O3_night	58	58	58	58	58
	NO2_night	58	58	58	58	58

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง3 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3.1 ชั้นล่าง

Correlations

		PAHs_day	NOx_day	CO_day	O3_day	NO2_day
Pearson Correlation	PAHs_day	1.000	.467	-.255	-.543	.026
	NOx_day	.467	1.000	-.328	-.721	-.359
	CO_day	-.255	-.328	1.000	.473	-.053
	O3_day	-.543	-.721	.473	1.000	.321
	NO2_day	.026	-.359	-.053	.321	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_day	.	.000	.029	.000	.115
	NOx_day	.000	.	.007	.000	.658
	CO_day	.029	.007	.	.000	.732
	O3_day	.000	.000	.000	.	.480
	NO2_day	.115	.658	.732	.480	.
N	PAHs_day	56	56	56	56	56
	NOx_day	56	56	56	56	56
	CO_day	56	56	56	56	56
	O3_day	56	56	56	56	56
	NO2_day	56	56	56	56	56

Correlations

		PAHs_night	NOx_night	CO_night	O3_night	NO2_night
Pearson Correlation	PAHs_night	1.000	-.044	.559	-.107	.013
	NOx_night	-.044	1.000	-.216	.451	.265
	CO_night	.559	-.216	1.000	-.127	.089
	O3_night	-.107	.451	-.127	1.000	.137
	NO2_night	.013	.265	.089	.137	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_night	.	.373	.000	.216	.087
	NOx_night	.373	.	.055	.000	.165
	CO_night	.000	.055	.	.176	.093
	O3_night	.216	.000	.176	.	.416
	NO2_night	.087	.165	.093	.416	.
N	PAHs_night	56	56	56	56	56
	NOx_night	56	56	56	56	56
	CO_night	56	56	56	56	56
	O3_night	56	56	56	56	56
	NO2_night	56	56	56	56	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 ^๕ชั้นกลาง

Correlations

		PAHs_day	NOx_day	CO_day	O3_day	NO2_day
Pearson Correlation	PAHs_day	1.000	.312	-.303	-.329	.319
	NOx_day	.312	1.000	-.262	-.242	.037
	CO_day	-.303	-.262	1.000	-.167	.312
	O3_day	-.329	-.242	-.167	1.000	.548
	NO2_day	.319	.037	.312	.548	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_day	.	.010	.012	.007	.778
	NOx_day	.010	.	.026	.036	.402
	CO_day	.012	.026	.	.109	.569
	O3_day	.007	.036	.109	.	.061
	NO2_day	.778	.402	.569	.061	.
N	PAHs_day	56	56	56	56	56
	NOx_day	56	56	56	56	56
	CO_day	56	56	56	56	56
	O3_day	56	56	56	56	56
	NO2_day	56	56	56	56	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Correlations

		PAHs_night	NOx_night	CO_night	O3_night	NO2_night
Pearson Correlation	PAHs_night	1.000	-.102	.036	-.191	-.045
	NOx_night	-.102	1.000	-.133	.101	-.342
	CO_night	.036	-.133	1.000	-.879	.230
	O3_night	-.191	.101	-.879	1.000	-.117
	NO2_night	-.045	-.342	.230	-.117	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_night	.	.228	.396	.079	.101
	NOx_night	.228	.	.163	.230	.078
	CO_night	.396	.163	.	.000	.009
	O3_night	.079	.230	.000	.	.562
	NO2_night	.101	.078	.009	.562	.
N	PAHs_night	56	56	56	56	56
	NOx_night	56	56	56	56	56
	CO_night	56	56	56	56	56
	O3_night	56	56	56	56	56
	NO2_night	56	56	56	56	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ชั้นบน

Correlations

		PAHs_day	CO_day	O3_day	NOx_day	NO2_day
Pearson Correlation	PAHs_day	1.000	-.103	-.292	.037	.176
	CO_day	-.103	1.000	.069	-.039	.330
	O3_day	-.292	.069	1.000	-.202	.414
	NOx_day	.037	-.039	-.202	1.000	.255
	NO2_day	.176	.330	.414	.255	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_day	.	.224	.015	.394	.664
	CO_day	.224	.	.307	.387	.082
	O3_day	.015	.307	.	.068	.059
	NOx_day	.394	.387	.068	.	.301
	NO2_day	.664	.082	.059	.301	.
N	PAHs_day	56	56	56	56	56
	CO_day	56	56	56	56	56
	O3_day	56	56	56	56	56
	NOx_day	56	56	56	56	56
	NO2_day	56	56	56	56	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Correlations

		PAHs_night	CO_night	O3_night	NOx_night	NO2_night
Pearson Correlation	PAHs_night	1.000	.042	-.194	-.163	.327
	CO_night	.042	1.000	-.553	.275	.114
	O3_night	-.194	-.553	1.000	-.019	-.250
	NOx_night	-.163	.275	-.019	1.000	.483
	NO2_night	.327	.114	-.250	.483	1.000
Sig. (1-tailed)	PAHs_night	.	.378	.076	.115	.561
	CO_night	.378	.	.000	.020	.622
	O3_night	.076	.000	.	.443	.014
	NOx_night	.115	.020	.443	.	.008
	NO2_night	.561	.622	.014	.008	.
N	PAHs_night	56	56	56	56	56
	CO_night	56	56	56	56	56
	O3_night	56	56	56	56	56
	NOx_night	56	56	56	56	56
	NO2_night	56	56	56	56	56

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธิดา อินทเสน เกิดเมื่อวันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2527 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2550



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย