



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของความเข้มข้นก๊าซโอโซนต่อการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม ตามแนวระดับความสูงในเขตเมือง

The Effects of Ozone Concentration on Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Total Suspended Particulate in Urban Area

นามผู้วิจัย นางสาวสุพรรณิการ์ ชาเหล่า

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของความเข้มข้นก๊าซโอโซนต่อการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติก
ไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูงในเขตเมือง

The Effects of Ozone Concentration on Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic
Hydrocarbons in Total Suspended Particulate in Urban Area

โดย

นางสาวสุพรรณนิการ์ ชาเหล่า

เสนอ
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2552

สุพรรณิการ์ ซาเหลา 2552: ผลของความเข้มข้นก๊าซไอโซนต่อการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม ตามแนวระดับความสูงในเขตเมือง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D. 170 หน้า

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของก๊าซไอโซนต่อการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม ตามแนวระดับความสูงในเขตเมือง ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา , กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยศึกษาการกระจายตัวใน 3 ระดับความสูง ได้แก่ ชั้นล่าง คือ ระดับความสูงที่อยู่เหนือชั้น Roughness layer ชั้นกลาง คือระดับความสูงที่อยู่ในชั้น Surface layer และชั้นบน คือ ระดับความสูงที่อยู่เหนือชั้น Surface layer เก็บข้อมูลระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 การกระจายตัวของก๊าซไอโซนในแต่ละพื้นที่พบว่ามีความเข้มข้นสูงที่สุดในชั้นกลางในทุกพื้นที่ศึกษาเนื่องมาจากก๊าซไอโซนเป็นมลสารทุติยภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล จำเป็นต้องอาศัยสารตั้งต้นในการเกิด ระยะทาง และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา โดยปัจจัยสำคัญของการเกิดปฏิกิริยา คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ เมื่อไอโซนมีความเข้มข้นสูง PAHs ลดต่ำลง และการกระจายตัวของ PAHs ทั้ง 15 ชนิด พบว่าใน อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลาผลรวมของ PAHs ทั้ง 15 ชนิด เฉลี่ยในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.147, 0.131 และ 0.179 ตามลำดับ กรุงเทพมหานครผลรวมของ PAHs ทั้ง 15 ชนิด เฉลี่ยในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.448, 0.306 และ 0.484 ตามลำดับ และอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ผลรวมของ PAHs ทั้ง 15 ชนิด เฉลี่ยในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.797, 0.852 และ 0.580 ตามลำดับ อัตราการย่อยสลายของ PAHs แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล ความดันไอ และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ ผ่านปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง (photodegradation)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Supannika Salao 2009: The Effects of Ozone Concentration on Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Total Suspended Particulate in Urban Area. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Assistant Professor Surat Bualeart, Ph.D. 170 pages.

The objective of the study is to investigate the effects of ozone concentrations on vertical distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in total suspended particulate 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, during sampling between december 2007–february 2008 . Concentrations of ozone highest mean total in the surface layer are related in photochemical reaction with radiation as an important factor and its concentration related inversely to concentrations of PAHs. Amphur Hatyai, Songkla province the total mean concentrations of particulate PAHs in the above roughness length, surface layer, and urban boundary layer were 0.147, 0.131 and 0.179 respectively, Bangkok the total mean concentrations of particulate PAHs in the above roughness length, surface layer, and urban boundary layer were 0.448, 0.306 and 0.484 respectively, Amphur Muang, Chiangmai province the total mean concentrations of particulate PAHs in the above roughness length, surface layer, and urban boundary layer were 0.797, 0.852 and 0.580 respectively. Furthermore, there are also other factors that influence the concentration of the PAHs in 3-level, for example, physical properties of PAHs by phodegradation reaction.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนช่วยแก้ไขในข้อบกพร่องต่างๆ จนมีผลให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี นอกจากนี้ยังได้กรุณาให้ข้อคิดต่างๆ และทักษะในการทำงาน ตลอดจนอบรมสั่งสอนการดำเนินชีวิตในสังคมอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อศิษย์

ขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนดูแลแก้ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นระหว่างการวิจัยด้วยดีตลอดมา รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร.เกษม จันทร์แก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำปรึกษาและแนะนำ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์เป็นประธานกรรมการสอบ

ขอกราบขอบคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำการศึกษาวิจัยทดลอง รวมทั้งอุปกรณ์ในการวิจัย ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้สนับสนุนทุนในการวิจัยในครั้งนี้ผ่านทางโครงการวิจัยลักษณะของชั้นบรรยากาศและผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลสารทางอากาศสำหรับประเทศไทย รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือที่ดีมาโดยตลอด

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา รวมทั้งครอบครัวที่คอยดูแลอยู่เคียงข้าง ให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา ให้โอกาส และสนับสนุนทุกสิ่งอย่างอย่างดียิ่งเสมอมา

สุพรรณิการ์ ชาเหล่า

พฤศจิกายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	45
ผลและวิจารณ์	65
สรุปและข้อเสนอแนะ	125
สรุป	125
ข้อเสนอแนะ	130
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	132
ภาคผนวก	140
ภาคผนวก ก ความเข้มข้นก๊าซโอโซน	141
ภาคผนวก ข ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในฝุ่นละอองรวม	143
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางสถิติ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Corelations)	153
ภาคผนวก ง ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) ในบรรยากาศ บริเวณใกล้พื้นที่ศึกษา ระหว่างปี พ.ศ.2547-2551	163
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	170

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชื่อเคมี สูตร โมเลกุล สูตร โครงสร้าง น้ำหนักโมเลกุล จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของ PAHs	12
2	การจัดกลุ่มสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง	13
3	สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์สาร PAHs	52
4	Retention time ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 15 ชนิด และ Internal Standard PAHs 2 ชนิด	55
5	ค่า Instrumental Detection Limit, Resolution, Number of Theoretical Plates และ Height Equivalent of Theoretical Plate	56
6	ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน	57
7	แสดงแหล่งกำเนิดของ PAHs จากการเทียบอัตราส่วน PAHs (Binary ratio)	74
8	สัดส่วนของ PAHs ใน PM ₁₀ /PAHs ใน TSP ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	78
9	อัตราส่วนของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวมบริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550	80
10	ค่าเฉลี่ย ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng m ⁻³) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	81
11	สัดส่วนความเข้มข้น PAHs ใน PM ₁₀ /PAHs ใน TSP ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร	87
12	อัตราส่วนของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวมบริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร	89
13	ค่าเฉลี่ย ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng m ⁻³) ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร	90

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	สัดส่วนความเข้มข้น PAHs ใน PM ₁₀ /PAHs ใน TSP บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	96
15	อัตราส่วนของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวมบริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	98
16	ค่าเฉลี่ย ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng m ⁻³) 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	99
ตารางผนวกที่		
ก1	ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซโอโซน	142
ข1	ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นล่าง	144
ข2	ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นกลาง	145
ข3	ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นบน	146
ข4	ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นล่าง	147
ข5	ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นกลาง	148
ข6	ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นบน	149
ข7	ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นล่าง	150

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข8	ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นกลาง	151
ข9	ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นบน	152
ค1	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นล่าง	154
ค2	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM ₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นล่าง	154
ค3	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นกลาง	155
ค4	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM ₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นกลาง	155
ค5	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นบน	156
ค6	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM ₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นบน	156
ค7	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ชั้นล่าง	157
ค8	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM ₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ชั้นล่าง	157
ค9	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ชั้นกลาง	158
ค10	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM ₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ชั้นกลาง	158
ค11	การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ชั้นบน	159

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ค12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM ₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นบน	159
ค13 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นล่าง	160
ค14 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM ₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นล่าง	160
ค15 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นกลาง	161
ค16 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM ₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นกลาง	161
ค17 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นบน	162
ค18 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM ₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นบน	162
ง1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) บริเวณเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่างปี พ.ศ. 2547-2549	164
ง2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) บริเวณเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่างปี พ.ศ.2550-2551	165
ง3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด ไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) บริเวณเคหะชุมชนดินแดง ถ. ดินแดง กรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2547-2549	166
ง4 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาด ไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) บริเวณเคหะชุมชนดินแดง ถ. ดินแดง กรุงเทพมหานคร ระหว่าง ปี พ.ศ. 2550-2551	167
ง5 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) บริเวณโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จ.เชียงใหม่ ระหว่างปี พ.ศ. 2547-2549	168
ง6 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) บริเวณโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จ.เชียงใหม่ ระหว่างปี พ.ศ. 2550-2551	169

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนผังการวิจัยผลของก๊าซโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม	4
2	ปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ	15
3	องค์ประกอบของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย	17
4	กระบวนการเกิดก๊าซโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์โดยมี UV-C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	23
5	ชั้นโอโซน (ozone layer) ที่ระดับความสูงประมาณ 25 กิโลเมตร จากผิวโลกในชั้นสตราโตสเฟียร์	24
6	กระบวนการดูดซับรังสี UV-B ของชั้นโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์	25
7	ชั้นขอบเขตของบรรยากาศ	28
8	ลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของอากาศ	29
9	กระบวนการอุณหภูมิลดลงตามความสูง (Adiabatic Process)	30
10	การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมกับความสูงบนพื้นผิวชนิดต่างๆ	33
11	บรรยากาศที่มีลักษณะไม่คงตัว	35
12	บรรยากาศที่มีลักษณะคงตัว	36
13	บรรยากาศที่มีลักษณะสะเทิน	36
14	เครื่อง UV Adsorption Ozone Analyzer Model 400 E	40
15	อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองรวม (TSP) ชนิดไฮโดรลูม	41
16	เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer	42
17	ขั้นตอนการสกัด PAHs	51
18	โครมาโตแกรมของสาร PAHs 17 ชนิด	54
19	จุดเก็บตัวอย่างอากาศขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	60
20	จุดเก็บตัวอย่างกรุงเทพมหานคร	62
21	จุดเก็บตัวอย่างอากาศเมือง จังหวัดเชียงใหม่	64
22	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอากาศขนาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	65

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยทั้งสามระดับความสูง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	67
24	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร	68
25	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยทั้งสามระดับความสูง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร	70
26	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา จังหวัดเชียงใหม่	71
27	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยทั้งสามระดับความสูง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา จังหวัดเชียงใหม่	73
28	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	77
29	ความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs ระหว่าง PAHs ในฝุ่นละอองรวมในระหว่างชั้นความสูง	79
30	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร	86
31	ความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs ใน TSP ในระหว่างชั้นความสูง	88
32	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	95
33	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น PAHs ใน TSP	97
34	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันในชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	102

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเจเลียในรอบวันชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	103
36	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเจเลียในรอบวันในชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	104
37	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเจเลียในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	105
38	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเจเลียในรอบวันในชั้นบน ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	106
39	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเจเลียในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	107
40	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไอโซน PAHs ในฝุ่นละอองรวม และ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เฉลี่ยทั้งสามระดับความสูง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 ในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา	108
41	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเจเลียในรอบวันชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร	109
42	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเจเลียในรอบวันชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร	110
43	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเจเลียในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร	111

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
44	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร	112
45	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร	113
46	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร	114
47	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไอโซน PAHs ในฝุ่นละอองรวม และ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เฉลี่ยทั้งสามระดับความสูง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร	116
48	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	117
49	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	118
50	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	119
51	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	120
52	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	121

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
53	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เปรียบเทียบกับก๊าซไอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	122
54	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไอโซน PAHs ในฝุ่นละอองรวม และ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เฉลี่ยทั้งสามระดับความสูง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่	124

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\text{m}^{-3} \text{min}^{-1}$	=	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
m	=	เมตร
m s^{-1}	=	เมตรต่อนาที
μl	=	ไมโครลิตร
μm	=	ไมโครเมตร
ml	=	มิลลิลิตร
ml min^{-1}	=	มิลลิลิตรต่อนาที
ng	=	นาโนกรัม
ng m^{-3}	=	นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
nm	=	นาโนเมตร
ppb	=	ส่วนในพันล้านส่วน
PAHs	=	พอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
PM_{10}	=	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร
O_3	=	ก๊าซโอโซน
TSP	=	ฝุ่นละอองรวม

ผลของความเข้มข้นก๊าซโอโซนต่อการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม ตามแนวระดับความสูงในเขตเมือง

The Effects of Ozone Concentration on Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Total Suspended Particulate in Urban Area

คำนำ

ชั้นขอบเขต (Boundary layer) เป็นชั้นบรรยากาศย่อยของชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ มีระดับความสูงขึ้นอยู่กับลักษณะของสภาพอากาศท้องถิ่น (Local weather) บรรยากาศชั้นนี้เป็นบรรยากาศชั้นแรกที่ได้รับอิทธิพลต่างๆ โดยตรงจากพื้นผิวโลก อุณหภูมิของบรรยากาศชั้นนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในระหว่างกลางวัน และกลางคืน อุณหภูมิในบรรยากาศชั้นขอบเขตนี้ขึ้นอยู่กับความร้อนจำเพาะของดิน และอากาศ และกระบวนการต่างๆที่เกี่ยวกับการแลกเปลี่ยนพลังงาน เช่น การนำความร้อน การแผ่รังสี เป็นต้น และชั้นบรรยากาศตามระดับความสูงจะส่งผลต่อพฤติกรรมของมลสารในอากาศ ก่อให้เกิดการสะสมของมลสารก่อให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศที่มีผลกระทบโดยตรงต่อความเป็นอยู่ของประชาชน เช่น ในตัวเมืองใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่น และบริเวณชุมชนที่มีการเผาป่าและวัชพืชเพื่อการเพาะปลูกพบว่าอัตราความเสี่ยงในการเกิดโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจของคนที่อยู่อาศัยอยู่ในบริเวณที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับคนที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่ห่างไกลจากแหล่งปล่อยมลพิษ ซึ่งจากการสำรวจพบว่าแหล่งที่มาส่วนใหญ่ของมลพิษทางอากาศเกิดจากการเผาไหม้ ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมันหรือถ่านหิน โดยมีสารประกอบทางเคมีที่เกิดจากการเผาไหม้มากกว่า 500 ชนิด ซึ่งมีแนวโน้มที่จะเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenic agent) อาจกล่าวได้ว่าชั้นบรรยากาศตามระดับความสูงนั้นส่งผลต่อพฤติกรรมของมลสารในอากาศ และเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงในระดับโลก สมดุลรังสีจากดวงอาทิตย์ถูกรบกวน และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาใกล้ผิวดิน ก่อให้เกิดการสะสมมลสารทางอากาศที่มีความรุนแรงขึ้น ดังนั้นการศึกษาลักษณะของสภาพชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของก๊าซโอโซน และการกระจายตัวในแต่ละระดับความสูง (Vertical distribution) ของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน แต่ละชนิด คือฐานข้อมูลสำคัญเพื่อ ผลการศึกษาจะเป็นการสร้างองค์ความรู้ที่มีความสำคัญเพื่อใช้ในการปรับตัว (Adaptation) และวางแผนการจัดการมลภาวะทางอากาศ งานวิจัยนี้เป็นอย่างยังไม่มีการศึกษาในประเทศไทยจึงถือได้

ว่าเป็นงานวิจัยอีกชิ้นหนึ่งที่น่าจะได้รับความสนใจ ซึ่งข้อมูลที่ได้มานี้จะเป็นพื้นฐานความรู้ทางวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศได้อีกทางหนึ่ง



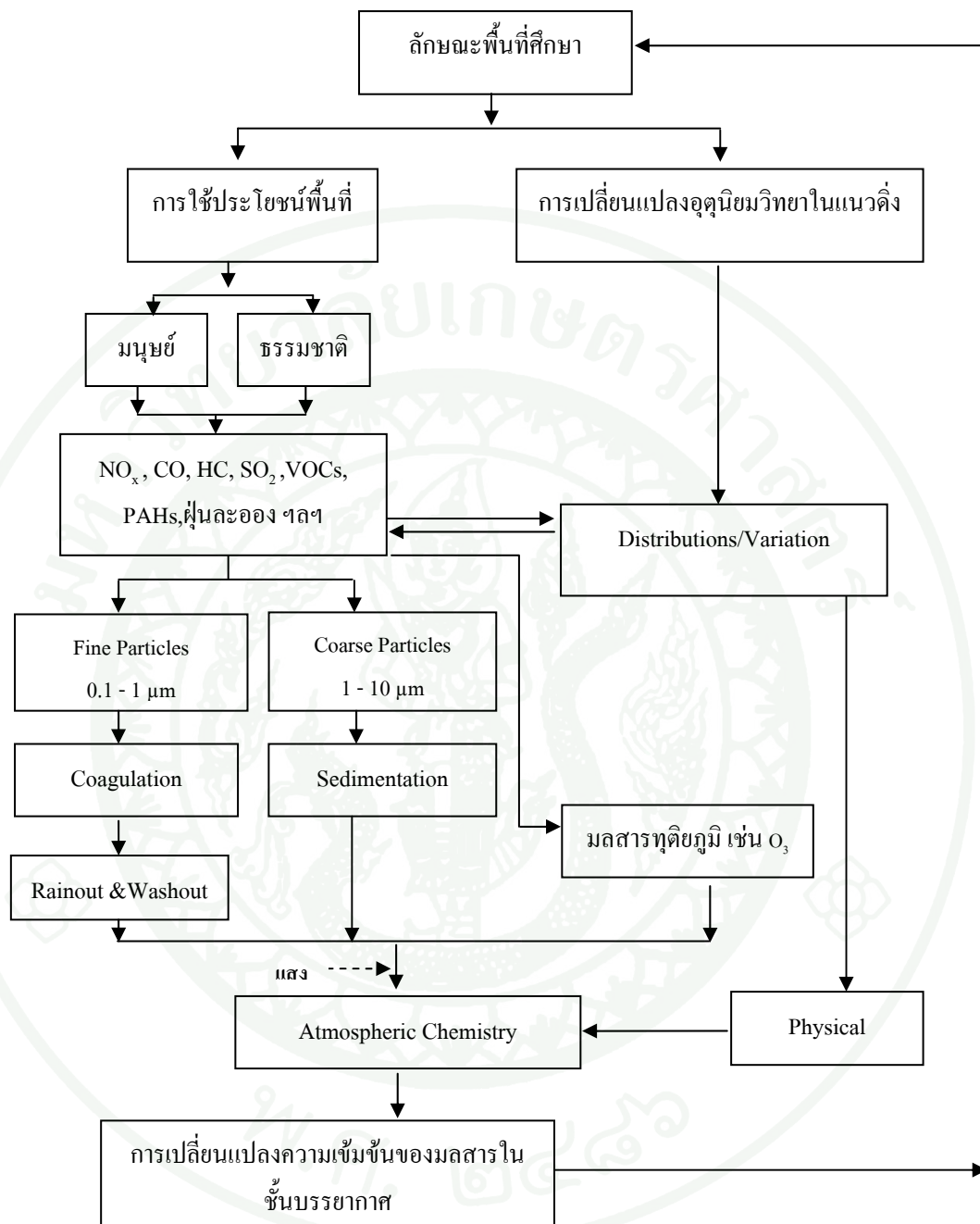
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเข้มข้นของก๊าซโอโซนตามแนวระดับความสูง
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) ตามแนวระดับความสูง
3. ศึกษาความสัมพันธ์ของก๊าซโอโซนกับการเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม (TSP) และในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ตามแนวระดับความสูง

ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษาลักษณะของชั้นบรรยากาศตามระดับความสูงที่มีผลต่อการกระจายตัวของก๊าซโอโซนและการกระจายตัวของ PAHs ใน TSP และผลจากการเกิดปฏิกิริยาเคมีในชั้นบรรยากาศของก๊าซโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในชั้นบรรยากาศ โดยทำการเก็บตัวอย่างตามระดับความสูงในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา กรุงเทพมหานคร และเชียงใหม่ สำหรับพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ทำการตรวจวัดระหว่างวันที่ 18 ธันวาคม พ.ศ. 2551 ถึงวันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2551 ส่วนพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ทำการตรวจวัดระหว่างวันที่ 19 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 ถึง วันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 สำหรับพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ทำการตรวจวัดระหว่างวันที่ 26 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 ถึง วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 แล้วนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์ผลด้วยสถิติ



ภาพที่ 1 แผนผังการวิจัยผลของก๊าซโอโซนต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม

การตรวจเอกสาร

1. ฝุ่นละอองในอากาศ (Air borne Particulate Matter)

อนุภาคมลสาร (particulate matter) หมายถึง สารทุกชนิดไม่ว่าจะอยู่ในรูปของแข็งหรือของเหลว ยกเว้นไอน้ำที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิและความดันปกติ (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ) อาจมีขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมโครเมตร จนถึง 200 ไมโครเมตร (นิตยา, 2533)

1.1 ลักษณะของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในอากาศโดยปกติจะไม่เป็นทรงกลม มีลักษณะลักษณะพื้นฐานของอนุภาคแตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของอนุภาคนั้นๆ ของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) เกสรดอกไม้ จะค่อนข้างเป็นทรงกลม เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์ต่างๆ มักเป็น ทรงกระบอก สั้นเรียวโดยปกติอาจจะมีรูปร่างไม่เป็นระเบียบ เป็นปุยสะเก็ด (Flakelike) หรือก้อนรวม (Agglomerates) อนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกันในขณะลอยอยู่ในอากาศหรือเกิดจากการเย็นตัวของแก๊สร้อน รูปร่างที่เห็นจะเหมือนลูกโซ่และเป็นฟล็อก (Flocs) กลุ่มอนุภาครวมตัวหลวมๆ เช่น ฝุ่นละอองรวมจากท่อไอเสียรถยนต์ และมักเกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งผลิตอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก (วานิดา, 2551)

1.2 การแพร่กระจายของฝุ่นละออง

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่แขวนอยู่ในบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับปริมาณของอากาศที่สะอาดและศักยภาพของแหล่งกำเนิด (วิชัย, 2526) โดยความเข้มข้นของฝุ่นละอองอาจมีความผันแปรและขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ ซึ่งความเข้มข้นของฝุ่นละอองอาจมีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในเขตห่างไกลชุมชน และมีค่ามากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในเขตชุมชนหนาแน่น (Schroeder *et al.*, 1987) และจากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในเขตชุมชนเมืองมีค่าสูงกว่าในเขตชนบท โดยลมที่พัดมาจากเขตอุตสาหกรรมจะมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงกว่าลมที่พัดมาจากชนบท (Choularton *et al.*, 1982) ระดับความเข้มข้นของ

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศสามารถผันแปรตามฤดูกาลต่างๆ ได้ อันเนื่องมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งได้แก่ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน ทิศทางลม โดยพบว่าระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองในช่วงฤดูหนาวสูงกว่าฤดูฝน (อรุบล, 2541) เช่นเดียวกับระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองในช่วงฤดูแล้งที่มีค่าสูงกว่าฤดูฝน (รพีพัฒน์, 2543) กระบวนการทางธรรมชาติที่ปรากฏในบรรยากาศสามารถจะช่วยลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองลงได้ เช่น การตกของหยดน้ำฟ้า ซึ่งอยู่ในรูปของน้ำฝน เป็นต้น โดยน้ำฝนที่ตกลงมาจะช่วยชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศลงมายังพื้นดิน

สรุปได้ว่าการที่ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีความเข้มข้นลดลงในบริเวณใดบริเวณหนึ่งอาจขึ้นอยู่กับสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่ปรากฏอยู่ในบริเวณนั้นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศแพร่กระจายออกไปยังบริเวณอื่น จะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง ซึ่งการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศนั้นเป็นกระบวนการเจือจาง โดยแลกเปลี่ยนระหว่างฝุ่นละอองกับอากาศ กล่าวคือมวลอากาศปกติมีการเคลื่อนไหว หากมีฝุ่นละอองอยู่ในมวลอากาศดังกล่าวฝุ่นละอองก็จะถูกพัดไปด้วย ในขณะที่เดียวกันมวลอากาศที่ปราศจากฝุ่นละอองจะเข้ามาแทนที่ จะเห็นได้ว่าการะบวนการแพร่กระจายจะทำหน้าที่เจือจางฝุ่นละออง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวไม่ใช่กระบวนการแพร่กระจายแบบทฤษฎี แต่เป็นการแพร่กระจายที่เกิดจากความปั่นป่วนของอากาศ รวมทั้งทิศทางลมที่ผันแปรไปก็จะมีผลต่อการแพร่กระจายด้วย (วิชัย, 2526)

1.3 ขนาดของฝุ่นละออง

อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่อยู่ในอากาศหรือฝุ่นเกิดขึ้นในอากาศหรือถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดที่มีทั้งตามธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ ฝุ่นดินที่มากับลม ฝุ่นจากละอองน้ำทะเล ไฟป่า และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การก่อสร้าง จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงตามอาคารบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ฝุ่นละอองจำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในอากาศมีขนาดเล็กและไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เรียกว่า ละอองไอ (aerosol) เมื่อละอองลอยมีมากขึ้นจะรวมตัวกันตกสู่พื้นดิน ฝุ่นละอองมีขนาดต่างๆ กัน โดยทั่วไปมักแบ่งอนุภาคออกเป็น 3 ช่วงขนาด ได้แก่ ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate, TSP) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง เล็กกว่า 100 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate Matter, PM_{10}) มีขนาดเล็กกว่าเส้นผม ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Particulate Matter, $PM_{2.5}$) มีขนาดเท่าเชื้อโรคไปจนถึงระดับโมเลกุล ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะตกสะสมได้ช้ากว่าขนาดใหญ่ ยิ่งขนาดเล็กมากๆ จะคงอยู่ในอากาศได้นาน และเข้าสู่ทางเดินหายใจไปถึงชั้นถุงลมปอดได้

1.3.1 ฝุ่นละอองรวม คือ อนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งที่พบในอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.005 ไมโครเมตรถึง 100 ไมโครเมตร แหล่งกำเนิดโดยธรรมชาติมักเกิดจากการฟุ้งกระจายของดิน ทรายที่พื้นผิวถนน และสถานที่ก่อสร้าง โดยลมพัดจากพื้นดิน โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาจำนวนมาก ฝุ่นละอองทางชีวภาพ เช่น สปอร์ ละอองเกสรของพืชต่างๆ ฝุ่นละอองรวมที่พบบริเวณเขตเมือง โดยทั่วไปเป็นการแพร่กระจายแบบปฐมภูมิจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทั้งจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมอื่นๆ ส่วนฝุ่นทุติยภูมิมาจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟต ไนโตรเจน และแก๊สอื่นๆ ไปอยู่ในรูปของอนุภาค นอกจากนี้ถูกนำพาขึ้นสู่อากาศอีกครั้งโดยฝุ่นดินจากพื้น โดยการจราจรบนท้องถนน ฝุ่นละอองรวมที่มีขนาดใหญ่ถูกกำจัดโดยระบบทางเดินหายใจส่วนต้น เช่น ถูกคัดหรือกรองไว้ภายในช่องจมูก และถูกนำออกจากระบบทางเดินหายใจได้โดยการไอหรือจาม แต่ฝุ่นละอองรวมมักทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทความรู้สึกร่างกายเนื่องจากในฝุ่นอาจมีสารพิษ เช่น แมงกานีส สารหนู ฯลฯ ซึ่งทำให้ ตา จมูก คอ เกิดการระคายเคืองและอักเสบได้ (วนิดา, 2551)

1.3.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เป็นมลพิษทางอากาศที่มีความสำคัญ มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น ควัน ฟุม เชม่า ประกอบด้วยมลสารหลายชนิดผสมผสานกัน และมีองค์ประกอบเคมีที่แตกต่างกัน ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เกิดจากแหล่งกำเนิดหลายชนิด ฝุ่นละอองที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองไอของทะเล ส่วนฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยเฉพาะจากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซล การเผาไหม้แบบเปิด เช่น การเผาขยะ การเผาของเสียจากเกษตรกรรม (หญ้า ฟาง) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จากกระบวนการอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง เช่น โรงโม่หิน โรงงานปูนซีเมนต์ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มักจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ และรวมกับขี้เถ้าปลิว จากไฟฟ้า ควันดำจากรถยนต์หรือเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และเชม่าจากเตาเผาและการเผาไหม้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน จากแหล่งกำเนิดเหล่านี้จะมีปริมาณคาร์บอนสูง ที่เป็นทั้งธาตุคาร์บอน คาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอินทรีย์ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เมื่อมนุษย์ได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ และสามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนลึกได้ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่สำคัญที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตรถูกแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงขนาด คือ อนุภาคส่วนหยาบ (Coarse fraction particulate) และอนุภาคส่วนละเอียด (Fine fraction particulate) ซึ่งโดยทั่วไปอนุภาคแต่ละส่วนจะมีแหล่งกำเนิดองค์ประกอบทางเคมี และพฤติกรรมในอากาศที่แตกต่างกัน (วนิดา, 2551)

1.3.3 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร เป็นอนุภาคของแข็งหรือกึ่งแข็งที่อยู่ ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) ประกอบด้วยอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิและอนุภาคส่วนละเอียด ทุติยภูมิ ผสมกันอยู่แต่ส่วนใหญ่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร จะเป็นอนุภาคทุติยภูมิ เกิดขึ้นในอากาศเมื่อแก๊สต่าง ๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และ สารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ถูกเปลี่ยนรูปในอากาศโดยทำปฏิกิริยาเคมีและฟิสิกส์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคจากแก๊สไป อยู่ในรูปของอนุภาค ทั้งอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิ และอนุภาคส่วนละเอียดทุติยภูมิมีช่วงเวลา ที่อยู่ในอากาศเป็นระยะเวลายาวนานเป็นวันหรือสัปดาห์ และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในระยะไกล (100-1,000 กิโลเมตร) (U.S.EPA, 2005) โดยมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอในเขต เมือง จึงเป็นการยากที่จะสำรวจย้อนกลับไปหาแหล่งกำเนิด

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเกิดจาก 3 กระบวนการ คือ

- ก. การเกิดปฏิกิริยากันระหว่างโมเลกุลแก๊สแล้วเปลี่ยนรูปเป็นอนุภาคชนิดใหม่
- ข. การรวมตัวของอนุภาคสองอนุภาคไปเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น
- ค. อันตรกิริยาของอนุภาคแก๊สเริ่มต้น เช่น แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจน ออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหย

1.4 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง

ข้อมูลระดับมลพิษจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ นั้น มีความสำคัญในการรวบรวมและนำไป จัดทำบัญชีการปลดปล่อยมลพิษของเขตพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพอากาศต่อไป ซึ่ง โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดของมลพิษอากาศประเภทฝุ่นละอองสามารถจำแนกตามลักษณะแหล่งที่มา 2 แหล่ง คือ

1.1.1 แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟระเบิดทำให้เกิดฝุ่นละออง ไฟไหม้ป่า ทำให้เกิดควัน ฝุ่นละออง ละอองของเกสรดอกไม้ สารกัมมันตรังสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติอนุภาคสาร ต่างๆ จากดินที่พัดพาขึ้นไปแขวนลอยในอากาศ ไอระเหยจากน้ำทะเล ฝุ่นละอองจากลมพายุ แก๊ส ธรรมชาติ และแผ่นดินไหว เป็นต้น

1.1.2 แหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ก. แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Source) ได้แก่ ยานพาหนะประเภทต่างๆ ทั้งทางบก ทางน้ำ และทางอากาศ ได้แก่ ยานพาหนะทางบก ได้แก่ รถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล โดยระบายฝุ่นละอองสู่บรรยากาศในรูปของควันดำซึ่งเป็นอนุภาคของคาร์บอนจำนวนมากที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ และรถจักรยานยนต์สองจังหวะซึ่งระบายฝุ่นละอองออกสู่บรรยากาศในรูปของควันขาวที่เป็นละอองไอน้ำมันหล่อลื่น รถบรรทุก และขนส่งวัสดุก่อสร้างเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างทุกประเภทโดยเฉพาะการบรรทุก และขนส่งดินทรายที่ไม่มีการปกคลุมส่วนที่บรรทุกให้มีฉิดหรือล้อรถที่มีดินทรายเกาะติดอยู่ตกหล่นลงสู่ถนนตลอดทางที่วิ่งไปทำให้ฝุ่นละอองเกิดฟุ้งกระจายไปในบรรยากาศ

ข. แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Sources) ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม ประเภทต่างๆ โรงไฟฟ้า เตาหุงต้มตามบ้านเรือน และการเผาขยะมูลฝอย เป็นต้น ตัวอย่างแหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ ได้แก่

1) การก่อสร้างและการรื้อถอนทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง เช่น การก่อสร้าง อาคาร ถนน ระบบขนส่งมวลชนและระบบสาธารณูปโภคต่างๆ โดยการก่อสร้างหลายประเภทมักมีการเปิดหน้าดินก่อนซึ่งจะทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นดินและทราย รวมทั้งการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการก่อสร้างด้วย

2) โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และสถานประกอบการต่างๆ ซึ่งการเกิดฝุ่นละอองจะเกิดได้ใน 2 ขั้นตอน คือ

- การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ฟืน แกลบ เป็นต้น เพื่อนำพลังงานไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งหากเกิดการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือไม่มีการกำจัดอย่างถูกต้องจะก่อให้เกิดก๊าซ และฝุ่นละอองลอยปะปนในบรรยากาศ ตัวอย่างเช่น เถ้าลอย (Fly Ash) จากโรงไฟฟ้า เป็นต้น

- กระบวนการผลิต ได้แก่ โรงงานที่ผลิตโลหะต่างๆ เช่น โรงงานผลิตตะกั่ว สังกะสี อลูมิเนียม ทองแดง ซึ่งจะเกิดก๊าซ ไอควัน และฝุ่นละออง รวมทั้งการทำเหมืองแร่ที่มี















การผลิต 5 ขั้นตอนใหญ่ ซึ่งได้แก่ การขุดเจาะหรือการระเบิดการขนส่ง การเก็บการบดย่อย การแยกแร่ และการทำให้แห้ง โดยในแต่ละขั้นตอนล้วนทำให้เกิดฝุ่นละอองและอนุภาคขนาดเล็กของธาตุนั้นๆ เช่น การฟุ้งกระจายของฝุ่นตะกั่วในบรรยากาศขณะบดย่อยทำให้แห้งจากการแยกแร่ด้วยวิธีเปียกโดยใช้น้ำฉีดซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซและฝุ่นละอองออกมา เป็นต้น (วนิดา, 2551)

2. สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon; PAHs)

2.1 ชนิดและโครงสร้าง

สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon; PAHs) เป็นกลุ่มสารเคมีที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงเชื่อมต่อกันคือวงอะโรมาติก 2 วงที่อยู่ติดกันต้องใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน วงอะโรมาติกอาจมีคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ PAHs ประกอบด้วยสารที่มีสูตรโครงสร้างหลักแตกต่างกัน 35 ชนิด และแต่ละสูตรโครงสร้างหลักประกอบด้วยอนุพันธ์ต่างๆ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชื่อเคมี สูตรโมเลกุล สูตรโครงสร้าง น้ำหนักโมเลกุล จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของ PAHs

ชื่อเคมี	ชื่อย่อ	สูตร โมเลกุล	สูตร โครงสร้าง	น้ำหนัก โมเลกุล	จุด หลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
Phenanthrene	Phe	C ₁₄ H ₁₀		178.2	100.5	340
Antracene	An	C ₁₄ H ₁₀		178.2	216.4	342
Fluoranthene	Fluo	C ₁₆ H ₁₀		202.3	108.8	375
Pyrene	Pyr	C ₁₆ H ₁₀		202.3	150.4	393
Chrysene	Chry	C ₁₈ H ₁₂		228.3	253.8	448
11H- Benzo(a)Fluorene	11H- B(a)F			216	-	-
11H- Benzo(b)Fluorene	11H- B(b)F			216	-	-
Benzo[a]anthracene	B(a)A	C ₁₈ H ₁₂		228.3	160.7	400
Benzo[b]fluorene	B(b)F	C ₁₇ H ₁₂		216.3	213.5	401-402
Benzo[k]fluoranthene	BkF	C ₂₀ H ₁₂		252.3	215.7	480
Benzo[a]pyrene	B(a)P	C ₂₀ H ₁₂		252.3	178.1	496
Indeno[1,2,3-cd]pyrene	Ind	C ₂₂ H ₁₂		276.3	163.6	536
Benzo[ghi]perylene	Bghi P	C ₂₂ H ₁₂		276.3	278.3	545
Dibenzo[a,h]anthracene	DBah A	C ₂₂ H ₁₄		278.4	266.6	524

ที่มา: ดัดแปลงจาก IPCS (1998)

PAHs ที่อุณหภูมิปกติทั่วไปจะเป็นของแข็ง มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูง ความดันไอต่ำ ละลายน้ำได้น้อยมาก การละลายนี้จะขึ้นอยู่กับมวลโมเลกุลของ PAHs ซึ่งจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว และ Highly Lipophilic ซึ่ง PAHs เป็นสารที่เฉื่อย (เนื่องจากเป็นวงเบนซินที่เกาะกัน) และสามารถย่อยสลายในสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยา Photodecomposition และปฏิกิริยาที่เกิดกับไนโตรเจนออกไซด์ ไนตริกแอซิด ซัลเฟอร์ออกไซด์ ซัลฟิวริกแอซิด โอโซน และไฮดรอกซิลเรดิคัล (IPCS, 1998)

2.2 ลักษณะและแหล่งกำเนิด

สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซินตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปเชื่อมติดกัน สารประกอบชนิดนี้สามารถเกิดได้เองตามธรรมชาติจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ ส่วนแหล่งกำเนิดที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น คาร์บอนจากท่อไอเสียรถยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน คาร์บอน การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการผลิตโดยใช้ถ่านหิน น้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ การกลั่นน้ำมันดิบ อุตสาหกรรมไม้ซึ่งใช้สารเคลือบทาเนื้อไม้เพื่อป้องกันแมลงที่มี PAHs เป็นองค์ประกอบ เช่น Creosote และ Anthracene oil เป็นต้น สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเครื่องยนต์ เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ซึ่งเครื่องยนต์ที่สามารถเผาไหม้ได้สมบูรณ์มากเท่าใดก็จะปล่อย PAHs ออกมาน้อย ปริมาณ PAHs ที่ปล่อยออกมานี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักคือประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ ถ้าเครื่องยนต์เผาไหม้เชื้อเพลิงได้อย่างสมบูรณ์ก็จะปล่อย PAHs ออกมามากกว่า

2.3 ความเป็นพิษของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

2.3.1 การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity) PAHs แบ่งเป็น 3 กลุ่มสาร ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน สารที่อาจก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน การจัดกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลองสามารถแสดงในตารางที่ 2 น่าสังเกตว่าไม่มี PAHs ใดที่จัดเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์แม้ว่า PAHs หลายสารเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์ทดลอง และเป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่ามีสาเหตุหรือเป็นส่วนที่ทำให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ เช่น คาร์บอนหรือ

น้ำมันดิบ เขม่าจากเตาเผาถ่าน หรือจากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากเป็นการยากที่จะตรวจยืนยัน ปริมาณความเข้มข้นของ PAHs แต่ละชนิดที่มนุษย์ได้รับในสารผสมเหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีสารก่อมะเร็งอื่นๆ ประปนอยู่ในสารผสมดังกล่าวด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

ตารางที่ 2 การจัดกลุ่มสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง

กลุ่ม 2A		
สารที่น่าจะก่อมะเร็งใน	Benzo[a]anthracene	Benzo[a]pyrene
คน	Dibenzo[a,h]anthracene	
กลุ่ม 2B		
สารที่อาจก่อมะเร็งในคน	Benzo[b]fluoranthene	Benzo[j]fluoranthene
	Benzo[k]fluoranthene	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		
สารที่ไม่ก่อมะเร็งในคน	Anthracene	Benzo[a] acridine
	Benzo[c] acridine	Benzo[ghi]fluoranthene
	Benzo[a]fluorine	Benzo[b]fluorine
	Benzo[c]fluorine	Benzo[ghi]perylene
	Benzo[c]phenanthrene	Benzo[e]pyrene
	Chrysene	Coronene
	Cyclopenta[cd]pyrene	Dibenzo[a,c]anthracene
	Dibenzo[a,j]anthracene	Dibenzo[a,e] fluoranthene
	Dibenzo[h,r,s,t]pentaphene	Fluoranthene
	Fluorene	Perylene
	Phenanthrene	Pyrene
	Triphenylene	

ที่มา: คัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ (2543)

2.3.2 การเป็นสารก่อการกลายพันธุ์ (Mutagenicity)

PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ด้วย PAHs บางชนิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเมทาโบไลต์โดยเอนไซม์ Cytochrome P-450 ทำให้เกิดการเติมหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ที่เป็นวงเบนซินได้เป็นสารอนุพันธ์ Epoxide ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวมาก สามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ได้ดีกับสารพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิก จากการศึกษาตำแหน่งบนโครงสร้าง DNA พบว่าเบสและหมู่ฟอสเฟต เป็นตำแหน่งที่สร้างพันธะโควาเลนต์กับสารก่อมะเร็ง (ไพลิน, 2546)

2.4 ปฏิกริยาในบรรยากาศของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

ปริมาณและการกระจายของ PAHs จะขึ้นกับความคงตัวของ PAHs ในบรรยากาศด้วย เมื่อ PAHs ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ อนุภาคเหล่านี้จะเข้าสู่กระบวนการหลายอย่างซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

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

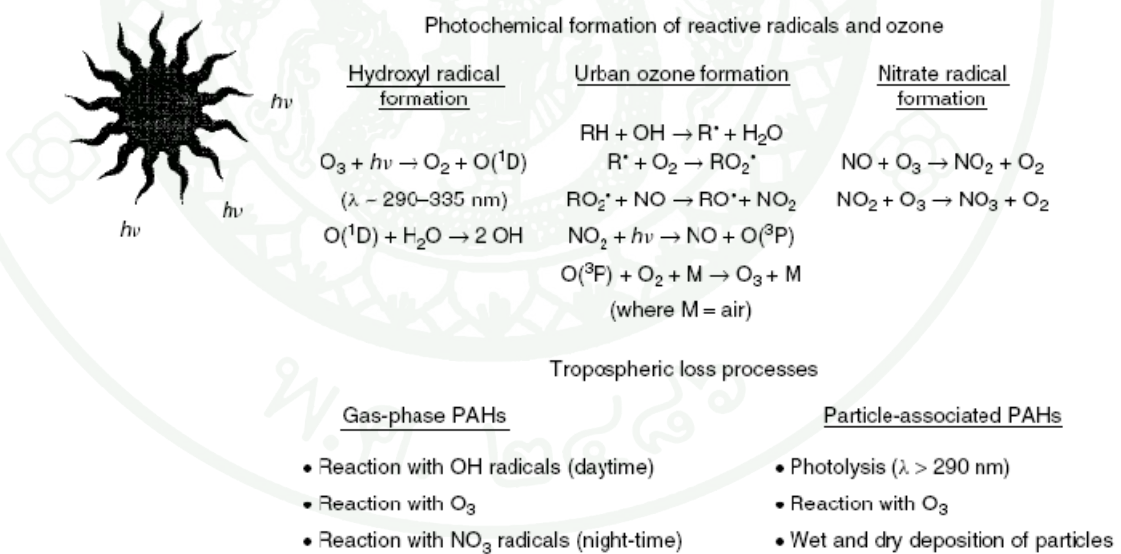
2.4.2 การเคลื่อนย้าย และการเคลื่อนที่ด้วยการยกตัวของมวลอากาศ การปั่นป่วน (Turbulence) และการเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความร้อนในบรรยากาศ

2.4.3 การย่อยสลาย (Degradation) และการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (Conversion) ด้วยกระบวนการทางเคมี หรือทำปฏิกิริยากับแสง

2.4.4 การแลกเปลี่ยนสถานะระหว่างก๊าซ และที่ดูดซับอนุภาคเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสถานะ

ก. Photochemical Reactions of PAHs ในบรรยากาศ

ปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศของ PAHs นั้นมีปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิด คือ แสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งการย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) ในบรรยากาศนี้จะสามารถเปลี่ยนรูปของ Hydroxyl (OH) radical, Ozone (O₃) , และ Nitrate (NO₃) radical โดยการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน PAHs และก๊าซต่างๆ ที่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่ง radical เหล่านี้จะรวมตัวประกบกันกับก๊าซโอโซนในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการย่อยสลายของ PAHs ที่อยู่ในวัฏภาคที่เป็นก๊าซ (Gas-phase PAHs) นอกจากนี้การสลายตัวของ PAHs นั้นยังขึ้นอยู่กับค่าครึ่งชีวิต (Lifetime) ของ PAHs แต่ละชนิด ซึ่ง PAHs ที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซนั้นเกิดการย่อยสลายได้จากการทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน, OH radical ในช่วงเวลากลางวันและทำปฏิกิริยากับ NO₃ radicals .ในช่วงกลางคืน ส่วน PAHs ที่อยู่ในวัฏภาคของแข็ง (Particle-associated PAHs) เกิดการย่อยสลายได้จากแสงที่มีความความคลื่นแสงมากกว่า 290 นาโนเมตร การทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน และการเกิด Wet-Dry Depositions



ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ

ที่มา: IPCS (1998)

กระบวนการ Photodegradation เป็นกระบวนการสำคัญของการสลายตัวของ PAHs ในบรรยากาศ เป็นผลมาจากการกระตุ้นของแสง เช่น จะเกิดปฏิกิริยาได้ระหว่างเดือนที่ร้อน เนื่องจากมีชั่วโมงที่มีแสงสว่างมากกว่าและมีความเข้มของแสงที่มาก (Panther *et al.*, 1999) ข้อมูลการย่อยสลายด้วยแสงของ PAHs ในอากาศ ส่วนใหญ่ถูกดูดซับอยู่บนเม็ดลอย ผงถ่าน มีความแตกต่างกันอย่างมาก ถึงแม้ว่าเป็น PAHs สารกลุ่มเดียวกันก็ตาม คือมีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่า 1 ชั่วโมง จนถึง 1000 ชั่วโมง Behymer and Hites (1988) ศึกษาว่ามีปัจจัยใดมีผลต่อการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs จากการศึกษาพบว่าค่าครึ่งชีวิตของการย่อยสลายโดยแสงของ PAHs ไม่ว่าจะโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยแอมโรมาติกกี่วงก็ตาม ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเม็ดลอย เช่น องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอน พื้นที่ผิวและสี ซึ่งมีความสำคัญมาก เม็ดลอยยังมีสีเข้มมากเท่าใด ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ก็ยิ่งมาก คือสลายตัวได้ช้า เนื่องจากเม็ดลอยที่มีสีเข้มดูดกลืนแสงได้ดี ทำให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับ PAHs ได้น้อย ถ้าเม็ดลอยมีสีจางค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ยิ่งน้อยสลายตัวได้เร็ว

Fan *et al.* (1996) ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างก๊าซโอโซน และ NO_2 กับ Nitro-pPAHs จากเขม่าของเครื่องยนต์ดีเซลภายในห้องปฏิบัติการ โดยมีการเติมโอโซน 0.6-0.9 ppm และ NO_2 0.03-0.5 ppm พบว่าอัตราการสลายตัวของ Nitro-pPAHs ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนมีค่าอยู่ระหว่าง $(1.5 - 2.5) \times 10^{-3} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$ 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 มากกว่าการทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน

Pucknat (1981) พบการสูญหายของ Benzo(a)Pyrene 15-50 % ที่อยู่บนกระดาดกรองและในกลุ่มควัน เมื่อให้ถูกแสงนาน 6 ชั่วโมง และพบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Anthracene และ Pyrene เมื่อถูกแสงอุลตราไวโอเล็ต ภายในบรรยากาศที่มีออกซิเจนอยู่ด้วย

Brorstrom *et al.* (2003) พบว่า NO_2 และก๊าซโอโซนมีผลต่อการย่อยสลาย pPAHs ได้แก่ Pyrene, Benzo(a)Anthracene และ Benzo(a)Pyrene จะสลายตัวในปฏิกิริยาไนเตรชัน (Nitration reaction)

ข. การกลายเป็นไอ (Evaporation)

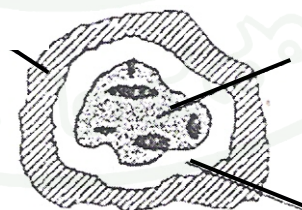
PAHs เกือบทุกชนิด ระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมากที่อุณหภูมิห้อง benzo[ghi]perylene มีค่าความดันไอเพียง 1×10^{-10} มิลลิเมตรปรอทที่ 20 องศาเซลเซียส naphthalene มีค่าความดันไอที่ 1 มิลลิเมตรปรอทที่ 53 องศาเซลเซียส และระเบิดได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการกลายเป็นไอของ PAHs ที่อุณหภูมิห้องเกิดได้น้อยมากหรือไม่เกิดเลย จึงไม่เป็นวิธีสำคัญที่ PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อม

ค. การรวมตัวกับอนุภาคในบรรยากาศ

PAHs สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นาน 1 เดือนถึง 1 ปี กระบวนการที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ ได้แก่ การควบแน่น (Condensation) การดูดซับ (Absorption) สามารถแบ่ง PAHs ได้ 2 สถานะ ดังรูปที่ 2 คือ

- 1) สถานะก๊าซ (Gas phase) เป็นสารระเหย อยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C
- 2) สถานะฝุ่นละออง (Particulate phase หรือ Particle-bound PAHs, pPAHs) ซึ่งจะเกาะหรือดูดซับกับอนุภาคฝุ่นละออง

สารระเหย (High volatile)



แกนของฝุ่นละออง
(สารประกอบคาร์บอน)

PAHs

ภาพที่ 3 องค์ประกอบของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย

ที่มา: Chetwittayachan *et al.* (2002)

PAHs จะเกาะอยู่บนอนุภาคที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ มีลักษณะโครงสร้างแบบชั้น (shell structure) และ PAHs จะถูกปกคลุมด้วยสารกลุ่ม High volatile อื่นอีกชั้นหนึ่ง สามารถจำแนกลักษณะของอนุภาคออกเป็น 3 ประเภท คือ PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอนมีขนาดเล็กกว่า $0.1 \mu\text{m}$, PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคขนาดเล็ก หรือถูกดูดซับที่อนุภาคที่มีขนาดระหว่าง $0.1-2 \mu\text{m}$ ห่อหุ้มด้วยสารประกอบในกลุ่ม High volatile และ PAHs ที่เข้าไปเกาะติดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ (ขนาด $2-10 \mu\text{m}$)

2.5 ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของ PAHs

2.5.1 อุณหภูมิ

โดยทั่วไปตัวแปรเกี่ยวกับการกระจายตัวของ PAHs คือ อุณหภูมิ พบว่า PAHs มีปริมาณสูงเมื่ออุณหภูมิต่ำ เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ PAHs เปลี่ยนสถานะกลายเป็นก๊าซได้ดี IPCS (1998) 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) $R_{\text{THU}} = -0.459$, $R_{\text{TIP}} = -0.604$ สำหรับ pPAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ $R_{\text{THU}} = -0.022$, $R_{\text{TIP}} = -0.216$

Guo *et al.* (2003) ทำการศึกษาความเข้มข้น PAHs ในฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ และ PM_{10} ในฮ่องกงในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-มีนาคม) และฤดูร้อน (มิถุนายน-สิงหาคม) โดยพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ย่านธุรกิจการค้า และที่อยู่อาศัย พบว่า PAHs ในช่วงฤดูหนาวมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูร้อนทั้งในฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ และ PM_{10} ฤดูหนาว PAHs ในฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่า 41.75 และ 54.72 ng/m^3 ตามลำดับ และในฤดูร้อน PAHs ในฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่า 4.87 และ 5.82 ng/m^3 ตามลำดับ

Park *et al.* (2002) พบว่า PAHs มีปริมาณสูงในฤดูหนาว เนื่องจากมีการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ให้ความร้อนภายในที่อยู่อาศัย และประกอบกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น Lower Mixing Layer และ Lower Air Temperature เป็นต้น

2.5.2 ความชื้นสัมพัทธ์

McDow *et al.* (1999) กล่าวว่ากระบวนการ Water Sorption โดย Aerosol ในฝุ่นจะจับกับ PAHs ไม่ดีนัก PAHs ในควันจากเขม่ารถยนต์ดีเซลจะเกี่ยวข้องกับพวกชั้นของเหลวที่เป็นสารอินทรีย์ ที่เคลือบบนของแข็งที่เป็น Element Carbon จึงทำให้ส่วนของน้ำที่บรรจุด้วย organic layer กับ PAHs เกี่ยวข้องกับการสลายตัวด้วยแสงของ McDow *et al.* (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 พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างน้ำที่ดูดซับบนฝุ่นกับความชื้นสัมพัทธ์ โดยเมื่อน้ำหนักตัวอย่างเพิ่มขึ้น เปอร์เซนต์ความชื้นจะสูงขึ้นด้วย โดยตัวอย่างจากรถเบนซิน และ Wood Smoke มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำหนักจากตัวอย่างรถดีเซล 3-5 เท่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน พบว่าค่าประมาณของ Wood Smoke ที่มีน้ำอยู่ต่ำสุด 5-10% ในฝุ่นชนิดนี้มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 90% จากพื้นฐานนี้จึงทดลองการเกิด Photodegradation ของ Benzo(a)Anthracene และ Benzo(k)Fluoranthene ใน Methoxyphenol Mixtures ที่ไม่มีส่วนของน้ำ ผลนี้ชี้ว่าอัตราการเกิด Photodegradation ของ PAHs เพิ่มขึ้นเมื่อส่วนประกอบของน้ำมากขึ้นใน Particle Organic Layer

2.5.3 ความเร็วและทิศทางลม

ความเร็วลมมีผลต่อความเข้มข้นของ PAHs โดยเมื่อความเร็วลมสูงจะทำให้ PAHs เกิดการกระจายตัวได้ดี ความเข้มข้นจะลดต่ำลง แต่ถ้าความเร็วลมต่ำจะทำให้ความเข้มข้นมลพิษสูง Fang *et al.* (2003) ศึกษา PAHs ในฝุ่น TSP และ gas-PAHs ในได้หวัน พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs มีความสัมพันธ์แปรผกผันกับความเร็วลม โดยพบว่า pPAHs และ gas-PAHs มีความสัมพันธ์กับความเร็วลม (Correlation coefficient) $R = -0.388$ และ -0.202 ตามลำดับ

2.5.4 ความเข้มแสง

แสงอาทิตย์เกี่ยวข้องกับ PAHs เนื่องจาก PAHs สามารถเกิดปฏิกิริยา Photodegradation ด้วยแสง ซึ่งเกิดจากกระบวนการ Photolysis โดยตรงจากแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 290 nm และกระบวนการ Photolysis ทางอ้อมด้วย Oxidizing agent เช่น OH , O_3 และ NO_3

ในอากาศ โดยทั่วไป Photolysis ทางอ้อมหรือ Photooxidation เป็นกระบวนการที่สำคัญกว่า กระบวนการ Photolysis โดยตรง และ PAHs ที่ดูดซับบนเขม่าที่เกิดปฏิกิริยากับ NO_x พบว่ามีค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวตั้งแต่ 3.7-30 และพบว่า การสลายตัวของ PAHs จะช้าเมื่อมีแสงแดดน้อย (IPCS, 1998)

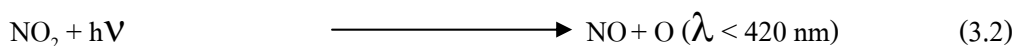
3. ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (Photochemical reaction)

ในกระบวนการเกิดปฏิกิริยานี้เริ่มต้นจากก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ที่เกิดจากขบวนการเผาไหม้จะถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) เป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในบรรยากาศ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) จะเกิดได้ดีและรวดเร็ว ถ้ามีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) อยู่ด้วย ดังสมการ

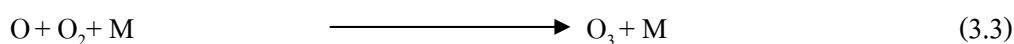


ที่อุณหภูมิปกติ อัตราของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ NO และก๊าซออกซิเจน (O_2) เพิ่มขึ้น โดยทั่วไปอากาศจากการเผาไหม้ที่ปล่อยออกมาจะมีความเข้มข้นของ O_2 น้อย เป็นเหตุให้อัตราของปฏิกิริยามีค่าต่ำไปด้วย ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ NO จะมีมาก และเมื่อผสมกับอากาศในบรรยากาศจะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น แต่ในเวลาเดียวกันความเข้มข้นของ NO จะลดลง เป็นเหตุให้อัตราของปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นช้ามาก ในบรรยากาศของพื้นที่ในเมืองที่มีการระบายอากาศไม่ดี ความเข้มข้นของ NO_2 ที่เกิดจาก NO จะมีค่าประมาณ 0.1 ppm หรือมากกว่า

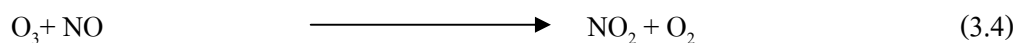
NO_2 ที่เกิดขึ้น จะถูกรีดิวซ์ (reduce) เป็น NO และ O อะตอม โดยแสงอุลตราไวโอเลต (Photolysis)



O อะตอม จากสมการ (1.7) จะทำปฏิกิริยากับ O_2 เกิดเป็นก๊าซโอโซน (O_3)



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



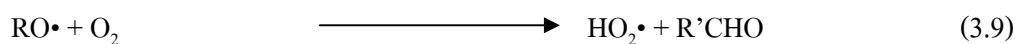
หรืออาจสรุปปฏิกิริยาการเกิด O_3 โดยแสงอาทิตย์ตั้งแต่สมการ (3.2) - (3.4) ได้ดังสมการ



$$[O_3] = \frac{K_1[NO_2]}{K_2[NO_2]} \quad (3.6)$$

จากสมการ (3.5) - (3.6) ถ้า NO_2 มีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้ O_3 มากขึ้นด้วยในทางตรงข้ามกัน ถ้า NO สูงจะทำให้ O_3 น้อยลง

O และ O_3 ที่เกิดจากสมการ (3.2) - (3.4) จะทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซนั้นมีเทนไฮโดรคาร์บอน (Non-Methane Hydrocarbons; NMHC) ก๊าซมีเทน (Methanen) และอัลดีไฮด์ (Aldehydes) รวมถึงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่มีคุณลักษณะพฤติกรรมคล้ายสารอินทรีย์ระเหยง่ายเมื่ออยู่ในชั้นบรรยากาศระดับล่าง (Troposphere) เกิดเป็น Free radicals และสารอื่นๆ

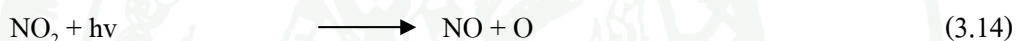
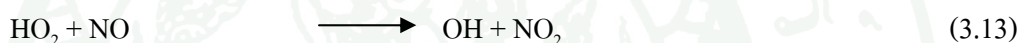
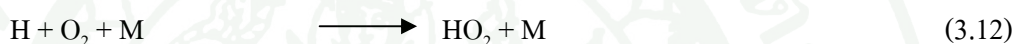
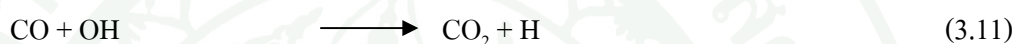


NO_2 ที่เกิดจากสมการข้างต้นจะเกิดปฏิกิริยา

- Photochemical ได้ O_3 เป็นผลผลิต ดังสมการ (3.2) – (3.3)
- กับ Free radical เกิดเป็นออกซิแดนท์ (Oxidants)

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น เป็นเหตุให้ความเข้มข้นของ NO และ HC มีค่าลดลง ส่วนระดับของ NO_2 , O_3 และออกซิแดนท์จะมีค่ามากขึ้นในเวลาต่อมา

ในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลสามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง CO และ O_3 ได้ดังสมการ 3.11 – 3.15



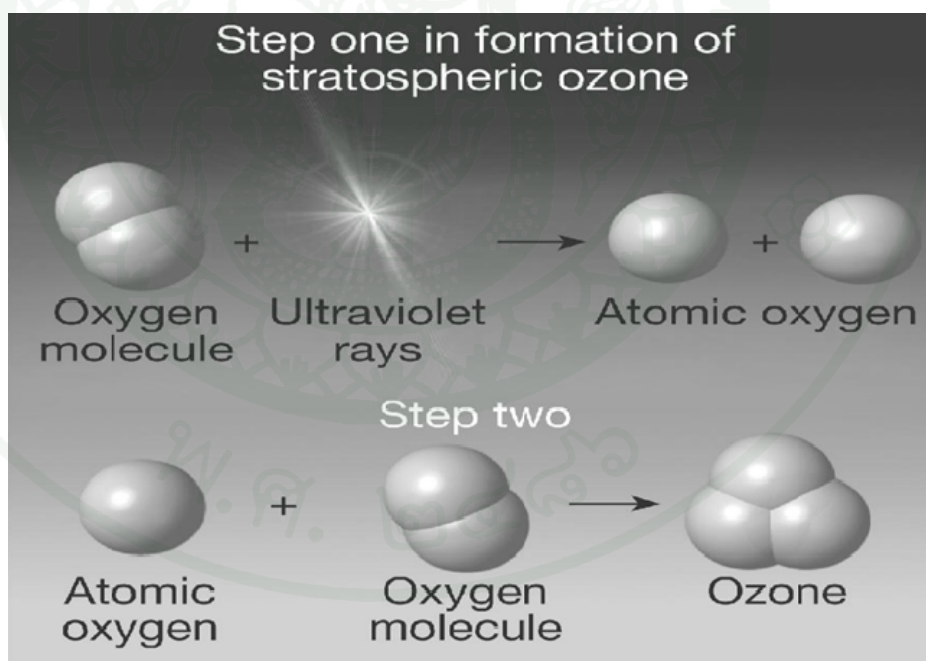
ซึ่ง M เป็นโมเลกุลที่ 3 ซึ่งอาจเป็นก๊าซ เช่น N_2 หรือ O_2 จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่า CO ในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลสามารถสร้าง O_3 ขึ้น แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้า

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมด สามารถใช้อธิบายการเกิด ก๊าซโอโซนในบรรยากาศ จะเห็นได้ว่าในตอนเช้าบรรยากาศเริ่มสะสมออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และ HC เนื่องจากการจราจรคับคั่ง เมื่อเริ่มมีแสงอาทิตย์ NO จะถูกออกซิไดซ์เป็น NO_2 โดย O_2 ดังสมการที่ 3.1 และเมื่อแสงอาทิตย์เริ่มจ้าขึ้น NO_2 จะสลายตัวอย่างรวดเร็ว เกิดเป็น NO และ O อะตอม ดังสมการที่ 3.2 NO ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะรวมตัวกับ NO ที่ปล่อยออกมากับอากาศเสีย (ไอเสียจากรถยนต์) ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นในบรรยากาศ และ O อะตอมที่เกิดจากปฏิกิริยาจะรวมตัวกับ O_2 เป็น O_3 ดังสมการที่ 3.3 ทั้ง O อะตอม และ O_3 ที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่มีความเข้มข้นมากให้น้อยลง ดังสมการที่ 3.7 - 3.10 ซึ่งทั้ง Free radical และ O_3 ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ NO (ความเข้มข้นลดลง) ดังสมการที่ 3.4 และ 3.8 - 3.10 เป็นเหตุให้ NO_2 มีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของ O_3 มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังสมการที่ 3.5 และจะมีค่าสูงสุดในเวลากลางวัน ซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มของแสงอุลตราไวโอเล็ต สูงสุด ในตอนบ่าย NO_2 ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกับ Free radical ทำให้ตัวออกซิไดซ์จะมีมากที่สุด ซึ่ง NO_x และ

HC จะมีค่าต่ำสุด จนกระทั่งถึงตอนเย็นซึ่งไม่มีแสงอาทิตย์ตัวออกซิไดซ์จะลดลง ส่วน NO_x และ HC จะเพิ่มขึ้นอีก และเพิ่มถึงค่าสูงสุดในตอนเช้าเป็นเช่นนี้เรื่อยไปทุกวัน

4. ความสำคัญของก๊าซโอโซน (OZONE; O_3)

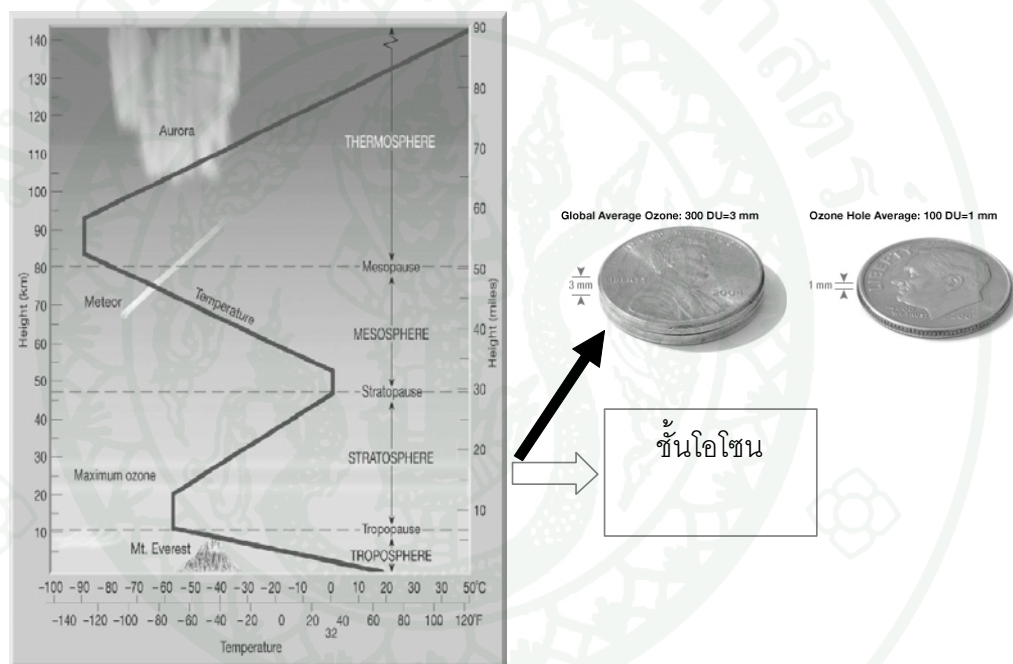
กระบวนการเกิดโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ โอโซนเกิดจากการแตกตัวของก๊าซออกซิเจน (O_2) ในชั้นสตราโตสเฟียร์ด้วยการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ คือ UV-C (200-280 นาโนเมตร) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นที่มีพลังงานสูง ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนถูกระตุ้นและแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมอิสระ (O) หรือเรียกว่า อนุมูลอิสระ (free radical) จากนั้นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวจะเข้าชนกับโมเลกุลออกซิเจนตัวอื่นๆ เกิดก๊าซโอโซน (ภาพที่ 4) นอกจากนี้อะตอมออกซิเจนอิสระยังสามารถพุ่งเข้าชนโมเลกุลโอโซนแล้วได้ออกซิเจนกลับมา ถือว่าเป็นการรักษาสมดุลของออกซิเจนในชั้นสตราโตสเฟียร์



ภาพที่ 4 กระบวนการเกิดก๊าซโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์โดยมี UV-C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

ที่มา: Wayne (1991)

จากภาพที่ 4 แสดงให้เห็นกระบวนการเกิดก๊าซโอโซน โดยมี UV-C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้โมเลกุลออกซิเจนในชั้นสตราโตสเฟียร์แตกตัวออกเป็นอะตอมออกซิเจนอิสระ สามารถเรียกปฏิกิริยาที่มี UV-C เป็นตัวเร่งนี้ว่า ปฏิกิริยาโฟโตเคมี (photochemical reaction) และผลของปฏิกิริยาดังกล่าวทำให้ UV-C ซึ่งเป็นรังสีอุลตราไวโอเล็ตที่มีช่วงคลื่นสั้นและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนผิวโลกถูกดูดซับเอาไว้โดยโมเลกุลของออกซิเจนในชั้นสตราโตสเฟียร์และเกิดเป็นชั้น โอโซน (ozone layer) ที่มีความหนาประมาณ 3 มิลลิเมตร ลอยอยู่ในชั้นสตราโตสเฟียร์ที่ระดับความสูงประมาณ 25 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 5



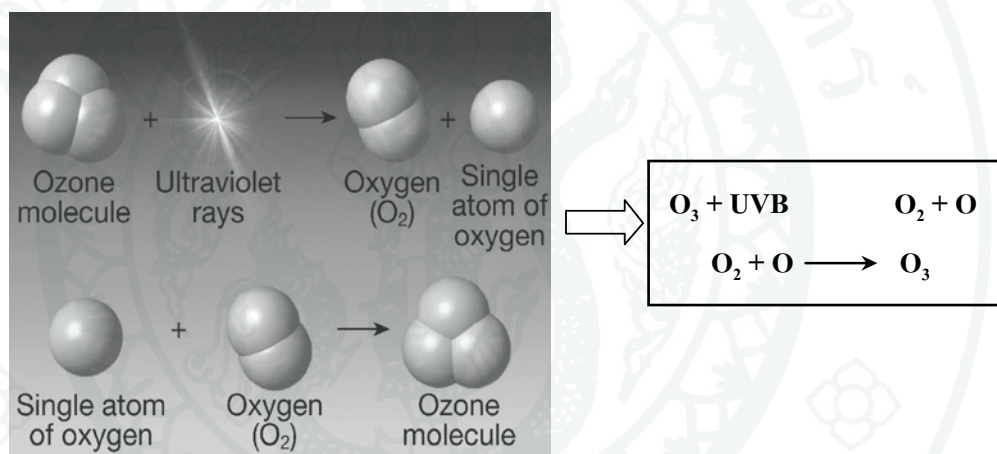
ภาพที่ 5 ชั้น โอโซน (ozone layer) ที่ระดับความสูงประมาณ 25 กิโลเมตร จากผิวโลกในชั้นสตราโตสเฟียร์

ที่มา: Stephen *et al.* (2000)

เหตุที่ชั้น โอโซนในภาพที่ 5 สามารถลอยตัวอยู่ในชั้นสตราโตสเฟียร์ นั่นก็เพราะได้รับอิทธิพลจากความร้อนที่ถูกปลดปล่อยกระบวนการแตกตัวของของโมเลกุลออกซิเจนที่มี UV-C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจากกระบวนการเกิด โอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์และไอความร้อนจากกระบวนการคายความร้อนจากผิวโลกในชั้นโทรโปสเฟียร์ โดยความร้อนจะส่งผลให้ก๊าซโอโซน

ลอยตัวประกอบกับบรรยากาศในชั้นเมโซสเฟียร์เกิดการคายความร้อนทำให้อุณหภูมิลดลงตามความสูง ดังนั้นผลของอุณหภูมิต่ำที่เย็นตัวลงด้านบนประกอบกับอากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นจากด้านล่างจึงทำให้ก๊าซโอโซนถูกบีบอัดลอยเป็นชั้นโอโซน ซึ่งมีประโยชน์ในการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก

โอโซนและกระบวนการดูดซับรังสีแสงอาทิตย์ รังสีแสงอาทิตย์ที่สามารถส่องผ่านลงมาต่อจาก UV-C คือ UV-B (280 -320 นาโนเมตร) ซึ่งยังเป็นรังสีแสงอาทิตย์ ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนผิวโลก โดยจะถูกชั้นโอโซนที่ลอยอยู่ในชั้นสตราโตสเฟียร์เป็นตัวดูดซับ UV-B ไว้ไม่ให้ส่องผ่านมายังผิวโลกได้ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กระบวนการดูดซับรังสี UV-B ของชั้นโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์

ที่มา: Stephen *et al.* (2000)

จากภาพที่ 6 เมื่อรังสี UV-B ส่องผ่านลงมายังชั้นโอโซน จะพุ่งเข้าชนโมเลกุลโอโซนหรืออาจเข้าใจอีกอย่างหนึ่งได้ว่า ถูกโมเลกุลของโอโซนดูดซับเอาไว้ จากนั้นรังสี UV-B จะถ่ายทอดพลังงานสู่โมเลกุลโอโซน ส่งผลให้เกิดการแตกตัวได้โมเลกุลออกซิเจนและอะตอมออกซิเจนอิสระออกมา จากนั้นอะตอมออกซิเจนอิสระจะพุ่งเข้าชนโมเลกุลออกซิเจนในชั้นสตราโตสเฟียร์และได้ก๊าซโอโซนกลับมาอีกครั้ง ถือว่าเป็นการรักษาสมดุลโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์เอาไว้ ทั้งนี้เพื่อคงไว้ซึ่งศักยภาพในการป้องกันรังสีช่วงคลื่นสั้นที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนผิวโลกเอาไว้ ส่วนรังสีแสงอาทิตย์ชนิดอื่น ได้แก่ UV-A รังสีที่มองเห็นด้วยตาเปล่าและรังสีคลื่นความร้อน จะสามารถส่อง

ผ่านลงมายังบริเวณผิวโลกและก่อให้เกิดกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ทั้งกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพในระบบสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างสมดุลในโลก อันจะเป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกต่อไป

จากกระบวนการดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าทั้งกระบวนการเกิดโอโซนโดยมีรังสี UV-C เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและกระบวนการดูดซับรังแสงแสงอาทิตย์ UV-B ในชั้นสตราโตสเฟียร์ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยมีส่วนช่วยในการรักษาสมดุลระหว่างออกซิเจนและโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์ให้มิอยู่เกิดเป็นวัฏจักรโอโซน (ozone cycle) สมดุลระหว่างออกซิเจนและโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์จะสามารถคงอยู่ต่อไปก็ต่อเมื่อองค์ประกอบต่างๆ ภายในชั้นบรรยากาศโลกแต่ละชั้นมีชนิด ปริมาณ สัดส่วนและการกระจายที่สมดุล หากเกิดความผิดปกติเกิดขึ้นในส่วนหนึ่งส่วนใดก็ตาม ย่อมส่งผลกระทบต่อสมดุลระหว่างออกซิเจนและโอโซนในชั้นสตราโตสเฟียร์และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ บนพื้นผิวโลกในที่สุด

5. ขอบเขตของชั้นบรรยากาศ

ชั้นบรรยากาศ (Atmospheric Boundary Layer ; ABL หรือ Planetary Boundary Layer ; PBL) จะอยู่ภายใต้ชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ สามารถแบ่งได้ดังนี้

5.1 ชั้น Roughness layer

เป็นชั้นที่ได้รับผลมาจากความขรุขระของพื้นผิว การเคลื่อนที่ของมวลอากาศในชั้นนี้จะมีผลมาจากสิ่งกีดขวางที่อยู่บนผิวโลก เช่น สิ่งปลูกสร้างต่างๆ ต้นไม้ เป็นต้น สิ่งกีดขวางเหล่านี้จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบ (Advection)

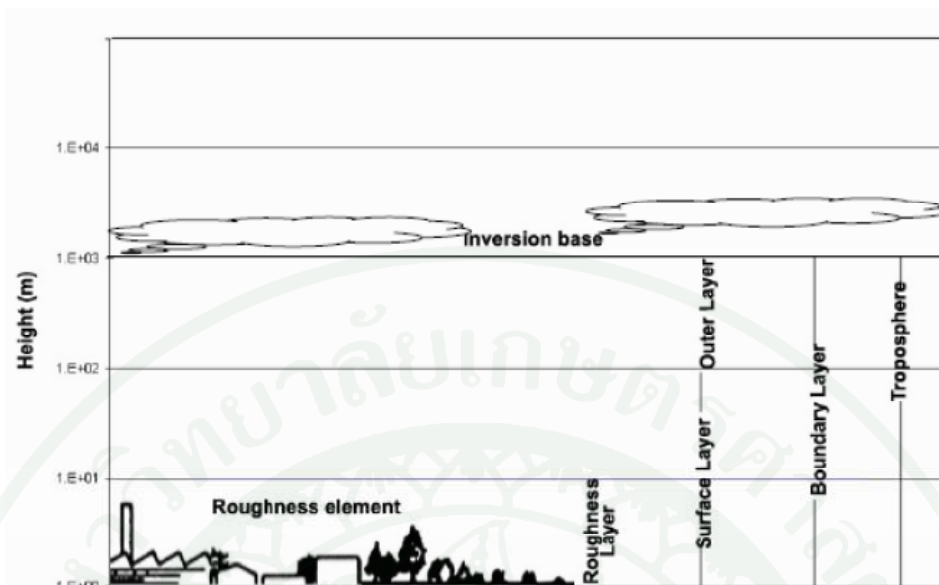
5.2 ชั้น Surface layer

เป็นชั้นที่ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบ และการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้ง (Convection) กล่าวคือ ในระดับที่ความสูงเพิ่มขึ้น สิ่งกีดขวางจากพื้นผิวย่อมลดน้อยลง ทำให้ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบลดลง และจะได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งที่เป็นผลมาจากความปั่นป่วน

เนื่องมาจากความร้อน (Thermal turbulent) ทำให้เกิดการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศจะขึ้นกับความแตกต่างของพื้นที่ เช่น เมืองและชนบท ความสูงของ Atmospheric Boundary Layer จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ระดับความร้อน ความเย็นของพื้นผิวลักษณะภูมิอากาศ หรือความขรุขระของพื้นผิว การเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบและแนวตั้งความสูงต่ำของชั้นบรรยากาศนี้เป็นความสูงเดียวกันกับชั้นความสูงผสม (Mixing layer) โดยเป็นชั้นความสูงที่เมื่อมวลสารถูกปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด มวลสารจะมีการเคลื่อนที่ผสมกับบรรยากาศชั้นนี้ และถูกจำกัดขอบเขตโดยชั้นอุณหภูมิผกผัน (Inversion layer) ดังนั้น ถ้าชั้นนี้มีความสูงมากก็จะมีปริมาณให้มวลสารเข้าผสมได้มาก ทำให้เกิดการกระจายได้ดี ความเข้มข้นของมวลสารจะลดลง ความสูงผสมของชั้นนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาและสถานที่ โดยจะมีค่าแตกต่างตั้งแต่ 10 m จนถึง 1 – 2 km ความหนาของชั้นนี้จะเรียกว่า ความสูงผสม (Mixing height) การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นบรรยากาศในช่วงเวลาของวัน (Diurnal variation) มี 2 ประเภท คือ

5.2.1 ขอบเขตของชั้นบรรยากาศในเวลากลางวัน (Convection Boundary Layer: CBL) ในเวลากลางวันมีแสงจากดวงอาทิตย์ส่องลงมายังผิวโลก ผิวโลกจะร้อนขึ้น อุณหภูมิด้านล่างจึงร้อนกว่าด้านบน มวลอากาศร้อนจึงเคลื่อนตัวขึ้นไปในแนวตั้งแล้วขยายตัวออกตามกระบวนการ Adiabatic cooling process ดังนั้นสิ่งที่มีความสำคัญในช่วงเวลากลางวันคือ ความร้อน (Thermal property) ทำให้เวลาในช่วงเวลากลางวันบรรยากาศจะอยู่ในสภาวะ Unstable condition ปริมาตรของบรรยากาศในการผสมผสานของมวลสารจึงมีมาก ชั้นอุณหภูมิผกผันสูงขึ้น ดังนั้นความสูงผสมก็จะมีค่ามาก

5.2.2 ขอบเขตของชั้นบรรยากาศในเวลากลางคืน (Stable Boundary Layer: SBL) ในเวลากลางคืนความร้อนที่ถูกเก็บสะสมไว้ในพื้นดินและก้อนเมฆจะมีการแผ่รังสีความร้อน (Reradiation) ออกมาในรูปร่างคลื่นยาว อุณหภูมิของพื้นดินจึงลดลงเร็วกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ และการที่มีเมฆแผ่รังสีความร้อนออกมาทำให้มวลอากาศร้อนเรียงเป็นแนวอยู่ด้านบน เหตุการณ์เช่นนี้ทำให้บรรยากาศอยู่ในสภาพของอุณหภูมิผกผัน คือ มวลอากาศไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง การไหลของมวลอากาศมีน้อยกว่าในเวลากลางวัน สิ่งที่เข้ามาับบทบาทสำคัญในเวลากลางคืน คือ สมบัติทางกายภาพ (Physical property) เช่น ความขรุขระพื้นผิว (Surface roughness) มีผลทำให้ความเร็วลมลดลง อากาศจึงไม่มีการเคลื่อนที่ เมื่ออากาศนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้งจึงทำให้ชั้นอุณหภูมิผกผันต่ำลงมา ความสูงผสมจึงลดลงมาด้วย มวลสารมีการสะสมในบรรยากาศสูง

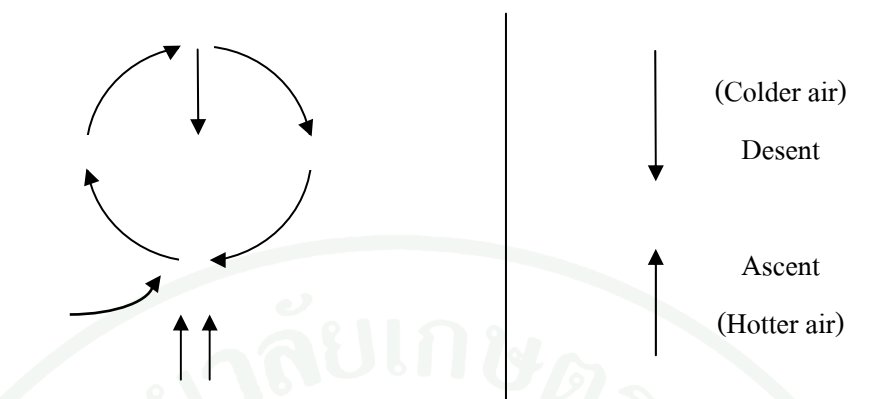


ภาพที่ 7 ชั้นขอบเขตของบรรยากาศ

ที่มา: Arya (2001)

6. กระบวนการเคลื่อนที่ของอากาศ

การเคลื่อนที่ของอากาศจากกระบวนการพาความร้อน (Convection) ของความร้อนใกล้ผิวดินเกิดโดยที่ เมื่อผิวดินระเหยหรือโลกได้รับความร้อนแล้วทำให้อากาศลอยตัวสูงขึ้น เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยลง (ภาพที่ 8) ก้อนอากาศที่ลอยแล้วทำให้เกิดการลอยตัวสูงขึ้นไป อากาศที่หนักกว่าจะไหลเข้าแทนที่ การแทนที่ของอากาศเย็นที่หนักกว่าสู่ที่ที่อากาศร้อนที่เบากว่านี้ ทำให้เกิดลักษณะการเคลื่อนที่ของ “ลม” เมื่อเกิดลมขึ้นไม่ว่าความเร็วจะมีมากน้อยเพียงใด ก็จะมีชั้นหนึ่งซึ่งมีความเร็วลมเป็นแบบ Laminar flow การที่มีลักษณะลมเช่นนี้จึงเรียกชั้นที่อยู่ใกล้ผิวดินนี้ว่า Laminar layer บริเวณอากาศเช่นนี้ ความเร็วลมจะลดและเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการเคลื่อนย้ายของสิ่งต่างๆ เช่น ความชื้น และ โมเมนตัม ในลักษณะ Molecular Diffusion ส่วนความร้อนจะเป็นไปในลักษณะของการนำความร้อน (Conduction) ส่วนที่อยู่เหนือชั้น Laminar Boundary Layer ขึ้นไป การเคลื่อนย้ายของสิ่งต่างๆ เหล่านี้จะเป็นไปในลักษณะของความปั่นป่วน (Turbulent) หรือ Eddy Transfer หรือเรียกใหม่เป็น Eddy Diffusion ซึ่งเป็นส่วนของ Conduction Process อันอาจเกิดจาก Frictional หรือ Free Convection ซึ่ง Eddy Diffusion นี้มักเกิดกับลักษณะของอากาศที่ไม่เสถียร (Unstable) หรืออากาศที่อยู่ในลักษณะปั่นป่วน (เกษม, 2522)



ภาพที่ 8 ลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของอากาศ

ที่มา: เกษม (2522)

7. กระบวนการอะเดียบาติก (Adiabatic Process)

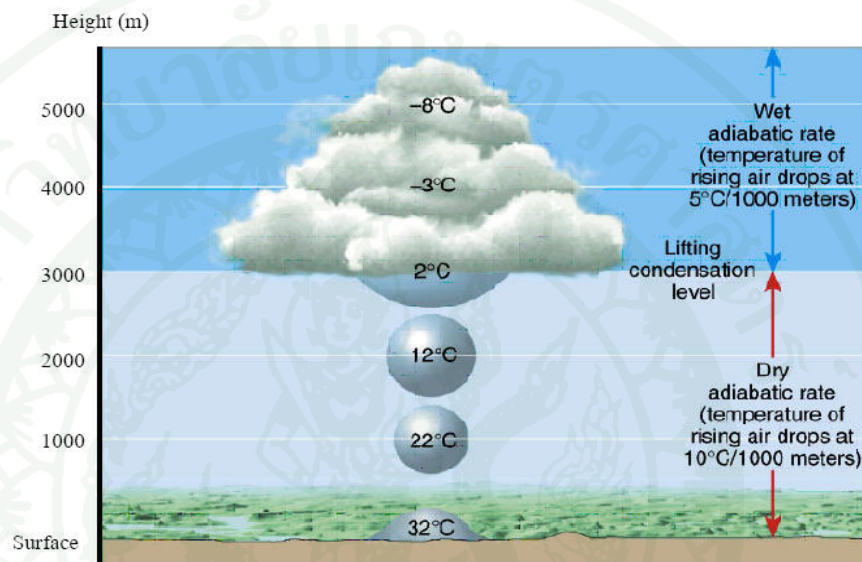
7.1 กระบวนการอุณหภูมิลดลงตามความสูง (Adiabatic Process)

กระบวนการที่สำคัญต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนในแนวดิ่ง (Convection) คือ กระบวนการลดลงตามความสูง หรือกระบวนการอะเดียบาติก (Adiabatic process) ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการลดลงของอุณหภูมิของก้อนมวลอากาศ (Air parcels) เนื่องจากการลอยตัวสูงขึ้น โดยไม่มีความร้อนเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปจากก้อนมวลอากาศเลย การที่อุณหภูมิก้อนมวลอากาศลดลงเนื่องจากพลังงานได้ถูกใช้ไปเพื่อการขยายตัวดังแสดงดังภาพที่ 9 ทำให้อุณหภูมิก้อนอากาศนั้นลดลง จึงพบว่าการขึ้นภูเขาหรือที่สูงจะรู้สึกเย็นกว่าพื้นที่ราบตอนล่าง ซึ่งความจริงแล้วเกิดจาก Adiabatic process เนื่องจากกระบวนการนี้มีความสำคัญในการเปลี่ยนแปลงลักษณะอากาศใกล้ผิวดิน ซึ่งอัตราการลดลงดังกล่าวมีลักษณะที่เกี่ยวข้องดังนี้

7.1.1 กระบวนการอะเดียบาติกในภาวะอากาศแห้ง (Dry Adiabatic Lapse Rate)

อัตราการลดลงของอุณหภูมิก้อนอากาศแห้งด้วยกระบวนการอะเดียบาติก (Dry Adiabatic Lapse Rate) เป็นการลดลงของอุณหภูมิก้อนอากาศแห้ง โดยไม่มีความร้อนเพิ่มขึ้นหรือลดลงจากก้อนมวลอากาศเลย กระบวนการนี้ไม่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เพราะในธรรมชาติส่วนประกอบ

ของอากาศจะประกอบไปด้วยไอน้ำเสมอ แต่กระบวนการนี้ได้จากการทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นมาตรฐานกับอากาศในธรรมชาติ สำหรับอัตราการลดลงของอุณหภูมิของอากาศแห้งมีค่าประมาณ 5.4 องศาฟาเรนไฮต์ต่อความสูงจากระดับน้ำทะเลทุกๆ 1,000 ฟุต หรืออุณหภูมิลดลง 1 องศาเซลเซียส ถ้าความสูงเพิ่มขึ้น 100 เมตร



ภาพที่ 9 กระบวนการอุณหภูมิลดลงตามความสูง (Adiabatic Process)

ที่มา: Lutgens and Tarbuck (2004)

7.1.2 กระบวนการอะเดียบาติกในภาวะอากาศชื้น (Saturated Adiabatic Lapse Rate)

อัตราการลดลงของอุณหภูมิอากาศชื้นตามกระบวนการอะเดียบาติก (Saturated Adiabatic Lapse Rate) มีความหมายเช่นเดียวกับ Dry Adiabatic Lapse Rate แต่มีข้อแตกต่างกันคือ ในอากาศมีไอน้ำอยู่ด้วยและมักเกิดในธรรมชาติจริง ในขณะที่เกิดกระบวนการนี้ ปริมาณไอน้ำในอากาศจะค่อยๆ กลั่นตัวเป็นหยดน้ำแล้วค่อยๆ ปลดปล่อยความร้อนออกจากกระบวนการควบแน่น จึงทำให้อัตราการลดลงของอุณหภูมิน้อยกว่าอากาศแห้ง เพราะความร้อนที่ถูกปลดปล่อยจากกระบวนการควบแน่นจะทำให้อุณหภูมิลดลงช้าลง แต่อัตราการลดลงของอุณหภูมินี้จะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไอน้ำกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแล้ว จึงทำให้อัตราการลดลงของอุณหภูมิลดลงเท่ากับภาวะอากาศแห้ง สำหรับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของบรรยากาศที่มีความชื้นอุณหภูมิลดลง

ประมาณ 3.0 องศาฟาเรนไฮต์ต่อความสูงจากระดับน้ำทะเลที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 100 ฟุตหรือประมาณ 0.5 องศาเซลเซียสเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น 100 เมตร (วิชา, 2535)

7.2 กระบวนการอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูง (Temperature Inversion)

สภาพที่อุณหภูมิของบรรยากาศเพิ่มตามความสูง ทำให้สภาพบรรยากาศคงตัวมาก เพราะค่าLapse Rate ของบรรยากาศสูงกว่า Adiabatic Lapse Rate ปรากฏการณ์ดังกล่าวสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ

7.2.1 กระบวนการอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูงจากการแผ่รังสีความร้อน (Radiative Inversion)

ในสภาพที่บรรยากาศไม่มีก้อนเมฆ ความร้อนจากแสงอาทิตย์จะทำให้อุณหภูมิของพื้นผิวโลกในตอนสายและบ่ายสูงกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศด้านบน แต่ในตอนกลางคืนพื้นผิวโลกคลายความร้อน โดยการแผ่รังสีขึ้นสู่บรรยากาศเบื้องบนทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศใกล้พื้นผิวโลกต่ำกว่าอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศด้านบน กระบวนการดังกล่าวมักเกิดขึ้นในตอนกลางคืนและเกิดรุนแรงที่สุดก่อนพระอาทิตย์ขึ้น เมื่อพระอาทิตย์ให้ความร้อนแก่พื้นดิน อากาศใกล้พื้นดินก็จะร้อนขึ้น ทำให้ปรากฏการณ์นี้หายไปในเวลา 1 ถึง 2 ชั่วโมง สำหรับท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุม กระบวนการดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้น และในวันที่มีลมแรงกระบวนการ Inversion จะลดความรุนแรงลง เนื่องจากเกิดการผสมกันของมวลอากาศทำให้อุณหภูมิไม่แตกต่างกันตามความสูง

7.2.2 กระบวนการอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูงจากการจมตัวของมวลอากาศ (Subsidence Inversion)

กระบวนการอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความสูงจากการจมตัวของมวลอากาศแบบนี้เกิดจากอากาศในบริเวณที่มีความกดอากาศสูงจมตัวลงมาในอัตราประมาณ 1,000 เมตรต่อวัน ขณะที่อากาศจมตัวลงความดันบรรยากาศจะทำให้อุณหภูมิจอมลอากาศที่จมลงนี้สูงขึ้นกว่าอุณหภูมิก่อนเกิดการจมตัว ส่วนอากาศบริเวณใกล้ผิวโลกมีการจมตัวน้อย อุณหภูมิจึงไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง และสำหรับในเขตความกดอากาศสูงที่มีท้องฟ้าปลอดโปร่งมักเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวพร้อมกัน (กิตติ, 2529)

8. ความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ (Turbulence)

ความปั่นป่วน หมายถึง การไหลของอากาศที่มีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (Eddy) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระของมวลอากาศในลักษณะขึ้นลง โดยความปั่นป่วนมีความสำคัญในการก่อให้เกิดการเจือจางของมลสาร (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543) ในความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศจะเห็นได้อย่างชัดเจนของความรุนแรงในการเคลื่อนที่ของลม การเคลื่อนที่ของลมในชั้นเขตแดนของบรรยากาศส่วนใหญ่จะเป็นการเคลื่อนที่แบบมีความปั่นป่วนเกิดขึ้น ในบริเวณที่ใกล้พื้นผิวความปั่นป่วนจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากการสั่นไหวของกิ่งไม้ และใบไม้ การเคลื่อนตัวของควันหรือฝุ่น และการเกิดระลอกคลื่นบนผิวน้ำ (Arya, 2001) การปั่นป่วนของบรรยากาศส่งผลต่อการกระจายตัวของมลพิษในอากาศ โดยพบว่าเมื่อการปั่นป่วนของบรรยากาศลดลง ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดในบริเวณใดบริเวณหนึ่งจะมีค่าความเข้มข้นสูง แต่หากบรรยากาศมีความปั่นป่วนเพิ่มขึ้น ความเข้มข้นของสารมลพิษในบริเวณหนึ่งๆ จะมีค่าลดลง เนื่องจากเกิดการกระจายตัวมากขึ้น โดยลักษณะความปั่นป่วนของบรรยากาศเกิดจากสาเหตุหลักๆ ได้แก่ ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulence) โดยเกิดจากการที่พื้นผิวโลกหรือวัตถุต่างๆ ที่อยู่บนพื้นผิวโลกได้รับความร้อนและส่งผลต่อมวลอากาศ และอีกสาเหตุหนึ่งก็คือ เกิดจากความปั่นป่วนทางกายภาพ (Mechanical Turbulence) ซึ่งเป็นผลมาจากลักษณะทางกายภาพของตำแหน่งของสิ่งก่อสร้าง และลักษณะของพื้นผิว (วารวุธ, 2542)

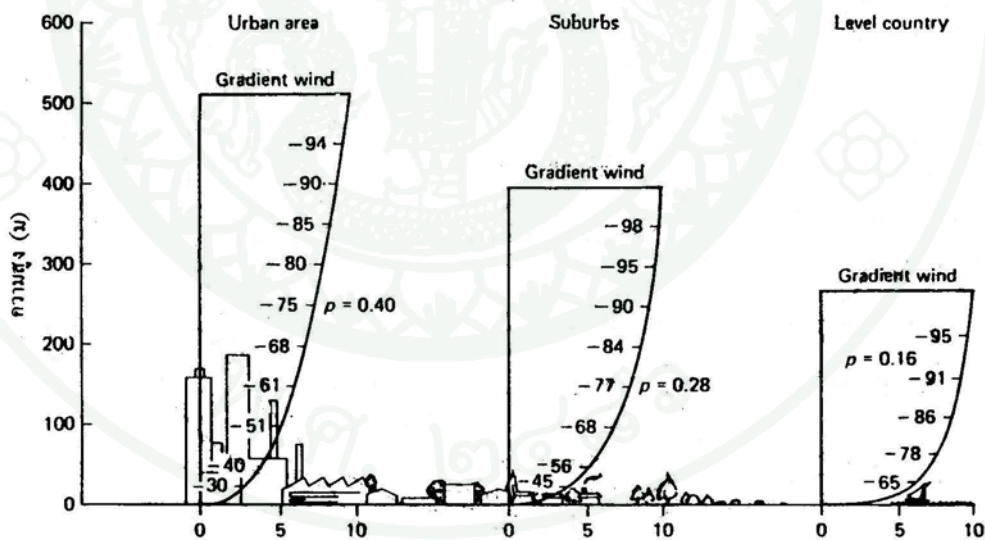
8.1 ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulence)

ปัจจัยทางด้านความร้อนเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเนื่องมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยรังสีที่ส่องมาจากดวงอาทิตย์มาสู่โลกนั้น มีทั้งรังสีที่เป็นรังสีคลื่นสั้น (Shortwave radiation) และรังสีคลื่นยาว (Longwave radiation) โดยรังสีคลื่นสั้นสามารถสะท้อนกลับออกไปจากบรรยากาศโลกได้ แต่รังสีคลื่นยาวจะไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปจากบรรยากาศโลกได้ แต่จะเป็นการแผ่รังสีกลับออกไปจากชั้นบรรยากาศของโลกในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นรังสีที่เหลืออยู่ของโลกสามารถคำนวณได้ (วิชา, 2535) โดยลักษณะของรังสีหรือพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์จะถูกนำไปใช้ตามลักษณะพื้นที่ เช่น หากเป็นพื้นที่ป่าไม้ หรือเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ ค่าของปริมาณรังสีสุทธิจะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำมากกว่าลงสู่ดิน หรือเผาผลาญอากาศ แต่หากเป็นพื้นที่ในบริเวณเขตเมือง ปริมาณรังสีสุทธิที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้ในการเผาผลาญอากาศ หรือลงสู่ดินมากกว่าถูกนำไปใช้เพื่อการระเหยน้ำ ส่งผลให้อากาศในบริเวณเขตเมืองมีความร้อนสูง และส่งผล

ต่อเนื่องไปถึงการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ และลักษณะการคงตัวของบรรยากาศต่อไป (เกษม, 2522)

8.2 ความปั่นป่วนทางกายภาพ (Mechanical Turbulence)

ความปั่นป่วนทางกายภาพเกิดขึ้นเมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านวัตถุต่างๆ ที่อยู่บนพื้นผิว ส่งผลให้เกิดลักษณะของอากาศที่มีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (Jacobson, 1999) โดยลักษณะของลมถูกทำให้ช้าลง เนื่องจากความเสียดทาน ซึ่งมีผลมาจากลักษณะของพื้นผิว หรือมีผลมาจากปัจจัยทางด้านกายภาพของภูมิประเทศที่เกิดขึ้น หรือมีอยู่ เช่น ชนิดของพื้นผิว ลักษณะพื้นที่ที่เป็นภูเขา พื้นน้ำ ป่าไม้ ตำแหน่งและความหนาแน่นของพืชพรรณ และเขตเมือง เป็นต้น ดังภาพที่ 10 ลักษณะเหล่านี้ก่อให้เกิดความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของลมใน ความสูงที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลมาจากความเสียดทาน ส่งผลให้การกระจายตัวของมลสารแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของความแตกต่างของพื้นที่ (Turner, 1994) รวมถึงวัสดุหรือสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่ในพื้นที่



ภาพที่ 10 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมกับความสูงบนพื้นผิวชนิดต่างๆ

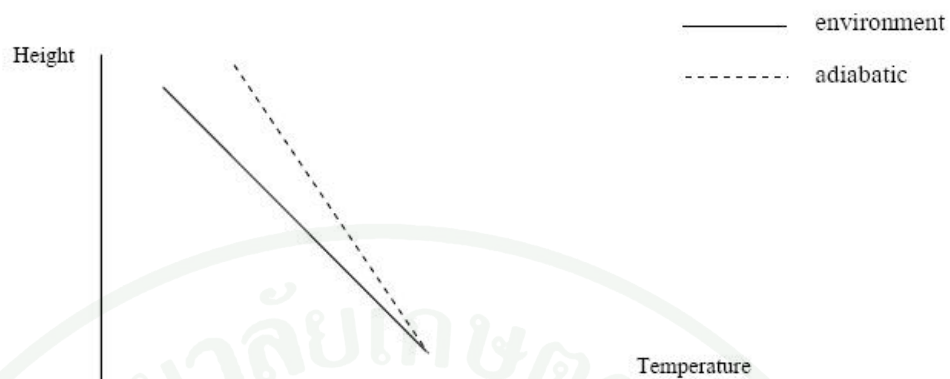
ที่มา: Turner (1994)

9. สภาพความคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric Stability)

จากปริมาณรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่แผ่มายัง โลกที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ รวมทั้งผลของการปั่นป่วนที่เกิดขึ้น ทั้งความปั่นป่วนจากความร้อนที่ส่งผลต่อการยกตัวขึ้นของอากาศในแนวตั้ง และความปั่นป่วนจากทางกายภาพซึ่งเกี่ยวเนื่องกับการเคลื่อนที่ในแนวนอน ที่กล่าวมาแล้วนี้ จะเกี่ยวเนื่องถึงลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ ซึ่งก็คือกำลังต้านของอากาศที่จะไม่ยอมให้เกิดที่การเคลื่อนไหวในทางตั้งขึ้นตามอนุภาคต่างๆ ในมวลอากาศนั้น และเป็นความสามารถในการต้านทานการแปรปรวน (Turbulence) ซึ่งแนวโน้มนี้มีผลต่อความสามารถของบรรยากาศที่จะรับเอาสารมลพิษได้เพียงใด หากต้องการทราบถึงความสามารถในการกระจายตัวของสารมลพิษทางอากาศ จำเป็นต้องศึกษาถึงการคงตัวของบรรยากาศที่เกิดขึ้น (Jacobson, 1999) โดยสามารถแบ่งการคงตัวของบรรยากาศออกเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ ได้ดังนี้

9.1 บรรยากาศที่มีลักษณะไม่คงตัว (Unstable)

ลักษณะของอากาศที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแบบ Superadiabatic Lapse Rate นั่นคืออัตราการลดลงของอุณหภูมิของบรรยากาศเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นเป็นไปได้เร็วกว่าในปรากฏการณ์ Adiabatic แล้ว ไม่ว่าที่ระดับความสูงเท่าใดอากาศที่ลอยตัวสูงขึ้นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศรอบๆ ข้างเสมอ ทำให้มีน้ำหนักเบากว่าและมีแนวโน้มลอยสูงขึ้น มีการกระจายตัวที่ดี มีโอกาสถูกเจือจางโดยการรวมตัวผสมกับบรรยากาศได้มาก สภาพบรรยากาศที่อยู่ในลักษณะนี้เรียกว่าสภาพบรรยากาศที่ไม่คงตัว (Unstable) (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 11 บรรยากาศที่มีลักษณะไม่คงตัว

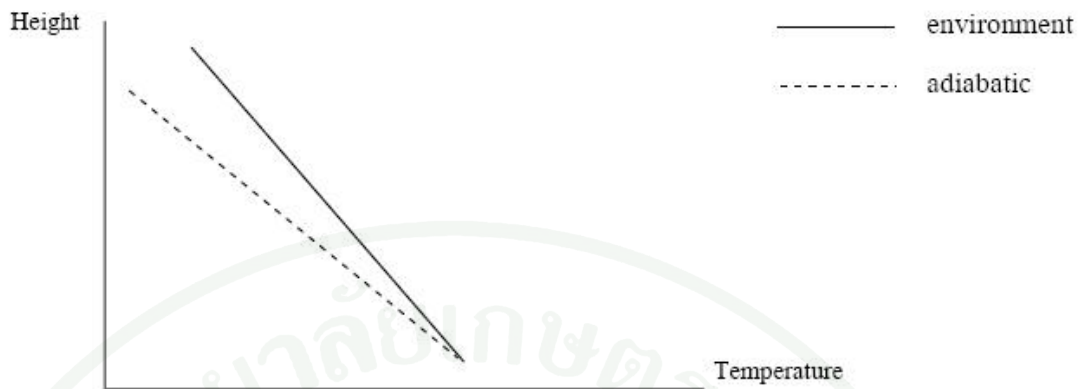
ที่มา: วงศ์พันธ์ และคณะ (2543)

9.2 บรรยากาศที่มีลักษณะคงตัว (Stable)

ลักษณะของอากาศที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแบบ Subadiabatic Lapse Rate นั้นคืออัตราการลดอุณหภูมิของบรรยากาศเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นเป็นไปช้ากว่าในปรากฏการณ์ Adiabatic แล้ว อากาศจะไม่สามารถลอยตัวขึ้นได้เพราะมีน้ำหนักมากกว่าบรรยากาศรอบข้าง ทำให้ไม่สามารถเกิดการกระจายตัวที่ดี จึงยังรวมตัวกันอยู่อย่างเข้มข้นและพยายามที่จะจมตัวลง ลักษณะของบรรยากาศที่อยู่ในสภาพเช่นนี้เรียกว่าสภาพบรรยากาศที่คงตัว (Stable) (ภาพที่ 12)

9.3 บรรยากาศที่มีลักษณะสะเทิน (Neutral)

บรรยากาศที่มีลักษณะสะเทิน มีลักษณะการลดลงของอุณหภูมิต่อความสูงจริงมีความสัมพันธ์ในลักษณะของ Adiabatic คืออุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตรา 1 องศาเซลเซียสต่อความสูงที่เพิ่มขึ้น 100 เมตร (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 12 บรรยากาศที่มีลักษณะคงตัว

ที่มา: วงศ์พันธ์ และคณะ (2543)



ภาพที่ 13 บรรยากาศที่มีลักษณะสะเทิน

ที่มา: วงศ์พันธ์ และคณะ (2543)

ลักษณะของความคงตัวของบรรยากาศทั้งสามแบบที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จะเกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของสารมลพิษในบรรยากาศ โดยลักษณะความคงตัวของบรรยากาศแบบไม่คงตัว (Unstable) ซึ่งพบได้ในช่วงเวลากลางวัน จะมีสภาวะการแพร่กระจายได้ดีกว่าบรรยากาศที่มีลักษณะแบบสะเทิน (Neutral) ที่พบได้ในช่วงเช้าและเย็น และบรรยากาศที่มีลักษณะคงตัว (Stable) ที่พบได้ในเวลากลางคืน ตามลำดับ ซึ่งบรรยากาศที่มีลักษณะคงตัวนั้นนอกจากจะส่งผลกระทบต่อ

แพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศที่ไม่ดีแล้ว ยิ่งก่อให้เกิดการสะสมตัวของสารมลพิษทางอากาศ ให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น อันเป็นเหตุให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนที่อยู่บริเวณดังกล่าวได้

10. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาบรรยากาศที่ได้รับอิทธิพลมาจากสิ่งแวดล้อมมีผลต่อขอบเขตของชั้นบรรยากาศโลก ซึ่งความสูง และขอบเขตของชั้นบรรยากาศจะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆ เช่น พลังงานแสงที่โลกได้รับในช่วงเวลาของแต่ละวัน ความเร็วของลม ลักษณะภูมิประเทศ หรือความขรุขระของพื้นผิว นอกจากนั้นการกำหนดของเขตของชั้นบรรยากาศยังถูกกำหนดโดยลักษณะของชั้นของอุณหภูมิ (Temperature Profile) ของบรรยากาศ เนื่องจากอุณหภูมิในชั้น Troposphere จะลดลงตามความสูง ดังนั้นถ้ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของอุณหภูมิในลักษณะที่กลับกันจึงเป็นระดับหรือขอบเขตของชั้นบรรยากาศ ลักษณะดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของบรรยากาศ เนื่องจากอากาศจะสามารถเคลื่อนที่ได้ตามกระบวนการ Adiabatic Cooling Process ต่อเมื่ออุณหภูมิที่ระดับสูงดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำกว่า ดังนั้น นักวิทยาศาสตร์จึงเรียกระดับความสูงในลักษณะดังกล่าวว่า ระดับความสูงผสม (Mixing Height) โดยเป็นชั้นความสูงที่เมื่อมีมลพิษอากาศ ถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดจะเกิดการผสมและรวมตัวกันในบริเวณชั้นบรรยากาศภายในชั้นนี้ (Arya, 2001) ระดับความสูงของชั้นความสูงผสมจะมีความแตกต่างกันตามช่วงเวลา

ไพลิน (2546) ได้ศึกษาความเข้มข้นของ Particle- PAH_s บริเวณสถานีรถไฟฟ้าพระโขนง ระหว่างวันที่ 26 กันยายน – 6 ตุลาคม 2545 โดยเครื่อง Realtime PAH Monitor (PAS2000CE) พบว่าปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยามีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสาร ได้แก่ ความชันสัมพัทธ์ temperature gradient ความเร็วและทิศทางลม และความเข้มแสง

Chan *et al.* (2005) ศึกษาลักษณะเฉพาะของโครงสร้างในแนวตั้ง และแหล่งกำเนิดของ PM_{2.5}, PM₁₀ และ กลุ่มคาร์บอน ในเมืองปักกิ่ง ในเดือนสิงหาคมปีพ.ศ.2546 ในการคาดการณ์ล่วงหน้าก่อนที่เมืองปักกิ่งจะเป็นเจ้าภาพในการจัดกีฬาโอลิมปิกในปี พ.ศ.2551 โดยเก็บตัวอย่าง PM_{2.5} และ PM₁₀ ที่ระดับความสูง 8, 100, 200 และ 325 เมตรที่จุดในเมืองและชานเมืองของปักกิ่ง ทำการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์และธาตุคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่น และพบว่าค่า PM_{2.5} มีค่าสูงเกินมาตรฐานของ National Ambient Air Quality Standard of the USA ($65 \mu\text{gm}^{-3}$) ถึง 86% และค่า PM₁₀ ทุกค่าที่ทำการตรวจวัดทั้งสามระดับความสูง เกินมาตรฐาน Class II National Air Quality Standard of China ($150 \mu\text{gm}^{-3}$)

Wu *et al.* (2005) ศึกษาโครงสร้างของบรรยากาศในแนวตั้งที่มีผลต่อการกระจายตัวของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ในเมืองเทียนจินเปรียบเทียบกับในเขตเมืองและเขตนอกเมือง โดยเขตนอกเมืองทำการทดลองที่ระดับความสูงต่างกัน 3 ระดับ คือ ที่ระดับความสูง 1.5 เมตร บริเวณใกล้ถนนที่ระดับความสูง 1 กิโลเมตร และบริเวณที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 150 เมตร และเขตในเมืองเก็บที่ระดับความสูงต่างกัน คือ ที่ระดับความสูง 20, 40 และ 60 เมตร ในช่วงฤดูหนาว ซึ่งพบสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีความเข้มข้นสูงสุดในฝุ่นละอองขนาด 0.43-2.1 ไมโครเมตร และ 9.0-10.0 ไมโครเมตร ทั้งในเขตนอกเมืองและในเมือง ความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในเมืองพบความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับความสูง 40 เมตร ซึ่งความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนพบสูงในฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.1 ไมโครเมตร

Costabile and Allegrini (2007) ศึกษาความเข้มข้นของ NO_x และก๊าซโอโซนในเขตเมือง Suzhou ประเทศจีน โดยทำการศึกษา 1 สัปดาห์ โดยพื้นที่ศึกษาเป็นบริเวณ street canyon ซึ่งทำการศึกษาที่ระดับความสูงแตกต่างกัน 2 ระดับ คือ ที่ระดับพื้นบริเวณสนาม และที่ระดับความสูงจากหลังคา 25 เมตร พบว่า ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่ระดับพื้นสนามที่มีค่าน้อยกว่าบริเวณหลังคา แต่ความเข้มข้นของ NO_x ที่ระดับพื้นสนามมีค่าสูงกว่าบริเวณหลังคา เนื่องจากพบว่าในบริเวณพื้นสนามมีการเปลี่ยนรูปของ NO เป็น NO_2 ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการทำลาย ก๊าซโอโซนในบริเวณนั้น ทำให้ปริมาณก๊าซโอโซนบริเวณนั้นเกิดขึ้นได้น้อยกว่าบริเวณหลังคา นอกจากนี้ยังพบว่าปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลในบริเวณหลังคาเกิดขึ้นได้ดีกว่าบริเวณพื้นสนาม ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของมลสารทั้ง 2 ระดับความสูง จะขึ้นกับการปล่อยมลสารในแต่ละระดับกระบวนการเกิดปฏิกิริยาเคมี และการเคลื่อนที่ของลม ซึ่งล้วนแต่มีผลต่อระดับความเข้มข้นของมลสารทั้งสิ้น

Tham (2007) ศึกษาความสัมพันธของ Particle PAHs, SO_2 , NO_2 , และก๊าซโอโซนในบรรยากาศ ในเมืองฮิโรชิมา ประเทศญี่ปุ่น โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นและก๊าซอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างบน Glass fiber โดยใช้เครื่อง High Volume Air Sampler ที่มีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ $1 \text{ m}^3/\text{นาที}$ ที่ระดับหลังคา (Rooftop) ทำการเก็บตัวอย่างครอบคลุมทั้งปีตั้งแต่เดือนมกราคม-ธันวาคม ปี 2006 และวิเคราะห์ PAHs ด้วยเครื่อง GC/MS โดยพบว่าความเข้มข้นของ PAHs จะมีค่าสูงในช่วงฤดูหนาวโดยมีค่าเฉลี่ย $5 \text{ ng}/\text{m}^3$ ละในช่วงฤดูร้อนความเข้มข้นของ PAHs มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 3

ng/m³ และยังพบว่าในช่วงเดือนกรกฎาคมและเดือนสิงหาคมซึ่งเป็นเดือนที่อากาศร้อนที่สุดและเป็นช่วงที่มีฝนตกหนักความเข้มข้นของ PAHs มีค่าต่ำกว่า 1 ng/m³ และพบว่าความเข้มข้นของ PAHs แปรผันกับความเข้มข้นของ SO₂ (R²=0.8262) และ NO₂ (R²=0.5708) และความเข้มข้นของ PAHs (BaP, BgP, BaA, Pyr, Ace) แปรผกผันกับความเข้มข้นของก๊าซโอโซน (R²=0.6859) เนื่องจากการเปลี่ยนรูปของโอโซนนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากสภาวะที่บรรยากาศมีอนุภาคที่สูงและมีความเข้มข้นของรังสีดวงอาทิตย์สูง ดังนั้นความเข้มข้นของโอโซนจึงมีค่าสูงในช่วงฤดูร้อน และมีค่าสูงมากเมื่อมีความเข้มข้นของรังสีดวงอาทิตย์สูงประกอบกับมีอนุภาคสูง และเมื่อโอโซนมีค่าสูงการเกิดปฏิกิริยา Ozonolysis สามารถเกิดขึ้นได้ดีทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ต่ำ

Tham (2007) ศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนแปลงสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ ในเมืองฮิโรชิม่า ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งพบว่าอนุภาค ความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์ และปริมาณฝน มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในบรรยากาศ พบว่าความเข้มข้นของ PAHs นั้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับอนุภาค ($r=-0.785$) ความเข้มข้นของ PAHs เริ่มลดต่ำลงตั้งแต่เดือนมกราคม (ฤดูหนาว) – เดือนสิงหาคม (สิ้นสุดฤดูร้อน) แต่ในขณะที่อนุภาคกลับเพิ่มขึ้น โดยพบว่าอนุภาคนั้นมีผลต่อ PAHs ที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ และในช่วงฤดูหนาวที่อนุภาคของบรรยากาศต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของ PAHs มากกว่า 4 ng/m³ และในช่วงฤดูร้อนที่อนุภาคของบรรยากาศสูงกว่า 20 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของ PAHs นั้นต่ำกว่า 1 ng/m³ และนอกจากนี้ยังพบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความเข้มข้นรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ ($r=-0.742$) เมื่อมีความเข้มข้นของรังสีดวงอาทิตย์สูง ความเข้มข้นของ PAHs จะต่ำ เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับแสงของ PAHs (Photo-degradation) ซึ่งปฏิกิริยา Photo-degradation มีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลาย พบว่าความเข้มข้นของรังสีดวงอาทิตย์สูง การเกิด Photo-degradation ก็สามารถเกิดขึ้นได้ดี

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดความเข้มข้นก๊าซโอโซน

เครื่อง UV Adsorption O₃ Analyzer Model 400 E: Teledyne Technologies Company เป็นเครื่องมืออัตโนมัติ ซึ่งตรวจวัดความเข้มข้นของ O₃ ในบรรยากาศโดยวิธีดูดกลืนแสง UV ของโมเลกุล O₃ เมื่อมี Path length ความเข้มข้นและความยาวช่วงคลื่นของแสง UV คงที่ ความเข้มข้นของ O₃ จะมีความสัมพันธ์เป็นไปตามกฎของ Beer-Lambert Law



ภาพที่ 14 เครื่อง UV Adsorption O₃ Analyzer Model 400 E

2. เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม

เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูง (High Volume Air Sampler) ตามชุดเก็บตัวอย่างมาตรฐาน US.EPA CFR40, App.J, Part50 ในชุดเก็บตัวอย่างจะมีองค์ประกอบที่สำคัญคือ อุปกรณ์ดูดอากาศ และอุปกรณ์บันทึกอัตราการไหลหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเครื่องบันทึกอัตราการไหลนี้จะต้องปรับแต่ง โดยปรับเทียบกับความดันของน้ำ ซึ่งคำนวณ

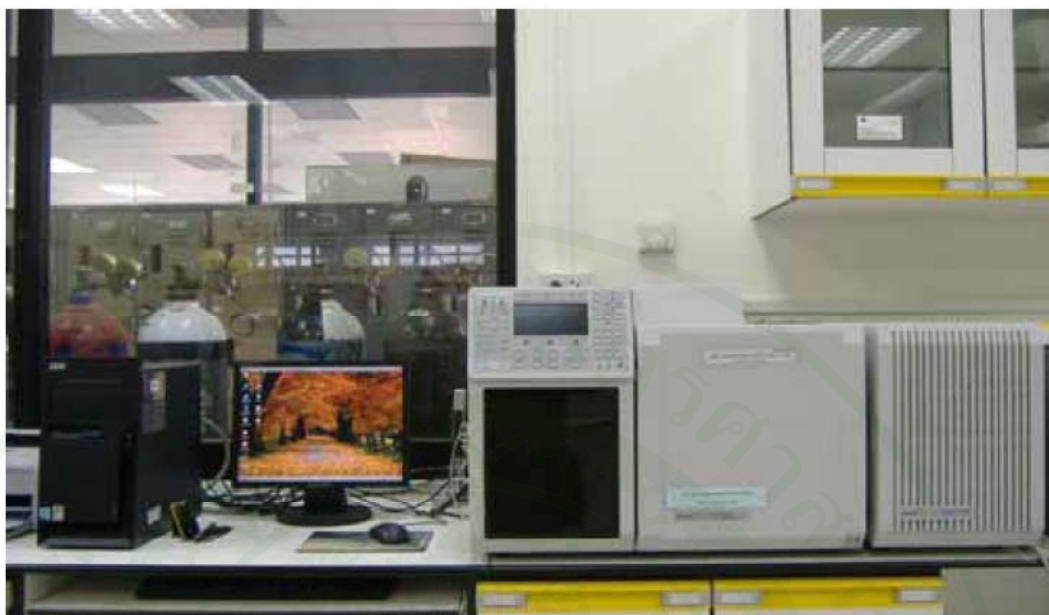
กลับไปเป็นอัตราการไหลของชุดปรับเทียบ แล้วจึงนำไปเก็บตัวอย่าง โดยที่อากาศจะดูดผ่าน กระจาดกรองฝุ่นจะถูกดักไว้ที่กระจาดกรองชนิดควอร์ต (Quartz fiber filter)



ภาพที่ 15 อุปกรณ์ตรวจวัดฝุ่นละอองรวม (TSP) ชนิดไฮโดรลูม

3. เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่น

เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่น สำหรับการศึกษาครั้งนี้ คือ เครื่อง Gas Chromatography ต่อกับ Mass Spectrometer (GC/MS) โดยการศึกษาที่ใช้ Gas Chromatography รุ่น CP-3800 ต่อกับ Mass Spectrometer รุ่น Saturn 2200 ผลิตโดยบริษัท Varian และติดตั้ง Capillary column ชนิด DB-5 ms ที่มีความยาว 60 m ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (I.D) 0.25 mm และความหนาของฟิล์มของเหลว (film thickness) 0.25 μm โดย column มีขีดจำกัดของอุณหภูมิใช้งาน 350°C ผลิตโดยบริษัท Agilent Technologies เครื่อง GC/MS ได้รับความอนุเคราะห์จากสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ใช้งานหลังการสกัดสาร PAHs เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณสาร



ภาพที่ 16 เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer

4. วัสดุ อุปกรณ์ ในการเตรียมการสกัดสาร PAHs

- 4.1 ตู้อบ (oven)
- 4.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 4.3 ตู้ดูดควัน (Hood)
- 4.4 ชุดสกัด Soxhlet
 - 4.4.1 Soxhlet Body
 - 4.4.2 Heating Mantle
 - 4.4.3 Condenser
- 4.5 ชุดระเหย (Evaporator)
 - 4.5.1 ตู้ทำความเย็น (Cooler)
 - 4.5.2 อ่างน้ำร้อน (Water bath)
 - 4.5.3 ปัมสุญญากาศ
 - 4.5.4 เครื่องระเหย Evaporator
- 4.6 ชุด Fractionation Chromatography
 - 4.6.1 คอลัมน์มีวาล์วเปิดปิด พร้อมจุก

- 4.6.2 ขวดกลมขนาด 100 มิลลิลิตร
- 4.6.3 กระจกตวง 50 มิลลิลิตร
- 4.6.4 ปีกเกอร์ขนาดเล็ก
- 4.7 ปากคีบ (Forceps)
- 4.8 หลอดแก้วก้านยาว (Disposable Glass Pipette) พร้อมลูกยาง
- 4.9 ขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตร
- 4.10 ปีกเกอร์
- 4.11 กระจกชอคูมินีเยม
- 4.12 แผงแก้วนำก๊าซไนโตรเจน
- 4.13 ไยแก้ว (Glass fiber)
- 4.14 ลูกแก้ว (Anti Bumper)
- 4.15 ขวดทิ้งสารเคมี ติดฉลากแยกชนิดสารเคมี
- 4.16 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 4.17 ขวด vial พร้อม insert vial
- 4.18 ตู้เย็น อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส
- 4.19 เข็มฉีดยาขนาด 10 50 100 และ 500 ไมโครลิตร
- 4.20 กระจกสติกเกอร์สำหรับทำฉลากติดขวดตัวอย่าง
- 4.21 ถังมือยางชนิดไม่มีแป้ง
- 4.22 หน้ากากคาร์บอน
- 4.23 กรรวน
- 4.24 แวนตาคันสารเคมี

5. สารเคมีในการเตรียมการสกัดสาร PAHs

- 5.1 ก๊าซไนโตรเจน
- 5.2 ก๊าซฮีเลียม 99.999%
- 5.3 Dichloromethane AR grade
- 5.4 Dichloromethane HPLC grade
- 5.5 Hexane HPLC grade
- 5.6 Toluene HPLC grade

5.7 Cyclohexane HPLC grade

5.8 Acetone

5.9 Methanol

5.10 Silica gel

6. สารละลายมาตรฐาน

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

ฟิเนนทรีน	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

6.2 สาร Recovery ISTD-PAH ผลิตโดยบริษัท Chiron ประเทศนอร์เวย์ ซึ่งประกอบด้วย

ฟลูออรีน-ดี12 Fluorene-d12

เพอร์ลิโน-ดี12 Perylene-d12

วิธีการ

1. การดำเนินการศึกษา

1.1 การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซโอโซน

ทำการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด ตามระดับชั้นความสูงที่มีความแตกต่างของชั้นบรรยากาศ 3 ระดับ โดยแต่ละระดับทำการตรวจวัดก๊าซโอโซน (O_3) ด้วยชุดเครื่องมือวิเคราะห์ก๊าซ O_3 ใช้ชุดตรวจวัด UV Adsorption O_3 Analyzer Model 400 E การตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซ O_3 จะรายงานผลออกมาทุกๆ 15 นาที ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันตลอดการเก็บตัวอย่าง โดยความเข้มข้นของก๊าซ O_3 มีหน่วยการวัดเป็นส่วนในพันล้านส่วน (ppb)

1.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม ในบรรยากาศทุก 6 ชั่วโมง ต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งมีจำนวนตัวอย่างฝุ่นทั้ง 3 พื้นที่รวมเป็น 112 ตัวอย่าง นำตัวอย่างฝุ่นวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณ PAHs โดยวิธีทางเคมี สำหรับขั้นตอนการใช้เครื่องมือเก็บฝุ่นละอองรวม (High volume air sampler) มีดังนี้

1.2.1 ติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น High volume air sampler เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ส่วนหัวคัตขนาดฝุ่น ตัวควบคุมอัตราการไหลของอากาศและติดตั้งสายไฟให้เรียบร้อย

1.2.2 นำกระดาษกรองควอร์ต (Quartz fiber filter) ที่เก็บรักษาไว้ในกระดาษอลูมิเนียมฟอล์ย แยกออกจากถุงซิปล แล้วใช้คีมคิปปากแบน (Forceps) ที่พันด้วยพาราฟิล์ม คีบกระดาษกรองออกมาวางไว้ตรงหัวคัตขนาดอนุภาค ไม่ให้มือสัมผัสกระดาษกรอง

1.2.3 ใส่กระดาษ Flow chart ไปใน Flow recorder เพื่อบันทึกอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านกระดาษกรอง

1.2.4 เปิดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน และตรวจสอบอัตราการไหลของอากาศในเบื้องต้น โดยทำการตรวจสอบจากกระดาษ Flow chart

1.2.5 บันทึกวันที่ เวลา หมายเลขกระดาษกรอง จดบันทึกเลขมิเตอร์ของเครื่อง High volume air sample และจดบันทึกสภาพลมฟ้าอากาศในแต่ละครั้งก่อนทำการเก็บตัวอย่าง

1.2.6 หลังเก็บตัวอย่างฝุ่น TSP ครบ 6 ชั่วโมง ปิดเครื่อง High volume air sample ก่อนจะนำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างครบเวลาที่กำหนดแล้วออกจากเครื่อง จะต้องใช้คีมคีบปาก แบบที่พันด้วยพาราฟิล์ม พับกระดาษกรองครึ่งหนึ่งแล้วเก็บใส่ในกระดาษอลูมิเนียมฟอยล์แผ่นเดิม ใตู่ถุงซิปล็อคให้เรียบร้อยแล้วนำไปแช่เย็น

1.2.7 บันทึกวันที่ เวลา จดเลขมิเตอร์เริ่มต้นของเครื่อง High volume air sample และ จดบันทึกสภาพลมฟ้าอากาศหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง

1.3 การวิเคราะห์สาร PAHs ในฝุ่นละอองรวม

1.3.1 การทำความสะอาดเครื่องแก้ว และอุปกรณ์

ก. ล้างชอกเลต และขวดปริมาตรขนาด 500 ml ด้วยน้ำยาล้างแก้ว และน้ำประปา หลังจากนั้นรินด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง

ข. ล้างกระดาษฟอยล์อะลูมิเนียมด้วย Dichloromethane (DCM) AR grade

ค. รินเครื่องแก้วด้วย Acetone เพื่อระเหยน้ำ หลังจากนั้นนำเครื่องแก้วเข้าสู่อบ ที่อุณหภูมิ 60 °C ทิ้งไว้หนึ่งคืน

ง. รอให้เครื่องแก้วเย็น ริน DCM ลงในเครื่องแก้วทั้งหมด 3 ครั้ง

จ. เท DCM ที่ค้างอยู่ในเครื่องแก้วลงใน Beaker ขนาดใหญ่เพื่อนำไปเก็บใน ขวดแก้วสำหรับเก็บ Organic Waste

ฉ. ริน DCM ลงใน Condenser ประมาณ 3 ครั้ง

1.3.2 ขั้นตอนการสกัด PAHs โดยใช้ Soxhlet

- ก. ใช้คีมคีบปากเบนคิบบนกระดวยกรอง แล้วนำมาใส่ในชอกเลต
- ข. หยอดลูกแก้วประมาณ 3-4 เม็ดลงในขวดกลมขนาด 500 ml
- ค. หลังจากนั้นทำการติดตั้งชอกเลตและคอนเดนเซอร์บนเตาหลุม (Heating Mantle)
- ง. Spike Internal Standard ลงบนกระดวยกรองตัวอย่างละ 50 μ l
- จ. เท DCM HPLC grade ลงไปในชอกเลตประมาณ 1 รอบครึ่ง
- ฉ. เปิดสวิทช์เตาหลุม
- ช. เปิดน้ำประปาตรวจสอบให้แน่ใจว่าคอนเดนเซอร์ทำงาน
- ซ. เปิดเตาหลุมเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ปิดเตาหลุมทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีจนกว่าเครื่องจะเย็น
- ฌ. ใช้คีมคีบปากเบนคิบบนกระดวยกรองออกแล้วนำ DCM ที่ตกค้างอยู่ในขวดปริมาตร 500 ml ไปเข้าเครื่องระเหยสาร

1.3.3 ขั้นตอนการลดปริมาตร DCM โดยใช้เครื่อง Evaporator

- ก. นำขวดปริมาตร 500 ml ที่บรรจุ DCM AR grade ไปเข้าเครื่อง ระเหยสาร หมุนอย่างช้าๆ หากมีฟองอากาศเกิดขึ้นให้ลดความเร็วลงทันที ระเหยสารไปจนกว่าปริมาตรของสารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนเหลืออยู่ประมาณ 2-3 ml

ข. ทำการล้างขวดแก้วขนาด 15 ml โดยใช้ DCM AR grade ทำซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นแปะฉลากตัวอย่างบนขวดแก้ว

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

ง. ปิดฝาขวดแก้วแล้วนำกลับไปแช่ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5°C

1.3.4 การ Cleanup and Blow-down Process

ก. ตวง Hexane 10 ml ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 ml

ข. เปิดฝาขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่างแล้วนำปิเปตที่ต่อกับท่อก๊าซไนโตรเจนไว้ในขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่าง แล้วค่อยๆ เปิดก๊าซเบาๆ พอให้เห็นว่าสารตัวอย่างกระเพื่อมเล็กน้อย

ค. เมื่อ DCM ออกไปเกือบหมด Disposable Glass Pipette ดูด Hexane ในกระบอกตวง แล้วรินลงในขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่างเพื่อให้ DCM ระเหยออกไปพร้อมๆ กับฟองก๊าซไนโตรเจน ลงไปจนเหลือปริมาตรประมาณ 10 ml หลังจากนั้นภายในขวดแก้วจะไม่มี DCM หลงเหลืออยู่แต่จะมี Hexane มาแทนที่

ง. นำกลับไปแช่ตู้เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5°C

1.3.5 การ Activated Silica Gel

ก. ตวงซิลิกาเจล 1.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาดเล็ก ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์อะลูมิเนียม

ข. นำไปอบที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง

ค. นำออกมาไว้ในตู้ดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น

1.3.6 การ Fractionation Chromatography แบ่งเป็น 2 ชั้น ดังนี้

ก. ใส่ใยแก้วปริมาณเล็กน้อยลงในคอลัมน์ (Column) โดยใช้คีมคีบปากแบน

ข. เท Hexane 3 ml ลงในบีกเกอร์ ทำการ Activated ซิลิกาเจล อย่างช้าๆ ซิลิกาเจล จะละลายในสารตัวทำละลายเฮกเซน

ค. เทซิลิกาเจลที่ละลายแล้วใส่ลงในคอลัมน์แล้วใช้ปิเปตดูด Hexane ทึดล้างซิลิกาเจลที่ติดอยู่ด้านข้างของบีกเกอร์ลงในคอลัมน์ให้หมด โดยใยแก้ว และซิลิกาเจลจะทำหน้าที่กรองสิ่งอื่นไม่พึงประสงค์เอาไว้

ง. เปิดวาล์วให้สารตัวทำละลายเฮกเซน ในคอลัมน์ค่อยๆ ไหลลงขวดปริมาตรขนาด 250 ml จนสารตัวทำละลายเฮกเซนเหลืออยู่ที่ระดับคอขวด

จ. เทสารตัวทำละลายเฮกเซนลงในกระบอกตวงปริมาณ 15 ml

Fraction 1

1) เทสารตัวอย่างที่ผ่านการ Blow-down แล้วลงในคอลัมน์แล้วใช้ปิเปตดูดสาร Hexane จากกระบอกตวง ล้างสารตัวอย่างที่ติดอยู่ด้านข้างขวดแก้วให้หมดแล้วเทลงในคอลัมน์

2) ปิดจุกคอลัมน์แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันเท่ากับ 1.0 mbar

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

Fraction 2

1) ตวง Hexane + Toluene (Hexane 96 ml: Toluene 54 ml) 15 ml ใส่ลงใน
กระบอกตวง 50 ml ของตัวอย่างเดิม

2) เท Hexane + Toluene ลงในคอลัมน์ให้หมด

3) ปิดจุกคอลัมน์แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันเท่ากับ 1.0 mbar

4) ปรับอัตราการไหล 1 หยด ต่อ 1 วินาที จนสารตัวอย่างแห้งสนิท

5) นำขวดปริมาตรที่บรรจุสารตัวอย่างไปทำขั้นตอนระเหยสารต่อไป

1.3.7 ขั้นตอนการลดปริมาตร Hexane: Toluene โดยเครื่อง Evaporator

ก. เติม Methanol ประมาณ 5-6 ml ลงไปในขวดปริมาตรที่บรรจุสารตัวอย่าง

ข. ปรับอุณหภูมิของน้ำประมาณ 50-55 °C

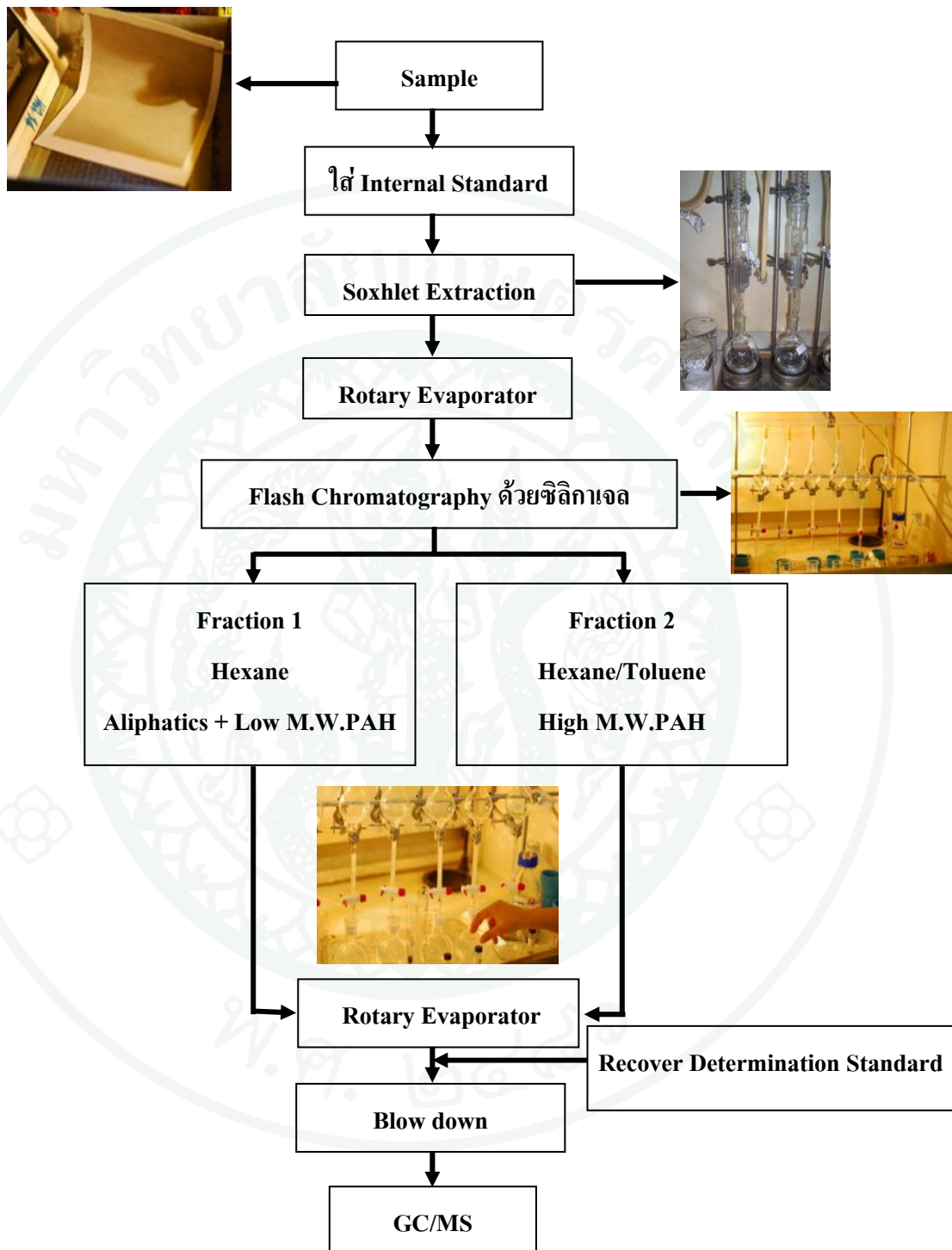
ค. ระเหยสารจนเหลือปริมาตรเพียง 1-2 ml

ง. เทลงขวดแก้วขนาด 15 ml ขวดใหม่ที่เตรียมไว้

1.3.8 การ Blow-down

ก. นำขวดตัวอย่างมาทำการลดปริมาตร (Blow down) อีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ก๊าซ
ไนโตรเจน พ่นใส่ตัวอย่างให้เกือบแห้ง จากนั้นดูด Cyclohexane ฉีดให้รอบๆ ขวดตัวอย่าง 3 รอบ
และพ่นก๊าซไนโตรเจนต่อจนเหลือตัวอย่างเพียงเล็กน้อย เกือบถึงก้นขวด

ข. ดูดตัวอย่างใส่ใน insert vial ปรับปริมาตรตัวอย่างที่ 100 ไมโครลิตร ปิดฝา
ขวด vial พันพาราฟิล์ม นำไปแช่เย็น รอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการสกัด PAHs

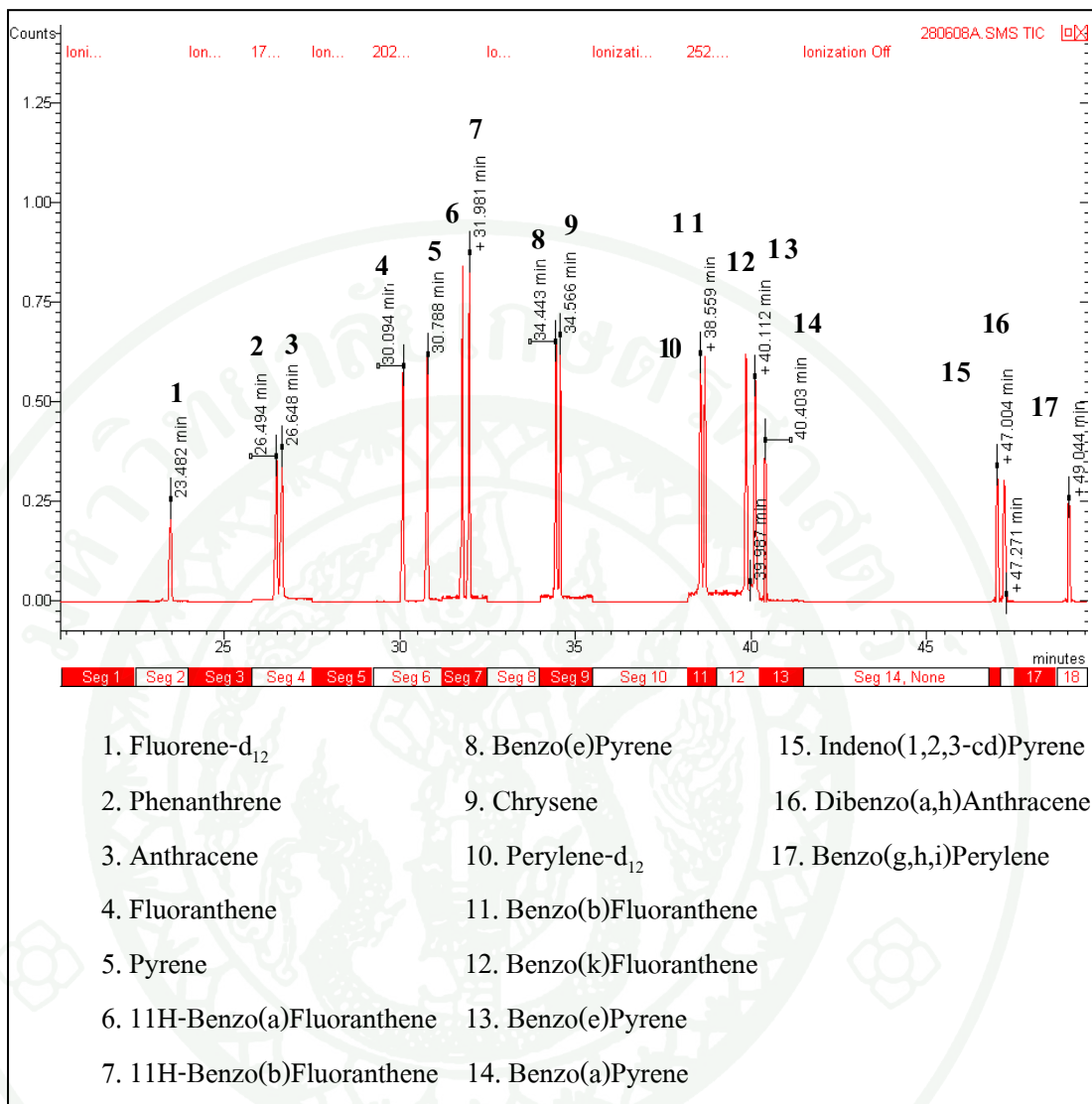
1.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมีเพื่อหาชนิด และความเข้มข้นของสาร PAH_s กำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องเพื่อวิเคราะห์สาร PAH_s จากตัวอย่าง

ตารางที่ 3 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์สาร PAHs

GC	ชนิดของคอลัมน์ (Column type)	แคปิลลารี รุ่น CP-5865 ยาว 60 m เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 mm ความหนาของฟิล์มเหลว 0.25 μ m
	เฟสเคลื่อนที่	ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) มีความบริสุทธิ์ 99.999% อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 ml/min
	อุณหภูมิของ Injector	300°C
	อุณหภูมิของ Transferline	200°C
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 μ l (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°C ปริมาณ 1 μ l เข้าสู่คอลัมน์ CP-5865 ซึ่งเคลือบด้วยสารละลายผสม Diphenyl 5% และ Dimethyl 95% มีความยาว 30 เมตร ที่สภาวะการแยกใช้อัตราการพาของก๊าซฮีเลียม 1 ml/min อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นไว้ที่ 40 °C เป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นเร่งอุณหภูมิให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 8 °C ต่อนาทีจนระดับอุณหภูมิขึ้นสูงถึง 300°C และรักษาอุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลา 50 นาที สาร PAHs ต่างชนิดกันจะมีการกระจายตัวอยู่ระหว่างเฟสของเหลวที่เป็นฟิล์มเคลือบอยู่ภายในคอลัมน์ และเฟสที่เป็นก๊าซที่เป็นตัวพาด้วยอัตราที่ต่างกัน โดยมีอุณหภูมิของเตา GC เป็นปัจจัยช่วยหน่วง หรือเร่งการกระจายตัวของสาร ทำให้เกิดการแยกสารขึ้น สาร PAHs ที่ถูกหน่วงน้อยที่สุดจะถูกแยกออกมาจากคอลัมน์ก่อน และสารตัวอื่นที่ถูกหน่วงมากกว่าก็จะแยกออกมาตามลำดับ เมื่อสารเคลื่อนผ่านพ้นเครื่อง GC เข้าสู่ Transferline ระหว่างเครื่อง GC กับ MS ที่อุณหภูมิ 200 °C เพื่อกันไม่ให้ไอของสารเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งไอสารที่แยกจะถูกผ่านเข้าสู่เครื่อง MS ซึ่งเป็นส่วนของ Ion trap ทำหน้าที่วิเคราะห์มวลสาร โดย

การยิงอิเล็กตรอนพลังงานสูง ($EI^+ 70 \text{ eV}$) ในสารตัวอย่างทำให้สารเกิดการแตกตัวเป็น Fragment ion ที่มีประจุบวกหนึ่ง และกักเก็บประจุเหล่านี้เอาไว้ ทำให้ได้ Fragment ion ทั้งหมดจากการสแกน 1 ครั้งตกลงสู่เครื่องตรวจวัดของส่วน MS และมีการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมของเครื่องทำให้สามารถบันทึกผล และรายงานเป็นกราฟโครมาโตแกรมที่แสดงปริมาณ และมวลของสารด้วย Mass spectrum ของแต่ละสารได้ อีกทั้งยังสามารถใช้โหมดการบันทึกไอออนเฉพาะ หรือไอออนเดี่ยวได้คือ โหมด SIS (Selected Ion Spectrum) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถใช้หาปริมาณสาร PAHs โดยการสแกนเฉพาะ Peak ของ Fragment ion หรือ Mass spectrum ของสาร PAHs ที่เราสนใจแทนที่จะทำการสแกนทั้งหมด ซึ่งทำให้ผลการตรวจวัดแต่ละ Peak ดียิ่งขึ้น และเป็นการประหยัดเวลาอีกด้วย ผลจากการหาสถานะที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายมาตรฐาน (Norwegian Standard: NS 9815) ของ PAHs 15 ชนิด รวมถึงสาร Recovery ISTD-PAH 2 ชนิด จะได้สถานะที่ใช้ในการฉีดตัวอย่างเป็นโครมาโตแกรม แสดงเวลาที่พบสาร (Retention time) ของสาร PAHs (ในสารละลายมาตรฐาน PAHs) ที่เครื่อง GC/MS สามารถวิเคราะห์ได้



ภาพที่ 18 โครมาโตแกรมของสาร PAHs 17 ชนิด

ตารางที่ 4 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

1.5 เงื่อนไขในการวิเคราะห์ PAHs

เงื่อนไขในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย จี๊ดจำกัดการวิเคราะห์ของเครื่องมือ (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 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 ค่า Instrumental Detection Limit, Resolution, Number of Theoretical Plates และ Height Equivalent of Theoretical Plate

PAHs	RT (min)	IDL (pg/ μ L)	R	L (mm)	N	HETP (mm)
Phenantrene	26.525	2.63	1.44	60000	931693	0.064
Anthracene	26.625	2.80	1.44	60000	936934	0.067
Fluoranthene	30.125	1.47	7.62	60000	2136956	0.029
Pyrene	30.825	1.35	7.62	60000	1624902	0.037
11H-Benzo[a]Fluoranthene	31.825	0.77	2.10	60000	1577749	1.227
11H- Benzo[b]Fluoranthene	32.025	0.79	2.10	60000	1133837	1.498
Benzo[a]Anthracene	34.45	0.86	0.94	60000	2418061	0.026
Chrysene	34.575	0.84	0.94	60000	1962729	0.032
Benzo[b]Fluoranthene	38.448	48.66	1.35	60000	2102556	0.034
Benzo[k]Fluoranthene	38.65	43.42	1.35	60000	2112533	0.038
Benzo[e]Pyrene	39.799	49.04	2.40	60000	2096553	0.030
Benzo[a]Pyrene	40.052	61.25	2.40	60000	2176625	0.036
Indeno(1,2,3-cd)Pyrene	46.885	61.25	2.45	60000	3913510	0.017
Dibenzo[a,h]Anthracene	47.105	45.39	2.45	60000	2244480	0.489
Benzo[g,h,i]Perylene	48.925	2.21	-*	60000	403043	3.930

หมายเหตุ * 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 ทุกตัวยังมีค่า IDL ต่ำกว่า 100 pg μ l⁻¹ ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าสารมาตรฐาน (Running Standard: 100 ng μ l⁻¹) ที่ใช้ในการคำนวณระดับความเข้มข้นของ PAHs ในสารตัวอย่างถึง 1,000 เท่า

1.6 Standard Reference Material (SRM)

Standard Reference Material (SRM) เป็นการควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ กล่าวคือเป็นตัวประกันคุณภาพในการทดลอง โดยใช้ Standard Reference Material 1941 borganics in marine sediment มาทำการวิเคราะห์ 8 ซ้ำ ด้วยวิธีเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง ซึ่งจะยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่กำกับมา แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 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

1.7 วิธีคำนวณความเข้มข้นของ 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)
 RRF : ปัจจัยการตอบสนองเชิงสัมพัทธ์ของเครื่องมือวิเคราะห์ (Relative Response Factor)
 V : ปริมาตรอากาศที่ทำการเก็บ (m^3)

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

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

2. ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

2.1 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

เทศบาลนครหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ตั้งอยู่ในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา อยู่ระหว่าง เส้นลองติจูด 100 องศา 01 ลิปดา ถึงเส้นลองติจูดที่ 6 องศา 17 ลิปดา ถึงเส้นละติจูดที่ 7 องศา 56 ลิปดาเหนือ อำเภอหาดใหญ่ เป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเล เพราะอยู่ทางภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยของประเทศไทย มีการจราจรที่หนาแน่นอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจทั้งยังเป็นแหล่งอุตสาหกรรม จากข้อมูลกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่าอำเภอหาดใหญ่เป็นอำเภอที่มีโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุดในจังหวัดสงขลา (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) และมีจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นเมืองท่องเที่ยว และศูนย์กลางการค้า และที่สำคัญคือจากสถานการณ์ไฟไหม้ป่าที่ประเทศอินโดนีเซีย ได้ก่อให้เกิดหมอกควันและฝุ่นละออง ปกคลุมทั่วบริเวณพื้นที่ประเทศอินโดนีเซีย และประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ ประเทศบรูไน สิงคโปร์ มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ รวมทั้งภาคใต้ตอนล่างของไทย ซึ่งสภาพดังกล่าวนี้ได้บดบังทัศนวิสัยการมองเห็น

ซึ่งส่งผลต่อการคมนาคมทางบก ทางน้ำและทางอากาศ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อาศัยในพื้นที่จากการพัดพาหมอกควันและฝุ่นละอองจากจุดกำเนิดถึงประเทศไทยใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง จากข้อมูล PM-10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ตรวจวัดได้ในช่วงวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2549 ถึง วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2549 พบว่าในจังหวัดสงขลาพบระดับของ PM-10 สูงถึง 128 มก.ก./ลบ.ม. (ค่ามาตรฐานกำหนดไว้ 120 มก.ก./ลบ.ม.) ซึ่งสูงเกินค่ามาตรฐาน และจากการพิจารณาข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประกอบพบว่าจังหวัดสตูล สงขลา และนราธิวาส มีค่าทัศนวิสัยเลว ทั้งนี้จังหวัดในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างของประเทศไทย ได้แก่ สงขลา สตูล ยะลา ปัตตานี และนราธิวาส มีรายงานการปกคลุมของหมอกควัน พบการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กและการลดลงของค่าทัศน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ โดยรายงานค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2551 แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ยรายเดือนและจำนวนครั้งที่ตรวจพบค่าเกินมาตรฐาน (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) (ภาคผนวก ง)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 21.00 น.ของวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2550 ถึงเวลา 21.00 น. วันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 เก็บตัวอย่าง 3 ระดับความสูง ดังนี้

2.1.1 ชั้นล่าง (Above Roughness Length) มีความสูงประมาณ 40 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่)

2.1.2 ชั้นกลาง (Surface Layer) มีความสูงประมาณ 70 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่)

2.1.3 ชั้นบน (Urban Boundary Layer) มีความสูงประมาณ 132 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้นดาดฟ้าโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่)



ภาพที่ 19 จุดเก็บตัวอย่างอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2.2 กรุงเทพมหานคร

เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่บริเวณละติจูด 13.45 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.32 องศาตะวันออก มีพื้นที่ 7.126 ตารางกิโลเมตร จำนวนประชากร 97,747 คน (พ.ศ. 2550) ความหนาแน่นของประชากร 13,717 คนต่อตารางกิโลเมตร กรุงเทพมหานครนั้นมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด ได้แก่ ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงใต้ อุณหภูมิทั้ง 3 ฤดูจะแตกต่างกัน ความชื้นสัมพัทธ์ของกรุงเทพมหานครจะมีค่าสูงเกือบตลอดปี เนื่องจากกรุงเทพมหานครตั้งอยู่ใกล้อ่าวไทย ซึ่งมีไอน้ำพัดเข้าถึงสม่ำเสมอ ซึ่งจากการศึกษาภาพถ่ายทางอากาศเพื่อตรวจสอบพื้นที่ความเป็นเมือง (Urbanized Area) ของกรุงเทพมหานครพบว่าในปี พ.ศ. 2545 กรุงเทพมหานครมีพื้นที่ความเป็นเมืองประมาณเกือบครึ่งหนึ่งของพื้นที่ทั้งหมด กล่าวคือ ประมาณ 700 ตารางกิโลเมตร และเมื่อได้สำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Existing Land use) ปรากฏว่ากรุงเทพมหานครมีการใช้ประโยชน์ที่ดิน 3 ประเภทในจำนวนพื้นที่ที่ใกล้เคียงกัน คือปริมาณ 23% ของพื้นที่ทั้งหมด ได้แก่ เป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย จำนวน 366.385 ตารางกิโลเมตร (หรือร้อยละ 23.36) การใช้ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม 369.837 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 23.58) และเป็นการใช้ประเภทที่ว่าง 378.974 ตารางกิโลเมตร (หรือร้อยละ 24) นอกนั้นจะเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทต่างๆ เช่น เพื่อการพาณิชย์กรรม อุตสาหกรรม สถานที่ราชการ ฯลฯ (สำนักผังเมือง, 2549) และทัศนวิสัยของกรุงเทพมหานครเมื่อเวลา 07.00 นาฬิกา มี

ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.6-8.0 กิโลเมตร ปัจจุบันเป็นเมืองที่มีการคมนาคมคับคั่ง เนื่องจากการจัดการเดินรถซึ่งไม่พอดี อีกทั้งยังมีการเพิ่มขึ้นของปริมาณรถอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการจราจรที่คับคั่งนี้จะทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้ช้า เกิดการถ่ายเทอากาศน้อย การสันดาปของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ จึงก่อให้เกิดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศออกมา ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน(HC) สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) และฝุ่นละอองโดยเฉพาะฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ โดยรายงานค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2551 แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ยรายเดือนและจำนวนครั้งที่ตรวจพบค่าเกินมาตรฐาน (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) (ภาคผนวก ง)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 21.00 น. ของวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ถึงเวลา 21.00 น. ของวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 จุดเก็บตัวอย่างพิจารณาตามลักษณะของอิทธิพลของเมืองที่มีต่อความเร็วลม และอุณหภูมิ ซึ่งเป็นออกเป็น 3 ระดับชั้นคือ (ภาพที่ 17)

2.2.1 ชั้นล่าง คืออาคารฟ้าชั้นที่ 10 ของโรงแรมไอบหยกสุท (ไอบหยก 1) สูงจากระดับน้ำทะเล 40 เมตร (สูงจากพื้นดิน 38 เมตร)

2.2.2 ชั้นกลาง คืออาคารฟ้า ชั้นที่ 46 ของโรงแรมไอบหยกสุท (ไอบหยก 1) สูงจากระดับน้ำทะเล 160 เมตร (สูงจากพื้นดิน 158 เมตร)

2.2.3 ชั้นบน คืออาคารฟ้าชั้นที่ 88 ของโรงแรมไอบหยกสกาย (ไอบหยก 2) สูงจากระดับน้ำทะเล 330 เมตร (สูงจากพื้นดิน 328 เมตร)



ภาพที่ 20 จุดเก็บตัวอย่างกรุงเทพมหานคร

2.3 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของประเทศไทย เส้นรุ้งที่ 16 องศาเหนือ สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 1,027 ฟุต (310 เมตร) ห่างจากกรุงเทพมหานคร 720 กิโลเมตร มีพื้นที่ประมาณ 20,107.057 ตารางกิโลเมตร เป็นศูนย์กลางของความเจริญทางภาคเหนือของประเทศไทย และมีอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นอันดับสองรองจากกรุงเทพมหานคร เนื่องจากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของเชียงใหม่ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมเป็นพิษย่อมเกิดขึ้น ทั้งจากสภาพภูมิศาสตร์ของเชียงใหม่ที่ล้อมรอบไปด้วยเทือกเขา ทำให้ใจกลางเมืองมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง และรวมไปถึงมลพิษทางอากาศที่เกิดจากท่อไอเสียรถยนต์ รถจักรยานยนต์ที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นทุกวัน พอเข้าสู่ฤดูร้อนหรือหน้าแล้งครวใด มักเกิดปัญหาหมอกควันจากไฟฟ้า ปัญหาหมอกควันในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเป็นปัญหาสำคัญ ความรุนแรงของปัญหาโดยทั่วไปปรากฏชัดเจนในช่วงหน้าแล้ง (ธันวาคม- เมษายน) จะพบการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก เนื่องจากความ แห้งแล้งส่งผลให้เกิดการเพิ่มขึ้นของไฟฟ้า ประกอบกับในช่วงเวลาดังกล่าว เกษตรกร จะทำการเผาเศษวัสดุเพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับทำการเกษตรในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีสภาวะอากาศที่แห้งและนิ่งทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน ประกอบกับฝนตกน้อยทำให้การชะล้างหมอกควันหรือฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นไปได้น้อยในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนในช่วงต้นปี 2550 ประสบปัญหาหมอกควันก่อนข้างรุนแรงโดย

พบแนวโน้มการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณฝุ่น PM-10 ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์เป็นต้นมา ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดที่จังหวัดเชียงใหม่ตรวจพบเมื่อวันที่ 13 มีนาคม 2550 มีค่าสูงถึง 396.4 มกค./ลบ.ม. (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) และจากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมพบจุดความร้อน (Hotspot) จำนวนมากในประเทศไทย พม่า ลาว เวียดนาม และกัมพูชาประกอบกับในช่วงเวลาดังกล่าวมวลอากาศเย็นเริ่มปกคลุมพื้นที่ภาคเหนือตอนบน สภาพอากาศแห้งและนิ่งฝุ่นละอองจึงแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน ไม่สามารถแพร่กระจายออกไปได้และไม่ตกลงสู่พื้นก่อให้เกิดสภาพฟ้าห้ว มีหมอกควันปกคลุม ทิศนวิสัยต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ประชาชนได้รับผลกระทบในหลายจังหวัด เช่น เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แม่ฮ่องสอน เชียงราย พะเยา แพร่ และน่าน

ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ โดยรายงานค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547-2551 แสดงค่าต่ำสุด สูงสุด ค่าเฉลี่ยรายเดือนและจำนวนครั้งที่ตรวจพบค่าเกินมาตรฐาน (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) (ภาคผนวก ง)

เก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 21.00 น.ของวันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ถึงเวลา 21.00 น.ของวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 จุดเก็บตัวอย่าง พิจารณาตามลักษณะของอิทธิพลของเมืองที่มีต่อความเร็วลม และอุณหภูมิ ซึ่งเป็นออกเป็น 3 ระดับชั้นคือ

2.3.1 ชั้นล่าง คือ ดาดฟ้า ชั้นที่ 5 ของโรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน สูงจากระดับน้ำทะเล 325 เมตร (สูงจากพื้นดิน 15 เมตร)

2.3.2 ชั้นกลาง คือ ดาดฟ้า ชั้นที่ 14 ของโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง สูงจากระดับน้ำทะเล 365 เมตร (สูงจากพื้นดิน 55 เมตร)

2.3.3 ชั้นบน คือ ดาดฟ้า ชั้นที่ 26 ของโรงแรมเซ็นทารา ดวงตะวัน สูงจากระดับน้ำทะเล 435 เมตร (สูงจากพื้นดิน 125 เมตร)



ภาพที่ 21 จุดเก็บตัวอย่างอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

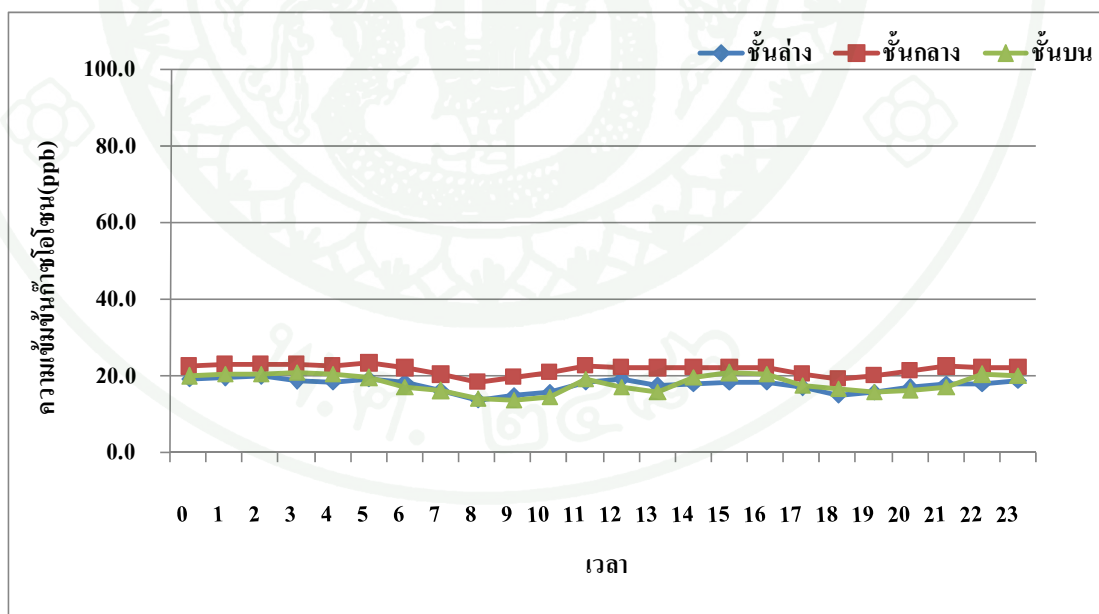
ผลและวิจารณ์

1. ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนตามระดับความสูง

1.1 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซน (OZONE; O₃) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณลานชั้น 8 อาคารโรงแรมโนโวเทลเซนทารา หาดใหญ่ พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซน มีค่าระหว่าง 0.6–28.3 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) เมื่อนำผลการตรวจวัดในช่วงระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (Diurnal variation) พบว่าในชั้นล่างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 19.6 (ppb) ในช่วงเวลา 02.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.6 (ppb) ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา ดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.1.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซนระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณลานชั้น 14 อาคาร โรงแรมลีการ์เดนพลาซ่า พบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าระหว่าง 0.1-24.1 ppb เมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วันเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของ ก๊าซโอโซนพบว่าในระหว่างการศึกษาก๊าซโอโซนในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 23.1 ppb ในช่วงเวลา 05.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 18.0 ppb ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา ดังภาพที่ 22

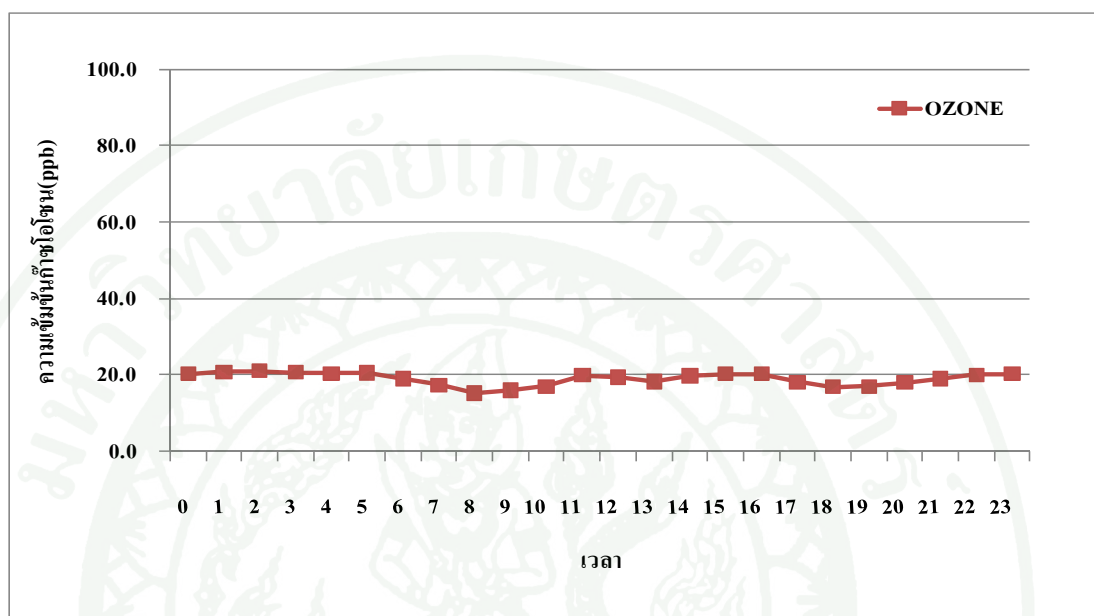
1.1.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซนระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณคาดฟ้าอาคาร โรงแรมลีการ์เดนพลาซ่า พบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มีค่าระหว่าง 4.3-22.1 ppb เมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาก๊าซโอโซนในชั้นบนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20.7 ppb ในช่วงเวลา 03.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.5 ppb ในช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา ดังภาพที่ 22

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซนทั้ง 3 ระดับความสูงในอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าชั้นกลางมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 21.2 ppb) และชั้นล่างมีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 17.1 ppb) ซึ่งก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดในชั้นกลางเนื่องจากก๊าซโอโซน เป็นสารมลพิษทุติยภูมิไม่ได้มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง ต้องอาศัยระยะเวลาและระยะทางในการเกิด

เมื่อนำมาเฉลี่ยรวมทั้งสามระดับความสูง พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20.90 ppb ในช่วงเวลา 02.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 15.20 ppb ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา ดังภาพที่ 23 จะเห็นได้ว่าในพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืนทั้งนี้เนื่องมาจากก๊าซโอโซนที่พบเป็นโอโซนที่ไม่ได้มีแหล่งกำเนิดในพื้นที่แต่เป็นโอโซนที่พัดพามาจากที่อื่นเนื่องจากพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่ใกล้กับทะเล และการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในรอบวันที่มีค่าสูง ต่ำไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ดังนั้นในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำจะส่งผลให้การออกซิไดซ์ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ให้เป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) จึงเกิดได้ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงส่งผลให้ก๊าซโอโซน

เกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ศึกษาอำเภอ หาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่าง สภาพอากาศมีเมฆมาก ความเข้มแสงต่ำ และในวันสุดท้ายมีฝนตก

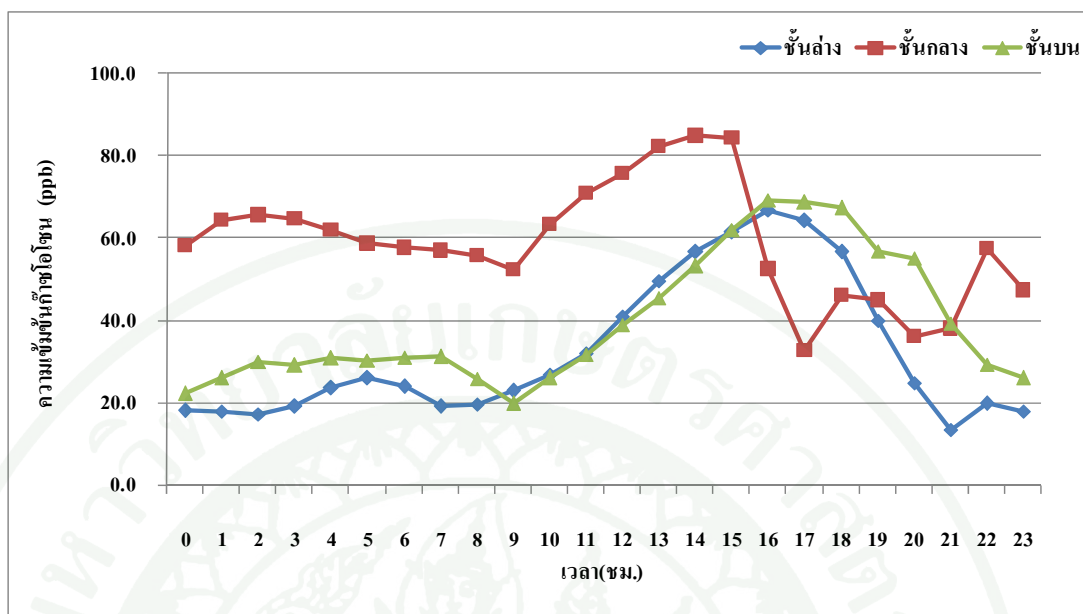


ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยทั้งสามระดับความสูงระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

1.2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

1.2.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซนระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลาอาคารจอดรถโรงแรมไบฮกสุท (ไบฮก 1) พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซนมีค่าระหว่าง 0.2-90.2 ppb เมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซนในชั้นล่างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 66.7 ppb ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.4 ppb ในช่วงเวลา 21.00 นาฬิกา ดังแสดงในภาพที่ 24



ภาพที่ 24 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

1.2.2 ชั้นกลาง

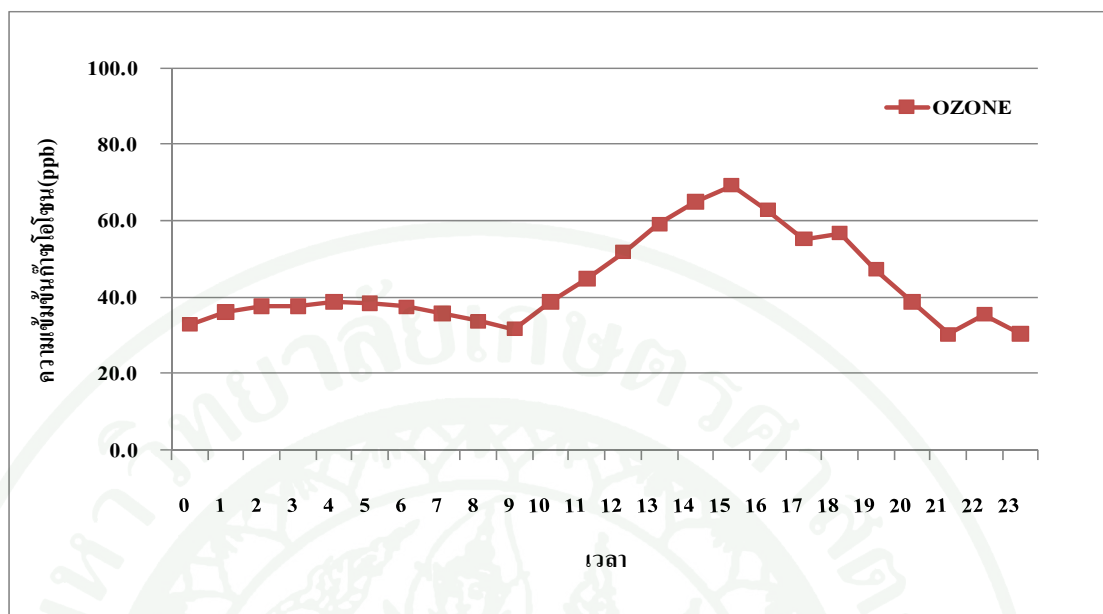
ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซนระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลาอาคารจอดรถโรงแรมไบกัส (ไบกัส 1) พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซนมีค่าความเข้มข้นระหว่าง 0.9-124.0 ppb และเมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซนในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 91.6 ppb ในช่วงเวลา 14.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 30.1 ppb ในช่วงเวลา 17.00 นาฬิกา (ภาพที่ 24)

1.2.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซนระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลาอาคารจอดรถโรงแรมไบกัส (ไบกัส 2) พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซนมีค่าระหว่าง 1.5-94.9 ppb เมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาค่าความเข้มข้นก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 69.2 ppb ในช่วงเวลา 16.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 19.7 ppb ในช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 24)

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซนทั้ง 3 ระดับความสูงพบว่าชั้นกลางมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 66.5 ppb) และชั้นล่างมีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 32.4 ppb) ในชั้นกลางมีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงประมาณสองเท่าของชั้นล่าง เนื่องจากก๊าซโอโซนเป็นสารมลพิษทุติยภูมิไม่ได้มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง ต้องอาศัยระยะเวลาและระยะทางในการเกิด ดังนั้นในชั้นล่างจึงมีความเข้มข้นต่ำ และในชั้นกลางมีความเข้มข้นสูง แนวโน้มความเข้มข้นก๊าซโอโซนสูงในช่วงกลางวัน แต่ในช่วงเวลากลางคืนความเข้มข้นลดต่ำลง เนื่องจากก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ดังนั้นในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำจะส่งผลให้ การออกซิไดซ์ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ให้เป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) จึงเกิดได้ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงส่งผลให้ก๊าซโอโซนเกิดขึ้นไม่ต่อเนื่อง ประกอบกับในชั้นกลางยังมีออกไซด์ของไนโตรเจนสำหรับปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลรีเอ็กชัน ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนแปรผกผันกับค่าความเข้มข้นของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) เนื่องจากกรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) สูงจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรมส่งผลให้ปฏิกิริยาสามารถดำเนินได้อย่างต่อเนื่อง อัตราส่วนระหว่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) เทียบกับออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จึงมีค่าค่อนข้างคงที่ (สุรัตน์ และคณะ, 2550) นอกจากนี้ Cosbille and Allerini (2007) พบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนบนชั้นหลังคา (Roof top) จะมีค่าสูงกว่าบริเวณระดับพื้นดินประมาณ 6 เท่า เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลรีเอ็กชันต้องอาศัยระยะทางและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นชั้นล่างเป็นชั้นที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจึงมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับชั้นกลางและชั้นบน

เมื่อนำมาเฉลี่ยรวมทั้งสามระดับความสูง พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 69.20 ppb ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 30.20 ppb ในช่วงเวลา 21.00 นาฬิกา (ดังภาพที่ 25) พบว่าในช่วงเวลากลางวันความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจะมีค่าสูง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงในช่วงเวลาดังกล่าวเนื่องจากกรุงเทพมหานคร มีปริมาณการจราจรที่คับคั่ง ดังนั้นการปลดปล่อยสารตั้งต้น เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนมีปริมาณสูง ประกอบกับในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างท้องฟ้าโปร่ง ความเข้มแสงมาก ไม่มีฝน (สุรัตน์ และคณะ, 2550) ดังนั้นก๊าซโอโซนจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลจึงเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่ากรุงเทพมหานครมีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงกว่าประมาณ 2-3 เท่า



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนในรอบวันเฉลี่ยทั้งสามระดับความสูงระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

1.3 พื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

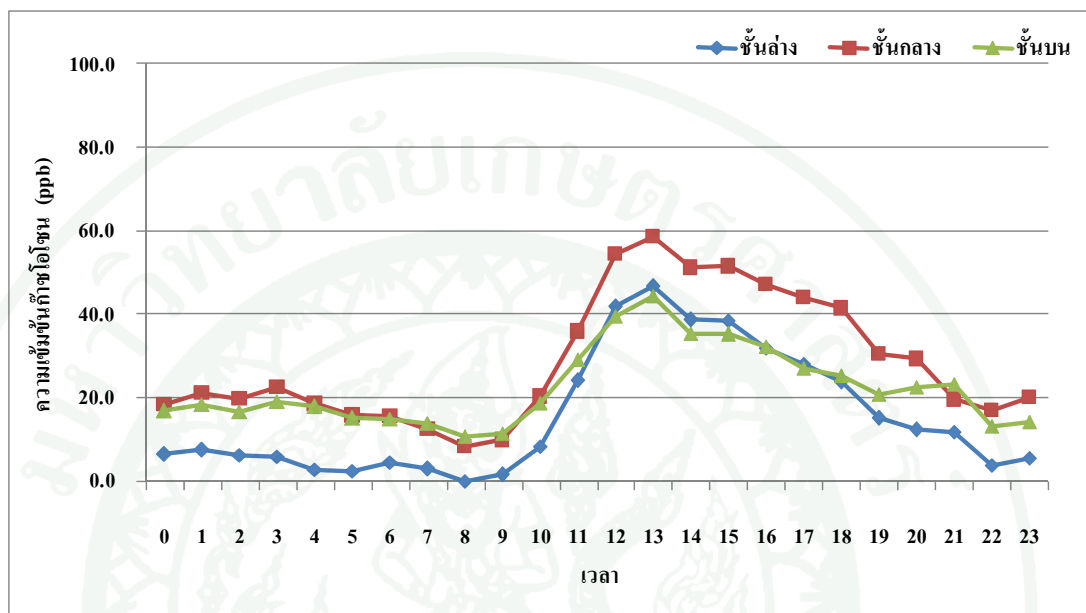
1.3.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซนระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลาอาคารจอดรถโรงแรมเซนทรัลดวงตะวัน พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซนมีค่าระหว่าง ตรวจไม่พบ-63.0 ppb เมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซนในชั้นล่างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 46.6 ppb ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.4 ppb ในช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา ดังภาพที่ 26

1.3.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซนระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลาโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซนมีค่าความเข้มข้นระหว่าง 4.1-79.7 ppb เมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า

ความเข้มข้นก๊าซโอโซนในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 58.5 ppb ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 8.2 ppb ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

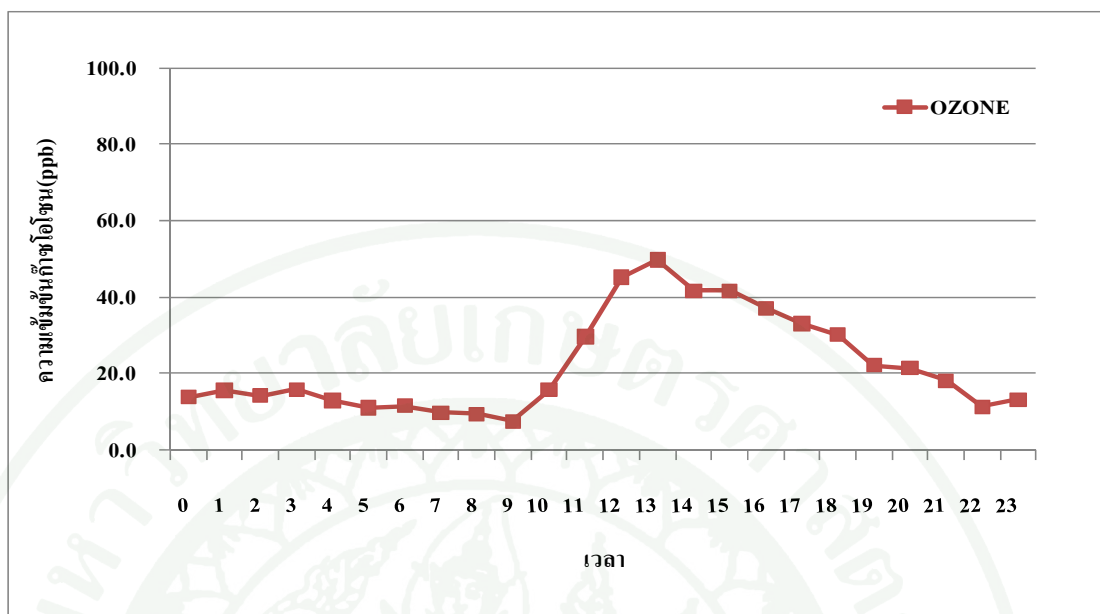
1.3.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดก๊าซโอโซนระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลาพักผ่อนโรงแรมเซนทรัลดงตะวัน พบว่าความเข้มข้นก๊าซโอโซน มีค่าระหว่าง 3.7-63.3 ppb เมื่อนำผลการตรวจวัดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่าในระหว่างการศึกษาคความเข้มข้นก๊าซโอโซนในชั้นบนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 44.2 ppb ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 10.6 ppb ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา ดังภาพที่ 26

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซนทั้ง 3 ระดับความสูงในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าชั้นกลางมีค่าสูงสุด (เฉลี่ย 28.55 ppb) และชั้นล่างมีค่าต่ำสุด (เฉลี่ย 20.40 ppb) สาเหตุที่ก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดในชั้นกลาง เนื่องจากก๊าซโอโซนเป็นสารมลพิษทุติยภูมิ ไม่ได้มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง ต้องอาศัยระยะเวลาและระยะทางในการเกิด ดังนั้นในชั้นล่างซึ่งอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดนั้นจึงมีความเข้มข้นต่ำ และในชั้นกลางมีความเข้มข้นสูงสุดเนื่องจากมี

ออกไซด์ของไนโตรเจนในปริมาณที่เพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยา และในชั้นบนมีความเข้มข้นต่ำลงทั้งนี้เนื่องจากออกไซด์ของไนโตรเจนคงเหลือในชั้นบรรยากาศน้อยเนื่องจากระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น และแนวโน้มของความเข้มข้นโอโซนมีค่าสูงในช่วงกลางวัน แต่ในช่วงเวลากลางคืนความเข้มข้นลดต่ำลง เนื่องจากก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ดังนั้นในช่วงเวลาที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำจะส่งผลให้ การออกซิไดซ์ไนโตรเจนออกไซด์ (NO) ให้เป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) เกิดได้ไม่ต่อเนื่องดังนั้นจึงส่งผลให้ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซโอโซนเกิดขึ้นได้ไม่ต่อเนื่อง

เมื่อนำมาเฉลี่ยรวมทั้งสามระดับความสูง พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 49.80 ppb ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 7.50 ppb ในช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา (ดังภาพที่ 27) พบว่าในช่วงเวลากลางวันความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูง เนื่องจากเชียงใหม่มีปริมาณการจราจรที่คับคั่งในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา ดังนั้นการปลดปล่อยสารตั้งต้น เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอนจึงมีปริมาณสูง และในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีฝน ดังนั้นก๊าซโอโซนที่มาจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลจึงเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงกว่าประมาณ 1-2 เท่า



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นก๊าซโอโซนเฉลี่ยทั้งสามระดับความสูงในรอบวันระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

2. การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particle; TSP) ตามระดับความสูง

2.1 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

2.1.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณลานชั้น 8 อาคารโรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ พบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าระหว่าง N.D.–2.727 ng m⁻³ และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ย พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.147±0.100 ng m⁻³ (ตารางที่ 10) โดยระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.041±0.014 ng m⁻³ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng m⁻³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard) อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกในฝุ่นละอองรวม ได้แก่ D[a,h]A (18.15 %) รองลงมาคือ Ind (12.82 %), Pyr (11.70 %), B[b]F(8.84 %)

และ Fluo (8.82 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 9) จะสังเกตได้ว่า PAHs ที่พบมากที่สุด 2 อันดับแรกนั้น ส่วนใหญ่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 250 เนื่องจากความดันไอของสาร PAHs จะแปรผกผันกับ น้ำหนักโมเลกุล ดังนั้น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจึงมักอยู่ในวัฏภาคอนุภาคมากกว่าวัฏภาค ก๊าซ โดยส่วนใหญ่ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะปรากฏในอนุภาคแขวนลอยมากกว่าก๊าซ ดังนั้นจึงมักพบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากที่ระดับพื้นผิว

B(a)P และ B(g,h,i)P เป็นดัชนีชี้วัดการปลดปล่อยของไอเสียจากยานพาหนะ ประกอบด้วย B(a)P เป็น PAHs ที่มีควมว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง (Park *et al.*, 2002) ซึ่งจากการ เทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(g,h,i)P มีค่าเท่ากับ 0.099 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้ไม่ได้มาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลัก (ตารางที่ 7) นอกจากนี้จากอัตราส่วนระหว่าง Ind/[Ind + B(g,h,i)P] ซึ่ง Ind และ B(g,h,i)P เป็น PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า 250 โครงสร้าง ประกอบด้วยวงแหวนเบนซินมากกว่า 4 วง ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ชีวภาพ เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า (Ravindra *et al.*, 2006) จาก อัตราส่วนมีค่าเท่ากับ 0.640 แสดงว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เนื่องมาจากฝุ่นละอองรวมกันส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของชีวมวล การฟุ้ง กระจายของดิน ทราชที่พื้นผิวถนน สถานที่ก่อสร้าง อนุภาคฝุ่นที่พัดพามาจากทะเล และกลุ่มหมอก ควันที่มาจากไฟไหม้ป่า

ตารางที่ 7 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 <i>et al.</i> (1999) Park <i>et al.</i> (2002)
B(a)P / [B(a)P+Chry]	0.5	Diesel	Pandey <i>et al.</i> (1999)
	0.73	Gasoline	Park <i>et al.</i> (2002)
Ind/[Ind + B(g,h,i)P]	0.56-0.62	Biomass	Grimer <i>et al.</i> (1983)
			Kavouras <i>et al.</i> (2001)
			Ravindra <i>et al.</i> (2006)

2.1.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณลานชั้น 14 อาคาร โรงแรมลีการ์เดน พลาซ่า พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D.–1.609 ng m⁻³ และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีความเข้มข้นเท่ากับ 0.131±0.085 ng m⁻³ (ตารางที่ 10) โดยระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.037±0.016 ng m⁻³ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng m⁻³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกในฝุ่นละอองรวม ได้แก่ Pyr (16.45 %), B[g,h,i]P (14.03 %), Ind (12.41 %), Fluo (10.29 %) และ Phe (9.33 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 9) จะสังเกตเห็นว่าในชั้นกลาง PAHs ที่พบมากในสามอันดับแรกนั้นเป็น PAHs ที่มีมวลโมเลกุลมากกว่า 250 ซึ่งเป็น PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูง เนื่องจากความดันไอของสาร PAHs จะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุล ดังนั้น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจึงมักอยู่ในวัฏภาคอนุภาคมากกว่าวัฏภาคก๊าซ โดยส่วนใหญ่ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะปรากฏในอนุภาคแขวนลอยมากกว่าก๊าซ ดังนั้นจึงมักพบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากที่ระดับนี้ และจากระดับความสูงของชั้นล่างและชั้นกลางมีระดับความสูงที่ค่อนข้างไม่แตกต่างกันมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงชนิดของ PAHs จึงมีค่าใกล้เคียงกัน

เมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(g,h,i)P มีค่าเท่ากับ 0.036 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้ไม่ได้มาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลัก และอัตราส่วนระหว่าง Ind/[Ind + B(g,h,i)P] มีค่าเท่ากับ 0.469 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่มาจากเผาไหม้ของชีวมวล (ตารางที่ 7) จากการเทียบสัดส่วนนี้สามารถอนุมานได้ว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ใน TSP นั้นมาจากการเผาไหม้ชีวมวล เช่น การเผาหญ้าเพื่อการเกษตร หรือไฟฟ้า

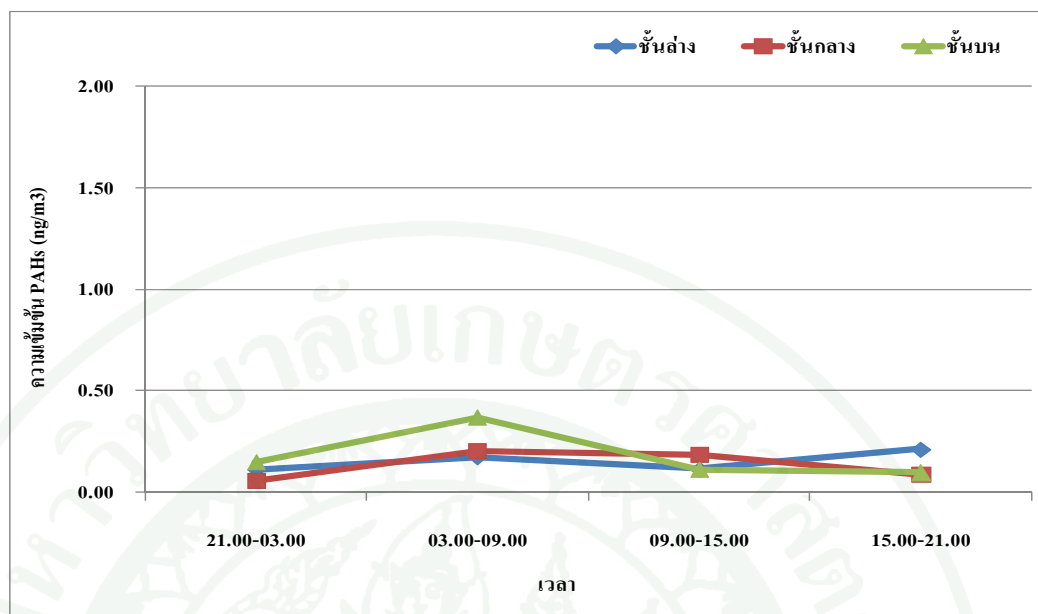
2.1.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 ชั้นดาดฟ้า อาคาร โรงแรมลีการ์เดนพลาซ่า พบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าระหว่าง N.D.–3.408 ng m⁻³ และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีความเข้มข้นเท่ากับ 0.179±0.142 ng m⁻³ (ตารางที่ 10) โดยระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.020±0.008 ng m⁻³ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล

(B[a]P = 0.25 ng m^{-3}) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard) อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกในฝุ่นละอองรวม ได้แก่ D[a,h]A (19.10 %), B[g,h,i]P (11.68 %), Phe (10.53 %), Ind (9.03 %), Pyr (9.00 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 9) จะสังเกตเห็นว่า D[a,h]A และ B[g,h,i]P ยังเป็น PAHs ที่พบมากเป็นอันดับหนึ่งและสอง ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 250 ซึ่งคล้ายกันกับชั้นล่างที่ PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงๆ พบในอันดับต้นๆ นั้นแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการกลอยตัวของมวลอากาศจากชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบน

เมื่อนำมาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(g,h,i)P มีค่าเท่ากับ 0.235 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้ไม่ได้มาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลัก และอัตราส่วนระหว่าง Ind/[Ind+B(g,h,i)P] มีค่าเท่ากับ 0.436 มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่มาจากการเผาไหม้ชีวมวล (ตารางที่ 7) จากการเทียบสัดส่วนนี้สามารถอนุมานได้ว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ใน TSP นั้นมาจากการเผาไหม้ชีวมวลเช่นเดียวกับชั้นล่างและชั้นกลาง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ทั้ง 3 ระดับความสูงในพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าชั้นบนมีความเข้มข้นสูงสุด สำหรับในชั้นบนมีความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP สูงสุด เนื่องจากมวลอากาศจากข้างล่างยกตัวลอยขึ้นสู่ชั้นบน ประกอบกับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองรวมที่มาจากไฟฟ้าหรือที่พัดมาจากทะเลตามหลักการแพร่กระจายมลพิษในระยะไกล (Long Range Transport) และชั้นกลางมีความเข้มข้นต่ำสุด (ภาพที่ 28) ทั้งนี้เนื่องจากในชั้นกลางมีอิทธิพลทางกายภาพของจุดตรวจวัดคือในชั้นกลางมีอาคารขวางทำให้เกิดกระแสลมวนไหล เป็นเหตุให้เกิดการเจือจางความเข้มข้นของมลสารประกอบกับในชั้นกลางนั้นมีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงกว่าชั้นล่างและชั้นบน ดังนั้นการเกิดกระบวนการย่อยสลายด้วยแสงหรือปฏิกิริยา Photodegradation และการทำปฏิกิริยากับก๊าซต่างๆ อาทิเช่น O_3 , NO_x และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ในชั้นกลางจึงสามารถเกิดขึ้นได้ดี และในพื้นที่ศึกษาพบว่ากลุ่มของ PAHs ที่พบนั้นมีทั้งมวลโมเลกุลสูง เช่น Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P และกลุ่ม PAHs มวลโมเลกุลต่ำ เช่น Pyr, Fluo และ Phe ซึ่งจะพบว่ามีความเพิ่มสูงในช่วงเวลา 03.00 -09.00 นาฬิกา



ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

จากการเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs ต่อกระบวนการย่อยสลายด้วยแสงหรือปฏิกิริยา Photodegradation และการทำปฏิกิริยากับก๊าซต่างๆ อาทิเช่น ก๊าซโอโซน NO_x และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล เป็นต้น เนื่องจาก B(a)P มีความไวในการถูกย่อยสลายโดยแสงได้ง่าย (Photosensitive) กล่าวคือ มีความเสถียรน้อยมากเมื่อเทียบกับ B(e)P ซึ่งถูกจัดว่าเป็น PAHs ที่มีความเสถียรมากที่สุด (Behymer and Hites, 1988) พบว่าอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.136 , 0.101 และ 0.400 ตามลำดับ จากอัตราส่วนจะเห็นได้ว่าในชั้นกลางมีค่าน้อย แสดงให้เห็นถึงว่า PAHs ในชั้นกลางมีการย่อยสลายได้มากที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่พบว่ามีค่าสูงสุดในชั้นกลาง

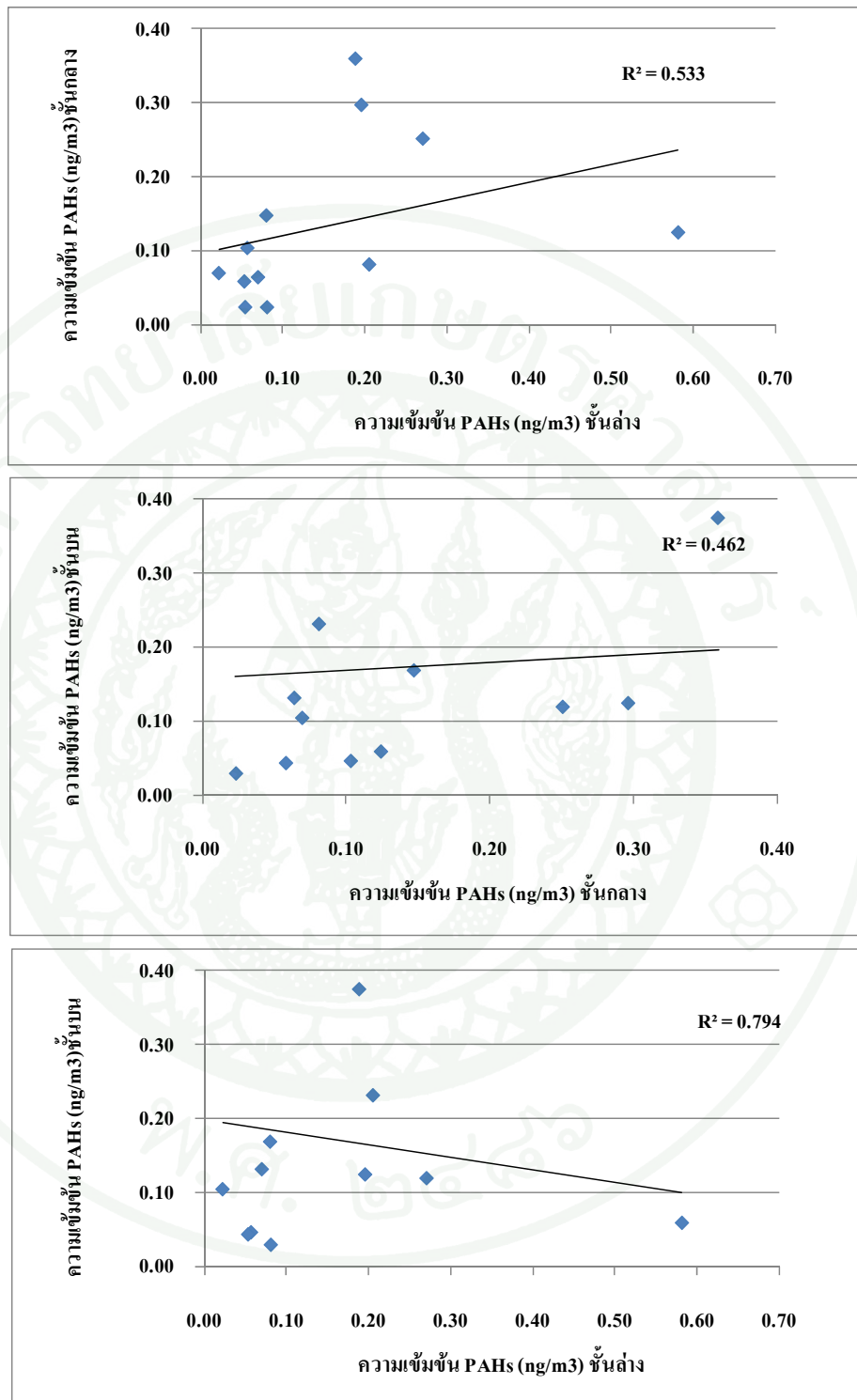
จากการพิจารณาสัดส่วนของ PAHs ใน PM_{10} / PAHs ใน TSP ในพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่า สัดส่วนของ PAHs ใน PM_{10} / PAHs ใน TSP มีค่าสูงสุดในชั้นกลางเท่ากับ 0.82 และมีค่าต่ำสุดในชั้นบนเท่ากับ 0.07 จากสัดส่วนพบว่ามีค่าต่ำกว่าหนึ่งนั้น แสดงให้เห็นถึงว่า PAHs ที่อยู่ในฝุ่นละอองรวมนั้นมีค่าสูงกว่า PAHs ที่อยู่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งชี้ให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาว่ามาจากฝุ่นขนาดใหญ่

มากกว่าฝุ่นขนาดเล็ก ซึ่งฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ก็นั้นมาจากไฟฟ้าหรือฝุ่นที่ถูกพัดพามาจากทะเล ไม่ใช่ฝุ่น
ที่มาจากการจราจรเป็นหลัก

ตารางที่ 8 สัดส่วนความเข้มข้น PAHs ใน PM₁₀/ PAHs ใน TSP ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.
2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

	ความเข้มข้น PAHs ใน PM ₁₀ (ng m ⁻³)	ความเข้มข้น PAHs ใน TSP (ng m ⁻³)	สัดส่วนความเข้มข้น PAHs ใน PM ₁₀ / PAHs ใน TSP
ชั้นล่าง	1.660 ± 3.94	2.211 ± 3.94	0.75
ชั้นกลาง	1.620 ± 1.62	1.974 ± 1.269	0.82
ชั้นบน	0.192 ± 1.88	2.689 ± 2.126	0.07

เมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของความเข้มข้น
ของ PAHs ใน TSP ในระหว่างชั้นความสูง พบว่าในชั้นล่างกับชั้นกลาง ชั้นกลางกับชั้นบน มี
ความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ
(coefficient of determination) เท่ากับ 0.533, 0.462 สำหรับชั้นล่างกับชั้นบนมีความสัมพันธ์ไปใน
ทิศทางตรงข้ามกัน มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) เท่ากับ 0.794 นั้น
แสดงให้เห็นถึงว่า PAHs ในชั้นบนไม่ได้มาจากการยกตัวของมวลอากาศจากข้างล่างขึ้นสู่ข้างบน
แต่มาจากแหล่งกำเนิดที่พัดพามาจากที่อื่น (ภาพที่ 29)



ภาพที่ 29 ความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs ในฝุ่นละอองรวมในระหว่างชั้นความสูง

ตารางที่ 9 อัตราส่วนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ระหว่างวันที่ 17–20 ธันวาคม พ.ศ.2550

PAHs	อัตราส่วนของระดับความเข้มข้น(%)		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
Phe	7.91	9.33	10.53
An	5.48	5.76	6.94
Fluo	8.82	10.29	6.74
Pyr	11.70	16.45	9.00
11H-B[a]F	2.77	2.08	1.50
11H-B[b]F	1.59	2.36	1.02
B[a]A	1.85	1.87	0.74
Chry	4.02	2.56	1.36
B[b]F	8.84	4.61	8.63
B[k]F	2.83	3.83	4.13
B[e]P	5.30	5.03	6.86
B[a]P	0.72	0.51	2.75
Ind	12.82	12.41	9.03
D[a,h]A	18.15	8.88	19.10
B[g,h,i]P	7.20	14.03	11.68

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ย, ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน, ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng m⁻³) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ชนิด	ชั้นล่าง				ชั้นกลาง				ชั้นบน			
	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX
Phe	0.175	0.079	0.101	0.275	0.184	0.037	0.133	0.217	0.283	0.046	0.255	0.353
An	0.121	0.027	0.087	0.146	0.114	0.064	0.068	0.208	0.187	0.050	0.115	0.231
Fluo	0.195	0.064	0.105	0.247	0.203	0.069	0.126	0.267	0.181	0.049	0.132	0.248
Pyr	0.259	0.125	0.127	0.397	0.325	0.099	0.197	0.428	0.242	0.107	0.125	0.384
11H-B[a]F	0.061	0.042	0.024	0.099	0.041	0.025	0.018	0.075	0.040	0.010	0.030	0.053
11H-B[b]F	0.035	0.013	0.025	0.053	0.047	0.034	0.016	0.091	0.027	0.009	0.020	0.039
B[a]A	0.041	0.014	0.021	0.051	0.037	0.016	0.018	0.053	0.020	0.008	0.011	0.030
Chry	0.089	0.029	0.045	0.108	0.051	0.023	0.027	0.075	0.036	0.018	0.017	0.061
B[b]F	0.195	0.192	0.065	0.479	0.091	0.101	0.016	0.239	0.232	0.279	0.045	0.642
B[k]F	0.063	0.065	0.025	0.159	0.075	0.075	0.012	0.172	0.111	0.121	0.025	0.290
B[e]P	0.117	0.097	0.041	0.253	0.099	0.090	0.021	0.206	0.185	0.177	0.028	0.365
B[a]P	0.016	0.007	0.011	0.021	0.010	0.006	0.003	0.018	0.074	0.073	0.020	0.179
Ind	0.284	0.209	0.026	0.511	0.245	0.266	0.020	0.606	0.243	0.269	0.007	0.483
D[a,h]A	0.401	0.380	0.176	0.970	0.175	0.110	0.030	0.295	0.514	0.612	0.144	1.426
B[g,h,i]P	0.159	0.153	0.053	0.384	0.277	0.254	0.039	0.568	0.314	0.298	0.140	0.758
AVER	0.147	0.100	0.062	0.277	0.131	0.085	0.050	0.234	0.179	0.142	0.074	0.369

ตารางที่ 10 (ต่อ)

หมายเหตุ AVER: ค่าเฉลี่ย, STDEV: ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน, MIN: ค่าต่ำสุด, MAX: ค่าสูงสุด, N.D.: Not Detected

Phe: Phenanthrene, An: Anthracene, Fluo: Fluoranthene, Pyr: Pyrene, 11H-B[a]F: 11H-Benzo[a]Fluoranthene, 11H-B[b]F: 11H-Benzo[b]Fluoranthene, B[a]A: Benzo[a]Anthracene, Chry: Chrysene, B[b]F: Benzo[b]Fluoranthene, B[k]F: Benzo[k]Fluoranthene, B[e]P: Benzo[e]Pyrene, B[a]P: Benzo[a]Pyrene, Ind: Indeno[g,h,i]pyrene, D[a,h]A: Dibenzo[a,h]Anthracene, B[g,h,i]P: Benzo[g,h,i]Perylene

2.2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

2.2.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดค่า PAHs ในฝุ่นละอองรวม ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลาอาหารจอร์จโรงแรมใบหยกสุท (ใบหยก 1) พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D.–2.629 ng m⁻³ และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิด เฉลี่ยในระยะเวลา 3 วันพบว่า มีค่าเท่ากับ 0.448±0.235 ng m⁻³ (ตารางที่ 13) โดยระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.141±0.080 ng m⁻³ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng m⁻³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS นอกจากนี้อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกในฝุ่นละอองรวม ได้แก่ Pyr (16.24 %) รองลงมาคือ Chry (12.64 %), Ind (12.44 %), Fluo (11.66 %) และ B[g,h,i]P (10.75 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 12) จะสังเกตได้ว่า Ind และ B[g,h,i]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีมวลโมเลกุลมากกว่า 250 ยังคงพบมากเป็นอันดับที่สามและห้า แม้จะเปลี่ยนจุดเก็บอากาศจากสถานีหาดใหญ่เป็นสถานีกรุงเทพมหานคร

B(a)P และ B(g,h,i)P เป็นดัชนีชี้วัดการปลดปล่อยของไอเสียจากยานพาหนะ ประกอบกับ B(a)P เป็น PAHs ที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง (Park *et al.*, 2002) ซึ่งจากอัตราของระดับความเข้มข้น (ตารางที่ 12) พบว่า B(a)P และ B(g,h,i)P มีค่าสูง นอกจากนี้ยังพบว่า Pyr, Fluo และ Phe แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลัก และอัตราส่วนระหว่าง Ind/[Ind+B(g,h,i)P] มีค่าเท่ากับ 0.536 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล จากการเทียบสัดส่วนนี้สามารถอนุมานได้ว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมนั้นมาจากการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ แสดงให้เห็นถึงว่าในพื้นที่กรุงเทพมหานครนั้นมีแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs มาจากสองแหล่งด้วยกัน นั่นก็คือ จากการจราจรที่คับคั่งในช่วงเช้าและช่วงเย็น รวมถึงการเผาชีวมวล การปลดปล่อยจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม

2.2.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดค่า PAHs ในฝุ่นละอองรวมระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลาอาหารจอร์จโรงแรมใบหยกสุท (ใบหยก 1) พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าระหว่าง N.D.–1.251 ng m⁻³ และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยมี

ค่าเท่ากับ $0.306 \pm 0.111 \text{ ng m}^{-3}$ (ตารางที่ 13) อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกในฝุ่นละอองรวม ได้แก่ B[b]F (19.72 %), Pyr (16.70 % ng m^{-3}), Fluo (15.60 %), Chry (13.88 %) และ B[e]P (11.73 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 12) จะเห็นได้ว่า Fluo, Pyr และ Chry ยังเป็นชนิดที่พบมากในชั้นกลาง ซึ่งเหมือนกันกับชั้นล่าง ทั้งนี้เนื่องจากการยกตัวของมวลอากาศจากข้างล่างขึ้นสู่ข้างบน

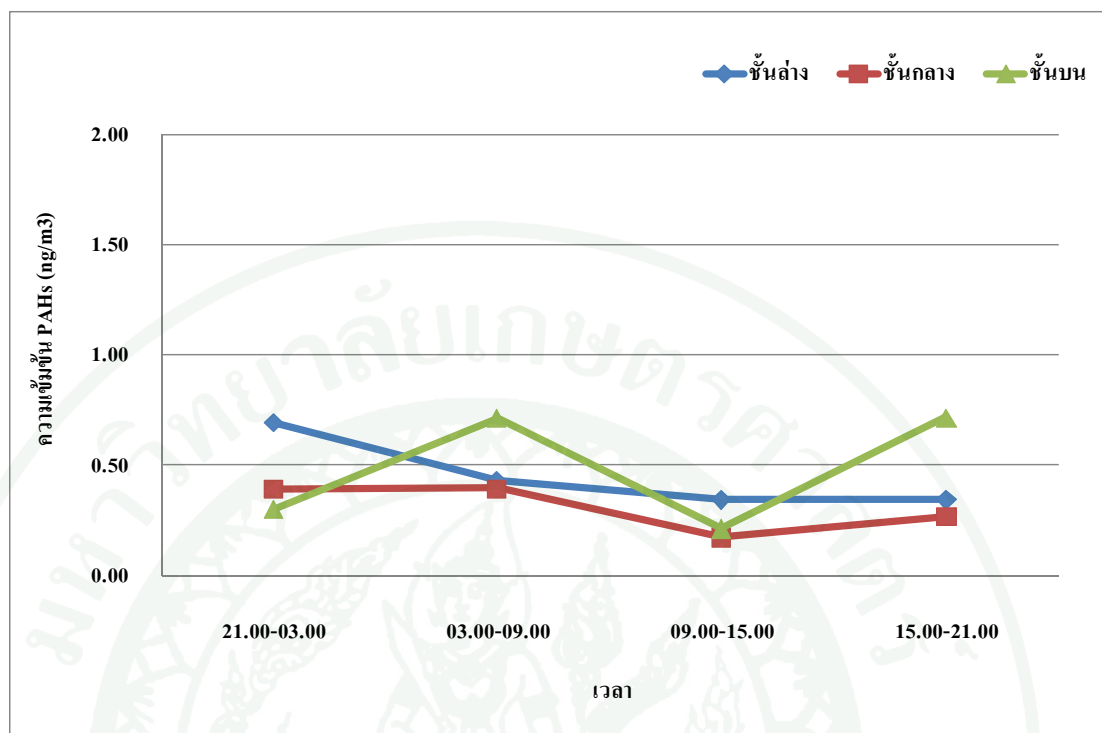
ซึ่งจากอัตราส่วน PAHs ยกตัวอย่างเช่น B(g,h,i)P, D[a,h]A และ Ind ในชั้นกลางไม่อยู่ในขีดจำกัดการวิเคราะห์ที่สามารถวิเคราะห์ได้ซึ่งแตกต่างจากชั้นล่างที่อัตราส่วนของ B(g,h,i)P อยู่ในอันดับที่ห้า และ B[b]F ในชั้นกลางพบว่ามีค่าสูงที่สุดแต่ในชั้นล่างกลับมีอัตราส่วนมีค่าต่ำอยู่ในอันดับที่หก ซึ่งนั่นแสดงให้เห็นถึงกลไกบางอย่างที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายของ B(g,h,i)P, D[a,h]A และ Ind และ B[b]F ที่ระดับชั้นนี้สาเหตุสำคัญน่าจะมาจากปฏิกิริยา Photodegradation และปฏิกิริยา Heterogeneous กับก๊าซไอโซนอนุมูลอิสระ OH radical และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (IPCS, 1998)

2.2.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดค่า PAHs ในฝุ่นละอองรวมระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณตลาดฟ้าอาคารจอดรถโรงแรมใบหยกสกาย (ใบหยก 2) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าระหว่าง N.D.– 4.322 ng m^{-3} และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยพบว่ามีค่าเท่ากับ $0.484 \pm 0.374 \text{ ng m}^{-3}$ (ตารางที่ 13) อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกในฝุ่นละอองรวม ได้แก่ Fluo (13.56 %) รองลงมา คือ Ind (13.44 %), Pyr (13.43 %), Chry (11.71 %) และ B[b]F (10.50 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 12) จะเห็นได้ว่าในชั้นบนพบ Fluo, Ind, Pyr, Chry สูงซึ่งคล้ายกันกับชั้นล่าง นั่นแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลอยตัวของมวลอากาศจากชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบน และยังพบว่าอัตราส่วนของ B(g,h,i)P, D[a,h]A และ Ind กลับมีค่าสูงขึ้นอีกครั้งในชั้นบนนี้ซึ่งแตกต่างกับชั้นกลางที่ตรวจไม่พบ

จากอัตราส่วนความเข้มข้นของ B(a)P และ B(g,h,i)P กลับพบว่ามีค่าลดลงในชั้นบน แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้ไม่ได้มาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลัก และอัตราส่วนระหว่าง $\text{Ind}/[\text{Ind}+\text{B(g,h,i)P}]$ มีค่าเท่ากับ 0.607 มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาไหม้ชีวมวลแสดงว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมนั้นมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ทั้ง 3 ระดับความสูงในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร พบว่าชั้นบนมีความเข้มข้นสูงสุด เนื่องจากแหล่งกำเนิดของ PAHs ในชั้นบนนี้ไม่ได้มาจากแหล่งกำเนิดที่มาจากพื้นที่เพียงอย่างเดียว แต่มาจากแหล่งกำเนิดที่พัดพามาจากที่อื่น ทั้งนี้เนื่องจากกรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่มีการจราจรที่หนาแน่นและมีโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่อยู่กระจายอยู่รอบนอก ประกอบกับการคงอยู่ในชั้นบรรยากาศของ PAHs แต่ละชนิดนั้นมีความสามารถในการคงอยู่ในชั้นบรรยากาศได้ในระยะเวลานานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าครึ่งชีวิตของ PAHs แต่ละชนิด และปัจจัยทางด้านอุณหภูมิจึงส่งผลต่อการสลายตัวของ PAHs ในชั้นบรรยากาศ (IPCS, 1998) และชั้นกลางมีความเข้มข้นต่ำสุด (ภาพที่ 30) สำหรับในชั้นกลางมีความเข้มข้น PAHs ใน TSP ต่ำสุดทั้งนี้เพราะว่าในชั้นกลางนั้นมีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงมาก ซึ่งสูงกว่าชั้นล่างและชั้นบนประมาณสองเท่า ดังนั้นการเกิดกระบวนการย่อยสลายด้วยแสงหรือปฏิกิริยา Photodegradation และการทำปฏิกิริยากับก๊าซต่างๆ อาทิเช่น ก๊าซโอโซน ออกไซด์ของไนโตรเจน และอนุมูลอิสระ OH radical ในชั้นกลางจึงสามารถเกิดขึ้นได้ดี จากสัดส่วนของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อ PAHs ใน TSP พบว่าในชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 181.03 % ส่วนในชั้นกลางมีค่าเท่ากับ 177.06 % และลักษณะเฉพาะอีกประการหนึ่งของพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครคือการกระจายตัวของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูงมีการเรียงลำดับอัตราส่วนของกลุ่ม B[b]F, B[e]P, B[a]P และ B[k]F ที่เหมือนกันคือ B[b]F > B[e]P > B[a]P > B[k]F ซึ่งแสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) และปฏิกิริยาต่างวิฤภาค (Heterogeneous) กับก๊าซโอโซน อนุมูลอิสระ OH และออกไซด์ของไนโตรเจน และกลุ่มของ PAHs ที่พบมากในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร คือ Fluo, Pyr และ Phe ซึ่งเป็นกลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ และนอกจากนี้ยังพบกลุ่มของ B(a)P, Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P ซึ่งเป็นกลุ่มมวลโมเลกุลสูง และพบว่าความเข้มข้นของ Phe, Pyr, B(a)P, Ind และ B[g,h,i]P มีค่าต่ำในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์



ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

จากการเทียบอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs ต่อกระบวนการย่อยสลายด้วยแสงหรือปฏิกิริยา Photodegradation และการทำปฏิกิริยากับก๊าซต่างๆ อาทิเช่น โอโซน ออกไซด์ของไนโตรเจนและอนุมูลอิสระ OH radical เป็นต้น เนื่องจาก B(a)P มีความไวในการถูกย่อยสลายโดยแสงได้ง่าย (Photosensitive) กล่าวคือ มีความเสถียรน้อยมากเมื่อเทียบกับ B(e)P ซึ่งถูกจัดว่าเป็น PAHs ที่มีความเสถียรมากที่สุด (Behymer and Hites, 1988) พบว่าอัตราส่วนระหว่าง B(a)P/B(e)P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.353, 0.391 และ 0.492 ตามลำดับ จากอัตราส่วนจะเห็นได้ว่าในชั้นบนมีความเสถียรของ PAHs สูงที่สุด

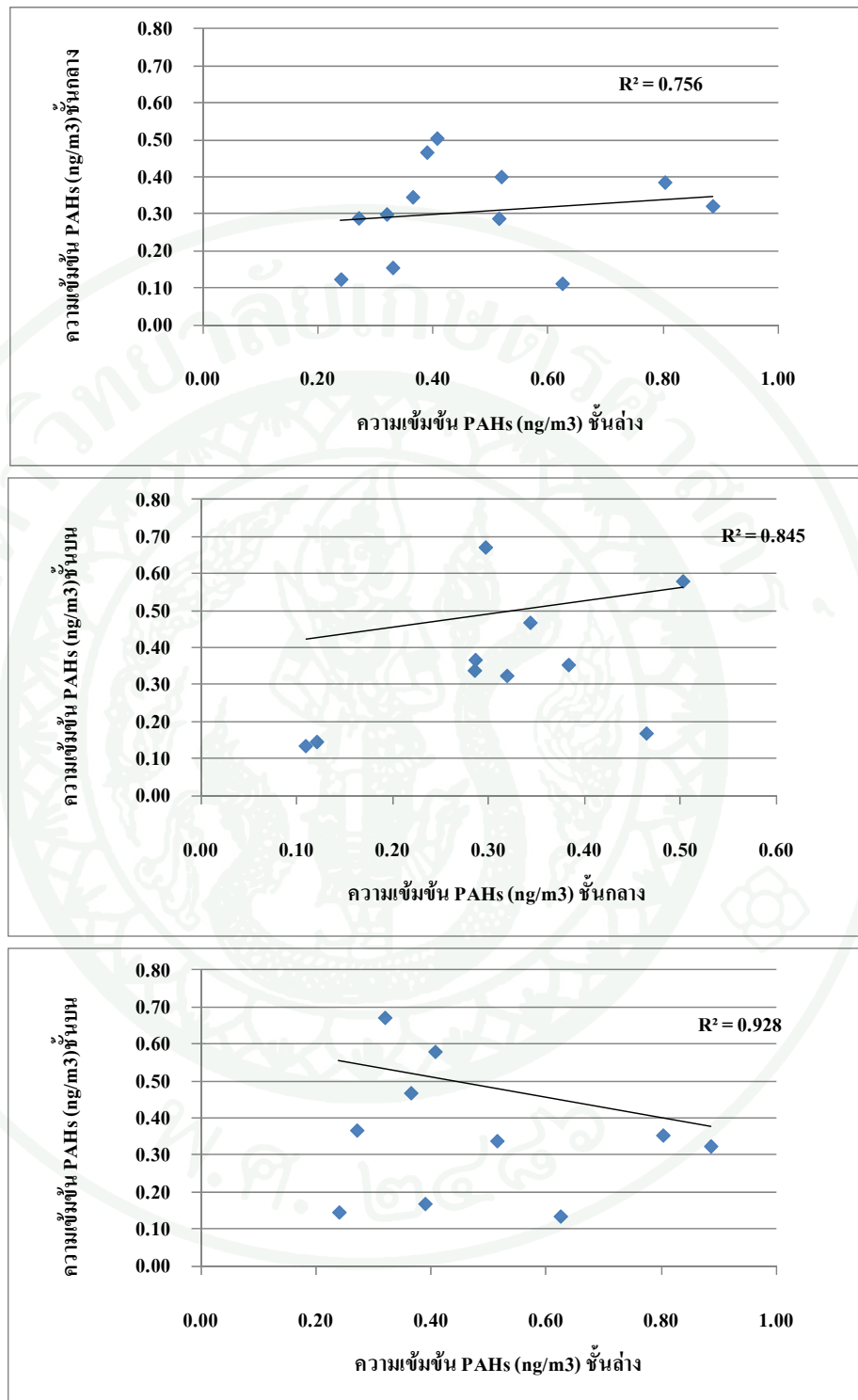
จากการพิจารณาสัดส่วนของ PAHs ใน PM_{10} /PAHs ใน TSP ในพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร พบว่าสัดส่วนของ PAHs ใน PM_{10} /PAHs ใน TSP มีค่าสูงสุดในชั้นล่างเท่ากับ 1.81 และมีค่าต่ำสุดในชั้นบนเท่ากับ 0.38 นั้นแสดงให้เห็นว่าในชั้นล่างความเข้มข้นของ PAHs ที่อยู่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร มีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องจากในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

มีแหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็กมาจากการจราจรเป็นสำคัญ ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงที่ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรจะมีค่าสูงมากในชั้นล่างและชั้นกลาง

ตารางที่ 11 สัดส่วนความเข้มข้น PAHs ใน PM₁₀/ PAHs ใน TSP ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

	ความเข้มข้น PAHs ใน PM ₁₀ (ng m ⁻³)	ความเข้มข้น PAHs ใน TSP (ng m ⁻³)	สัดส่วนความเข้มข้น PAHs ใน PM ₁₀ / PAHs ใน TSP
ชั้นล่าง	12.158 ± 11.504	6.716 ± 3.519	1.81
ชั้นกลาง	5.951 ± 7.346	3.361 ± 1.227	1.77
ชั้นบน	2.776 ± 2.182	7.268 ± 5.609	0.38

เมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมในระหว่างชั้นความสูง พบว่าในชั้นล่างกับชั้นกลาง ชั้นกลางกับชั้นบน มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) เท่ากับ 0.756, 0.845 สำหรับชั้นล่างกับชั้นบนมีค่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ 0.928 (ภาพที่ 31) นั้นแสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ในชั้นบนนี้ไม่ได้มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันกับชั้นล่างซึ่งมาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลัก



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs ใน TSP ในระหว่างชั้นความสูง

ตารางที่ 12 อัตราส่วนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม บริเวณพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

PAHs	อัตราส่วนของระดับความเข้มข้น(%)		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
Phe	4.91	6.31	5.63
An	1.71	ND	2.43
Fluo	11.66	15.60	13.56
Pyr	16.24	16.70	13.43
11H-B[a]F	3.33	2.68	2.11
11H-B[b]F	1.09	1.56	1.42
B[a]A	4.57	4.71	3.89
Chry	12.64	13.88	11.71
B[b]F	8.98	19.72	10.50
B[k]F	1.36	2.55	2.00
B[e]P	5.94	11.73	5.17
B[a]P	2.10	4.57	2.55
Ind	12.44	ND	13.44
D[a,h]A	2.28	ND	3.45
B[g,h,i]P	10.75	ND	8.71

ตารางที่ 13 ค่าเฉลี่ย, ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน, ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng m^{-3}) ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

ชนิด	ชั้นล่าง				ชั้นกลาง				ชั้นบน			
	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX
Phe	0.329	0.133	0.210	0.478	0.212	0.067	0.158	0.311	0.409	0.270	0.225	0.799
An	0.115	0.023	0.100	0.148	ND	N.D.	N.D.	N.D.	0.177	0.096	0.102	0.315
Fluo	0.783	0.299	0.558	1.211	0.524	0.157	0.349	0.711	0.985	0.773	0.449	2.094
Pyr	1.091	0.454	0.729	1.713	0.561	0.171	0.352	0.712	0.976	0.658	0.518	1.914
11H-B[a]F	0.224	0.336	0.006	0.611	0.090	0.055	0.020	0.154	0.154	0.120	0.043	0.258
11H-B[b]F	0.073	0.044	0.025	0.132	0.052	0.033	0.011	0.089	0.103	0.091	0.022	0.201
B[a]A	0.307	0.195	0.106	0.552	0.158	0.085	0.073	0.244	0.282	0.261	0.063	0.618
Chry	0.849	0.671	0.399	1.823	0.467	0.193	0.209	0.621	0.851	0.832	0.229	2.010
B[b]F	0.603	0.215	0.323	0.846	0.663	0.215	0.386	0.859	0.763	0.395	0.413	1.329
B[k]F	0.091	0.044	0.040	0.146	0.086	0.035	0.045	0.119	0.146	0.131	0.059	0.340
B[e]P	0.399	0.175	0.199	0.621	0.394	0.150	0.220	0.548	0.376	0.348	0.126	0.891
B[a]P	0.141	0.080	0.064	0.236	0.154	0.066	0.078	0.220	0.185	0.208	0.060	0.495
Ind	0.836	0.262	0.646	1.224	ND	N.D.	N.D.	N.D.	0.977	0.710	0.387	1.884
D[a,h]A	0.153	0.224	0.012	0.411	ND	N.D.	N.D.	N.D.	0.251	0.328	0.027	0.731
B[g,h,i]P	0.722	0.364	0.374	1.217	ND	N.D.	N.D.	N.D.	0.633	0.388	0.310	1.195
AVER	0.448	0.235	0.253	0.758	0.306	0.111	0.173	0.417	0.484	0.374	0.202	1.005

ตารางที่ 13 (ต่อ)

หมายเหตุ AVER: ค่าเฉลี่ย, STDEV: ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน, MIN: ค่าต่ำสุด, MAX: ค่าสูงสุด, N.D.: Not Detected

Phe: Phenanthrene, An: Anthracene, Fluo: Fluoranthene, Pyr: Pyrene, 11H-B[a]F: 11H-Benzo[a]Fluoranthene, 11H-B[b]F: 11H-Benzo[b]Fluoranthene, B[a]A: Benzo[a]Anthracene, Chry: Chrysene, B[b]F: Benzo[b]Fluoranthene, B[k]F: Benzo[k]Fluoranthene, B[e]P: Benzo[e]Pyrene, B[a]P: Benzo[a]Pyrene, Ind: Indeno[g,h,i]pyrene, D[a,h]A: Dibenzo[a,h]Anthracene, B[g,h,i]P: Benzo[g,h,i]Perylene

2.3 พื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

2.3.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม ระหว่างวันที่ 25–28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลาอาคารจอดรถโรงแรมเซนทรัลคิงดอม พบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าระหว่าง N.D.–10.254 ng m⁻³ และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิด เฉลี่ยในระยะเวลา 3 วัน พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.797 ± 0.534 ng m⁻³ (ตารางที่ 16) อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรก ในฝุ่นละอองรวม ได้แก่ Chry (15.82 %) รองลงมาคือ Ind (13.98 %), B[b]F (11.61 %), Pyr (10.93 %) และ B(a)A (10.16 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 15) จะสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนของ Ind ซึ่งเป็น PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลเพื่อการเกษตรมีค่าสูง นอกจากนี้อัตราส่วนของ B[b]F และ B[g,h,i]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มาจากไอเสียจากยานพาหนะก็มีค่าสูงเช่นกัน สะท้อนให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดสองแหล่งที่สำคัญในจังหวัดเชียงใหม่

B(a)P และ B(g,h,i)P เป็นดัชนีชี้วัดการปลดปล่อยของไอเสียจากยานพาหนะ ประกอบกับ B(a)P เป็น PAHs ที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาสูง (Park *et al.*, 2002) ซึ่งจากอัตราส่วนของระดับความเข้มข้น B(a)P และ B(g,h,i)P มีค่าเท่ากับ 3.59 % และ 9.45 % ซึ่งมีค่าสูงเช่นกัน แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมในชั้นล่างนี้มาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลัก นอกจากนี้จากอัตราส่วนระหว่าง Ind/[Ind + B(g,h,i)P] ซึ่ง Ind และ B(g,h,i)P เป็น PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า 250 โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนเบนซินมากกว่า 4 วง ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า (Ravindra *et al.*, 2006) จากอัตราส่วนมีค่าเท่ากับ 0.597 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาไหม้ของชีวมวล (ตารางที่ 7) จากอัตราส่วนสามารถบอกได้ถึงแหล่งกำเนิดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมในจังหวัดเชียงใหม่มาจากการเผาไหม้ชีวมวล เช่น การเผาหญ้า เอาเศษวัสดุ การเกษตร การเผาไร่ นา เผาป่า ซึ่งในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างในช่วงฤดูแล้งและมีการเผาการเผาไร่ นา เผาป่า จนเกิดเป็นปัญหามลพิษหมอกควัน

2.3.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม ระหว่างวันที่ 25–28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลฟ้าโรงแรมดิเอ็มพีเรียล แม่ปิ้ง พบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 12.231 ng m^{-3} และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน มาเฉลี่ยพบว่ามีความเท่ากับ $0.852 \pm 0.762 \text{ ng m}^{-3}$ (ตารางที่ 16) อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกในฝุ่นละอองรวม ได้แก่ Ind (20.52 %), B[b]F (13.63 %), B[g,h,i]P (13.37 %), B[e]P (10.20 %), Chry (9.65 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 15) จะสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนของ Ind ซึ่งเป็น PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลจากการเกษตรยังมีค่าสูงสุดในชั้นกลาง และอัตราส่วนของ B[b]F และ B[g,h,i]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มาจากไอเสียจากยานพาหนะก็มีค่าสูงเช่นกันซึ่งเหมือนกันกับชั้นล่าง ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความเสถียรต่อปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงและปฏิกิริยา Heterogeneous กับก๊าซโอโซน อนุมูลอิสระ OH radical และออกไซด์ของไนโตรเจน เนื่องจากมวลอากาศของชั้นล่างและชั้นกลางผสมเป็นเนื้อเดียวกันจนไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างในอัตราส่วนของ PAHs เช่น Ind ซึ่งเป็น PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ชีวมวลมีค่าสูงในชั้นล่างและชั้นกลาง แสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการเผาชีวมวลต่างๆ ในพื้นที่ที่มีต่อระดับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมในชั้นบรรยากาศจังหวัดเชียงใหม่ทั้งสองระดับชั้น

2.3.3 ชั้นบน

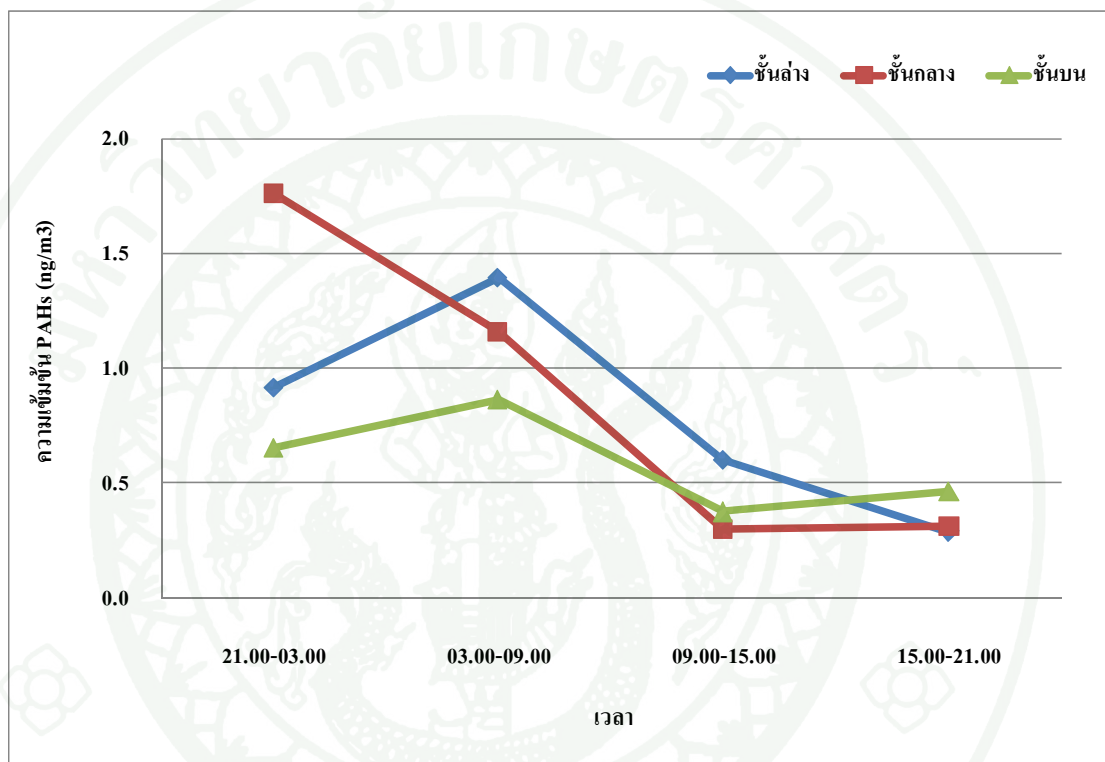
ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม ระหว่างวันที่ 25–28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณศาลฟ้าโรงแรมเชนทรัลดวงตะวัน พบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าระหว่าง N.D. – 3.918 ng m^{-3} และเมื่อนำผลรวมของ PAHs 15 ชนิดในระยะเวลา 3 วันมาเฉลี่ยพบว่ามีความเท่ากับ $0.508 \pm 0.278 \text{ ng m}^{-3}$ (ตารางที่ 16) อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกในฝุ่นละอองรวม ได้แก่ Pyr (17.73 %), Fluo (16.37 %), Chry (14.74 %), Ind (10.74 %), B(a)A (8.66 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 15) จะสังเกตเห็นว่าอัตราส่วนของ Ind, B[b]F และ B[g,h,i]P ลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นถึงกลไกบางอย่างที่คอยทำลายโครงสร้างทางเคมีของ Ind, B[b]F และ B[g,h,i]P ที่ส่งผลให้ระยะเวลาในการอยู่ในชั้นบรรยากาศของ PAHs ทั้งสามชนิดลดต่ำลง

จากอัตราส่วนความเข้มข้นของ PAHs จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของระดับความเข้มข้น B[b]F และ B[g,h,i]P (ตารางที่ 15) ซึ่งเป็น PAHs ที่มาจากไอเสียจากยานพาหนะในชั้นบน

กลับมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน และอัตราส่วนระหว่าง $\text{Ind}/[\text{Ind}+\text{B}(\text{g,h,i})\text{P}]$ มีค่าเท่ากับ 0.587 มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่มาจากการเผาไหม้ชีวมวล (ตารางที่ 7) แสดงว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมในชั้นบนมาจากแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ของชีวมวลต่างๆ

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ทั้ง 3 ระดับความสูงในพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าชั้นกลางมีความเข้มข้นสูงสุด และชั้นบนมีความเข้มข้นต่ำสุด (ภาพที่ 32) สำหรับในชั้นกลางมีความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP สูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมที่พบว่ามีค่าสูงสุดในชั้นกลาง (สุรัตน์ และคณะ, 2550) ประกอบกับในชั้นกลางบริเวณจุดเก็บตัวอย่างมีแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่มีลักษณะเป็นปล่องควันขนาดเล็กของอาคารอยู่ห่างออกไปทางทิศตะวันตกของจุดเก็บตัวอย่าง (ห่างประมาณ 150 เมตร) และเมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs ในชั้นล่างกับชั้นบนพบว่ามีค่า coefficient of determination (R^2) เท่ากับ 0.593 แสดงให้เห็นว่า PAHs มีการกระจายตัวจากชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบนมาก ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าพื้นที่ศึกษานี้มีความแตกต่างของความสูงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไม่มากนักเมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร และอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา และแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ใน TSP พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มาจากการจราจรและการเผาไหม้ชีวมวล จากอัตราส่วนระหว่าง $\text{B}(\text{a})\text{P}/\text{B}(\text{e})\text{P}$ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs พบว่าอัตราส่วนระหว่าง $\text{B}(\text{a})\text{P}/\text{B}(\text{e})\text{P}$ ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบนมีค่าเท่ากับ 0.564, 0.535 และ 0.782 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนระหว่าง $\text{B}(\text{a})\text{P}/\text{B}(\text{e})\text{P}$ ของชั้นกลางมีค่าน้อยที่สุด แสดงให้เห็นถึง PAHs ในชั้นกลางมีความเสถียรน้อยกว่าชั้นล่างและชั้นบน ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซไอโซนในชั้นกลางที่พบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงที่สุดจึงปฏิกิริยาการย่อยสลายได้อย่างต่อเนื่อง และจากอัตราส่วนระหว่าง $\text{B}(\text{a})\text{P}/\text{B}(\text{e})\text{P}$ ของพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่พบว่ามีค่าความเสถียรสูงกว่าทุกพื้นที่ศึกษาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับความสูงผสมจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยพบว่าในช่วงที่อุณหภูมิสูงจะมีค่าความกดอากาศต่ำ ซึ่งเมื่อบรรยากาศมีความกดอากาศต่ำ จะทำให้มวลอากาศเบา ส่งผลให้ระดับความสูงผสมของบรรยากาศสูง ทำให้มลสารกระจายตัวในบรรยากาศได้ดี ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ ความกดอากาศจะมีค่าสูง ทำให้มวลอากาศหนักกดลงส่งผลให้ระดับความสูงผสมของบรรยากาศต่ำ ก่อให้เกิดการสะสมของสารในระดับสูง ดังนั้นจึงพบว่ามลสารต่างๆ จะมีความเข้มข้นสูงในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ ดังจะเห็นได้ว่าในช่วงที่เก็บตัวอย่างที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ในเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิก่อนข้างต่ำ โดยพบว่าในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 เวลา 12.00 นาฬิกา มีระดับความสูงผสมต่ำมากเมื่อเทียบกับระดับความสูงผสมของพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (สุรัตน์ และคณะ, 2550) เป็นผลให้ความเข้มข้นของ PAHs มีความสามารถในการคงอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานกว่า

ทุกพื้นที่ศึกษา และพบว่ากลุ่มของ PAHs ที่พบมากในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ คือ Fluo , Pyr ซึ่งเป็นกลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ และนอกจากนี้ยังพบกลุ่มของ B(a) P, B(e) P, B(b) F, Ind , D[a,h]A และ B[g,h,i]P ซึ่งเป็นกลุ่มมวลโมเลกุลสูง และพบว่าความเข้มข้นของ Pyr , B(a) P และ B(a) A มีค่าต่ำในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์



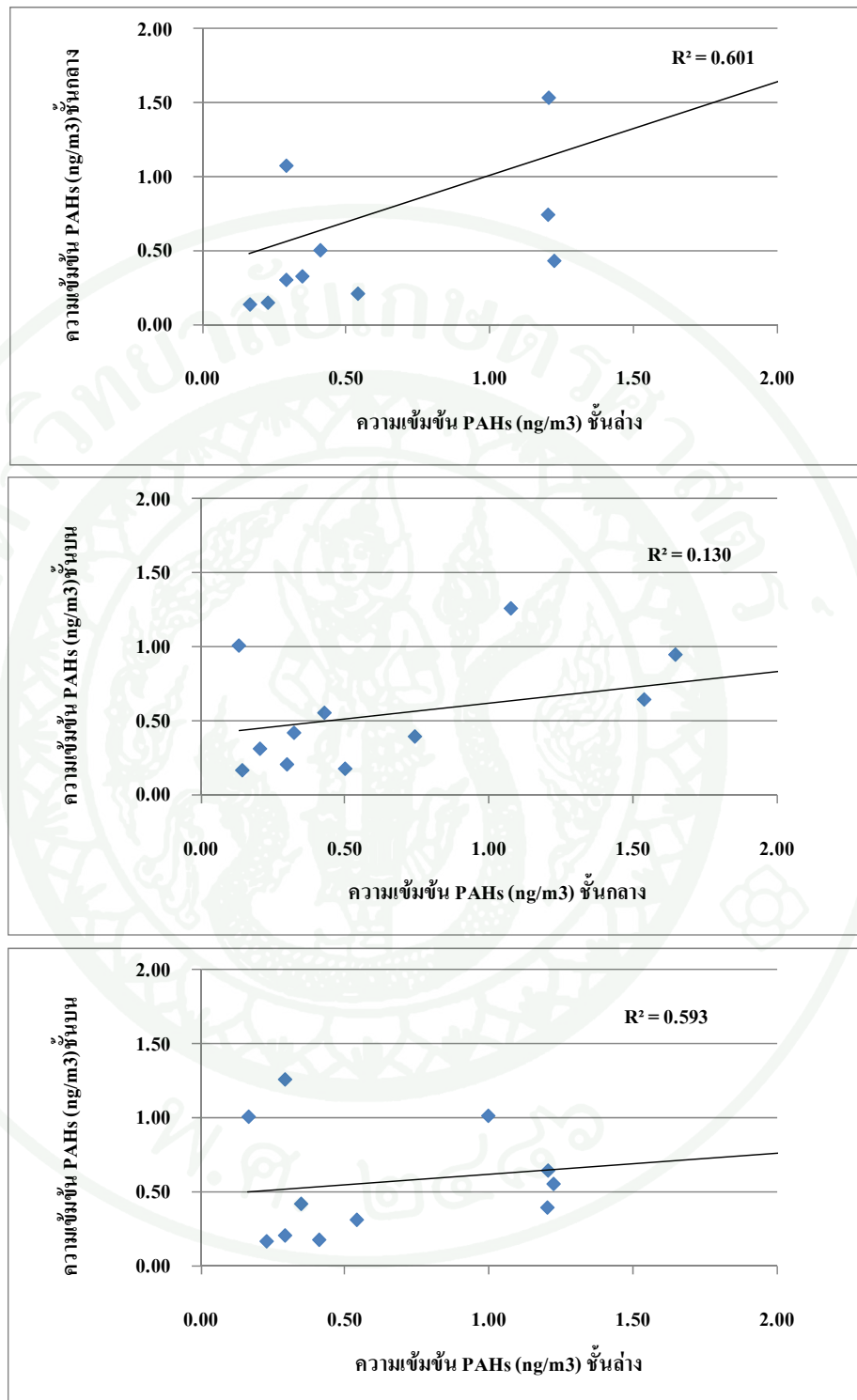
ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

จากการพิจารณาสัดส่วนของ PAHs ใน PM_{10} / PAHs ใน TSP ในพื้นที่ศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าสัดส่วนของ PAHs ใน PM_{10} / PAHs ใน TSP มีค่าสูงสุดในชั้นบน เท่ากับ 1.45 และมีค่าต่ำสุดในชั้นกลางเท่ากับ 1.03 จากสัดส่วนจะเห็นได้ว่าในพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าสัดส่วนสูงกว่าหนึ่งทั้งสามระดับชั้นความสูง นั้นแสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ในพื้นที่ศึกษานี้มาจากฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เป็นสำคัญ

ตารางที่ 14 สัดส่วนความเข้มข้น PAHs ใน PM₁₀/ PAHs ใน TSP บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง
จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551

	ความเข้มข้น PAHs ใน PM ₁₀ (ng m ⁻³)	ความเข้มข้น PAHs ใน TSP (ng m ⁻³)	สัดส่วนความเข้มข้น PAHs ใน PM ₁₀ / PAHs ใน TSP
ชั้นล่าง	12.774±10.618	11.156±7.471	1.14
ชั้นกลาง	13.176±11.38	12.785±10.668	1.03
ชั้นบน	11.768±13.33	8.122±3.886	1.45

เมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) ของความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในระหว่างชั้นความสูง พบว่าในชั้นล่างกับชั้นกลาง ชั้นกลางกับชั้นบน และชั้นล่างกับชั้นบนมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (coefficient of determination) เท่ากับ 0.601, 0.130 และ 0.593 ตามลำดับ (ภาพที่ 33) แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ระหว่างชั้นล่างกับชั้นบนมีความสัมพันธ์กันสูง มีการกระจายตัวของ PAHs จากชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบนมาก



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น PAHs ใน TSP ระหว่างชั้นความสูง

ตารางที่ 15 อัตราส่วนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม บริเวณพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551

PAHs	อัตราส่วนของระดับความเข้มข้น(%)		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
Phe	2.34	1.42	4.29
An	0.90	0.51	2.75
Fluo	9.73	5.56	16.37
Pyr	10.93	6.46	17.73
11H-B[a]F	1.60	0.86	2.14
11H-B[b]F	1.59	0.91	1.67
B[a]A	10.16	4.83	8.66
Chry	15.82	9.65	14.74
B[b]F	11.61	13.63	3.98
B[k]F	1.94	2.96	1.34
B[e]P	6.36	10.20	4.51
B[a]P	3.59	5.46	3.53
Ind	13.98	20.52	10.74
D[a,h]A	ND	3.65	ND
B[g,h,i]P	9.45	13.37	7.56

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ย, ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน, ค่าต่ำสุด และค่าสูงสุดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng m^{-3}) 25–28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ชนิด	ชั้นล่าง				ชั้นกลาง				ชั้นบน			
	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX
Phe	0.261	0.167	0.120	0.474	0.182	0.069	0.111	0.271	0.349	0.095	0.255	0.481
An	0.100	0.069	0.041	0.188	0.065	0.035	0.032	0.112	0.223	0.111	0.126	0.381
Fluo	1.086	0.846	0.246	2.263	0.711	0.420	0.340	1.170	1.329	0.168	1.112	1.521
Pyr	1.219	0.865	0.305	2.392	0.826	0.542	0.340	1.414	1.440	0.186	1.222	1.662
11H-B[a]F	0.178	0.099	0.046	0.282	0.110	0.090	0.033	0.233	0.174	0.070	0.114	0.250
11H-B[b]F	0.177	0.129	0.040	0.352	0.116	0.084	0.045	0.212	0.135	0.053	0.068	0.188
B[a]A	1.134	1.142	0.102	2.766	0.618	0.637	0.094	1.419	0.703	0.440	0.296	1.286
Chry	1.765	1.817	0.245	4.261	1.234	1.150	0.233	2.528	1.197	0.683	0.560	1.938
B[b]F	1.295	0.357	0.922	1.672	1.742	1.354	0.838	3.720	0.323	0.176	0.115	0.545
B[k]F	0.217	0.129	0.112	0.381	0.378	0.345	0.108	0.853	0.109	0.094	0.023	0.228
B[e]P	0.710	0.312	0.432	1.035	1.304	1.253	0.408	3.089	0.367	0.305	0.087	0.762
B[a]P	0.401	0.319	0.123	0.709	0.698	0.702	0.091	1.504	0.287	0.303	0.044	0.714
Ind	1.559	0.683	0.673	2.303	2.624	2.457	0.768	5.997	0.872	0.678	0.160	1.778
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND	0.467	ND	0.467	0.467	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	1.054	0.537	0.538	1.643	1.710	1.530	0.517	3.733	0.614	0.524	0.121	1.306
AVER	0.797	0.534	0.282	1.480	0.852	0.762	0.295	1.781	0.580	0.278	0.307	0.932

ตารางที่ 16 (ต่อ)

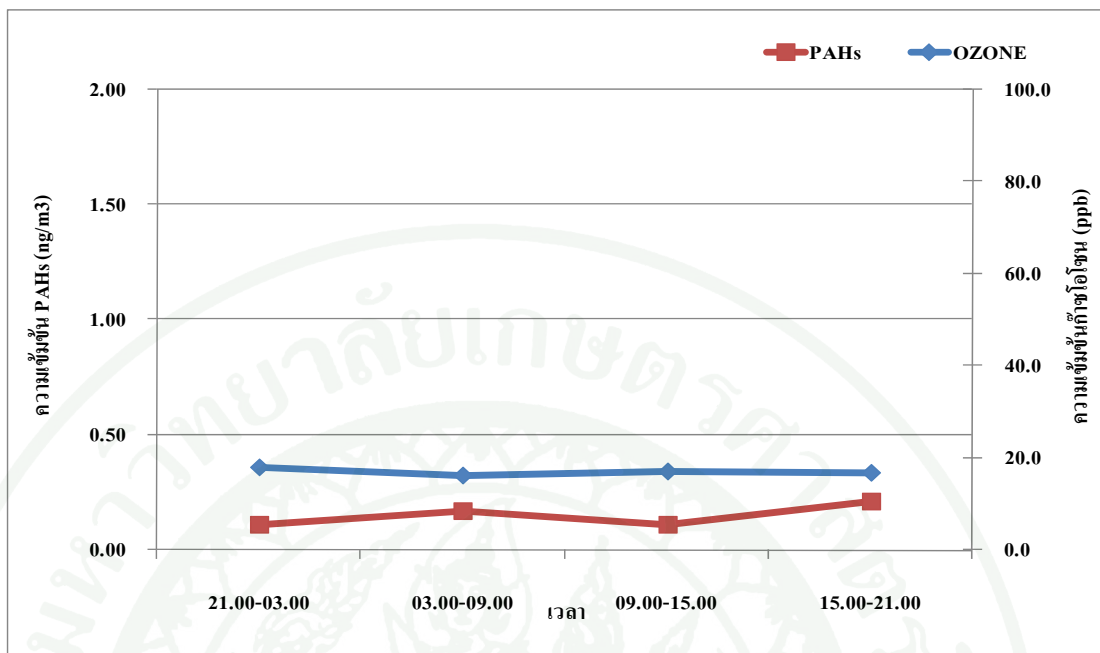
หมายเหตุ AVER: ค่าเฉลี่ย, STDEV: ค่ามาตรฐานเบี่ยงเบน, MIN: ค่าต่ำสุด, MAX: ค่าสูงสุด, N.D.: Not Detected
Phe: Phenanthrene, An: Anthracene, Fluo: Fluoranthene, Pyr: Pyrene, 11H-B[a]F: 11H-Benzo[a]Fluoranthene, 11H-B[b]F: 11H-Benzo[b]Fluoranthene, B[a]A: Benzo[a]Anthracene, Chry: Chrysene, B[b]F: Benzo[b]Fluoranthene, B[k]F: Benzo[k]Fluoranthene, B[e]P: Benzo[e]Pyrene, B[a]P: Benzo[a]Pyrene, Ind: Indeno[g,h,i]pyrene, D[a,h]A: Dibenzo[a,h]Anthracene, B[g,h,i]P: Benzo[g,h,i]Perylene

3. ความสัมพันธ์ของก๊าซโอโซนกับการเปลี่ยนแปลงสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particle; TSP) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (Particulate Matter; PM₁₀)

3.1 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

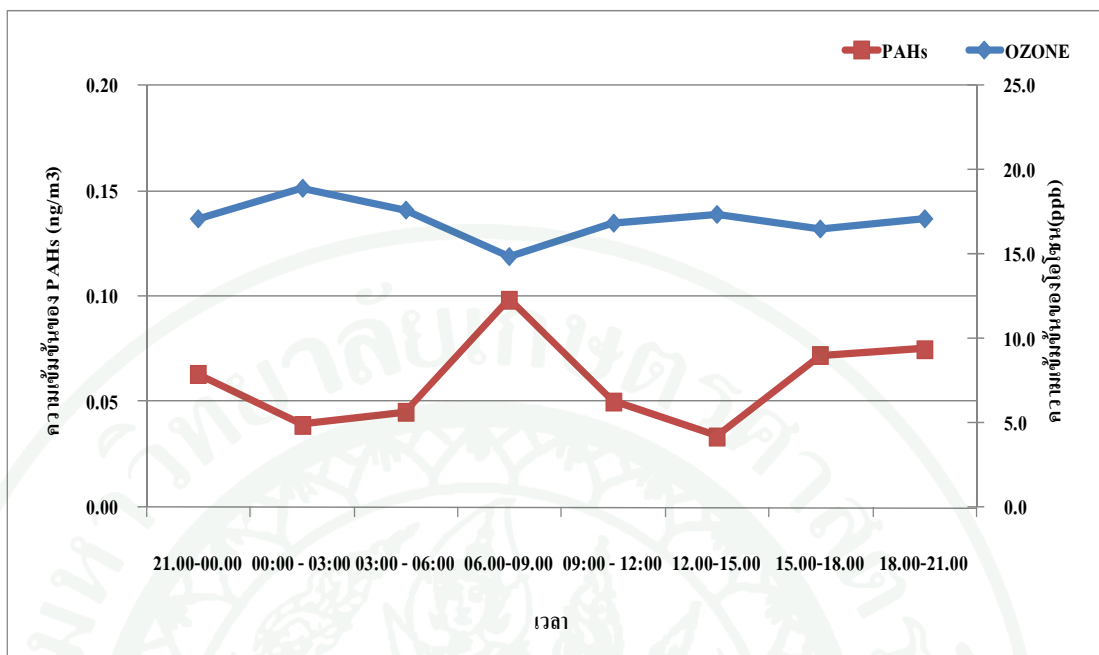
3.1.1 ชั้นล่าง

ในชั้นล่างการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน (Night time) และมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน (Day time) ซึ่งมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.225 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.111 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 18.01 ppb ช่วงเวลา 21.00-03.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 16.28 ppb ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 34) เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs ใน TSP และก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.017 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อโอโซนมีค่าสูง PAHs จะมีค่าต่ำเนื่องจาก PAHs เกิดปฏิกิริยา Photochemical degradation ด้วยแสงและปฏิกิริยา Hetrogeneous กับก๊าซโอโซน และอนุมูลอิสระ OH radical ทำให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้ดี (IPCS, 1998) ซึ่งจากการศึกษาของ Park *et al.* (2002) พบว่าก๊าซโอโซนมีอิทธิพลต่อการสลายตัวของ PAHs บางชนิดในชั้นบรรยากาศเมื่อความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงการเกิดปฏิกิริยา Photo-oxidation ของ PAHs สามารถเกิดได้ดี และนอกจากนี้ยังมีปัจจัยด้านความเข้มแสง อุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศที่มีผลในการเกิดปฏิกิริยา



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันในชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) จากการศึกษาของสุรัตน์ และคณะ (2550) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.099 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.034 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา (ภาพที่ 35) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนพบว่าก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 18.9 ppb ในช่วงเวลา 00.00-03.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 14.9 ppb ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูง ความเข้มข้นของ PAHs จะมีค่า และในช่วงเวลาที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนต่ำ ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่น PM_{10} จะมีค่าสูง และเมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs ใน PM_{10} กับก๊าซ โอโซน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.059 ซึ่งแสดงว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนและความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} นั้นมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของก๊าซโอโซนต่อ PAHs ใน TSP

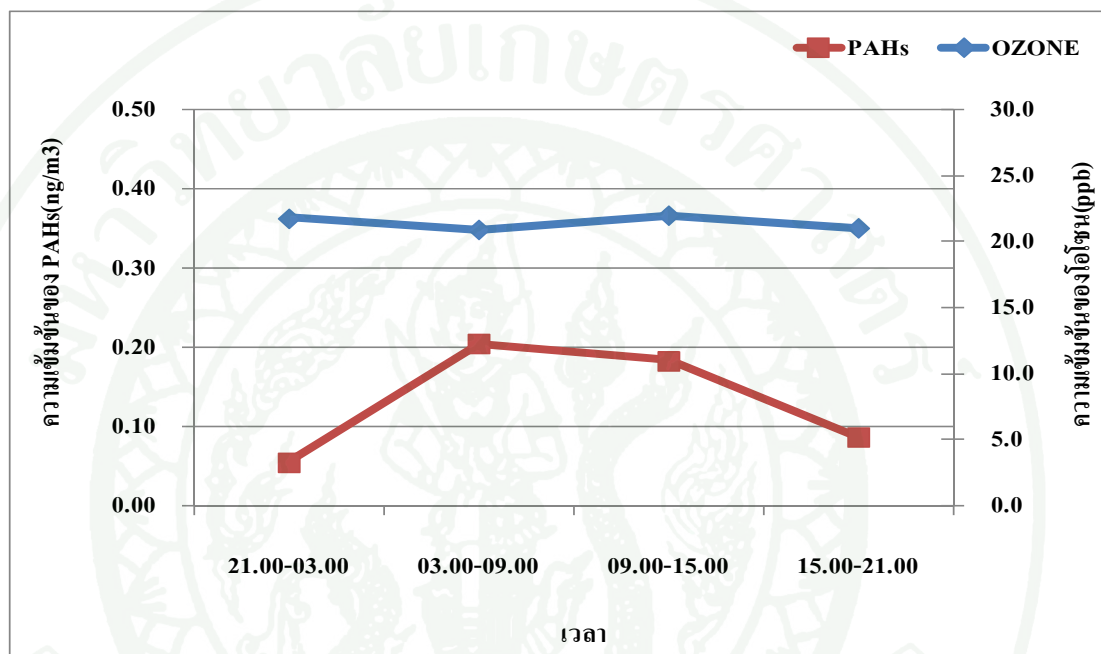


ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.2 ชั้นกลาง

ในชั้นกลางการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน (Night time) และลดลงในช่วงเวลากลางวัน (Day time) เช่นเดียวกับชั้นล่าง โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.203 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.054 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 21.91 ppb ในช่วงเวลา 09.00-15.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 20.54 ppb ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 36) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs กับก๊าซโอโซน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.083 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP กับก๊าซโอโซนในชั้นกลางมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อก๊าซโอโซนมีค่าสูง PAHs จะมีค่าต่ำเนื่องจากก๊าซโอโซนสูง การเกิดปฏิกิริยา Photo-oxidation ของ PAHs สามารถเกิดขึ้นได้ดี ประกอบกับ PAHs เกิดปฏิกิริยา Photochemical degradation ด้วยแสง ปฏิกิริยา Heterogeneous กับอนุมูลอิสระ OH radical ทำให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้ดี อีกทั้งในชั้นกลางนี้ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนนั้นมีปริมาณที่สูงกว่าชั้นล่าง เพราะก๊าซโอโซนนั้นเป็นมลสารทุติยภูมิต้องมีปัจจัยต่างๆ ในการเกิดปฏิกิริยาไม่ว่าจะเป็น

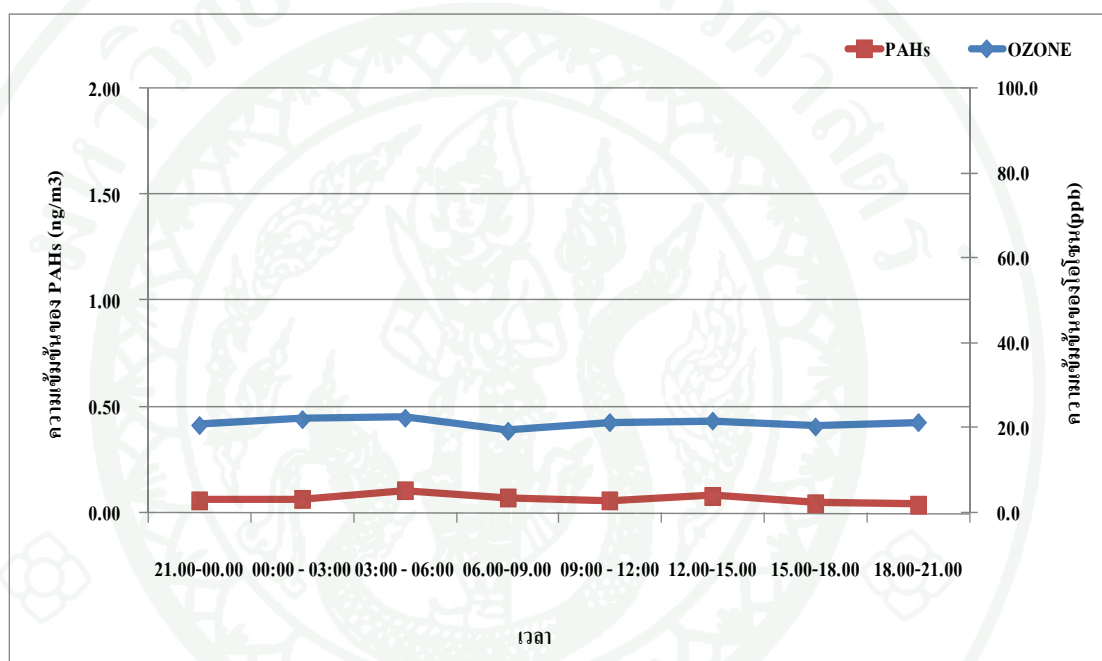
ปริมาณสารตั้งต้น ที่มาจากท่อไอเสียรถยนต์ ความเข้มแสงที่ได้รับ รวมถึงต้องอาศัยระยะทางและระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาส่งผลให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ได้ดียิ่งมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในชั้นกลางพบว่าค่าเฉลี่ยของ PAHs ทั้ง 15 ชนิดในชั้นกลางนี้มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.131 ng m^{-3} ซึ่งมีความเข้มข้นต่ำกว่าชั้นล่างและชั้นบนตามลำดับ



ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันในชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) จากการศึกษาระยะของสุรรัตน์ และคณะ (2550) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) มีค่าสูงสุด 0.107 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-06.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.042 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 22.5 ppb ในช่วงเวลา 03.00-06.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 19.5 ppb ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 37) เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs ใน PM_{10} กับก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.032 ซึ่งแสดงว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนกับความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} นั้นมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งสอดคล้องกันกับ

ผลของก๊าซโอโซน ต่อ PAHs ใน TSP ในชั้นกลาง อีกทั้งความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} นั้นมีความเข้มข้นต่ำสุดในชั้นกลางเพราะว่าในชั้นกลางกระแสลมจะพัดมาจากทางทิศตะวันออกเป็นหลัก ซึ่งจะแตกต่างจากชั้นล่าง และชั้นบนที่มีกระแสลมพัดมาจากทางทิศตะวันตกเป็นหลัก ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้ PAHs ในชั้นกลางมาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างจากชั้นล่าง และชั้นบน นอกจากนี้พบว่าแหล่งกำเนิดหลักในชั้นล่าง และชั้นกลางของพื้นที่ศึกษาจากการจราจร และชั้นบนมาจากการเผาไหม้ชีวมวลซึ่งเป็นไปตามหลักการแพร่กระจายมลพิษในระยะไกล (Long Range Transport)

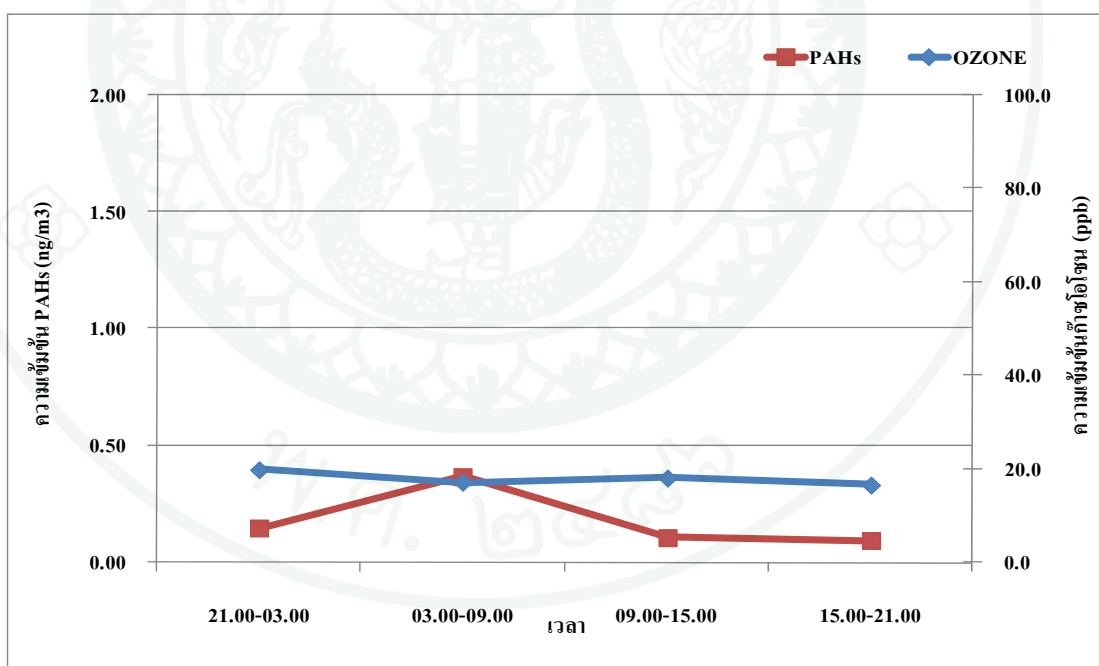


ภาพที่ 37 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.1.3 ชั้นบน

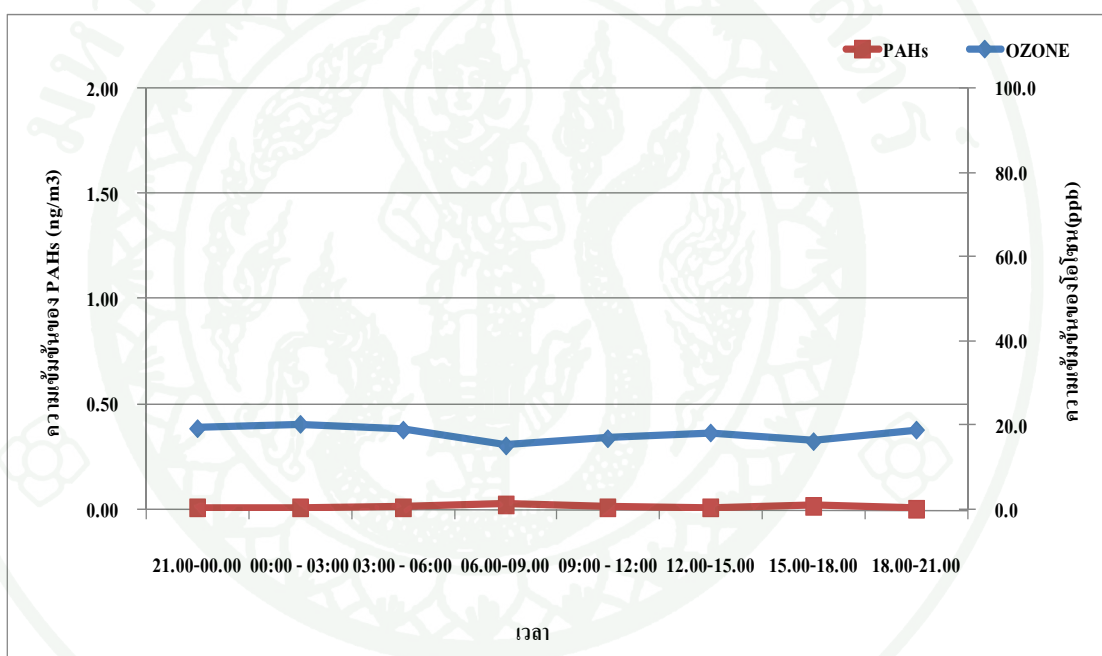
ในชั้นบนการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน (Night time) และลดลงในช่วงเวลากลางวัน (Day time) เช่นเดียวกันกับชั้นล่าง และชั้นกลางโดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.378 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.098 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 19.98 ppb ในช่วงเวลา 21.00-03.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 16.63 ppb ในช่วงเวลา 15.00-21.00

นาฬิกา (ภาพที่ 38) ซึ่งในช่วงเวลาที่ชั้นบรรยากาศได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ การเกิดปฏิกิริยา Photodegradation ด้วยแสงจากกระบวนการ Photolysis โดยตรงจากแสงที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่า 290 nm และกระบวนการ Photolysis ทางอ้อมด้วย Oxidizing Agent เช่น OH radical, ก๊าซโอโซน และ NO_x ในอากาศ การสลายตัวของ PAHs จึงสามารถเกิดขึ้นสูง (IPCS, 1998) และนอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงและก๊าซโอโซนมีปริมาณที่ต่ำ เช่น ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา ความเข้มข้นของ PAHs กลับมีความเข้มข้นที่สูงถึง 0.378 ng m^{-3} ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงจากดวงอาทิตย์และมี Oxidizing Agent ต่ำการย่อยสลายของ PAHs จะเกิดขึ้นได้ไม่ดีและยังคงเหลือ PAHs ตกค้างอยู่ในบรรยากาศสูง ประกอบกับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในชั้นบนนี้มีความเข้มข้นที่ต่ำกว่าชั้นกลาง ดังนั้นการย่อยสลายของ PAHs จึงเกิดขึ้นได้ไม่ต่อเนื่องเหมือนปฏิกิริยาในชั้นกลาง ซึ่งความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ที่เพิ่มขึ้นในชั้นบนนี้สอดคล้องกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมที่พบว่าในทั้ง 3 ระดับความสูงอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา พบว่าชั้นบนมีค่าสูงสุดเฉลี่ย 48.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สุรัตน์ และคณะ, 2550)



ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันในชั้นบน ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

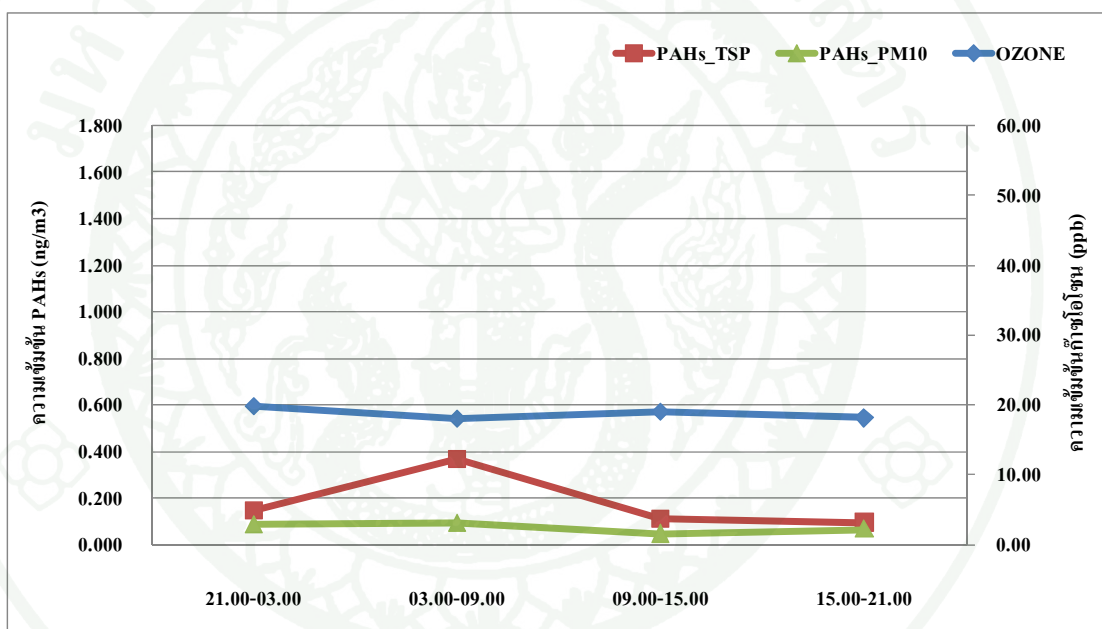
เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) จากการศึกษาของสุรัตน์ และคณะ (2550) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.030 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.010 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 20.3 ppb ในช่วงเวลา 00.00-03.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 15.5 ppb ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 39) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs ใน PM_{10} กับก๊าซโอโซน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.309 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} กับก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน



ภาพที่ 39 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซน สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน รวมทั้งสามระดับความสูง พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 19.91 ppb ในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 18.09 ppb ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา สำหรับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.368 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00

นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.095 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา (ภาพที่ 40) และความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (สุรตน์ และคณะ, 2550) พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.094 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.048 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา เป็นช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่มีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาดังกล่าว อีกทั้งสภาพทางอากาศในพื้นที่ศึกษาในวันสุดท้ายเริ่มมีฝนตกจึงก่อให้เกิดกระบวนการชะล้าง (Wet Deposition) อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของ PAHs มีค่าลดลง



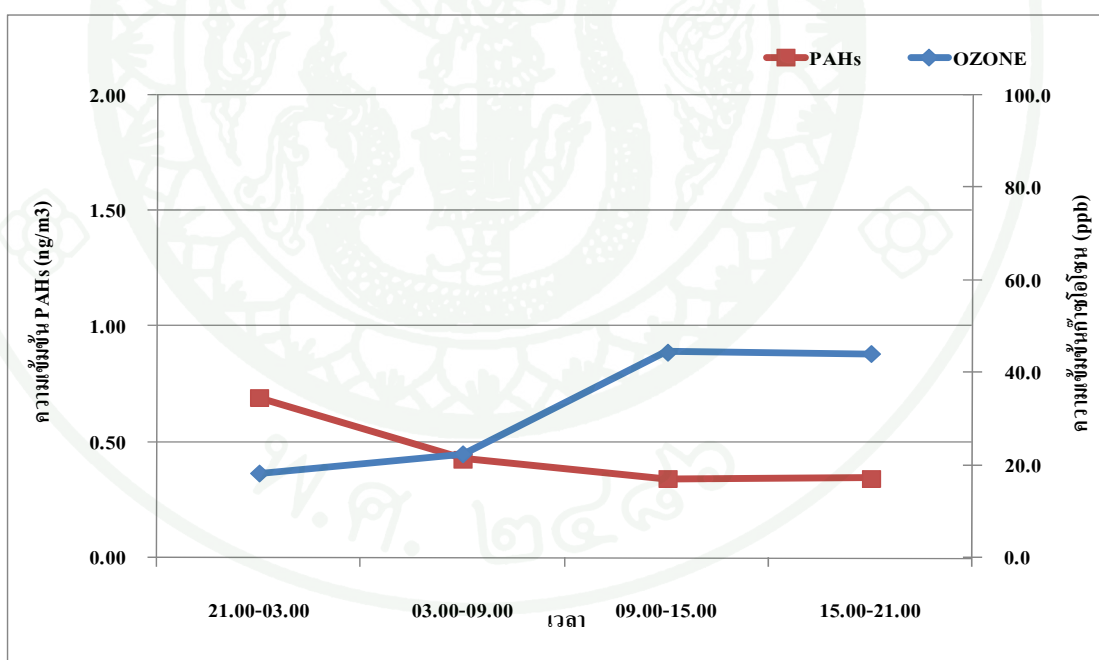
ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซน PAHs ในฝุ่นละอองรวม และ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เฉลี่ยทั้งสามระดับความสูง ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 ในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

3.2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

3.2.1 ชั้นล่าง

ในชั้นล่างการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน (Night time) และมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน (Day time) โดยมีค่าสูงสุด

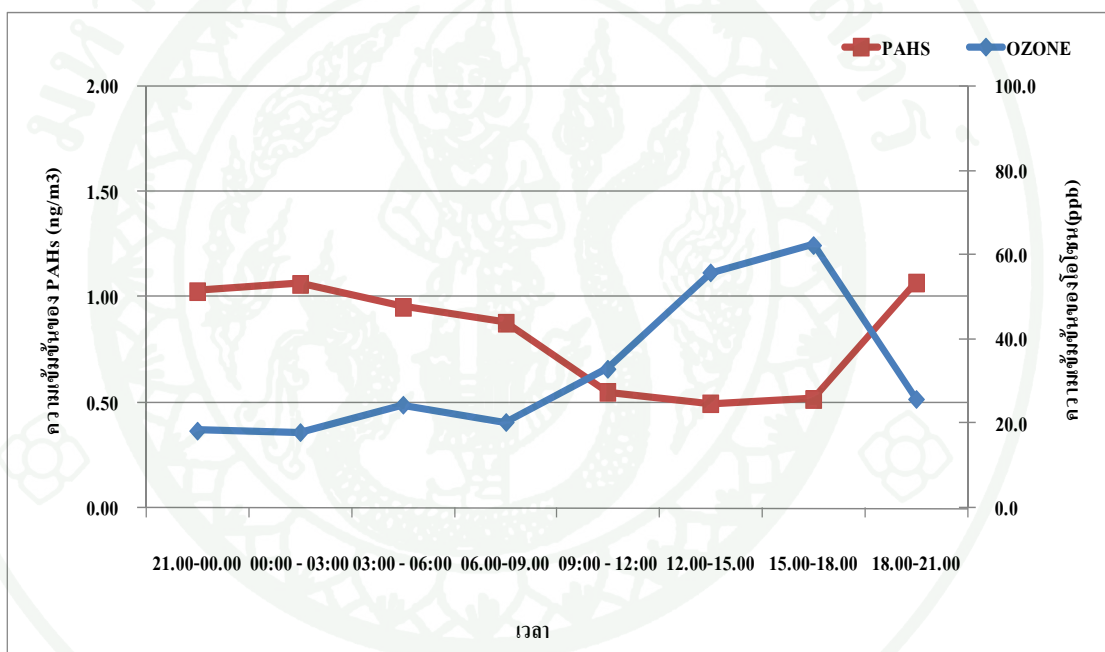
เท่ากับ 0.6943 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.3418 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 44.53 ppb ในช่วงเวลา 09.00-15.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 18.25 ppb ในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา (ภาพที่ 41) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.501 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน กล่าวคือเมื่อก๊าซโอโซนมีค่าสูง PAHs จะมีค่าต่ำ เนื่องจากก๊าซโอโซนมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยา Photo-oxidation ของ PAHs เกิดขึ้นได้ดี ประกอบกับ PAHs เกิดปฏิกิริยา Photochemical degradation ด้วยแสง และปฏิกิริยา Hetrogeneous กับอนุมูลอิสระ OH radical ทำให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้ดี (IPCS, 1998) และจากการศึกษาของ Park *et al.* (2002) พบว่าก๊าซโอโซนมีอิทธิพลต่อการสลายตัวของ PAHs บางชนิดในชั้นบรรยากาศ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงการเกิดปฏิกิริยา Photo-oxidation ของ PAHs สามารถเกิดขึ้นได้ดีและยังมีปัจจัยด้านความเข้มแสง อุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศ



ภาพที่ 41 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวัน
ชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) จากการศึกษาศูนย์ และคณะ (2550) พบว่า

ความเข้มข้นของ PAHs ใน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.072 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.498 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับก๊าซโอโซน พบว่าก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 62.5 ppb ในช่วงเวลา 15.00-18.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 18.0 ppb ในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา (ภาพที่ 42) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.420 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของก๊าซโอโซนต่อ PAHs ใน TSP ในชั้นล่างของพื้นที่ศึกษา

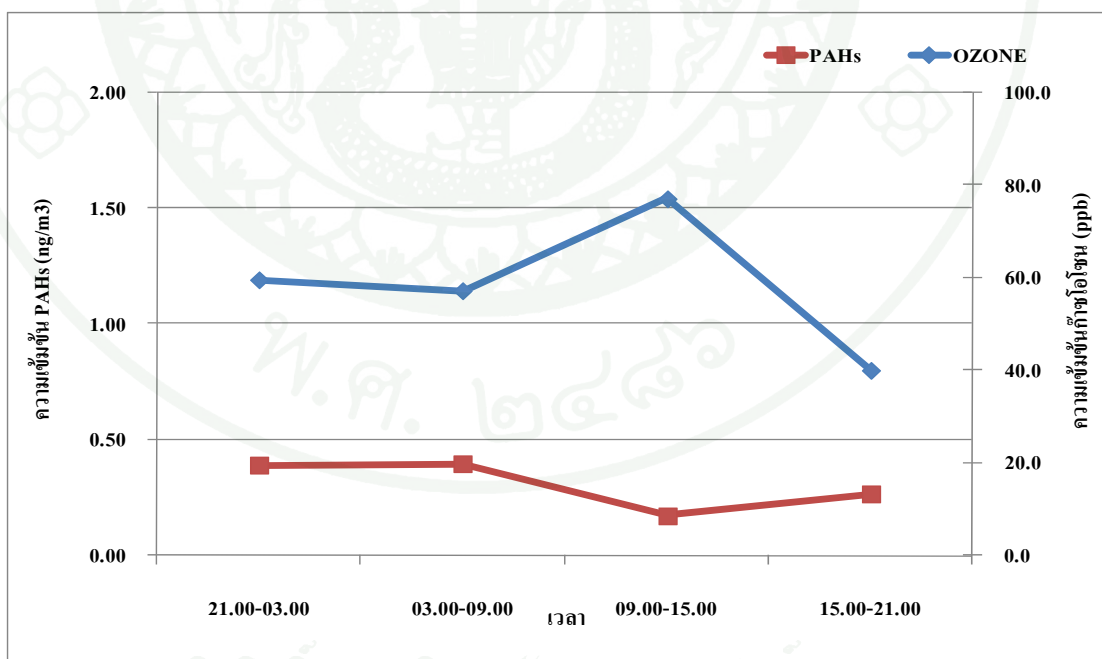


ภาพที่ 42 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

3.2.2 ชั้นกลาง

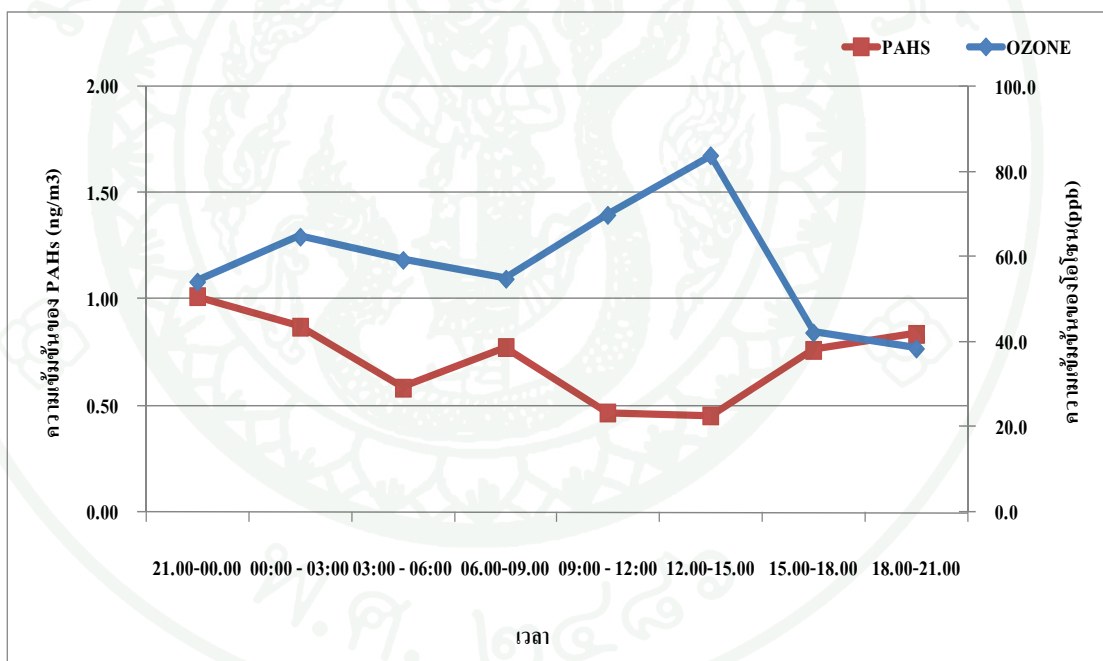
ในชั้นกลางการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน (Night time) และมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน (Day time) โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.3957 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.1730 ng m^{-3} ในช่วง

เวลา 09.00–15.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 77.23 ppb ในช่วงเวลา 09.00–15.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 40.15 ppb ในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา (ภาพที่ 43) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.276 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน พบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงในช่วงเวลากลางวัน ในขณะที่ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าน้อยมากในช่วงที่ก๊าซโอโซนมีปริมาณสูงเนื่องมาจากก๊าซโอโซนมีผลต่อการสลายตัวของ PAHs ในชั้นบรรยากาศ อีกทั้งในชั้นกลางนี้ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีปริมาณที่สูงกว่าชั้นล่างประมาณสองเท่าเพราะก๊าซโอโซนนั้นเป็นมลสารทุติยภูมิต้องมีปัจจัยต่างๆ ในการเกิดปฏิกิริยาไม่ว่าจะเป็นความเข้มแสงที่ได้รับ ปริมาณสารตั้งต้นที่มาจากท่อไอเสียรถยนต์ และระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณก๊าซโอโซนที่พบในชั้นกลางนี้สูงกว่าในชั้นล่างซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากก๊าซโอโซนสูงการเกิดปฏิกิริยา Photo-oxidation ของ PAHs เกิดขึ้นได้ดี ประกอบกับ PAHs เกิดปฏิกิริยา Photochemical degradation ด้วยแสง และปฏิกิริยา Hetrogeneous กับอนุมูลอิสระ OH radical ทำให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้ดี



ภาพที่ 43 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

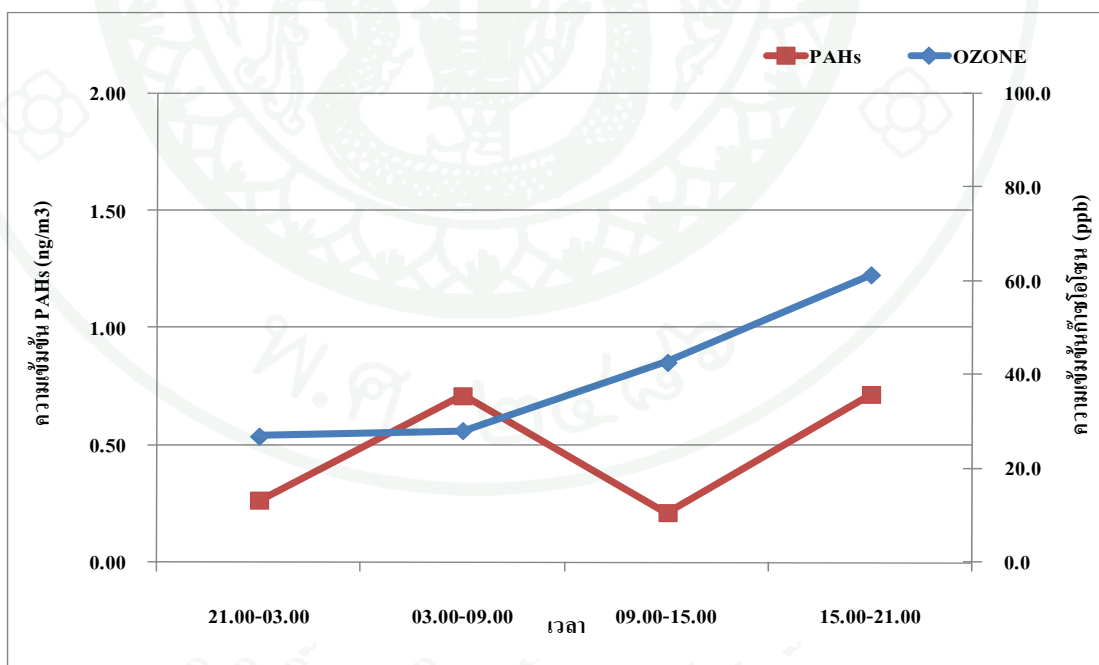
เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) จากการศึกษาของสุรัตน์ และคณะ (2550) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.017 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 21.00-00.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.454 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 83.8 ppb ในช่วงเวลา 12.00-15.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 38.6 ppb ในช่วงเวลา 18.00-21.00 นาฬิกา (ภาพที่ 44) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซน โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.48 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และก๊าซโอโซน มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของก๊าซโอโซน ต่อ PAHs ใน TSP ในชั้นกลาง



ภาพที่ 44 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซน เฉลี่ยในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

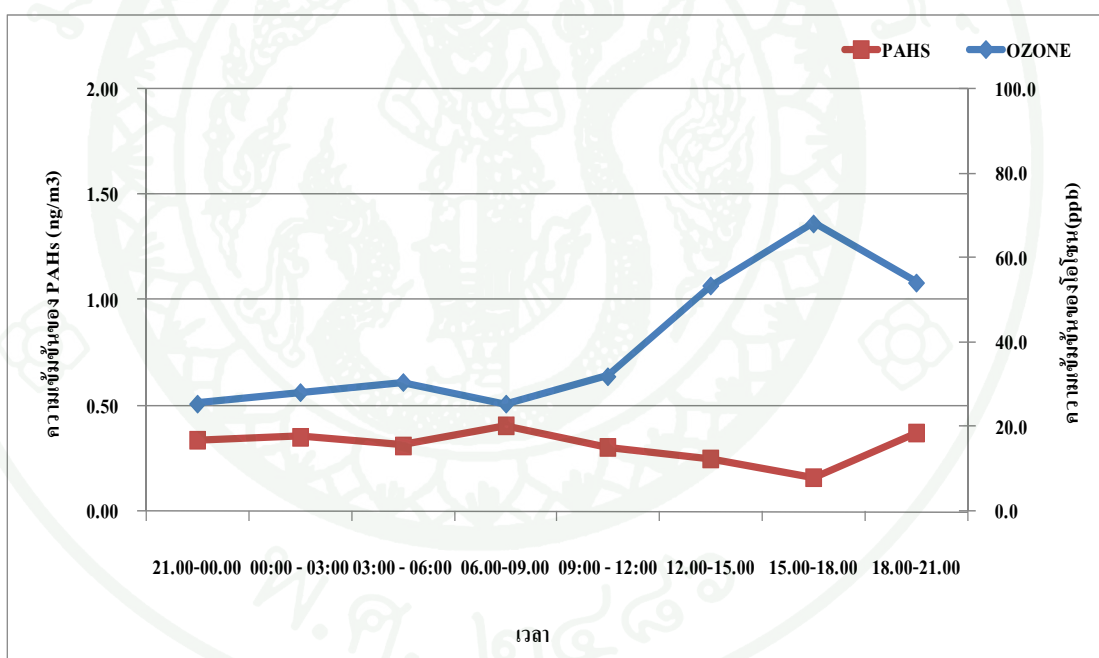
3.2.3 ชั้นบน

ในชั้นบนการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน (Night time) และมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน (Day time) โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.7157 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.2109 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 61.38 ppb ในช่วงเวลา 15.00-21.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 27.01 ppb ในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา (ภาพที่ 45) ช่วงเวลาที่ชั้นบรรยากาศได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มาก การเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลาย PAHs สามารถเกิดขึ้นได้ดีเนื่องจากปฏิกิริยา Photodegradation ด้วยแสง ประกอบก๊าซโอโซน ค่อยๆเพิ่มขึ้นกระบวนการ Photolysis ทางอ้อมด้วย Oxidizing Agent เช่น OH radical, ก๊าซโอโซน ทำให้การสลายตัวของ PAHs เกิดขึ้นได้ดี และนอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงเวลากลางคืนที่ไม่มีแสงและก๊าซโอโซน มีปริมาณที่ต่ำในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา ความเข้มข้นของ PAHs กลับมีความเข้มข้นที่สูงถึง $0.72131 \text{ ng m}^{-3}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงจากดวงอาทิตย์และมี Oxidizing Agent ในปริมาณที่ต่ำการย่อยสลายของ PAHs จะเกิดขึ้นได้ไม่ดีและยังคงเหลือ PAHs ตกค้างอยู่ในชั้นบรรยากาศสูง



ภาพที่ 45 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

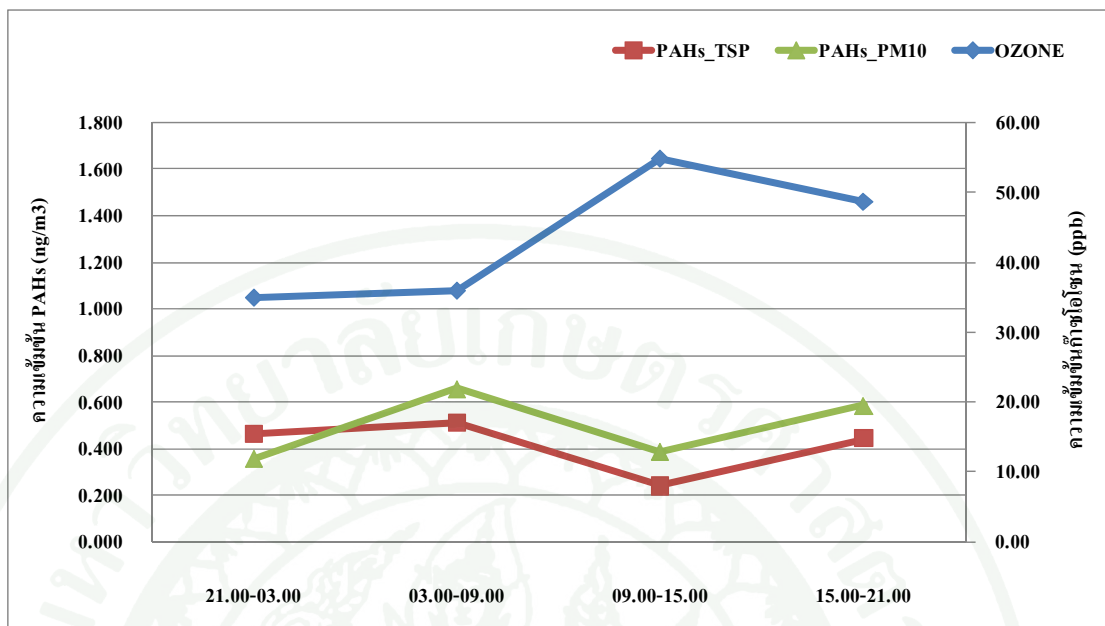
เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) จากการศึกษาของสุรัตน์ และคณะ (2550) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ในชั้นบนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.408 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.161 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 68.4 ppb ในช่วงเวลา 15.00-18.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 25.7 ppb ในช่วงเวลา 21.00-00.00 นาฬิกา (ภาพที่ 46) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.233 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกันซึ่งสอดคล้องกับผลของก๊าซโอโซนต่อ PAHs ใน TSP ในชั้นบน



ภาพที่ 46 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซน เฉลี่ยในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซน สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน รวมทั้งสามระดับความสูง พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 54.85 ppb ในช่วงเวลา 09.00-

15.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 34.96 ppb ในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา สำหรับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.5130 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.2420 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา (ภาพที่ 47) และความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (สุรรัตน์ และคณะ, 2550) พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.6598 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.3585 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา เป็นช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่มีค่าสูงสุดในช่วงเวลาดังกล่าว และจะเห็นได้ว่าในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงกว่าภาคใต้มาก ดังนั้นกลไกในการย่อยสลายของ PAHs ในช่วงที่มีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงจึงสามารถเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของ PAHs ในชั้นบรรยากาศลดลง ประกอบกับลักษณะทางสภาพทางอากาศที่ไม่มีฝนหรือเมฆ ดังนั้นผลของความแตกต่างอันเนื่องมาจากความสูงจึงเห็นได้ชัด ซึ่งในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิลดลงตามระดับความสูงด้วยอัตรา 0.6-1.1 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร (สุรรัตน์ และคณะ, 2550) ซึ่งจัดเป็นสภาพความคงตัวบรรยากาศ (Atmospheric stability) แบบคงตัว (Stable condition) ถึงแบบไม่คงตัว (Unstable condition) ส่วนในเวลากลางคืนพบว่า สภาพความคงตัวบรรยากาศเป็นแบบคงตัว (Stable condition)

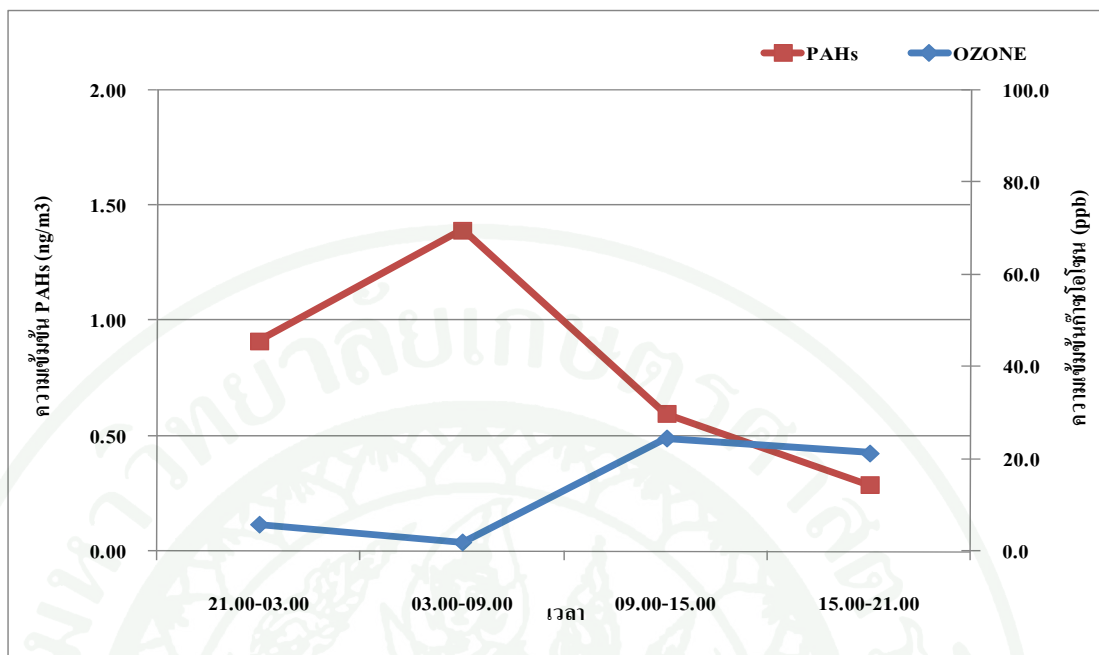


ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซน PAHs ในฝุ่นละอองรวม และ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เฉลี่ยทั้งสามระดับความสูง ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

3.3 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

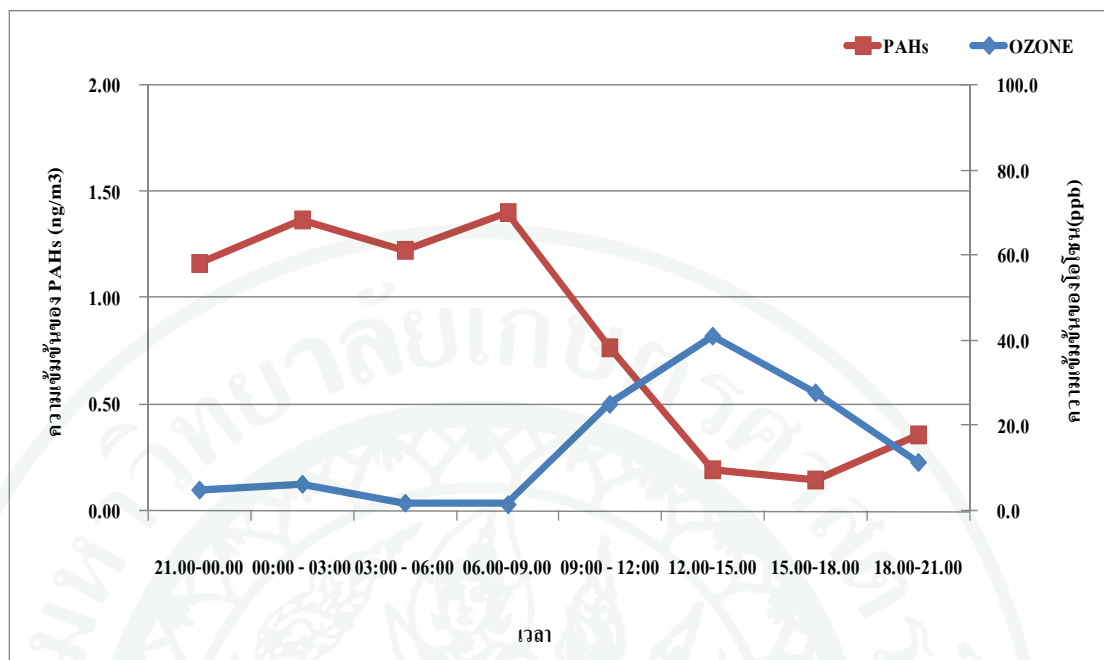
3.3.1 ชั้นล่าง

ในชั้นล่างการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน (Night time) และค่อยๆลดต่ำลงในช่วงเวลากลางวัน (Day time) โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.3952 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.2882 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 24.55 ppb ในช่วงเวลา 09.00-15.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2.02 ppb ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 48) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.531 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นความสัมพันธ์ของ PAHs กับ โอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน เนื่องจากก๊าซโอโซนมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยา Photo-oxidation ของ PAHs เกิดขึ้นได้ดี ประกอบกับ PAHs เกิดปฏิกิริยา Photochemical degradation ด้วยแสง และปฏิกิริยา Hetrogeneous กับอนุมูลอิสระ OH radical ทำให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้ดี (IPCS, 1998)



ภาพที่ 48 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

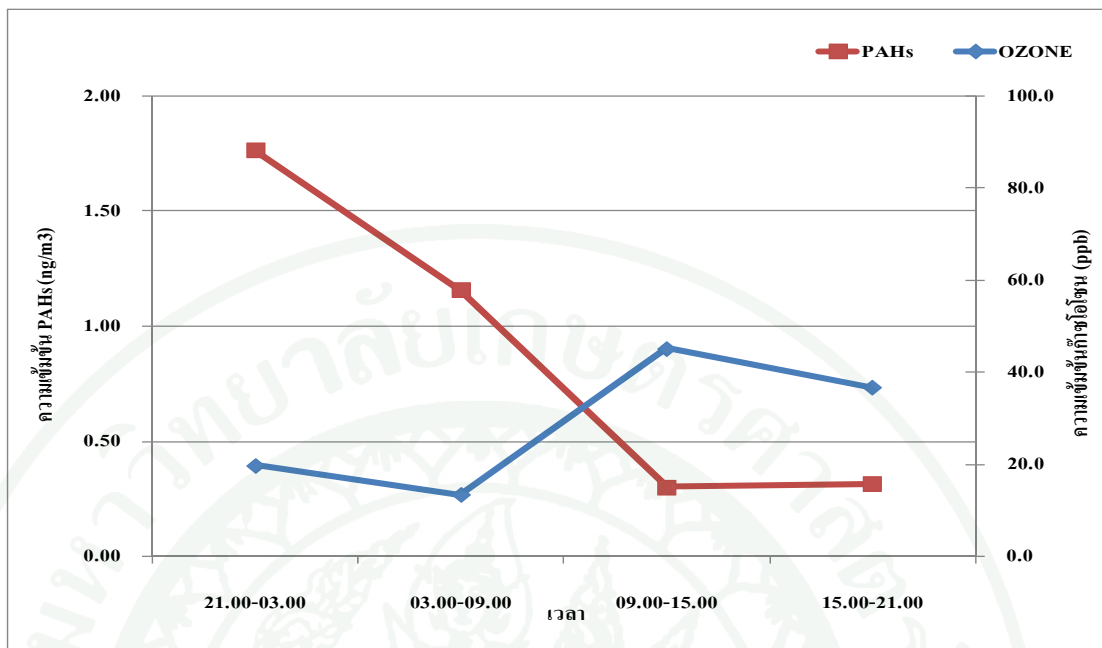
เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) จากการศึกษาก่อนหน้านี้ และคณะ (2550) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) ในชั้นล่างมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.3697 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 00.00-03.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.1491 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนพบว่าก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 41.2 ppb ในช่วงเวลา 12.00-15.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.8 ppb ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 49) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs กับก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.662 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs กับก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของก๊าซโอโซนต่อ PAHs ใน TSP ในชั้นล่าง



ภาพที่ 49 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นล่าง ระหว่างวันที่ 25- 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

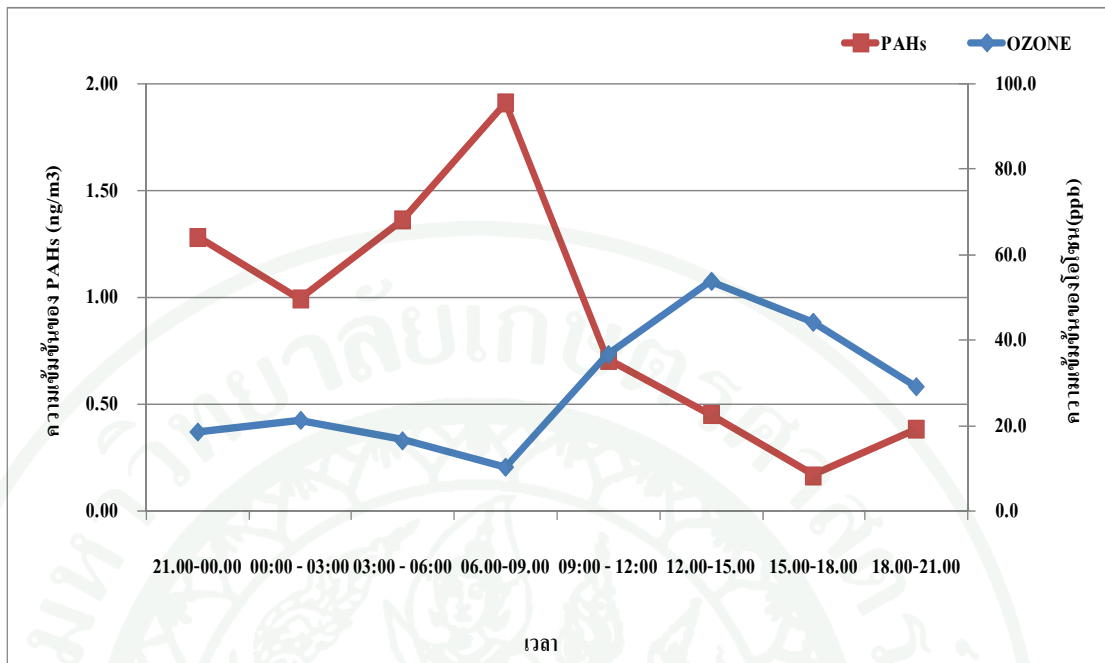
3.3.2 ชั้นกลาง

ในชั้นกลางการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP โดยมีค่าสูงสุด เท่ากับ 1.7622 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกาและมีค่าต่ำสุด 0.2996 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 09.00 –15.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ชั้นบรรยากาศได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มาก และการเกิดปฏิกิริยาในการย่อยสลายตัวของ PAHs โดยแสงจึงสามารถเกิดขึ้นได้ดี ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของก๊าซโอโซนที่มีค่าสูงในช่วงเวลากลางวันซึ่งมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 09.00–15.00 นาฬิกา เท่ากับ 45.12 ppb และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.31 ppb ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 50) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.476 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และก๊าซโอโซนมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาที่เหมือนกันกับชั้นล่าง



ภาพที่ 50 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 25- 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัด เชียงใหม่

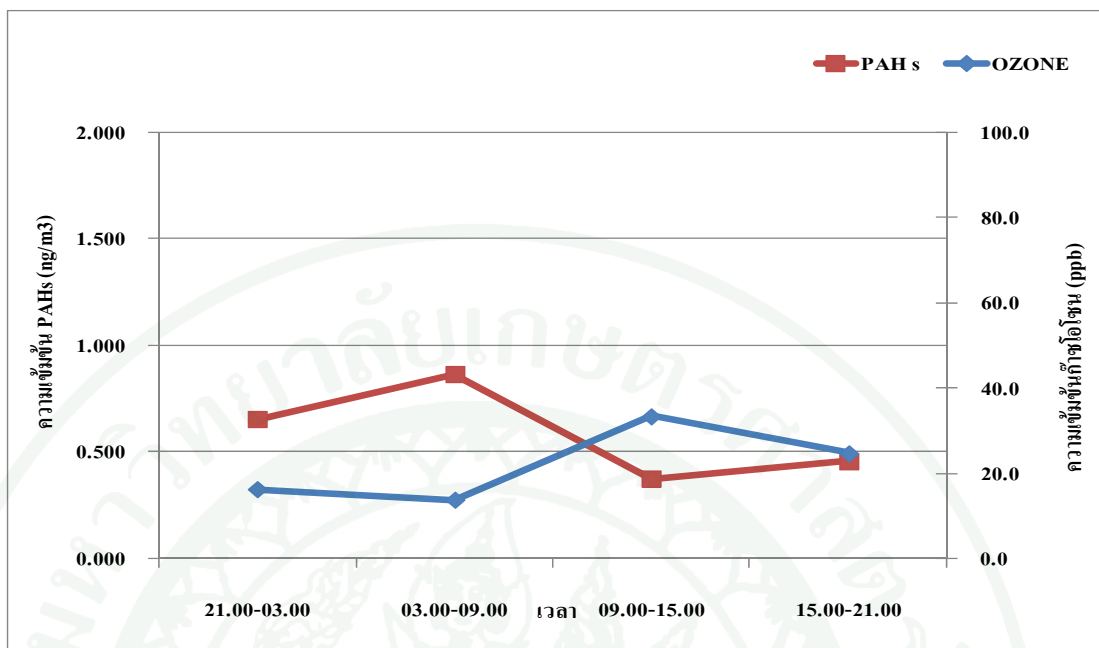
เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) จากการศึกษาของสุรัตน์ และคณะ (2550) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ในชั้นกลางมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.911 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.1656 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซน มีค่าสูงสุดเท่ากับ 53.7 ppb ในช่วงเวลา 12.00-15.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 10.1 ppb ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 51) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซน โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.617 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และก๊าซโอโซน มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของก๊าซโอโซน ต่อ PAHs ใน TSP ในชั้นกลาง



ภาพที่ 51 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นกลาง ระหว่างวันที่ 25- 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

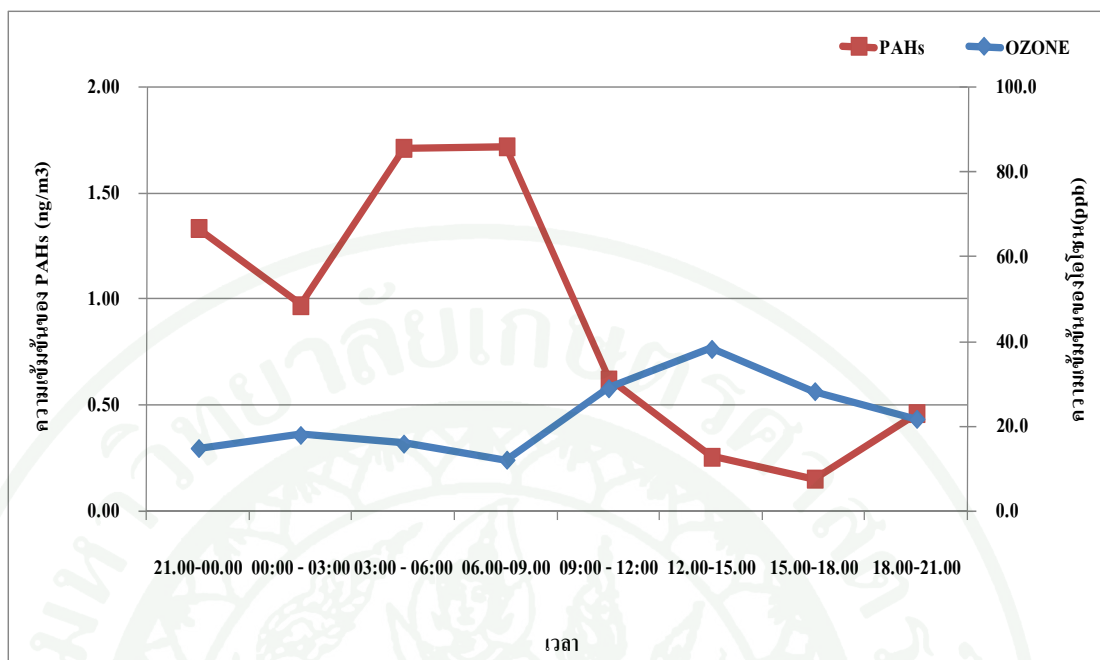
3.3.3 ชั้นบน

ในชั้นบนการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.8652 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.3766 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 33.62 ppb ในช่วงเวลา 09.00-15.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 13.86 ppb ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 52) และเมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.060 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และก๊าซโอโซน มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาที่เหมือนกันกับในชั้นล่างและชั้นกลาง



ภาพที่ 52 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

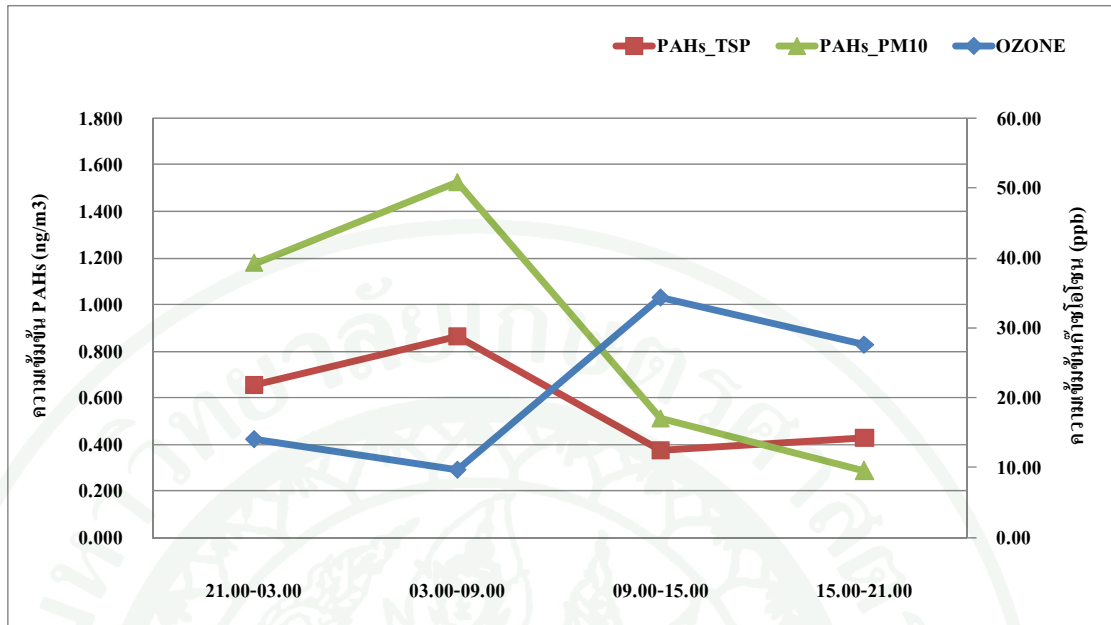
เมื่อนำความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) จากการศึกษายของสุรัตน์ และคณะ (2550) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) ในชั้นบนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.7152 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.1490 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 15.00-18.00 นาฬิกา ส่วนก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 38.2 ppb ในช่วงเวลา 12.00-15.00 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 11.9 ppb ในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 53) เมื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และก๊าซโอโซนโดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.465 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และก๊าซโอโซน มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลของก๊าซโอโซนต่อ PAHs ใน TSP ในชั้นบน



ภาพที่ 53 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) เปรียบเทียบกับก๊าซโอโซนเฉลี่ยในรอบวันชั้นบน ระหว่างวันที่ 25- 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซน สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน รวมทั้งสามระดับความสูง พบว่าระดับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 34.43 ppb ในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 9.73 ppb ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา สำหรับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.865 ng m⁻³ ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา (ภาพที่ 54) สาเหตุที่ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงในช่วงเช้ามืด เกิดจากลมที่พัดไหลย้อนกลับจากมวลอากาศจากคอสุเทพในช่วงเวลากลางคืน ซึ่งจะนำพากลุ่มของ PAHs จากไอเสียยานพาหนะและจากการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ ในช่วงเวลากลางวันกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศของตัวเมืองเชียงใหม่อีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน และมีความสัมพันธ์กับปริมาณการจราจรที่มีความคับคั่งในช่วงเวลา 06.00-09.00 นาฬิกา ประกอบกับอุณหภูมิของบรรยากาศในช่วงเวลาดังกล่าวยังไม่สูงมากพอที่จะทำให้มวลอากาศเกิดการขยายตัวส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูง อีกทั้งในระหว่างการศึกษารังสีดวงอาทิตย์มี ค่าสูงสุดเท่ากับ 905 วัตต์ต่อตารางเมตร ในช่วงเวลา 13.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 2 วัตต์ต่อตารางเมตร ในช่วงเวลา 07.00 นาฬิกา (สุรรัตน์ และคณะ,

2550) ซึ่งอยู่ในช่วงที่ PAHs มีระดับความเข้มข้นสูงสุด ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่ารังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวยังไม่มากพอที่จะก่อให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยแสง (Photodegradation) ส่งผลให้ PAHs ที่ถูกปล่อยจากไอเสียยานพาหนะมีแนวโน้มที่จะสะสมในมวลอากาศ และความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.375 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา ส่วนความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (สุรรัตน์ และคณะ, 2550) พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 1.525 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0.285 ng m^{-3} ในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา ซึ่งจะเห็นได้ว่าในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา เป็นช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนที่มีค่าสูงสุดในช่วงเวลาดังกล่าว ดังนั้นกลไกในการเกิดปฏิกิริยา Photo-oxidation ของ PAHs จึงเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs ในชั้นบรรยากาศมีค่าลดลง และเนื่องจากระดับความสูงของพื้นที่เก็บตัวอย่างจังหวัดเชียงใหม่มีความแตกต่างไม่มากนักเมื่อเทียบกับพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครจึงส่งผลให้อุณหภูมิที่ตรวจวัดได้มีความแตกต่างกันน้อย จากการศึกษาของ สุรรัตน์ และคณะ (2550) พบว่าอุณหภูมิตามระดับความสูงในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิลดลงตามความสูง ซึ่งจัดเป็นสภาพความคงตัวบรรยากาศ (Atmospheric stability) แบบไม่คงตัว (Unstable condition) เมื่อเทียบกับค่า Dry adiabatic lapse rate (0.98 องศาต่อ 100 เมตร) ส่วนในเวลากลางคืนพบว่าสภาพความคงตัวบรรยากาศเป็นแบบคงตัว (stable condition) ดังนั้นจากสภาพของบรรยากาศที่มีความคงตัวจึงส่งผลต่อ



ภาพที่ 54 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซน PAHs ในฝุ่นละอองรวม และ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เฉลี่ยทั้งสามระดับความสูง ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การกระจายตัวของก๊าซโอโซน(OZONE; O₃) ตามระดับความสูง

ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่ว่องไวมากในการทำปฏิกิริยา (Reactive gas) ซึ่งโอโซนเป็นมลสารทุติยภูมิไม่ได้มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และ NO_x ในบรรยากาศโดยมีแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นในการเกิดโอโซนจะต้องอาศัยระยะเวลา และระยะทางในการรวมตัวกันของสารตั้งต้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงพบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยพบว่าทั้งสามพื้นที่ศึกษา ได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา กรุงเทพมหานคร และอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีความเข้มข้นสูงที่สุดในชั้นกลาง และความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในชั้นกลางมีค่าสูงกว่าก๊าซโอโซนในชั้นล่าง 1.24 , 1.82 และ 1.40 เท่า ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Cosbile and Allerini (2007) พบว่าความเข้มข้นของ ก๊าซโอโซนบนชั้นหลังคา (Roof top) จะมีค่าสูงกว่าบริเวณระดับพื้นดินประมาณ 6 เท่า เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลรีเอ็กชันต้องอาศัยระยะทางและเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ดังนั้นชั้นล่างเป็นชั้นที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจึงมีค่าค่อนข้างต่ำ และพบว่าความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีแนวโน้มสูงในช่วงเวลาบ่าย แต่ในช่วงเวลากลางคืนความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าลดลงเนื่องจากก๊าซโอโซนเป็นมลสารทุติยภูมิไม่ได้มาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลที่มีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน และ NO_x ในบรรยากาศโดยมีแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

2. การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(Polycyclic Aromatic Hydrocarbon; PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particle; TSP) ตามระดับความสูง

2.1 พื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ตามระดับความสูงระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พบว่าผลรวมของ PAHs ทั้ง 15 ชนิดเฉลี่ยในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่า

เท่ากับ 0.147, 0.131 และ 0.179 ตามลำดับ จากผลรวมของ PAHs ทั้ง 15 ชนิด พบว่าในชั้นกลางมีค่าต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซไอโซนที่พบว่าเป็นชั้นกลางมีความเข้มข้นสูงสุด และจากผลการวิเคราะห์สัดส่วนของ PAHs ในมวลอากาศ พบว่ามีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้าเพื่อการเกษตร หรือหมอกควันที่มากจากการเผาป่า และสัดส่วนของ B(a)P/B(e)P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.136, 0.101 และ 0.400 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs ในชั้นกลางมีความเสถียรน้อย อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรก ในฝุ่นละอองรวมทั้งสามระดับชั้น ได้แก่

ชั้นล่าง : D[a,h]A (18.15 %) > Ind (12.82 %) > Pyr (11.70 %) > B[b]F(8.84 %) > Fluo (8.82 %)

ชั้นกลาง : Pyr (16.45 %) > B[g,h,i]P(14.03 %) > Ind (12.41 %) > Fluo (10.29 %) > Phe (9.33 %)

ชั้นบน : D[a,h]A (19.10 %) > B[g,h,i]P(16.68 %) > Phe(10.53 %) > Ind (9.03 %) > Pyr (9.00 %)

จะเห็นได้ว่า D[a,h]A , Ind และ Fluo คือกลุ่ม PAHs ที่พบมากในอันดับต้นทั้งสามระดับชั้น ซึ่งกลไกที่สำคัญในการลดลงของความเข้มข้นของ PAHs มาจากการชะล้างโดยน้ำฝน เนื่องจากมีฝนตกในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างในวันสุดท้าย ดังนั้นจึงก่อให้เกิดกระบวนการชะล้าง (Wet Deposition) อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของ PAHs มีค่าลดลง และการย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation)

2.2 พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ตามระดับความสูงระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พบว่าผลรวมของ PAHs ทั้ง 15 ชนิดเฉลี่ยในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.448, 0.306 และ 0.484 ตามลำดับ จากผลรวมของ PAHs ทั้ง 15 ชนิด พบว่าในชั้นกลางมีค่าต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซไอโซนที่พบว่าเป็นชั้นกลางมีความเข้มข้นสูงสุด และจากผลการวิเคราะห์สัดส่วนของ PAHs ในมวลอากาศ พบว่ามีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของ

ชีวมวล เช่น การเผาหญ้าเพื่อการเกษตร หรือหมอกควันที่มากจากการเผาป่า และสัดส่วนของ B(a)P/B(e)P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.353, 0.391 และ 0.492 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs ซึ่งให้เห็นว่าชั้นล่างมีความเสถียรน้อย อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรก ในฝุ่นละอองรวมทั้งสามระดับชั้น ได้แก่

ชั้นล่าง : Pyr (16.24 %) > Chry(12.64 %) > Ind(12.44 %) > Fluo(11.66 %) > B[g,h,i]P (10.75 %)

ชั้นกลาง : B[b]F (19.72 %) > Pyr(16.70 % ng m⁻³) > Fluo(15.60 %) > Chry (13.88 %) > B[e]P(11.73 %)

ชั้นบน : Fluo (13.56 %) > Ind (13.44 %) > Pyr (13.43 %) > Chry(11.71 %) > B[b]F(10.50 %)

กรุงเทพมหานครมีความเข้มข้นของ PAHs ที่สูงกว่าพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ทั้งนี้ เนื่องจากกรุงเทพมหานครเป็นเมืองใหญ่ มีปริมาณการจราจรที่คับคั่งและมีกิจกรรมที่ปลดปล่อย PAHs ปริมาณที่สูง

2.3 พื้นที่ศึกษา อำเภอ จังหวัดเชียงใหม่

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ตามระดับความสูงระหว่างวันที่ 25–28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พบว่าผลรวมของ PAHs ทั้ง 15 ชนิดเฉลี่ยในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.797, 0.852 และ 0.508 ตามลำดับ จากผลรวมของ PAHs ทั้ง 15 ชนิด พบว่าในชั้นบนมีค่าต่ำสุด และจากผลการวิเคราะห์สัดส่วนของ PAHs ในมวลอากาศ พบว่ามีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้าเพื่อการเกษตร หรือหมอกควันที่มากจากการเผาป่า และสัดส่วนของ B(a)P/B(e)P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.564, 0.535 และ 0.782 ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs ที่พบว่าในชั้นกลางมีความเสถียรน้อย อัตราส่วนของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรก ในฝุ่นละอองรวมทั้งสามระดับชั้น ได้แก่

ชั้นล่าง : Chry (15.82 %) > Ind (13.98 %) > B[b]F (11.61 %) > Pyr (10.93 %) > B(a)A (10.16 %)

ชั้นกลาง : Ind (20.52 %) > B[b]F (13.63 %) > B(g,h,i)P (13.37 %) > B[e]P (10.20 %) > Chry (9.65 %)

ชั้นบน : Pyr (17.73 %) > Fluo (16.37 %) > Chry (14.74 %) > Ind (10.74 %) > B(a)A (8.66 %)

จะเห็นได้ว่า Chry, Ind และ Pyr คือกลุ่ม PAHs ที่พบมากในอันดับต้นทั้งสามระดับ ซึ่งกลไกที่สำคัญในการลดลงของความเข้มข้นของ PAHs การย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) และการทำปฏิกิริยาระหว่างวัฏภาค (Heterogeneous) ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในชั้นกลางกลับมีค่าสูงขึ้นมาอีก ทั้งนี้เนื่องมาจากแหล่งกำเนิดของ PAHs ใน TSP นั้น มีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้าจากการเกษตร ไฟไหม้ป่า เป็นต้น ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นช่วงที่มีการเผาหญ้าของเกษตรกร ประกอบกับลักษณะของภูมิประเทศที่ล้อมรอบด้วยภูเขา ลมที่พัดไหลย้อนกลับจากมวลอากาศจากคอคอดสุเทพจะนำพากลุ่มของ PAHs จากไอเสียยานพาหนะและจากการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ ในช่วงเวลากลางวันกลับคืนสู่ชั้นบรรยากาศของตัวเมืองเชียงใหม่อีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs กับก๊าซโอโซน

3.1 ชั้นล่าง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซน พบว่าในทุกพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลากลางวันความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจะมีค่าสูง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และเชียงใหม่ ในช่วงเวลา 09.00-15.00 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงในช่วงเวลาดังกล่าว เนื่องจากกรุงเทพมหานคร และเชียงใหม่ มีปริมาณการจราจรที่คับคั่ง ดังนั้นการปลดปล่อยสารตั้งต้น เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีปริมาณสูง ประกอบกับในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างท้องฟ้าโปร่ง ความเข้มแสงมาก ไม่มีฝน ดังนั้นก๊าซโอโซนที่มาจากปฏิกิริยา

โฟโตเคมีคอลจึงเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ ความเข้มข้นของก๊าซโอโซน มีค่าค่อนข้างต่ำและการเปลี่ยนแปลงในรอบวันไม่ชัดเจน มีสาเหตุสำคัญมาจากการลดลงของแสง เนื่องจากในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างมีฝนตก

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงกลางวันซึ่งเหมือนกันในทุกพื้นที่ที่ศึกษา เนื่องจากในช่วงเวลากลางวันเกิดการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) และการทำปฏิกิริยาระหว่างวัฏภาค (Hetrogeneous) กับก๊าซโอโซน และอนุมูลอิสระ OH radical เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ดังนั้นความเข้มข้นของ PAHs ที่ยังคงเหลือในชั้นบรรยากาศจึงเหลือน้อย และจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ในพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีค่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่า กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่ ทั้งนี้เนื่องจาก กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่เป็นเมืองใหญ่ มีปริมาณการจราจรที่คับคั่งและมีกิจกรรมที่ปลดปล่อย PAHs ปริมาณที่สูง ประกอบกับในพื้นที่หาดใหญ่มีฝนตกในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างในวันสุดท้าย ดังนั้นจึงก่อให้เกิดกระบวนการชะล้าง (Wet Deposition) อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของ PAHs มีค่าลดลง

3.2 ชั้นกลาง

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซน พบว่าในทุกพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลากลางวันความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจะมีค่าสูง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และเชียงใหม่ ในช่วงเวลา 09.00-15.00 ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าสูงเนื่องจากกรุงเทพมหานครและเชียงใหม่ มีปริมาณการจราจรที่คับคั่ง ดังนั้นการปลดปล่อยสารตั้งต้น เช่น ออกไซด์ของไนโตรเจนและสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีปริมาณสูง ประกอบกับก๊าซโอโซน เป็นมลสารทุติยภูมิต้องอาศัยระยะทางและระยะเวลาในการเกิด ดังนั้นในชั้นกลางจะพบว่ามีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงกว่าชั้นล่างประมาณสองเท่า สำหรับพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าค่อนข้างต่ำและการเปลี่ยนแปลงในรอบวันไม่ชัดเจน มีสาเหตุสำคัญมาจากการลดลงของแสง เนื่องจากในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างมีฝนตก

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงกลางวัน และในชั้นกลางเมื่อเทียบกับชั้นล่าง พบว่ามีความเข้มข้นต่ำกว่าชั้นล่าง ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมที่พบว่าความเข้มข้นลดลงเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้น สำหรับความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} ในพื้นที่ศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา มีค่าความเข้มข้นที่ต่ำกว่า กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่ ทั้งนี้เนื่องมาจาก กรุงเทพมหานครและเชียงใหม่เป็นเมืองใหญ่ มีปริมาณการจราจรที่คับคั่งและมีกิจกรรมที่ปลดปล่อย PAHs สูง ประกอบกับในพื้นที่หาดใหญ่มีฝนตกในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างในวันสุดท้าย ดังนั้นจึงก่อให้เกิดกระบวนการชะล้าง (Wet Deposition) อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของ PAHs มีค่าลดลง

3.3 ชั้นบน

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในชั้นบน ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนลดลง มีค่าต่ำกว่าชั้นกลาง แต่สูงกว่าชั้นล่าง เนื่องจากก๊าซโอโซนเป็นมลสารทุติยภูมิต้องอาศัยสารตั้งต้น ระยะทางและระยะเวลาในการเกิด ดังนั้นในชั้นบนซึ่งมีปริมาณสารตั้งต้นที่คงเหลือในการทำปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศคงเหลือน้อย ดังนั้นก๊าซโอโซนจึงต่ำกว่าชั้นกลาง และพบว่าในทุกพื้นที่ศึกษาในช่วงเวลากลางวันความเข้มข้นของก๊าซโอโซนจะมีค่าสูง สำหรับพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ ความเข้มข้นของก๊าซโอโซนมีค่าค่อนข้างต่ำและการเปลี่ยนแปลงในรอบวันไม่ชัดเจน มีสาเหตุสำคัญมาจากการลดลงของแสง เนื่องจากในช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างมีฝนตก

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงกลางวันซึ่งเหมือนกันในทุกพื้นที่ศึกษา

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ศึกษาเป็นช่วงระยะเวลาสั้นๆ จึงอาจทำให้ไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของลักษณะทางอนุกรมวิธานที่มีผลต่อการกระจายตัวของมลสารได้ชัดเจนนัก ดังนั้นถ้าเป็นไปได้ควรมีการศึกษาในแต่ละฤดูกาล หรือทำการศึกษา

ตลอดทั้งปี และเนื่องจากช่วงเวลาที่เก็บตัวอย่างหกชั่วโมงเป็นช่วงเวลาที่นานไป ควรเก็บตัวอย่างให้มีความถี่เพิ่มขึ้น เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจน และควรเพิ่มจุดเก็บตามระดับความสูง เพื่อให้เห็นถึงอิทธิพลของลักษณะทางกายภาพที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมลสาร



สิขสิทธิ์ มทาวิตยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมลนารี ลายคราม. 2546. การพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร บริเวณริมถนนในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมควบคุมมลพิษ. 2543. พีเอช (พอลิไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน). กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2549. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี 2549. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

_____. 2550. สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี 2550. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2547. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. ศูนย์บริการวิชาการ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

กิตติ เอกอำพน. 2529. มลภาวะสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

เกษม จันทร์แก้ว. 2522. คู่มือประกอบคำบรรยายอนุกรมวิธานไส้เดือน. ภาควิชาอนุกรมวิธาน คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2541. เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. โครงการสหวิทยาการ บัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ดวงพร นพคุณ. 2536. ภูมิอากาศวิทยา. พัฒนกิจการพิมพ์และกระดาษ, กรุงเทพฯ.

คนัย จิตตธรรม. 2530. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซน ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจน ออกไซด์กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นิตยา महाผล. 2533. เอกสารการสอนชุดวิชากฎหมายสิ่งแวดล้อม หน่วยที่ 8 สาขาวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, กรุงเทพฯ.

บำรุง สรัคคานนท์. 2520. อุดมวิทยาทัวไป. กองการศึกษาและวิจัย กรมอุดมศึกษา, กรุงเทพฯ.

ไพลิน โบพกา. 2546. การเคลื่อนที่และการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยภายในอาคารพาณิชย์บริเวณสถานีรถไฟฟ้า พระโขนง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รพีพัฒน์ เกริกไกว้ด. 2543. องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ใน กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วงศ์พันธ์ ลิมปเสณีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอด. 2543. มลภาวะอากาศ. สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วราวุธ เสือดี. 2542. การประเมินผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศโดยใช้แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วนิดา จีนศาสตร์. 2551. มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. สำนักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วิชา นิยม. 2535. อุตกวิทยาป่าไม้. พิมพ์ครั้งที่ 3. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

- วิจัย เทียนน้อย.2526. **ภูมิอากาศวิทยาประยุกต์**. สำนักพิมพ์โอเดียมสโตว์, กรุงเทพฯ.
- สุรัตน์ บัวเลิศ. 2547. **เอกสารประกอบคำสอนวิชา Fundamental of air pollution (230809)**. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- _____, ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์ และกิตติชัย ดวงมาลัย. 2550. **รายงานงานวิจัยโครงการวิจัย ลักษณะชั้นบรรยากาศและผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลสารทางอากาศ สำหรับประเทศไทย**. สำนักงานคณะกรรมการคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.
- สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร. 2549. **รายงานการศึกษาโครงสร้างประชากรจำแนกตามอายุและเพศในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ปี พ.ศ.2545**. กองนโยบายและแผนงาน สำนักผังเมือง กรุงเทพมหานคร, กรุงเทพฯ.
- อรุบล โชติพงศ์. 2541. **รายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อระบบการหายใจ**. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- Arya, S.P. 2001. **Introduction to micrometeorology**. Second edition. Academic Press, New York.
- Aguado E. and J. E. Burt. 2007. **Understanding Weather & Climate**. Fourth edition. Peason Education, Inc. New jersey, USA.
- Baek, S.O., R.A. Field, M.E. Goldstone, P.W. Kirk., J.N. Lester and R. Perry. 1991. A Review of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Sources, Fate and Behavior. **Water, Air and Soil Pollution** 60: 279-300.
- Behymer, T.D. and R.A. Hites. 1988. Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on fly ash. **Environmental Science & Technology** 22: 1311-1319.

- Brorstrom, E., P. Grennfelt and A. Lindskog. 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, C.Y., X.D. Xu, Y.S. Li, K.H. Wong, G.A. Ding, L.Y. Chan and X.H. Cheng. 2005. Characteristics of Vertical Profiles and Sources of $PM_{2.5}$, PM_{10} and Carbonaceous \ Species in Beijing. **Atmospheric Environment** 39: 5113–5124.
- Chetwittayachan, T., D. Shimazaki and K. Yamamoto. 2002. A comparison of temporal variation of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbon (pPAHs) concentration in different urban environments: Tokyo, Japan and Bangkok, Thailand. **Atmospheric Environment** 36: 2027-2037.
- Clinton, P.M. and C.A. Knoderer. 2005. **Basic Meteorology**. National Air Quality Conference Forecasting Short Course San Francisco, CA.
- Choularton, T.W., G. Fullerton and M.J. Gry. 1982. Some observations of the influence of meteorological variables of the size distribution of natural aerosol particles. **Atmospheric Environment** 16: 315-323.
- Costabile, F. and I. Allegrini. 2007. Measurements and analyses of nitrogen oxides and ozone in the yard and on the roof of a street-canyon in Suzhou. **Atmospheric Environment** 41: 6637-6647.
- Fan, Z., R.M. Kamens, J.Zhang and J.Hu. 1996. Ozone-nitrogen dioxide-NPAH heterogeneous soot particle reactions and modeling NPAH in the atmosphere. **Environmental science & technology** 30: 2821-2827.

- Fang, G.C., C.N. Chang, Y.S. Wu, P.P. Fu, I. Yang and M.H. Chen. 2003. Characterization, identification of ambient air and road dust polycyclic aromatic hydrocarbons in central Taiwan. **Science Of The Total Environment** 327: 135-146.
- Grimmer, G., J. Jacob and K.W. Naujack. 1983. Profile of the polycyclic aromatic compounds from crude oils-inventory by GC GC-MS PAH in environmental materials: Part 3. **Fresenius Zeitschrift Analytical Chemistry** 316: 29-36.
- Groblicki, P. G. and G. J. Nebal. 1969. **Chemical Reaction in Urban Atmosphere**. Technical centre, America Elsevier Publication.
- Guinot, B., J.C. Roger, H.Cachier, W. Pucal, B. Jianhui and Y. Tong. 2006. Impact of vertical atmospheric structure on Beijing aerosol distribution. **Atmospheric Environment** 40: 5167-5180.
- Guo, H., S.C. Lee, K.F. Ho, X.M. Wang and S.C. Zou. 2003. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Hongkong. **Atmospheric Environment** 37: 5307-5317.
- Harvey, R.G. 1997. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**. John Wiley and Sons, New York
- Holzworth, G.C. 1972. **Mixing Height, Wind speed, and Potential for Urban Air Pollution Thought out the Contiguous United State**. Environmental Protection Agency Publication No. AP-101 Division of Meteorology Research Triangle Park.
- IARC. 1999. **Overall Evaluations of Carcinogenicity of Humans**. International Agency for Research on Cancer.

- IPCS. 1998. **Environmental Health Criteria 202 : selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons.** Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft World Health Organization.
- Jacobson, Z.M. 1999. **Fundamentals of atmospheric modeling.** Cambridge University Press, USA.
- Kalaitzoglou, M., E.Terzi and C. Samara. 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.
- Lutgens F.K. and E.J. Tarbuck. 2004. **The Atmosphere.** Ninth edition. Pearson Education, Inc. New Jersey, USA.
- McDow, S.R., W. Giger, H. Burtcher, A. Schmidt and H.C. Siegmann. 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons and combustion aerosol photoemission. **Atmospheric Environment** 24: 2911-2916.
- McDow, S.R., M.Vartiainen, Q. Sun, Y. Hong, Y. Yao and R.M. Kamens. 1999. Combustion aerosol water content and its effect on polycyclic aromatic hydrocarbons reactivity. **Atmospheric Environment** 29: 791-797.
- Okuda, T., H. Kumata, H. Naraoka and H. Takada. 2002. Origin of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Chinese cities solved by compound-specific stable carbon isotopic analyses. **Organic Geochemistry** 33: 1737–1745.
- Oanh, K., L.B. Reutergardh, N.T. Dung, M.H. Yu, W.X. Yao and H.X. Co. 2000. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in The Airborne Particulate Matter at a Location 40 km North Of Bangkok, Thailand. **Atmospheric Environment** 34: 4557-4563.

- Panther, B.C., M.A. Hooper and N.J. Tapper. 1999. A comparison of air particulate matter and associated polycyclic aromatic hydrocarbons in some tropical and temperate urban environments. **Atmospheric Environment** 33: 4087-4099.
- Park, S.S., Y.J.Kim and C.H.Kang. 2002. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Seoul, Korea. **Atmospheric Environment** 36: 2917-2924.
- Pucknat, A.W. 1981. **Health impact of polynuclear aromatic hydrocarbons**. Noyes Data Corporation, New Jersey, USA.
- Ravindraa, K., L. Bencs, E. Wautersc, J.D. Hooga, F. Deutschd, E. Roekense, N. Bleuxd, P. Berghmansd and R.V. Grieken. 2006. Seasonal and site-specific variation in vapour and aerosol phase PAHs over Flanders (Belgium) and their relation with anthropogenic activities. **Atmospheric Environment** 40: 771-785.
- Ravindra, K., R. Sokhi and R.V. Grieken. 2008. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. **Atmospheric Environment** 42: 2895-2921.
- Schroeder, W.H., M. Dobson, D.M.Kame and N.D. Jonson. 1987. Toxic trace elements associated with airborne particulate matter. **JAPCA** 19: 1267-1285.
- Stephen, D.M., S. Demers and M. Vernet. 2000. **The effect of UV radiation in the marine environment**. Cambridge environmental chemistry series 10. The press syndicate of the University of Cambridge, New York, USA.
- Tham, Y.W., K. Takede and H.Sakugawa. 2007. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) associated with atmospheric particles in Higashi Hiroshima, Japan: Influence of meteorological conditions and seasonal variations. **Atmospheric Environment** 88: 224-233.

- Tsapakis, M. and E.G. Stephanou. 2004. Occurrence of gaseous and particulate polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: study of sources and ambient temperature effect on the gas/particle concentration and distribution. **Environmental Pollution** 133: 147-156.
- Turner, D.B. 1994. **Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An introduction of dispersion modeling.** Lewis Publishers, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2005. **Vertical Motion and Atmospheric Stability.** Available Source: [http://yosemite.epa.gov/oaqps/EOGtrain.nsf/DisplayView/SI_409_4?](http://yosemite.epa.gov/oaqps/EOGtrain.nsf/DisplayView/SI_409_4?OpenDocument) OpenDocument, March 25, 2009.
- Vasilakos, C., N. Levi, T. Maggos, J. Hatzianestis, J. Michopoulos and C. Helmis. 2006. Gas-particle concentration and characterization of sources of PAHs in the atmosphere of a suburban area in Athens, Greece. **Journal of Hazardous Materials** 140: 45-51.
- Wayne, R. P. 1991. **Chemistry of atmospheres.** Clarendon press, Oxford. 447 p.
- Wu, S. P., S. Tao, W.X. Liu. 2005. Particle site distribution of polycyclic hydrocarbons in rural and urban atmosphere of Tianjin China. **Atmospheric Environment** 39: 7420-7432.
- Yunker, M.B and R.W. Macdonald. 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.



ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

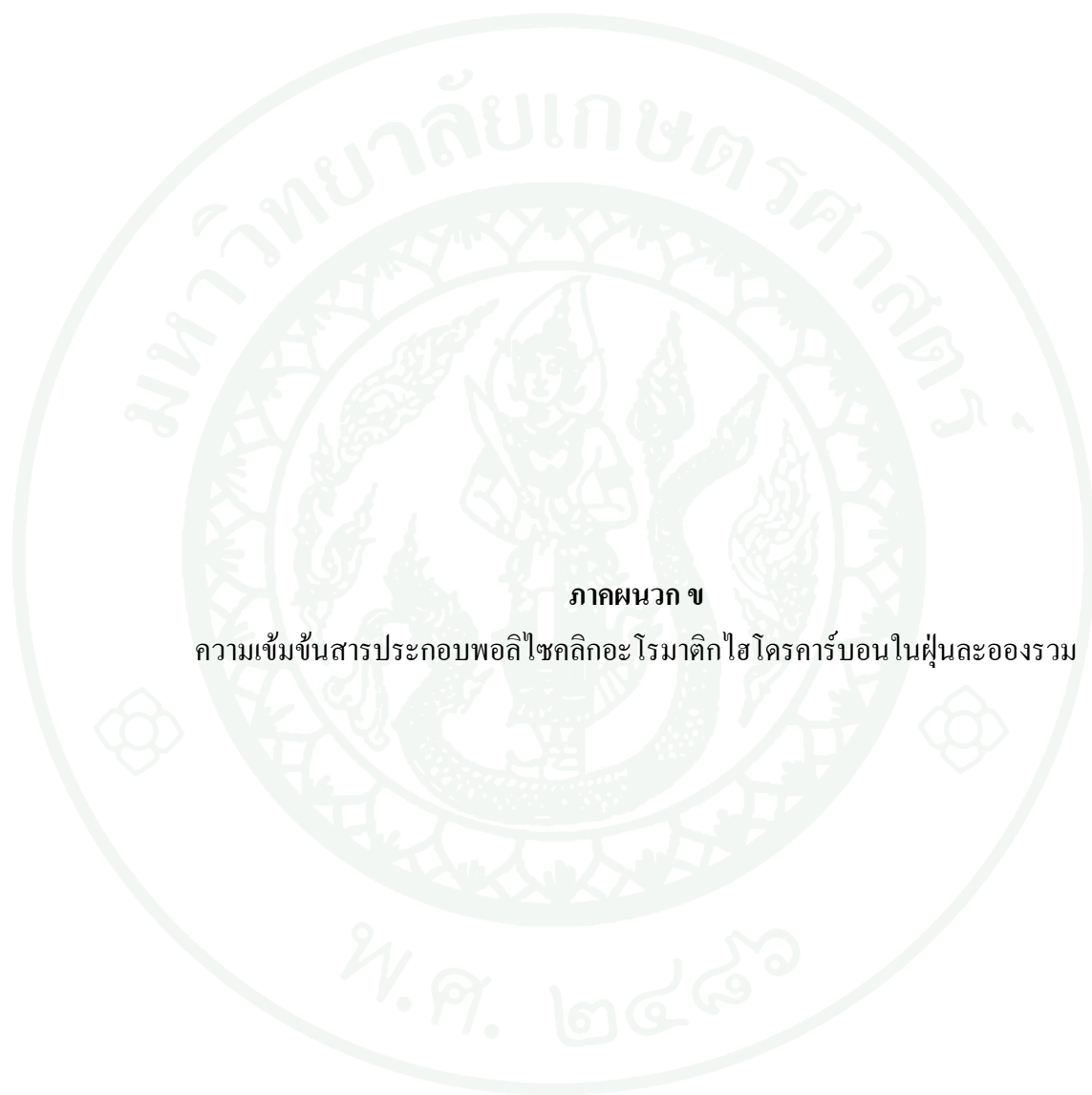


ภาคผนวก ก
ความเข้มข้นก๊าซโอโซน

สิขสิทธิ์ มทววิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซโอโซน

เวลา	อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา			กรุงเทพมหานคร			อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่		
	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
0:00	19.0	22.2	19.7	18.0	58.1	22.1	6.3	18.4	16.7
1:00	19.2	22.6	20.2	17.9	64.5	25.9	7.4	21.0	18.3
2:00	19.6	22.8	20.4	17.1	65.6	30.0	6.1	19.8	16.5
3:00	18.4	22.7	20.7	19.0	64.7	29.0	5.9	22.5	19.0
4:00	18.1	22.5	20.3	23.5	62.0	30.7	2.6	18.4	17.8
5:00	19.1	23.1	19.2	25.9	58.7	30.3	2.3	15.6	15.0
6:00	18.0	21.8	16.9	23.9	57.6	31.0	4.4	15.4	14.8
7:00	16.0	20.1	15.8	19.1	57.0	31.0	2.9	12.4	13.8
8:00	13.6	18.0	13.8	19.5	55.8	25.8	-	8.2	10.6
9:00	14.8	19.4	13.5	22.8	52.3	19.7	1.4	9.8	11.2
10:00	15.6	20.8	14.4	26.7	63.4	25.9	8.2	20.2	18.6
11:00	18.1	22.4	19.0	32.0	70.9	31.6	24.0	35.9	29.1
12:00	18.8	22.1	17.0	40.9	75.7	38.8	41.7	54.3	39.5
13:00	17.0	21.7	15.7	49.5	82.3	45.4	46.6	58.5	44.2
14:00	17.8	22.0	19.3	56.6	84.9	53.2	38.6	51.1	35.3
15:00	18.1	22.1	20.5	61.4	84.4	61.9	38.4	51.5	35.1
16:00	18.2	22.1	20.2	66.7	52.5	69.2	31.9	47.0	32.1
17:00	16.7	20.3	17.4	64.2	32.6	68.7	28.1	43.9	26.9
18:00	14.8	19.0	16.5	56.6	46.2	67.3	23.6	41.4	25.2
19:00	15.5	19.8	15.6	39.9	44.8	56.7	15.0	30.5	20.7
20:00	16.6	21.0	16.0	24.8	36.1	55.1	12.2	29.2	22.5
21:00	17.8	22.2	16.9	13.4	37.9	39.3	11.6	19.5	23.1
22:00	17.8	21.9	20.1	19.7	57.5	29.1	3.7	16.9	13.1
23:00	18.7	21.9	20.0	17.8	47.3	25.9	5.4	19.9	14.2



ภาคผนวก ข

ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม

ตารางผนวกที่ ข1 ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นล่าง

ชนิด	21.00-03.00	03.00-09.00	09.00-15.00	15.00-21.00
Phe	0.2755	0.1987	0.1248	0.1013
An	0.1458	0.1107	0.1408	0.0873
Fluo	0.2360	0.2465	0.1931	0.1049
Pyr	0.3966	0.3274	0.1838	0.1271
11H-B[a]F	0.0240	0.0957	0.0990	0.0262
11H-B[b]F	0.0248	0.0534	0.0336	0.0287
B[a]A	0.0414	0.0511	0.0503	0.0213
Chry	0.1007	0.1076	0.1026	0.0452
B[b]F	0.0651	0.1426	0.0954	0.4788
B[k]F	0.0253	0.0404	0.0254	0.1591
B[e]P	0.0414	0.1214	0.0536	0.2530
B[a]P	0.0111	ND	ND	0.0206
Ind	0.0262	0.5112	0.2212	0.3762
D[a,h]A	0.1757	0.2583	0.2019	0.9698
B[g,h,i]P	0.0721	0.1286	0.0529	0.3836

หมายเหตุ *N.D = not detected

ตารางผนวกที่ ข2 ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นกลาง

ชนิด	21.00-03.00	03.00-09.00	09.00-15.00	15.00-21.00
Phe	0.1335	0.2175	0.2035	0.1812
An	0.0939	0.0678	0.2075	0.0850
Fluo	0.1263	0.2675	0.2553	0.1631
Pyr	0.1972	0.3723	0.4276	0.3010
11H-B[a]F	0.0255	0.0747	0.0458	0.0183
11H-B[b]F	0.0239	0.0906	0.0559	0.0161
B[a]A	0.0305	0.0529	0.0460	0.0181
Chry	0.0359	0.0751	0.0637	0.0273
B[b]F	0.0163	0.0414	0.2394	0.0666
B[k]F	0.0115	0.1717	0.0968	0.0218
B[e]P	0.0208	0.1412	0.2060	0.0286
B[a]P	0.0087	0.0105	0.0178	0.0028
Ind	0.0199	0.6055	0.2826	0.0713
D[a,h]A	0.0297	0.2949	0.1785	0.1973
B[g,h,i]P	0.0393	0.5677	0.4099	0.0898

หมายเหตุ *N.D = not detected

ตารางผนวกที่ ข3 ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นบน

ชนิด	21.00-03.00	03.00-09.00	09.00-15.00	15.00-21.00
Phe	0.2650	0.3525	0.2551	0.2606
An	0.1151	0.2095	0.1914	0.2312
Fluo	0.1315	0.2485	0.1688	0.1765
Pyr	0.1254	0.3845	0.2373	0.2212
11H-B[a]F	0.0435	0.0530	0.0346	0.0298
11H-B[b]F	0.0298	0.0389	0.0215	0.0196
B[a]A	0.0155	0.0300	0.0237	0.0109
Chry	0.0354	0.0611	0.0324	0.0171
B[b]F	0.1802	0.6415	0.0619	0.0455
B[k]F	0.0723	0.2903	0.0571	0.0248
B[e]P	0.3082	0.3650	0.0368	0.0281
B[a]P	0.0286	0.1788	0.0692	0.0196
Ind	0.4692	0.4827	0.0073	0.0124
D[a,h]A	0.1445	1.4263	0.3013	0.1839
B[g,h,i]P	0.2179	0.7575	0.1424	0.1399

หมายเหตุ *N.D = not detected

ตารางผนวกที่ ข4 ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นล่าง

ชนิด	21.00-03.00	03.00-09.00	09.00-15.00	15.00-21.00
Phe	0.4785	0.4049	0.2239	0.2105
An	0.1477	0.1128	0.1001	0.0999
Fluo	1.2110	0.7647	0.5968	0.5584
Pyr	1.7134	1.1414	0.7781	0.7294
11H-B[a]F	0.0537	0.0064	0.6105	ND
11H-B[b]F	0.1323	0.0664	0.0690	0.0247
B[a]A	0.5525	0.3637	0.2062	0.1058
Chry	1.8233	0.7625	0.3990	0.4114
B[b]F	0.8465	0.6056	0.3230	0.6377
B[k]F	0.1464	0.0980	0.0400	0.0804
B[e]P	0.6207	0.4229	0.1988	0.3527
B[a]P	0.2355	0.1790	0.0637	0.0863
Ind	1.2242	0.7401	0.7326	0.6461
D[a,h]A	0.0116	0.0361	0.4115	ND
B[g,h,i]P	1.2167	0.7491	0.3742	0.5483

หมายเหตุ *N.D = not detected

ตารางผนวกที่ ๖5 ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นกลาง

ชนิด	21.00-03.00	03.00-09.00	09.00-15.00	15.00-21.00
Phe	0.1939	0.3106	0.1580	0.1861
An	ND	ND	ND	ND
Fluo	0.5835	0.7109	0.3494	0.4540
Pyr	0.6896	0.7120	0.3522	0.4918
11H-B[a]F	0.1535	0.0935	0.0202	0.0930
11H-B[b]F	0.0888	0.0637	0.0112	0.0455
B[a]A	0.2185	0.2439	0.0728	0.0979
Chry	0.6081	0.6207	0.2087	0.4287
B[b]F	0.8594	0.8037	0.3864	0.6034
B[k]F	0.1194	0.1102	0.0449	0.0686
B[e]P	0.5478	0.4864	0.2205	0.3226
B[a]P	0.2196	0.1969	0.0782	0.1206
Ind	ND	ND	ND	ND
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	ND	ND	ND	ND

หมายเหตุ *N.D = not detected

ตารางผนวกที่ ๖6 ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นบน

ชนิด	21.00-03.00	03.00-09.00	09.00-15.00	15.00-21.00
Phe	0.2309	0.3796	0.2248	0.7994
An	0.1021	0.1662	0.1243	0.3147
Fluo	0.4492	0.9378	0.4600	2.0936
Pyr	0.5178	0.9527	0.5179	1.9143
11H-B[a]F	0.0429	0.2568	0.0565	0.2581
11H-B[b]F	0.0219	0.1599	0.0289	0.2012
B[a]A	0.0632	0.6180	0.0879	0.3609
Chry	0.2651	0.8982	0.2288	2.0102
B[b]F	0.6330	1.3290	0.4130	0.6767
B[k]F	0.1018	0.3404	0.0592	0.0807
B[e]P	0.2402	0.8912	0.1257	0.2452
B[a]P	0.0729	0.4952	0.1123	0.0598
Ind	0.4376	1.8845	0.3871	1.1973
D[a,h]A	0.7309	0.1916	0.0272	0.0536
B[g,h,i]P	0.5557	1.1949	0.3101	0.4699

หมายเหตุ *N.D = not detected

ตารางผนวกที่ ข7 ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นล่าง

ชนิด	21.00-03.00	03.00-09.00	09.00-15.00	15.00-21.00
Phe	0.1350	0.3165	0.4740	0.1201
An	0.0408	0.1235	0.1880	0.0490
Fluo	0.9253	2.2635	0.9087	0.2459
Pyr	1.0789	2.3921	1.1003	0.3045
11H-B[a]F	0.1697	0.2822	0.2152	0.0464
11H-B[b]F	0.1646	0.3517	0.1518	0.0401
B[a]A	0.8211	2.7660	0.8454	0.1019
Chry	1.9423	4.2608	0.6118	0.2446
B[b]F	1.5187	1.6720	1.0677	0.9218
B[k]F	0.3814	0.2586	0.1120	0.1151
B[e]P	1.0350	0.9176	0.4544	0.4323
B[a]P	0.6437	0.7089	0.1283	0.1226
Ind	2.3027	1.7921	1.4703	0.6727
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	1.6425	1.3716	0.6631	0.5377

หมายเหตุ *N.D = not detected

ตารางผนวกที่ ข8 ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นกลาง

ชนิด	21.00-03.00	03.00-09.00	09.00-15.00	15.00-21.00
Phe	0.2709	0.1968	0.1106	0.1493
An	0.1122	0.0324	0.0475	0.0668
Fluo	0.9656	1.1702	0.3687	0.3403
Pyr	1.4138	1.1582	0.3398	0.3917
11H-B[a]F	0.1224	0.2325	0.0526	0.0330
11H-B[b]F	0.1631	0.2117	0.0455	0.0450
B[a]A	0.8400	1.4194	0.0940	0.1170
Chry	1.8766	2.5277	0.2332	0.2966
B[b]F	3.7199	1.5146	0.8965	0.8380
B[k]F	0.8533	0.4116	0.1082	0.1399
B[e]P	3.0893	1.2640	0.4083	0.4559
B[a]P	1.5038	1.0687	0.1289	0.0911
Ind	5.9971	2.8994	0.8298	0.7682
D[a,h]A	ND	ND	ND	0.4671
B[g,h,i]P	3.7329	2.0576	0.5313	0.5173

หมายเหตุ *N.D = not detected

ตารางผนวกที่ ๗๑ ความเข้มข้นสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม พื้นที่ศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นบน

ชนิด	21.00-03.00	03.00-09.00	09.00-15.00	15.00-21.00
Phe	0.3386	0.2552	0.3203	0.4812
An	0.2132	0.1261	0.1724	0.3813
Fluo	1.5214	1.3583	1.1117	1.3264
Pyr	1.4985	1.3777	1.2223	1.6618
11H-B[a]F	0.2178	0.2497	0.1144	0.1138
11H-B[b]F	0.1640	0.1881	0.0684	0.1211
B[a]A	0.7891	1.2861	0.2965	0.4408
Chry	1.6150	1.9376	0.5602	0.6770
B[b]F	0.3070	0.5451	0.1146	0.3266
B[k]F	0.1396	0.2285	0.0447	0.0233
B[e]P	0.4457	0.7625	0.1707	0.0874
B[a]P	0.2846	0.7145	0.1036	0.0436
Ind	0.9071	1.7782	0.6444	0.1602
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	0.7156	1.3057	0.3123	0.1215

หมายเหตุ *N.D = not detected



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางสถิติ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlations)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ค1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นล่าง

		OZONE	PAH_TSP
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.017
	PAH_TSP	-0.017	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.479
	PAH_TSP	.479	
N	OZONE	12	12
	PAH_TSP	12	12

ตารางผนวกที่ ค2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นล่าง

		OZONE	PAH_PM ₁₀
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.059
	PAH_PM ₁₀	-0.059	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.393
	PAH_PM ₁₀	.393	
N	OZONE	24	24
	PAH_PM ₁₀	24	24

ตารางผนวกที่ ค3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นกลาง

		OZONE	PAH_TSP
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.083
	PAH_TSP	-0.083	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.399
	PAH_TSP	.399	
N	OZONE	12	12
	PAH_TSP	12	12

ตารางผนวกที่ ค4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นกลาง

		OZONE	PAH_PM ₁₀
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.032
	PAH_PM ₁₀	-0.032	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.443
	PAH_PM ₁₀	.443	
N	OZONE	24	24
	PAH_PM ₁₀	24	24

ตารางผนวกที่ ค5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นบน

		OZONE	PAH_TSP
Pearson Correlation	OZONE	1.00	0.108
	PAH_TSP	0.108	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		0.369
	PAH_TSP	0.369	
N	OZONE	12	12
	PAH_TSP	12	12

ตารางผนวกที่ ค6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ชั้นบน

		OZONE	PAH_PM ₁₀
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.309
	PAH_PM ₁₀	-0.309	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.071
	PAH_PM ₁₀	.071	
N	OZONE	24	24
	PAH_PM ₁₀	24	24

ตารางผนวกที่ ค7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นล่าง

		OZONE	PAH_TSP
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.501
	PAH_TSP	-0.501	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		0.048
	PAH_TSP	0.048	
N	OZONE	12	12
	PAH_TSP	12	12

ตารางผนวกที่ ค8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นล่าง

		OZONE	PAH_PM ₁₀
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.420
	PAH_PM ₁₀	-0.420	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		0.021
	PAH_PM ₁₀	0.021	
N	OZONE	24	24
	PAH_PM ₁₀	24	24

ตารางผนวกที่ ๙ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
กรุงเทพมหานคร ชั้นกลาง

		OZONE	PAH_TSP
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.276
	PAH_TSP	-0.276	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.193
	PAH_TSP	.193	
N	OZONE	12	12
	PAH_TSP	12	12

ตารางผนวกที่ ๑๐ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
กรุงเทพมหานคร ชั้นกลาง

		OZONE	PAH_PM ₁₀
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.480
	PAH_PM ₁₀	-0.480	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.009
	PAH_PM ₁₀	.009	
N	OZONE	24	24
	PAH_PM ₁₀	24	24

ตารางผนวกที่ ค11 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นบน

		OZONE	PAH_TSP
Pearson Correlation	OZONE	1.00	0.318
	PAH_TSP	0.318	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.157
	PAH_TSP	.157	
N	OZONE	12	12
	PAH_TSP	12	12

ตารางผนวกที่ ค12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา กรุงเทพมหานคร ชั้นบน

		OZONE	PAH_PM ₁₀
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.233
	PAH_PM ₁₀	-0.233	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.137
	PAH_PM ₁₀	.137	
N	OZONE	24	24
	PAH_PM ₁₀	24	24

ตารางผนวกที่ ค13 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นล่าง

		OZONE	PAH_TSP
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.531
	PAH_TSP	-0.531	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		0.047
	PAH_TSP	0.047	
N	OZONE	12	12
	PAH_TSP	12	12

ตารางผนวกที่ ค14 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นล่าง

		OZONE	PAH_PM ₁₀
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.662
	PAH_PM ₁₀	-0.662	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.001
	PAH_PM ₁₀	.001	
N	OZONE	24	24
	PAH_PM ₁₀	24	24

ตารางผนวกที่ ค15 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นกลาง

		OZONE	PAH_TSP
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.476
	PAH_TSP	-0.476	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.059
	PAH_TSP	.059	
N	OZONE	12	12
	PAH_TSP	12	12

ตารางผนวกที่ ค16 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นกลาง

		OZONE	PAH_PM ₁₀
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.617
	PAH_PM ₁₀	-0.617	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		0.001
	PAH_PM ₁₀	0.001	
N	OZONE	24	24
	PAH_PM ₁₀	24	24

ตารางผนวกที่ ค17 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน TSP กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นบน

		OZONE	PAH_TSP
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.060
	PAH_TSP	-0.060	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		.426
	PAH_TSP	.426	
N	OZONE	12	12
	PAH_TSP	12	12

ตารางผนวกที่ ค18 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PAHs ใน PM₁₀ กับ OZONE พื้นที่ศึกษา
อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ชั้นบน

		OZONE	PAH_PM ₁₀
Pearson Correlation	OZONE	1.00	-0.465
	PAH_PM ₁₀	-0.465	1.00
Sig (1-tailed)	OZONE		0.011
	PAH_PM ₁₀	0.011	
N	OZONE	24	24
	PAH_PM ₁₀	24	24



ภาคผนวก ง
ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ในบรรยากาศ
บริเวณใกล้พื้นที่ศึกษา ระหว่างปี พ.ศ.2547-2551

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ๑1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) บริเวณเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่างปี พ.ศ.2547-2549

เดือน	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀)											
	ปีพ.ศ. 2547				ปีพ.ศ. 2548				ปีพ.ศ. 2549			
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std	
มกราคม	38.3	17.7	0/31	24.6	50.4	12.6	0/30	27.7	76.5	19.5	0/28	47.1
กุมภาพันธ์	64.4	20.2	0/29	34.2	42.0	13.3	0/13**	20.5	55.1	21.9	0/28	31.6
มีนาคม	50.7	22.2	0/31	34.0	34.7	12.7	0/23	21.5	98.2	20.6	0/27	56.0
เมษายน	51.0	20.5	0/30	35.0	42.8	20.2	0/30	31.8	66.5	9.9	0/29	36.4
พฤษภาคม	47.7	20.2	0/27	30.2	44.6	25.0	0/31	32.3	71.2	28.4	0/15*	54.1
มิถุนายน	59.2	17.6	0/30	35.0	56.3	25.3	0/30	37.4	80.0	24.0	0/29	47.6
กรกฎาคม	102.3	20.5	0/29	39.5	84.4	24.7	0/31	39.8	126.8	23.3	1/31	58.1
สิงหาคม	65.3	12.9	0/30	36.8	92.0	17.8	0/31	35.3	98.8	27.0	0/30	44.2
กันยายน	46.1	16.2	0/21*	33.2	54.2	22.5	0/30	36.0	72.0	18.1	0/30	42.2
ตุลาคม	44.0	20.3	0/31	31.4	28.9	15.7	0/29	20.3	103.0	20.0	0/31	43.7
พฤศจิกายน	42.2	16.4	0/30	24.7	88.1	11.3	0/27	37.6	61.6	23.1	0/30	35.1
ธันวาคม	45.0	21.0	0/31	30.0	86.9	13.8	0/31	41.2	63.6	18.6	0/29	38.1
ค่ามาตรฐาน	120			-	120			-	120			-

หมายเหตุ * ข้อมูลร้อยละ 50-75 ,** ข้อมูลน้อยกว่าร้อยละ 50

ที่มา: ดัดแปลงจาก ส่วนแผนงานและประมวผล สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ (2551)

ตารางผนวกที่ ๒ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) บริเวณเทศบาลนครหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ระหว่างปี พ.ศ.2550-2551

เดือน	ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀)							
	ปีพ.ศ. 2550				ปีพ.ศ. 2551			
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std	
มกราคม	71.3	15.6	0/31	40.5	67.2	18.6	0/30	36.2
กุมภาพันธ์	62.5	18.2	0/28	33.3	79.9	18.5	0/29	39.5
มีนาคม	66.6	21.9	0/31	40.2	57.6	17.0	0/31	33.6
เมษายน	58.5	20.9	0/30	36.6	53.5	15.4	0/20*	38.2
พฤษภาคม	84.6	19.1	0/24	48.9	57.5	25.4	0/28	38.3
มิถุนายน	50.2	22.8	0/26	33.9	70.3	24.8	0/27	38.6
กรกฎาคม	91.2	19.0	0/25	40.7	66.4	23.7	0/30	40.8
สิงหาคม	60.6	19.3	0/27	37.7	87.9	26.6	0/29	49.5
กันยายน	56.8	18.4	0/20*	40.3	54.5	21.2	0/30	34.4
ตุลาคม	54.2	19.2	0/31	32.1	42.4	20.6	0/20*	30.5
พฤศจิกายน	91.4	17.5	0/23	44.9	70.2	11.2	0/30	28.8
ธันวาคม	55.2	19.2	0/31	34.2				
ค่ามาตรฐาน		120		-		120		-

หมายเหตุ * ข้อมูลร้อยละ 50-75

ที่มา: ดัดแปลงจาก ส่วนแผนงานและประมวลผล สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ (2551)

ตารางผนวกที่ 3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) บริเวณเคหะชุมชนดินแดง ถ. ดินแดง กรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2547-2549

เดือน	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀)											
	ปีพ.ศ. 2547				ปีพ.ศ. 2548				ปีพ.ศ. 2549			
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std	
มกราคม	142.4	29.5	5/31	87.7	121.2	41.0	1/29	73.0	206.2	62.1	13/30	118.6
กุมภาพันธ์	185.1	40.7	4/24	80.5	67.6	36.7	0/28	47.8	174.8	53.2	11/26	112.1
มีนาคม	141.7	40.3	1/30	62.9	107.8	18.1	0/31	43.2	146.1	50.8	3/31	77.7
เมษายน	83.6	34.2	0/30	52.9	68.8	16.4	0/28	31.2	114.2	49.3	0/24	70.3
พฤษภาคม	91.0	34.4	0/28	55.4	60.2	14.5	0/24	28.3	166.9	46.4	10/29	95.7
มิถุนายน	76.4	37.0	0/30	55.9	43.3	13.9	0/18*	21.8	125.7	32.4	1/30	66.0
กรกฎาคม	66.8	35.7	0/31	49.9	110.5	39.8	0/18*	62.8	93.4	29.9	0/27	53.9
สิงหาคม	93.6	32.8	0/28	46.9	129.5	44.2	1/31	70.0	69.0	44.0	0/8**	51.0
กันยายน	86.6	29.1	0/30	54.8	173.3	35.5	5/30	86.3	130.6	47.5	3/30	84.2
ตุลาคม	105.7	44.3	0/31	75.6	216.0	75.6	20/31	134.1	143.2	38.5	6/31	100.2
พฤศจิกายน	88.4	42.3	0/30	61.6	204.6	89.1	24/30	144.5	154.6	55.9	12/28	111.9
ธันวาคม	123.1	60.0	2/31	95.8	205.7	78.2	25/31	143.4	173.5	71.4	15/31	120.6
ค่ามาตรฐาน		120		-		120		-		120		-

หมายเหตุ * ข้อมูลร้อยละ 50-75 , ** ข้อมูลน้อยกว่าร้อยละ 50

ที่มา: ดัดแปลงจาก ส่วนแผนงานและประมวผล สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ (2551)

ตารางผนวกที่ ๔ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) บริเวณเคหะชุมชนดินแดง ถ. ดินแดง กรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2550-2551

เดือน	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀)							
	ปีพ.ศ. 2550				ปีพ.ศ. 2551			
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std	
มกราคม	201.7	54.4	17/28	134.4	159.0	31.2	9/31	92.3
กุมภาพันธ์	193.0	40.2	6/28	73.7	164.5	34.2	5/29	85.5
มีนาคม	98.5	43.9	0/27	60.9	205.4	34.4	7/31	72.7
เมษายน	101.0	34.8	0/28	62.8	105.2	26.2	0/28	61.5
พฤษภาคม	130.0	43.0	1/31	76.0	101.7	32.9	0/31	61.6
มิถุนายน	119.4	32.4	0/30	70.3	102.0	32.0	0/30	61.7
กรกฎาคม	149.8	39.3	3/31	72.0	109.2	30.9	0/31	49.0
สิงหาคม	101.5	39.0	0/29	60.6	93.8	28.8	0/31	51.6
กันยายน	117.9	29.2	0/30	61.9	115.5	34.0	0/30	60.5
ตุลาคม	136.3	31.5	3/26	79.8	144.0	48.5	7/31	96.0
พฤศจิกายน	137.3	34.9	1/30	69.4	135.5	47.4	1/30	85.7
ธันวาคม	128.5	28.0	3/31	82.5				
ค่ามาตรฐาน		120		-		120		-

ที่มา: ดัดแปลงจาก ส่วนแผนงานและประมวลผล สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ (2551)

ตารางผนวกที่ 5 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) บริเวณโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จ.เชียงใหม่ ระหว่างปี พ.ศ. 2547-2549

เดือน	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀)											
	ปีพ.ศ. 2547				ปีพ.ศ. 2548				ปีพ.ศ. 2549			
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std	
มกราคม	168.8	67.9	11/31	115.9	106.8	46.6	0/30	78.0	103.3	34.7	0/29	68.5
กุมภาพันธ์	291.0	65.6	24/29	159.5	206.9	63.3	16/28	127.8	111.3	50.0	0/28	71.0
มีนาคม	274.6	143.7	30/30	217.7	148.6	39.0	6/28	92.4	237.0	61.8	14/31	122.2
เมษายน	224.3	39.8	16/30	114.6	167.7	22.3	2/30	62.7	132.3	20.6	3/30	64.0
พฤษภาคม	56.6	21.0	0/31	34.9	69.2	14.8	0/30	37.8	53.0	21.8	0/31	37.6
มิถุนายน	63.5	27.8	0/30	41.1	38.3	17.1	0/27	24.5	49.5	19.4	0/30	31.2
กรกฎาคม	25.6	13.6	0/26	17.2	45.2	19.5	0/27	31.0	56.5	19.3	0/30	32.5
สิงหาคม	55.9	17.7	0/31	28.8	59.4	19.2	0/19*	38.5	50.1	17.3	0/24	32.9
กันยายน	57.9	17.5	0/28	34.3	69.3	15.7	0/22*	35.5	70.1	18.2	0/30	33.1
ตุลาคม	103.0	24.1	0/28	63.5	69.7	21.6	0/31	47.5	61.3	18.8	0/31	43.6
พฤศจิกายน	61.8	17.4	0/28	45.7	62.8	31.6	0/30	45.6	91.3	36.6	0/30	62.6
ธันวาคม	105.6	25.7	0/31	68.6	112.2	26.0	0/31	57.4	90.5	39.3	0/29	65.5
ค่ามาตรฐาน	120			-	120			-	120			-

หมายเหตุ * ข้อมูลร้อยละ 50-75

ที่มา: คัดแปลงจาก ส่วนแผนงานและประมวผล สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ (2551)

ตารางผนวกที่ ๖ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) บริเวณ
โรงเรียนยุพราชวิทยาลัย จ.เชียงใหม่ ระหว่างปี พ.ศ. 2550-2551

เดือน	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀)							
	ปีพ.ศ. 2550				ปีพ.ศ. 2551			
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (µg/m ³)			ค่าเฉลี่ยรายเดือน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std		ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	ครั้ง>std	
มกราคม	138.6	45.3	1/22*	70.5	98.6	36.4	0/31	64.2
กุมภาพันธ์	162.2	24.5	7/27	97.0	100.1	43.1	0/28	65.1
มีนาคม	396.4	62.0	19/25	162.5	178.9	59.8	7/28	99.9
เมษายน	154.8	29.0	3/23	74.6	131.0	12.8	1/29	60.5
พฤษภาคม	55.2	20.1	0/25	35.3	61.2	21.3	0/31	36.3
มิถุนายน	40.2	20.5	0/30	29.4	63.1	20.3	0/30	34.1
กรกฎาคม	42.7	18.3	0/31	30.2	38.5	12.7	0/29	24.1
สิงหาคม	34.9	20.6	0/31	27.3	31.3	15.1	0/31	22.5
กันยายน	57.3	18.2	0/30	35.3	50.8	18.5	0/30	29.5
ตุลาคม	75.5	19.6	0/31	43.6	57.5	20.8	0/31	31.3
พฤศจิกายน	94.3	24.2	0/25	51.6	62.5	20.0	0/30	38.3
ธันวาคม	75.1	32.4	0/31	53.6				
ค่ามาตรฐาน		120		-		120		-

หมายเหตุ * ข้อมูลร้อยละ 50-75

ที่มา: ดัดแปลงจาก ส่วนแผนงานและประมวลผล สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
กรมควบคุมมลพิษ (2551)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุพรรณิการ์ ชาเหล่า
วัน เดือน ปี ที่เกิด	10 สิงหาคม 2527
สถานที่เกิด	จังหวัดมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนโครงการลักษณะชั้นบรรยากาศและผลต่อ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลสารทาง อากาศสำหรับประเทศไทย