



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนใน
ฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูง

Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in
Total Suspended Particulate

นามผู้วิจัย นางสาวลลิตา มีแก้ว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมตาม
แนวระดับความสูง

Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in
Total Suspended Particulate

โดย

นางสาวลลิตา มีแก้ว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรบัณฑิตสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ลลิตา มีแก้ว 2553: การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูง ปรินญาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D. 180 หน้า

ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) ตามแนวระดับความสูง จำนวน 15 ชนิด ที่ระดับความสูง 3 ระดับ ได้แก่ ชั้นล่าง คือ ระดับความสูงที่อยู่เหนือชั้น Roughness layer ชั้นกลาง คือระดับความสูงที่อยู่ในชั้น Surface layer และชั้นบน คือ ระดับความสูงที่อยู่เหนือชั้น Surface layer ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร และพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ เก็บข้อมูลระหว่างเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 โดยวิเคราะห์ PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS/MS ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs สูงสุดในช่วงเวลา กลางคืน และค่าเฉลี่ยต่ำสุดในช่วงเวลากลางวัน พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs สูงสุด เท่ากับ $0.75 \pm 0.60 \text{ ng/m}^3$ รองลงมาคือ พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร มีค่าเท่ากับ $0.42 \pm 0.31 \text{ ng/m}^3$ และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) มีค่าเท่ากับ $0.15 \pm 0.11 \text{ ng/m}^3$ โดยมีค่าเฉลี่ยในแต่ละระดับชั้นความสูง ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน ดังต่อไปนี้ พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.147, 0.131 และ 0.179 ตามลำดับ พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.448, 0.306 และ 0.484 ตามลำดับ และอำเภอเมือง พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.797, 0.852 และ 0.580 ตามลำดับ โดยกระบวนการสำคัญซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนดังกล่าวคือ การย่อยสลาย โดยปฏิกิริยาทางเคมีกับก๊าซโอโซน และการทำปฏิกิริยากับแสง ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของ PAHs แต่ละชนิด เช่น มวลโมเลกุล และความดันไอ เป็นต้น

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Lalita Meekaew 2010: Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Total Suspended Particulate. Master of Science (Environmental Science), Major Field: Environmental Science, College of Environment. Thesis Advisor: Assistant Professor Surat Bualert, Ph.D. 180 pages.

This study focuses on 15 Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Total Suspended Particulate (TSP) at three different height levels in Songkhla, Chiangmai and Bangkok (the above roughness length, the surface layer and the urban boundary layer), during sampling between december 2007 – february 2008. PAHs were analyzed by GC-MS/MS. The results indicated that the totally average concentrations of PAHs were highest at night time and the lowest concentrations of PAHs were found at day time for all three levels. Songkhla 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. Chiangmai 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 processes that influence the concentration of the PAHs for example, heterogeneous with ozone and photochemical degradation.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยดีอันเนื่องมาจากความช่วยเหลือของหลายๆฝ่าย ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ ศาสตราจารย์เกษม จันทร์แก้ว และ ดร.ศิวัช พงษ์เพ็ญจันทร์ เป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา และให้คำแนะนำในการศึกษาวิจัย ตลอดจนดูแล และช่วยแก้ไขปัญหาคงอุปสรรคต่างๆซึ่งเกิดระหว่างการวิจัยด้วยดีตลอดมา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้

ขอกราบขอบพระคุณ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยวิทยานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของ โครงการวิจัยลักษณะของชั้นบรรยากาศ และผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลสารทางอากาศสำหรับประเทศไทย ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัว และเพื่อนๆที่ทุกคน ที่ให้กำลังใจ คำปรึกษา และความช่วยเหลือที่ดีตลอดมา

ลลิตา มีแก้ว

มกราคม 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(7)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(10)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	45
ผลและวิจารณ์	69
สรุปและข้อเสนอแนะ	148
สรุป	148
ข้อเสนอแนะ	153
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	154
ภาคผนวก	162
ภาคผนวก ก ความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ในฝุ่นละอองรวม	163
ภาคผนวก ข ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม	167
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlations)	171
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	180

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ชื่อเคมี สูตรโมเลกุล สูตรโครงสร้าง น้ำหนักโมเลกุล จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons	20
2	การจัดกลุ่มสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons โดย International Agency for Research on Cancer (IARC)	35
3	สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์ PAHs	54
4	Retention Time ของสารละลายมาตรฐาน PAHs 15 ชนิด และ Internal Standard PAHs 2 ชนิด	56
5	ค่า Instrumental Detection Limit, Resolution, Number of Theoretical Plates และ Height Equivalent of Theoretical Plate	57
6	ผลการวิเคราะห์สารอ้างอิงมาตรฐาน	58
7	แหล่งกำเนิดของ PAHs จากการเทียบอัตราส่วน PAHs (Binary ratio)	71
8	อัตราส่วนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม (ร้อยละ) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550	77
9	ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng/m^3) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	78
10	อัตราส่วนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม (ร้อยละ) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	86
11	ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng/m^3) ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	87
12	อัตราส่วนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) แต่ละชนิด ในฝุ่นละอองรวม (ร้อยละ) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng/m^3) ระหว่างวันที่ 25–28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	97
14	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs (ng/m^3) และความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	108
15	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs (ng/m^3) และความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	116
16	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs (ng/m^3) และความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	123
17	สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (หาดใหญ่)	129
18	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	130
19	สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ของ PAHs แต่ละชนิด พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	131
20	สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	135
21	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	136

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
22	สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ของ PAHs แต่ละชนิด พื้นที่ศึกษาจังหวัด กรุงเทพมหานคร	137
23	สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	142
24	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	142
25	สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ของ PAHs แต่ละชนิด พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	144
ตารางผนวกที่		
ก1	ความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม (ng/m^3) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา(อำเภอหาดใหญ่)	164
ก2	ความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม (ng/m^3) ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	165
ก3	ความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม (ng/m^3) ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	166

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข1	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	168
ข2	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร	169
ข3	ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	170
ค1	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) ในแต่ละระดับชั้นความสูง พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	172
ค2	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) ในแต่ละระดับชั้นความสูง พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	172
ค3	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) ในแต่ละระดับชั้นความสูง พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	173
ค4	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และ สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	174
ค5	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และ สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	175

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค6	ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และ สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	176
ค7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) และความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	177
ค8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) และความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	178
ค9	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) และความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	179

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขอบเขตการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูง	4
2	ชั้นเขตแดนของบรรยากาศ	7
3	ลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของอากาศ	9
4	การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมกับความสูงบนพื้นผิวชนิดต่างๆ	12
5	บรรยากาศที่มีลักษณะไม่คงตัว	13
6	บรรยากาศที่มีลักษณะคงตัว	14
7	บรรยากาศที่มีลักษณะสะเทิน	14
8	ปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ	26
9	องค์ประกอบของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย	30
10	ขนาดของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย	31
11	อุปกรณ์ชุดเก็บตัวอย่าง TSP Hi-Volume Air Sampler	40
12	เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer	42
13	ขั้นตอนการสกัด PAHs	52
14	โครมาโตแกรมของสาร PAHs 17 ชนิด	55
15	จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	64
16	จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร	66
17	จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	68
18	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	73
19	PAHs Profile พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	75
20	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	PAHs Profile พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	85
22	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	92
23	PAHs Profile พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	94
24	PAHs Profile พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) พื้นที่ศึกษาจังหวัด กรุงเทพมหานคร และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	99
25	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ใน รอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง	103
26	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ใน รอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง	105
27	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ใน รอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน	107
28	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs (ng/m^3) และ ความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)	108
29	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ใน รอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัด กรุงเทพมหานคร บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง	110
30	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ใน รอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัด กรุงเทพมหานคร บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง	112

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
31	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ใน รอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัด กรุงเทพมหานคร บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน	114
32	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs (ng/m^3) และ ความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร	115
33	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ใน รอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัด เชียงใหม่ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง	117
34	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ใน รอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัด เชียงใหม่ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง	119
35	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ใน รอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัด เชียงใหม่ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน	121
36	สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs (ng/m^3) และ ความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่	122

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$^{\circ}\text{C}$	=	องศาเซลเซียส
CO	=	ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
m^3/min^1	=	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
km	=	กิโลเมตร
m	=	เมตร
m/s^1	=	เมตรต่อวินาที
μl	=	ไมโครลิตร
μm	=	ไมโครเมตร
μg	=	ไมโครกรัม
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	=	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ml	=	มิลลิลิตร
ml/min^1	=	มิลลิลิตรต่อนาที
ng	=	นาโนกรัม
ng/m^3	=	นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
nm	=	นาโนเมตร
NO	=	ก๊าซไนตริกออกไซด์
NO ₂	=	ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์
NO _x	=	ออกไซด์ของไนโตรเจน
SO ₂	=	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
O ₃	=	ก๊าซโอโซน
PAHs	=	สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน
ppb	=	ส่วนในพันล้านส่วน
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน
PM _{2.5}	=	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
PM ₁₀	=	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
TSP	=	ฝุ่นละอองรวม

การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละออง รวมตามแนวระดับความสูง

Vertical Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Total Suspended Particulate

คำนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการพัฒนาในด้านโครงสร้างพื้นฐาน และกิจกรรมการใช้ประโยชน์มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นในด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ชุมชน และเมือง ส่งผลให้ชนิด ปริมาณ สัดส่วน และการกระจายของมลสารในชั้นบรรยากาศเปลี่ยนแปลงไปทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ตามมา โดยเฉพาะในเขตเมืองซึ่งพบว่าการพัฒนาอย่างรวดเร็วเพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ดังเห็นได้จากในหลายๆ พื้นที่ในเขตเมืองที่ประสบกับปัญหามลภาวะทางอากาศอยู่บ่อยครั้ง เช่น จังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น ทำให้มีปัญหา มลภาวะทางอากาศตามมา จังหวัดสงขลาซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมลสารจากระยะไกลจากประเทศเพื่อนบ้าน เช่น ประเทศอินโดนีเซีย หรือจังหวัดเชียงใหม่ซึ่งประสบกับปัญหาหมอกควันจากไฟป่า หรือการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรอยู่บ่อยครั้ง โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาว จากปัญหาดังกล่าวจะเห็นได้ว่ามลสารที่พบปัญหาอยู่บ่อยครั้งคือ ฝุ่นละออง ซึ่งสิ่งที่แฝงมากับฝุ่นละอองนั้นก็คือ สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) เป็นกลุ่มสารเคมีที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Ring) ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรง มุม หรือกลุ่ม จัดเป็นสารมลพิษทางอากาศชนิดหนึ่ง ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง หรือการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์โรงงานอุตสาหกรรม ไม้ และถ่านหินเป็นต้น ซึ่งพบว่า 90% ของการปลดปล่อยสู่บรรยากาศมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (Harvey, 1997) โดยเฉพาะบรรยากาศในเขตเมือง พบว่าการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่สุด (Oanh *et al.*, 2000) สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นกลุ่มสารมลพิษที่จัดว่าเป็นสารก่อการกลายพันธุ์ (Mutagenicity) และสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity) ในบรรยากาศ สามารถอยู่ในรูปของก๊าซ และถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคต่างๆ ได้

โดยขึ้นอยู่กับลักษณะทางเคมี และกายภาพของสาร แต่พบว่าส่วนใหญ่จะปนเปื้อนอยู่ในอากาศในรูปที่ดูดซับอยู่บนอนุภาค หรือฝุ่นละอองมากกว่าในรูปของก๊าซ เนื่องจากสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนสามารถระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

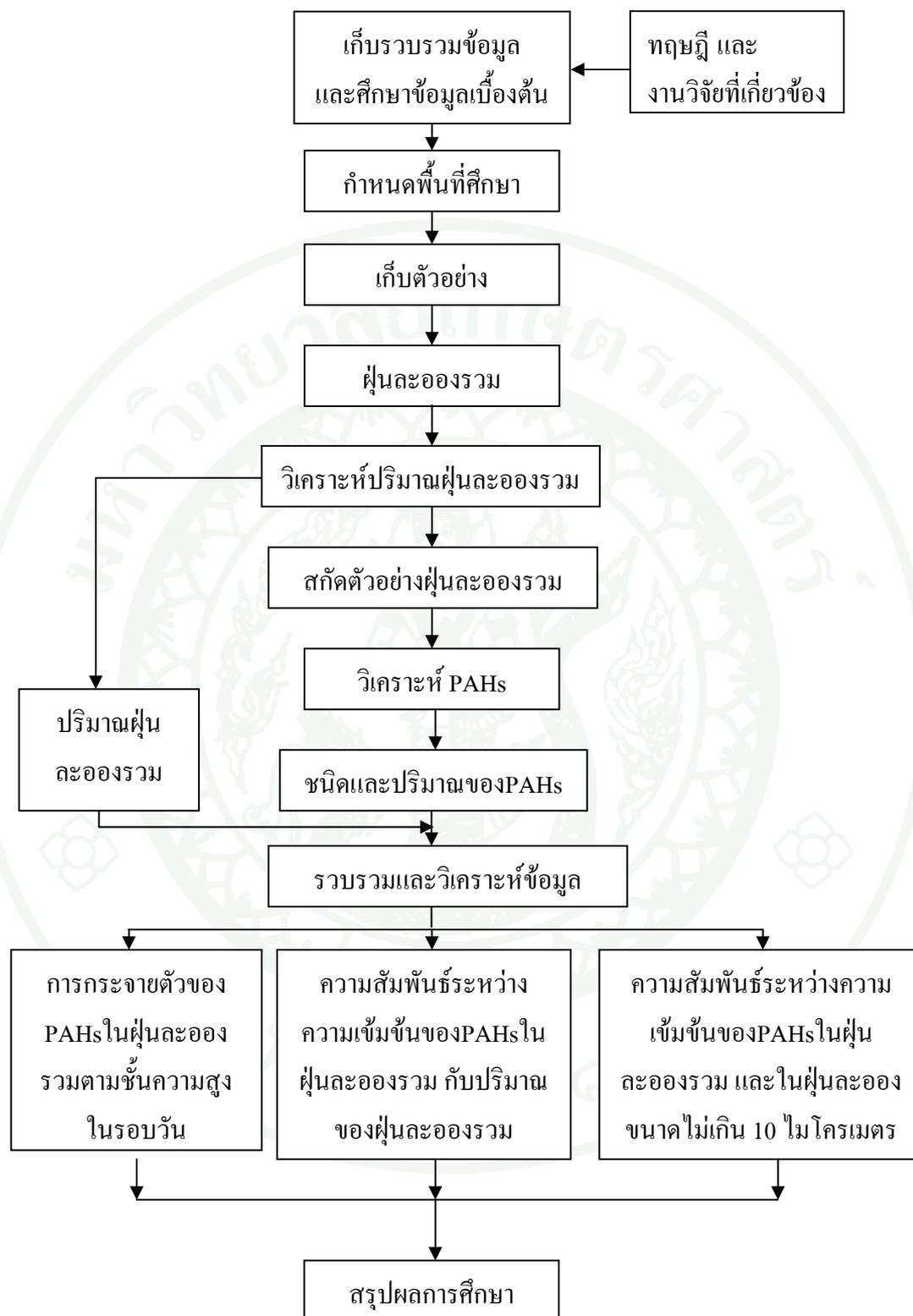
ปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาในเรื่องการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนตามแนวระดับความสูง รวมถึงชนิด ปริมาณ และสัดส่วนในฝุ่นละอองขนาดต่างๆว่าเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ดังนั้น การศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรม หรือการเปลี่ยนแปลงสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน อันได้แก่การกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนตามแนวระดับความสูง ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม และในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ในบรรยากาศ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการปัญหามลภาวะทางอากาศต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมในแต่ละช่วงเวลาในระดับความสูงต่างๆในเขตพื้นที่ที่ทำการศึกษา
2. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม กับปริมาณของฝุ่นละอองรวม
3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม และในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร

ขอบเขตการศึกษา

ทำการศึกษการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูงในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ พื้นที่จังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ในช่วงระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่กรุงเทพมหานคร ในช่วงระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 และพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวมทุก 6 ชั่วโมง เป็นเวลา 3 วันต่อเนื่องตามแนวระดับความสูง แบ่งเป็น 3 ระดับความสูง ได้แก่ ชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน จากนั้นนำไปสกัด PAHs แล้วนำไปวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณของ PAHs โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC-MS/MS) เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป รายละเอียดของขอบเขตการศึกษาแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขอบเขตการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูง

การตรวจเอกสาร

1. ชั้นบรรยากาศโลก

การแบ่งชั้นบรรยากาศของโลกโดยใช้อุณหภูมิเป็นเกณฑ์ในการแบ่งนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 4 ชั้นที่สำคัญได้แก่ ชั้นเทอร์โมสเฟียร์ (Thermosphere) เป็นบรรยากาศชั้นที่สูงที่สุด ชั้นมิโซสเฟียร์ (Mesosphere) คือชั้นบรรยากาศชั้นกลางที่อยู่สูงจากพื้นโลกประมาณ 50-80 กิโลเมตร เป็นชั้นที่อากาศเย็นที่สุด อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูง ชั้นสตราโทสเฟียร์ (Stratosphere) คือชั้นบรรยากาศชั้นที่สองที่อยู่สูงจากพื้นโลกมีความสูงประมาณ 50 กิโลเมตร ชั้นนี้ประกอบด้วยก๊าซโอโซนปริมาณแผ่ออกเป็นชั้น และทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ โดยเฉพาะรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยก๊าซโอโซนจะมีความหนาแน่นมากขึ้นเมื่อระดับความสูงมากขึ้น ทำให้ชั้นนี้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามระดับความสูง และชั้นโทรโปสเฟียร์ (Troposphere) ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศชั้นแรก อยู่ใกล้ผิวโลกมากที่สุด และมีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นของบรรยากาศมากที่สุดถึงร้อยละ 80 และเป็นอากาศที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต รวมถึงมนุษย์ ปริมาณไอน้ำเกือบทั้งหมดของบรรยากาศจะปรากฏอยู่ในชั้นนี้ รวมทั้งปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่สำคัญๆ เกี่ยวกับลม ฟ้า อากาศ เช่น การเกิดเมฆ หมอก ฝน หิมะ และพายุต่างๆ ก็เกิดขึ้นเฉพาะในชั้นบรรยากาศนี้เท่านั้น นอกจากนี้การเคลื่อนที่ของอากาศในชั้นนี้มีการเคลื่อนที่ในแนวนอนและแนวตั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตอนบนของความสูงในชั้นโทรโปสเฟียร์ในแต่ละแห่งจะมีความผันแปรขึ้นอยู่กับแรงในการยกตัวของอากาศที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความดัน (Lutgens, 2004; สุรัตน์, 2547)

ปัจจุบันมนุษย์มีการพัฒนาในด้านโครงสร้างพื้นฐานและกิจกรรมการใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยเฉพาะในเขตเมือง โดยกิจกรรมของมนุษย์ที่เกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็น เกษตรกรรม อุตสาหกรรม ชุมชน และเมือง เช่น การจราจร การเผาป่าหรือวัชพืชเพื่อการเพาะปลูก ล้วนเป็นแหล่งกำเนิดมลสารซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งแต่ละเมืองก็จะมีชนิด ปริมาณ สัดส่วน และการกระจายของมลสารในชั้นบรรยากาศแตกต่างกันออกไป เนื่องจากการมีกิจกรรมที่แตกต่างกัน เมื่อมลสารถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด ซึ่งเป็นตัวก่อและระบายมลสารพิษทางอากาศออกสู่บรรยากาศภายนอก จะมีอากาศหรือบรรยากาศเป็นตัวกลางให้สารมลพิษที่ระบายออกสู่อากาศหรือบรรยากาศมีการแพร่กระจายออกไป โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางอุตุนิยมวิทยา โดยกระบวนการทางเคมี ได้แก่ กระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อมลสารถูกปลดปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิด

มลสารอาจจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นมลสารชนิดอื่นได้ อาจมีความรุนแรงเพิ่มขึ้นหรือน้อยลง โดยกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เช่น ปฏิกิริยา Photochemical เป็นต้น ส่วนกระบวนการทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ความเร็วลม ทิศทางลม และอุณหภูมิของอากาศ เป็นต้น ลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการกำหนดลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศ เนื่องจากลมเป็นตัวการในการพัดพามลสารออกมาจากแหล่งกำเนิด และเป็นตัวเจือจางมลสาร โดยความเข้มข้นของมลสารนั้นแปรผกผันกับความเร็วลมสำหรับแหล่งกำเนิดระดับพื้น ส่วนอุณหภูมิมิมีผลต่อความสูงผสม (Mixing Height) ซึ่งเป็นตัวกำหนดว่ามลสารสามารถผสมกันได้ดีหรือไม่ จากนั้นสารมลพิษต่างๆ จะแพร่กระจายไปสู่ผู้รับผลกระทบทำให้เกิดความเสียหาย เช่น ทำลายสุขภาพของมนุษย์ สัตว์ ทำให้เกิดความเสียหายในพืช หรือทำลายคุณสมบัติอื่นๆ ในสิ่งแวดล้อม

2. ชั้นเขตแดนของบรรยากาศ

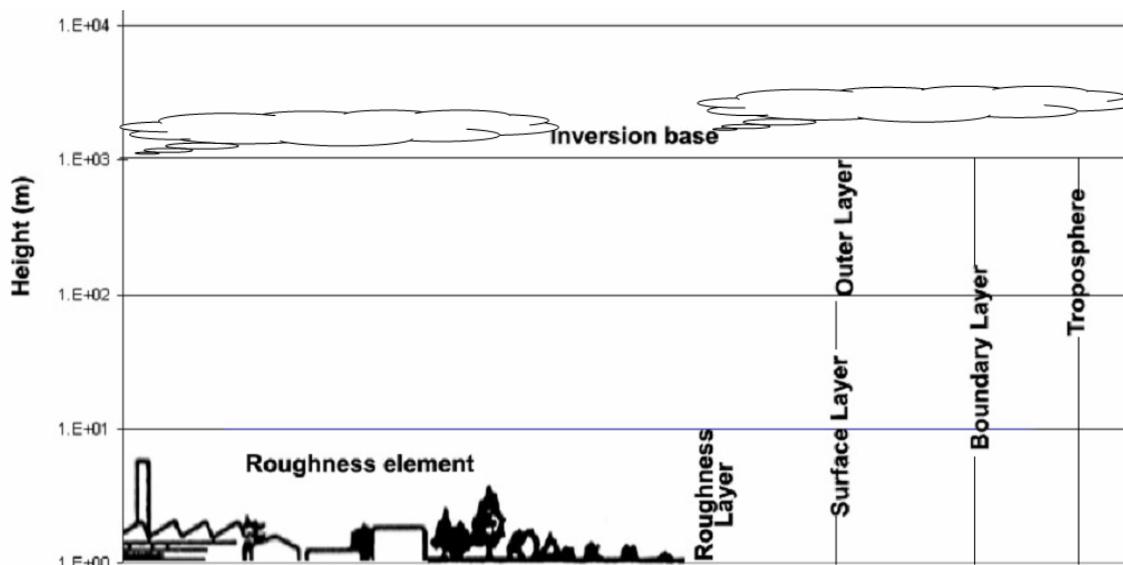
การแบ่งชั้นเขตแดนของบรรยากาศตามอิทธิพลของสิ่งปกคลุมผิวโลกที่มีผลกระทบต่อเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ซึ่งชั้นบรรยากาศของโลกเรียกว่า Planetary Boundary Layer จะอยู่ภายใต้ชั้นบรรยากาศ โทร โปสเฟียร์ (Arya, 2001) สามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1 ชั้น Roughness Layer

เป็นชั้นที่ได้รับผลมาจากความขรุขระของพื้นผิว โดยในชั้นนี้จะมีความสูงจากพื้นดินประมาณ 10 เมตร การเคลื่อนที่ของมวลอากาศในชั้นนี้จะมีผลมาจากสิ่งกีดขวางที่อยู่บนผิวโลก เช่น สิ่งปลูกสร้างต่างๆ ต้นไม้ เป็นต้น สิ่งกีดขวางเหล่านี้จะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบ (Advection)

2.2 ชั้น Surface Layer

เป็นชั้นที่การเคลื่อนที่ของมวลอากาศได้รับอิทธิพลมาจากสิ่งกีดขวางทั้งในแนวตั้งและแนวระนาบ ทำให้เกิดการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพื้นที่ เช่น พื้นที่เมือง หรือพื้นที่ชนบท เป็นต้น



ภาพที่ 2 ชั้นเขตแดนของบรรยากาศ

ที่มา: Arya (2001)

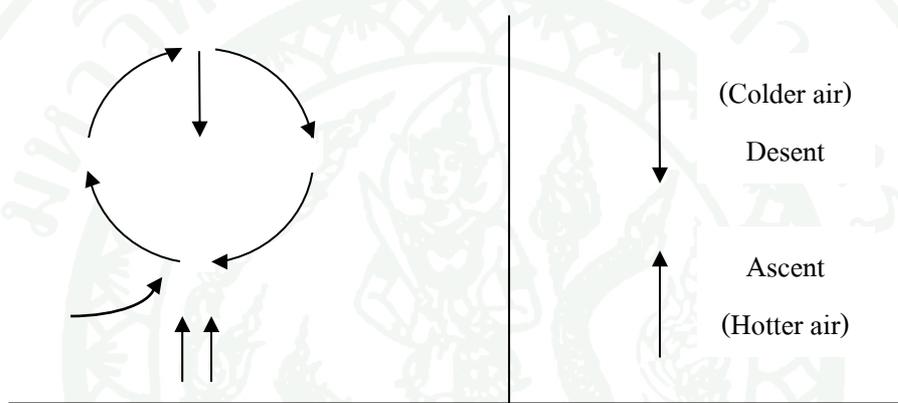
ชั้นเขตแดนของบรรยากาศทั้ง 2 ชั้นนี้ จะได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศตามแนวระนาบ และการเคลื่อนที่ของมวลอากาศตามแนวตั้ง โดยในชั้น Roughness Layer นั้นจะได้รับอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบมากกว่าชั้น Surface Layer ในขณะที่ชั้น Surface Layer นั้นจะได้รับอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งมากกว่า ส่วนชั้นบรรยากาศที่อยู่เหนือชั้น Surface Layer ขึ้นไปนั้นจะได้รับอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งมากที่สุด และจะได้รับอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบน้อยที่สุด โดยการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบในแต่ละระดับชั้นนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่ตามความสูง และลักษณะของพื้นที่ เนื่องจากความกดอากาศ และแรงเสียดทานอันเนื่องมาจากความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness) มีผลต่อการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ส่วนการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งนั้นจัดเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนที่โมเลกุลของตัวนำ (อากาศ) พาความร้อนเคลื่อนที่ไปด้วยตามหลักของกระบวนการอะเดียบาติก (Adiabatic Cooling Process) ซึ่งอุณหภูมิจะลดลงตามระดับความสูง ดังนั้นเมื่อมวลอากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศภายนอก ส่งผลให้มวลอากาศมีความดันอากาศต่ำกว่าบรรยากาศภายนอก จากนั้นมวลอากาศจะขยายตัวออก เพื่อลดอุณหภูมิของมวลอากาศให้เท่ากับ หรือน้อยกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอกที่ลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกอัตราการลดลงของอุณหภูมิตามความสูงที่เพิ่มขึ้นใน

สภาพปกตินี้ว่า Adiabatic Lapse Rate มีค่าประมาณ 0.98 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร การลอยตัวของมวลอากาศที่มีอุณหภูมิสูง หรือมีความดันอากาศต่ำนั้นเกิดขึ้นจนกระทั่งอุณหภูมิของมวลอากาศมีค่าเท่ากับ หรือต่ำกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอก ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมิมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบอุณหภูมิผกผัน (Temperature Inversion) ลักษณะดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการสะสมของมลสารในบรรยากาศ เนื่องจากมวลอากาศไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ตามกระบวนการอะเดียบาติก (Adiabatic Cooling Process) ซึ่งนักวิทยาศาสตร์เรียกระดับความสูงที่มวลอากาศไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ว่า ระดับความสูงผสม (Mixing Height) (Arya, 1999) โดยความสูงของชั้นบรรยากาศโลกจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ระดับความร้อนหรือเย็นของพื้นผิว ความเร็วลม ลักษณะภูมิอากาศหรือความขรุขระของพื้นผิว การเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบ และแนวดิ่ง เป็นต้น ความสูงต่ำของชั้นบรรยากาศโลกนี้ เป็นความสูงเดียวกับชั้นความสูงผสม (Mixing Layer) โดยเป็นชั้นความสูงที่เมื่อมีการปล่อยมลสารออกจากแหล่งกำเนิด มลสารจะเคลื่อนที่ผสมกันในชั้นบรรยากาศนี้ และจะถูกจำกัดขอบเขตโดยชั้นอุณหภูมิผกผัน (Inversion Layer) ดังนั้น ถ้าชั้นนี้มีความสูงจากพื้นโลกมากก็จะมีปริมาตรของอากาศให้มลสารสามารถผสมกันได้มากขึ้น ทำให้เกิดการกระจายตัวได้ดี ความเข้มข้นของมลสารก็จะลดลง แต่ถ้าชั้นนี้มีความสูงจากพื้นโลกต่ำก็จะทำให้เกิดผลในทางกลับกันคือ มีปริมาตรในการให้มลสารเข้าผสมได้น้อย ทำให้มลสารไม่สามารถกระจายตัวได้ ทำให้เกิดการสะสมของมลสารขึ้น ระดับของชั้นความสูงผสมนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาและสถานที่ โดยจะมีค่าตั้งแต่ 10 เมตร จนถึง 1-2 กิโลเมตร

3. กระบวนการเคลื่อนที่ของอากาศ

การเคลื่อนที่ของอากาศจากกระบวนการพาความร้อน (Convection) ของความร้อนใกล้ผิวดินเกิด เมื่อผิวดินระเหยหรือโลกได้รับความร้อนจนมวลอากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศภายนอก เมื่อมวลอากาศมีอุณหภูมิสูงจะมีความกดอากาศต่ำกว่าบรรยากาศภายนอก จากนั้นจะขยายตัวออกเพื่อลดอุณหภูมิของมวลอากาศให้เท่ากับ หรือน้อยกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศภายนอกที่ลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้นตามกระบวนการอะเดียบาติก (Adiabatic Cooling Process) ทำให้มวลอากาศลอยตัวสูงขึ้น (Convection) เนื่องจากมีความหนาแน่นน้อยลง ก้อนอากาศที่ลอยแล้วทำให้เกิดการลอยตัวสูงขึ้นไป อากาศที่เย็นกว่า หรืออากาศที่หนักกว่า จะไหลเข้ามาแทนที่ (Advection) การแทนที่ของอากาศเย็นที่หนักกว่าสู่ที่ที่อากาศร้อนที่เบากว่านี้ ทำให้เกิดลักษณะการเคลื่อนที่ของลมเมื่อเกิดลมขึ้นไม่ว่าความเร็วจะมีมากน้อยเพียงใด ก็จะมีชั้นหนึ่งซึ่งมีความเร็วลมเป็นแบบ Laminar Flow การที่มีลักษณะลมเช่นนี้จึงเรียกชั้นที่อยู่ใกล้ผิวดินนี้ว่า Laminar Layer บริเวณอากาศชั้นนี้

ความเร็วลมจะลดและเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการเคลื่อนย้ายของสิ่งต่างๆ เช่น ความชื้น และ โมเมนตัมจะเป็นในลักษณะ Molecular Diffusion ส่วนความร้อนจะเป็นไปในลักษณะของการนำ ความร้อน (Conduction) ส่วนที่อยู่เหนือชั้น Laminar Boundary Layer ขึ้นไป การเคลื่อนย้ายของสิ่ง ต่างๆ เหล่านี้จะเป็นไปในลักษณะของความปั่นป่วน (Turbulence) หรือ Eddy Transfer หรือเรียก ใหม่เป็น Eddy Diffusion ซึ่งเป็นส่วนของ Conduction Process อันอาจเกิดจาก Frictional หรือ Free Convection ซึ่ง Eddy Diffusion นี้มักเกิดกับลักษณะของอากาศที่ไม่เสถียร (Unstable) หรืออากาศที่ อยู่ในลักษณะปั่นป่วน (เกษม, 2522)



ภาพที่ 3 ลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวตั้งของอากาศ

ที่มา: เกษม (2522)

4. การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของชั้นบรรยากาศ (Diurnal Variation)

การเปลี่ยนแปลงในรอบวันของชั้นบรรยากาศ (Diurnal Variation) มีสาเหตุจากในเวลา กลางคืนพื้นดินด้านล่างจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าด้านบน เนื่องจากด้านบนมีการแผ่รังสีความร้อนจาก เมฆออกมา ภาวะเช่นนี้คือการเกิดอุณหภูมิผกผัน (Temperature Inversion) และในเวลากลางวันเมื่อ โลกได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ บรรยากาศด้านล่างจะเริ่มอุณหภูมิสูงขึ้น ชั้นอุณหภูมิผกผัน จึงค่อยๆ หายไป และจะกลับมาอีกครั้งเมื่อในเวลากลางคืน

4.1 ขอบเขตชั้นบรรยากาศในช่วงเวลากลางวัน (Convective Boundary Layer; CBL)

ในช่วงเวลากลางวันโลกจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นผิวโลก ทำให้พื้นผิวของโลกร้อนขึ้น อุณหภูมิด้านล่างจะร้อนกว่าด้านบน มวลอากาศร้อนจึงเคลื่อนตัวขึ้นไปในแนวตั้งแล้วขยายตัวออกตามกระบวนการ Adiabatic Cooling Process ดังนั้น สิ่งที่มีบทบาทเด่นในช่วงเวลากลางวัน คือ ความร้อน (Thermal Property) ทำให้ช่วงเวลากลางวันบรรยากาศอยู่ในสภาวะไม่คงตัว (Unstable Condition) ชั้นของอุณหภูมิผกผันจึงสูงขึ้น ดังนั้น ระดับความสูงผสมจึงมีค่ามากขึ้น ทำให้มีปริมาตรของอากาศในการผสมกับมลสารในชั้นบรรยากาศมีมากขึ้น

4.2 ขอบเขตของชั้นบรรยากาศในช่วงเวลากลางคืน (Stable Boundary Layer; SBL)

ในเวลากลางคืนความร้อนจะถูกเก็บสะสมไว้ในพื้นดิน สิ่งปลูกสร้างต่างๆ และก้อนเมฆ จากนั้นจะแผ่รังสีความร้อน (Re-Radiation) ออกมาในรูปของรังสีคลื่นยาว แต่อุณหภูมิของพื้นดินมีการคายความร้อนได้ดีกว่า ทำให้อุณหภูมิของพื้นดินลดลงได้เร็วกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ และการที่มีเมฆช่วยในการแผ่รังสีความร้อนออกมาทำให้มวลอากาศร้อนเรียงตัวเป็นแนวอยู่ด้านบน เหตุการณ์เช่นนี้ทำให้บรรยากาศอยู่ในสภาพอุณหภูมิผกผัน คือ มวลอากาศไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง การไหลของมวลอากาศมีน้อยกว่าในช่วงเวลากลางวัน สิ่ง que เข้ามามีบทบาทสำคัญในช่วงเวลากลางคืนคือ สมบัติทางกายภาพ (Physical Property) เช่น ความขรุขระของพื้นผิว (Surface Roughness) มีผลทำให้ความเร็วลมลดลง อากาศจึงไม่มีการเคลื่อนที่ เมื่ออากาศนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง จึงทำให้ชั้นอุณหภูมิผกผันต่ำลงมา ระดับความสูงผสมจึงลดลงมาด้วย ทำให้มลสารมีการสะสมตัวมากขึ้นในชั้นของบรรยากาศ

5. ความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ (Turbulence)

ความปั่นป่วน หมายถึง การไหลของอากาศที่มีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (Eddy) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบอิสระของมวลอากาศในลักษณะขึ้นลง โดยความปั่นป่วนมีความสำคัญในการก่อให้เกิดการเจือจางของมลสาร (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543) ในความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศจะเห็นความรุนแรงในการเคลื่อนที่ของลมได้อย่างชัดเจน 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 (วราวุธ, 2542)

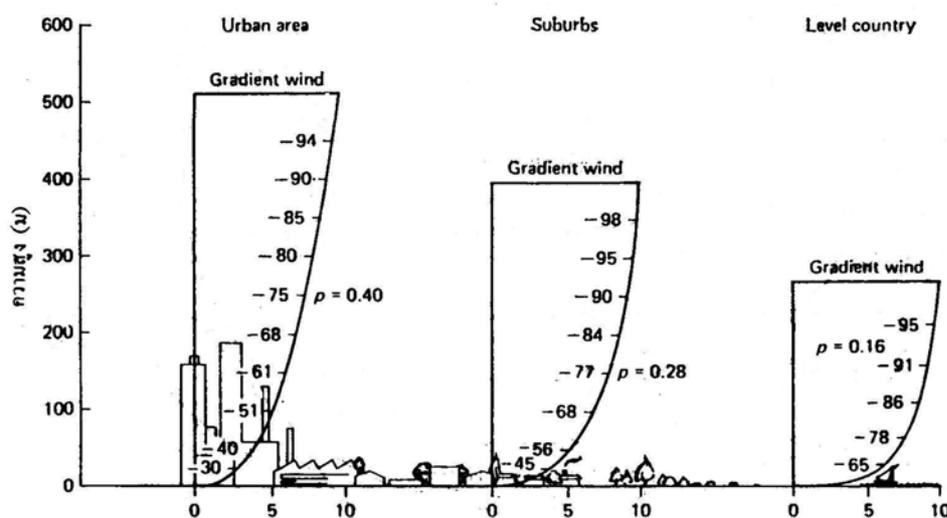
5.1 ความปั่นป่วนเนื่องมาจากความร้อน (Thermal Turbulence)

ปัจจัยทางด้านความร้อนเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องเนื่องมาจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ โดยรังสีที่ส่องมาจากดวงอาทิตย์มาสู่โลกนั้น มีทั้งรังสีที่เป็นรังสีคลื่นสั้น (Shortwave Radiation) และรังสีคลื่นยาว (Longwave Radiation) โดยรังสีคลื่นสั้นสามารถสะท้อนกลับออกไปจากบรรยากาศโลกได้ แต่รังสีคลื่นยาวจะไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปจากบรรยากาศโลกได้ แต่จะเป็นการแผ่รังสีกลับออกไปจากชั้นบรรยากาศของโลกในช่วงเวลากลางคืน ดังนั้นรังสีที่เหลืออยู่ของโลกสามารถคำนวณได้ (วิชา, 2535) โดยลักษณะของรังสีหรือพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์จะถูกนำไปใช้ตามลักษณะพื้นที่ เช่น หากเป็นพื้นที่ป่าไม้ หรือเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้แหล่งน้ำ ค่าของปริมาณรังสีสุทธิจะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำมากกว่าลงสู่ดิน หรือเผาผลาญอากาศ แต่หากเป็นพื้นที่ในบริเวณเขตเมือง ปริมาณรังสีสุทธิที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้ในการเผาผลาญอากาศ หรือลงสู่ดินมากกว่าถูกนำไปใช้เพื่อการระเหยน้ำ ส่งผลให้อากาศในบริเวณเขตเมืองมีความร้อนสูง และส่งผลต่อเนื่องไปถึงการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ และลักษณะการคงตัวของบรรยากาศต่อไป (เกษม, 2522)

5.2 ความปั่นป่วนทางกายภาพ (Mechanical Turbulence)

ความปั่นป่วนทางกายภาพเกิดขึ้นเมื่ออากาศเคลื่อนที่ผ่านวัตถุต่างๆ ที่อยู่บนพื้นผิว ส่งผลให้เกิดลักษณะของอากาศที่มีการเคลื่อนที่แบบกระแสวน (Eddy) (Jacobson, 1999) โดยลักษณะของลมถูกทำให้ช้าลง เนื่องจากความเสียดทาน ซึ่งมีผลมาจากลักษณะของพื้นผิว หรือมีผลมาจากปัจจัยทางด้านกายภาพของภูมิประเทศ เช่น ชนิดของพื้นผิว ลักษณะของพื้นที่ไม่ว่าจะเป็น

ภูเขา พื้นน้ำ หรือป่าไม้ ตำแหน่งและความหนาแน่นของพืชพรรณ และเขตเมือง เป็นต้น ดังภาพที่ 4 ลักษณะเหล่านี้ก่อให้เกิดความแตกต่างของการเคลื่อนที่ของลมในความสูงที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลมาจากความเสียดทาน ส่งผลให้การกระจายตัวของมลสารแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของความแตกต่างของพื้นที่ (Turner, 1994) รวมถึงวัสดุหรือสิ่งปลูกสร้างที่มีอยู่ในพื้นที่



ภาพที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมกับความสูงบนพื้นผิวชนิดต่างๆ

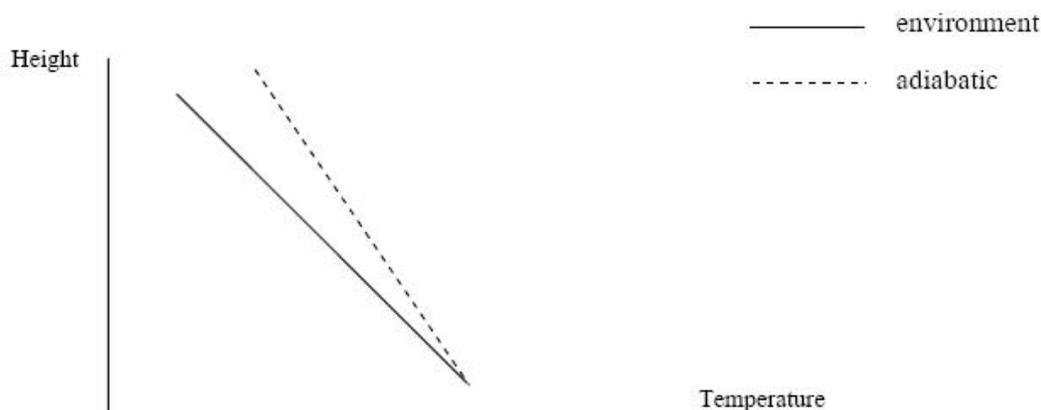
ที่มา: Turner (1994)

6. สภาพความคงตัวของบรรยากาศ (Atmospheric Stability)

ลักษณะการคงตัวของบรรยากาศ คือกำลังต้านของอากาศที่จะไม่ยอมให้เกิดการเคลื่อนไหวในแนวระดับขึ้น และเป็นความสามารถในการต้านทานการแปรปรวน (Turbulence) ซึ่งแนวโน้มนี้มีผลต่อความสามารถของบรรยากาศที่จะรับเอาสารมลพิษได้เพียงใด หากต้องการทราบถึงความสามารถในการกระจายตัวของสารมลพิษทางอากาศ จำเป็นต้องศึกษาถึงการคงตัวของบรรยากาศที่เกิดขึ้น (Jacobson, 1999) โดยสามารถแบ่งการคงตัวของบรรยากาศออกเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ ได้ดังนี้

6.1 บรรยากาศที่มีลักษณะไม่คงตัว (Unstable)

ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแบบ Superadiabatic Lapse Rate นั้นคืออัตราการลดลงของอุณหภูมิของบรรยากาศเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นเป็นไปได้เร็วกว่าในปรากฏการณ์ Adiabatic แล้วไม่ว่าที่ระดับความสูงเท่าใดอากาศที่ลอยตัวสูงขึ้นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบรรยากาศรอบข้างเสมอ ทำให้มีน้ำหนักเบากว่าและมีแนวโน้มลอยสูงขึ้น มีการกระจายตัวที่ดี มีโอกาสถูกเจือจางโดยการรวมตัวผสมกับบรรยากาศได้มาก สภาพบรรยากาศที่อยู่ในลักษณะนี้เรียกว่าสภาพบรรยากาศที่ไม่คงตัว (Unstable) (ภาพที่ 5)

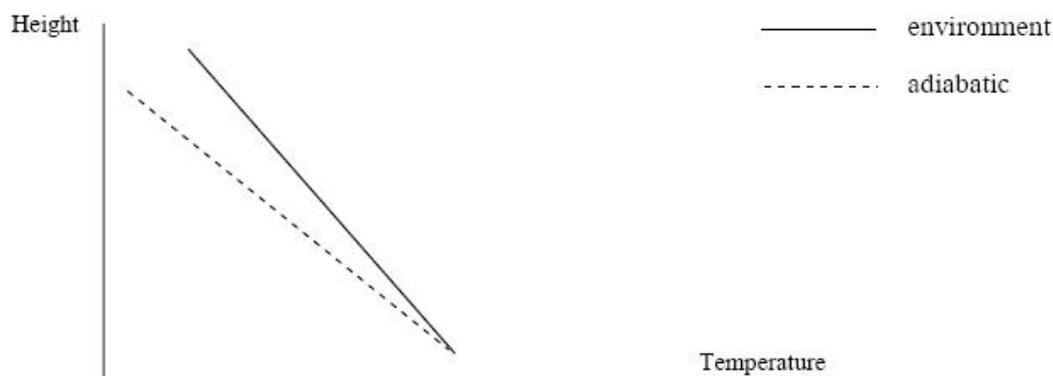


ภาพที่ 5 บรรยากาศที่มีลักษณะไม่คงตัว

ที่มา: วงศ์พันธ์ และคณะ (2543)

6.2 บรรยากาศที่มีลักษณะคงตัว (Stable)

ลักษณะของอากาศที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นแบบ Subadiabatic Lapse Rate นั้นคืออัตราการลดอุณหภูมิของบรรยากาศเมื่อระดับความสูงเพิ่มขึ้นเป็นไปได้ช้ากว่าในปรากฏการณ์ Adiabatic แล้ว อากาศจะไม่สามารถลอยตัวขึ้นได้เพราะมีน้ำหนักมากกว่าบรรยากาศรอบข้าง ทำให้ไม่สามารถเกิดการกระจายตัวที่ดี จึงยังรวมตัวกันอยู่อย่างเข้มข้นและพยายามที่จะจมตัวลง ลักษณะของบรรยากาศที่อยู่ในสภาพเช่นนี้เรียกว่าสภาพบรรยากาศที่คงตัว (Stable) (ภาพที่ 6)

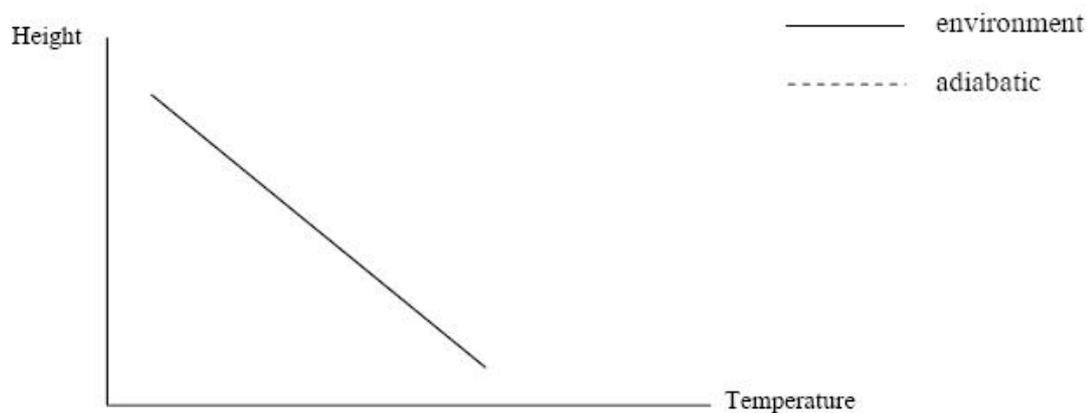


ภาพที่ 6 บรรยากาศที่มีลักษณะคงตัว

ที่มา: วงศ์พันธ์ และคณะ (2543)

6.3 บรรยากาศที่มีลักษณะสะเทิน (Neutral)

บรรยากาศที่มีลักษณะสะเทิน มีลักษณะการลดลงของอุณหภูมิต่อความสูงจริงมีความสัมพันธ์ในลักษณะของ Adiabatic คืออุณหภูมิลดลงตามความสูงในอัตรา 1 องศาเซลเซียสต่อความสูงที่เพิ่มขึ้น 100 เมตร (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 บรรยากาศที่มีลักษณะสะเทิน

ที่มา: วงศ์พันธ์ และคณะ (2543)

ลักษณะของความคงตัวของบรรยากาศทั้งสามแบบที่ได้กล่าวไปแล้วนั้น จะเกี่ยวข้องกับ การแพร่กระจายของสารมลพิษในบรรยากาศ โดยลักษณะความคงตัวของบรรยากาศแบบไม่คงตัว (Unstable) ซึ่งพบได้ในช่วงเวลากลางวัน จะมีสถานะการแพร่กระจายได้ดีกว่าบรรยากาศที่มี ลักษณะแบบสะเทิน (Neutral) ที่พบได้ในช่วงเช้าและเย็น และบรรยากาศที่มีลักษณะคงตัว (Stable) ที่พบได้ในเวลากลางคืน ตามลำดับ ซึ่งบรรยากาศที่มีลักษณะคงตัวนั้นนอกจากจะส่งผลให้การ แพร่กระจายของสารมลพิษในอากาศเป็นไปได้ยากแล้ว ยังก่อให้เกิดการสะสมตัวของสารมลพิษ ทางอากาศให้มีความเข้มข้นสูงขึ้น อันเป็นเหตุให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนที่อยู่บริเวณ ดังกล่าวอีกด้วย

7. ฝุ่นละอองในอากาศ (Air Borne Particulate Matter)

อนุภาคมลสาร (Particulate Matter) หมายถึง สารทุกชนิดไม่ว่าจะอยู่ในรูปของแข็งหรือของเหลว ยกเว้นไอน้ำ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิและความดันปกติ (อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และ ความดัน 1 บรรยากาศ) อาจมีขนาดตั้งแต่ 0.1 ไมโครเมตร จนถึง 200 ไมโครเมตร (นิตยา, 2533)

7.1 ลักษณะและแหล่งกำเนิด

ฝุ่นละอองในอากาศมีลักษณะพื้นฐานของอนุภาคแตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะ ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของอนุภาคนั้นๆ ของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น ฝ้ายลอย (Fly Ash) เกสรดอกไม้ จะค่อนข้างเป็นทรงกลม เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอส และเส้นใย ลังเคราะห์ต่างๆ มักเป็น ทรงกระบอก สั้นเรียวโดยปกติอาจจะมีรูปทรงไม่เป็นระเบียบ เป็นปุยสะเก็ด (Flakelike) หรือก้อนรวม (Agglomerates) อนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกันในขณะลอยอยู่ในอากาศ หรือเกิดจากการเย็นตัวของแก๊สร้อน รูปร่างที่เห็นจะเหมือนลูกโซ่ (Chainlike) และเป็นฟล็อก (Flocs) กลุ่มอนุภาครวมตัวหลวมๆ เช่น ฝุ่นละอองรวมจากท่อไอเสียรถยนต์ และมักเกิดจากการ สันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งผลิตอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก

อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่อยู่ในอากาศ หรือฝุ่น มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ ฝุ่นดินที่มากับลม ฝุ่นจากละอองน้ำทะเล ไฟป่า และเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การก่อสร้าง จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงตามอาคารบ้านเรือน และ โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

7.2 ขนาดของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองมีขนาดต่างๆ กัน โดยทั่วไปมักแบ่งอนุภาคออกเป็น 3 ช่วงขนาดได้แก่ ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate, TSP) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (Particulate Matter, PM_{10}) มีขนาดเล็กกว่าเส้นผม ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร (Particulate Matter, $PM_{2.5}$) มีขนาดเท่าเชื้อโรคไปจนถึงระดับโมเลกุล ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะตกสะสมได้ช้ากว่าขนาดใหญ่ ยิ่งขนาดเล็กมาก ๆ จะคงอยู่ในอากาศได้นาน และเข้าสู่ทางเดินหายใจไปถึงชั้นถุงลมปอดได้

7.2.1 ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate, TSP)

คือ อนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งที่พบในอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.005 ไมโครเมตรถึง 100 ไมโครเมตร แหล่งกำเนิดโดยธรรมชาติมักเกิดจากการฟุ้งกระจายของดิน ทรายที่พื้นผิวถนน และสถานที่ก่อสร้าง โดยลมพัดจากพื้นดิน โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาจำนวนมาก ฝุ่นละอองทางชีวภาพ เช่น สปอร์ ละอองเกสรของพืชต่างๆ ฝุ่นละอองรวมที่พบบริเวณเขตเมือง โดยทั่วไปเป็นการแพร่กระจายแบบปฏิกิริยาจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทั้งจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมอื่นๆ ส่วนฝุ่นทุติยภูมิมาจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์ ในโตรเจน และแก๊สอื่นๆ ไปอยู่ในรูปของอนุภาค นอกจากนี้ถูกนำพาขึ้นสู่อากาศอีกครั้งโดยฝุ่นดินจากพื้น โดยการจราจรบนท้องถนน ฝุ่นละอองรวมที่มีขนาดใหญ่ถูกกำจัดโดยระบบทางเดินหายใจส่วนต้น เช่น ถูกดักหรือกรองไว้ในภายในช่องจมูก และถูกนำออกจากระบบทางเดินหายใจได้โดยการไอหรือจาม แต่ฝุ่นละอองรวมมักทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทความรู้สึกของร่างกายเนื่องจากในฝุ่นอาจมีสารพิษ เช่น แอมโมเนีย สารหนู ฯลฯ ซึ่งทำให้ ตา จมูก คอ เกิดการระคายเคือง และอักเสบได้

7.2.2 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (Particulate Matter, PM_{10})

เป็นมลพิษทางอากาศที่มีความสำคัญ มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น ควัน พุ่ม เหม่า ประกอบด้วยมลสารหลายชนิดผสมผสานกัน และมีองค์ประกอบเคมีที่แตกต่างกัน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เกิดจากแหล่งกำเนิดหลายชนิด ฝุ่นละอองที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองไอน้ำของทะเล ส่วนฝุ่นที่เกิดจาก

กิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยเฉพาะจากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซล การเผาไหม้แบบเปิด เช่น การเผาขยะ การเผาของเสียจากเกษตรกรรม (หญ้า ฟาง) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จากกระบวนการอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง เช่น โรงโม่หิน โรงงานปูนซีเมนต์ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร มักจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ และรวมกับขี้เถ้าปลิว จากไฟฟ้า คิว้นดำจากรถยนต์หรือเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และเขม่าจากเตาเผาและการเผาไหม้ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร จากแหล่งกำเนิดเหล่านี้จะมีปริมาณคาร์บอนสูง ที่เป็นทั้งธาตุคาร์บอน คาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) และคาร์บอนอนินทรีย์ (Inorganic Carbon) ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เมื่อมนุษย์ได้รับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ และสามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนลึกได้ ทำให้เกิดผลกระทบสำคัญที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรถูกแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงขนาด คือ อนุภาคส่วนหยาบ (Coarse Fraction Particulate) และอนุภาคส่วนละเอียด (Fine Fraction Particulate) ซึ่งโดยทั่วไปอนุภาคแต่ละส่วนจะมีแหล่งกำเนิดองค์ประกอบทางเคมี และพฤติกรรมในอากาศที่แตกต่างกัน

7.2.3 ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร (Particulate Matter, PM_{2.5})

เป็นอนุภาคของแข็งหรือกึ่งแข็ง ที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-Volatile) ประกอบด้วยอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิและอนุภาคส่วนละเอียดทุติยภูมิ ผสมกันอยู่แต่ส่วนใหญ่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร จะเป็นอนุภาคทุติยภูมิ เกิดขึ้นในอากาศเมื่อแก๊สต่างๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) และสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนรูปในอากาศโดยทำปฏิกิริยาเคมีและฟิสิกส์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคจากแก๊สไปอยู่ในรูปของอนุภาค ทั้งอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิ และอนุภาคส่วนละเอียดทุติยภูมิมีช่วงเวลาที่อยู่ในอากาศเป็นระยะเวลายาวนานเป็นวันหรือสัปดาห์ และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในระยะไกล (100 - 1,000 กิโลเมตร) โดยมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายอย่างสม่ำเสมอในเขตเมือง จึงเป็นการยากที่จะสำรวจย้อนกลับไปหาแหล่งกำเนิด (วนิดา, 2551)

7.2.4 การแพร่กระจายของฝุ่นละออง

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่แขวนอยู่ในบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับปริมาณของอากาศที่สะอาดและศักยภาพของแหล่งกำเนิด (วิชัย, 2526) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีความผันแปร และขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ ซึ่งความเข้มข้นของฝุ่นละอองอาจมีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร ในเขตห่างไกลชุมชน และมีค่ามากกว่า 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในเขตชุมชนหนาแน่น (Schroeder *et al.*, 1987) และจากการศึกษาที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในเขตชุมชนเมืองมีค่าสูงกว่าในเขตชนบท โดยลมที่พัดมาจากเขตอุตสาหกรรมจะมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงกว่าลมที่พัดมาจากชนบท (Choularton *et al.*, 1982) ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศสามารถผันแปรตามฤดูกาลต่างๆได้ อันเนื่องมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งได้แก่ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน และทิศทางลม โดยพบว่าระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองในช่วงฤดูหนาวสูงกว่าฤดูฝน (อรุบล, 2541) เช่นเดียวกับระดับความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองในช่วงฤดูแล้งที่มีค่าสูงกว่าฤดูฝน (รพีพัฒน์, 2543) กระบวนการทางธรรมชาติที่ปรากฏในบรรยากาศสามารถจะช่วยลดความเข้มข้นของฝุ่นละอองลงได้ เช่น การตกของหยดน้ำฟ้า (Wet Deposition) ซึ่งอยู่ในรูปของน้ำฝน เป็นต้น โดยน้ำฝนที่ตกลงมาจะช่วยชะล้างฝุ่นละอองในบรรยากาศลงมายังพื้นดิน

สรุปได้ว่าการที่ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีความเข้มข้นลดลงในบริเวณใดบริเวณหนึ่งอาจขึ้นอยู่กับสภาพทางอุตุนิยมวิทยาที่ปรากฏอยู่ในบริเวณนั้นๆ นอกจากนี้ยังพบว่าทำให้ฝุ่นละอองในบรรยากาศแพร่กระจายออกไปยังบริเวณอื่น จะส่งผลให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง ซึ่งการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศนั้นเป็นกระบวนการเจือจางโดยแลกเปลี่ยนระหว่างฝุ่นละอองกับอากาศ กล่าวคือมวลอากาศปกติมีการเคลื่อนไหว หากมีฝุ่นละอองอยู่ในมวลอากาศดังกล่าวฝุ่นละอองก็จะถูกพัดไปด้วย ในขณะที่เดียวกันมวลอากาศที่ปราศจากฝุ่นละอองจะเข้ามาแทนที่ จะเห็นได้ว่ากระบวนการแพร่กระจายจะทำหน้าที่เจือจางฝุ่นละออง ซึ่งกระบวนการดังกล่าวไม่ใช่กระบวนการแพร่กระจายแบบทฤษฎี แต่เป็นการแพร่กระจายที่เกิดจากความปั่นป่วนของอากาศ รวมทั้งทิศทางลมที่ผันแปรไปก็มีส่วนต่อการแพร่กระจายด้วย (วิชัย, 2526)

8. สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs)

8.1 ชนิด โครงสร้าง และคุณสมบัติของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs

PAHs เป็นกลุ่มของสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติก (Aromatic Ring) ตั้งแต่ 2 วงขึ้นไปเชื่อมต่อกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) ประกอบด้วยโมเลกุลของคาร์บอน และไฮโดรเจน แต่ละชนิดจะมีโครงสร้างแตกต่างกัน โดยลักษณะการเชื่อมต่อกันคือ วงแหวนอะโรมาติก 2 วงที่อยู่ติดกัน และใช้คาร์บอน 2 อะตอมร่วมกัน วงแหวน

อะโรมาติกอาจมีอะตอมของคาร์บอน 5 หรือ 6 อะตอมก็ได้ การเชื่อมต่อกันได้ทั้งแบบเส้นตรง มุมงอ หรือต่อกันเป็นกลุ่ม โดยมี PAHs ที่เป็นดัดกันเกิด 31 ชนิด และ Alkyl ที่เป็นอนุพันธ์ 2 ชนิด รวมเป็น 33 ชนิด (IPCS, 1998) โดยในการศึกษาครั้งนี้ทำการศึกษาเพียง 15 ชนิดเท่านั้น (ตารางที่ 1)

คุณสมบัติของ PAHs ที่อุณหภูมิห้อง (Ambient Temperature) พบว่า PAHs มีสถานะเป็นของแข็ง มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวสูง ความดันไอต่ำ ละลายน้ำได้ไม่ดี ความสามารถในการละลายน้ำ จุดเดือด จุดหลอมเหลวสูง และความดันไอ จะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของ PAHs (Baek *et al.*, 1991) แต่เนื่องจาก PAHs เป็นสารอินทรีย์ประเภทไม่มีขั้ว ดังนั้น จึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น พวกสารละลายอินทรีย์

ตารางที่ 1 ชื่อเคมี สูตรโมเลกุล สูตรโครงสร้าง น้ำหนักโมเลกุล จุดหลอมเหลว และจุดเดือดของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons

ชื่อเคมี	ชื่อย่อ	สูตรโมเลกุล	สูตรโครงสร้าง	น้ำหนักโมเลกุล	จุดหลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)
Phenanthrene	Phe	C ₁₄ H ₁₀		178.2	100.5	340
Anthracene	An	C ₁₄ H ₁₀		178.2	216.4	342
Fluoranthene	Flu	C ₁₆ H ₁₀		202.3	108.8	375
Pyrene	Pyr	C ₁₆ H ₁₀		202.3	150.4	393
11H- Benzo[a]Fluorene	11H-B[a]F	C ₁₇ H ₁₂		216	-	-
11H- Benzo[b]Fluorene	11H-B[b]F	C ₁₇ H ₁₂		216	-	-
Benzo[a]Anthracene	B[a]A	C ₁₈ H ₁₂		228.3	160.7	400
Chrysene	Chry	C ₁₈ H ₁₂		228.3	253.8	448
Benzo[b]Fluoranthene	B[b]F	C ₂₀ H ₁₂		252.3	168.3	481
Benzo[k]Fluoranthene	B[k]F	C ₂₀ H ₁₂		252.3	215.7	480
Benzo[e]Pyrene	B[e]P	C ₂₀ H ₁₂		252.3	178.1	493
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
Dibenzo[a,h]Anthracene	D[a,h]A	C ₂₂ H ₁₄		278.4	266.6	524
Benzo[g,h,i]Perylene	B[g,h,i]P	C ₂₂ H ₁₂		276.3	278.3	545

ที่มา: คัดแปลงจาก IPCS (1998)

8.2 แหล่งกำเนิดของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs

PAHs จัดเป็นสารมลพิษทางอากาศชนิดหนึ่ง มีแหล่งกำเนิดหลักๆ 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์

8.2.1 แหล่งกำเนิดจากกระบวนการทางธรรมชาติ

PAHs ปรากฏอยู่ในธรรมชาติ คือมีอยู่ในน้ำมันดิบ และถ่านหิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) นอกจากนี้ยังเกิดจากการสังเคราะห์ของสาหร่าย พืช และแบคทีเรีย การระเบิดของภูเขาไฟ และการเกิดไฟฟ้า โดยในบางประเทศพบว่า การระเบิดของภูเขาไฟ และการเกิดไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดหลักจากกระบวนการทางธรรมชาติ (Baek *et al.*, 1991) จากการเกิดไฟไหม้ป่าที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในประเทศแคนาดาพบว่า ปริมาณ PAHs ที่ปลดปล่อยออกมามีประมาณ 2,000 ตันต่อปี นอกจากนี้ยังมีการประมาณการว่าทั่วโลกปล่อย Benzo[a]Pyrene สู่อากาศจากแหล่งกำเนิดนี้ประมาณ 1.2-14 ตันต่อปี (IPCS, 1998)

8.2.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์

ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งเป็นการเผาไหม้ในสถานะที่มีออกซิเจนจำกัด ทำให้สารประกอบอินทรีย์ของธาตุคาร์บอนไม่ถูกออกซิไดซ์เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ไปจนหมด การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิด PAHs ได้หลายชนิด ขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่เกิดขึ้น และวัสดุที่ถูกเผาไหม้ กิจกรรมมนุษย์ที่ก่อให้เกิด PAHs ได้แก่ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ การเผาไหม้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่นอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตโดยใช้ถ่านหิน น้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ รวมถึงการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของไม้ กระดาษ ยางรถยนต์และถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมของมนุษย์เป็นแหล่งกำเนิด PAHs ที่สำคัญ (Baek *et al.*, 1991) โดยร้อยละ 90 ของการปลดปล่อยสู่อากาศมาจากกิจกรรมของมนุษย์ (Harvey, 1997) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ยังสามารถแบ่งออกเป็น

ก) แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Source)

แหล่งกำเนิดที่สำคัญมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ เช่น น้ำมันเบนซิน หรือน้ำมันดีเซล เป็นต้น ไม่ว่าจะเป็นเครื่องยนต์ของรถยนต์ รถบรรทุก รถมอเตอร์ไซด์ เรือ และเครื่องบิน เป็นต้น ซึ่งในเขตเมืองพบว่าการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่สุดของ PAHs เนื่องจากในปัจจุบันมีปริมาณรถยนต์เพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยอัตราการปลดปล่อย PAHs ออกสู่บรรยากาศจะสัมพันธ์กับ ชนิด และคุณภาพของเชื้อเพลิง ชนิดของเครื่องยนต์ อายุของเครื่องยนต์ และสถานะควบคุมในขณะนั้น (Baek *et al.*, 1991; Ravindra *et al.*, 2008) รวมถึงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ โดยเครื่องยนต์ที่สามารถเผาเชื้อเพลิงได้อย่างสมบูรณ์จะมีการปลดปล่อย PAHs ออกมาน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้าเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพในการเผาไหม้ได้ไม่ดี จะมีการปลดปล่อยสาร PAHs ออกมามาก (Alsberg, 1985) จากการศึกษาของ Ravindra *et al.* ในปี 2008 พบว่า PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ร้อยละ 6-23 ถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคขนาดเล็ก สามารถลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานหลายวัน และสามารถเคลื่อนที่ได้เป็นระยะทางไกลๆ

ข) แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary Sources)

แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ที่มีหลากหลายแหล่งกำเนิด ซึ่งมีกระบวนการเผาไหม้ที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่เกิดขึ้น และเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ แบ่งออกเป็น อาคารบ้านเรือน/ที่อยู่อาศัย เกษตรกรรม และ โรงงานอุตสาหกรรม

1) อาคารบ้านเรือน/ที่อยู่อาศัย เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ประเภทต่างๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซ ถ่านไม้ ขยะ หรือกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ เช่น นูหรี เป็นต้น (IPCS, 1998; Ravindra *et al.*, 2008) ซึ่งควีนนูหรีประกอบด้วย PAHs สำคัญหลายชนิด รวมทั้ง PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) โดยกิจกรรมสำคัญที่ก่อให้เกิด PAHs คือ การให้ความร้อนภายในบ้านโดยใช้ ไม้ ถ่านหิน หรือถ่านโค้ก เป็นต้น โดยจะพบในเมืองที่อยู่ในเขตหนาวเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงพวกนี้ จะก่อให้เกิด PAHs ได้ กิจกรรมที่สำคัญอีกประเภทที่ก่อให้เกิด PAHs คือ การหุงต้ม หรือทำอาหาร ซึ่งมีการใช้เชื้อเพลิงดังกล่าวเช่นกัน โดย WHO (2002) รายงานว่า มากกว่าร้อยละ 75 ของประชากรในประเทศจีน อินเดีย และทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และร้อยละ 50-75 ของประชากรในทวีปแอฟริกา และอเมริกาใต้ ใช้เชื้อเพลิงแข็งในการทำอาหาร ได้มีการทำการตรวจวัด PAHs จากการ

เผาไหม้ของเชื้อเพลิงในการทำอาหาร พบว่า การใช้เชื้อเพลิงที่เป็นไม้ 46-50 นาที จะก่อให้เกิด PAHs ประมาณ $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จากการใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากมูลสัตว์ผสมกับไม้ จะก่อให้เกิด PAHs ประมาณ $3.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และจากการใช้เชื้อเพลิงที่ได้จากมูลสัตว์เพียงอย่างเดียว จะก่อให้เกิด PAHs ประมาณ $3.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Raiyani *et al.*, 1993) ซึ่งการเผาไหม้พวกชีวมวลที่อุณหภูมิต่ำๆ จะมีศักยภาพในการก่อให้เกิด PAHs ได้มากกว่าการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงๆ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าปริมาณ PAHs ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละพื้นที่จะมีค่าแตกต่างกันออกไป เนื่องจากความแตกต่างในเรื่องของสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ และกิจกรรมหรือเชื้อเพลิงที่นำมาใช้ในกิจกรรมนั้นๆ แต่แหล่งกำเนิดที่ควรให้ความสนใจ คือ อาคารหรือที่อยู่อาศัย เพราะเป็นแหล่งกำเนิดที่อยู่ใกล้ตัวเรามากที่สุด ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของผู้อยู่อาศัยในอาคาร หรือที่อยู่อาศัยได้โดยตรงมากที่สุด (Ravindra *et al.*, 2008)

2) เกษตรกรรม กิจกรรมที่ก่อให้เกิด PAHs คือ การเผาในที่โล่งเพื่อกำจัดเศษซากพืชที่เหลือจากการทำเกษตรกรรม กำจัดวัชพืช และเปิดหน้าดิน เพื่อเตรียมพื้นที่ไว้ใช้ในการเพาะปลูกในรอบต่อไป เนื่องจากการเผาเป็นวิธีที่ไม่เปลืองแรงงานในการปรับพื้นที่ทำให้เป็นที่นิยมกันเป็นอย่างมากในหมู่เกษตรกร ซึ่งกิจกรรมดังกล่าวนี้ก่อให้เกิด PAHs ในบรรยากาศ

3) โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งกิจกรรมที่ก่อให้เกิด PAHs ได้แก่ กระบวนการผลิตของโรงงานนั้นๆ เช่น การผลิตอะลูมิเนียม เหล็ก ถ่าน ไม้ก๊อก ปูนซีเมนต์ ยางมะตอย และการกลั่นปิโตรเลียม เป็นต้น ซึ่งในกระบวนการผลิตยังมีการใช้พลังงานจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหิน ถ่าน ไม้ก๊อก และน้ำมันดิบ โดยในกระบวนการดังกล่าวหากเกิดการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก็จะทำให้เกิด PAHs ได้เช่นกัน ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ เช่น โรงผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน และเตาเผาขยะ เป็นต้น (Baek *et al.*, 1991; Ravindra *et al.*, 2008)

8.3 การเข้าสู่บรรยากาศของ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs

การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ก่อให้เกิด PAHs ได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่เผาไหม้ รวมถึงเชื้อเพลิง และสถานะในขณะนั้น โดยในขั้นตอนแรก PAHs จะออกมาในรูปแบบของก๊าซจากนั้นจะถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคต่างๆ การเข้าสู่บรรยากาศของ PAHs พบว่ามีหลายกระบวนการ ได้แก่ การแพร่กระจาย (Distribution) การเคลื่อนย้าย (Removal) การเคลื่อนที่ (Transport) และการย่อยสลาย (Degradation) เป็นต้น ซึ่งปริมาณ และการกระจายของ PAHs ในบรรยากาศจะ

ขึ้นอยู่กับความคงตัวของ PAHs ในบรรยากาศด้วย (Baek *et al.*, 1991) กระบวนการสำคัญของการเข้าสู่บรรยากาศของ PAHs สามารถสรุปได้ดังนี้

8.3.1 การเคลื่อนย้ายทางกายภาพ (Physical Removal)

คือการชะออกจากอนุภาคโดยการชะล้างด้วยโมเลกุลของน้ำ (Wet Deposition) เช่น ฝน และการตกกลับออกจากบรรยากาศโดยมวลของอนุภาคตามแรงโน้มถ่วงของโลก หรือที่เรียกว่าตกกลับจากบรรยากาศแบบแห้ง (Dry Deposition)

8.3.2 การเคลื่อนที่ (Transport)

การเคลื่อนที่ (Transport) หรือการแพร่กระจายในบรรยากาศโดยการยกตัวของมวลอากาศ และความปั่นป่วนของชั้นบรรยากาศ (Turbulence) ได้แก่ ความปั่นป่วนจากความร้อน และความปั่นป่วนทางกายภาพ และการเคลื่อนที่ของอากาศจากกระบวนการพาความร้อน (Convection)

8.3.3 การย่อยสลาย (Degradation)

การย่อยสลาย (Degradation) หรือการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ โดยปฏิกิริยาทางเคมี หรือการทำปฏิกิริยากับแสง (Photochemical Reactions) อันได้แก่การทำปฏิกิริยาของสารอันเนื่องมาจากแสงสว่าง โดยมีการดูดซับพลังงานแสง มักจะเกิดขึ้นในเวลาที่มีมลสารในบรรยากาศเป็นจำนวนมาก เช่น ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน และไฮโดรคาร์บอน ทำให้เกิดการรวมตัวกับออกซิเจน (Oxidant) เช่น O_3 , PAN และ Peroxide เป็นต้น รวมถึงการทำปฏิกิริยากับ ไนโตรเจนออกไซด์, ซัลเฟอร์ออกไซด์, โอโซน และ ไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH)

8.3.4 การเปลี่ยนสถานะระหว่างในรูปของก๊าซ และอนุภาค

เป็นการเปลี่ยนแปลงสมดุลของสถานะ โดยในขั้นตอนแรก PAHs จะออกมาในรูปของก๊าซจากนั้นจะถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคต่างๆ ส่วนใหญ่ในบรรยากาศ PAHs จะถูกดูดซับอยู่บนอนุภาคต่างๆ แต่บางส่วนก็จะยังปรากฏอยู่ในรูปของก๊าซ พบว่า PAHs จะอยู่ในรูปของก๊าซ ณ

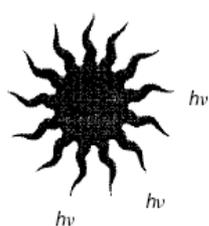
อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส และจะควบแน่น และจับตัวกับอนุภาคอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำกว่า (Ebert, 1986)

8.4 การย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation)

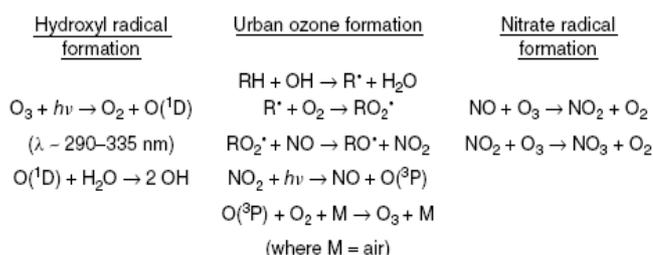
กระบวนการที่สำคัญที่สุดในการย่อยสลาย PAHs ในชั้นบรรยากาศ คือ การย่อยสลายด้วยแสง หรือที่เรียกว่า Photodegradation ปฏิกริยานี้จะขึ้นอยู่กับ ความเข้มแสงที่ได้รับ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนในฤดูร้อนที่มีช่วงเวลาที่แสงสว่างยาวนานกว่าในช่วงฤดูหนาว อีกทั้งความเข้มแสงในช่วงเวลาดังกล่าวก็มีมากกว่าในช่วงฤดูหนาวด้วย PAHs สามารถถูกย่อยสลายด้วยแสง (Panther *et al.*, 1999) ปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวกำหนดคือ ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs โดยค่าครึ่งชีวิตของ PAHs แต่ละตัวจะไม่เท่ากันซึ่งแตกต่างกันตั้งแต่ 1-1,000 ชั่วโมง จากการศึกษาของ Behymer และ Hites (1988) พบว่า ค่าครึ่งชีวิตของการย่อยสลายด้วยแสงของ PAHs ไม่ว่าจะโครงสร้างโมเลกุลจะประกอบด้วยวงแหวนอะโรมาติกกี่วงก็ตามคุณสมบัติที่มีผลต่อค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ก็คือ องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอน พื้นที่ผิว และสี ซึ่งมีความสำคัญมาก โดยอนุภาคที่ PAHs เกาะอยู่มีสีเข้มมากเท่าใด ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ก็ยิ่งมาก คือสลายตัวได้ช้า และถ้าอนุภาคที่ PAHs เกาะอยู่มีสีจาง ค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ก็ยิ่งมาก คือสลายตัวได้เร็ว เหตุผลคือ อนุภาคที่ PAHs เกาะอยู่ถ้ามีสีเข้มจะดูดกลืนแสงได้ดี ทำให้แสงเข้ามาทำปฏิกิริยากับ PAHs ได้น้อย ดังนั้นการย่อยสลายด้วยแสงจึงเกิดได้เพียงเล็กน้อย ค่าครึ่งชีวิตจึงมีค่ามาก ในทางตรงกันข้าม หากอนุภาคที่ PAHs เกาะอยู่มีสีจางดูดกลืนแสงได้น้อย ทำให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับ PAHs ได้มาก ดังนั้นการย่อยสลายด้วยแสงจึงเกิดได้มาก ค่าครึ่งชีวิตจึงมีค่ามาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) ในการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบความยากง่ายในการเกิดปฏิกิริยา Photodegradation ของ PAHs ในแต่ละพื้นที่ สามารถทำได้โดยการศึกษาความสัมพันธ์ของ B[a]P และ B[e]P ซึ่ง B[a]P มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 5.3 ชั่วโมงภายใต้สภาวะที่มีแสงแดด ส่วน B[e]P ซึ่งมีความเสถียรต่อการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ มากกว่า มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 21.1 ชั่วโมง ในช่วงเวลาที่ความเข้มแสงสูง B[a]P จะมีปริมาณน้อยลง ในขณะที่ B[e]P ซึ่งมีความเสถียรมากกว่า จะถูกตรวจพบในปริมาณที่มากกว่า ดังนั้น ความเข้มข้นของ B[e]P จะสูงกว่า B[a]P ในทุกๆตัวอย่างในกรณีที่มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน แต่ในกรณีที่ได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดอื่นด้วย อัตราส่วนระหว่าง B[a]P และ B[e]P จะเปลี่ยนแปลง (Panther *et al.*, 1999) อัตราส่วนระหว่าง B[a]P และ B[e]P จึงแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs ต่อกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง และปฏิกิริยา Hetrogeneous กับ O_3 อนุมูลอิสระ OH และ NO_x เนื่องจาก B[e]P มีความคงทนต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสง ทำให้ถูกย่อยสลายโดยแสงได้ยากซึ่ง B[e]P ถูกจัดเป็น PAHs ที่มีความเสถียรมากที่สุด ในขณะที่

B[a]P ซึ่งมีความเสถียรน้อยมากส่งผลให้ถูกย่อยสลายโดยแสงได้ง่าย (Photosensitive) อัตราส่วนระหว่าง B[a]P และ B[e]P จึงใช้ในการบ่งชี้ถึงความเสถียรของ PAHs ในบริเวณนั้นๆ โดยค่าที่สูง ความเสถียรของ PAHs ก็จะยิ่งสูงขึ้นนั่นเอง (Behymer and Hites, 1988; Torben, 1996)

ปฏิกิริยาเคมีในบรรยากาศของ PAHs นั้นมีปัจจัยสำคัญที่เป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดปฏิกิริยา คือ แสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งการย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) ในบรรยากาศนี้สามารถเปลี่ยนรูปอนุภาคของไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical, OH radical) ก๊าซโอโซน (Ozone, O₃) และ อนุภาคของไนเตรต (Nitrate radical, NO₃ radical) โดยการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) PAHs และก๊าซต่างๆ ที่มีไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ ซึ่งสารอนุภาคเหล่านี้จะรวมตัวกับ O₃ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการย่อยสลายของ PAHs ที่อยู่ในวัฏภาคที่เป็นก๊าซ (Gas-Phase PAHs) นอกจากนี้การสลายตัวของ PAHs นั้นยังขึ้นอยู่กับค่าครึ่งชีวิต (Lifetime) ของ PAHs แต่ละชนิด ซึ่ง PAHs ที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซนั้นเกิดการย่อยสลายได้จากการทำปฏิกิริยากับ O₃, OH radical ในช่วงเวลากลางวันและทำปฏิกิริยากับ NO₃ radical. ในช่วงกลางคืน ส่วน PAHs ที่อยู่ในวัฏภาคของแข็ง หรือฝุ่นละออง (Particle-Associated PAHs) เกิดการย่อยสลายได้จากแสงที่มีความยาวคลื่นแสงมากกว่า 290 นาโนเมตร การทำปฏิกิริยากับ O₃ และการเกิด Wet-Dry Depositions (Janet and Roger, 2003)



Photochemical formation of reactive radicals and ozone



Tropospheric loss processes

- | <u>Gas-phase PAHs</u> | <u>Particle-associated PAHs</u> |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Reaction with OH radicals (daytime) • Reaction with O₃ • Reaction with NO₃ radicals (night-time) | <ul style="list-style-type: none"> • Photolysis ($\lambda > 290 \text{ nm}$) • Reaction with O₃ • Wet and dry deposition of particles |

ภาพที่ 8 ปฏิกิริยาเคมีของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ

ที่มา: Janet and Roger (2003)

8.5 ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล (Photochemical Reaction)

ปฏิกิริยานี้เริ่มต้นจากก๊าซไนตริกออกไซด์ (NO) ที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้จะถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) เป็นก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ในบรรยากาศ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) จะเกิดได้ดีและรวดเร็ว ถ้ามีสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (HC) ประกอบอยู่ด้วย ดังสมการ



ที่อุณหภูมิปกติ อัตราของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ NO และก๊าซออกซิเจน (O₂) เพิ่มขึ้นโดยทั่วไปอากาศจากการเผาไหม้ที่ปล่อยออกมาจะมีความเข้มข้นของ O₂ น้อย เป็นเหตุให้อัตราของปฏิกิริยามีค่าต่ำไปด้วย ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของ NO จะมีมาก และเมื่อผสมกับอากาศในบรรยากาศจะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น แต่ในเวลาเดียวกันความเข้มข้นของ NO จะลดลง เป็นเหตุให้อัตราของปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นช้ามาก ในบรรยากาศของพื้นที่ในเมืองที่มีการระบายอากาศไม่ดี ความเข้มข้นของ NO₂ ที่เกิดจาก NO จะมีค่าประมาณ 0.1 ppm หรือมากกว่า

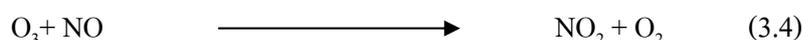
NO₂ ที่เกิดขึ้น จะถูกรีดิวซ์ (Reduce) เป็น NO และ O อะตอม โดยแสงอุลตราไวโอเลต (Photolysis)



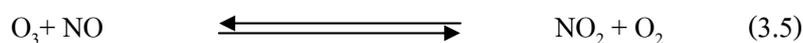
O อะตอม จากสมการ (1.7) จะทำปฏิกิริยากับ O₂ เกิดเป็นก๊าซโอโซน (O₃)



ซึ่ง M เป็น โมเลกุลที่ 3 ทำหน้าที่ดูดความร้อนส่วนเกิน ดังได้กล่าวมาแล้ว และ O₃ สามารถทำปฏิกิริยากับ NO เกิดเป็น NO₂ และ O₂ ดังสมการ



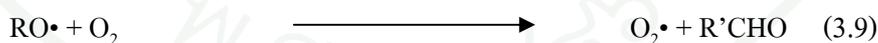
หรืออาจสรุปปฏิกิริยาการเกิด O_3 โดยแสงอาทิตย์ตั้งแต่สมการ (3.2) - (3.4) ได้ดัง
สมการ



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

จากสมการ (3.5) – (3.6) ถ้า NO_2 มีความเข้มข้นมากขึ้น จะทำให้ O_3 มากขึ้นด้วยใน
ทางตรงข้ามกัน ถ้า NO สูงจะทำให้ O_3 น้อยลง

O และ O_3 ที่เกิดจากสมการ (3.2) - (3.4) จะทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็น
สารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซนอมีเทนไฮโดรคาร์บอน (Non-Methane
Hydrocarbons; NMHC) ก๊าซมีเทน (CH_4) และอัลดีไฮด์ (Aldehydes) รวมถึงก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
(CO) ที่มีคุณลักษณะพฤติกรรมคล้าย VOCs เมื่ออยู่ในชั้นบรรยากาศระดับล่าง (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 NO₂, O₃ และออกซิแดนซ์จะมีค่ามากขึ้นในเวลาต่อมา

ในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลสามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์ระหว่าง CO และ O₃ ได้ดังสมการข้างล่าง



ซึ่ง M เป็นโมเลกุลที่ 3 ซึ่งอาจเป็นก๊าซ เช่น N₂ หรือ O₂ จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่า CO ในปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลสามารถสร้าง O₃ ขึ้น แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้า

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นทั้งหมด สามารถใช้อธิบายการเกิด ก๊าซโอโซนในบรรยากาศ จะเห็นได้ว่าในตอนเช้าบรรยากาศเริ่มสะสมออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และ HC เนื่องจากการจราจรคับคั่ง เมื่อเริ่มมีแสงอาทิตย์ NO จะถูกออกซิไดซ์เป็น NO₂ โดย O₂ ดังสมการที่ 3.1 และเมื่อแสงอาทิตย์เริ่มจ้าขึ้น NO₂ จะสลายตัวอย่างรวดเร็ว เกิดเป็น NO และ ออกซิเจนอะตอม(O) ดังสมการที่ 3.2 NO ซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาจะรวมตัวกับ NO ที่ปล่อยออกมากับอากาศเสีย (ไอเสียจากรถยนต์) ทำให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นในบรรยากาศ และ O อะตอมที่เกิดจากปฏิกิริยาจะรวมตัวกับ O₂ เป็น O₃ ดังสมการที่ 3.3 ทั้ง O และ O₃ ที่เกิดขึ้น จะทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ระเหย (VOCs) ที่มีความเข้มข้นมากให้น้อยลง ดังสมการที่ 3.7 - 3.10 ซึ่งทั้ง Free Radical และ O₃ ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับ NO (ความเข้มข้นลดลง) ดังสมการที่ 3.4 และ 3.8 - 3.10 เป็นเหตุให้ NO₂ มีความเข้มข้นมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของ O₃ มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังสมการที่ 3.5 และจะมีค่าสูงสุดในเวลากลางวัน ซึ่งเป็นเวลาที่มีความเข้มของแสงอุลตราไวโอเล็ต สูงสุด ในตอนบ่าย NO₂ ที่เกิดขึ้นจะรวมตัวกับ Free Radical ทำให้ตัวออกซิไดซ์ (PANs) จะมีมากที่สุด ซึ่ง NO_x และ HC จะมีค่าต่ำสุด จนกระทั่งถึงตอนเย็นซึ่งไม่มีแสงอาทิตย์ตัวออกซิไดซ์จะลดลง ส่วน NO_x และ HC จะเพิ่มขึ้นอีก และเพิ่มถึงค่าสูงสุดในตอนเช้าเป็นเช่นนี้เรื่อยไปทุกวัน (คณัย, 2530)

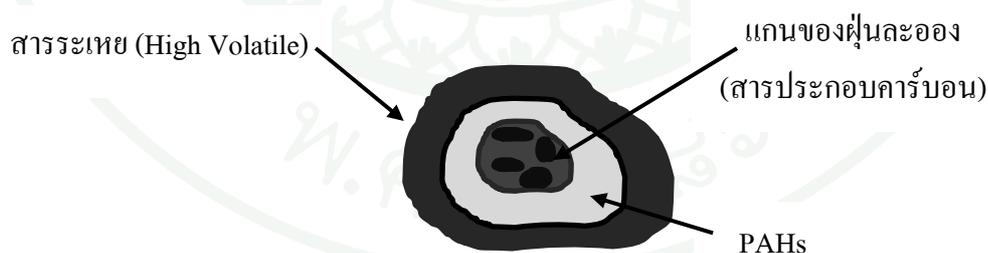
8.6 การกลายเป็นไอ (Evaporation)

เนื่องจาก PAHs เป็นสารที่มีค่าความดันไอต่ำ ทำให้ PAHs เกือบทุกชนิดระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมากที่อุณหภูมิห้อง เช่น Benzo[g,h,i]Perylene มีค่าความดันไอเพียง 1×10^{-10} mmHg ที่ 20°C Naphthalene มีค่าความดันไอ 1 mmHg ที่ 53°C และระเหยได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการกลายเป็นไอของ PAHs ที่อุณหภูมิห้องเกิดได้น้อยมากหรือไม่เกิดเลย จึงไม่เป็นวิธีสำคัญที่ทำให้ PAHs เข้าสู่สิ่งแวดล้อม

8.7 การรวมตัวกับอนุภาคในบรรยากาศ

PAHs ในบรรยากาศโดยทั่วไปจะแตกต่างกันตามกระบวนการเกิด ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการควบแน่น (Condensation) หรือดูดซับ (Absorption) ทำให้พบ PAHs ใน 2 สถานะได้แก่

- 1) สถานะก๊าซ (Gas Phase) เป็นสารระเหย อยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 150°C
- 2) สถานะฝุ่นละออง (Particulate Phase หรือ Particle-Bond PAHs, pPAHs) ซึ่งจะเกาะ หรือดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย หรืออนุภาคฝุ่นละออง



ภาพที่ 9 องค์ประกอบของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย

ที่มา: Venkataraman *et al.* (1999)

PAHs จะรวมตัวกับอนุภาคโดยจะเกาะอยู่บนอนุภาคที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีลักษณะ โครงสร้างแบบชั้น (Shell Structure) จากนั้นจะถูกปกคลุมด้วยสารในกลุ่ม High Volatile ชนิดอื่นอีกชั้นหนึ่ง อนุภาคที่ PAHs เข้าไปเกาะนั้นแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- 1) เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอน มีขนาดเล็กกว่า $0.1 \mu\text{m}$
- 2) เกาะอยู่บนอนุภาคขนาดเล็ก หรือถูกดูดซับบนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง $0.1-2 \mu\text{m}$
- 3) สาร PAHs ที่เข้าไปเกาะติดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่

โดย PAHs เหล่านี้สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นาน 1 เดือนถึง 1 ปี (Venkataraman *et al.*, 1999; Chetwittayachan, 2002)



ภาพที่ 10 ขนาดของ PAHs ที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย

ที่มา: Venkataraman *et al.* (1999)

8.8 ปัจจัยทางอุตุนิมวิทยาที่มีผลต่อการกระจายตัวของ PAHs

8.8.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิจัดเป็นปัจจัยทางอุตุนิมวิทยาตัวสำคัญที่มีผลต่อการกระจายตัวของ PAHs ในบรรยากาศ จากการศึกษาในหลายๆ ประเทศพบว่า ในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ PAHs

จะมีปริมาณสูง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ PAHs เปลี่ยนสถานะกลายเป็นก๊าซได้ดี จากการศึกษาของ Fang *et al.* (2003) พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ โดยพบว่าความสัมพันธ์ของความเข้มข้น PAHs ทั้ง 2 แห่งกับอุณหภูมิแปรผกผันกัน โดย gas-PAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ (Correlation Coefficients) $R_{THU} = -0.459$ $R_{TTP} = -0.604$ สำหรับ pPAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ $R_{THU} = -0.022$ $R_{TTP} = -0.216$ โดยการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษา pPAHs และ gas-PAHs ในประเทศไต้หวัน บริเวณ Taichung Industrial Park (TIP) ซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และบริเวณ Tunghai University Campus (THUC) ซึ่งเป็นเขต Suburban โดยทำการวิเคราะห์ PAHs ในตัวอย่างฝุ่น TSP เป็นเวลา 48 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีการศึกษาของ Guo *et al.* (2003) ซึ่งทำการศึกษาค่าความเข้มข้น PAHs ในฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในฮ่องกงในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน-มีนาคม) และฤดูร้อน (มิถุนายน-สิงหาคม) โดยพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ย่านธุรกิจการค้า และที่อยู่อาศัย พบว่า PAHs ในช่วงฤดูหนาวมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูร้อนทั้งในฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ฤดูหนาว PAHs ในฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่า 41.75 และ 54.72 ng/m^3 ตามลำดับ และในฤดูร้อน PAHs ในฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีค่า 4.87 และ 5.82 ng/m^3 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่า PAHs มีปริมาณความเข้มข้นในฤดูหนาว มากกว่าในฤดูร้อน เนื่องจากมีการใช้เชื้อเพลิงในการเผาไหม้ให้ความร้อนภายในที่อยู่อาศัย และประกอบกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ชั้นระดับความสูงผสมต่ำ และ อุณหภูมิต่ำ เป็นต้น (Park *et al.*, 2002)

8.8.2 ความชื้นสัมพัทธ์

McDow *et al.* (1999) กล่าวว่ากระบวนการ Water Sorption โดย Aerosol ในฝุ่น จะจับกับ PAHs ไม่ดีนัก PAHs ในควันจากเขม่ารถยนต์ดีเซลจะเกี่ยวข้องกับพวกชั้นของเหลวที่เป็นสารอินทรีย์ ที่เคลือบบนของแข็งที่เป็น Element Carbon จึงทำให้ส่วนของน้ำที่บรรจุด้วย Organic Layer กับ PAHs เกี่ยวข้องกับการสลายตัวด้วยแสงของ PAHs และพบความสัมพันธ์ระหว่างการสลายตัวของ PAHs กับแสงและความเข้มข้นของไอน้ำ (Water Vapor Concentration) โดยทำเก็บฝุ่นละอองบนกระดาษกรอง Teflon Coated Glass Fiber Filters ด้วยการเก็บตัวอย่าง 3 ชนิด คือ Wood Smoke จากปล่องเตาผิงในบ้านเรือน Diesel Soot และ Gasoline Power พบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่างน้ำที่ดูดซับบนฝุ่นกับความชื้นสัมพัทธ์ โดยเมื่อน้ำหนักตัวอย่างเพิ่มขึ้น ความชื้นจะสูงขึ้นด้วย โดยตัวอย่างจากรถเบนซิน และ Wood Smoke มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำหนักจากตัวอย่างรถดีเซล 3-5 เท่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน พบว่าค่าประมาณของ Wood Smoke ที่มีน้ำอยู่ต่ำสุดร้อยละ 5-10 ในฝุ่นชนิดนี้มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 90 จากพื้นฐานนี้จึงทดลองการเกิด

Photodegradation ของ Benzo[a]Anthracene และ Benzo[k]Fluoranthene ใน Methoxyphenol Mixtures ที่ไม่มีส่วนของน้ำ ผลนี้ชี้ว่าอัตราการเกิด Photodegradation ของ PAHs เพิ่มขึ้นเมื่อส่วนประกอบของน้ำมากขึ้นใน Particle Organic Layer

8.8.3 ความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่

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

8.8.4 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 เป็นกระบวนการที่สำคัญกว่ากระบวนการ Photolysis โดยตรง และ PAHs ที่ดูดซับบนเขม่าที่เกิดปฏิกิริยากับ NO_x พบว่ามีค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวตั้งแต่ 3.7-30 และพบว่าการสลายตัวของ PAHs จะช้าเมื่อมีแสงแดดน้อย (IPCS, 1998)

8.9 ปฏิกิริยาระหว่างอนุภาค (Heterogeneous Reaction) ระหว่างอนุภาค PAHs และอนุภาคก๊าซ

ปฏิกิริยาระหว่างอนุภาค (Heterogeneous Reaction) คือ ปฏิกิริยาระหว่างอนุภาค เป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารที่อยู่ในสถานะที่แตกต่างกัน เช่น ปฏิกิริยาระหว่างอนุภาค PAHs และอนุภาคก๊าซ โดย Fan *et al.* (1996) ศึกษาปฏิกิริยาระหว่าง O_3 และ NO_2 กับ Nitro-pPAHs จากเขม่าของเครื่องยนต์ดีเซลภายในห้องปฏิบัติการ โดยมีการเติม O_3 0.6-0.9 ppm และ NO_2 0.03-0.5 ppm พบว่าอัตราการสลายตัวของ Nitro-pPAHs ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยากับ O_3 มีค่าอยู่ระหว่าง $(1.5 - 2.5) \times 10^{-3} \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$ และอัตราการสลายตัวของ Nitro-pPAHs ที่เกิดในปฏิกิริยาระหว่าง

$\text{NO}_2\text{-NO}_3\text{-N}_2\text{O}_5$ พบว่ามีค่าน้อยกว่า $0.001 \text{ ppm}^{-1} \text{ min}^{-1}$ แต่อย่างไรก็ตามการสลายตัวของ Nitro-pPAHs ในตอนกลางวันจะเกิดจากปฏิกิริยา Photodegradation มากกว่าการทำปฏิกิริยากับ O_3 โดย Pucknat *et al.* (1981) พบการสลายของ Benzo[a]Pyrene 15-50 % ที่อยู่บนกระดาษกรองและในกลุ่มควัน เมื่อถูกแสงนาน 6 ชั่วโมง และพบการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของ Anthracene และ Pyrene เมื่อถูกแสงอุลตราไวโอเล็ตภายในบรรยากาศที่มี O_3 อยู่ด้วย ในขณะที่ Pitts *et al.* (1981) ได้ศึกษาปฏิกิริยาระหว่าง PAHs และ NO_x ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเผาไหม้ พบว่า Benzo[a]Pyrene และ Perylene บนแผ่นกรองจะเปลี่ยนรูปเป็น Nitro-Derivatives ของ PAHs โดยการรวมตัวกับ NO_2 นอกจากนี้จากการศึกษาของ Brorstrom *et al.* (2003) พบว่า NO_2 และ O_3 มีผลต่อการย่อยสลาย pPAHs ได้แก่ Pyrene, Benzo[a]Anthracene และ Benzo[a]Pyrene จะสลายตัวในปฏิกิริยาในตรชั้น (Nitration Reaction) จะเห็นได้ว่า NO_2 และ O_3 มีผลต่อการย่อยสลายของ PAHs ในบรรยากาศ

8.10 ความเป็นพิษ

8.10.1 การเป็นสารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity)

PAHs มีคุณสมบัติในการละลายน้ำได้น้อยมาก เนื่องจากเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไม่มีขั้วแต่สามารถละลายได้ดีในโมเลกุลที่ไม่มีขั้วอันได้แก่ สารประกอบอินทรีย์เช่นไขมัน เป็นต้น ส่งผลให้ PAHs สามารถสะสมตัวในไขมันของสิ่งมีชีวิตอันก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพตามมา โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ กลุ่มที่ก่อมะเร็ง และกลุ่มที่ไม่ก่อมะเร็ง ในกลุ่ม PAHs ที่ก่อมะเร็ง ซึ่ง IARC (1999) ได้จัดแยกกลุ่มโดยใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์ และสัตว์ทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจัดกลุ่มสาร Polycyclic Aromatic Hydrocarbons โดย International Agency for Research on Cancer (IARC)

กลุ่ม	ชนิด PAHs	
กลุ่ม 2A		
สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน	Benzo[a]anthracene	Benzo[a]pyrene
	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[ghi]fluoranthene
	Benzo[a]acridine	Benzo[b]fluorine
	Benzo[c]acridine	Benzo[g,h,i]perylene
	Benzo[a]fluorine	Benzo[e]pyrene
	Benzo[c]fluorine	Coronene
	Benzo[c]phenanthrene	Dibenzo[a,c]anthracene
	Chrysene	Dibenzo[a,e]fluoranthene
	Cyclopenta[cd]pyrene	Fluoranthene
	Dibenzo[a,j]anthracene	Perylene
	Dibenzo[h,r,s,t]pentaphene	Pyrene
	Fluorene	
	Phenanthrene	
	Triphenylene	

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2543)

8.10.2 การเป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity)

PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ด้วย เมื่อ PAHs เข้าสู่ร่างกายจะถูกเปลี่ยนรูปด้วยเอนไซม์ในกลุ่ม Cytochrome P-450 ซึ่งจะได้เมตาบอไลต์ต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของ PAHs เมตาบอไลต์ ดังกล่าวจะเข้าไปจับกับ DNA ที่ตำแหน่งต่างๆ การเข้าจับกับดีเอ็นเอดังกล่าว เมื่อดีเอ็นเอเกิดการจำลองตัวเอง การเติมเบสมาเข้าคู่กับสารที่ถูกจับจะผิดไป ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ที่ลำดับเบส อย่างไรก็ตาม โอกาสในการเกิดการกลายพันธุ์ขึ้นอยู่กับความสามารถของเซลล์ในการซ่อมแซมดีเอ็นเอที่ผิดปกติ และระยะเวลาที่ได้รับสารก่อนการจำลองตัวเอง ถ้าเซลล์ซ่อมแซมได้ทัน การเกิดกลายพันธุ์ก็จะลดลง (Mahadevan, 2005)

9. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปาจริย์ (2545) ศึกษา PAHs 20 ชนิด ในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ในบรรยากาศจังหวัดกรุงเทพมหานคร บริเวณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ดินแดง สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม โรงเรียนสิงหราช และมหาวิทยาลัยกรุงเทพ โดยทำการเก็บตัวอย่าง ใน PM_{10} และทำการศึกษาฝุ่นละออง 5 ขนาด คือ <0.95 0.95-1.5 1.5-3.0 3.0-7.2 และ >7.2 ไมครอน พบว่า PAHs ร้อยละ 48 อยู่ในฝุ่นละอองขนาด <0.95 ไมครอน ร้อยละ 8 อยู่ในฝุ่นละอองขนาด 0.95-1.5 ไมครอน ร้อยละ 10 อยู่ในฝุ่นละอองขนาด 1.5-3.0 ไมครอน ร้อยละ 18 อยู่ในฝุ่นละอองขนาด 3.0-7.2 ไมครอน ร้อยละ 16 อยู่ในฝุ่นละอองขนาด >7.2 ไมครอน และพบว่า B[e]P Ind และ B[g,h,i]P เป็นองค์ประกอบหลักของ PAHs ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 97 ในฝุ่นละอองขนาด <0.95 ไมครอน ซึ่งถูกปล่อยออกมาจากรถยนต์ดีเซล และพบว่ารถยนต์เบนซินมี B[g,h,i]P เป็นองค์ประกอบหลัก

Chan *et al.* (2005) ศึกษาลักษณะเฉพาะของโครงสร้างในแนวดิ่ง และแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$, PM_{10} และ กลุ่มคาร์บอน ในเมืองปักกิ่ง ระหว่างวันที่ 10-25 สิงหาคม 2547 โดยทำการเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่ระดับความสูง 8, 100, 200 และ 325 เมตร โดยทำการศึกษาในเขตเมือง และเขตชานเมืองของปักกิ่ง และทำการวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์และธาตุคาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละออง พบว่าที่ระดับความสูงไม่เกิน 50 เมตร ลักษณะบรรยากาศอยู่ในสภาวะคงตัว (Stable Condition) การกระจายของมลสารเป็นไปได้น้อยจึงพบปริมาณมลสารสูงกว่าระดับอื่น ที่ระดับ 50-160 เมตร ลักษณะบรรยากาศอยู่ในสภาวะไม่คงตัว (Unstable Condition) มีการกระจายตัวของมล

สารค่อนข้างดีจึงพบปริมาณมลสารค่อนข้างต่ำ และเชื่อว่าที่ระดับความสูง 100 เมตรเป็นจุดศูนย์กลางของบรรยากาศในสภาวะไม่คงตัว (Unstable Condition) ทำให้มลสารในอากาศกระจายตัวได้ดี จึงมีความเข้มข้นของมลสารต่ำมาก

Guo *et al.* (2003) ศึกษา PAHs ในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) และในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครเมตร ($PM_{2.5}$) จำนวน 16 ชนิด เมืองฮ่องกง ช่วงฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายน ปี 2000 ถึงเดือนมีนาคม ปี 2001 และช่วงฤดูร้อนในเดือนมิถุนายน ปี 2001 ถึงเดือนสิงหาคม ปี 2001 ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณ Hung Hom ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น และบริเวณ Kwun Tony ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ทั้งหมด พบว่าความเข้มข้นของ PAHs ในฤดูหนาวมีค่าสูงกว่าในฤดูร้อน และบริเวณ Hung Hom ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นมีค่าความเข้มข้นของ PAHs มากที่สุด โดยค่าความเข้มข้นของ PAHs ใน $PM_{2.5}$ บริเวณ Hung Hom ในฤดูร้อน และฤดูหนาวมีค่าเท่ากับ 4.87 และ 41.75 ng/m^3 ตามลำดับ และบริเวณ Kwun Tony ในฤดูร้อน และฤดูหนาวมีค่าเท่ากับ 3.71 และ 27.93 ng/m^3 ตามลำดับ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า PAHs ในฝุ่นละอองจากการจราจรเกี่ยวข้องกับฝุ่นขนาดเล็กมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ และพบว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่จะมี PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงๆ และ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำๆ ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กส่วนใหญ่จะเป็น PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงๆ

Oanh *et al.* (2000) ศึกษา PAHs ในฝุ่นละอองรวม (TSP) 18 ชนิด โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง TSP Hi-Volume Air Sampler บริเวณมหาวิทยาลัย AIT (The Asian Institute of Technology) พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs มีค่าเท่ากับ 12.79 ng/m^3 ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า Phe, An, Flu และ Pyr มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซึ่งใช้ในการหุงต้มภายในมหาวิทยาลัยเป็นหลัก ส่วน B[b]F, B[g,h,i]P, Cor, Flu และ Pyr มาจากยานพาหนะประเภทดีเซล เป็นหลัก

Panther *et al.* (1999) ศึกษา PAHs ในฝุ่นละอองรวม (TSP) ในบรรยากาศเขตเมือง 5 เมือง แถบประเทศเขตร้อน ได้แก่ ประเทศเกาหลีใต้ (โซล) ฮ่องกง ประเทศไทย (กรุงเทพมหานคร) ประเทศอินโดนีเซีย (จาการ์) และประเทศออสเตรเลีย (เมลเบิร์น) โดยเก็บฝุ่นละอองรวมและวิเคราะห์ PAHs 20 ชนิดโดยใช้เครื่อง HPLC ในการตรวจวิเคราะห์หา PAHs พบค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองรวมที่บริเวณต่างๆ ดังนี้ โซล 153.9 $\mu g/m^3$ ฮ่องกง 78.2 $\mu g/m^3$ กรุงเทพมหานคร 126.8 $\mu g/m^3$ จาการ์ 211.1 $\mu g/m^3$ และเมลเบิร์น 50.7 $\mu g/m^3$ โดยพบค่าเฉลี่ย PAHs เท่ากับ 61.1, 9.02, 25.43,

61.06 และ 6.43 ng/m³ ตามลำดับ และได้ทำการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ อุณหภูมิโดยใช้ Pearson Correlation พบว่า PAHs มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิโดย อ่องกงมีค่า $r = -0.77$ จากาตาร์ มีค่า $r = -0.3$ และกรุงเทพมหานครพบว่า ในเดือนเมษายน-สิงหาคม มีความเข้มข้น PAHs ต่ำกว่าเดือนกันยายน-มีนาคม นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก หรือแทบจะไม่มีเลยในบางจุดเก็บตัวอย่าง

Torben (1996) ศึกษา PAHs ในช่วงฤดูหนาว บริเวณเขตเมืองซึ่งมีการจราจรหนาแน่นเปรียบเทียบกับบริเวณสวนสาธารณะ เมืองโคเปนเฮเกน ประเทศเดนมาร์ก พบว่าความเข้มข้นของ B[a]P และ B[e]P ในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 4.4 ± 1.2 และ 4.4 ± 0.7 ตามลำดับ ในขณะที่บริเวณสวนสาธารณะมีค่าเท่ากับ 1.4 ± 0.6 ng/m³ และ 1.3 ± 0.3 ng/m³ ตามลำดับ โดยพบว่าแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในเขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น คือการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ส่วนบริเวณสวนสาธารณะพบว่าแหล่งกำเนิดหลักไม่ใช่การจราจรเพียงอย่างเดียว การศึกษาในครั้งนี้ใช้ B[e]P เป็นตัวบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ โดยดูความสัมพันธ์จากช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น และช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของ B[e]P มีค่าสูง ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์กัน

Wu *et al.* (2005) ศึกษาโครงสร้างของบรรยากาศในแนวตั้งที่มีผลต่อการกระจายตัวของ PAHs ในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) เมืองเทียนจิน ประเทศจีน ทำการเปรียบเทียบระหว่างเขตเมือง และชนบท โดยเขตชนบททำการทดลองที่ระดับความสูงต่างกัน 3 ระดับ คือ ที่ระดับความสูง 1.5 เมตร บริเวณใกล้ถนนที่ระดับความสูง 1 กิโลเมตร และบริเวณที่พักอาศัยที่ระดับความสูง 150 เมตร และในเขตเมืองเก็บที่ระดับความสูงต่างกัน คือ ที่ระดับความสูง 20, 40 และ 60 เมตร ในช่วงฤดูหนาว ซึ่งพบ PAHs มีความเข้มข้นสูงสุดในฝุ่นละอองขนาด 0.43-2.1 ไมโครเมตร และ 9.0-10.0 ไมโครเมตร ทั้งในเขตเมือง และชนบท ความเข้มข้นของ PAHs ในเขตเมือง พบความเข้มข้นสูงสุดที่ระดับความสูง 40 เมตร ซึ่งความเข้มข้นของ PAHs พบสูงในฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2.1 ไมโครเมตร

Yasmin *et al.* (2008) ศึกษาความเกี่ยวเนื่องกันของ PAHs ในฝุ่นละอองในบรรยากาศเมืองธากา ประเทศญี่ปุ่น กับลักษณะทางอุตุนิยมวิทยา และการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 21 ตัวอย่าง ในช่วงระหว่างวันที่ 26 มกราคม 2550 ถึง 27 มกราคม 2551 โดยเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) และวิเคราะห์ PAHs 13 ชนิดโดยใช้เครื่อง GC/MS

และใช้วิธี Internal Standard ในการตรวจวิเคราะห์หา PAHs จากการศึกษพบว่า อุณหภูมิบรรยากาศ ความเข้มของแสงอาทิตย์ และปริมาณฝน มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละออง พบว่าความเข้มข้นของ PAHs นั้นมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับอุณหภูมิ ($r=-0.785$) พบว่าความเข้มข้นของ PAHs มีความสัมพันธ์แบบผกผันกับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับ ($r= -0.742$) เมื่อความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์มีค่าสูง ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าต่ำ เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับแสงของ PAHs (Photodegradation) กล่าวได้ว่าปฏิกิริยา Photodegradation มีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลาย เมื่อความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์สูง การเกิด Photodegradation จะสามารถเกิดขึ้นได้ดี และพบว่า PAHs มีความเข้มข้นในฤดูหนาว มากกว่าในฤดูร้อน

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัสดุและอุปกรณ์ภาคสนาม

1.1 อุปกรณ์ชุดเก็บตัวอย่าง TSP Hi-Volume Air Sampler

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้อุปกรณ์ชุดเก็บตัวอย่าง TSP Hi-Volume Air Sampler (ภาพที่ 11) เป็นเครื่องมือในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม ตามมาตรฐาน US.EPA CFR40, App.J, Part50 ชุดเก็บตัวอย่างประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ ได้แก่ อุปกรณ์ดูดอากาศ และอุปกรณ์บันทึกอัตราการไหลหรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเครื่องบันทึกอัตราการไหลนี้จะต้องมีการปรับเทียบ (Calibration) โดยปรับเทียบกับความดันของน้ำ ซึ่งคำนวณกลับไปเป็นอัตราการไหลของชุดปรับเทียบ แล้วจึงจะสามารถนำไปใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยอากาศจะถูกดูดผ่านกระดวยกรอง ในอัตราการไหล 1.413 m³/min ฝุ่นละอองรวมจะถูกดักไว้ที่กระดวยกรองชนิดควอร์ต (Quartz Fiber Filter) ส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมในบรรยากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) คำนวณได้จากปริมาณของฝุ่นบนกระดวยกรองที่ซั่งได้กับปริมาตรของอากาศที่ผ่านกระดวยกรองดังกล่าว โดยนำกระดวยกรองควอร์ตที่เก็บตัวอย่างฝุ่นไปซั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง



ภาพที่ 11 อุปกรณ์ชุดเก็บตัวอย่าง TSP Hi-Volume Air Sampler

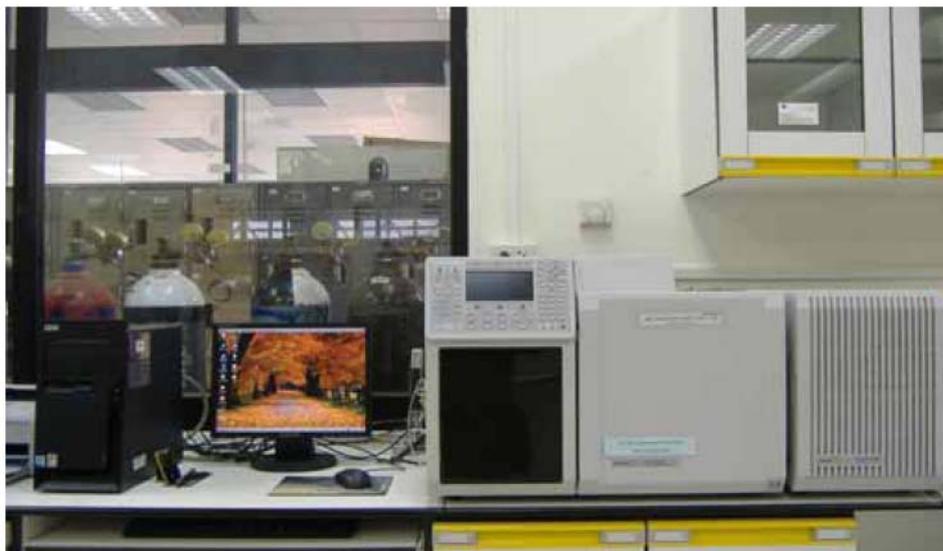
- 1.2. Ultrasonic Anemometer
- 1.3. กระจกกรอง Quartz ขนาด 8x10 นิ้ว
- 1.4. ถังมือยางชนิดไม่มีแป็ง
- 1.5. ปากคีบหัวเทปลอน
- 1.6. สมุดจด
- 1.7. ฉลากติดซองซิบบีแพ็ค
- 1.8. ถังซิบบีแพ็คเล็ก (เก็บกระจกกรองแต่ละแผ่น)-ใหญ่ (เก็บกระจกกรองในแต่ละวัน)
- 1.9. กระจกอะลูมิเนียมพับเป็นช่องสำหรับห่อกระจกกรอง

2. วัสดุและอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการ

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer

สำหรับการศึกษาร้านี้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสาร ได้แก่ เครื่อง Gas Chromatography ต่อกับ Mass Spectrometer (GC/MS) โดยใช้ Gas Chromatography รุ่น CP-3800 ต่อกับ Mass Spectrometer รุ่น Saturn 2200 ผลิตโดยบริษัท Varian แสดงดั่งภาพที่ 12 และทำการติดตั้ง Capillary Column ชนิด DB-5ms ที่มีความยาว 60 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (I.D) 0.25 มิลลิเมตร และความหนาของฟิล์มของเหลว (Film Thickness) 0.25 ไมโครเมตร Column มีขีดจำกัดของอุณหภูมิในการทำงาน 350°C ผลิตโดยบริษัท Agilent Technologies เครื่อง GC/MS ได้รับความอนุเคราะห์จาก สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 12 เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer

2.1.2 ตู้อบ (Oven)

2.1.3 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

2.1.4 ตู้ดูดควัน (Hood)

2.1.5 ชุดสกัด Soxhlet

1) Soxhlet Body

2) Heating Mantle

3) Condenser

2.1.6 ชุดระเหย (Evaporator)

1) ตู้ทำความเย็น (Cooler)

2) อ่างน้ำร้อน (Water bath)

3) ป้อนสุญญากาศ

4) เครื่องระเหย Evaporator 7. ชุด Fractionation Chromatography

5) คอลัมน์มีวาล์วเปิดปิด พร้อมจุก

6) ขวดกลมขนาด 100 มิลลิลิตร

7) กระจกตวง 50 มิลลิลิตร

8) ปีกเกอร์ขนาดเล็ก

2.1.7 ปากคีบ (Forceps)

- 2.1.8 หลอดแก้วก้านยาว (Disposable Glass Pipette) พร้อมลูกยาง
- 2.1.9 ขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตร
- 2.1.10 บีกเกอร์
- 2.1.11 กระจกอลูมิเนียม
- 2.1.12 แท่งแก้วนำก๊าซไนโตรเจน
- 2.1.13 ใยแก้ว (Glass Fiber)
- 2.1.14 ลูกแก้ว (Anti Bumper)
- 2.1.15 ขวดทิ้งสารเคมี ติดฉลากแยกชนิดสารเคมี
- 2.1.16 ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 2.1.17 ขวด Vial พร้อม Insert Vial
- 2.1.18 ตู้เย็น อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส
- 2.1.19 เข็มฉีดยาขนาด 10 50 100 และ 500 ไมโครลิตร
- 2.1.20 กระจกสติกเกอร์สำหรับทำฉลากติดขวดตัวอย่าง
- 2.1.21 ถังมือยางชนิดไม่มีแป้
- 2.1.22 หน้ากากคาร์บอน
- 2.1.23 เสื้อกราวน์
- 2.1.24 แว่นตากันสารเคมี

2.2 สารเคมี

- 2.2.1 ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen Gas)
- 2.2.2 ก๊าซฮีเลียม 99.999% (Helium Gas)
- 2.2.3 สารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane, DCM) AR Grade
- 2.2.4 สารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane, DCM) HPLC Grade
- 2.2.5 สารตัวทำละลายเฮกเซน (n-Hexane) HPLC Grade
- 2.2.6 สารตัวทำละลายโทลูอีน (Toluene) HPLC Grade
- 2.2.7 สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) HPLC Grade
- 2.2.8 สารตัวทำละลายอะซีโตน (Acetone)
- 2.2.9 สารตัวทำละลายเมทานอล (Methanol)
- 2.2.10 ซิลิกาเจล (Silica Gel)

2.3 สารละลายมาตรฐาน PAHs

2.3.1 สารละลายมาตรฐานของสาร PAHs 15 ชนิด (Norwegian Standard: NS 9815)
ผลิตโดยบริษัท Chiron ประเทศนอร์เวย์ ประกอบด้วย

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

2.3.2 สาร Recovery ISTD-PAH ผลิตโดยบริษัท Chiron ประเทศนอร์เวย์
ประกอบด้วย

ฟลูออรีน-ดี12	Fluorene-d12
เพอร์ลิซีน-ดี12	Perylene-d12

วิธีการ

1. การศึกษาปริมาณ Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในฝุ่นละอองรวม (TSP)

1.1 การเตรียมกระดาษกรอง Quartz Fiber Filter ขนาด 8x10 นิ้ว (0.3 ไมโครเมตร) ก่อนการเก็บตัวอย่าง โดยตรวจสอบสภาพของกระดาษกรอง และนำไปเผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็น นำไปอบไล่ความชื้นใน Desiccators เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำกระดาษกรองมาชั่งน้ำหนัก บันทึกน้ำหนักกระดาษกรอง ห่อกระดาษกรองด้วยกระดาษอลูมิเนียมที่ล้างด้วย Dichloromethane และเก็บกระดาษกรองที่ผ่านการเตรียมแล้วไว้ในถุงซิปล็อค

1.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม

1.2.1 ติดตั้งชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่าง High Volume Air Sampler เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ อุปกรณ์ดูดอากาศ และอุปกรณ์บันทึกอัตราการไหล หรืออุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลอย่างใดอย่างหนึ่ง และติดตั้งสายไฟให้เรียบร้อย

1.2.2 นำกระดาษกรองควอร์ต (Quartz Fiber Filter) ที่เก็บรักษาไว้ในกระดาษอลูมิเนียม แกะออกจากถุงซิปล็อค แล้วใช้คีมคีบปากแบน (Forceps) ที่พันด้วยพาราฟิล์ม คีบกระดาษกรองออกมาวางไว้ตรงหัวตัดขนาดอนุภาค ไม่ให้มีมือสัมผัสกระดาษกรอง

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 หลังเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม ครบ 6 ชั่วโมง ปิดเครื่อง High Volume Air Sample ก่อนจะนำกระดวยกรองที่เก็บตัวอย่างครบเวลาที่กำหนดแล้วออกจากเครื่อง จะต้องใช้คีม คีบปากแบนที่พันด้วยพาราฟิล์ม พับกระดวยกรองครึ่งหนึ่งแล้วเก็บใส่ในกระดวยอลูมิเนียมแผ่น เดิม ใส่ถุงซิปลให้เรียบร้อยแล้วนำไปแช่เย็น

1.2.7 บันทึกวันที่ เวลา จดเลขมิเตอร์เริ่มต้นของเครื่อง High Volume Air Sample และจดบันทึกสภาพลมฟ้าอากาศหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง โดยทำการเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างละ 6 ชั่วโมง 3 วันต่อเนื่อง ทุกจุดที่ทำการศึกษาจะต้องเก็บรักษาตัวอย่างด้วยการห่อด้วยกระดวย อลูมิเนียม ใส่ถุงซิปล และนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 °C

1.3 การหาปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม

ปริมาณฝุ่นละอองรวม ในบรรยากาศ สามารถคำนวณหาความเข้มข้นในหน่วย ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) โดยคำนวณจากปริมาณของฝุ่นละอองบนกระดวยกรองที่ซั่งได้ กับปริมาตรของอากาศที่ผ่านกระดวยกรองดังกล่าว โดยนำกระดวยกรองควอร์ตที่เก็บตัวอย่างฝุ่น ละอองไปซั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

1.3.1 คำนวณหาปริมาตรอากาศ

อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง โดยการนำค่าที่อ่านได้จาก กราฟวงกลมที่บันทึกอัตราการไหลของอากาศ มาคำนวณดังนี้

$$V_a = 0.02832 * Q * T$$

เมื่อ	V_a	=	ปริมาตรอากาศ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร
	Q	=	อัตราการไหลของอากาศ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
	0.02832	=	ค่าคงที่การเปลี่ยนหน่วยจากลูกบาศก์ฟุตต่อนาทีเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
	T	=	เวลาในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นนาที

จากนั้นปรับแก้ค่าปริมาตรอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างให้เป็นอัตราการไหลที่
สภาวะมาตรฐานโดยสมการ

$$V_{std} = (V_a * P_a * T_{std}) / (T_a * P_{std})$$

เมื่อ	V_{std}	=	ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร
	V_a	=	ปริมาตรอากาศ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร
	P_{std}	=	ความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท
	P_a	=	ความดันบรรยากาศในบรรยากาศ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรปรอท
	T_{std}	=	อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (298 องศาเซลวิน)
	T_a	=	อุณหภูมิในบรรยากาศ มีหน่วยเป็นองศาเซลวิน

1.3.2 คำนวณหาความเข้มข้นฝุ่นละอองรวม

วิธีการคำนวณแสดงดังสมการ

$$\text{ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)} = \frac{(W_a - W_b) * 10^6}{V_{std}}$$

เมื่อ	W_a	=	น้ำหนักกระดาดกรองหลังการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม
	W_b	=	น้ำหนักกระดาดกรองก่อนการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็น กรัม
	V_{std}	=	ปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร
	10^6	=	การแปลงหน่วยจากกรัมเป็นไมโครกรัม

1.4 การควบคุมคุณภาพ

1.4.1 การทำ Field Blank โดยวางกระดาดกรองในเครื่อง Height Volume Air Sampler เหมือนกับตัวอย่าง แต่ไม่เปิดเครื่อง ทิ้งกระดาดกรองไว้ในเครื่องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเก็บและรักษาภาพกระดาดกรองเหมือนตัวอย่าง

1.4.2 การทำซ้ำ โดยการชั่งตัวอย่างกระดาษกรอง 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกระดาษกรอง

1.5 การสกัด Polycyclic Aromatic Hydrocarbons ในฝุ่นละอองรวม (TSP) สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้

1.5.1 การทำความสะอาดเครื่องแก้ว และอุปกรณ์

1) ล้างชอกเลต และขวดปริมาตรขนาด 500 ml ด้วยน้ำยาล้างแก้ว และน้ำประปา หลังจากนั้นรินด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง

2) ล้างกระดาษอะลูมิเนียมด้วย Dichloromethane (DCM) AR grade

3) รินเครื่องแก้วด้วย Acetone เพื่อระเหยน้ำ หลังจากนั้นนำเครื่องแก้วเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 60°C ทิ้งไว้หนึ่งคืน

4) รอให้เครื่องแก้วเย็น ริน DCM ลงในเครื่องแก้วทั้งหมด 3 ครั้ง

5) เท DCM ที่ค้างอยู่ในเครื่องแก้วลงใน Beaker ขนาดใหญ่เพื่อนำไปเก็บในขวดแก้วสำหรับเก็บ Organic Waste

6) ริน DCM ลงใน Condenser ประมาณ 3 ครั้ง

1.5.2 ขั้นตอนการสกัด PAHs โดยใช้ Soxhlet

1) ใช้คีบคีบปากแบนคีบกระดาษกรอง แล้วนำมาใส่ในชอกเลต

2) หยอดลูกแก้วประมาณ 3-4 เม็ดลงในขวดกลมขนาด 500 ml

3) หลังจากนั้นทำการติดตั้งชอกเลตและคอนเดนเซอร์บนเตาหลุม (Heating Mantle)

4) Spike Internal Standard ลงบนกระดาษกรองตัวอย่างละ 50 µl

5) เท DCM HPLC grade ลงไปในชอกเลตประมาณ 1 รอบครึ่ง

6) เปิดสวิทช์เตาหลุม

7) เปิดน้ำประปาตรวจสอบให้แน่ใจว่าคอนเดนเซอร์ทำงาน

8) เปิดเตาหลุมเป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ปิดเตาหลุมทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีจนกว่าเครื่องจะเย็น

9) ใช้คีบคีบปากเบนคีบกระดาษกรองออกแล้วนำ DCM ที่ตกค้างอยู่ในขวด ปริมาตร 500 ml ไปเข้าเครื่องระเหยสาร

1.5.3 ขั้นตอนการลดปริมาตร DCM โดยใช้เครื่อง Evaporator

1) นำขวดปริมาตร 500 ml ที่บรรจุ DCM AR Grade ไปเข้าเครื่อง ระเหยสาร หมุนอย่างช้าๆ หากมีฟองอากาศเกิดขึ้นให้ลดความเร็วลงทันที ระเหยสารไปจนกว่าปริมาตรของสาร ตัวทำละลายไดคลอโรมีเทนเหลืออยู่ประมาณ 2-3 ml

2) ทำการล้างขวดแก้วขนาด 15 ml โดยใช้ DCM AR Grade ทำซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นแปะฉลากตัวอย่างบนขวดแก้ว

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

4) ปิดฝาขวดแก้วแล้วนำกลับไปแช่ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5°C

1.5.4 การ Cleanup and Blow-Down Process

1) ตวง Hexane 10 ml ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 ml

2) เปิดฝาขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่างแล้วนำปิเปตที่ต่อกับท่อก๊าซไนโตรเจน ไว้ ในขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่าง แล้วค่อยๆ เปิดก๊าซเบาๆ พอให้เห็นว่าสารตัวอย่างกระเพื่อมเล็กน้อย

3) เมื่อ DCM ออกไปเกือบหมด Disposable Glass Pipette ดูด Hexane ใน กระบอกตวง แล้วรินลงในขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่างเพื่อให้ DCM ระเหยออกไปพร้อมกับพ่น ก๊าซไนโตรเจน ลงไปจนเหลือปริมาตรประมาณ 10 ml หลังจากนั้นภายในขวดแก้วจะไม่มี DCM หลงเหลืออยู่แต่จะมี Hexane มาแทนที่

4) นำกลับไปแช่ตู้เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5°C

1.5.5 การ Activated Silica Gel

1) ตวงซิลิกาเจล 1.5 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาดเล็ก ปิดปากบีกเกอร์ด้วยกระดาษ อะลูมิเนียม

- 2) นำไปอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง
- 3) นำออกมาไว้ในตู้ดูดความชื้นทิ้งไว้ให้เย็น

1.5.6 การ Fractionation Chromatography แบ่งเป็น 2 ชั้น ดังนี้

- 1) ใส่ใยแก้วปริมาณเล็กน้อยลงในคอลัมน์ (Column) โดยใช้คีมคีบปากแบน
- 2) เท Hexane 3 ml ลงในบีกเกอร์ ทำการ Activated ซิลิกาเจล อย่างช้าๆ ซิลิกาเจลจะละลายในสารตัวทำละลายเฮกเซน
- 3) เทซิลิกาเจลที่ละลายแล้วใส่ลงในคอลัมน์แล้วใช้ปิเปตดูด Hexane นิดล้างซิลิกาเจลที่ติดอยู่ด้านข้างของบีกเกอร์เทลงในคอลัมน์ให้หมด โดยใยแก้ว และซิลิกาเจลจะทำหน้าที่กรองสิ่งอันไม่พึงประสงค์เอาไว้
- 4) เปิดวาล์วให้สารตัวทำละลายเฮกเซน ในคอลัมน์ค่อยๆ ไหลลงขวดปริมาตรขนาด 250 ml จนสารตัวทำละลายเฮกเซนเหลืออยู่ที่ระดับคอขวด
- 5) เทสารตัวทำละลายเฮกเซนลงในกระบอกตวงปริมาณ 15 ml

Fraction 1

- 6) เทสารตัวอย่างที่ผ่านการ Blow-down แล้วลงในคอลัมน์แล้วใช้ปิเปตดูดสาร Hexane จากกระบอกตวง ล้างสารตัวอย่างที่ติดอยู่ด้านข้างขวดแก้วให้หมดแล้วเทลงในคอลัมน์
- 7) ปิดจุกคอลัมน์แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันเท่ากับ 1.0 mbar
- 8) ปรับให้อัตราการไหล 1 หยด ต่อ 1 วินาที ให้สารตัวอย่างไหลลงมาจนอยู่ในระดับประมาณ 0.5-1 cm จากคอขวด ระวังอย่าให้ซิลิกาเจลแห้งเด็ดขาด

Fraction 2

- 9) ตวง Hexane + Toluene (Hexane 96 ml: Toluene 54 ml) 15 ml ใส่ลงในกระบอกตวง 50 ml ของตัวอย่างเดิม
- 10) เท Hexane + Toluene ลงในคอลัมน์ให้หมด
- 11) ปิดจุกคอลัมน์แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันเท่ากับ 1.0 mbar
- 12) ปรับอัตราการไหล 1 หยด ต่อ 1 วินาที จนสารตัวอย่างแห้งสนิท

13) นำขวดปริมาตรที่บรรจุสารตัวอย่างไปทำขั้นตอนระเหยสารต่อไป

1.5.7 ขั้นตอนการลดปริมาตร Hexane: Toluene โดยเครื่อง Evaporator

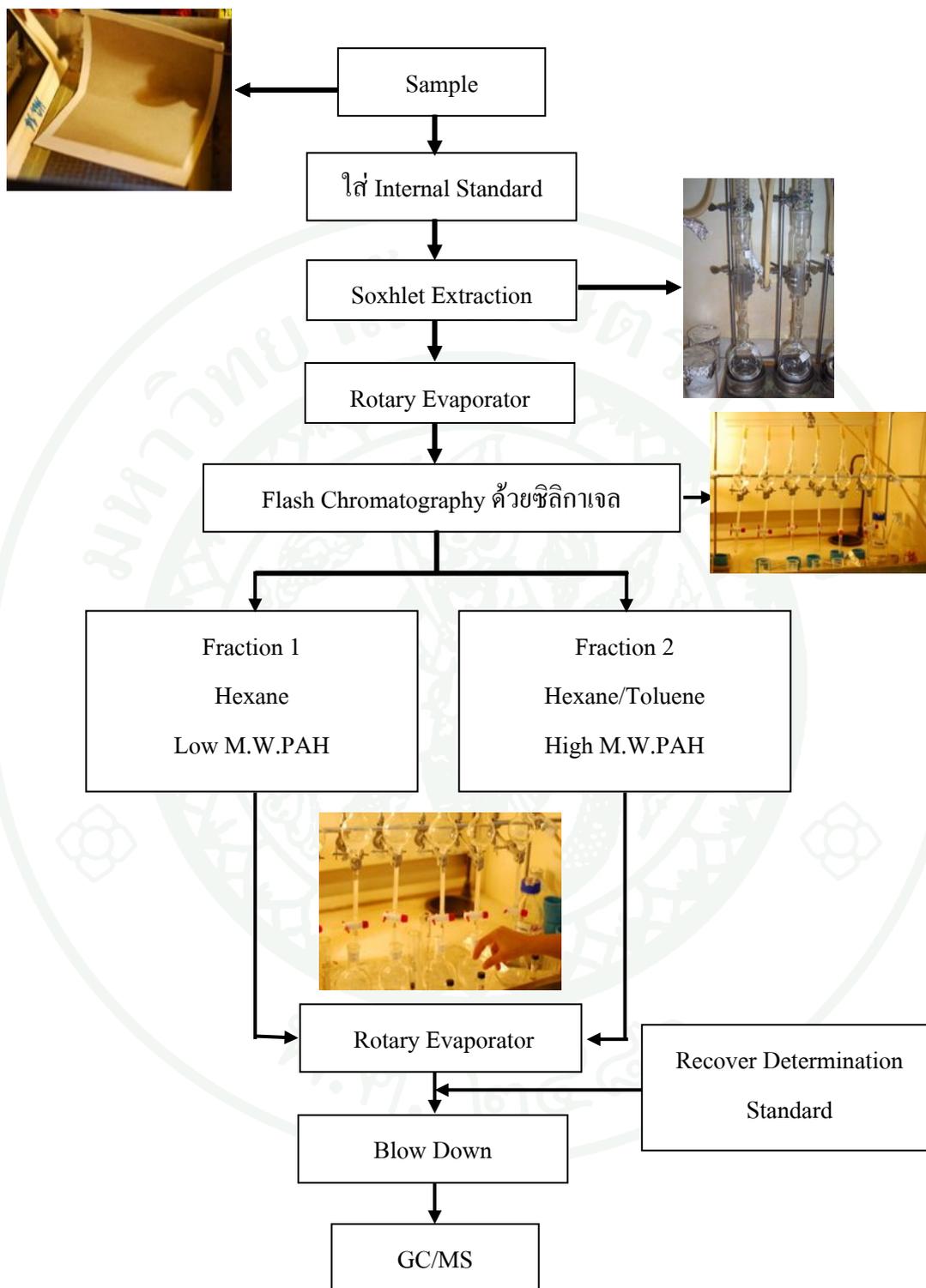
- 1) เติม Methanol ประมาณ 5-6 ml ลงไปในขวดปริมาตรที่บรรจุสารตัวอย่าง
- 2) ปรับอุณหภูมิของน้ำประมาณ 50-55 °C
- 3) ระเหยสารจนเหลือปริมาตรเพียง 1-2 ml
- 4) เทลงขวดแก้วขนาด 15 ml ขวดใหม่ที่เตรียมไว้

1.5.8 การ Blow-Down

1) นำขวดตัวอย่างมาทำการลดปริมาตร (Blow Down) อีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน พ่นใส่ตัวอย่างให้เกือบแห้ง จากนั้นดูด Cyclohexane ฉีดให้รอบๆ ขวดตัวอย่าง 3 รอบ และพ่นก๊าซไนโตรเจนต่อจนเหลือตัวอย่างเพียงเล็กน้อย เกือบถึงก้นขวด

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

1.6 กำหนดสภาวะการทำงานของเครื่องเพื่อวิเคราะห์สาร PAHs จากตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์หาชนิด และปริมาณของสาร PAHs โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC-MS/MS)



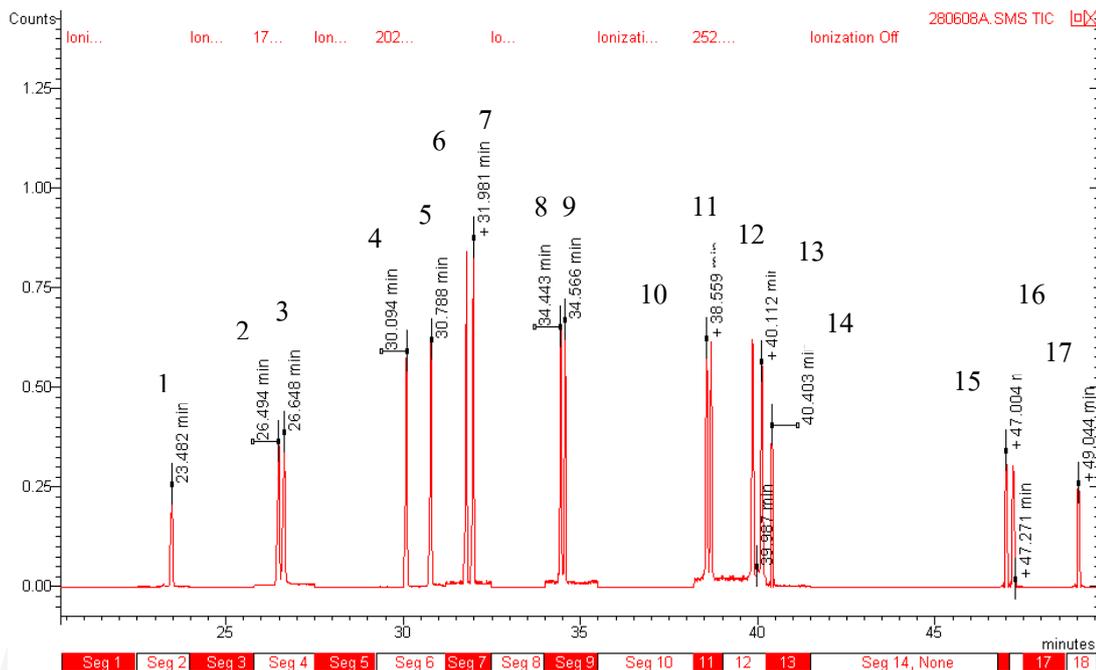
ภาพที่ 13 ขั้นตอนการสกัด PAHs

2. การกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่อง Gas Chromatography Mass Spectrophotometer (GC/MS)

กำหนดสภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS (ดังตารางที่ 3) โดยฉีดสารละลายตัวอย่าง PAHs ที่สกัดเข้าสู่เครื่อง GC โดยผ่าน Injector ที่อุณหภูมิ 300 °C ปริมาณ 1 µl เข้าสู่คอลัมน์ CP-5865 ซึ่งเคลือบด้วยสารละลายผสม Diphenyl 5% และ Dimethyl 95% มีความยาว 60 เมตร ที่สภาวะการแยกใช้อัตราการพาของก๊าซฮีเลียม 1 ml/min อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นไว้ที่ 40 °C เป็นเวลานานที่ หลังจากนั้นเร่งอุณหภูมิให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 8 °C ต่อนาทีจนระดับอุณหภูมิขึ้นสูงที่ 300 °C และรักษาอุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลา 50 นาที สาร PAHs ต่างชนิดกันจะมีการกระจายตัวอยู่ระหว่างเฟสของเหลวที่เป็นฟิล์มเคลือบอยู่ภายในคอลัมน์ และเฟสที่เป็นก๊าซที่เป็นตัวพาด้วยอัตราที่ต่างกัน โดยมีอุณหภูมิของเตา GC เป็นปัจจัยช่วยหนุน หรือเร่งการกระจายตัวของสาร ทำให้เกิดการแยกสารขึ้น สาร PAHs ที่ถูกหน่วงน้อยที่สุดจะถูกแยกออกจากคอลัมน์ก่อน และสารตัวอื่นที่ถูกหน่วงมากกว่า ก็จะแยกออกมาตามลำดับ เมื่อสารเคลื่อนผ่านพื้นเครื่อง GC เข้าสู่ Transferline ระหว่างเครื่อง GC กับ MS ที่อุณหภูมิ 200 °C เพื่อกันไม่ให้ไอของสารเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งไอสารที่แยกจะถูกผ่านเข้าสู่เครื่อง MS ซึ่งเป็นส่วนของ Ion Trap ทำหน้าที่วิเคราะห์มวลสารโดยการยิงอิเล็กตรอนพลังงานสูง (EI+ 70 eV) ในสารตัวอย่างทำให้สารเกิดการแตกตัวเป็น Fragment Ion ที่มีประจุบวกหนึ่ง และกักเก็บประจุเหล่านี้เอาไว้ ทำให้ได้ Fragment Ion ทั้งหมดจากการสแกน 1 ครั้ง ตกลงสู่เครื่องตรวจวัดของส่วน MS และมีการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมของเครื่องทำให้สามารถบันทึกผล และรายงานเป็นกราฟโครมาโตแกรมที่แสดงปริมาณ และมวลของสารด้วย Mass Spectrum ของแต่ละสารได้ อีกทั้งยังสามารถใช้โหมดการบันทึกไอออนเฉพาะหรือไอออนเดี่ยวได้คือ โหมด SIS (Selected Ion Spectrum) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถใช้หาปริมาณสาร PAHs โดยการสแกนเฉพาะ Peak ของ Fragment Ion หรือ Mass Spectrum ของสาร PAHs ที่เราสนใจ แทนที่จะทำการสแกนทั้งหมด ซึ่งทำให้ผลการตรวจวัดแต่ละ Peak ดียิ่งขึ้น และเป็นการประหยัดเวลาอีกด้วย ผลจากการหาสภาวะที่เหมาะสมโดยใช้สารละลายมาตรฐานของ PAHs 15 ชนิด รวมถึงสาร Recovery ISTD-PAH 2 ชนิด จะได้สภาวะที่ใช้ในการฉีดตัวอย่างเป็นโครมาโตแกรม ดังภาพที่ 14

ตารางที่ 3 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์ PAHs

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



- | | |
|-----------------------------|----------------------------|
| 1. Fluorene-d12 | 10. Perylene-d12 |
| 2. Phenanthrene | 11. Benzo(b)Fluoranthene |
| 3. Anthracene | 12. Benzo(k)Fluoranthene |
| 4. Fluoranthene | 13. Benzo(e)Pyrene |
| 5. Pyrene | 14. Benzo(a)Pyrene |
| 6. 11H-Benzo(a)Fluoranthene | 15. Indeno(1,2,3-cd)Pyrene |
| 7. 11H-Benzo(b)Fluoranthene | 16. Dibenzo(a,h)Anthracene |
| 8. Benzo(a)Anthracene | 17. Benzo(g,h,i)Perylene |
| 9. Chrysene | |

ภาพที่ 14 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(a)Anthracene	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-d12	176	23.515
Perylene-d12	264	40.341

3. เงื่อนไขในการวิเคราะห์ PAHs

เงื่อนไขในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย ขีดจำกัดการวิเคราะห์ของเครื่องมือ (Instrumental Detection Limit: IDL) ของสาร PAHs แต่ละชนิด ความละเอียดในการแยกพีค (Peak's Resolution: R) จำนวนของเพลต (Hypothetical Plate Number: N) และความหนาของเพลต (Height Equivalent of Theoretical Plate: HETP) แสดงดังตารางที่ 5 ดังนี้

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

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

หมายเหตุ * Peak ของ Benzo(g,h,i)Perylene แยกจาก Peak ของ PAHs ชนิดอื่น ได้อย่างชัดเจน

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 ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าสารมาตรฐาน (Running Standard: 100 ng/ μ l) ที่ใช้ในการคำนวณระดับความเข้มข้นของ PAHs ในสารตัวอย่างถึง 1,000 เท่า

4. Standard Reference Material (SRM)

Standard Reference Material (SRM) เป็นการควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์ค่าคือเป็นตัวประกันคุณภาพในการทดลอง โดยใช้ Standard Reference Material 1941b Organics 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 \pm 44	486 \pm 66	119 \pm 16
Fluoranthene	8	651 \pm 50	733 \pm 79	112 \pm 12
Pyrene	8	581 \pm 39	551 \pm 65	95 \pm 11
Benzo[a]Anthracene	8	335 \pm 25	277 \pm 46	82 \pm 13
Chrysene	8	291 \pm 31	227 \pm 83	77 \pm 28
Benzo(b)Fluoranthene	8	453 \pm 21	396 \pm 134	87 \pm 29
Benzo(k)Fluoranthene	8	225 \pm 18	197 \pm 86	87 \pm 38
Benzo(e)Pyrene	8	325 \pm 25	409 \pm 175	125 \pm 53
Indeno (1,2,3-cd)Pyrene	8	341 \pm 57	438 \pm 92	128 \pm 26
Benzo(g,h,i)Perylene	8	307 \pm 45	382 \pm 84	124 \pm 27

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

5. วิธีการคำนวณความเข้มข้นของ PAHs โดยใช้ Internal Standard

ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม สามารถคำนวณหาความเข้มข้นได้ในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ng/m^3) โดยคำนวณจากพื้นที่พีคของ PAHs ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS กับปริมาตรของอากาศที่ทำการเก็บ วิธีการคำนวณแสดงดังสมการ

$$C_{\text{Nat}} = \frac{A_{\text{Nat}}}{A_{\text{Deut}}} \times W_{\text{Deut}} \times \frac{1}{\text{RRF}} \times \frac{1}{V} \quad (6.1)$$

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
	V	=	ปริมาตรอากาศที่ทำการเก็บ (m^3)

โดยค่าปัจจัยการตอบสนองเชิงสัมพัทธ์ของเครื่องมือวิเคราะห์ หรือที่เรียกว่าค่า RRF ที่ใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของ PAHs นั้นคำนวณมาจาก พื้นที่พีค และความเข้มข้นของ Native-PAHs และ Deuterated-PAHs ดังสมการ

$$\text{RRF} = \frac{(A_{\text{Nat}} / C_{\text{Nat}})}{(A_{\text{Deut}} / C_{\text{Deut}})} = \frac{A_{\text{Nat}} \times C_{\text{Deut}}}{A_{\text{Deut}} \times C_{\text{Nat}}} \quad (6.2)$$

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

6. วิธีการคำนวณสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs (ng/m³) และความเข้มข้นของ TSP (μg/m³)

สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs (ng/m³) และความเข้มข้นของ TSP (μg/m³) สามารถคำนวณโดยนำความเข้มข้นของ TSP ซึ่งมีหน่วยเป็น μg/m³ มาคูณด้วย 10⁻³ เพื่อเปลี่ยนหน่วยให้เป็น ng/m³ เหมือนกับความเข้มข้นของ PAHs จากนั้นนำ 10⁴ มาคูณกับสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs (ng/m³) และความเข้มข้นของ TSP (μg/m³) เพื่อให้สะดวกในการเปรียบเทียบ ดังสมการ

$$\text{สัดส่วนระหว่าง PAHs และ TSP} = \left[\frac{\text{ความเข้มข้นของ PAHs (ng/m}^3\text{)}}{\text{ความเข้มข้นของ TSP (ng/m}^3\text{) x } 10^{-3}} \right] \times 10^4$$

7. การวิเคราะห์ข้อมูล และสรุปผล

8.1 วิเคราะห์การกระจายตัวของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมในแต่ละช่วงเวลาในระดับความสูงต่างๆ

8.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม และฝุ่นละอองรวมในแต่ละชั้นระดับความสูง

8.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจายตัวของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม และ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตรในแต่ละชั้นระดับความสูง

8. ข้อมูลพื้นที่ศึกษา

การศึกษานี้ประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ในช่วงระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ในช่วงระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 และพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงระหว่างวันที่ 25 - 28

กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ทำการเก็บตัวอย่างตามระดับความสูง แบ่งเป็น 3 ระดับความสูง โดยมีเกณฑ์ในการเลือกระดับความสูงดังต่อไปนี้

1) ระดับต่ำ เลือกระดับเหนือจุด Roughness Layer ซึ่งเป็นชั้นที่รับผลกระทบโดยตรงจากความขรุขระพื้นผิว มีความสูงจากพื้นดินจนถึงระดับความสูงประมาณ 10 เมตร ลักษณะการเคลื่อนตัวของมวลอากาศในระดับชั้นนี้ได้รับอิทธิพลมาจากสิ่งกีดขวางที่อยู่บนพื้นดิน เช่น อาคาร บ้านเรือน ต้นไม้ เป็นต้น สิ่งกีดขวางที่มีอยู่ในระดับชั้นนี้มีอิทธิพลค่อนข้างสูงต่อการเคลื่อนที่ของลมในแนวระนาบ (Advection)

2) ระดับกลาง เลือกระดับที่อยู่ในช่วงความสูงที่เป็นชั้น Surface Layer ซึ่งเป็นชั้นบรรยากาศที่มีความสูงจากพื้นดินจนถึงระดับความสูงประมาณ 100 เมตร บรรยากาศในชั้นนี้จะได้รับอิทธิพลจากสิ่งกีดขวาง เช่นเดียวกับ Roughness Layer แต่สิ่งที่แตกต่างกันก็คือ ชั้น Surface Layer ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง เนื่องจากอิทธิพลที่ได้รับมาจากความร้อนที่เกิดจากการคายความร้อนของพื้นที่ส่งผลให้เกิดการลอยตัวขึ้นของมวลอากาศ โดยลักษณะความแตกต่างของพื้นที่ เช่น พื้นที่เขตป่าไม้ พื้นที่เขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีวัสดุต่างๆ ในพื้นที่ต่างกันส่งผลต่อความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณนั้นๆ และส่งผลต่อเนื่องถึงการเคลื่อนที่ของลมในแนวตั้งที่แตกต่างกัน

3) ระดับบน เลือกระดับความสูงที่อยู่ในช่วงระดับความสูงของชั้น Urban Boundary Layer (UBL) ซึ่งอยู่เหนือชั้น Surface Layer ขึ้นไปเป็นชั้นที่เกิดระดับความสูงผสม (Mixing Height) และได้รับอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวตั้งมากที่สุด รวมถึงจะได้รับอิทธิพลของการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบน้อยที่สุด อาจกล่าวได้ว่าแทบจะไม่ได้รับอิทธิพลจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวระนาบเลย โดยในการศึกษาทำการเลือกยอดตึกที่สูงสุดในพื้นที่ศึกษาเป็นจุดเก็บตัวอย่าง

จากเกณฑ์ดังกล่าวสามารถแบ่งจุดเก็บตัวอย่างในแต่ละพื้นที่ได้ดังต่อไปนี้

8.1 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

จังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ตั้งอยู่ทางฝั่งตะวันออกของภาคใต้ตอนล่าง ระหว่างละติจูด 6.17 องศาเหนือ ถึงละติจูด 7.56 องศาเหนือ และลองจิจูด 100.01 องศาตะวันออก ถึงลองจิจูด 101.06 องศาตะวันออก เป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้ทะเล อยู่ทางภาคใต้ฝั่งอ่าวไทยของประเทศไทย

อำเภอหาดใหญ่มีพื้นที่ประมาณ 660 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณร้อยละ 9.23 ของพื้นที่จังหวัดสงขลา (จังหวัดสงขลามีพื้นที่ประมาณ 7,150 ตารางกิโลเมตร) จำนวนประชากร เมื่อเดือนกันยายน พ.ศ.2551 มีทั้งสิ้น 157,682 คน มีการจราจรที่หนาแน่น อันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ และมีจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นเมืองท่องเที่ยว และศูนย์กลางการค้าไม่ว่าจะเป็นนักท่องเที่ยวชาวไทย และนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่สำคัญของจังหวัดสงขลา จากข้อมูลกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่าอำเภอหาดใหญ่เป็นอำเภอที่มีโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุดในจังหวัดสงขลา (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550)

จังหวัดสงขลาเคยประสบกับปัญหาหมอกควันข้ามแดน (Long Range Transport) ซึ่งมีสาเหตุมาจากไฟป่าจากประเทศเพื่อนบ้าน เช่น ประเทศอินโดนีเซีย และประเทศมาเลเซีย อันก่อให้เกิดหมอกควัน และฝุ่นละออง ปกคลุมทั่วบริเวณพื้นที่ประเทศอินโดนีเซีย และประเทศเพื่อนบ้าน ได้แก่ ประเทศบรูไน สิงคโปร์ มาเลเซีย และฟิลิปปินส์ รวมทั้งภาคใต้ตอนล่างของไทย สภาพดังกล่าวนี้ได้บดบังทัศนวิสัยการมองเห็น ส่งผลต่อการคมนาคมทางบก ทางน้ำและทางอากาศ อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อาศัยในพื้นที่ดังกล่าว การพัดพาหมอกควัน และฝุ่นละอองจากจุดกำเนิดถึงประเทศไทยจะใช้เวลาประมาณ 24 ชั่วโมง ปัญหาดังกล่าวมักจะเกิดจากไฟป่าในบริเวณเกาะสุมาตรา และเกาะบอร์เนียว ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งเกิดในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนสิงหาคมของทุกปี เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีสภาพอากาศแห้ง และปริมาณน้ำฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติ จากการตรวจสอบคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในปีพ.ศ.2548 สภาพปัญหาหมอกควันเริ่มตรวจพบเมื่อวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ.2548 จากข้อมูล ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ตรวจวัดได้ พบว่า จังหวัดสงขลามีปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) สูงถึง 128 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ค่ามาตรฐานกำหนดไว้ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งสูงเกินค่ามาตรฐาน และพบฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) ในปริมาณสูงอีกครั้งในวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ.2548 ตรวจพบปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ย 1 ชั่วโมง อยู่ในระดับสูงขึ้นตั้งแต่วันที่ 11.00 น. ค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงอยู่ในระดับ 150 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเพิ่มสูงขึ้นจนอยู่ในระดับ 211 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เวลา 13.00 น. ในปีพ.ศ.2549 พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ตรวจวัดในช่วงวันที่ 18 กรกฎาคม พ.ศ. 2549 ถึง วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ.2549 พบว่าในจังหวัดสงขลามีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) สูงถึง 128 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงเกินมาตรฐาน (มาตรฐานค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 120

ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยพบว่าแนวโน้มการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) สอดคล้องกับการเพิ่มสูงขึ้นของจำนวนจุดความร้อน (Hotspot) บริเวณเกาะสุมาตรา โดยจุดความร้อน (Hotspot) คือจุดที่ตรวจพบค่าความร้อนสูงผิดปกติซึ่งคาดว่าจะเกิดไฟบนพื้นดิน/ไฟป่า (กรมควบคุมมลพิษ, 2549)

การศึกษาวิจัยในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ได้เก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 21.00 น. วันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ.2550 ถึงเวลา 21.00 น. วันที่ 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 ใช้พื้นที่ของโรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ และโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ เป็นสถานที่ติดตั้งเครื่องมือ และทำการศึกษาระดับความสูง โดยพิจารณาตามลักษณะของอิทธิพลของเมืองที่มีต่อความเร็วลม และอุณหภูมิ แบ่งเป็น 3 ระดับความสูง มีรายละเอียดดังนี้

8.1.1 ชั้นล่าง (Above Roughness Length) มีความสูงประมาณ 40 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 8 โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่: 7.002112 องศาเหนือ 100.472240 องศาใต้)

8.1.2 ชั้นกลาง (Surface Layer) มีความสูงประมาณ 70 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 14 โรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่: 7.005599 องศาเหนือ 100.471818 องศาใต้)

8.1.3 ชั้นบน (Urban Boundary Layer) มีความสูงประมาณ 132 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 32 ชั้นดาดฟ้าของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่: 7.005599 องศาเหนือ 100.471818 องศาใต้)



ภาพที่ 15 จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

8.2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานคร ตั้งอยู่ระหว่างละติจูด 13.45 องศาเหนือ ถึงละติจูด 13.75 องศาเหนือ และลองจิจูด 100.31 องศาตะวันออก ถึงลองจิจูด 100.51 องศาตะวันออก มีพื้นที่ 1,562.2 ตารางกิโลเมตร จำนวนประชากร 97,747 คน (พ.ศ.2550) ความหนาแน่นของประชากร 13,717 คนต่อตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น สภาพทางภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบลุ่มมีระดับต่ำ อยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเลไม่เกิน 1.5 – 2.0 เมตร ความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงเกือบตลอดปี เนื่องจากตั้งอยู่ใกล้อ่าวไทย ซึ่งมีไอน้ำพัดเข้าถึงสม่ำเสมอ และทัศนวิสัยของกรุงเทพฯ ณ เวลา 07.00 น.จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.6-8.0 กิโลเมตร ในปี พ.ศ. 2550 กรุงเทพมหานครมีพื้นที่ความเป็นเมืองประมาณครึ่งหนึ่งของพื้นที่ทั้งหมด โดยแบ่งการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ 3 ประเภท ได้แก่ การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นพื้นที่ชุมชน และสิ่งปลูกสร้าง ร้อยละ 57.33 การใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรกรรม ร้อยละ 32.92 และเป็นการใช้ประโยชน์ที่ดินอื่นๆ ได้แก่ พื้นที่ป่าไม้ แหล่งน้ำ และพื้นที่ว่าง ร้อยละ 9.75

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครเป็นเมืองที่ประสบกับปัญหามลภาวะในเขตเมืองสูงกว่าในจังหวัดอื่นๆ เนื่องจากกรุงเทพมหานครมีการคมนาคมคับคั่ง มีการจัดการเดินรถซึ่งไม่พอดี มีการเพิ่มขึ้นของปริมาณรถอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการจราจรที่คับคั่งนี้จะทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้ช้า ทำให้เกิด

การถ่ายเทอากาศน้อย การสันดาปของน้ำมันเชื้อเพลิงไม่สมบูรณ์ จึงก่อให้เกิดการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศออกมา ได้แก่ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) สารประกอบไฮโดรคาร์บอน(HC) สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) และฝุ่นละออง โดยเฉพาะฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) ประกอบกับความหนาแน่นของสิ่งก่อสร้างทำให้การกระจายตัวของมลสารในบรรยากาศเป็นไปได้ยาก จากการตรวจสอบคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ.2550 พบว่าปัญหาหลักของมลพิษทางอากาศ คือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน $10 \mu\text{m}$ (PM_{10}) โดยเฉพาะพื้นที่ริมถนน ทำการตรวจวัดได้ในช่วง 9.8-242.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เกินมาตรฐานจำนวน 92 ครั้ง (มาตรฐานค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) จากการตรวจวัดทั้งหมด 1,972 ครั้ง (ร้อยละ 4.7) รองลงมาคือ ก๊าซโอโซน พบว่ามีค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐานอยู่บ่อยครั้ง สำหรับฝุ่นละอองรวม และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์พบว่ามีค่าเฉลี่ยเกินมาตรฐานเป็นครั้งคราว ส่วนก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

การศึกษาวิจัยในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร ได้เก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 21.00 น. วันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 ถึงเวลา 21.00 น. วันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 ใช้พื้นที่ของโรงแรมไบกัส และ โรงแรมไบกัสกาย เป็นสถานที่ติดตั้งเครื่องมือ และทำการศึกษาตามระดับความสูง โดยพิจารณาตามลักษณะของอิทธิพลของเมืองที่มีต่อความเร็วลม และอุณหภูมิ แบ่งเป็น 3 ระดับความสูง มีรายละเอียดดังนี้

8.2.1 ชั้นต่ำ (Roughness Layer) มีความสูงประมาณ 38 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 10 โรงแรมไบกัส: 13.752996 องศาเหนือ 100.539665 องศาใต้)

8.2.2 ชั้นกลาง (Surface Layer) มีความสูงประมาณ 158 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 43 ชั้นดาดฟ้าโรงแรมไบกัส: 13.752996 องศาเหนือ 100.539665 องศาใต้)

8.2.3 ชั้นบน (Urban Boundary Layer) มีความสูงประมาณ 328 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 83 ชั้นดาดฟ้าของโรงแรมไบกัส: 13.751557 องศาเหนือ 100.537262 องศาใต้)



ภาพที่ 16 จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

8.3 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

จังหวัดเชียงใหม่ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของประเทศไทย ระหว่างละติจูด 18.48 องศาเหนือ ถึงละติจูด 18.80 องศาเหนือ และลองจิจูด 98.59 องศาตะวันออก ถึงลองจิจูด 98.98 องศาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 310 เมตร ห่างจากกรุงเทพมหานคร 720 กิโลเมตร มีพื้นที่ประมาณ 20,107.06 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 12,566,910 ไร่ จำแนกเป็น พื้นที่ป่าไม้ ร้อยละ 71.98 พื้นที่เกษตรกรรม ร้อยละ 22.02 พื้นที่อยู่อาศัย และอื่นๆ ร้อยละ 6.00 (พ.ศ.2551) มีประชากรรวมทั้งสิ้น 1,686,209 คน ความหนาแน่นเฉลี่ย 84 คน/ตารางกิโลเมตร มีสภาพอากาศค่อนข้างเย็นเกือบตลอดทั้งปี มีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 25°C อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย 31°C อุณหภูมิต่ำสุดเฉลี่ย 20°C จังหวัดเชียงใหม่เป็นศูนย์กลางของความเจริญทางภาคเหนือของประเทศไทย และมีอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจเป็นอันดับ 2 รองจากกรุงเทพมหานคร

จากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของจังหวัดเชียงใหม่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมตามมา เนื่องจากสภาพภูมิประเทศของเชียงใหม่ที่ล้อมรอบไปด้วยเทือกเขา ทำให้ใจกลางเมืองมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะ และจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์เพิ่มมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็น การก่อสร้าง การจราจร หรือการเกษตร อันก่อให้เกิด ฝุ่นละออง และรวมไปถึงมลพิษทางอากาศที่เพิ่มปริมาณ

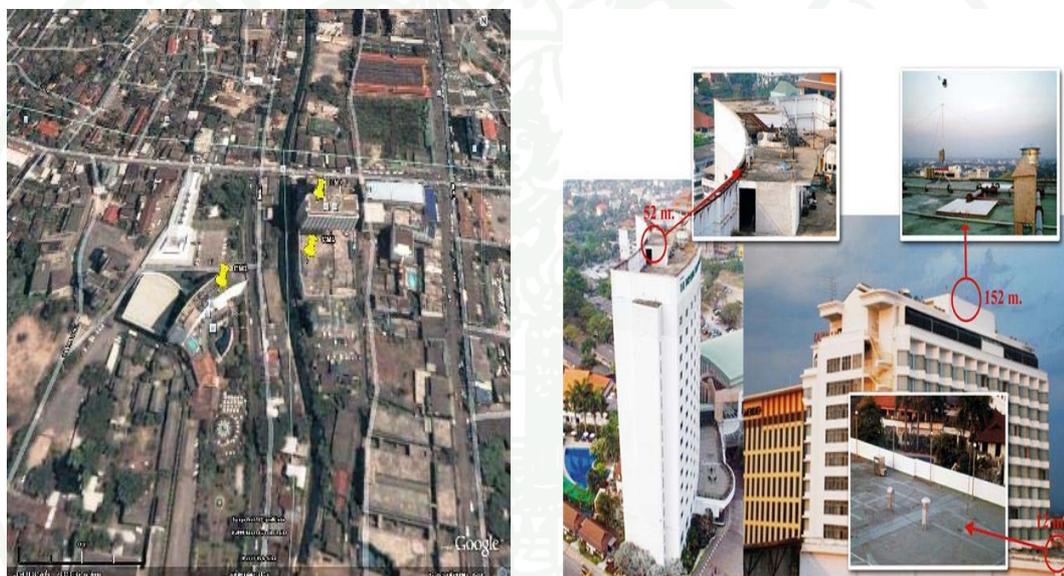
มากขึ้นทุกวัน ทำให้จังหวัดเชียงใหม่ประสบกับปัญหาหมอกควันทางอากาศอยู่เสมอๆ โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาว ซึ่งบรรยากาศมีความกดอากาศสูง ทำให้มลสารกระจายตัวได้ไม่ดีนัก จึงเกิดการสะสมของมลสารในชั้นบรรยากาศเป็นจำนวนมาก จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษพบว่า เมื่อเข้าสู่ฤดูหนาว และหน้าแล้ง มักเกิดปัญหาหมอกควันจากไฟป่า กิจกรรมการเผาในชุมชน อันได้แก่การเผาขยะมูลฝอยในชุมชน และการเผาในภาคเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่การเกษตรทำการเพาะปลูกในรอบต่อไปของเกษตรกร อันได้แก่ การเผาเศษพืช เศษวัสดุทางการเกษตร ซึ่งเกษตรกรนิยมใช้วิธีการดังกล่าวเป็นจำนวนมาก เนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก และประหยัด แต่วิธีการดังกล่าวนี้กลับก่อให้เกิดสารมลพิษแผ่เข้าปกคลุมเมืองให้เข้าสู่ชั้นวิกฤติ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมวลอากาศเย็นเริ่มปกคลุมพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ส่งผลให้มีสภาวะอากาศที่แห้ง และนิ่งทำให้ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ไม่สามารถแพร่กระจายออกไปได้ และไม่ตกลงสู่พื้น ก่อให้เกิดสภาพฟ้าหาว มีหมอกควันปกคลุม ทิศนวิสัยต่ำกว่า 1 กิโลเมตร ประกอบกับฝนตกน้อยทำให้การชะล้างหมอกควัน หรือฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็นไปได้น้อย ทำให้เกิดปัญหาที่เห็นชัดเจนคือ สภาพอากาศปิดจากหมอกควันลอยคลุมไปทั่วเมือง (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ฤดูกาลที่มีการเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในปริมาณสูงได้แก่ ช่วงเดือนมกราคม-เมษายน และช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม โดยเดือนที่มีการเผาสูงสุดได้แก่เดือน กุมภาพันธ์ และมีนาคม (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ในช่วงต้นปี พ.ศ.2550 พบว่าพื้นที่บริเวณภาคเหนือตอนบนประสบกับปัญหาหมอกควันค่อนข้างรุนแรง โดยพบแนวโน้มการเพิ่มสูงขึ้นของปริมาณฝุ่น PM_{10} ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์เป็นต้นมา ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุดที่จังหวัดเชียงใหม่ตรวจพบเมื่อวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ.2550 ณ สถานีโรงเรียนยุพราชวิทยาลัย ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงมีค่าสูงถึง 396 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ณ สถานีศูนย์ราชการรวมค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด มีค่าเท่ากับ 317 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในวันเดียวกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2550)

การศึกษาวิจัยในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ได้เก็บตัวอย่างตั้งแต่เวลา 21.00 น. วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 ถึงเวลา 21.00น. วันที่ 28กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 ใช้พื้นที่ของโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน และโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิง เป็นสถานที่ติดตั้งเครื่องมือ และทำการศึกษาตามระดับความสูง โดยพิจารณาตามลักษณะของอิทธิพลของเมืองที่มีต่อความเร็วลม และอุณหภูมิ แบ่งเป็น 3 ระดับความสูง มีรายละเอียดดังนี้

8.3.1 ชั้นล่าง (Roughness Layer) มีความสูงประมาณ 12 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 4 โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน: 18.783944 องศาเหนือ 98.999063 องศาใต้)

8.3.2 ชั้นกลาง (Surface Layer) มีความสูงประมาณ 52 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 16 ชั้นดาดฟ้าโรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง: 18.790300 องศาเหนือ 98.981700 องศาใต้)

8.3.3 ชั้นบน (Urban Boundary Layer) มีความสูงประมาณ 152 เมตร จากระดับพื้นดิน (ชั้น 23 ชั้นดาดฟ้าของโรงแรมเซนทาราดวงตะวัน: 18.783944 องศาเหนือ 98.999063 องศาใต้)



ภาพที่ 17 จุดเก็บตัวอย่างพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

ผลและวิจารณ์

การศึกษาศาสตร์ประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด 3 แห่ง ได้แก่ พื้นที่จังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ในช่วงระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่กรุงเทพมหานคร ในช่วงระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 และพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

1. การกระจายตัวของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมตามระดับความสูง

1.1 ความเข้มข้นของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

1.1.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณลานชั้น 8 ของโรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ (ความสูงประมาณ 40 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ. 2550 พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง N.D. – 2.73 ng/m³ และเมื่อนำความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (ดังภาพที่ 18) พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.21±0.25 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00 – 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.11±0.11 ng/m³ เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างใน 2 วันแรกมีฝนตก ทำให้เกิดกระบวนการชะล้าง (Wet Deposition) ส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าต่ำที่สุด

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ D[a,h]A (18.15 %), Ind (12.82 %), Pyr (11.70 %), B[b]F (8.84 %) และ Fluo (8.82 %) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 8) ซึ่ง PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกทุกชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 เนื่องจากความดันไอของ PAHs จะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของตัวเอง PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจึงมักอยู่ในวัฏภาคอนุภาคมากกว่าวัฏภาคก๊าซ

(Baek *et al.*, 1991) ดังนั้นจึงพบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากในชั้นล่าง นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 ± 0.01 ng/m³ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard)

เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนเพื่อหาแหล่งกำเนิดที่สำคัญ (ตารางที่ 7) ของพื้นที่ศึกษาดังกล่าว โดยการนำสัดส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) มีค่าเท่ากับ 0.64 พบว่ามีค่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Grimer *et al.* (1983); Kavouras *et al.* (2001); Ravindra (2006) ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.62 (ตารางที่ 7) เนื่องจาก Ind และ B[g,h,i]P เป็น PAHs ที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า 250 โครงสร้างประกอบด้วยวงแหวนเบนซินมากกว่า 4 วง ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า (Ravindra *et al.*, 2006) จากอัตราส่วนดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่า ชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี Pyr (11.70 %) และ Fluo (8.82 %) ด้วย ซึ่ง PAHs ทั้ง 2 ชนิด พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al.*, 1999) ดังนั้น แหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

ตารางที่ 7 แหล่งกำเนิดของ 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> (1992)
	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 (2006)

1.1.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณลานชั้น 14 ของโรงแรมลี การ์เดนที่หาดใหญ่ (ความสูงประมาณ 70 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง N.D. – 1.61 ng/m³ และเมื่อนำความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (ดังภาพที่ 18) พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.20±0.19 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00 – 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.05±0.06 ng/m³ เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำกรเก็บตัวอย่างใน 2 วันแรก ในช่วงเวลาดังกล่าวนั้นมีฝนตก ทำให้เกิดกระบวนการชะล้าง (Wet Deposition) อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศ ส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าต่ำที่สุด

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ Pyr (16.45 %), B[g,h,i]P (14.03 %), Ind (12.41 %), Fluo (10.29 %) และ Phe (9.33 %) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 8) จะเห็นได้ว่าในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นนี้ พบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.01±0.01 ng/m³ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard)

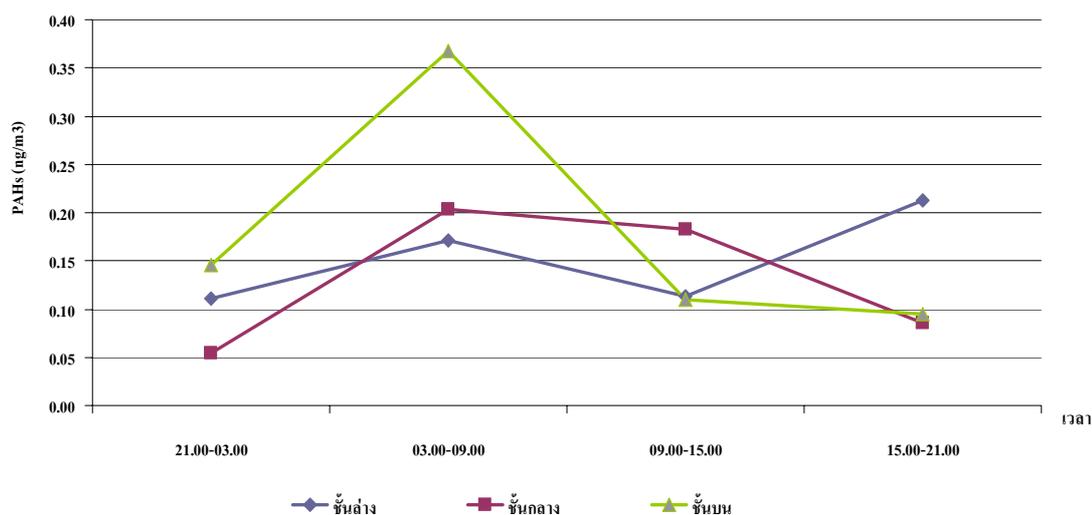
เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง $\text{Ind}/(\text{Ind} + \text{B}[\text{g,h,i}]\text{P})$ มีค่าเท่ากับ 0.47 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Grimer *et al.* (1983); Kavouras *et al.* (2001); Ravindra (2006) ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราส่วนระหว่าง $\text{Ind}/(\text{Ind} + \text{B}[\text{g,h,i}]\text{P})$ ของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.62 (ดังตารางที่ 7) แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี Pyr (16.45 %), B[g,h,i]P (14.03 %), Fluo (10.29 %) และ Phe (9.33 %) ด้วย ซึ่ง PAHs ทั้ง 4 ชนิด พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al.*, 1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

1.1.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นดาดฟ้าของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ (ความสูงประมาณ 132 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง N.D. – 3.41 ng/m³ และเมื่อนำความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (ดังภาพที่ 18) พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.37 ± 0.36 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.09 ± 0.09 ng/m³

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ D[a,h]A (19.10 %), B[g,h,i]P (11.68 %), Phe (10.53 %), Ind (9.03 %) และ Pyr (9.00 %) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 8) ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นนี้จะเห็นว่า D[a,h]A และ B[g,h,i]P ยังเป็น PAHs ที่พบมาก ซึ่งคล้ายกับที่พบในชั้นล่าง และชั้นกลาง นั้นแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลอยตัวของมลพิษอากาศจากชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบน นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.07 ± 0.07 ng/m³ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard)

เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง $\text{Ind}/(\text{Ind} + \text{B[g,h,i]P})$ มีค่าเท่ากับ 0.44 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Grimer *et al.* (1983); Kavouras *et al.* (2001); Ravindra (2006) ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราส่วนระหว่าง $\text{Ind}/(\text{Ind} + \text{B[g,h,i]P})$ ของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.62 (ตารางที่ 7) แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี B[g,h,i]P (11.68 %), Phe (10.53 %) และ Pyr (9.00 %) ด้วย ซึ่ง PAHs ทั้ง 3 ชนิด พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al.*, 1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือกลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

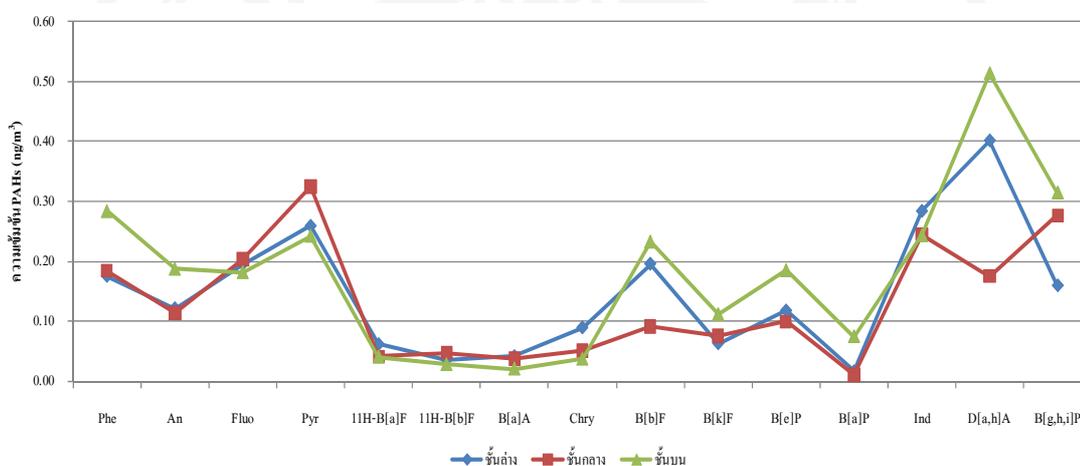
จากภาพที่ 18 พบว่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูง มีลักษณะที่คล้ายกัน คือ มีค่าความเข้มข้นของ PAHs สูงในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นค่อยๆลดลงในช่วงเวลากลางวัน และค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน สาเหตุที่ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากในช่วงเวลากลางวันแสงแดดมีผลต่อการเคลื่อนตัวของมวลอากาศ ทำให้การกระจายตัวของ PAHs กระจายได้ดีในเวลากลางวัน ประกอบกับ PAHs สามารถเกิดปฏิกิริยา

Photochemical Degradation ด้วยแสง ซึ่งพบว่าการสลายตัวของ PAHs จะเร็วขึ้นเมื่อมีแสงแดดมาก (IPCS, 1998) แต่เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างใน 2 วันแรก ในช่วงเวลากลางคืนมีฝนตก ทำให้เกิดกระบวนการชะล้าง (Wet Deposition) ส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลากลางคืนมีค่าแตกต่างจากในช่วงเวลากลางวันไม่ชัดเจนนัก

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทั้ง 3 ระดับความสูง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ตามระดับความสูง พบว่า ชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีความเข้มข้นเฉลี่ย 0.15 ng/m^3 0.13 ng/m^3 และ 0.18 ng/m^3 ตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ที่ตรวจวัดได้มีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีฝนตก ทำให้เกิดกระบวนการชะล้าง (Wet Deposition) และประกอปกกับแหล่งกำเนิดอันก่อให้เกิด PAHs ในบรรยากาศของพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) มีค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดกรุงเทพมหานคร ส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs ในพื้นที่ศึกษามีค่าความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ โดยพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม มีค่ามากที่สุดในระดับ รองลงมาคือชั้นล่าง และชั้นกลางตามลำดับ ปัจจัยสำคัญซึ่งส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซ O_3 ที่ตรวจพบในชั้นกลางมีความเข้มข้นสูงกว่าในชั้นอื่นๆ เพราะก๊าซ O_3 มีอิทธิพลต่อการสลายตัวของ PAHs ในชั้นบรรยากาศ หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา Hetrogeneous เมื่อก๊าซ O_3 มีความเข้มข้นสูง PAHs ก็จะสามารถเกิดการย่อยสลายได้ง่าย (Park *et al.*, 2002) สำหรับในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนนี้มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซ O_3 ที่ตรวจพบในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมีความเข้มข้นต่ำกว่าในชั้นกลาง ทำให้การย่อยสลายของ PAHs ในชั้นนี้เกิดขึ้นได้ไม่ดี ประกอบกับมีความเป็นไปได้ที่มวลอากาศจากชั้นล่างลอยตัวขึ้นสู่ชั้นบน และแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองรวมซึ่งมาจากการเผาไหม้ชีวมวล หรือพัดมาจากทะเลตามหลักการแพร่กระจายมลพิษในระยะไกล (Long Range Transport) ให้ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมมีค่าสูงสุดในชั้นบนเฉลี่ย $48.51 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ (สุรัตน์ และคณะ, 2550) ดังนั้นความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในชั้นบนจึงมีค่าสูงตามไปด้วย เมื่อหาความสัมพันธ์ของ PAHs ระหว่างชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation ระหว่างชั้นล่าง และชั้นกลาง ชั้นกลาง และชั้นบน รวมถึงชั้นล่าง และชั้นบน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.34, 0.06 และ -0.15 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า PAHs ในชั้นล่างและชั้นกลาง มีแนวโน้มของความเข้มข้นไปในทางเดียวกัน ชั้นกลางและชั้นบนมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ในขณะที่ชั้นล่างและชั้นบนมีแนวโน้มของความเข้มข้นไปในทางตรงกันข้าม หรือ แปรผกผันกัน และจากการนำความเข้มข้นของ PAHs มาคำนวณหาร้อยละ และ

สัดส่วนการเพิ่มขึ้นและลดลงในแต่ละระดับชั้น พบว่า ชั้นกลาง ความเข้มข้นของของ PAHs ลดลงจากชั้นล่างร้อยละ 13.33 โดยเทียบเป็นสัดส่วนจากชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 0.87 เท่า และที่ชั้นบนความเข้มข้นของของ PAHs เพิ่มขึ้นจากชั้นล่างร้อยละ 20.00 โดยเทียบเป็นสัดส่วนจากชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 1.20 เท่า

ผลการศึกษาระยะการกระจายตัวของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูง ณ พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) สามารถแสดงชนิดของ PAHs ที่ตรวจพบได้ดังภาพ



ภาพที่ 19 PAHs Profile พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

จากภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของ PAHs แต่ละชนิดในแต่ละระดับชั้นมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลอยตัวของมวลอากาศจากชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบน ชนิดของ PAHs ที่พบมากในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ประกอบด้วย PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ ได้แก่ Phe และ Pyr และ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง ได้แก่ Ind D[a,h]A และ B[g,h,i]P เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในกลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ และกลุ่มมวลโมเลกุลสูง พบว่า PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง กลับพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจาก PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ มีความดันไอค่อนข้างสูง ทำให้เปลี่ยนรูปได้ค่อนข้างง่าย ต้องใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง เมื่อความสูงมากขึ้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้พบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ ได้น้อยลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดทั้ง 3 ระดับชั้นพบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสากล ($B[a]P = 0.25$

ng/m³) ซึ่งกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard) และจากการเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.14 0.10 และ 0.40 ตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเสถียรของ PAHs ต่อกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง และปฏิกิริยา Hetrogeneous กับ O₃ อนุมูลอิสระ OH และ NO_x เนื่องจาก B[e]P มีความคงทนต่อกระบวนการย่อยสลายโดยแสง ทำให้ถูกย่อยสลายโดยแสงได้ยากซึ่ง B[e]P ถูกจัดเป็น PAHs ที่มีความเสถียรมากที่สุด ในขณะที่ B[a]P ซึ่งมีความเสถียรน้อยมากส่งผลให้ถูกย่อยสลายโดยแสงได้ง่าย (Photosensitive) อัตราส่วนระหว่าง B[a]P และ B[e]P จึงใช้ในการบ่งชี้ถึงความเสถียรของ PAHs ในบริเวณนั้นๆ โดยค่าที่สูงความเสถียรของ PAHs ก็จะยิ่งสูงขึ้นนั่นเอง (Behymer and Hites, 1988; Torben, 1996; Panther *et al.*, 1999) จากอัตราส่วนดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า PAHs ในชั้นบนมีความเสถียรสูงสุด และชั้นกลางมีความเสถียรต่ำสุด แสดงว่าในชั้นกลางการย่อยสลายของ B[a]P เกิดขึ้นมากกว่าในชั้นล่าง เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซ O₃ ที่ตรวจพบในชั้นกลางมีความเข้มข้นสูงกว่าในชั้นอื่นๆ ก๊าซ O₃ มีอิทธิพลต่อการสลายตัวของ PAHs ในชั้นบรรยากาศ หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา Hetrogeneous เมื่อก๊าซ O₃ มีความเข้มข้นสูง PAHs ก็จะสามารถเกิดการย่อยสลายได้ง่าย (Park *et al.*, 2002) ทำให้ PAHs ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยามากที่สุด นั่นคือมีความเสถียรน้อยที่สุดนั่นเอง ในขณะที่ชั้นบนมีความเข้มข้นของ PAHs มากที่สุด และความเสถียรสูงสุด แสดงให้เห็นว่ามวลอากาศบริเวณชั้นบนมีการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดอื่นนอกเหนือจากแหล่งกำเนิดบริเวณดังกล่าว และเมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนเพื่อหาแหล่งกำเนิดที่สำคัญของพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) โดยการนำสัดส่วนระหว่าง อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.64 0.47 และ 0.44 ตามลำดับ ซึ่งค่าดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Grimer *et al.* (1983); Kavouras *et al.* (2001); Ravindra (2006) ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.62 (ดังตารางที่ 7) แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม ทั้ง 3 ระดับความสูงพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี B[g,h,i]P, Phe และ Pyr ประกอบอยู่ด้วย ซึ่ง PAHs ทั้ง 3 ชนิด พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al.*, 1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) คือการเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

ตารางที่ 8 อัตราส่วนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) แต่ละชนิด
ในฝุ่นละอองรวม (ร้อยละ) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ระหว่างวันที่
17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550

PAHs	อัตราส่วนของระดับความเข้มข้น (ร้อยละ)		
	ชั้นต่ำ	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 9 ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng/m³) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

ชนิด	ชั้นล่าง				ชั้นกลาง				ชั้นบน			
	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX
Phe	0.18	0.08	0.10	0.28	0.18	0.04	0.13	0.22	0.28	0.05	0.26	0.35
An	0.12	0.03	0.09	0.15	0.11	0.06	0.07	0.21	0.19	0.05	0.12	0.23
Fluo	0.20	0.06	0.10	0.25	0.20	0.07	0.13	0.27	0.18	0.05	0.13	0.25
Pyr	0.26	0.12	0.13	0.40	0.32	0.10	0.20	0.43	0.24	0.11	0.13	0.38
11H-B[a]F	0.06	0.04	0.02	0.10	0.04	0.03	0.02	0.07	0.04	0.01	0.03	0.05
11H-B[b]F	0.04	0.01	0.02	0.05	0.05	0.03	0.02	0.09	0.03	0.01	0.02	0.04
B[a]A	0.04	0.01	0.02	0.05	0.04	0.02	0.02	0.05	0.02	0.01	0.01	0.03
Chry	0.09	0.03	0.05	0.11	0.05	0.02	0.03	0.08	0.04	0.02	0.02	0.06
B[b]F	0.20	0.19	0.07	0.48	0.09	0.10	0.02	0.24	0.23	0.28	0.05	0.64
B[k]F	0.06	0.06	0.03	0.16	0.08	0.07	0.01	0.17	0.11	0.12	0.02	0.29
B[e]P	0.12	0.10	0.04	0.25	0.10	0.09	0.02	0.21	0.18	0.18	0.03	0.37
B[a]P	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.07	0.07	0.02	0.18
Ind	0.28	0.21	0.03	0.51	0.24	0.27	0.02	0.61	0.24	0.27	0.01	0.48
D[a,h]A	0.40	0.38	0.18	0.97	0.18	0.11	0.03	0.29	0.51	0.61	0.14	1.43
B[g,h,i]P	0.16	0.15	0.05	0.38	0.28	0.25	0.04	0.57	0.31	0.30	0.14	0.76
AVER	0.15	0.16	0.11	0.21	0.13	0.14	0.05	0.20	0.18	0.23	0.09	0.37

ตารางที่ 9 (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

1.2 ความเข้มข้นของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

1.2.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นดาดฟ้าอาคารจอดรถ โรงแรมใบหยกสุท (ใบหยก 1) (ความสูงประมาณ 38 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง N.D. - 2.63 ng/m³ และเมื่อนำความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (ดังภาพที่ 20) พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00 - 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.69±0.61 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 - 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.34±0.25 ng/m³ สอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซ O₃ ซึ่งมีค่าสูงในช่วงเวลาดังกล่าว สาเหตุสำคัญที่ความเข้มข้นของก๊าซ O₃ มีผลต่อความเข้มข้นของ PAHs เนื่องจากก๊าซ O₃ มีอิทธิพลต่อการสลายตัวของ PAHs ในชั้นบรรยากาศ หรือที่เรียกว่าปฏิกิริยา Hetrogeneous เมื่อก๊าซ O₃ มีความเข้มข้นสูง PAHs ก็จะสามารถเกิดการย่อยสลายได้ง่าย (Park *et al.*, 2002)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ Pyr (16.24 %), Chry (12.64 %), Ind (12.44 %), Fluo (11.66 %) และ B[g,h,i]P (10.75 %) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 10) ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นนี้ จะเห็นว่า PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกทุกชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 เนื่องจากความดันไอของ PAHs จะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของตัวเอง ดังนั้น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจึงมักอยู่ในวัฏภาคอนุภาคมากกว่าวัฏภาคก๊าซ (Baek *et al.*, 1991) นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.14±0.08 ng/m³ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard)

เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) มีค่าเท่ากับ 0.54 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Grimer *et al.* (1983); Kavouras *et al.* (2001); Ravindra (2006) ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.62 (ตารางที่ 7) แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้ มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม ใน

จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง พบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี Pyr (16.24 %), Fluo (11.66 %) และ B[g,h,i]P (10.75 %) ด้วย ซึ่ง PAHs ทั้ง 3 ชนิด พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al.*, 1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

1.2.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นคาดฟ้าโรงแรมไอบีฮอกสูท (ไอบีฮอก 1) (ความสูงประมาณ 158 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง N.D. – 1.25 ng/m³ และเมื่อนำความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (ดังภาพที่ 20) พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.40±0.28 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.17±0.14 ng/m³ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวความเข้มข้นของก๊าซ O₃ มีค่าสูง

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ B[b]F (19.72 %), Pyr (16.70 %), Fluo (15.60 %), Chry (13.88 %) และ B[e]P (11.73 %) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 10) ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นนี้ จะพบว่า B[b]F มีค่าสูงที่สุดแต่ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างกลับมีค่าต่ำอยู่ในอันดับที่หก ในขณะที่ Ind, D[a,h]A และ B[g,h,i]P ซึ่งพบมากในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างกลับไม่อยู่ในขีดจำกัดของการวิเคราะห์ นั่นแสดงให้เห็นถึงกลไกบางอย่างที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายของ PAHs ในชั้นนี้ สาเหตุสำคัญน่าจะมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสงและปฏิกิริยา Hetrogeneous กับ O₃ อนุมูลอิสระ OH และ NO_x (IPCS, 1998; Park *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.15±0.07 ng/m³ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard)

เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ในจุดเก็บตัวอย่างนี้ไม่สามารถทำการคำนวณค่าได้ เนื่องจาก B[g,h,i]P และ Ind ในชั้นกลางไม่อยู่

ในขีดจำกัดของการวิเคราะห์ ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนได้ เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง พบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี Pyr (16.70 % ng m^{-3}) และ Fluo (15.60 %) ด้วย ซึ่ง PAHs ทั้ง 2 ชนิด พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al*, 1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

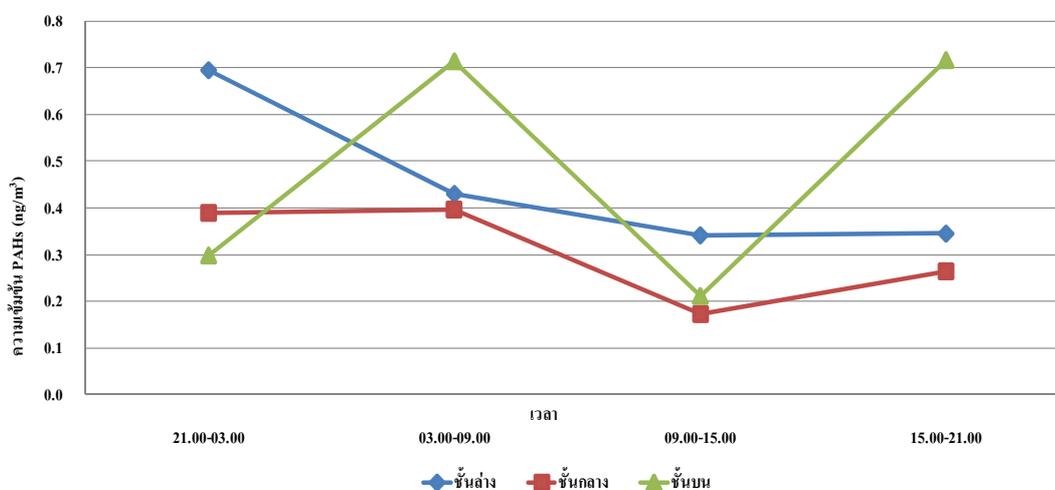
1.2.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นตาดฟ้าโรงแรมไบกสกาย (ใบหยก 2) (ความสูงประมาณ 328 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่าความเข้มข้น PAHs มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง N.D. - 4.32 ng/m^3 และเมื่อนำความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (ภาพที่ 20) พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 - 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.72 \pm 0.74 \text{ ng/m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 - 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.21 \pm 0.17 \text{ ng/m}^3$ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวความเข้มข้นของก๊าซ O_3 มีค่าสูง

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ Fluo (13.56 %), Ind (13.44 %), Pyr (13.43 %), Chry (11.71 %) และ B[b]F (10.50 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 10) ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นนี้ จะพบว่า Fluo, Ind, Pyr และ Chry มีค่าสูงคล้ายกับในจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลอยตัวของมวลอากาศจากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบน นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ $0.19 \pm 0.21 \text{ ng/m}^3$ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m^3) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard)

เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) มีค่าเท่ากับ 0.61 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Grimer *et al.* (1983); Kavouras *et al.* (2001); Ravindra (2006) ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.62 (ตารางที่ 7) แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน

ชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน พบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี Fluoranthene (13.56 %) และ Pyrene (13.43 %) ด้วย ซึ่ง PAHs ทั้ง 2 ชนิด พบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al*, 1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ และการเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า

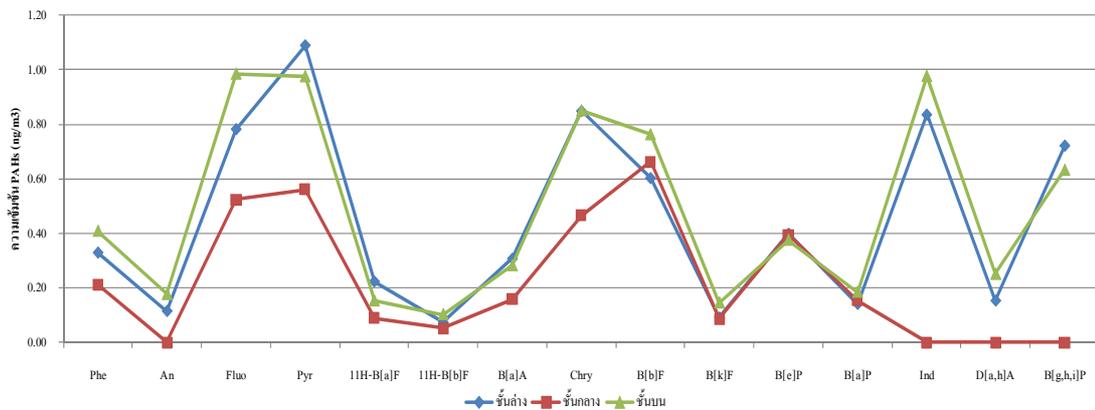


ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 18 – 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

จากภาพที่ 20 พบว่าแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูง มีลักษณะที่คล้ายกัน คือ ค่าความเข้มข้นของ PAHs สูงในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นค่อยๆลดลงในช่วงเวลากลางวัน และค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน สาเหตุที่ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากในช่วงเวลากลางวันแสงแดดมีผลต่อการเคลื่อนตัวของมวลอากาศ ทำให้การกระจายตัวของ PAHs กระจายได้ดีในเวลากลางวัน ประกอบกับ PAHs สามารถเกิดปฏิกิริยา Photochemical Degradation ด้วยแสง ซึ่งพบว่าการสลายตัวของ PAHs จะเร็วขึ้นเมื่อมีแสงแดดมาก (IPCS, 1998) รวมทั้งมีความเข้มข้นของก๊าซ O_3 ในช่วงเวลากลางวันมีค่าสูงกว่าในช่วงเวลากลางคืน ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลากลางคืนสูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทั้ง 3 ระดับความสูง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ตามระดับความสูง พบว่า ชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีความเข้มข้นเฉลี่ย 0.45 ng/m^3 , 0.31 ng/m^3 และ 0.48 ng/m^3 ตามลำดับ โดยพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม มีค่ามากที่สุดที่ชั้นบน รองลงมาคือชั้นล่าง และชั้นกลางตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs มีค่าต่ำสุดในชั้นกลาง ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซ O_3 ในชั้นกลางมีค่าความเข้มข้นสูงสุด เนื่องจากก๊าซ O_3 มีอิทธิพลต่อการสลายตัวของ PAHs ในชั้นบรรยากาศ กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซ O_3 สูง PAHs จะสามารถเกิดปฏิกิริยา Photo-oxidation ได้ง่าย ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ลดลง โดยปัจจัยด้านความเข้มแสง อุณหภูมิและความชื้นในบรรยากาศก็เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลในการเกิดปฏิกิริยาเช่นกัน (Park *et al.*, 2002) เมื่อหาความสัมพันธ์ของ PAHs ระหว่างชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation ระหว่างชั้นล่าง และชั้นกลาง ชั้นกลาง และชั้นบน รวมถึงชั้นล่าง และชั้นบน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.24, 0.35 และ -0.04 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า PAHs ในชั้นล่างและชั้นกลาง ชั้นกลางและชั้นบนมีแนวโน้มของความเข้มข้นไปในทางเดียวกัน ในขณะที่ชั้นล่างและชั้นบนแนวโน้มความเข้มข้นมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก และจากการนำความเข้มข้นของ PAHs มาคำนวณหาร้อยละ และสัดส่วนการเพิ่มขึ้นและลดลงในแต่ละระดับชั้น พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางลดลงจากชั้นล่างร้อยละ 31.11 โดยเทียบเป็นสัดส่วนจากชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 0.69 เท่า และบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนความเข้มข้นของ PAHs เพิ่มขึ้นจากชั้นล่างร้อยละ 6.67 โดยเทียบเป็นสัดส่วนจากชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 1.07 เท่า โดยแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานครจากการคำนวณอัตราส่วนระหว่าง Ind และ Ind + B[g,h,i]P พบว่า แหล่งกำเนิดที่สำคัญ คือการเผาไหม้ของชีวมวล (Grimer *et al.* 1983; Kavouras *et al.* 2001; Ravindra, 2006) และจากการพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี Phe, Fluo และ Pyr ด้วย ซึ่ง PAHs ทั้ง 3 ชนิดพบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al.*, 1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ และการเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า เป็นต้น

ผลการศึกษาระยะกระจายตัวของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูง ณ พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร สามารถแสดงชนิดของ PAHs ที่ตรวจพบได้ดังภาพ



ภาพที่ 21 PAHs Profile พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

จากภาพที่ 21 ลักษณะการเพิ่มขึ้นและลดลงของ PAHs แต่ละชนิดในแต่ละระดับชั้นมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลอยตัวของมวลอากาศจากชั้นล่างขึ้นสู่ชั้นบน ชนิดที่พบมากที่สุด 3 ระดับความสูง ได้แก่ Phe, Fluo และ Chry ซึ่งจัดอยู่ใน PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ B[b]F และ Ind ซึ่งจัดอยู่ใน PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในกลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ และกลุ่มมวลโมเลกุลสูง พบว่า PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง กลับพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจาก PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ มีความดันไอค่อนข้างสูง ทำให้เปลี่ยนรูปได้ค่อนข้างง่าย ต้องใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง เมื่อความสูงมากขึ้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้พบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ ได้น้อยลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดทั้ง 3 ระดับชั้นพบว่ามีความเข้มข้นต่ำกว่ามาตรฐานสากล ($B[a]P = 0.25 \text{ ng/m}^3$) ซึ่งกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard) และจากการเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.35, 0.39 และ 0.49 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า PAHs ในชั้นบนมีความเสถียรสูงสุด และชั้นล่างมีความเสถียรต่ำสุด แสดงว่าในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างการย่อยสลายของ B[a]P เกิดขึ้นมากกว่าในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน ในขณะที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมีความเข้มข้นของ PAHs มากที่สุด และความเสถียรสูงสุด เนื่องจากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนพบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงเป็นจำนวนมากทำให้ยากต่อการเปลี่ยนแปลง และการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ จากเหตุผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามวลอากาศบริเวณชั้นบนมีการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดอื่นด้วยนอกเหนือจากแหล่งกำเนิดบริเวณดังกล่าว

ตารางที่ 10 อัตราส่วนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) แต่ละชนิด
ในฝุ่นละอองรวม (ร้อยละ) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 18-21
กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551

PAHs	อัตราส่วนของระดับความเข้มข้น (ร้อยละ)		
	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 11 ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng/m³) ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

ชนิด	ชั้นล่าง				ชั้นกลาง				ชั้นบน			
	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX
Phe	0.33	0.13	0.21	0.48	0.21	0.07	0.16	0.31	0.41	0.27	0.22	0.80
An	0.12	0.02	0.10	0.15	ND	ND	ND	ND	0.18	0.10	0.10	0.31
Fluo	0.78	0.30	0.56	1.21	0.52	0.16	0.35	0.71	0.99	0.77	0.45	2.09
Pyr	1.09	0.45	0.73	1.71	0.56	0.17	0.35	0.71	0.98	0.66	0.52	1.91
11H-B[a]F	0.22	0.34	0.01	0.61	0.09	0.0545	0.02	0.15	0.15	0.12	0.04	0.26
11H-B[b]F	0.07	0.04	0.02	0.13	0.05	0.03	0.01	0.09	0.10	0.09	0.02	0.20
B[a]A	0.31	0.20	0.11	0.55	0.16	0.09	0.07	0.24	0.28	0.26	0.06	0.62
Chry	0.85	0.67	0.40	1.82	0.47	0.19	0.21	0.62	0.85	0.83	0.23	2.01
B[b]F	0.60	0.22	0.32	0.85	0.66	0.21	0.39	0.86	0.76	0.39	0.41	1.33
B[k]F	0.09	0.04	0.04	0.15	0.09	0.04	0.04	0.12	0.15	0.13	0.06	0.34
B[c]P	0.40	0.18	0.20	0.62	0.39	0.15	0.22	0.55	0.38	0.35	0.13	0.89
B[a]P	0.14	0.08	0.06	0.24	0.15	0.07	0.08	0.22	0.19	0.21	0.06	0.50
Ind	0.84	0.26	0.65	1.22	ND	ND	ND	ND	0.98	0.71	0.39	1.88
D[a,h]A	0.15	0.22	0.01	0.41	ND	ND	ND	ND	0.25	0.33	0.03	0.73
B[g,h,i]P	0.72	0.36	0.37	1.22	ND	ND	ND	ND	0.63	0.39	0.31	1.19
AVER	0.450	0.202	0.01	1.82	0.31	0.24	0.01	0.86	0.48	0.51	0.02	2.09

ตารางที่ 11 (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

1.3 ความเข้มข้นของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

1.3.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นลาดฟ้าอาคารจอดรถ โรงแรม เซนทาราดวงตะวัน (ความสูงประมาณ 12 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง N.D. – 10.25 ng/m³ และเมื่อนำความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (ดังภาพที่ 22) พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.39 ± 1.21 ng/m³ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเข้มแสง ความเร็วลม และความเข้มข้นของ O₃ ต่ำส่งผลให้กระบวนการย่อยสลายด้วยแสง และการทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน จึงเกิดได้ไม่ดีนัก และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.28 ± 0.27 ng/m³ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเร็วลมค่อนข้างสูงทำให้เกิดกระบวนการตกกลับจากบรรยากาศแบบแห้ง (Dry Deposition)

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ Chry (15.82 %), Ind (13.98 %), B[b]F (11.61 %), Pyr (10.93 %) และ B[a]A (10.16 %) ตามลำดับ (ดังตารางที่ 12) ในชั้นนี้จะเห็นว่า PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกทุกชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 200 เนื่องจากความดันไอของ PAHs จะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของตัวเอง ดังนั้น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจึงมักอยู่ในวัฏภาคอนุภาคมากกว่าวัฏภาค ก๊าซ (Baek *et al.*, 1991) นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพ ในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.40 ± 0.32 ng/m³ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard)

เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) มีค่าเท่ากับ 0.60 พบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Grimer *et al.* (1983); Kavouras *et al.* (2001); Ravindra (2006) ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.62 (ตารางที่ 7) แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง พบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี Pyr (10.93 %) ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al.*,

1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

1.3.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นดาดฟ้า โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง (ความสูงประมาณ 52 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง N.D. - 5.17 ng/m³ และเมื่อนำความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (ภาพที่ 22) พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00 - 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.76±1.76 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 - 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.30±0.28 ng/m³ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเข้มแสง ความเข้มข้นของ O₃ และอนุมูลมีค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในช่วงเวลา 11.00 น.-15.00 น. ส่งผลให้เกิดกระบวนการย่อยสลายด้วยแสง หรือปฏิกิริยา Photodegradation และการทำปฏิกิริยากับก๊าซต่างๆ อาทิเช่น ก๊าซโอโซน ออกไซด์ของไนโตรเจน และอนุมูลอิสระ OH radical ได้ดี

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ Ind (20.52 %), B[b]F (13.63 %), B(g,h,i)P (13.37 %), B[e]P (10.20 %) และ Chry (9.65 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 12) ในชั้นนี้จะเห็นว่า PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับแรกทุกชนิดมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 250 กล่าวคือในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นนี้พบ PAHs ในกลุ่มมวลโมเลกุลสูงมากในชั้นล่าง แสดงให้เห็นถึง มวลอากาศบริเวณชั้นกลางมีการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดอื่นด้วยนอกเหนือจากแหล่งกำเนิดบริเวณดังกล่าว และในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นนี้ยังคงพบ Ind เป็นจำนวนมากเหมือนในชั้นล่าง นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.70±0.70 ng/m³ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard)

เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) มีค่าเท่ากับ 0.61 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Grimer *et al.* (1983); Kavouras *et al.* (2001); Ravindra (2006) ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชี

มวลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.62 (ตารางที่ 7) แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง พบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี B(g,h,i)P (13.37 %) ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al*, 1999) ดังนั้น แหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

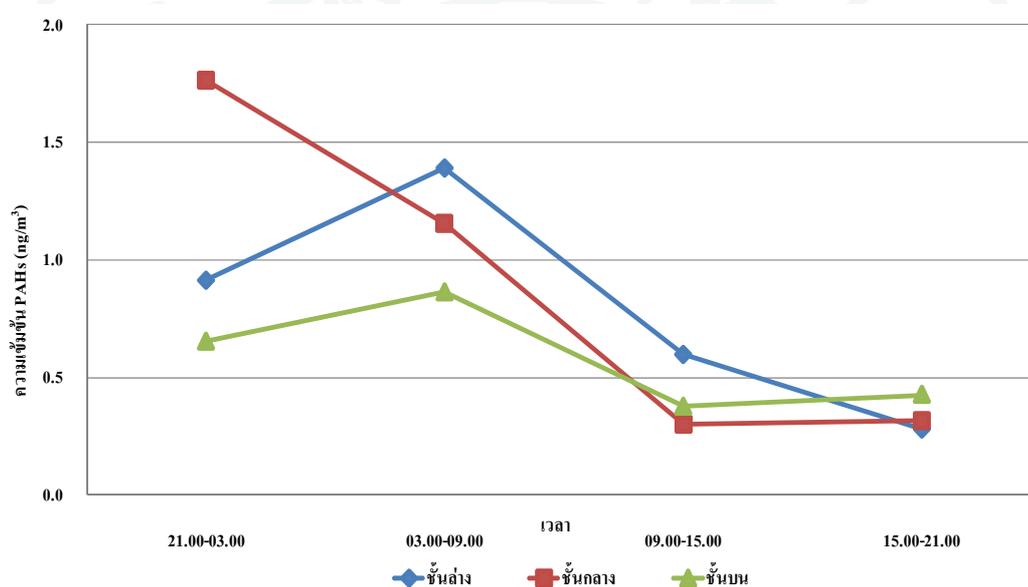
1.3.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มข้น PAHs บริเวณชั้นดาดฟ้า โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน (ความสูงประมาณ 152 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง N.D. - 3.92 ng/m³ และเมื่อนำความเข้มข้นรวมของ PAHs 15 ชนิด ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน (ดังภาพที่ 22) พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 - 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.87±0.63 ng/m³ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเข้มแสง และความเข้มข้นของ O₃ ต่ำ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 - 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.38±0.38 ng/m³ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเข้มแสง ความเข้มข้นของ O₃ และอุณหภูมิค่อนข้างสูง

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวมพบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุด 5 อันดับ ได้แก่ Pyr (17.73 %), Fluo (16.37 %), Chry (14.74 %), Ind (10.74 %) และ B[a]A (8.66 %) ตามลำดับ (ตารางที่ 12) ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนนี้ จะเห็นว่า PAHs ในกลุ่มมวลโมเลกุลสูงมีปริมาณลดลง และในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนชั้นนี้ยังคงพบ Ind เป็นจำนวนมากเหมือนในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง และชั้นกลาง นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.29±0.30 ng/m³ ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m³) ที่ถูกกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard)

เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง Ind / (Ind + B[g,h,i]P) มีค่าเท่ากับ 0.59 พบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ Grimer *et al.* (1983); Kavouras *et al.* (2001);

Ravindra (2006) ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวลมีค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.62 (ตารางที่ 7) แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้ มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน พบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี Pyr (17.73 %) และ Fluo (16.37 %) ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al*, 1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ในรอบวันเฉลี่ย ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

จากภาพที่ 22 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูง มีลักษณะที่คล้ายกัน คือ ค่าความเข้มข้นของ PAHs สูงในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นค่อยๆ ลดลงในช่วงเวลากลางวัน และค่อยๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน สาเหตุที่ค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลากลางคืน เนื่องจากในช่วงเวลากลางวันแสงแดดมีผลต่อการเคลื่อนตัวของมวลอากาศ ทำให้การกระจายตัวของ PAHs กระจายได้ดีในเวลากลางวัน ประกอบกับ PAHs สามารถ

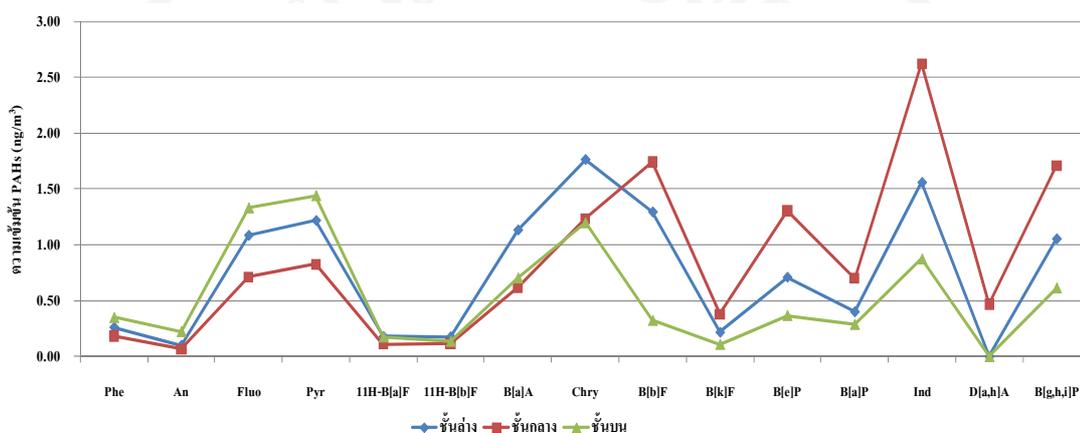
เกิดปฏิกิริยา Photochemical Degradation ด้วยแสง ซึ่งพบว่า การสลายตัวของ PAHs จะเร็วขึ้นเมื่อมีแสงแดดมาก (IPCS, 1998)

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทั้ง 3 ระดับความสูง เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ตามระดับความสูง พบว่า ชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีความเข้มข้นเฉลี่ย 0.80 ng/m^3 , 0.85 ng/m^3 และ 0.58 ng/m^3 ตามลำดับ โดยพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม มีค่ามากที่สุดในชั้นกลาง รองลงมาคือชั้นล่าง และชั้นบน ตามลำดับ โดยมีความเข้มข้นต่ำสุดในจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซ O_3 ในชั้นบนมีค่าความเข้มข้นสูงที่สุด เนื่องจากก๊าซ O_3 มีอิทธิพลต่อการสลายตัวของ PAHs ในชั้นบรรยากาศ กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของก๊าซ O_3 สูง PAHs จะสามารถเกิดปฏิกิริยา Photo-oxidation ได้ง่าย ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ลดลง (Park *et al.*, 2002) ทั้งนี้เนื่องจากใกล้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมีปล่องระบายอากาศของอาคารอยู่ห่างออกไปประมาณ 150 เมตร ความเข้มข้นในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางจึงมีค่าสูงสุด ทำให้ค่าความเข้มข้นที่ได้จากการเก็บตัวอย่างไม่แสดงความสัมพันธ์กับความสูงที่ชัดเจน เมื่อพิจารณาแค่จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง และชั้นบน จะเห็นว่า PAHs มีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูง และจากการนำความเข้มข้นของ PAHs มาคำนวณหาร้อยละ และสัดส่วนการเพิ่มขึ้นและลดลงในแต่ละระดับชั้น พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ในชั้นกลางเพิ่มขึ้นจากชั้นล่างร้อยละ 6.25 โดยเทียบเป็นสัดส่วนจากชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 1.06 เท่า และที่ชั้นบนความเข้มข้นของ PAHs ลดลงจากชั้นล่างร้อยละ 27.50 โดยเทียบเป็นสัดส่วนจากชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 0.73 เท่า

เมื่อหาความสัมพันธ์ของ PAHs ระหว่างชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation ระหว่างชั้นล่าง และชั้นกลาง ชั้นกลาง และชั้นบน รวมถึงชั้นล่าง และชั้นบน พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.46, 0.55 และ 0.27 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า PAHs มีแนวโน้มของความเข้มข้นไปในทางเดียวกัน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า PAHs ทั้ง 3 ระดับชั้น มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน โดยแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในพื้นที่ศึกษานี้จากการคำนวณอัตราส่วนระหว่าง Ind และ Ind +B[g,h,i]P พบว่า PAHs ส่วนใหญ่ของพื้นที่ศึกษามาจากการเผาไหม้ของชีวมวล (Ravindra, 2006) เช่น การเผาเศษวัสดุเพื่อเตรียมพื้นที่ในการทำการเกษตร และกลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า เป็นต้น แต่ในชั้นกลางจะพบว่ามีค่าความเข้มข้นมากที่สุดเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เมื่อพิจารณาถึงอัตราส่วนของ PAHs แต่ละชนิดในฝุ่นละอองรวม ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากใน 5 อันดับแรกมี Pyr ประกอบอยู่ด้วย ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

(Lim *et al*, 1999) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

ผลการศึกษาการกระจายตัวของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูง ณ พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ สามารถแสดงชนิดของ PAHs ที่ตรวจพบได้ดังภาพ



ภาพที่ 23 PAHs Profile พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

จากภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงของ PAHs แต่ละชนิดในแต่ละระดับชั้นมีแนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน ชนิดที่พบมากที่สุด 3 ระดับความสูง ได้แก่ Pyr B[a]A Chry ซึ่งจัดอยู่ใน PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ B[b]F และ Ind ซึ่งจัดอยู่ใน PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในกลุ่มมวลโมเลกุลต่ำและกลุ่มมวลโมเลกุลสูง พบว่า PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง กลับพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจาก PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ มีความดันไอค่อนข้างสูง ทำให้เปลี่ยนรูปได้ค่อนข้างง่าย ต้องใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง เมื่อความสูงมากขึ้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้พบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ ได้น้อยลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น แต่ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่พบว่าแนวโน้มดังกล่าวนี้เห็นได้อย่างไม่ชัดเจนเหมือนในพื้นที่ศึกษาอื่นๆ เนื่องจาก ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่บริเวณใกล้เคียงจุดเก็บตัวอย่างทำให้แนวโน้มที่ได้ไม่สามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน และในทุกระดับความสูงพบ Ind เป็นจำนวนมากซึ่ง Ind เป็น PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวลเป็นสำคัญซึ่ง

สอดคล้องกับอัตราส่วนข้างต้น ซึ่งบ่งชี้ว่า แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัด เชียงใหม่คือ การเผาไหม้ของชีวมวล ซึ่งมาจากหมอกควันจากไฟฟ้า และกิจกรรมการเผาในชุมชน อันได้แก่การเผาขยะมูลฝอยในชุมชน และการเผาในภาคเกษตรเพื่อเตรียมพื้นที่การเกษตรทำการเพาะปลูกในรอบต่อไปของเกษตรกร อันได้แก่ การเผาเศษพืช เศษวัสดุภาคการเกษตร ซึ่งเกษตรกรนิยมใช้วิธีการดังกล่าวเป็นจำนวนมาก เนื่องจากวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก และประหยัด นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดในทั้ง 3 ระดับชั้น พบว่ามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานสากล ($B[a]P = 0.25 \text{ ng/m}^3$) ซึ่งกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard) และจากการเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.56, 0.54 และ 0.78 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า PAHs ในชั้นบนมีความเสถียรสูงสุด และชั้นกลางมีความเสถียรต่ำสุด ในขณะที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของ B[e]P ในชั้นบนมีน้อยที่สุด และมีค่ามากที่สุดในชั้นกลาง แสดงว่าในชั้นกลางการย่อยสลายของ B[a]P เกิดขึ้นมากกว่าในชั้นบน แสดงให้เห็นว่ามวลอากาศบริเวณชั้นบนมีการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดอื่นด้วยนอกเหนือจากแหล่งกำเนิดบริเวณดังกล่าว

ตารางที่ 12 อัตราส่วนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) แต่ละชนิด
ในฝุ่นละอองรวม (ร้อยละ) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 25–28
กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551

PAHs	อัตราส่วนของระดับความเข้มข้น (ร้อยละ)		
	ชั้นต่ำ	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 13 ความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองรวม (ng/m³) ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

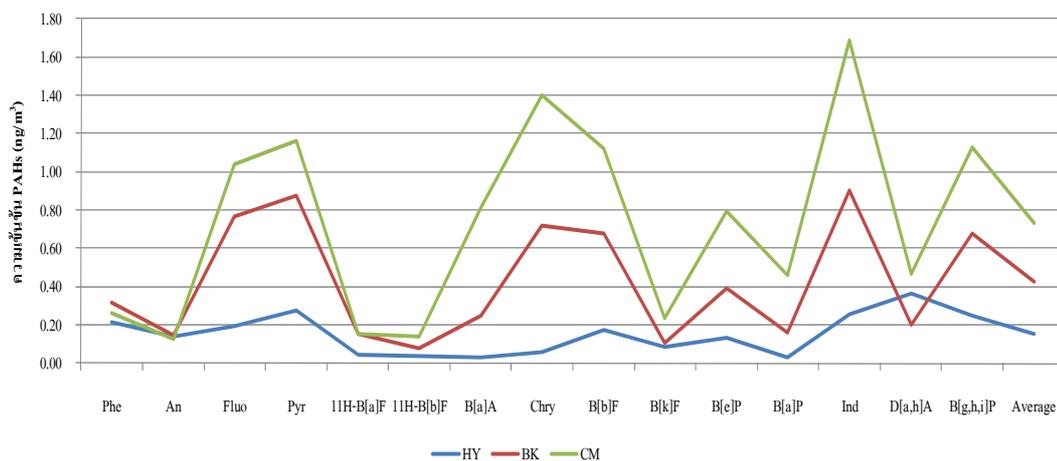
ชนิด	ชั้นล่าง				ชั้นกลาง				ชั้นบน			
	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX	AVER	STDEV	MIN	MAX
Phe	0.26	0.17	0.12	0.47	0.18	0.07	0.11	0.27	0.35	0.10	0.26	0.48
An	0.10	0.07	0.04	0.19	0.06	0.03	0.03	0.11	0.22	0.11	0.13	0.38
Fluo	1.09	0.85	0.25	2.26	0.71	0.42	0.34	1.17	1.33	0.17	1.11	1.52
Pyr	1.22	0.87	0.30	2.39	0.83	0.54	0.34	1.41	1.44	0.19	1.22	1.66
11H-B[a]F	0.18	0.10	0.05	0.28	0.11	0.09	0.03	0.23	0.17	0.07	0.11	0.25
11H-B[b]F	0.18	0.13	0.04	0.35	0.12	0.08	0.04	0.21	0.14	0.05	0.07	0.19
B[a]A	1.13	1.14	0.10	2.77	0.62	0.64	0.09	1.42	0.70	0.44	0.30	1.29
Chry	1.76	1.82	0.24	4.26	1.23	1.15	0.23	2.53	1.20	0.68	0.56	1.94
B[b]F	1.30	0.36	0.92	1.67	1.74	1.35	0.84	3.72	0.32	0.18	0.11	0.55
B[k]F	0.22	0.13	0.11	0.38	0.38	0.34	0.11	0.85	0.11	0.09	0.02	0.23
B[c]P	0.71	0.31	0.43	1.04	1.30	1.25	0.41	3.09	0.37	0.31	0.09	0.76
B[a]P	0.40	0.32	0.12	0.71	0.70	0.70	0.09	1.50	0.29	0.30	0.04	0.71
Ind	1.56	0.68	0.67	2.30	2.62	2.46	0.77	6.00	0.87	0.68	0.16	1.78
D[a,h]A	ND	ND	ND	ND	0.47	ND	0.47	0.47	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	1.05	0.54	0.54	1.64	1.71	1.53	0.52	3.73	0.61	0.52	0.12	1.31
AVER	0.80	0.84	0.28	1.39	0.75	1.15	0.30	1.76	0.58	0.54	0.38	0.87

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

ผลการศึกษาระยะยาวของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมตามแนวระดับความสูง ณ พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่สามารถแสดงชนิดของ PAHs ที่ตรวจพบได้ดังภาพ



ภาพที่ 24 PAHs Profile พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

เมื่อพิจารณา แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในรอบวันทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา อันได้แก่ พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของ PAHs ทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา มีลักษณะที่คล้ายกัน กล่าวคือ ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นค่อยๆลดลงในช่วงเวลากลางวัน และค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน สาเหตุที่ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลากลางคืนมีค่าสูงกว่าในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากในช่วงเวลากลางวัน แสงแดดมีผลต่อการเคลื่อนตัวของมวลอากาศ ทำให้การกระจายตัวของ PAHs กระจายได้ดี ประกอบกับ PAHs สามารถเกิดปฏิกิริยา Photochemical Degradation ด้วยแสง ซึ่งจากการศึกษาของ IPCS (1998) พบว่าการสลายตัวของ PAHs จะเร็วขึ้นเมื่อมีแสงแดดมากขึ้น แต่ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) จะเห็นความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืนไม่ค่อยชัดเจนนัก เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน 2 วันแรกของการเก็บตัวอย่างมีฝนตก ทำให้ PAHs ถูกชะล้างออกจากบรรยากาศ ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs ลดลงจึงส่งผลให้เห็นความแตกต่างไม่ชัดเจนนัก จากการพิจารณา แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมตามระดับความสูงทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา พบว่า พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) มี

ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมมากที่สุดในชั้นบน โดยเทียบเป็นสัดส่วนกับชั้นล่างมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.20 เท่า พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมมากที่สุดในชั้นบน โดยเทียบเป็นสัดส่วนกับชั้นล่างมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.07 เท่า ส่วนพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมมากที่สุดในชั้นกลาง โดยเทียบเป็นสัดส่วนกับชั้นล่างมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.06 เท่า และจากการพิจารณาความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 3 พื้นที่ศึกษาพบว่า พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs สูงสุด เท่ากับ $0.75 \pm 0.60 \text{ ng/m}^3$ รองลงมาคือ พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร มีค่าเท่ากับ $0.42 \pm 0.31 \text{ ng/m}^3$ และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) มีค่าเท่ากับ $0.15 \pm 0.11 \text{ ng/m}^3$ นอกจากนี้ยังพบว่าระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าสูงกว่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m^3) ซึ่งกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard) ทั้ง 3 ระดับชั้น โดยตรวจพบว่า มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.46 ng/m^3 ส่วนพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร พบว่ามีค่าต่ำกว่ามาตรฐานสากลที่กำหนด จากค่าดังกล่าวจะเห็นว่าพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มีปัญหามากที่สุด เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว ความสูงผสม (Mixing Height) ของพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ก่ดต่ำลงมาจากระดับ 1599 เมตร เหลือเพียง 500 เมตร (สุรัตน์ และคณะ, 2550) ส่งผลให้ระดับความเข้มข้นของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มีความเข้มข้นที่สูงกว่าในพื้นที่ศึกษาอื่นๆ ประกอบกับกิจกรรมอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มีมากกว่าในพื้นที่ศึกษาอื่นๆ อันได้แก่ การเผาไหม้ของชีวมวล การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ การจราจร หรืออุตสาหกรรม โดยเฉพาะการเผาไหม้ของชีวมวลซึ่งมักจะก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันขึ้นทุกปีในช่วงฤดูหนาวของพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร พบว่า สภาพอากาศ ไม่มีฝนหรือเมฆ โดยในช่วงเวลากลางวัน อุณหภูมิลดลงตามระดับความสูงด้วยอัตรา 0.6-1.1 องศาเซลเซียสต่อ 100 เมตร (สุรัตน์ และคณะ, 2550) ซึ่งจัดเป็นสภาพความคงตัวบรรยากาศ (Atmospheric Stability) แบบคงตัว (Stable Condition) ถึงแบบไม่คงตัว (Unstable Condition) ส่งผลให้พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร มีปริมาณ PAHs น้อยกว่าพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs ทั้ง 3 พื้นที่ศึกษาพบว่า ชนิดที่พบมากในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ได้แก่ Phe Fluo Pyr Ind D[a,h]A และ B[g,h,i]P ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร ชนิดที่พบมาก ได้แก่ Phe Fluo Chry B[b]F และ Ind ส่วนชนิดที่พบมากในพื้นที่ศึกษาจังหวัดจังหวัดเชียงใหม่ ได้แก่ Ind Pyr B[a]A Chry และ B[b]F เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ในกลุ่มมวลโมเลกุลต่ำและกลุ่มมวลโมเลกุลสูง พบว่า PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น ในขณะที่ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง กลับพบว่ามี

แนวโน้มน้ำเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น เนื่องจาก PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ มีความดันไอค่อนข้างสูง ทำให้เปลี่ยนรูปได้ค่อนข้างง่าย ต้องใช้ระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลง เมื่อความสูงมากขึ้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลง ทำให้พบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ ได้น้อยลงเมื่อความสูงเพิ่มขึ้น โดยบริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ มีแนวโน้มน้ำการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกัน ในขณะที่พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ค่อนข้างมีปริมาณความเข้มข้นของ PAHs ต่ำ ทำให้มีแนวโน้มน้ำการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างออกไป จะเห็นได้ว่าชนิด PAHs ที่มีมากที่สุดในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร คือ Phe และ Fluo ซึ่ง PAHs ทั้งสองชนิดนี้เป็นตัวบ่งชี้ถึงการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์จากยานพาหนะ (Lim *et.al*, 1999) แสดงให้เห็นถึงแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในทั้ง 2 พื้นที่ศึกษา คือ การจราจร แต่เมื่อลองเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ PAHs ทั้งสองชนิดแล้ว พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) พบว่ามีความเข้มข้นต่ำ เมื่อเทียบกับ พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ เพราะพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ มีปริมาณการจราจรสูงกว่าหาดใหญ่เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร ซึ่งประสบกับปัญหาหมอกพิษจากการจราจรมาตลอดหลายปีที่มีการเจริญเติบโตของเมือง และการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างรวดเร็ว ส่วนพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ PAHs ที่พบมากที่สุด คือ Ind ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่า แหล่งกำเนิด PAHs ที่สำคัญ คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เนื่องจากพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ มีพื้นที่เกษตรกรรมจำนวนมาก ซึ่งเกษตรกรทำการเตรียมพื้นที่เพื่อทำการเกษตรในรอบต่อไป จึงเกิดการเผาไหม้ในที่โล่งเป็นจำนวนมาก โดยจะพบปัญหาดังกล่าวในทุกๆ ปี โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวของทุกปี ซึ่งในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร ก็มีการตรวจพบเช่นกัน แสดงให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เนื่องมาจากฝุ่นละอองขนาดใหญ่ในส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของชีวมวล การฟุ้งกระจายของดิน ทรายที่พื้นผิวถนน และสถานที่ก่อสร้าง รวมถึงอนุภาคฝุ่นละอองที่พัดพามาจากทะเล

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) กับปริมาณของฝุ่นละอองรวม (TSP)

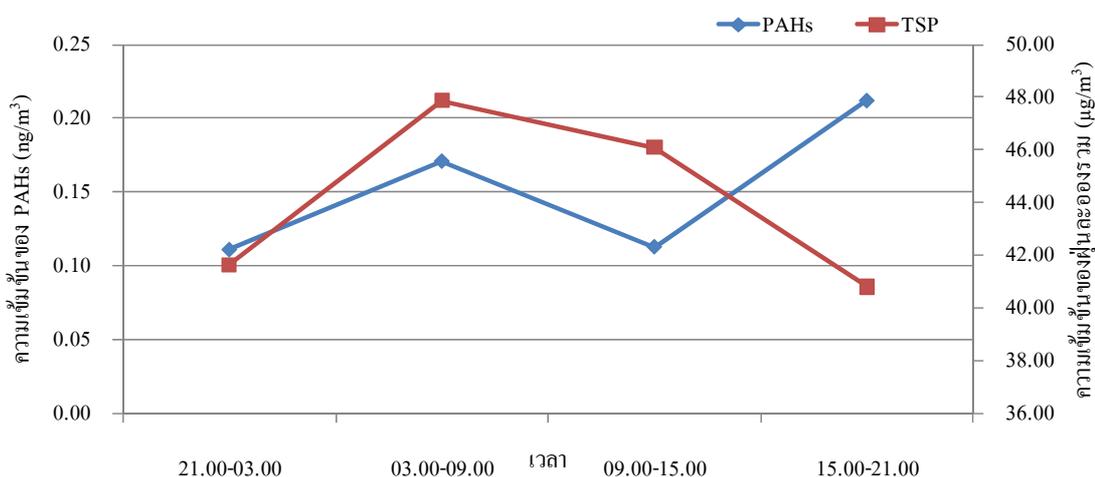
2.1 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

2.1.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณลานชั้น 8 ของ โรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ (ความสูงประมาณ 40 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พบว่าความเข้มข้นของ TSP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $33.4-54.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย $44.1 \pm 5.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อนำผลการตรวจวัด TSP ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า TSP เฉลี่ย มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $47.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $40.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ภาพที่ 25) ส่วน PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.21 \text{ ng}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00 – 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.11 \text{ ng}/\text{m}^3$ แนวโน้มของการเพิ่มขึ้นและลดลงของ PAHs บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง พบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นค่อยๆลดลงในช่วงเวลากลางวัน และค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน แต่เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน 2 วันแรกของการเก็บตัวอย่างมีฝนตก จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs ในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าไม่สูงมากนัก จึงทำให้ไม่สามารถเห็นความแตกต่างของความเข้มข้นของ PAHs ระหว่างช่วงเวลากลางวัน และช่วงเวลากลางคืนได้ชัดเจนนัก จากการหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนในรอบวัน (ภาพที่ 28) พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.78 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.31 เห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางคืน สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากกว่าในช่วงเวลากลางวันประมาณ 3 เท่า เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน PAHs สามารถสลายตัวได้น้อยเพราะปัจจัยสำคัญต่อการย่อยสลายของ PAHs คือ แสงแดด โดยทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ด้วยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) ในขณะที่ TSP จากการเก็บตัวอย่างพบว่ามีปริมาณมากในช่วงเวลากลางวันแต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถลอยตัวอยู่ในบรรยากาศได้เป็น

เวลานาน ดังนั้นจึงพบปริมาณ TSP น้อยลงในเวลากลางคืน ส่งผลให้สัดส่วนของ PAHs ใน TSP มีค่ามากในช่วงเวลากลางคืน

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.054 ซึ่งชี้ให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการศึกษาพบว่ามีฝนตกในบางช่วงเวลา ทำให้ไม่สามารถบอก ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP ได้อย่างชัดเจน เห็นได้จาก ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติซึ่งมีค่าน้อยมาก



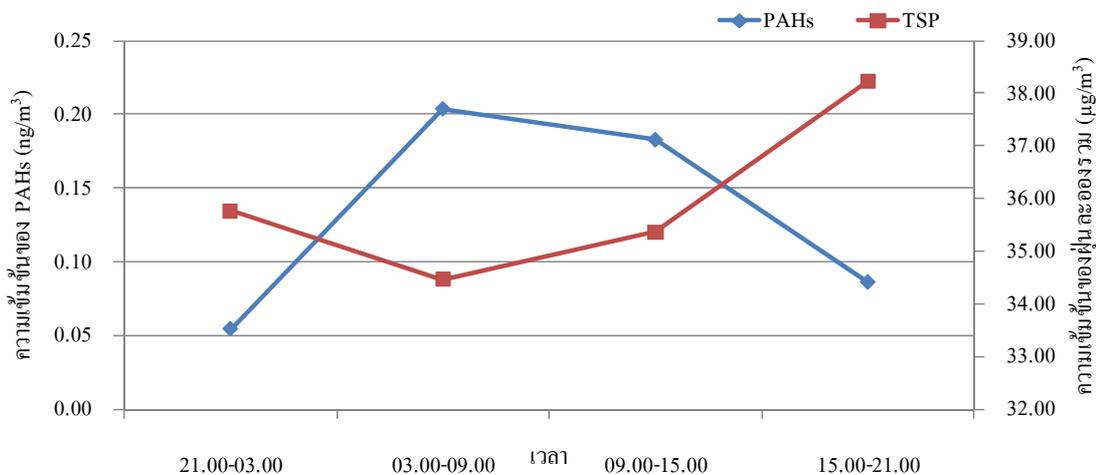
ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง

2.1.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณลานชั้น 14 ของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ (ความสูงประมาณ 70 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พบว่าความเข้มข้นของ TSP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $28.2-48.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย $35.9 \pm 5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อนำผลการตรวจวัด TSP ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมาเฉลี่ย

เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า TSP เฉลี่ย มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $38.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $34.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ภาพที่ 26) ส่วน PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.20 \text{ ng}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00 – 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.05 \text{ ng}/\text{m}^3$ เมื่อนำไปเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนในรอบวัน (ภาพที่ 28) พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.88 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00 – 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.23 เห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางคืน สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากกว่าในช่วงเวลากลางวันประมาณ 4 เท่า เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน PAHs สามารถสลายตัวได้น้อยเพราะปัจจัยสำคัญต่อการย่อยสลายของ PAHs คือ แสงแดด โดยทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ด้วยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) ในขณะที่ TSP จากการเก็บตัวอย่างพบว่ามีความมากในช่วงเวลากลางวันแต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถลอยตัวอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงพบปริมาณ TSP น้อยลงในเวลากลางคืน ส่งผลให้สัดส่วนของ PAHs ใน TSP มีค่ามากในช่วงเวลากลางคืน

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.020 ซึ่งให้เห็นว่า ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างมีฝนตกในบางช่วงเวลา ทำให้ไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP ได้อย่างชัดเจน เห็นได้จากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติซึ่งมีค่าน้อยมาก



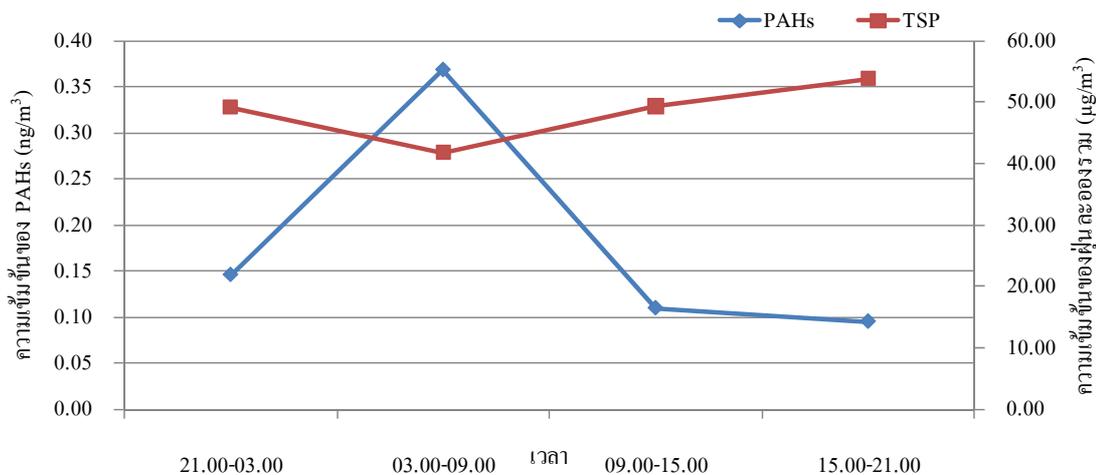
ภาพที่ 26 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง

2.1.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณชั้นดาดฟ้าของ โรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ (ความสูงประมาณ 132 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พบว่าความเข้มข้นของ TSP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 34.0-61.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย $48.5 \pm 9.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อนำผลการตรวจวัด TSP ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า TSP เฉลี่ย มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $53.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $41.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ภาพที่ 27) ส่วน PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.37 \text{ ng}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.09 \text{ ng}/\text{m}^3$ เมื่อนำไปเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ สัดส่วนในรอบวัน (ภาพที่ 28) พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.31 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.26 เห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางคืน สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากกว่าในช่วงเวลา กลางวันประมาณ 5 เท่า เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน PAHs สามารถสลายตัวได้น้อยเพราะปัจจัย สำคัญต่อการย่อยสลายของ PAHs คือ แสงแดด โดยทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับ

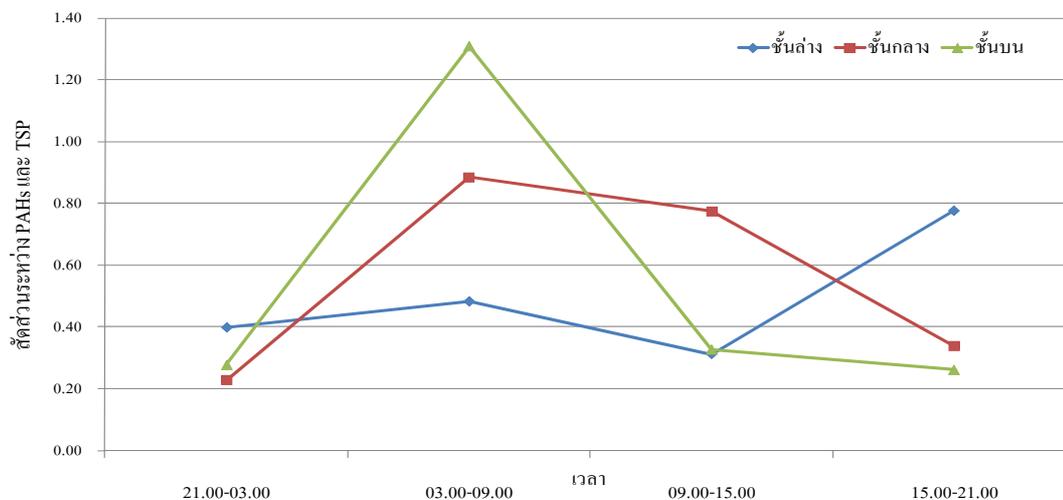
อนุภาคของฝุ่น ด้วยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) ในขณะที่ TSP จากการเก็บตัวอย่างพบว่าปริมาณมากในช่วงเวลากลางวันแต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถลอยตัวอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงพบปริมาณ TSP น้อยลงในเวลากลางคืน ส่งผลให้สัดส่วนของ PAHs ใน TSP มีค่ามากในช่วงเวลากลางคืน

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.208 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันปานกลาง กล่าวคือ เมื่อ TSP มีความเข้มข้นมากขึ้น PAHs จะมีความเข้มข้นลดลง เห็นได้จาก TSP มีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ในขณะที่ PAHs จะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลากลางวัน PAHs ที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่นจะถูกยกตัวให้ลอยสูงขึ้นด้วยอิทธิพลจากเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของ PAHs ได้ดี ทำให้ความเข้มข้นลดลง นอกจากนี้ ปัจจัยเรื่องแสงแดด เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ช่วยให้ความเข้มข้นของ PAHs ลดลง เพราะแสงแดดจะทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น โดยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) นอกจากนี้ปัจจัยในเรื่องของค่าครึ่งชีวิต (Half - Life) หรือความคงตัวในบรรยากาศที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่กำหนดปริมาณ และการกระจายของ PAHs ในบรรยากาศ (Baek *et al.*, 1991) แต่ในช่วงเวลากลางคืนกลับพบว่า PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการย่อยสลายของ PAHs นั้น มีมากในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ในช่วงเวลากลางคืน PAHs มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยจึงมีการสะสมตัวที่มากขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน ส่วน TSP ซึ่งพบว่ามีมากในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่กิจกรรมอันก่อให้เกิด TSP มากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการจราจร หรือการเผาไหม้ต่างๆ แต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้มีระยะเวลาในการลอยตัวในบรรยากาศค่อนข้างสั้น ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนจึงพบว่า TSP มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน

จากการเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ PAHs และ TSP ตามระดับความสูง พบว่า ชั้นกลางมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ชั้นบน และชั้นล่าง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.56, 0.54 และ 0.49 ตามลำดับ โดยพบว่า ในชั้นกลาง และชั้นบนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพิ่มขึ้นจากชั้นล่าง 1 เท่า จากภาพที่ 28 พบว่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้น และลดลงของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูง มีลักษณะที่คล้ายกัน โดยพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP จากการวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ -0.054, -0.020 และ -0.208 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ในทั้ง 3 ระดับความสูงมีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก โดยจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด รองลงมาคือ ชั้นกลาง และชั้นล่าง เพราะว่าเป็นชั้นล่าง และชั้นกลางได้รับอิทธิพลจาก กระแสลมมากกว่าชั้นบน เนื่องจากบริเวณชั้นกลางมีอาคารขวาง ทำให้เกิดกระแสลมแรง และชั้นล่าง เป็นช่องอาคาร ทำให้เกิดจากลมตัวของฝุ่นละอองได้ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของ PAHs ใน TSP ได้ แต่เนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างมีฝนตกในบางช่วงเวลา ทำให้ไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ได้อย่างชัดเจน เห็นได้จากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติซึ่งมีค่าน้อยมาก



ภาพที่ 28 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP พื้นที่ศึกษาจังหวัด สงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

ตารางที่ 14 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP พื้นที่ศึกษาจังหวัด สงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
21.00-03.00	0.40	0.23	0.28
03.00-09.00	0.48	0.88	1.31
09.00-15.00	0.31	0.77	0.33
15.00-21.00	0.78	0.34	0.26
ค่าเฉลี่ย	0.49	0.56	0.54

2.2 พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

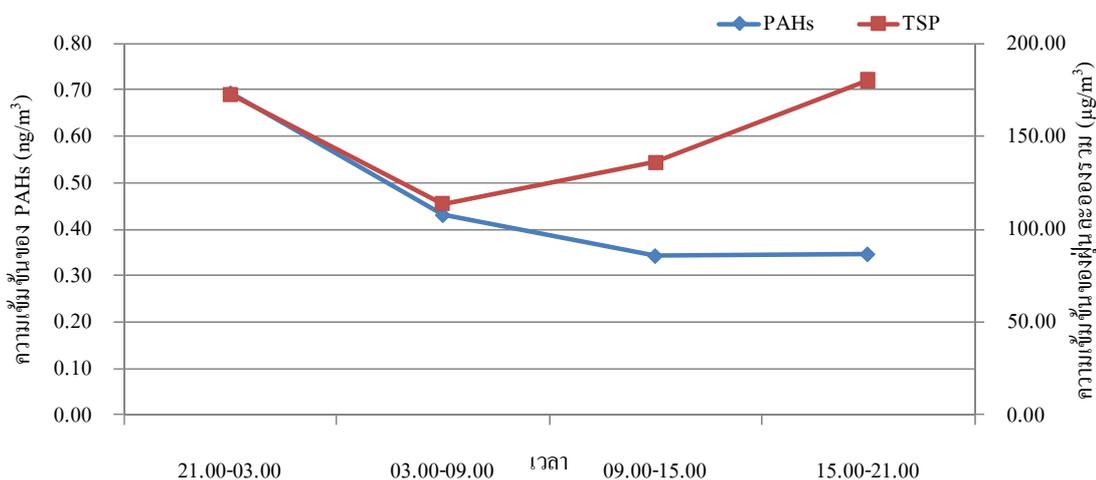
2.2.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณชั้นลาดฟ้าอาคาร จอดรถ โรงแรมไอบีฮกสุท (ไอบีฮก 1) (ความสูงประมาณ 38 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่าความเข้มข้นของ TSP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 106.4-180.2

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย $140.0 \pm 22.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อนำผลการตรวจวัด TSP ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า TSP เฉลี่ย มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $160.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $120.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ภาพที่ 29) ส่วน PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00 – 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.69 \text{ ng}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.34 \text{ ng}/\text{m}^3$ แนวโน้มของการเพิ่มขึ้น และลดลงของ PAHs ที่ชั้นล่าง พบว่าค่าความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นค่อยๆลดลงในช่วงเวลากลางวัน และค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน เมื่อนำไปเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนในรอบวัน (ภาพที่ 32) พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00 – 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.69 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.28 เห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางคืนสัดส่วนของ สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากกว่าในช่วงเวลากลางวันประมาณ 3 เท่า เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน PAHs สามารถสลายตัวได้น้อยเพราะปัจจัยสำคัญต่อการย่อยสลายของ PAHs คือ แสงแดด โดยทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ด้วยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) ในขณะที่ TSP จากการเก็บตัวอย่างพบว่ามีปริมาณมากในช่วงเวลากลางวันแต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถลอยตัวอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงพบปริมาณ TSP น้อยลงในเวลากลางคืน ส่งผลให้สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากในช่วงเวลากลางคืน

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.386 ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันปานกลาง กล่าวคือ เมื่อ TSP มีค่าสูง PAHs ก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย เนื่องจากในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง อยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดทำให้ PAHs ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ยังไม่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆมากนัก เช่น ปัจจัยเรื่องแสงแดดอันทำให้เกิดปฏิกิริยา Photochemical Degradation ปัจจัยเรื่องความปั่นป่วนของบรรยากาศ และกลไกบางอย่าง เช่น ปฏิกิริยา Hetrogeneous กับโอโซน อนุมูลอิสระ OH และไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อการคงอยู่ในบรรยากาศของ PAHs นอกจากนี้ปัจจัยในเรื่องของค่าครึ่งชีวิต (Half - Life) ที่แตกต่างกัน

กันในแต่ละชนิด ก็มีผลต่อความเข้มข้นของ PAHS ด้วย จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน



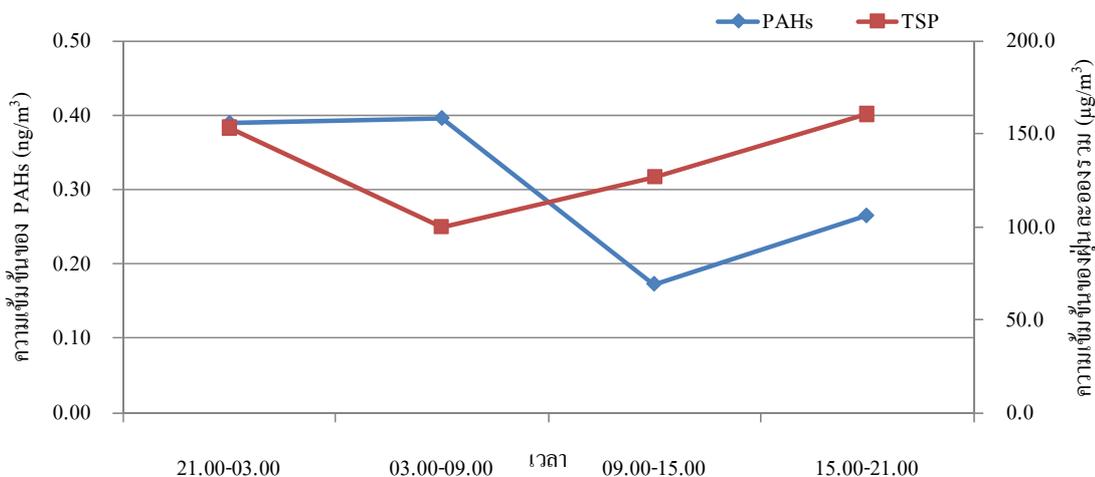
ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง

2.2.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณชั้นคาตฟ้า โรงแรมไพบยกุล (ไพบย 1) (ความสูงประมาณ 158 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่าความเข้มข้นของ TSP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 94.6-160.8 µg/m³ มีค่าเฉลี่ย 127.5±21.6 µg/m³ เมื่อนำผลการตรวจวัด TSP ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า TSP เฉลี่ย มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00 – 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 145.4 µg/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 108.1 µg/m³ (ภาพที่ 30) ส่วน PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.40 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.17 ng/m³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนในรอบวัน (ภาพที่ 32) พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.40 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.17 เห็นได้ว่า ในช่วง

เวลากลางคืนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากกว่าในช่วงเวลากลางวันประมาณ 2 เท่า เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน PAHs สามารถสลายตัวได้น้อย เพราะปัจจัยสำคัญต่อการย่อยสลายของ PAHs คือ แสงแดด โดยทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ด้วยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) ในขณะที่ TSP จากการเก็บตัวอย่างพบว่ามีปริมาณมากในช่วงเวลากลางวันแต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถลอยตัวอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงพบปริมาณ TSP น้อยลงในช่วงเวลากลางคืน ส่งผลให้สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากในช่วงเวลากลางคืน

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.181 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันน้อย กล่าวคือ เมื่อ TSP มีค่าสูง PAHs ก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย เนื่องจากในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดทำให้ PAHs ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ยังไม่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆมากนัก เช่น ปัจจัยเรื่องแสงแดดอันทำให้เกิดปฏิกิริยา Photochemical Degradation ปัจจัยเรื่องความปั่นป่วนของบรรยากาศ และกลไกบางอย่าง เช่น ปฏิกิริยา Heterogeneous กับ โอโซน อนุมูลอิสระ OH และไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งมีผลต่อการคงอยู่ในบรรยากาศของ PAHs นอกจากนี้ปัจจัยในเรื่องของค่าครึ่งชีวิต (Half - Life) ที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด ก็มีผลต่อความเข้มข้นของ PAHs ด้วย จากเหตุผลดังกล่าวส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางนี้จะพบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อความสูงมากขึ้น ระยะเวลาในการเดินทางของ PAHs มากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ PAHs จากปัจจัย และกลไกต่างๆซึ่งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีค่าลดลง



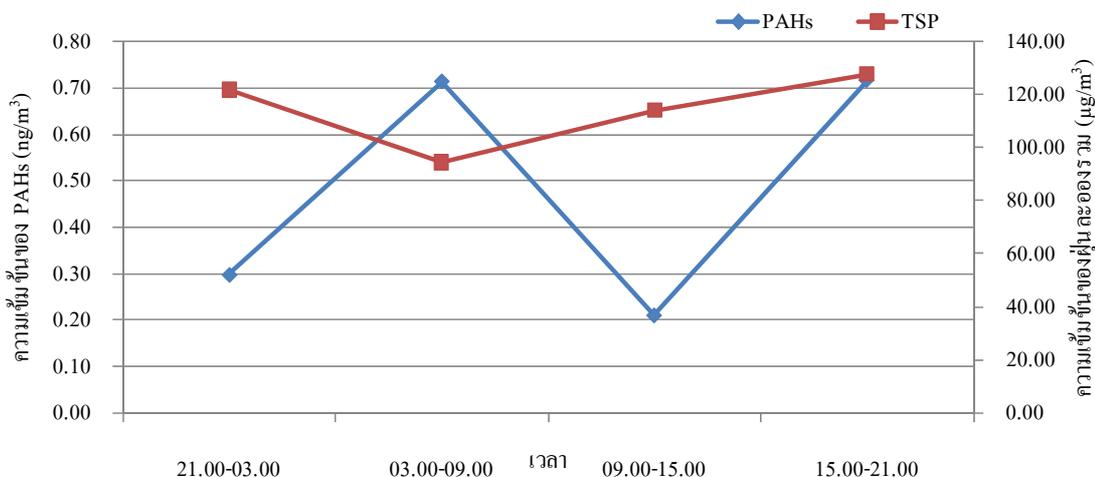
ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง

2.2.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณชั้นดาดฟ้า โรงแรมไพบยทศกาศ (ไพบยทศ 2) (ความสูงประมาณ 328 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่าความเข้มข้นของ TSP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 92.3-127.7 µg/m³ มีค่าเฉลี่ย 112.0±12.5 µg/m³ เมื่อนำผลการตรวจวัด TSP ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นบน มาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า TSP เฉลี่ย มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 121.9 µg/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 100.8 µg/m³ (ภาพที่ 31) ส่วน PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.72 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.21 ng/m³ เมื่อนำไปเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนในรอบวัน (ภาพที่ 32) พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.05 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.28 เห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางคืนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากกว่าในช่วงเวลากลางวันประมาณ 4 เท่า เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน PAHs สามารถสลายตัวได้น้อยเพราะปัจจัยสำคัญต่อการย่อยสลายของ PAHs คือ แสงแดด ซึ่งทำให้เกิดการสลายตัวของ

PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ด้วยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) ในขณะที่ TSP จากการเก็บตัวอย่างพบว่ามีความเข้มข้นมากในช่วงเวลากลางวันแต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถลอยตัวอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงพบปริมาณ TSP น้อยลงในเวลากลางคืน ส่งผลให้สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากในช่วงเวลากลางคืน

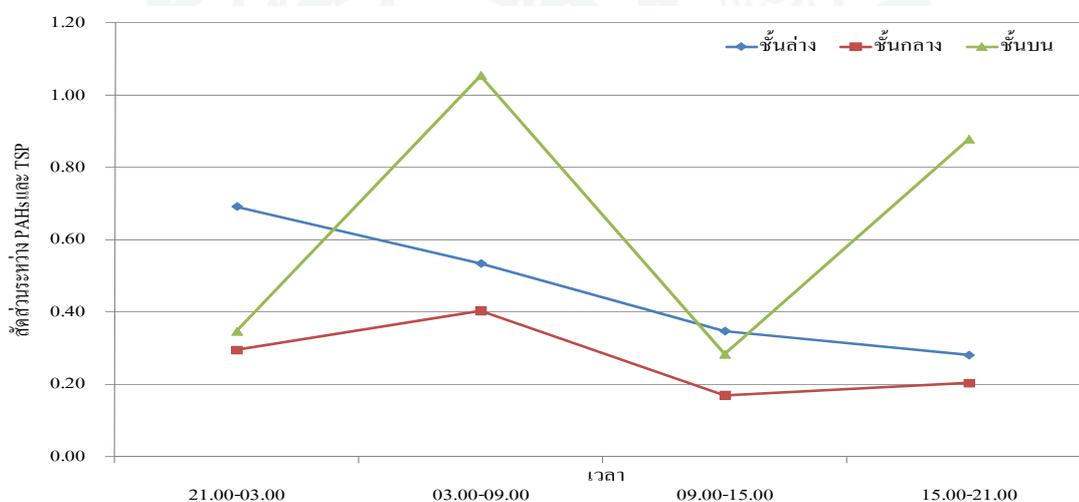
จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP โดยวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.327 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันปานกลาง กล่าวคือ เมื่อ TSP มีความเข้มข้นมากขึ้น PAHs จะมีความเข้มข้นลดลง เห็นได้จาก TSP มีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ในขณะที่ PAHs จะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลากลางวัน PAHs ที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่นจะถูกยกตัวให้ลอยสูงขึ้นด้วยอิทธิพลจากเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของ PAHs ได้ดี ทำให้ความเข้มข้นลดลง นอกจากนี้ ปัจจัยเรื่องแสงแดด เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ช่วยให้ความเข้มข้นของ PAHs ลดลงเพราะแสงแดดจะทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น โดยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) นอกจากนี้ปัจจัยในเรื่องของค่าครึ่งชีวิต (Half - Life) หรือความคงตัวในบรรยากาศที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่กำหนดปริมาณ และการกระจายของ PAHs ในบรรยากาศ (Baek *et al.*, 1991) แต่ในช่วงเวลากลางคืนกลับพบว่า PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการย่อยสลายของ PAHs นั้น มีมากในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ในช่วงเวลากลางคืน PAHs มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยจึงมีการสะสมตัวที่มากขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน ส่วน TSP ซึ่งพบว่ามีมากในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจาก เป็นช่วงเวลาที่มีกิจกรรมอันก่อให้เกิด TSP มากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการจราจร หรือการเผาไหม้ต่างๆ แต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้มีระยะเวลาในการลอยตัวในบรรยากาศค่อนข้างสั้น ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนจึงพบว่า TSP มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม



ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน

เมื่อเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่าง PAHs และ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูง พบว่า ชั้นบนมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ชั้นล่าง และชั้นกลาง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.65, 0.46 และ 0.27 ตามลำดับ โดยพบว่า ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ลดลงจากชั้นล่าง 1 เท่า และในชั้นบนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพิ่มขึ้นจากชั้นล่าง 1 เท่า จากภาพที่ 32 พบว่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้น และลดลงของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูง มีลักษณะที่แตกต่างกันคือ ชั้นล่าง และชั้นกลางมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน ในขณะที่ชั้นบนมีแนวโน้มที่แตกต่างออกไป โดยพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP จากการวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.386, 0.181 และ -0.327 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง และชั้นกลางมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันปานกลาง และน้อย ตามลำดับ ในขณะที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันปานกลางเช่นเดียวกับในชั้นล่าง โดยจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP ในชั้นล่างมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด รองลงมาคือ ชั้นบน และชั้นกลาง เนื่องจากชั้นล่างอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดมากที่สุด ซึ่งแหล่งกำเนิดที่สำคัญในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานครก็คือ

การจากรนเอง ทำให้มีโอกาสที่ยังไม่ได้รับอิทธิพลจากปฏิกิริยา Photochemical Degradation (IPCS, 1998) และปฏิกิริยา Hetrogeneous กับโอโซน อนุมูลอิสระ OH และไนโตรเจนออกไซด์ (Janet and Roger, 2003; Panther *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วน PAHs ใน TSP (Jingchun *et al.*, 2005) ได้ จึงพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP ในชั้นล่างมีค่าสูงกว่าในระดับชั้นอื่นๆ ส่วนบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนซึ่งพบว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม หรือแปรผกผันกันนั้น มีสาเหตุมาจากจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน เป็นจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่มากที่สุด ต้องใช้ระยะเวลาในการเดินทาง ทำให้มีโอกาสได้รับอิทธิพลจากกลไกบางอย่าง เช่น ปฏิกิริยา Photochemical Degradation (IPCS, 1998) และปฏิกิริยา Hetrogeneous กับโอโซน อนุมูลอิสระ OH และไนโตรเจนออกไซด์ (Janet and Roger, 2003; Panther *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP (Jingchun *et al.*, 2005) ประกอบกับความเข้มข้นของ TSP มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงมากขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม



ภาพที่ 32 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP พื้นที่ศึกษาจังหวัด กรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 15 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP พื้นที่ศึกษาจังหวัด กรุงเทพมหานคร

เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
21.00-03.00	0.69	0.29	0.35
03.00-09.00	0.53	0.40	1.05
09.00-15.00	0.35	0.17	0.28
15.00-21.00	0.28	0.20	0.88
ค่าเฉลี่ย	0.46	0.27	0.64

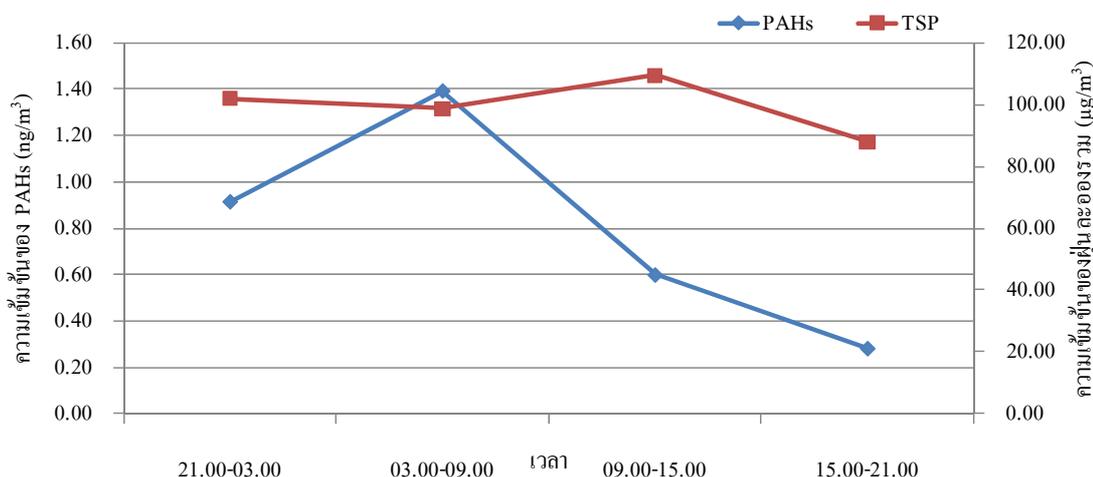
2.3 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

2.3.1 ชั้นล่าง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณชั้นคาเฟ่อาคาร จอดรถ โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน (ความสูงประมาณ 12 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่าความเข้มข้นของ TSP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 65.4-136.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย 101.1 \pm 21.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อนำผลการตรวจวัด TSP ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง มาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า TSP เฉลี่ย มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 109.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 87.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ภาพที่ 33) ส่วน PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.39 ng/m^3 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.28 ng/m^3 เมื่อนำไปเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนในรอบวัน (ภาพที่ 36) พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 – 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.97 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.45 เห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางคืนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากกว่าในช่วงเวลากลางวันถึง 4 เท่า เนื่องจากในช่วงเวลากลางคืน PAHs สามารถสลายตัวได้น้อย เพราะปัจจัยสำคัญต่อการย่อยสลายของ PAHs คือ แสงแดด โดยทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ด้วยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ช่วยให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) ในขณะที่ TSP จากการเก็บตัวอย่างพบว่ามีปริมาณมากใน

ช่วงเวลากลางวันแต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้ไม่สามารถลอยตัวอยู่ในบรรยากาศได้เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงพบปริมาณ TSP น้อยลงในเวลากลางคืน ส่งผลให้สัดส่วนของ PAHs ใน TSP มีค่ามากในช่วงเวลากลางคืน

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่าค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.273 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันน้อย กล่าวคือ เมื่อ TSP มีค่าสูง PAHs ก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย เนื่องจากในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง ซึ่งอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดทำให้ PAHs ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ยังไม่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆ มากนัก เช่น ปัจจัยเรื่องแสงแดดอันทำให้เกิดปฏิกิริยา Photochemical Degradation ปัจจัยเรื่องความปั่นป่วนของบรรยากาศ และกลไกบางอย่าง เช่น ปฏิกิริยา Heterogeneous กับ โอโซน อนุมูลอิสระ OH และ ไนโตรเจนออกไซด์ เป็นต้น ทำให้ PAHs ยังคงไม่เปลี่ยนรูปไป นอกจากนี้ปัจจัยในเรื่องของค่าครึ่งชีวิต (Half - Life) ที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด ก็มีผลต่อความเข้มข้นของ PAHs ด้วย ซึ่งเหล่านี้ล้วนเป็นสาเหตุที่ทำให้ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน



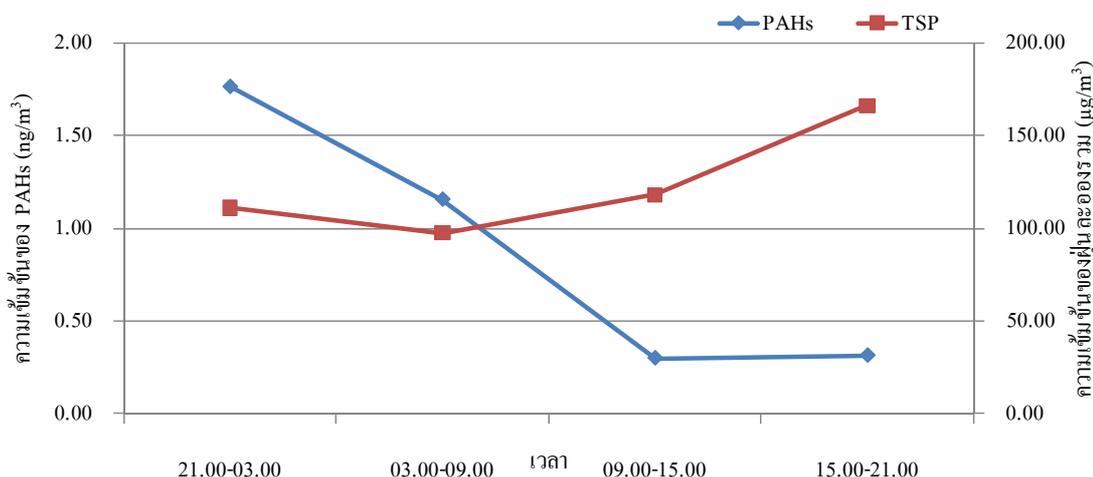
ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง

2.3.2 ชั้นกลาง

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณชั้นคาเฟ่ โรง แรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง (ความสูงประมาณ 52 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่าความเข้มข้นของ TSP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 85.7-281.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย 108.4 \pm 19.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อนำผลการตรวจวัด TSP ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมา เฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวันพบว่า TSP เฉลี่ย มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 166.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 97.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (ภาพที่ 34) ส่วน PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00 – 03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.76 ng/m^3 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.30 ng/m^3 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของ สัดส่วน ในรอบวัน (ภาพที่ 36) พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 2.21 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00 – 21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.27 เห็นได้ว่า ในช่วงเวลากลางคืน สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากกว่าในช่วงเวลา กลางวันถึง 8 เท่า ปัจจัยเรื่องแสงแดด เป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยให้ความเข้มข้นของ PAHs ลดลงใน เวลากลางวัน (IPCS, 1998) เช่นเดียวกับจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง กล่าวคือมีสัดส่วนระหว่างความ เข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP สูงในช่วงเวลากลางคืน และมีค่าลดลงในช่วงเวลา กลางวันด้วยเหตุผลเดียวกับจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง แต่มีชนิดของ PAHs ที่เปลี่ยนแปลงไปคือ การ กระจายตัวของ PAHs ในชั้นกลางไม่ได้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันเหมือนในชั้นล่าง กล่าวคือ B[g,h,i]P ซึ่งมีสัดส่วนเป็นอันดับที่ 7 ในชั้นล่างกลับมาเป็นอันดับที่ 3 ในชั้นกลาง แสดงให้เห็นถึง กลไกบางอย่างที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายของ PAHs ที่ระดับชั้นนี้ สาเหตุสำคัญน่าจะมาจาก ปฏิกิริยา Photochemical Degradation (IPCS, 1998) และปฏิกิริยา Hetrogeneous กับ โอโซน อนุมูล อิสระ OH และไนโตรเจนออกไซด์ (Janet and Roger, 2003; Panther *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นสาเหตุ ของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วน PAHs ใน TSP (Jingchun *et al.*, 2005)

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่า ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.171 แสดงให้ เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์ กันน้อย กล่าวคือ เมื่อ TSP มีความเข้มข้นมากขึ้น PAHs จะมีความเข้มข้นลดลง เห็นได้จาก TSP มีค่า สูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ในขณะที่ PAHs จะมีความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน ทั้งนี้เนื่องจากใน

ช่วงเวลากลางวัน PAHs ที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่นจะถูกยกตัวให้ลอยสูงขึ้นด้วยอิทธิพลจากเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของ PAHs ได้ดี ทำให้ความเข้มข้นลดลง นอกจากนี้ ปัจจัยเรื่องแสงแดด เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ช่วยให้ความเข้มข้นของ PAHs ลดลง เพราะแสงแดดจะทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น โดยปฏิกิริยา Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) นอกจากนี้ปัจจัยในเรื่องของค่าครึ่งชีวิต (Half - Life) หรือความคงตัวในบรรยากาศที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่กำหนดปริมาณ และการกระจายของ PAHs ในบรรยากาศ (Baek *et al.*, 1991) แต่ในช่วงเวลากลางคืนกลับพบว่า PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการย่อยสลายของ PAHs นั้น มีมากในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ในช่วงเวลากลางคืน PAHs มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยจึงมีการสะสมตัวที่มากขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน ส่วน TSP ซึ่งพบว่ามีมากในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจาก เป็นช่วงเวลาที่กิจกรรมอันก่อให้เกิด TSP มากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการจราจร หรือการเผาไหม้ต่างๆ แต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้มีระยะเวลาในการลอยตัวในบรรยากาศค่อนข้างสั้น ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนจึงพบว่า TSP มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม



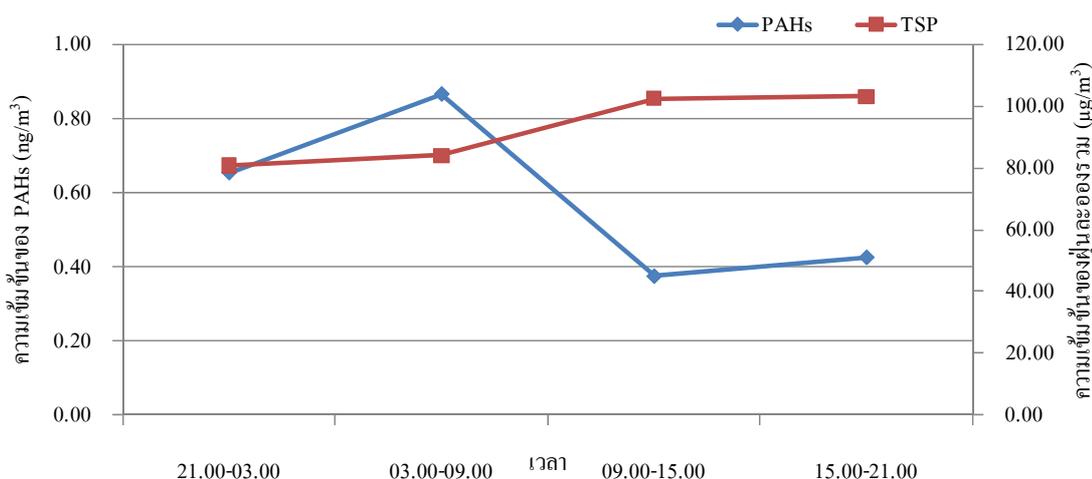
ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง

2.3.3 ชั้นบน

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ ฝุ่นละอองรวม (TSP) บริเวณชั้นดาดฟ้า โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน (ความสูงประมาณ 152 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่าความเข้มข้นของ TSP มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $61.9-156.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย $86.8 \pm 19.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อนำผลการตรวจวัด TSP ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นบน มาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า TSP เฉลี่ย มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $103.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $80.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ภาพที่ 35) ส่วน PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 - 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.87 \text{ ng}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 - 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.38 \text{ ng}/\text{m}^3$ เมื่อนำไปเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนในรอบวัน (ภาพที่ 36) พบว่ามีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00 - 09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.44 และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00 - 15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.51 เห็นได้ว่าในช่วงเวลากลางคืนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีค่ามากกว่าในช่วงเวลากลางวันถึง 3 เท่า ในชั้นนี้จะเห็นว่า Pyr และ Fluo มีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากชั้นล่าง และชั้นกลาง เนื่องจาก Pyr และ Fluo เป็น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเพียง 202.3 โดยความดันไอของสาร PAHs จะแปรผกผันกับน้ำหนักของโมเลกุล ดังนั้น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยจึงมักพบอยู่ในวัฏภาคก๊าซมากกว่าวัฏภาคอนุภาค (Baek *et al.*, 1991) ดังนั้น PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อย จึงสามารถลอยตัวขึ้นได้สูงกว่า PAHs ชนิดอื่นๆ ส่งผลให้สัดส่วนของ PAHs ใน TSP เปลี่ยนแปลงไปตามระดับความสูง

จากการหาความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP โดยวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.147 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันน้อย กล่าวคือ เมื่อ TSP มีความเข้มข้นมากขึ้น PAHs จะมีความเข้มข้นลดลง เห็นได้จาก TSP มีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ในขณะที่ PAHs จะมีค่าสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน ทั้งนี้เนื่องจากในช่วงเวลากลางวัน PAHs ที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่นจะถูกยกตัวให้ลอยสูงขึ้นด้วยอิทธิพลจากเคลื่อนที่ของอากาศในแนวตั้ง ส่งผลให้เกิดการกระจายตัวของ PAHs ได้ดี ทำให้ความเข้มข้นลดลง นอกจากนี้ ปัจจัยเรื่องแสงแดด เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญที่ช่วยให้ความเข้มข้นของ PAHs ลดลง เพราะแสงแดดจะทำให้เกิดการสลายตัวของ PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคของฝุ่น โดยปฏิกิริยา

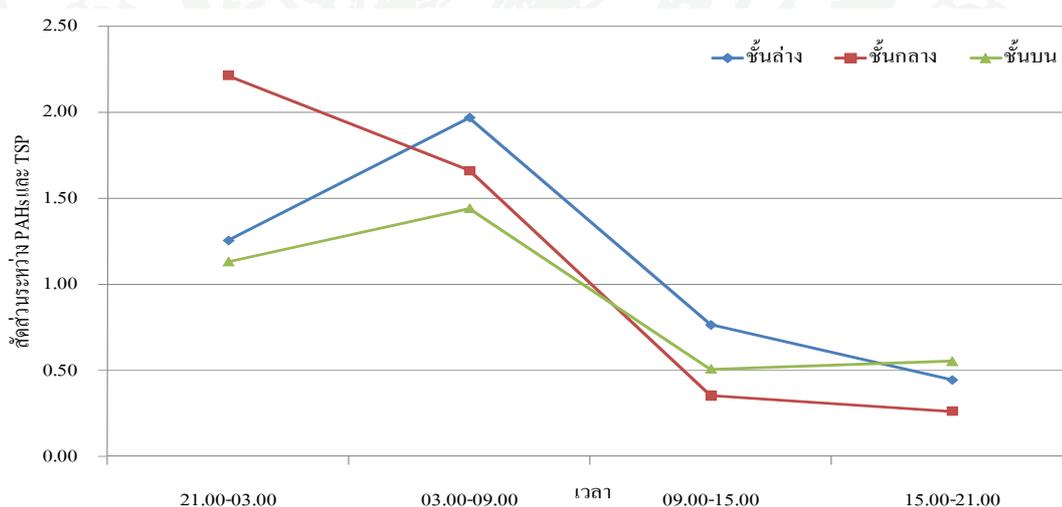
Photochemical Degradation ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้ PAHs เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น (IPCS, 1998) นอกจากนี้ปัจจัยในเรื่องของค่าครึ่งชีวิต (Half - Life) หรือความคงตัวในบรรยากาศที่แตกต่างกันในแต่ละชนิด ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่กำหนดปริมาณ และการกระจายของ PAHs ในบรรยากาศ (Baek *et al.*, 1991) แต่ในช่วงเวลากลางคืนกลับพบว่า PAHs มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการย่อยสลายของ PAHs นั้น มีมากในช่วงเวลากลางวัน ทำให้ในช่วงเวลากลางคืน PAHs มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยจึงมีการสะสมตัวที่มากขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืน ส่วน TSP ซึ่งพบว่ามีมากในช่วงเวลากลางวัน เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่กิจกรรมอันก่อให้เกิด TSP มากที่สุด ไม่ว่าจะเป็นการจราจร หรือการเผาไหม้ต่างๆ แต่เนื่องจาก TSP เป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ทำให้มีระยะเวลาในการลอยตัวในบรรยากาศค่อนข้างสั้น ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนจึงพบว่า TSP มีแนวโน้มลดลง ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม



ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP ในรอบวันเฉลี่ยระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน

จากการเปรียบเทียบหาสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูง พบว่า ชั้นกลางมีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ชั้นล่าง และ ชั้นบน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.13, 1.10 และ 0.92 ตามลำดับ โดยพบว่า ในชั้นกลาง สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพิ่มขึ้นจากชั้นล่าง 1 เท่า และ

ในชั้นบนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ลดลงจากชั้นล่าง 1 เท่า จากภาพที่ 36 พบว่าแนวโน้มของการเพิ่มขึ้น และลดลงของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูง มีลักษณะที่แตกต่างกัน คือ ชั้นกลาง และชั้นบนมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกัน ในขณะที่ชั้นล่างมีแนวโน้มที่แตกต่างออกไป โดยพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP จากการวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่าเท่ากับ 0.273, -0.171 และ -0.147 ตามลำดับ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก ในขณะที่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง และชั้นบนมีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก โดยจะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs และ TSP ในชั้นล่างมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด รองลงมาคือ ชั้นกลาง และชั้นบน เนื่องจากชั้นล่างอยู่ใกล้แหล่งกำเนิด ทำให้มีโอกาสที่ยังไม่ได้รับอิทธิพลจากปฏิกิริยา Photochemical Degradation (IPCS, 1998) และปฏิกิริยา Heterogeneous กับโอโซน อนุมูลอิสระ OH และไนโตรเจนออกไซด์ (Janet and Roger, 2003; Panther *et al.*, 1999) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP (Jingchun *et al.*, 2005) ได้ จึงพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ในชั้นล่างมีค่าสูงกว่าในระดับชั้นอื่นๆ



ภาพที่ 36 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP พื้นที่ศึกษาจังหวัด เชียงใหม่

ตารางที่ 16 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP พื้นที่ศึกษาจังหวัด
เชียงใหม่

เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
21.00-03.00	1.26	2.21	1.13
03.00-09.00	1.97	1.66	1.44
09.00-15.00	0.77	0.35	0.51
15.00-21.00	0.45	0.27	0.55
ค่าเฉลี่ย	1.11	1.12	0.91

เมื่อพิจารณา ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา ได้แก่ พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร และ พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ซึ่งในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างนั้นมีฝนตกในบางช่วงเวลา ส่งผลให้ไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ได้อย่างชัดเจน เห็นได้จากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติซึ่งมีค่าน้อยมาก โดยในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง และชั้นบนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพิ่มขึ้นจากชั้นล่าง 1 เท่า พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร พบว่า สภาพอากาศไม่มีฝนหรือเมฆ ประกอบกับแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs อยู่ในบริเวณพื้นที่ทำการเก็บตัวอย่าง ซึ่งก็คือการจราจร ทำให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ได้อย่างชัดเจน สังกัดได้จากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติซึ่งมีค่ามากที่สุด ใน 3 พื้นที่ทำการศึกษา โดยพบว่า ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง และชั้นกลางนั้น ความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างพบว่าความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ส่วนบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม หรือแปรผกผันกัน โดยในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ลดลงจากชั้นล่าง 1 เท่า และในชั้นบนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพิ่มขึ้นจากชั้นล่าง 1 เท่า ส่วนพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ นั้นพบว่า ความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีความสัมพันธ์ที่คล้ายกันกับพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร กล่าวคือ ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างจะพบว่า ความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และมี

ความสัมพันธ์กันมากที่สุด ส่วนบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง และชั้นบน จะพบว่า มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม หรือแปรผกผันกัน โดยพบว่า ในชั้นกลาง สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพิ่มขึ้นจากชั้นล่าง 1 เท่า และในชั้นบนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ลดลงจากชั้นล่าง 1 เท่า จากการศึกษาพบว่าทั้ง 3 พื้นที่ศึกษามีค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ที่คล้ายกัน กล่าวคือ ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างจะมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าความสัมพันธ์มากที่สุด และพบว่าในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนนั้น ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP จะมีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม หรือแปรผกผันกัน เนื่องจาก จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างเป็นจุดเก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดในพื้นที่ศึกษามากที่สุดทำให้ PAHs ที่ถูกปลดปล่อยออกมาในขณะที่จับตัวอยู่กับอนุภาคของฝุ่น ยังไม่ได้รับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆ และกลไกบางอย่างมากนัก ทำให้ PAHs ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงทำให้ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าความสัมพันธ์มากที่สุด ในทางกลับกันบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนนั้น พบว่าความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม หรือแปรผกผันกัน เนื่องจาก จุดเก็บตัวอย่างชั้นบน เป็นจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่มากที่สุด ต้องใช้ระยะเวลาในการเดินทาง ทำให้มีโอกาสได้รับอิทธิพลจากกลไกบางอย่าง ประกอบกับ ความเข้มข้นของ TSP มีแนวโน้มลดลงเมื่อความสูงมากขึ้น กล่าวคือ แนวโน้มของค่าความเข้มข้นของ TSP มีลักษณะแปรผกผันกับความสูง โดยเฉพาะในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร และพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ เนื่องจากแหล่งกำเนิดหลักของ TSP เป็นแหล่งกำเนิดที่อยู่ในพื้นที่ ส่งผลให้การกระจายตัวของ TSP เป็นไปตามกฎของแรงโน้มถ่วงโลกเป็นสำคัญ ส่วนการกระจายตัวของ TSP ตามระดับความสูงของพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ได้รับอิทธิพลจากฝน และความชื้นที่สูง ทำให้การกระจายตัวของ TSP ไม่แสดงความสัมพันธ์กับความสูง ส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs และ TSP มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีค่าค่อนข้างน้อยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Halsall *et al.*, 1994 และ Panther *et al.*, 1999 ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ในชั้นบรรยากาศ มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก หรือไม่มี ความสัมพันธ์กัน เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ TSP นั้นมีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูง ในขณะที่ความเข้มข้นของ PAHs มีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ TSP เห็นได้จากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติในทุกพื้นที่ศึกษา สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากความเข้มข้นของ PAHs มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละระดับชั้น และในแต่ละช่วงเวลา โดยสามารถ

เห็นได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีกลไกสำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนดังกล่าวคือ การย่อยสลาย (Degradation) โดยปฏิกิริยาทางเคมีกับมลสารในชั้นบรรยากาศ (Hetrogeneous) เช่น โอโซน (O_3), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) และอนุมูลอิสระ OH (OH) (Janet and Roger, 2003; Jingchun *et al.*, 2005; Panther *et al.*, 1999) และการทำปฏิกิริยากับแสง (Photochemical Degradation) (IPCS, 1998) นอกจากนี้ปัจจัยในเรื่องของความคงตัวในบรรยากาศ หรือค่าครึ่งชีวิต (Half - Life) ที่แตกต่างกันของ PAHs แต่ละชนิดก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่กำหนดชนิด ปริมาณ และการกระจายของ PAHs ในบรรยากาศ (Baek *et al.*, 1991) ซึ่งส่งผลต่อความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ TSP และความเข้มข้นของ PAHs ในชั้นบรรยากาศด้วย

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10})

3.1 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

3.1.1 ชั้นล่าง

จากการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) บริเวณลานชั้น 8 ของโรงแรมโนโวเทล เซนทารา หาดใหญ่ (ความสูงประมาณ 40 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าระหว่าง N.D. - 0.40 ng/m^3 (สุรัตน์ และคณะ, 2550; ทิตา, 2551) เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า PAHs ใน PM_{10} มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.07 \pm 0.07 ng/m^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.04 \pm 0.03 ng/m^3$ กล่าวคือ มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน เช่นเดียวกับ PAHs ใน TSP เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/(B[a]P + Chry) มีค่าเท่ากับ 0.68 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (ตารางที่ 7) ในขณะที่ผลจากการคำนวณอัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ของ PAHs ใน TSP พบว่า แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน TSP ในชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง โดยวิเคราะห์ทางสถิติ

คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.075 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันน้อยมาก กล่าวได้ว่า PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} มาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน

ความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu g/m^3$) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง โดยวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.475 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า r ซึ่งคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ TSP ($\mu g/m^3$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.054 จะเห็นว่าค่า r ของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าสูงกว่า PAHs ใน TSP กล่าวคือ PAHs ในชั้นล่างนี้มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} มากกว่า TSP ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Guo *et al.* (2003) ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นของ PAHs มีความสัมพันธ์กับ ความเข้มข้นของ PM_{10} มากกว่า ความเข้มข้นของ TSP

3.1.2 ชั้นกลาง

จากการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) บริเวณลานชั้น 14 ของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ (ความสูงประมาณ 70 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าระหว่าง N.D. – $0.40 ng/m^3$ (สุรตน์ และคณะ, 2550; ทิตา, 2551) เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า PAHs ใน PM_{10} มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.11 \pm 0.11 ng/m^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00-21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.04 \pm 0.04 ng/m^3$ กล่าวคือ มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน เช่นเดียวกับ PAHs ใน TSP เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[g,h,i]P มีค่าเท่ากับ 0.76 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือ มาจากการจราจรนั่นเอง (ตารางที่ 7) ในขณะที่ผลจากการคำนวณอัตราส่วนระหว่าง $Ind / (Ind + B[g,h,i]P)$ ของ PAHs ใน TSP พบว่า ค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง โดยวิเคราะห์ทาง

สถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.139 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) มีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม และมีความสัมพันธ์กันน้อย กล่าวได้ว่า PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} มาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.248 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า r ซึ่งคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.020 จะเห็นว่าค่า r ของ PAHs ใน PM_{10} มีค่ามากกว่า PAHs ใน TSP กล่าวคือ PAHs ในชั้นกลางนี้มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} มากกว่า TSP ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง

3.1.3 ชั้นบน

จากการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) บริเวณชั้นดาดฟ้าของโรงแรมลี การ์เดนส์ หาดใหญ่ (ความสูงประมาณ 132 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 17 - 20 ธันวาคม พ.ศ.2550 พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าระหว่าง $\text{N.D.} - 0.20 \text{ ng}/\text{m}^3$ (สุรตน์ และคณะ, 2550; ทิดา, 2551) เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.03 \pm 0.04 \text{ ng}/\text{m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.01 \pm 0.01 \text{ ng}/\text{m}^3$ กล่าวคือ มีค่าสูงในช่วงเวลา กลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวันเช่นเดียวกับ PAHs ใน TSP เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง $\text{Ind}/(\text{Ind} + \text{B}[\text{g,h,i}]\text{P})$ มีค่าเท่ากับ 0.65 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล (ตารางที่ 7) เหมือนกับ PAHs ใน TSP ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ทางสถิติระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.212 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน และมี

ความสัมพันธ์กันน้อย แสดงให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดของทั้งสองชนิดมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน หรือคล้ายกัน

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu g/m^3$) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน โดยวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.073 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า r ซึ่งคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ TSP ($\mu g/m^3$) ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.208 จะเห็นว่าค่า r ของ PAHs ใน PM_{10} ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นนี้มีค่าน้อยกว่า PAHs ใน TSP ซึ่งค่าที่ได้จะเห็นว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} และปริมาณของ PM_{10} ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนนี้แทบจะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs และชนิดของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูง เพื่อหาแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs พบว่า แหล่งกำเนิดของ PAHs ใน TSP ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดคือ การเผาไหม้ของชีวมวล ในขณะที่แหล่งกำเนิดของ PAHs ใน PM_{10} ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดคือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจร ยกเว้นในชั้นบนซึ่งพบว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของชีวมวลซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) ในชั้นบนซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ มีแหล่งกำเนิดชนิดเดียวกัน หรือคล้ายกัน ในขณะที่ชั้นล่าง และชั้นกลาง มีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} และความเข้มข้นของ PM_{10} ในแต่ละระดับความสูง โดยใช้สถิติ พบว่า ค่าสัดส่วนในชั้นบนมีความแตกต่างกันกับชั้นล่าง และชั้นกลาง อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าน้อยที่สุดในชั้นบน

ตารางที่ 17 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (หาดใหญ่)

เวลา	ชั้นล่าง		ชั้นกลาง		ชั้นบน	
	PAHs/TSP	PAHs/PM ₁₀	PAHs/TSP	PAHs/PM ₁₀	PAHs/TSP	PAHs/PM ₁₀
21.00-03.00	0.40	0.16	0.23	0.21	0.28	0.02
03.00-09.00	0.48	0.18	0.88	0.24	1.31	0.04
09.00-15.00	0.31	0.10	0.77	0.14	0.33	0.02
15.00-21.00	0.78	0.17	0.34	0.10	0.26	0.02
ค่าเฉลี่ย	0.49	0.16	0.56	0.17	0.54	0.02

หมายเหตุ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP: PAHs/TSP,
 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀: PAHs/PM₁₀

จากการหาสัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ ทั้งสามระดับความสูงในพื้นที่ศึกษา อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา พบว่า ชั้นกลางมีค่าเฉลี่ยของสัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ สูงที่สุด มีค่าเท่ากับ 0.56 และ 0.17 ตามลำดับ (ตารางที่ 17)

ตารางที่ 18 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
21.00-03.00	0.39	1.07	0.06
03.00-09.00	0.36	0.33	0.03
09.00-15.00	0.30	0.20	0.05
15.00-21.00	0.24	0.33	0.08
ค่าเฉลี่ย	0.32	0.48	0.06

จากตารางที่ 18 พบว่า สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) ของพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในชั้นกลาง มีค่าเท่ากับ 0.48 รองลงมาคือชั้นล่าง มีค่าเท่ากับ 0.32 และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.06 จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) ทั้ง 3 ระดับชั้น พบว่า PAHs ส่วนใหญ่อยู่ใน TSP มากกว่า PM₁₀ แต่เมื่อทำการเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P เพื่อเปรียบเทียบความเสถียรของ PAHs ใน TSP และ PM₁₀ พบว่า PAHs ใน PM₁₀ มีความเสถียรมากกว่า PAHs ใน TSP เนื่องจาก PM₁₀ จัดเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า TSP ส่งผลให้โอกาสในการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ใน PM₁₀ มีน้อยกว่า PAHs ใน TSP โดยค่าอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P ของ PAHs ใน TSP ที่คำนวณได้ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าดังต่อไปนี้ 0.14, 0.10 และ 0.40 ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P ของ PAHs ใน PM₁₀ ที่คำนวณได้ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าดังต่อไปนี้ 1.14, 1.13 และ ND ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs ที่พบมากในพื้นที่ศึกษา (ตารางที่ 19) พบว่า ชนิดของ PAHs ใน TSP ที่พบส่วนใหญ่ มีทั้ง PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ และกลุ่มมวลโมเลกุลสูง เช่น Phe Fluo Pyr Ind D[a,h]A และ B[g,h,i]P ส่วนชนิดของ PAHs ใน PM₁₀ ที่พบส่วนใหญ่ จะเป็น PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง เช่น B[g,h,i]P Ind B[b]F และ B[a]P เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guo *et al.* ในปี 2003 ยกเว้นในชั้นบน ซึ่งพบทั้ง กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ และกลุ่มมวลโมเลกุลสูง เนื่องจากความดันไอของ PAHs จะแปรผกผันกับน้ำหนักโมเลกุลของตัวเอง PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงมักอยู่ในวัฏภาคก๊าซมากกว่าวัฏภาคอนุภาค (Baek *et al.*, 1991) ดังนั้นจึงพบ PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำในชั้นบน

ตารางที่ 19 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ ของ PAHs แต่ละชนิด พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (หาดใหญ่)

PAHs	ชั้นต่ำ		ชั้นกลาง		ชั้นบน	
	PAHs(TSP)/ TSP	PAHs(PM ₁₀) /PM ₁₀	PAHs(TSP)/ TSP	PAHs(PM ₁₀) /PM ₁₀	PAHs(TSP)/ TSP	PAHs(PM ₁₀) /PM ₁₀
Phe	0.040	0.006	0.051	0.004	0.058	0.002
An	0.027	0.004	0.032	0.004	0.039	0.002
Fluo	0.044	0.008	0.056	0.012	0.037	0.002
Pyr	0.059	0.007	0.090	0.015	0.050	0.004
11H-B[a]F	0.014	0.002	0.011	0.003	0.008	ND
11H-B[b]F	0.008	0.002	0.013	0.002	0.006	ND
B[a]A	0.009	0.004	0.010	0.003	0.004	0.001
Chry	0.020	0.008	0.014	0.004	0.008	0.003
B[b]F	0.044	0.015	0.025	0.029	0.048	ND
B[k]F	0.014	0.007	0.021	0.020	0.023	ND
B[e]P	0.027	0.019	0.028	0.023	0.038	ND
B[a]P	0.004	0.022	0.003	0.033	0.015	ND
Ind	0.064	0.030	0.068	0.030	0.050	0.007
D[a,h]A	0.091	ND	0.049	0.096	0.106	ND
B[g,h,i]P	0.036	0.044	0.077	0.048	0.065	0.014

หมายเหตุ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP: PAHs(TSP)/TSP, สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀: PAHs(PM₁₀)/PM₁₀

3.2 พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

3.2.1 ชั้นล่าง

จากการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) บริเวณชั้นดาดฟ้าอาคารจอดรถ โรงแรมใบหยกสุท (ใบหยก 1) (ความสูงประมาณ 38 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าระหว่าง N.D. – 5.65 ng/m^3 (สุรรัตน์ และคณะ, 2550; ทีตา, 2551) เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมาเฉลี่ยเพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า PAHs ใน PM_{10} มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $1.02 \pm 0.61 \text{ ng/m}^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00–15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.52 \pm 0.34 \text{ ng/m}^3$ กล่าวคือ มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน เช่นเดียวกับ PAHs ในฝุ่นละอองรวม เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[g,h,i]P มีค่าเท่ากับ 0.53 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการจราจร (ตารางที่ 7) ในขณะที่ผลจากการคำนวณอัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) ของ PAHs ใน TSP พบว่าค่าที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs พบว่ามี Pyr, Fluo และ B[g,h,i]P เป็นจำนวนมาก ซึ่ง PAHs ทั้ง 3 ชนิด นั้นส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al*, 1999) ในขณะที่การหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.432 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) มีความสัมพันธ์กันโดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่า PAHs ใน PM_{10} และ PAHs ใน TSP มีแหล่งกำเนิดที่เหมือนกัน หรือคล้ายกัน นั้นหมายความว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างนี้ก็คือการจราจรนั่นเอง นอกจากนี้ เนื่องจากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้แหล่งกำเนิดในพื้นที่ศึกษาจึงส่งผลให้ค่าความสัมพันธ์ที่ได้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} และความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.282 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า r ซึ่ง

คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ TSP ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.386 จะเห็นว่าค่า r ของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าน้อยกว่า PAHs ใน TSP กล่าวคือ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} และปริมาณของ PM_{10} มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีความสัมพันธ์กันน้อย

3.2.2 ชั้นกลาง

จากการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมไอบหยกสุท (ไอบหยก 1) (ความสูงประมาณ 158 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าระหว่าง N.D. - 5.83 ng/m³ (สุร์ตัน และคณะ, 2550; ทิดา, 2551) เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.84±0.92 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.34±0.42 ng/m³ กล่าวคือ มีค่าสูงในช่วงเวลา กลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน เช่นเดียวกับ PAHs ในฝุ่นละอองรวม เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/(B[a]P + Chry) มีค่าเท่ากับ 0.57 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ดีเซล (ตารางที่ 7) และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs พบว่ามี Pyr และ Fluo เป็นจำนวนมาก ซึ่ง PAHs ทั้ง 2 ชนิดนั้นส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al*, 1999) ในขณะที่ค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m³) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง โดยวิเคราะห์ทางสถิติ คำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.310 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m³) มีความสัมพันธ์กันโดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แสดงว่า PAHs ใน PM_{10} และ PAHs ใน TSP มีแหล่งกำเนิดที่เหมือนกัน หรือคล้ายกัน นั้นหมายความว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างนี้ก็คือ การจราจรนั่นเอง นอกจากนี้ ค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวยังแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการลอยตัวของมวลอากาศจากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างขึ้นมาสู่ชั้นกลางอีกด้วย

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} และ ความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson

Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.266 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า r ซึ่งคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ TSP ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.181 จะเห็นว่าค่า r ของ PAHs ใน PM_{10} มีค่ามากกว่า PAHs ใน TSP กล่าวคือ PAHs ในชั้นกลางนี้มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} มากกว่า TSP ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Guo *et al.* (2003) ซึ่งพบว่า PAHs มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} มากกว่า TSP

3.2.3 ชั้นบน

จากการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) บริเวณชั้นดาดฟ้าโรงแรมไอบหยกสกาย (ไอบหยก 2) (ความสูงประมาณ 328 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 18 - 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าระหว่าง N.D. - 2.60 ng/m^3 (สุรัตน์ และคณะ, 2550; ทิตา, 2551) เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า PAHs มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 21.00-03.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.84 \pm 0.92 ng/m^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 09.00-15.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.34 \pm 0.42 ng/m^3$ กล่าวคือ มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน เช่นเดียวกับ PAHs ในฝุ่นละอองรวม ในขณะที่ผลจากการคำนวณอัตราส่วนระหว่าง $Ind / (Ind + B[g,h,i]P)$ ของ PAHs ใน TSP แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs ใน TSP พบว่ามี Fluo (13.56 %) และ Pyr (13.43 %) เป็นจำนวนมาก ซึ่ง PAHs ทั้ง 2 ชนิด นั้นส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al.*, 1999) ส่วนชนิดของ PAHs ใน PM_{10} นั้นพบว่า มีปริมาณของ An ค่อนข้างมากซึ่งเป็น PAHs ชนิดหนึ่งที่มักจะพบจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ แต่ค่าความเข้มข้นในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนนั้นเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.005 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) แทบจะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย นั่นคือ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} มาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน และมีความเป็นไปได้ที่มวลอากาศบริเวณชั้นบนจะมีการปนเปื้อนจากแหล่งกำเนิดอื่นนอกเหนือจากแหล่งกำเนิดบริเวณดังกล่าว

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ และ ความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ -0.098 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า r ซึ่ง คำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ TSP ซึ่งมีค่า เท่ากับ -0.327 จะเห็นว่าค่า r ของ PAHs ใน PM₁₀ ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนนี้มีค่าน้อยกว่า PAHs ใน TSP ซึ่งค่าที่ได้จะเห็นว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ และปริมาณของ PM₁₀ ในชั้น บนนี้แทบจะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของ PAHs และชนิดของ PAHs ทั้ง 3 ระดับความสูง เพื่อหาแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs พบว่า แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน TSP ส่วนใหญ่ คือ การเผาไหม้ของชีวมวล และการจราจร ในขณะที่แหล่งกำเนิดของ PAHs ใน PM₁₀ ส่วนใหญ่ คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) ในทั้ง 3 ระดับความสูง ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน นั่นคือ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM₁₀ ในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน หรือคล้ายกัน ซึ่งแหล่งกำเนิดที่ สำคัญที่สุดก็คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจรนั่นเอง

ตารางที่ 20 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ พื้นที่ศึกษาจังหวัด กรุงเทพมหานคร

เวลา	ชั้นล่าง		ชั้นกลาง		ชั้นบน	
	PAHs/TSP	PAHs/PM ₁₀	PAHs/TSP	PAHs/PM ₁₀	PAHs/TSP	PAHs/PM ₁₀
21.00-03.00	0.69	0.99	0.29	1.01	0.35	0.41
03.00-09.00	0.53	1.21	0.40	0.69	1.05	0.56
09.00-15.00	0.35	0.68	0.17	0.47	0.28	0.31
15.00-21.00	0.28	0.84	0.20	0.77	0.88	0.30
ค่าเฉลี่ย	0.46	0.93	0.27	0.73	0.64	0.40

ตารางที่ 20 (ต่อ)

หมายเหตุ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP: PAHs/TSP,
 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀: PAHs/PM₁₀

จากการหาสัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ ทั้งสามระดับความสูงในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร พบว่า สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในชั้นบนมีค่าเท่ากับ 0.64 และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 0.93 (ตารางที่ 20)

ตารางที่ 21 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) และความเข้มข้นของ PAH ใน TSP (ng/m³) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
21.00-03.00	1.38	2.43	1.30
03.00-09.00	1.96	1.58	0.51
09.00-15.00	1.61	2.46	1.12
15.00-21.00	2.23	3.17	0.32
ค่าเฉลี่ย	1.80	2.41	0.81

จากตารางที่ 21 พบว่า สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในชั้นกลาง มีค่าเท่ากับ 2.41 รองลงมาคือชั้นล่าง มีค่าเท่ากับ 1.80 และชั้นบน มีค่าเท่ากับ 0.81 จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) ทั้ง 3 ระดับชั้น พบว่า PAHs ส่วนใหญ่อยู่ใน PM₁₀ มากกว่า TSP เมื่อทำการเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P เพื่อเปรียบเทียบความเสถียรของ PAHs ใน TSP และ PM₁₀ พบว่า PAHs ใน PM₁₀ มีความเสถียรมากกว่า PAHs ใน TSP เนื่องจาก PM₁₀ จัดเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า TSP ส่งผลให้โอกาสในการเปลี่ยนแปลงของ

PAHs ใน PM₁₀ มีน้อยกว่า PAHs ใน TSP โดยค่าอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P ของ PAHs ใน TSP ที่คำนวณได้ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าดังต่อไปนี้ 0.35, 0.39 และ 0.49 ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P ของ PAHs ใน PM₁₀ ที่คำนวณได้ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าดังต่อไปนี้ 0.85, 0.47 และ 0.68 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs ที่พบมากในพื้นที่ศึกษาดังกล่าว (ตารางที่ 22) พบว่า ชนิดของ PAHs ใน TSP ที่พบส่วนใหญ่ มีทั้ง PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ และกลุ่มมวลโมเลกุลสูง เช่น Phe Fluo และ Chry ซึ่งจัดอยู่ใน PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ B[b]F และ Ind ซึ่งจัดอยู่ใน PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง ส่วนชนิดของ PAHs ใน PM₁₀ ที่พบส่วนใหญ่ จะเป็น PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง เช่น B[g,h,i]P B[b]F และ B[e]P เป็นต้น

ตารางที่ 22 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ ของ PAHs แต่ละชนิด พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

PAHs	ชั้นล่าง		ชั้นกลาง		ชั้นบน	
	PAHs(TSP)/ TSP	PAHs(PM ₁₀)/ PM ₁₀	PAHs(TSP)/ TSP	PAHs(PM ₁₀)/ PM ₁₀	PAHs(TSP)/ TSP	PAHs(PM ₁₀)/ PM ₁₀
Phe	0.024	0.065	0.016	0.036	0.037	0.026
An	0.008	0.168	ND	0.041	0.016	0.123
Fluo	0.056	0.064	0.041	0.030	0.088	0.019
Pyr	0.078	0.083	0.044	0.032	0.087	0.016
11H-B[a]F	0.016	0.078	0.007	0.028	0.014	0.012
11H-B[b]F	0.005	0.028	0.004	0.006	0.009	0.004
B[a]A	0.022	0.032	0.012	0.034	0.025	0.009
Chry	0.061	0.044	0.036	0.049	0.076	0.015
B[b]F	0.043	0.081	0.052	0.225	0.068	0.066
B[k]F	0.007	0.019	0.007	0.029	0.013	0.014
B[e]P	0.028	0.070	0.031	0.119	0.034	0.033
B[a]P	0.010	0.059	0.012	0.057	0.017	0.022
Ind	0.060	0.054	ND	0.000	0.087	0.038
D[a,h]A	0.011	0.059	ND	0.105	0.022	0.005
B[g,h,i]P	0.052	0.118	ND	0.015	0.057	0.061

ตารางที่ 22 (ต่อ)

หมายเหตุ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP: PAHs(TSP)/TSP,
 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀: PAHs(PM₁₀)/PM₁₀

3.3 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

3.3.1 ชั้นล่าง

จากการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) บริเวณชั้นดาดฟ้าอาคารจอดรถ โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน (ความสูงประมาณ 12 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ มีค่าระหว่าง N.D. – 4.32 ng/m³ (สุรรัตน์ และคณะ, 2550; ทิตา, 2551) เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า PAHs ใน PM₁₀ มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.27±0.83 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00–21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.29±0.23 ng/m³ กล่าวคือ มีค่าสูงในช่วงเวลา กลางคืนและมีค่าต่ำในช่วงเวลากลางวัน เช่นเดียวกับ PAHs ใน TSP เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[g,h,i]P มีค่าเท่ากับ 0.83 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ แหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ และพบว่า อัตราส่วน ระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) มีค่าเท่ากับ 0.54 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญอีกชนิดของ PAHs ใน PM₁₀ ในชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล (ตารางที่ 7) ในขณะที่ผลจากการคำนวณอัตราส่วนของ PAHs ใน TSP พบว่าตรงกับค่าการเผาไหม้ของชีวมวลเช่นกัน และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs ใน TSP พบว่ามี Pyr (10.93 %) เป็นจำนวนมากโดยส่วนใหญ่พบว่าเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของ เครื่องยนต์ (Lim *et al*, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.463 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้น ของ PAHs ใน TSP (ng/m³) และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) มีความสัมพันธ์กัน โดยมี แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM₁₀ ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง คือ การเผาไหม้ของชีวมวล

เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} และ ความเข้มข้นของ PM_{10} โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.715 โดยมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า r ซึ่งคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ TSP ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.273 จะเห็นว่าค่า r ของ PAHs ใน PM_{10} มีค่ามากกว่า PAHs ใน TSP กล่าวคือ PAHs ในชั้นล่างนี้มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} มากกว่า TSP ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Guo *et al.* (2003) ซึ่งพบว่า PAHs มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} มากกว่า TSP

3.3.2 ชั้นกลาง

จากการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) บริเวณชั้นดาดฟ้า โรงแรมอิมพีเรียลแม่ปิ้ง (ความสูงประมาณ 52 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีค่าระหว่าง N.D. – 6.20 ng/m^3 (สุรรัตน์ และคณะ, 2550; ทิตา, 2551) เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นกลางมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า PAHs ใน PM_{10} มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $1.59 \pm 0.40 ng/m^3$ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00–21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ $0.29 \pm 0.19 ng/m^3$ เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[g,h,i]P มีค่าเท่ากับ 0.52 ซึ่งมีค่าตรงกับแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ และพบว่า อัตราส่วนระหว่าง Ind/(Ind + B[g,h,i]P) มีค่าเท่ากับ 0.57 แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญอีกชนิดของ PAHs ใน PM_{10} ในชั้นนี้คือ การเผาไหม้ของชีวมวล (ตารางที่ 7) ในขณะที่ผลจากการคำนวณอัตราส่วนของ PAHs ใน TSP พบว่าตรงกับค่าการเผาไหม้ของชีวมวลเช่นกัน และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs ใน TSP พบว่ามี B[g,h,i]P (13.37 %) เป็นจำนวนมากโดยส่วนใหญ่พบที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al.*, 1999) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.125 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างน้อย โดยมี

แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM₁₀ ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ และความเข้มข้นของ PM₁₀ โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.050 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า r ซึ่งคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ TSP ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.171 จะเห็นว่าค่า r ของ PAHs ใน PM₁₀ มีค่ามากกว่า PAHs ใน TSP กล่าวคือ PAHs ในชั้นกลางนี้มีความสัมพันธ์กับ PM₁₀ มากกว่า TSP ซึ่งสอดคล้องกับชั้นล่าง แต่ในชั้นนี้พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ และปริมาณของ PM₁₀ ในชั้นนี้แทบจะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

3.3.3 ชั้นบน

จากการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) บริเวณชั้นดาดฟ้า โรงแรมเซนทาราดวงตะวัน (ความสูงประมาณ 152 เมตรจากระดับพื้นดิน) ระหว่างวันที่ 25 - 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ มีค่าระหว่าง N.D. – 5.34 ng/m³ (สุร์คัน และคณะ, 2550; ทิตา, 2551) เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ในระยะเวลา 3 วัน ณ จุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมาเฉลี่ย เพื่อแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงในรอบวัน พบว่า PAHs ใน PM₁₀ มีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 03.00-09.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 1.71±1.30 ng/m³ และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลา 15.00–21.00 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 0.33±0.26 ng/m³ เมื่อนำความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ มาเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[g,h,i]P มีค่าเท่ากับ 0.91 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่มาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (ตารางที่ 7) ในขณะที่ผลจากการคำนวณอัตราส่วนของ PAHs ใน TSP แสดงว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน TSP ในชั้นนี้มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs ใน TSP พบว่ามี Pyr (17.73%) และ Fluo (16.37%) เป็นจำนวนมากโดยส่วนใหญ่พบว่าเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ (Lim *et al*, 1999) ในขณะที่การหาความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.271 แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้น

ของ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างน้อย โดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน หรือคล้ายกัน ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่สำคัญอันก่อให้เกิด PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่บริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ และมีความเป็นไปได้ว่ามวลอากาศในชั้นบนนี้ได้รับอิทธิพลมาจากมวลอากาศในชั้นล่าง ส่งผลให้ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} ในจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนนี้มีความสัมพันธ์กัน แต่เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามระดับความสูงจึงส่งผลให้เห็นถึงความแตกต่างของแหล่งกำเนิดของ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10}

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} และความเข้มข้นของ PM_{10} โดยวิเคราะห์ทางสถิติคำนวณแบบ Pearson Correlation พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.326 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่า r ซึ่งคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ TSP ซึ่งมีค่าเท่ากับ -0.147 จะเห็นว่าค่า r ของ PAHs ใน PM_{10} มีค่ามากกว่า PAHs ใน TSP กล่าวคือ PAHs ในชั้นบนนี้มีความสัมพันธ์กับ PM_{10} มากกว่า TSP ซึ่งสอดคล้องกับจุดเก็บตัวอย่างบริเวณชั้นล่าง และชั้นกลาง

เมื่อพิจารณาอัตราส่วนทั้ง 3 ระดับความสูง ซึ่งได้จากการคำนวณเพื่อหาแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs และจากการพิจารณาชนิดของ PAHs พบว่า แหล่งกำเนิดของ PAHs ใน TSP ส่วนใหญ่ มีแหล่งกำเนิดที่สำคัญคือ การเผาไหม้ของชีวมวล ในขณะที่แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน PM_{10} คือ การเผาไหม้ของชีวมวล และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) ในทั้ง 3 ระดับความสูง ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน นั่นคือ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน หรือคล้ายกัน ซึ่งแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่สุดก็คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจรนั่นเอง

ตารางที่ 23 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

เวลา	ชั้นล่าง		ชั้นกลาง		ชั้นบน	
	PAHs/TSP	PAHs/ PM_{10}	PAHs/TSP	PAHs/ PM_{10}	PAHs/TSP	PAHs/ PM_{10}
21.00-03.00	1.26	1.63	2.21	0.88	1.13	0.94
03.00-09.00	1.97	1.90	1.66	1.33	1.44	1.73
09.00-15.00	0.77	0.68	0.35	0.37	0.51	0.27
15.00-21.00	0.45	0.53	0.27	0.18	0.55	0.38
ค่าเฉลี่ย	1.11	1.18	1.12	0.69	0.91	0.83

หมายเหตุ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP: PAHs/TSP, สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} : PAHs/ PM_{10}

จากการหาสัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} ทั้งสามระดับความสูงในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในชั้นกลาง มีค่าเท่ากับ 1.12 และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} ต่อความเข้มข้นของ PM_{10} มีค่าเฉลี่ยสูงสุดในชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 1.18 (ตารางที่ 23)

ตารางที่ 24 สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
21.00-03.00	0.78	2.47	1.02
03.00-09.00	1.10	1.24	0.78
09.00-15.00	1.30	1.00	1.91
15.00-21.00	0.96	2.06	1.82
ค่าเฉลี่ย	1.03	1.69	1.38

จากตารางที่ 24 พบว่า สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) ของพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในชั้นกลาง มีค่าเท่ากับ 1.69 รองลงมาคือชั้นบน มีค่าเท่ากับ 1.38 และชั้นล่าง มีค่าเท่ากับ 1.03 จากการพิจารณาค่าเฉลี่ยของสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} (ng/m^3) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m^3) ทั้ง 3 ระดับชั้น พบว่า PAHs ส่วนใหญ่อยู่ใน PM_{10} มากกว่า TSP เมื่อทำการเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P เพื่อเปรียบเทียบความเสถียรของ PAHs ใน TSP และ PM_{10} พบว่า PAHs ใน PM_{10} มีความเสถียรมากกว่า PAHs ใน TSP เนื่องจาก PM_{10} จัดเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า TSP ส่งผลให้โอกาสในการเปลี่ยนแปลงของ PAHs ใน PM_{10} มีน้อยกว่า PAHs ใน TSP โดยค่าอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P ของ PAHs ใน TSP ที่คำนวณได้ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าดังต่อไปนี้ 0.56 0.54 และ 0.78 ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P ของ PAHs ใน PM_{10} ที่คำนวณได้ในชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบน มีค่าดังต่อไปนี้ 1.26 0.95 และ 0.78 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs ที่พบมากในพื้นที่ศึกษาดังกล่าว (ตารางที่ 25) พบว่า ชนิดของ PAHs ใน TSP ที่พบส่วนใหญ่ มีทั้ง PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ และกลุ่มมวลโมเลกุลสูง เช่น Pyr B[a]A Chry ซึ่งจัดอยู่ใน PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ B[b]F และ Ind ซึ่งจัดอยู่ใน PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง ส่วนชนิดของ PAHs ใน PM_{10} ที่พบส่วนใหญ่ จะเป็น PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง เช่น Ind B[g,h,i]P B[e]P และ B[a]P เป็นต้น

ตารางที่ 25 สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP และ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀ ของ PAHs แต่ละชนิด พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

PAHs	ชั้นล่าง		ชั้นกลาง		ชั้นบน	
	PAHs(TSP)/ TSP	PAHs(PM ₁₀)/ PM ₁₀	PAHs(TSP)/ TSP	PAHs(PM ₁₀)/ PM ₁₀	PAHs(TSP)/ TSP	PAHs(PM ₁₀)/ PM ₁₀
Phe	0.026	0.037	0.015	0.034	0.038	0.028
An	0.010	0.006	0.005	0.027	0.024	0.010
Fluo	0.109	0.071	0.058	0.040	0.144	0.035
Pyr	0.123	0.105	0.067	0.059	0.156	0.068
11H-B[a]F	0.018	0.036	0.009	0.020	0.019	0.020
11H-B[b]F	0.018	0.015	0.009	0.011	0.015	0.014
B[a]A	0.114	0.086	0.050	0.070	0.076	0.197
Chry	0.177	0.100	0.100	0.081	0.129	0.130
B[b]F	0.130	0.190	0.142	0.206	0.035	0.179
B[k]F	0.022	0.032	0.031	0.029	0.012	0.056
B[e]P	0.071	0.107	0.106	0.113	0.040	0.137
B[a]P	0.040	0.101	0.057	0.084	0.031	0.172
Ind	0.157	0.207	0.213	0.213	0.094	0.158
D[a,h]A	ND	ND	0.038	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	0.106	0.124	0.139	0.164	0.066	0.187

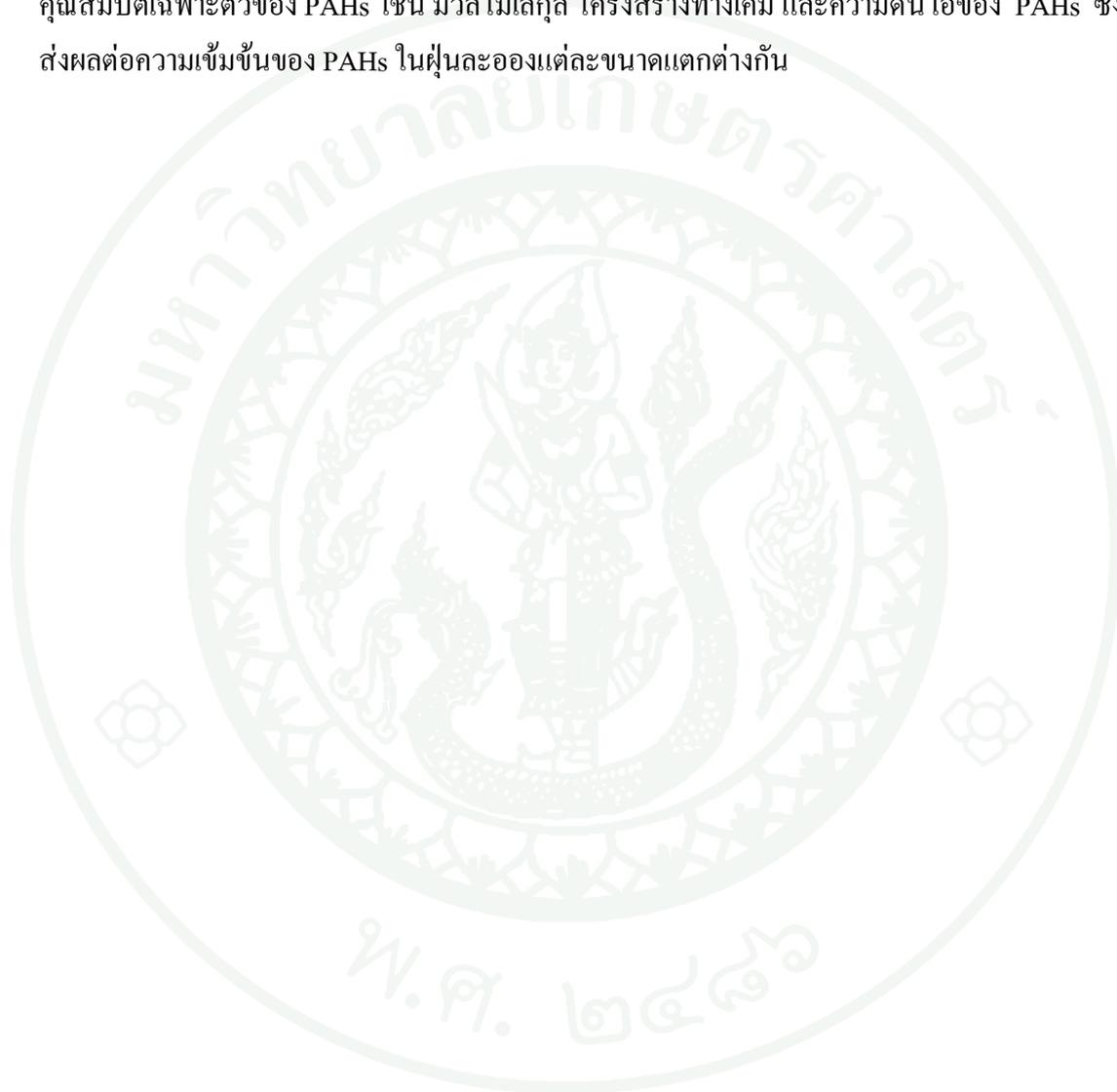
หมายเหตุ สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ต่อความเข้มข้นของ TSP: PAHs(TSP)/TSP, สัดส่วนความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ต่อความเข้มข้นของ PM₁₀: PAHs(PM₁₀)/PM₁₀

จากการพิจารณาความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ (ng/m³) และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP (ng/m³) ทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา พบว่า แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในรอบวันของ PAHs ใน PM₁₀ และ PAHs ใน TSP ทั้ง 3 พื้นที่ศึกษา มีลักษณะที่คล้ายกัน คือ ค่าความเข้มข้นของ PAHs ทั้ง 2 ชนิดมีค่าความเข้มข้นสูงในช่วงเวลากลางคืน จากนั้นค่อยๆลดลงในช่วงเวลากลางวัน และค่อยๆเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงเวลากลางคืน สาเหตุที่ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในช่วงเวลากลางคืน

เนื่องจากในช่วงเวลากลางวัน โลกจะได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นผิวโลก ทำให้พื้นผิวของโลกร้อนขึ้น อุณหภูมิด้านล่างจะร้อนกว่าด้านบน มวลอากาศร้อนจึงเคลื่อนตัวขึ้นไปในแนวตั้งแล้วขยายตัวออกตามกระบวนการ Adiabatic Cooling Process ทำให้บรรยากาศอยู่ในสภาวะไม่คงตัว (Unstable Condition) ชั้นของอุณหภูมิผกผันจึงสูงขึ้น ดังนั้น ระดับความสูงผสมจึงมีค่ามากขึ้น ทำให้มีปริมาตรของอากาศในการผสมกับ PAHs ในชั้นบรรยากาศมีมากขึ้น ในขณะที่เวลากลางคืนความร้อนจะถูกเก็บสะสมไว้ในพื้นดิน สิ่งปลูกสร้างต่างๆ และก้อนเมฆ จากนั้นจะแผ่รังสีความร้อนออกมา แต่อุณหภูมิของพื้นดินมีการคายความร้อนได้ดีกว่า ทำให้อุณหภูมิของพื้นดินลดลงได้เร็วกว่าอุณหภูมิของบรรยากาศ และการที่มีเมฆช่วยในการแผ่รังสีความร้อนออกมาทำให้มวลอากาศร้อนเรียงตัวเป็นแนวอยู่ด้านบน เหตุการณ์เช่นนี้ทำให้บรรยากาศอยู่ในสภาพอุณหภูมิผกผันคือ มวลอากาศไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง การไหลของมวลอากาศมีน้อยกว่าในช่วงเวลากลางวัน เมื่ออากาศนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง จึงทำให้ชั้นอุณหภูมิผกผันต่ำลงมา ระดับความสูงผสมจึงลดลงมาด้วย ทำให้ PAHs มีการสะสมตัวมากขึ้นในชั้นของบรรยากาศ ประกอบกับ PAHs สามารถเกิดปฏิกิริยา Photochemical Degradation ด้วยแสง ซึ่งพบว่าการสลายตัวของ PAHs จะเร็วขึ้นเมื่อมีแสงแดดมาก (IPCS, 1998) เมื่อพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่งพบว่า PAHs ใน PM₁₀ ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจร ในขณะที่ PAHs ใน TSP ส่วนใหญ่พบว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เมื่อลองพิจารณาในแต่ละพื้นที่ศึกษา พบว่าพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) มีแหล่งกำเนิดของ PAHs ใน TSP ส่วนใหญ่ คือ การเผาไหม้ของชีวมวล ในขณะที่แหล่งกำเนิดของ PAHs ใน PM₁₀ ส่วนใหญ่คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจร ยกเว้นในชั้นบนซึ่งพบว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของชีวมวลซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ในชั้นบน ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ มีแหล่งกำเนิดชนิดเดียวกัน หรือคล้ายกัน ในขณะที่ชั้นล่าง และชั้นกลาง มีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน ส่วนพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร พบว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน TSP ส่วนใหญ่คือ การเผาไหม้ของชีวมวล และการจราจรในขณะที่แหล่งกำเนิดของ PAHs ใน PM₁₀ ส่วนใหญ่คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ในทั้ง 3 ระดับความสูง ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน นั่นคือ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM₁₀ ในพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานครมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน หรือคล้ายกัน ซึ่งแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่สุดก็คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจรนั่นเอง และพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ พบว่าแหล่งกำเนิดของ PAHs ใน TSP ส่วนใหญ่ มีแหล่งกำเนิดที่สำคัญคือ การเผา

ไหม้ของชีวมวล ในขณะที่แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน PM₁₀ คือ การเผาไหม้ของชีวมวล และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจร ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ ในทั้ง 3 ระดับความสูง ซึ่งพบว่ามีความสัมพันธ์ไปในทางเดียวกัน นั่นคือ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM₁₀ ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มาจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน หรือคล้ายกัน ซึ่งแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่สุดก็คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือการจราจรนั่นเอง เมื่อทำการเทียบอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P เพื่อเปรียบเทียบความเสถียรของ PAHs ใน TSP และ PM₁₀ พบว่า PAHs ใน PM₁₀ มีความเสถียรมากกว่า PAHs ใน TSP เนื่องจาก PM₁₀ จัดเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า TSP ส่งผลให้โอกาสในการเปลี่ยนรูปของ PAHs ใน PM₁₀ มีน้อยกว่า PAHs ใน TSP ซึ่งมีผลต่อความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ กล่าวคือ จะพบความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ มากกว่าใน TSP ดังจะเห็นได้ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร และพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ในขณะที่พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) กลับพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ เนื่องจาก แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ไม่ใช่การจราจรเป็นหลัก ซึ่งการจราจรก่อให้เกิด ฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่ และมีความเป็นไปได้ที่จะได้รับอิทธิพลของแหล่งกำเนิดระยะไกล (Long Rang Transport) เช่น โรงงานอุตสาหกรรม หรืออนุภาคฝุ่นที่พัดพามาจากทะเล เป็นต้น จึงส่งผลให้ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ และเมื่อพิจารณาถึงชนิดของ PAHs ในฝุ่นทั้ง 2 ชนิด พบว่าในฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ PM₁₀ นั้นพบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงมากกว่า PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ โดยพบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงใน PM₁₀ ถึงร้อยละ 69 ในขณะที่พบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำเพียงร้อยละ 31 ในขณะที่ในฝุ่นละอองขนาดใหญ่ หรือ TSP นั้น สามารถพบ PAHs ทั้ง 2 กลุ่มในร้อยละที่ใกล้เคียงกัน คือ พบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงใน TSP ร้อยละ 53 และพบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำใน TSP ร้อยละ 47 โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guo *et al.* (2003) ซึ่งพบว่าในฝุ่นขนาดเล็กมักจะตรวจพบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง มากกว่า PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ เนื่องจาก PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงมีโครงสร้างที่ค่อนข้างซับซ้อนทำให้ต้องการพื้นที่ผิวในการเกาะจับมากกว่า PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ กล่าวโดยสรุปคือ ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และ ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM₁₀ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละระดับชั้นและในแต่ละช่วงเวลา โดยกระบวนการที่สำคัญที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนดังกล่าวคือ การย่อยสลาย (Degradation) โดยปฏิกิริยาทางเคมีกับมลสารในชั้นบรรยากาศ (Hetrogeneous) เช่น โอโซน (O₃), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), ซัลเฟอร์

ออกไซด์ (SO_x) และ อนุมูลอิสระ OH (OH) (Janet and Roger, 2003; Jingchun *et al.*, 2005; Panther *et al.*, 1999) และการทำปฏิกิริยากับแสง (Photochemical Degradation) (IPCS, 1998) นอกจากนี้ ปัจจัยในเรื่องของความคงตัวในบรรยากาศที่แตกต่างกันของ PAHs แต่ละชนิดก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่กำหนดชนิด ปริมาณ และการกระจายของ PAHs ในบรรยากาศ (Baek *et al.*, 1991) ประกอบกับ คุณสมบัติเฉพาะตัวของ PAHs เช่น มวลโมเลกุล โครงสร้างทางเคมี และความดันไอของ PAHs ซึ่งส่งผลต่อความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองแต่ละขนาดแตกต่างกัน



สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

สำหรับการศึกษาศาสตร์ประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถสรุปการวิจัยตามประเด็นที่ศึกษาดังนี้ การกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมตามระดับความสูง ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) กับปริมาณของฝุ่นละอองรวม (TSP) และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. การกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวมตามระดับความสูง

1.1 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

ในช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) พบว่าสภาพอากาศมีฝนตก ลมแรง และความชื้นสูง ส่งผลให้ไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ตามระดับความสูง และความแตกต่างของความเข้มข้น PAHs ในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืนได้อย่างชัดเจน โดยพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs ในชั้นกลางมีค่าต่ำสุด เนื่องจากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างดังกล่าวมีความเข้มข้นของก๊าซโอโซนสูงสุด สอดคล้องกับสัดส่วนของ B(a)P/B(e)P ซึ่งบ่งชี้ถึงความเสถียรของ PAHs พบว่าชั้นกลางมีความเสถียรน้อยที่สุด และมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมมากที่สุดในชั้นบน เนื่องจากความเข้มข้นของก๊าซ O_3 ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนมีความเข้มข้นต่ำ และมีความเป็นไปได้ที่มวลอากาศจากชั้นล่างลอยตัวขึ้นสู่ชั้นบน รวมถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองรวมซึ่งมาจากการเผาไหม้ชีวมวล หรือพัดมาจากทะเลตามหลักการแพร่กระจายมลพิษในระยะไกล (Long Range Transport) โดยเทียบเป็นสัดส่วนกับชั้นล่างมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.20 เท่า ชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุดได้แก่ Phe Fluo Pyr Ind D[a,h]A และ B[g,h,i]P จากการพิจารณาสัดส่วน และชนิดของ PAHs พบว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในพื้นที่ศึกษา คือ การเผาไหม้ของชีวมวล เช่น หมอกควันที่มากจากการเผาป่า หรือการเผาหญ้าเพื่อ

การเกษตร และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ โดยกลไกสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs คือ การชะล้างโดยน้ำฝน (Wet Deposition) การย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) และการทำปฏิกิริยาระหว่างวิภาค (Hetrogeneous)

1.2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร มีแหล่งกำเนิดของ PAHs ที่สำคัญคือ จราจร ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่อยู่ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง และในช่วงเวลาของการเก็บตัวอย่างนั้นสภาพอากาศปลอดโปร่งไม่มีปัจจัยอื่น เช่น ฝน เข้ามารบกวน ทำให้สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs ตามระดับความสูง และความแตกต่างของความเข้มข้น PAHs ในช่วงเวลากลางวัน และกลางคืนได้อย่างชัดเจน พบว่า PAHs มีความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน และมีความเข้มข้นต่ำสุดในช่วงเวลากลางวัน โดยมีค่าความเข้มข้น PAHs ต่ำสุดในชั้นกลางซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซโอโซนในชั้นกลางที่พบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงสุด และมีค่าความเข้มข้น PAHs สูงสุดในชั้นบนโดยเทียบเป็นสัดส่วนกับชั้นล่างมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.07 เท่า ชนิดของ PAHs ที่พบมากที่สุดได้แก่ Phe, Fluo และ Pyr จากการพิจารณาสัดส่วน และชนิดของ PAHs พบว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในพื้นที่ศึกษา คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ และการเผาไหม้ของชีวมวล เช่น การเผาหญ้า หรือ กลุ่มหมอกควันที่เกิดจากไฟไหม้ป่า เป็นต้น และพบว่าสัดส่วนของ B[a]P/B[e]P ซึ่งสามารถบอกถึงความเสถียรของ PAHs นั้นมีค่ามากที่สุดที่ชั้นบน สอดคล้องกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงๆตามระดับความสูง โดยกลไกสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs คือ การย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) และการทำปฏิกิริยาระหว่างวิภาค (Hetrogeneous)

1.3 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

จากการศึกษาพบว่าพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มีระดับความเข้มข้นของ B[a]P ซึ่งเป็น PAHs ที่มีศักยภาพในการก่อมะเร็งสูงที่สุดในทั้ง 3 ระดับชั้น พบว่ามีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานสากล (B[a]P = 0.25 ng/m³) ซึ่งกำหนดโดย UK-EPAQS (United Kingdom-Expert Panel on Air Quality Standard) และมีความเข้มข้นที่สูงกว่าในพื้นที่ศึกษาอื่นๆ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว ความสูงผสมของพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ก่ดต่ำลงมาจากระดับ 1599 เมตร เหลือเพียง 500 เมตร (สุรคันธ์ และคณะ, 2550) ประกอบกับกิจกรรมอันก่อให้เกิด PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่มีมากกว่า

ในพื้นที่ศึกษาอื่นๆ อันได้แก่ การเผาไหม้ของชีวมวล การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ หรือ การจราจร โดยเฉพาะการเผาไหม้ของชีวมวลซึ่งมักจะก่อให้เกิดปัญหาหมอกควันขึ้นทุกปีในช่วงฤดูหนาวของพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งปัญหาดังกล่าวสอดคล้องกับสัดส่วนของ PAHs และ ชนิดของ PAHs ในการศึกษา จะเห็นได้ว่าชนิดของ PAHs ที่พบมากได้แก่ Ind Pyr B[a]A Chry และ B[b]F และพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ในชั้นบนมีค่าต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของก๊าซ O₃ ในชั้นบนมีค่าความเข้มข้นสูงที่สุด และมีค่าสูงสุดในชั้นกลาง โดยเทียบเป็นสัดส่วนจากชั้นล่างมีค่าเท่ากับ 1.06 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่า PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามระดับความสูง ในขณะที่ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำๆ มีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูงที่เพิ่มขึ้น โดยกลไกสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs คือ การย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) และการทำปฏิกิริยาระหว่างวัฏภาค (Hetrogeneous)

แหล่งกำเนิดของ PAHs ในฝุ่นละอองรวมส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของชีวมวล เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดใหญ่มีส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของชีวมวล การฟุ้งกระจายของดิน ทรายที่พื้นผิวถนน และสถานที่ก่อสร้าง รวมถึงอนุภาคฝุ่นละอองที่พัดพามาจากทะเล

2. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) กับปริมาณของฝุ่นละอองรวม (TSP)

2.1 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

จากการศึกษาพบว่า ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ซึ่งในช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างนั้นมีฝนตก ลมแรง และความชื้นสูง ส่งผลให้ไม่สามารถบอกความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP ได้อย่างชัดเจน เห็นได้จากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติซึ่งมีค่าน้อยมากในทั้ง 3 ระดับความสูง โดยในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง และชั้นบน พบว่าสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และ ความเข้มข้นของ TSP เพิ่มขึ้นจากชั้นล่าง 1 เท่า

2.2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร พบว่า สภาพอากาศปลอดโปร่ง ไม่มีฝน ประกอบกับแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs อยู่ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งก็คือการจราจร ทำให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ได้อย่างชัดเจน สังเกตได้จากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติซึ่งมีค่ามากที่สุด ใน 3 พื้นที่ที่ทำการศึกษา โดยพบว่า ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง และชั้นกลางนั้น ความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างพบว่าความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ส่วนบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบน พบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม หรือแปรผกผันกัน โดยในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ลดลงจากชั้นล่าง 1 เท่า และในชั้นบนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพิ่มขึ้นจากชั้นล่าง 1 เท่า

2.3 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า ความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีความสัมพันธ์ที่คล้ายกันกับพื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร กล่าวคือ ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างจะพบว่า ความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน และมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด ส่วนบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นกลาง และชั้นบน จะพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม หรือแปรผกผันกัน โดยพบว่า ในชั้นกลาง สัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP เพิ่มขึ้นจากชั้นล่าง 1 เท่า และในชั้นบนสัดส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ลดลงจากชั้นล่าง 1 เท่า

จากการศึกษาพบว่า ในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างจะมีค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP ไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าความสัมพันธ์มากที่สุด และพบว่าในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นบนนั้น ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP จะมีแนวโน้มไปในทิศทางตรงกันข้าม หรือแปรผกผันกัน เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างเป็นจุดเก็บตัวอย่างซึ่งอยู่ใกล้กับแหล่งกำเนิดในพื้นที่ศึกษามากที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PAHs และความเข้มข้นของ TSP มีค่าค่อนข้างน้อยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Halsall *et al.*(1994) และ Panther *et al.*(1999) เห็นได้ว่าการ

เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ TSP นั้นมีแนวโน้มลดลงตามระดับความสูง ในขณะที่ความเข้มข้นของ PAHs มีการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของ TSP สังเกตได้จากค่าความสัมพันธ์ทางสถิติในทุกพื้นที่ศึกษา สาเหตุสำคัญเนื่องมาจากความเข้มข้นของ PAHs มีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละระดับชั้น และในแต่ละช่วงเวลาโดยสามารถเห็นได้อย่างชัดเจน โดยกลไกสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs คือ ชนิดของ PAHs การย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) และการทำปฏิกิริยาระหว่างวัฏภาค (Hetrogeneous)

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10})

3.1 พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} เนื่องจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่) ไม่ใช่การจราจรเป็นหลัก ซึ่งการจราจรก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่าขนาดใหญ่ และมีความเป็นไปได้ที่จะได้รับอิทธิพลของแหล่งกำเนิดระยะไกล (Long Rang Transport) เช่น อนุภาคฝุ่นที่พัดพามาจากทะเล เป็นต้น แหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน TSP คือ การเผาไหม้ของชีวมวล ในขณะที่แหล่งกำเนิดของ PAHs ใน PM_{10} ส่วนใหญ่คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ยกเว้นในชั้นบนซึ่งพบว่าการเผาไหม้ของชีวมวล

3.2 พื้นที่ศึกษากรุงเทพมหานคร

จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีมากกว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP เนื่องจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} คือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ซึ่งการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์นั้นก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กมากกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่

3.3 พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} มีมากกว่าความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP เนื่องจากแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ใน TSP และ PAHs ใน PM_{10} คือ การเผาไหม้ของชีวมวล และการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์

จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} และความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงในรอบวันที่คล้ายกัน คือ มีค่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลากลางคืน และมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลากลางวัน PAHs ใน PM_{10} มีแหล่งที่สำคัญคือ การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของเครื่องยนต์ ในขณะที่ PAHs ใน TSP มีแหล่งกำเนิดที่สำคัญคือ การเผาไหม้ของชีวมวล จากการพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง B[a]P/B[e]P พบว่า PAHs ใน PM_{10} มีความเสถียรมากกว่า PAHs ใน TSP เนื่องจาก PM_{10} เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กจึงมีโครงสร้างที่ซับซ้อนกว่าในการเข้าไปจับกับอนุภาคของฝุ่นละออง และพบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูง (ร้อยละ 69) ใน PM_{10} มากกว่า PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำ (ร้อยละ 31) ในขณะที่ TSP นั้นสามารถพบ PAHs ทั้ง 2 กลุ่มในร้อยละที่ใกล้เคียงกันโดยพบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลสูงใน TSP ร้อยละ 53 และพบ PAHs กลุ่มมวลโมเลกุลต่ำใน TSP ร้อยละ 47 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Guo *et al.* (2003) กล่าวโดยสรุปคือ ความเข้มข้นของ PAHs ใน TSP และความเข้มข้นของ PAHs ใน PM_{10} นั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละระดับชั้นและในแต่ละช่วงเวลา โดยกลไกสำคัญในการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PAHs คือ การย่อยสลายด้วยแสง (Photodegradation) และการทำปฏิกิริยาระหว่างวัฏภาค (Hetrogeneous) ประกอบกับคุณสมบัติเฉพาะตัวของ PAHs เช่น มวลโมเลกุล โครงสร้างทางเคมี และความดันไอของ PAHs ซึ่งส่งผลต่อความเข้มข้นของ PAHs ในฝุ่นละอองแต่ละขนาดแตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่ง พบว่า ความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมบริเวณจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่างมีแนวโน้มสูงกว่าในระดับความสูงอื่นๆ ที่ทำการตรวจวัด อันเป็นผลมาจากสิ่งก่อสร้างบนพื้นผิว (Roughness) ในบริเวณชั้นล่าง ส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนของอากาศที่ทำให้การเคลื่อนที่ของอากาศในบริเวณนั้นๆ ไม่มีการกระจายตัว จนเป็นผลทำให้เกิดการสะสมตัวของมลสารได้ในที่สุด ดังนั้น ในการสร้างสิ่งก่อสร้างต่างๆ จึงควรสร้างอย่างเป็นระเบียบเพื่อให้มีแนวช่องลมให้มลสารสามารถกระจายตัวได้ดี

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2543. **พีเอช (พอลิไซคลิก อะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน)**. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- _____. 2549. **สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ปี 2549**. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- _____. 2550. **สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ปี 2550**. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- _____. 2551. **แผนปฏิบัติการแก้ไขปัญหาหมอกควันและไฟป่า ปี 2551-2554**. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- เกษม จันทร์แก้ว. 2522. **การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินป่าดิบเขา ดอยปุย เชียงใหม่**. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- คนัย จิตธรรม. 2530. **ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอโซน ไอโตรคาร์บอน ไนโตรเจน ออกไซด์กับการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ในกรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธิดา อินทเสน. 2551. **ลักษณะของชั้นบรรยากาศที่มีผลต่อการกระจายตัวของก๊าซไอโซน ออกไซด์ของไนโตรเจน และ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ตามแนวระดับความสูง และการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในเขตเมือง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นิตยา มหาผล. 2533. **เอกสารการสอนชุดวิชากฎหมายสิ่งแวดล้อม หน่วยที่ 8 สาขาวิชานิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช**. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช, กรุงเทพฯ.

ปาจารย์ ทองสนิท. 2545. สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองแต่ละขนาดใน
อากาศกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

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

วรารุช เสือดี. 2542. การประเมินผลกระทบต่อด้านมลพิษทางอากาศโดยใช้แบบจำลองทาง
คณิตศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.

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

วิชัย เทียนน้อย. 2526. ภูมิอากาศวิทยาประยุกต์. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียมสโตร์,
กรุงเทพฯ.

วนิดา จีนศาสตร์. 2551. มลพิษอากาศและและการจัดการคุณภาพอากาศ. สำนักพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุรัตน์ บัวเลิศ. 2547. เอกสารประกอบคำสอนวิชา Fundamental of Air Pollution (230809).
ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุรัตน์ บัวเลิศ, ศิวัช พงษ์เพียรจันทร์ และกิตติชัย ดวงมาลัย. 2550. รายงานงานวิจัยโครงการวิจัย
ลักษณะชั้นบรรยากาศและผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลสารทางอากาศ
สำหรับประเทศไทย. สำนักงานคณะกรรมการคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

อรุบล โชติพงศ์. 2541. รายงานการวิจัย เรื่อง การศึกษาปริมาณฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อระบบ
การหายใจ. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- Alsberg, T., U. Stenberg, R. Weaterholm and M. Strandell. 1985. Chemical and biological characterization of organic material from gasoline exhaust particles. **Environ Sci Technol** 19: 43-50.
- Arya, S.P. 1999. **Air Pollution Meteorology and Dispersion**. Oxford University Press, Inc. USA.
- _____. 2001. **Introduction to Micrometeorology**. Second edition. Academic Press. New York.
- 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. **Environ Sci Technol** 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. Wonga, G.A. Ding, L.Y. Chan and X.H. Cheng. 2005. Characteristics of Vertical Profiles and Sources of PM_{2.5}, P M₁₀ 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.

- 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.
- 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.
- Guo, H., S.C. Lee, K.F. Ho, X.M. Wang and S.C. Zon. 2003. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Hong Kong. **Atmospheric Environment** 37: 5307-5317.
- Harvey, R.G. 1997. **Polycyclic Aromatic Hydrocarbons**. JohnWiley and Sons, NewYork.
- Halsall, C.J., P.J. Coleman, B.J. Davis, V. Burnett, K.S. Waterhouse, P. Harding-Jones and K.D. Jones. 1994. Polycyclic aromatic hydrocarbons in UK urban air. **Environmental Science and Technology** 28: 2380-2386.
- 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.
- Janet, A. and A. Roger. 2003. Photochemical Reactions of PAHs in the Atmosphere. **PAHs: An Ecotoxicological Perspective**. John Wiley and Sons, New York.
- Jingchun, D., B. Xinhui, T. Jihua, S. Guoying and F. Jiamo. 2005. The differences of the size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) between urban and rural sites of Guangzhou, China. **Atmospheric Research** 78: 190–203.
- Kavouras, I.G., P. Koutrakis, M. Tsapakis, E. Lagoudaki, E.G. Stephanou, D.V. Baer and P. Oyola. 2001. Source apportionment of urban aliphatic and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs) using multivariate methods. **Environmental Science and Technology** 35: 2288–2294.
- 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.
- Lim, L.H., R.M. Harrison and S. Harrad. 1999. The contribution of traffic to atmospheric concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons. **Environmental Science and Technology** 33: 3538–3542.
- Lutgens, F.K. and E.J. Tarbuck. 2004. **The Atmosphere**. Ninth edition. Pearson Education, Inc. New Jersey USA.

- 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.
- Mahadevan, B., A. Luch, C.F. Bravo, J. Atkin, L.B. Steppan, C. Pereira, N.I. Kerkuliet and W.M. Baird. 2005. Dibenzo[*a, l*]pyrene Induce DNA Adduct Formation in Lung Tissue in Vivo. **Cancer Letter** 227: 25-32.
- 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.
- Park, S.S., Y.J. Kim and C.H. Kanh. 2002. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Seoul, Korea. **Atmospheric Environment** 36: 2917-2924.
- 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.
- Pandey, J., M. Agrawal, N. Khanam, D. Narayan and D.N. Rao. 1992. Air pollutant concentrations in Varanasi, India. **Atmospheric Environment** 26B: 91-98.
- Pucknat, A.W. 1981. **Health Impact of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons**. Noyes Data Corporation, New Jersey, USA.
- Ravindra, 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. Grieben. 2008. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. **Atmospheric Environment** 42: 2895–2921.
- Raiyani, C.V., J.P. Jani, N.M. Desai, P.G. Shah, D.J. Parikh and S.K. Kashyap. 1993. Assessment of indoor exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons from urban poor using various types of cooking fuels. **Environmental Contamination and Toxicology** 50: 757–763.
- Raiyani, C.V., S.H. Shah, N.M. Desai, K. Venkaiah, J.S. Patel, D.J. Parikh and S.K. Kashyap. 1993. Characterisation and problems of indoor air pollution due to cooking stove smoke. **Atmospheric Environment** 27: 1643–1655.
- 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.
- Turner, D.B. 1994. **Workbook of Atmospheric Dispersion Estimate; an Introduction of Dispersion Modeling**. Lewis Publishers.
- Torben, N.S. 1996. Traffic contribution of polycyclic aromatic hydrocarbon in the center of a large city. **Atmospheric Environment** 30: 3481-3490.
- Venkataraman, C.D., T. Salimol and K. Prammod. 1999. Size Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Gas/Particle Partitioning to Urban Aerosols. **Aerosol Science** 30: 759-770.
- Yasmin, T., T. Kazuhiko and S. Hiroshi. 2008. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) Associated with Atmospheric Particles in Higashi Hiroshima, Japan: Influence of Meteorological Conditions and Seasonal Variations. **Atmospheric Research** 88: 224–233.

- Yunker, B.M. and W.R. 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.
- WHO. 2002. **World Health Report 2002** Reducing Risks, Promoting Life. Available Source: <http://www.who.int/whr/en/S>. January 12, 2009.
- Wu, S.P., S. Tao and W.X. Liu. 2005. Particle size distribution of polycyclic hydrocarbons in rural and urban atmosphere of Tianjin China. **Atmospheric Environment** 39: 7420-7432.







ตารางผนวกที่ ก1 ความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น
ละอองรวม (ng/m³) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550 บริเวณพื้นที่ศึกษา
จังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

วันที่	เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
17-18 ธ.ค. 2550	21.00-03.00 น.	0.2054	0.0811	0.2307
18 ธ.ค. 2550	03.00-09.00 น.	0.0544	0.0234	0.6421
18 ธ.ค. 2550	09.00-15.00 น.	0.0569	0.1034	0.0456
18 ธ.ค. 2550	15.00-21.00 น.	0.0222	0.0694	0.1038
18-19 ธ.ค. 2550	21.00-03.00 น.	0.0811	0.0233	0.0287
19 ธ.ค. 2550	03.00-09.00 น.	0.1886	0.3591	0.3741
19 ธ.ค. 2550	09.00-15.00 น.	0.1959	0.2966	0.1237
19 ธ.ค. 2550	15.00-21.00 น.	0.0700	0.0639	0.1308
19-20 ธ.ค. 2550	21.00-03.00 น.	0.0533	0.0582	0.0427
20 ธ.ค. 2550	03.00-09.00 น.	0.2708	0.2510	0.1187
20 ธ.ค. 2550	09.00-15.00 น.	0.0802	0.1473	0.1680
20 ธ.ค. 2550	15.00-21.00 น.	0.5819	0.1243	0.0583
ค่าเฉลี่ย ± SD		0.1551±0.16	0.1334±0.11	0.1723±0.18

ตารางผนวกที่ ก2 ความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองรวม (ng/m³) ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

วันที่	เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
18-19 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	0.3904	0.4835	0.2272
19 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	0.5389	0.3280	0.3393
19 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	0.6251	0.1259	0.1682
19 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	0.3901	0.3260	0.5122
19-20 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	0.8735	0.3698	0.3464
20 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	0.4118	0.5128	0.6342
20 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	0.2345	0.1416	0.1531
20 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	0.3323	0.1823	0.6995
20-21 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	0.9172	0.4286	0.3821
21 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	0.5343	0.4306	1.2499
21 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	0.3130	0.3157	0.3550
21 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	0.3850	0.3901	0.4743
ค่าเฉลี่ย ± SD		0.4955±0.22	0.3362±0.13	0.4618±0.30

ตารางผนวกที่ ก3 ความเข้มข้นของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น
ละอองรวม (ng/m³) ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 บริเวณพื้นที่
ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

วันที่	เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
25-26 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	1.2053	1.5372	0.6418
26 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	0.2910	1.0755	1.2592
26 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	1.2244	0.4296	0.5513
26 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	0.4096	0.5013	0.1726
26-27 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	0.9975	3.5431	1.0125
27 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	2.6917	1.6454	0.9456
27 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	0.3467	0.3244	0.4162
27 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	0.2908	0.3000	0.2020
27-28 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	0.5404	0.2063	0.3079
28 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	1.2029	0.7430	0.3909
28 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	0.2269	0.1450	0.1623
28 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	0.1643	0.1333	1.0068
ค่าเฉลี่ย ± SD		0.7993±0.73	0.8820±0.99	0.5891±0.38



ตารางผนวกที่ ข1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม พ.ศ.2550
บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

วันที่	เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
17-18 ธ.ค. 2550	21.00-03.00 น.	45.7	35.5	57.9
18 ธ.ค. 2550	03.00-09.00 น.	45.6	34.0	40.3
18 ธ.ค. 2550	09.00-15.00 น.	49.0	28.8	34.0
18 ธ.ค. 2550	15.00-21.00 น.	34.2	28.2	44.3
18-19 ธ.ค. 2550	21.00-03.00 น.	33.4	36.7	35.4
19 ธ.ค. 2550	03.00-09.00 น.	54.5	33.9	39.8
19 ธ.ค. 2550	09.00-15.00 น.	43.8	37.8	59.5
19 ธ.ค. 2550	15.00-21.00 น.	48.2	48.5	55.6
19-20 ธ.ค. 2550	21.00-03.00 น.	45.8	35.1	54.1
20 ธ.ค. 2550	03.00-09.00 น.	43.5	35.5	45.2
20 ธ.ค. 2550	09.00-15.00 น.	45.5	39.5	54.4
20 ธ.ค. 2550	15.00-21.00 น.	40.0	38.0	61.5
ค่าเฉลี่ย \pm SD		44.1 \pm 5.9	35.9 \pm 5.2	48.5 \pm 9.8

ตารางผนวกที่ ข2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระหว่างวันที่ 18-21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร

วันที่	เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
18-19 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	131.1	141.6	120.6
19 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	134.7	123.0	115.7
19 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	142.9	116.7	119.7
19 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	143.2	124.7	111.4
19-20 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	148.1	141.2	102.6
20 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	113.0	101.4	92.3
20 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	106.4	94.6	96.7
20 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	158.1	145.4	126.5
20-21 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	172.7	153.4	121.8
21 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	113.7	100.0	94.5
21 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	135.9	126.8	114.1
21 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	180.2	160.8	127.7
ค่าเฉลี่ย \pm SD		140.0 \pm 22.9	127.5 \pm 21.6	112.0 \pm 12.5

ตารางผนวกที่ ข3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ระหว่างวันที่ 25-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 บริเวณพื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

วันที่	เวลา	ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
25-26 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	136.8	128.1	96.3
26 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	96.8	85.7	81.9
26 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	112.5	111.8	104.5
26 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	97.0	101.5	70.0
26-27 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	103.5	108.3	84.4
27 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	100.1	108.3	90.3
27 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	136.2	152.3	133.8
27 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	81.3	281.4	156.5
27-28 ก.พ. 2551	21.00-03.00 น.	65.4	96.3	61.9
28 ก.พ. 2551	03.00-09.00 น.	99.3	98.2	79.8
28 ก.พ. 2551	09.00-15.00 น.	79.6	90.5	69.0
28 ก.พ. 2551	15.00-21.00 น.	85.5	115.1	82.9
ค่าเฉลี่ย \pm SD		99.5 \pm 21.4	122.9 \pm 53.1	92.6 \pm 27.6



ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ทางสถิติโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์อย่างง่าย (Simple Correlations)

ตารางผนวกที่ ค1 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) ในแต่ละระดับชั้นความสูง พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
ชั้นล่าง	Pearson Correlation	1	.341	-.149
	Sig. (2-tailed)	.	.278	.643
	N	12	12	12
ชั้นกลาง	Pearson Correlation	.341	1	.066
	Sig. (2-tailed)	.278	.	.838
	N	12	12	12
ชั้นบน	Pearson Correlation	-.149	.066	1
	Sig. (2-tailed)	.643	.838	.
	N	12	12	12

ตารางผนวกที่ ค2 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) ในแต่ละระดับชั้นความสูง พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
ชั้นล่าง	Pearson Correlation	1	.238	-.035
	Sig. (2-tailed)	.	.457	.913
	N	12	12	12
ชั้นกลาง	Pearson Correlation	.238	1	.349
	Sig. (2-tailed)	.457	.	.267
	N	12	12	12
ชั้นบน	Pearson Correlation	-.035	.349	1
	Sig. (2-tailed)	.913	.267	.
	N	12	12	12

ตารางผนวกที่ ค3 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) ในแต่ละระดับชั้นความสูง พื้นที่ศึกษาจังหวัด เชียงใหม่

		ชั้นล่าง	ชั้นกลาง	ชั้นบน
ชั้นล่าง	Pearson Correlation	1	.464	.274
	Sig. (2-tailed)	.	.128	.388
	N	12	12	12
ชั้นกลาง	Pearson Correlation	.464	1	.553
	Sig. (2-tailed)	.128	.	.062
	N	12	12	12
ชั้นบน	Pearson Correlation	.274	.553	1
	Sig. (2-tailed)	.388	.062	.
	N	12	12	12

ตารางผนวกที่ ค4 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และ สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

Correlations		HY_PM1	HY_PM2	HY_PM3	HY_TSP1	HY_TSP2	HY_TSP3
HY_P M1	Pearson	1	-.177	.497	-.075	.107	.239
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.	.581	.100	.817	.740	.455
	N	12	12	12	12	12	12
HY_P M2	Pearson	-.177	1	.033	.026	-.139	.648(*)
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.581	.	.919	.937	.666	.023
	N	12	12	12	12	12	12
HY_P M3	Pearson	.497	.033	1	.483	.667(*)	.212
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.100	.919	.	.112	.018	.508
	N	12	12	12	12	12	12
HY_T SP1	Pearson	-.075	.026	.483	1	.320	-.123
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.817	.937	.112	.	.311	.703
	N	12	12	12	12	12	12
HY_T SP2	Pearson	.107	-.139	.667(*)	.320	1	.085
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.740	.666	.018	.311	.	.792
	N	12	12	12	12	12	12
HY_T SP3	Pearson	.239	.648(*)	.212	-.123	.085	1
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.455	.023	.508	.703	.792	.
	N	12	12	12	12	12	12

หมายเหตุ * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ ค5 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และ สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) พื้นที่ศึกษาจังหวัดกรุงเทพมหานคร

Correlation		BK_PM1	BK_PM2	BK_PM3	BK_TSP1	BK_TSP2	BK_TSP3
BK_P M1	Pearson	1	.165	.422	.432	.848(**)	-.028
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.	.609	.172	.161	.000	.932
	N	12	12	12	12	12	12
BK_P M2	Pearson	.165	1	.084	.290	.310	.115
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.609	.	.794	.361	.327	.723
	N	12	12	12	12	12	12
BK_P M3	Pearson	.422	.084	1	.349	.436	-.005
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.172	.794	.	.267	.156	.988
	N	12	12	12	12	12	12
BK_T SP1	Pearson	.432	.290	.349	1	.353	-.186
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.161	.361	.267	.	.261	.563
	N	12	12	12	12	12	12
BK_T SP2	Pearson	.848(**)	.310	.436	.353	1	.141
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.000	.327	.156	.261	.	.662
	N	12	12	12	12	12	12
BK_T SP3	Pearson	-.028	.115	-.005	-.186	.141	1
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.932	.723	.988	.563	.662	.
	N	12	12	12	12	12	12

หมายเหตุ ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ ๑๖ ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองรวม (TSP) และ สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) พื้นที่ศึกษาจังหวัดเชียงใหม่

Correlation		CM_PM1	CM_PM2	CM_PM3	CM_TSP1	CM_TSP2	CM_TSP3
CM_PM 1	Pearson	1	.748(**)	.680(*)	.463	.589(*)	.604(*)
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.	.005	.015	.130	.044	.038
	N	12	12	12	12	12	12
CM_PM 2	Pearson	.748(**)	1	.933(**)	.096	.125	.339
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.005	.	.000	.766	.698	.281
	N	12	12	12	12	12	12
CM_PM 3	Pearson	.680(*)	.933(**)	1	.059	.086	.271
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.015	.000	.	.855	.790	.394
	N	12	12	12	12	12	12
CM_TS P1	Pearson	.463	.096	.059	1	.463	.314
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.130	.766	.855	.	.129	.320
	N	12	12	12	12	12	12
CM_TS P2	Pearson	.589(*)	.125	.086	.463	1	.600(*)
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.044	.698	.790	.129	.	.039
	N	12	12	12	12	12	12
CM_TS P3	Pearson	.604(*)	.339	.271	.314	.600(*)	1
	Correlation						
	Sig. (2-tailed)	.038	.281	.394	.320	.039	.
	N	12	12	12	12	12	12

หมายเหตุ ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ ค7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) และความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) พื้นที่ศึกษาจังหวัดสงขลา (อำเภอหาดใหญ่)

		PM10_HY1	PAH_HY1	PM10_HY2	PAH_HY2	PM10_HY3	PAH_HY3
PM10_ HY1	Pearson						
	Correlation	1	.475	-.243	.029	.327	.021
	Sig. (2-tailed)	.	.119	.446	.928	.300	.949
	N	12	12	12	12	12	12
PAH_ HY1	Pearson						
	Correlation	.475	1	-.400	-.154	.393	.469
	Sig. (2-tailed)	.119	.	.197	.634	.207	.124
	N	12	12	12	12	12	12
PM10_ HY2	Pearson						
	Correlation	-.243	-.400	1	.248	-.544	-.359
	Sig. (2-tailed)	.446	.197	.	.437	.068	.252
	N	12	12	12	12	12	12
PAH_ HY2	Pearson						
	Correlation	.029	-.154	.248	1	-.251	.203
	Sig. (2-tailed)	.928	.634	.437	.	.431	.526
	N	12	12	12	12	12	12
PM10_ HY3	Pearson						
	Correlation	.327	.393	-.544	-.251	1	-.073
	Sig. (2-tailed)	.300	.207	.068	.431	.	.822
	N	12	12	12	12	12	12
PAH_ HY3	Pearson						
	Correlation	.021	.469	-.359	.203	-.073	1
	Sig. (2-tailed)	.949	.124	.252	.526	.822	.
	N	12	12	12	12	12	12

ตารางผนวกที่ ค8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) และความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) พื้นที่ศึกษา จังหวัดกรุงเทพมหานคร

		PM10_BK1	PM10_BK2	PM10_BK3	PAH_BK1	PAH_BK2	PAH_BK3
PM10_BK1	Pearson Correlation	1	.282	.637(*)	.282	.440	.388
	Sig. (2-tailed)	.	.374	.026	.374	.152	.213
	N	12	12	12	12	12	12
PM10_BK2	Pearson Correlation	.282	1	.366	.003	.266	-.007
	Sig. (2-tailed)	.374	.	.242	.992	.403	.984
	N	12	12	12	12	12	12
PM10_BK3	Pearson Correlation	.637(*)	.366	1	.092	.117	-.098
	Sig. (2-tailed)	.026	.242	.	.776	.718	.761
	N	12	12	12	12	12	12
PAH_BK1	Pearson Correlation	.282	.003	.092	1	.162	.431
	Sig. (2-tailed)	.374	.992	.776	.	.615	.161
	N	12	12	12	12	12	12
PAH_BK2	Pearson Correlation	.440	.266	.117	.162	1	.219
	Sig. (2-tailed)	.152	.403	.718	.615	.	.494
	N	12	12	12	12	12	12
PAH_BK3	Pearson Correlation	.388	-.007	-.098	.431	.219	1
	Sig. (2-tailed)	.213	.984	.761	.161	.494	.
	N	12	12	12	12	12	12

หมายเหตุ * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ตารางผนวกที่ ค9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติก ไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) และความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) พื้นที่ศึกษา จังหวัดเชียงใหม่

		PM10_CM	PM10_CM	PM10_CM	PAH_CM	PAH_CM	PAH_CM
		1	2	3	1	2	3
PM10_ CM1	Pearson Correlation	1	.451	.878(**)	.715(**)	.683(*)	.560
	Sig. (2-tailed)	.	.141	.000	.009	.014	.058
	N	12	12	12	12	12	12
PM10_ CM2	Pearson Correlation	.451	1	.676(*)	.078	.050	-.007
	Sig. (2-tailed)	.141	.	.016	.810	.878	.982
	N	12	12	12	12	12	12
PM10_ CM3	Pearson Correlation	.878(**)	.676(*)	1	.515	.502	.326
	Sig. (2-tailed)	.000	.016	.	.087	.096	.302
	N	12	12	12	12	12	12
PAH_C M1	Pearson Correlation	.715(**)	.078	.515	1	.908(**)	.853(**)
	Sig. (2-tailed)	.009	.810	.087	.	.000	.000
	N	12	12	12	12	12	12
PAH_C M2	Pearson Correlation	.683(*)	.050	.502	.908(**)	1	.952(**)
	Sig. (2-tailed)	.014	.878	.096	.000	.	.000
	N	12	12	12	12	12	12
PAH_C M3	Pearson Correlation	.560	-.007	.326	.853(**)	.952(**)	1
	Sig. (2-tailed)	.058	.982	.302	.000	.000	.
	N	12	12	12	12	12	12

หมายเหตุ ** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นางสาวลลิตา มีแก้ว
เกิดวันที่	2 มกราคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการลักษณะชั้นบรรยากาศและผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลสารทางอากาศสำหรับประเทศไทย