



การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของสารโพลีไซคลิก
อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในชั้นบรรยากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร
Application of Geographic Information System (GIS) to Study the Distribution
of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Urban Atmosphere of Bangkok

มัทนาวดี หัตถยานนท์
Mattanawadee Hattayanone

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree
of Master of Science in Environmental Management
Prince of Songkla University

2556

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในชั้นบรรยากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร
 ผู้เขียน นางสาวมัทนาวดี หทัยานนท์
 สาขาวิชา การจัดการสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	คณะกรรมการสอบ
..... (ดร.อรมาศ สุทธินน)ประธานกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉันทวี สุขสาโรจน์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมกรรมการ (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัญญา สราภิรมย์)
..... (รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์)กรรมการ (ดร.จิตติวร ชูสง)
กรรมการ (ดร.อรมาศ สุทธินน)
กรรมการ (รองศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพียจันทร์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วน
 หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อม

.....
 (รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และขอขอบคุณผู้ที่มีส่วน
เกี่ยวข้องทุกท่านไว้ ณ ที่นี้

ลงชื่อ _____

(ดร.อรมาศ สุทธิรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ _____

(นางสาวมัทนาวดี หัตถยานนท์)

นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ _____

(นางสาวมัทนาวดี หัตยานนท์)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในชั้นบรรยากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร
ผู้เขียน	นางสาวมัทนาวดี หัทยานนท์
สาขาวิชา	การจัดการสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นสารก่อมะเร็ง ที่มีโครงสร้างทางเคมีในรูปของวงแหวนเบนซินเป็นหลัก โดยที่พบในสิ่งแวดล้อมมากกว่า 100 ชนิด แต่ละชนิดมีระดับความเป็นพิษแตกต่างกันไป และอากาศเป็นตัวกลางที่พาให้ PAHs กระจายตัวจากแหล่งกำเนิดแต่ละประเภทตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของ PAHs ในเขตกรุงเทพมหานครของทั้ง 7 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ได้แก่ คือ การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนนนทรีวิทยา โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การไฟฟ้าอ้อยธนูรี สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การเคหะชุมชนดินแดง และโรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี) โดยใช้ตัวอย่างฝุ่น PM_{10} 24 ชั่วโมง ด้วย high volume air sampler ของกรมควบคุมมลพิษ นำมาสกัดฝุ่น PM_{10} ด้วย Soxhlet extraction โดยใช้ dichloromethane (DCM) เป็นตัวทำละลาย ใช้ deuterate เป็น internal standard วิเคราะห์ปริมาณ PAHs แต่ละชนิดด้วย Gas Chromatography–Mass Spectrophotometer–Ion–Trap (Varian Saturn 2200) และการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของ PAHs กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีผลต่อระดับความเข้มข้นของ PAHs ผลการศึกษาพบว่าระดับความเข้มข้นของ PAH ใน PM_{10} มักอยู่ในระดับสูงในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นและใกล้จุดศูนย์กลางของเมือง ได้แก่ ชุมชนดินแดงและโชคชัย 4 ส่วนความสัมพันธ์ของระดับความเข้มข้น PAHs กับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยานั้นพบว่าความเข้มแสงมีผลต่อการลดลงของ PAHs ในชั้นบรรยากาศกรุงเทพมหานครเพื่อนำฐานข้อมูลจัดการควบคุมคุณภาพอากาศในแต่ละพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Thesis Title	Application of Geographic Information System (GIS) to study the distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in urban atmosphere of Bangkok.
Author	Miss Mattanawadee Hattayanone
Major Program	Environmental Management
Academic Year	2012

ABSTRACT

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) are known as a carcinogen. Their main chemical structure consists of different number of benzene ring. There are more than 100 species of PAHs found in the environment with various toxicity level. Air is a mediator distributed PAHs from their sources to the environment. This research aims to study the distribution of PAHs in Bangkok of the 7 air quality monitoring stations, including the Community Housing Klongchan, Nonsi Witthaya School, Singharat Pittayakhom School, Thon Buri Electricity Sub, Chok Chai 4 Police Station, Dindang Community Housing and Bodindecha (Sing Singhaseni) using the PM₁₀ sample 24-hour high volume air sampler provided by the Pollution Control Department. The dust PM₁₀ samples were extracted by Soxhlet extraction using dichloromethane (DCM) as a solvent and deuterate as an internal standard. The amount of PAHs was analyzed by Gas Chromatography-Mass Spectrophotometer-Ion-Trap (Varian Saturn 2200) The results showed that concentrations of PAH in the PM₁₀ level is usually higher in heavy traffic areas and near the center of the city, including Chok Chai 4 Police Station and Dindang Community Housing. The study of the relationship of the concentrations of PAHs and meteorological factors indicated that Solar radiation affected the reduction of PAHs in atmospheric of Bangkok, which will lead to air quality control in each area effectively.

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณ ดร.อรมาศ สุทธิบูรณ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิวัช พงษ์เพี้ยจันทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษา แนวทางในการทำวิจัย ตรวจสอบข้อมูล ตลอดจนแก้ไขรูปเล่มวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธันวดี สุขสาโรจน์ ดร.ฐิติวร ชูสง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัณญา สภาภิรมย์ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำและข้อควรปรับปรุงในวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องแก๊สโครมาโตกราฟฟีแมสสเปกโตรมิเตอร์ และเอื้อเฟื้ออนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการในงานวิจัยครั้งนี้แล้วเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณกรมควบคุมมลพิษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองและข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

ขอขอบคุณ คุณโฉมศรี ชูช่วย คุณลัดดาวรรณ ทวีรัตน์ คุณจิตรลดา มูประสิทธิ์ และคุณวรรณช ดีละมัน ที่ให้ความช่วยเหลือระหว่างการวิเคราะห์ตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ และขอบคุณเพื่อนคณะกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อมทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านมาโดยตลอดและขอขอบคุณครอบครัว หัทยานนท์ ที่คอยให้กำลังใจและให้การสนับสนุนมาตลอดการศึกษา

มัทนาวดี หัทยานนท์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(5)
Abstract	(6)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญรูป	(11)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(13)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำตั้งเรื่อง	1
1.2 ฝุ่นละออง (Particulate matter)	2
1.3 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)	8
1.4 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems : GIS)	17
1.5 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ	22
1.6 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	24
บทที่ 2 วิธีการดำเนินงาน	25
2.1 พื้นที่ทำการเก็บตัวอย่าง	25
2.2 วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นตามกรมควบคุมมลพิษ	28
2.3 เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา	30
2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในตัวอย่าง PM10	32
2.5 การวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS (Ion - Trap)	37
2.6 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์	37
2.7 วิธีการคำนวณระดับความเข้มข้นของสาร PAHs	37
2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	39
2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์	39
2.10 การวิเคราะห์การประเมินความเสี่ยงทางด้านสุขภาพ	39
บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล	43
3.1 ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM ₁₀) ใน	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
สถานีตรวจวัดคุณภาพเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	
3.2 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs	48
3.3 การประเมินความเสี่ยง	66
บทที่ 4 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	71
4.1 สรุปผลงานวิจัย	71
4.2 ข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก	79
ภาคผนวก ข	91
ภาคผนวก ค	98
ประวัติผู้เขียน	105

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1-1	ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ	6
ตารางที่ 1-2	คุณภาพอากาศในบริเวณริมถนนในกรุงเทพมหานคร	7
ตารางที่ 1-3	คุณภาพอากาศในบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร	8
ตารางที่ 1-4	แหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สำคัญ	10
ตารางที่ 1-5	สมบัติ physicochemical property บางประการของสาร PAHs	12
ตารางที่ 1-6	อัตราส่วนของ PAHs (Binary Ratio) ใน PM ₁₀	14
ตารางที่ 2-1	สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์ PAHs	37
ตารางที่ 2-2	ค่าตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการคำนวณสมการ	41
ตารางที่ 2-3	ค่าตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการคำนวณการได้รับสัมผัส	41
ตารางที่ 2-4	ค่า Potency Equivalency Factor (PEF) ของ PAHs แต่ละชนิดเมื่อเทียบกับ B[a]P	42
ตารางที่ 3-1	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของ PM ₁₀ กับข้อมูลอุตุนิยมิวิทยา	48
ตารางที่ 3-2	ระดับความเข้มข้นของ PAHs ในแต่ละชนิด (Phe, An, Fluo และ Pyr) ในพื้นที่อื่น ๆ (หน่วยเป็น นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	54
ตารางที่ 3-3	อัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไปเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	63
ตารางที่ 3-4	อัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนนเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	64
ตารางที่ 3-5	ดัชนีคุกคามของการสัมผัสสาร PAHs ของเด็กในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	66
ตารางที่ 3-6	ดัชนีคุกคามของการสัมผัสสาร PAHs ของผู้หญิงในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	67
ตารางที่ 3-7	ดัชนีคุกคามของการสัมผัสสาร PAHs ของผู้ชายในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	67

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 1-1	ประเภทและช่วงขนาดของฝุ่นละออง	3
รูปที่ 1-2	โครงสร้างของ PAHs 4 ชนิดหลักที่ใช้ในงานวิจัย โดย US – EPA	12
รูปที่ 1-3	องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)	18
รูปที่ 2-1	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานีเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	26
รูปที่ 2-2	แผนที่แสดงที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานคร	27
รูปที่ 2-3	แสดงเครื่องมือ Gas Chromatography – Mass Spectrophotometer – Ion trap	28
รูปที่ 2-4	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	29
รูปที่ 2-5	แสดงเครื่องมือ Gas Chromatography – Mass Spectrophotometer – Ion trap	30
รูปที่ 2-6	แผนผังสรุปขั้นตอนการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละออง	36
รูปที่ 3-1	ฝุ่นPM ₁₀ ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร ปี 2548 -2549	43
รูปที่ 3-2	ระดับความเข้มข้นของ PM ₁₀ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตเมือง กรุงเทพมหานครทั้ง 7 สถานี	44
รูปที่ 3-3	ระดับความเข้มข้นของ PM ₁₀ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนน เขตเมืองกรุงเทพมหานคร ปี 2549	46
รูปที่ 3-4	ระดับความเข้มข้นของ PM ₁₀ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ ทั่วไปเขตเมืองกรุงเทพมหานคร ปี 2549	47
รูปที่ 3-5	ระดับความเข้มข้นของ PAHs สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตเมืองกรุง เทพทั้ง 7 สถานี	48
รูปที่ 3-6	ระดับความเข้มข้นของ PAHs สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนน เขตเมืองกรุงเทพมหานคร	50
รูปที่ 3-7	ระดับความเข้มข้นของ PAHs สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ ทั่วไปเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	50
รูปที่ 3-8	ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs แยกชนิดของสถานีตรวจวัดคุณภาพ อากาศในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร ปี 2549	52

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า	
รูปที่ 3-9	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ TotalPAHs (An, Phe, Fluo และ Pyr) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	55
รูปที่ 3-10	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ Anthracene (An) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	56
รูปที่ 3-11	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ Phenanthrene (Phe) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	57
รูปที่ 3-12	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ Fluoranthene (Fluo) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	58
รูปที่ 3-13	แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ Pyrene (Pyr) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	59
รูปที่ 3-14	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของ PAHs กับระดับความเข้มข้นของ PM ₁₀ ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานี	60
รูปที่ 3-15	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของ PAHs กับระดับความเข้มข้นของ PM ₁₀ ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนน	61
รูปที่ 3-16	ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของ PAHs กับระดับความเข้มข้นของ PM ₁₀ ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไป	61
รูปที่ 3-17	อัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณสถานีริมถนน (รูปบน) และสถานีพื้นที่ทั่วไป (รูปล่าง)	65
รูปที่ 3-18	ค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งของ PAHs (An, Phe, Fluo และ Pyr) ในแต่ละสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร	68
รูปที่ 3-19	จำนวนประชากรในเขตเมืองกรุงเทพมหานครกับระดับความเข้มข้นของ PAHs	70

สัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย
CC4	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4
DD	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีเคหะชุมชนดินแดง
TPS	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการไฟฟ้าอยุธยาธนบุรี
KJ	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีการเคหะชุมชนคลองจั่น
NWS	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนนนทรีวิทยา
SPS	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม
BDC	สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)
PAHs	สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon)
Phe	ฟิแนนทรีน (Phenanthrene)
An	แอนทราซีน (Anthracene)
Fluo	ฟลูออแรนทีน (Fluoranthene)
Pyr	ไพรีน (Pyrene)
B[a]P	เบนโซ[เอ]ไพรีน
RfD	ปริมาณสารอ้างอิง
HQ	ดัชนีคุกคามของการสัมผัสมลสาร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ปัจจุบันมลภาวะทางอากาศเป็นปัญหาที่สำคัญของในหลายประเทศทั่วโลก โดยเฉพาะเมืองใหญ่ ๆ ของประเทศต่าง ๆ มักจะเป็นแหล่งรวมของธุรกิจการค้า สำนักงานและองค์กรต่าง ๆ ที่หนาแน่นไปด้วยผู้คนและการจราจร ซึ่งกรุงเทพมหานครก็เป็นเมืองหนึ่งที่ประสบปัญหามลพิษทางอากาศเนื่องจากการขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในประเทศและความหนาแน่นของประชากรในกรุงเทพมหานครที่มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสังคมไทยจากภาคเกษตรเข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมได้ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนย้ายประชาชนจากชนบทเข้าสู่เมืองหลวงซึ่งเป็นศูนย์กลางของแหล่งธุรกิจมากยิ่งขึ้น สิ่งที่ตามมาคือ ปัญหามลพิษทางอากาศที่ติดขัดอย่างรุนแรง

มลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานครมีสาเหตุที่สำคัญมาจากจำนวนยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนยานพาหนะที่จดทะเบียนทั่วประเทศไทยจนถึงสิ้นสุดปี พ.ศ.2549 ซึ่งมีจำนวนประมาณ 25 ล้านคัน พบว่า ในจำนวนนี้เป็นยานพาหนะที่จดทะเบียนในกรุงเทพมหานครถึงประมาณ 1 ใน 4 เป็นเหตุให้มลพิษทางอากาศของกรุงเทพมหานครมีแหล่งกำเนิดสำคัญมาจากยานพาหนะ และปัญหาหลักที่สำคัญคือ ปัญหาฝุ่นละอองและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยเฉพาะริมเส้นทางจราจรและย่านชุมชนต่าง ๆ นอกจากนี้ปัญหาฝุ่นละอองในเขตชุมชนยังมีสาเหตุมาจากฝุ่นที่ฟุ้งกระจายจากรถที่บรรทุกดิน วัสดุก่อสร้าง หรือสินค้าอื่น และในเขตเมืองยังมีฝุ่นจากกิจกรรมการก่อสร้างอาคารหรือถนนต่าง ๆ อีกด้วย นอกจากนี้ตึกสูงสองข้างถนนยังเป็นตัวกั้นการเคลื่อนที่ของอนุภาคไอเสียและฝุ่นจากการก่อสร้างไม่ให้กระจายออก จึงมีการสะสมของอนุภาคในอากาศและสภาพแวดล้อม ทำให้ฝุ่นเหล่านี้รวมกับฝุ่นจากยานพาหนะเป็นผลให้เพิ่มปัญหาฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานคร ปัจจุบันคนที่อาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครประสบกับปัญหาโรคมะเร็งปอดและโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ จากการศึกษาวิจัยในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก แสดงให้เห็นว่าระดับของฝุ่นในอากาศมีความสัมพันธ์กับการตายและการเจ็บป่วยด้วยโรกระบบทางเดินหายใจ โรกระบบหัวใจ และหลอดเลือดทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยเฉพาะผู้ที่ภูมิคุ้มกันต่ำ เช่น ผู้สูงอายุ เด็กเล็ก และผู้ป่วยโรกระบบทางเดินหายใจ

กรมควบคุมมลพิษ ได้ทำการศึกษามลภาวะทางอากาศในกรุงเทพมหานครพบว่า บริเวณที่มีการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศในบริเวณที่มีการจราจรคับคั่ง เช่น ถนนเพชรบุรี ถนน เป็นฝุ่นละอองที่มีอนุภาคขนาดเล็ก และสารมลพิษชนิดอื่น ๆ เช่น คาร์บอนมอนนอกไซด์

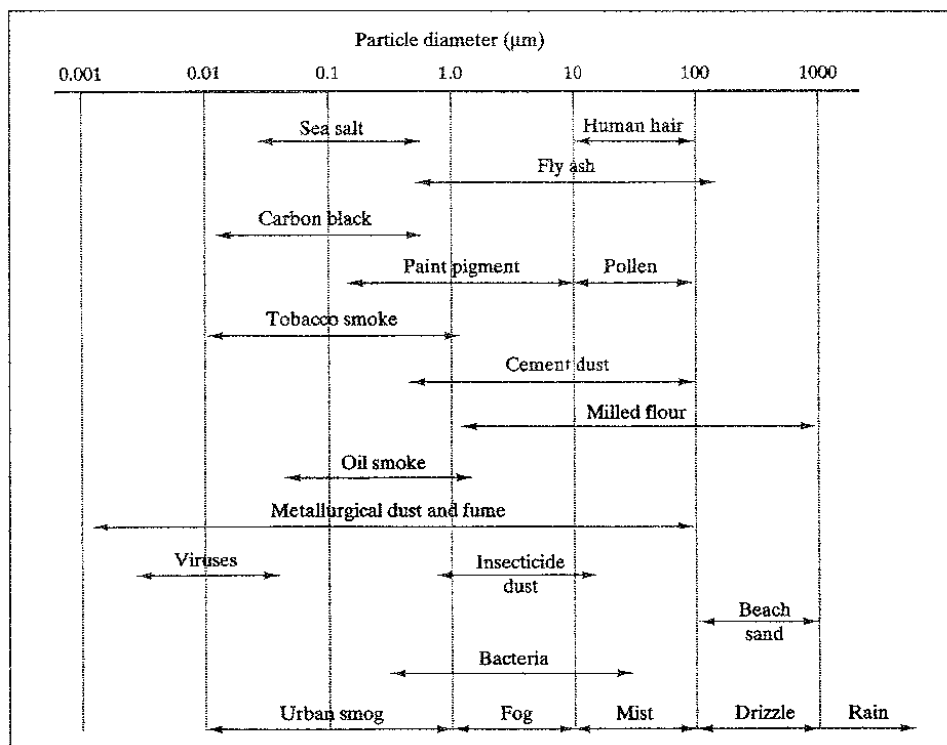
ออกไซด์ของไนโตรเจน และสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน โดยเฉพาะสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่พบอยู่ในบรรยากาศมีทั้งพวกที่ออกมาจากไอเสียรถยนต์และเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง PAHs เป็นสารที่มีความเป็นพิษสูงเป็นสารมะเร็งและก่อให้เกิดการกลายพันธุ์

ในกรุงเทพมหานครมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับ PAHs อยู่หลายงานวิจัย แต่ยังไม่มีการศึกษาการกระจายตัวของสาร PAHs ซึ่งปัจจุบันได้มีการนำเอาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เกิดจากการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์เพื่อนำมาบริหารการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมระบบประกอบด้วยกรรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ (Data input) การจัดเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูล (Database) การแปลงข้อมูล (Transformation) ตามเงื่อนไขต่าง ๆ และสามารถแสดงผลข้อมูล (Display) และจัดทำรายงาน รวมทั้งสร้างแบบจำลองได้จากข้อมูลที่จัดเก็บในระบบ GIS ทั้งสองประเภท คือ ข้อมูลที่ไม่อยู่ในเชิงพื้นที่ (Non – Spatial Data) และข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data)

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นรูปแบบการเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบที่แสดงการกระจายตัวของระดับความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ และเป็นประโยชน์ในการทำนายลักษณะการกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและการได้รับสัมผัสสาร PAHs ของประชากร เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน และวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณของ PAHs เพื่อเป็นแนวทางบ่งชี้แหล่งกำเนิดหลักของ PAHs ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร นอกจากนี้สามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการบริหารและจัดการสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

1.2 ฝุ่นละออง (Particulate matter)

ฝุ่นละออง (Particulate Matter) หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ฝุ่นละอองชนิดต่าง ๆ อาจมีความแตกต่างกันอย่างมากทั้งในด้านรูปร่าง คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ จึงมีชื่อเรียกที่เฉพาะเจาะจงตามลักษณะอีกหลายชื่อ อาทิ ฝุ่น (dust) ละอองไอ(aerosol) ควีน(smoke) เถ้าลอย (fly ash) ไอเสีย (fume) อย่างไรก็ตาม ลักษณะที่สำคัญของฝุ่นที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของแขวนลอยในบรรยากาศหรือการตกตะกอนคือขนาดของฝุ่นรูปที่1-1 แสดงขนาดของฝุ่นประเภทต่าง ๆ ซึ่งโดยทั่วไปมีเส้นผ่าศูนย์กลางได้ตั้งแต่ 0.001 ถึง 1,000 ไมครอน



รูปที่ 1-1 ประเภทและช่วงขนาดของฝุ่นละออง (Heinsohn and Kabel, 1999)

ฝุ่นละอองเป็นปัญหามลพิษทางอากาศสำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ.2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพอนามัยของคนในกรุงเทพมหานคร พบว่าฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานครมีผลต่อสุขภาพอนามัย โดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่าง ๆ ทั่วโลก โดยระดับของฝุ่นละอองขนาดเล็กอาจทำให้คนกรุงเทพฯ ตายก่อนเวลาอันควรถึง 4,000 - 5,000 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่าการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก และจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าสามารถลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในบรรยากาศลงได้ 10 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพคิดเป็นจำนวนเงิน 35,000 - 88,000 ล้านบาทต่อปี

1.2.1 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ฝุ่นละอองสามารถแบ่งแหล่งกำเนิดเป็น 2 ประเภท คือ ฝุ่นที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural source) และฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์สร้างขึ้น (Anthropogenic source)

1.2.1.1 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural source) เกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติทำให้เกิดฝุ่นละอองโดยไม่มีกรกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องแต่อย่างใด เช่น ดิน ททราย ละอองน้ำ เขม่าควันจากไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด ฝุ่นเกลือจากทะเล มหาสมุทร

เป็นต้น ซึ่งมีกลไกในการเกิดแตกต่างกันส่งผลทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดและองค์ประกอบทางเคมีต่างกัน

1.2.1.2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic source) โดยทั่วไปเป็นฝุ่นขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่นจากการคมนาคม (รถบรรทุกดิน หิน ทราย ซีเมนต์ และเขม่าจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล) การก่อสร้าง (อาคาร สิ่งก่อสร้าง การปรับปรุง สาธารณูปโภค การก่อสร้างอาคารสูง การรื้อถอนและการทำลายอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง) และอุตสาหกรรม (การทำปูนซีเมนต์ การโม่บดหรือย่อยหิน ฝุ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการเผาไหม้ และกระบวนการผลิต) ซึ่งจะมีลักษณะของฝุ่นที่แตกต่างกันในด้านขนาดของฝุ่น ปริมาณหรือความเข้มข้น รูปร่าง ความหนาแน่น และคุณสมบัติในด้านอื่น ๆ เช่น การนำไฟฟ้า ความไวต่อปฏิกิริยา และความเป็นพิษ เช่น ตะกั่ว ไฮโดรคาร์บอนที่เกิดพร้อมกับกระบวนการสันดาปหรือการให้ความร้อน

1.2.2 ขนาดของฝุ่นละออง (Particle size)

ขนาดของฝุ่นละออง หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่นในกรณีที่เป็นอนุภาคทรงกลมแต่โดยทั่วไปอนุภาคฝุ่นมีรูปร่างหลายแบบนอกจากทรงกลม ดังนั้นอนุภาคที่มีใช้ทรงกลมมักบอกขนาดที่เป็นเส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า โดยเทียบกับพื้นที่ผิวปริมาตรและมวล ซึ่ง US.EPA. แบ่งฝุ่นละอองตามขนาดออกเป็น 4 ประเภท คือ

1.2.2.1 ฝุ่นละอองรวม (Supercoarse particles) เป็นอนุภาคฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมครอน

1.2.2.2 ฝุ่นหยาบ (Coarse particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 2.5 – 10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ การจราจร การขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมการบด ย่อยหิน การทำเหมืองแร่ เป็นต้น

1.2.2.3 ฝุ่นละเอียด (Fine particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.1 – 2.5 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การเผาชีวมวลในที่โล่ง การเกิดไฟป่า การหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ยังเกิดการรวมตัวกับก๊าซในสถานะที่มีความดันไอต่ำ

1.2.2.4 ฝุ่นละเอียดมาก (Ultrafine particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการรวมตัวของไอน้ำในช่วงระหว่างที่เกิดการเผาไหม้ในช่วงที่มีอุณหภูมิสูง ๆ

สมบัติของฝุ่นละอองขึ้นกับขนาด มักอยู่ในรูปร่างที่ซับซ้อนและมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ ในการแจกแจงฝุ่นละออง คือ การแบ่ง

ขนาดอนุภาคออกเป็นช่วงดั่งที่กล่าวในข้างต้น ซึ่งพบว่าฝุ่นละอองที่มีสัดส่วนมากเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ประมาณ 60 – 80 %

1.2.3 ผลกระทบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

1.2.3.1 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ปกติฝุ่นละอองจะเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจ ระบบทางเดินหายใจ แบ่งเป็นส่วนบน คือ ช่องจมูกและหลอดลม และระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง คือ ท่อปอด (Bronchial tubes) และปอด ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนจะถูกกรองออกโดยระบบทางเดินหายใจส่วนบน ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนหรือที่เรียกว่าฝุ่นที่หายใจเข้าไป (Respiration Particulate Matter ; RPM) ลอดจากการกรองเข้าไปถึงปอดได้ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เข้าถึงถุงลมปอดได้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กเหล่านี้ทำให้เกิดการระคายเคืองและมีผลต่ออาการและโรคทางเดินหายใจ ถ้าองค์ประกอบในฝุ่นละอองเป็นโลหะหนัก ซิลิกา แอสเบสตอส หรือโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบางชนิด ทำให้เป็นโรคปอดชนิดต่าง ๆ รวมทั้งมะเร็งปอดได้

1.2.3.2 ผลกระทบต่อทัศนวิสัย

ฝุ่นละอองลดความสามารถในการมองเห็น ทำให้ทัศนวิสัยไม่ดีเนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นอนุภาคของแข็งที่ดูดซับและหักเหแสงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบของฝุ่นละอองนั้น ๆ ดังเห็นได้จากการที่ท้องฟ้าของกรุงเทพมหานครมีหมอกควันปกคลุมหนาแน่นมากขึ้นในช่วง 4 – 5 ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะในช่วงฤดูหนาวของแต่ละปี ซึ่งอากาศค่อนข้างเย็นในตอนเช้า เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กที่แขวนลอยอยู่ในอากาศจะเป็นแกนกลางให้ความชื้นหรือไอน้ำในอากาศมาเกาะและกลั่นตัวได้ง่ายขึ้น ทำให้เกิดเป็นหมอกควัน (Smog)

1.2.3.3 ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกัน สามารถส่งผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น การกัดกร่อนผิวหน้าของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ เป็นต้น

1.2.3.4 ผลกระทบต่อพืช

ฝุ่นละอองจะไปจับส่วนต่าง ๆ ของพืชโดยเฉพาะใบซึ่งเป็นส่วนที่มีพื้นผิวมาก รวมทั้งปิดปากใบอยู่ภายนอก ทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชลดลงอนุภาคฝุ่นละอองที่ปิดปากใบยังทำให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในมากจึงมีส่วนขัดขวางการหายใจและการเจริญเติบโตของพืชที่เปลี่ยนแปลงไปทำให้ใบเฉาและตายเร็ว

1.2.4 มาตรฐานฝุ่นละออง

ประเทศสหรัฐอเมริกา US.EPA. (United State Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม(TSP) และฝุ่น PM₁₀ แต่เนื่องจากการศึกษาวิจัยฝุ่นขนาดเล็กนั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไประบบทางเดินหายใจส่วนล่างและมีผลต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น US.EPA. จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นละอองรวมและกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ชนิด คือ PM₁₀ และ PM_{2.5} สำหรับประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นรวม (TSP) และฝุ่นละออง (PM₁₀) ดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ฝุ่นละออง	ประเทศไทย		องค์การอนามัยโลก	
	ค่าเฉลี่ย 24 ชม. (มคก. / ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ย 1 ปี (มคก. / ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ย 24 ชม. (มคก. / ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ย 1 ปี (มคก. / ลบ.ม.)
TSP	330	100	-	-
PM ₁₀	120	50	50	20
PM _{2.5}	50	25	25	10

หมายเหตุ

1. มาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะสั้น (24 ชม.) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยอย่างเฉียบพลัน (acute effect)
2. มาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะยาว (1 ปี) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบระยะยาวหรือผลกระทบเรื้อรังที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย (Chronic effect)
3. มคก. / ลบ.ม. คือ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

1.2.5 สถานการณ์ฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานคร

ในปัจจุบันปัญหาฝุ่นละอองเป็นปัญหามลพิษอากาศที่เป็นปัญหาหลักของประเทศไทย เนื่องจากพบว่ามึระดับความเข้มข้นของฝุ่นสูงในระดับที่อาจเกิดปัญหาสุขภาพอนามัยกับประชาชนในเมืองใหญ่หลายเมือง ทั้งนี้ รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศของประเทศไทยโดยกรมควบคุมมลพิษ (2549) พบว่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2544 – 2548 สารมลพิษอากาศที่เป็นปัญหามากที่สุดโดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่ คือ PM₁₀ โดยผลการตรวจวัดพบจำนวนครั้งเกินค่ามาตรฐานมากที่สุดโดยระดับ PM₁₀ ในเขตเมืองต่าง ๆ ในประเทศไทย มีแนวโน้มเพิ่มสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ (ฤดูหนาว) และลดระดับลงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม (ฤดูร้อน) และมีระดับต่ำสุดในช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนตุลาคม (ฤดูฝน)

จากการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศบริเวณถนนสายหลักของกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM₁₀) ยังคงเป็นปัญหาหลักในบริเวณริมถนนซึ่งค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 25.7 – 343.5 มคก. / ลบ.ม. เกินมาตรฐานร้อยละ 1.8 (มาตรฐานไม่เกิน 120 มคก./ลบ.ม.) ซึ่งมีปริมาณลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปีที่ผ่านมา โดยแหล่งกำเนิดหลักมาจากยานพาหนะพื้นที่ที่มีฝุ่นขนาดเล็ก (PM₁₀) สูงเกินมาตรฐาน

แนวโน้มของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) เฉลี่ยรายปีตั้งแต่ปี 2538 – 2549 ในกรุงเทพมหานคร การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานคร แบ่งพื้นที่ตรวจวัดออกเป็น 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ถนนและพื้นที่ทั่วไป ผลการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ พบว่า ปัญหาหลักยังคงมาจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM₁₀)

พื้นที่ริมถนน คุณภาพอากาศบริเวณริมถนนในกรุงเทพมหานคร มีฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เป็นปัญหาหลัก แต่มีปริมาณลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับปี 2548 ซึ่งบริเวณที่มีปัญหามากที่สุด คือ ถนนดินแดง มีสาเหตุมาจากการก่อสร้างปรับปรุงถนนและการจราจรที่ติดขัดเพิ่มขึ้น รองลงมา คือ ถนนพระราม 6 ถนนพระราม 4 และถนนพหลโยธิน สำหรับบริเวณถนนลาดพร้าวและถนนอินทรพิทักษ์ ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษฝุ่นขนาดเล็กเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 25.7 – 343.5 มคก./ลบ.ม. ถนนที่มีปัญหาฝุ่นขนาดเล็กมากที่สุดและพบเกินมาตรฐานทุกวันที่ตรวจวัด คือ ถนนราชปรารภ ย่านประตูน้ำ รองลงมา คือ ถนนสุขุมวิท สามแยกปากซอยอ่อนนุช ถนนรัชดาภิเษก แยกเทียนร่วมมิตร ถนนสาธุประดิษฐ์ บริเวณไปรษณีย์โทรเลขสาธุประดิษฐ์ และถนนพหลโยธิน บริเวณกรมพัฒนาที่ดิน ตามลำดับ

ตารางที่ 1-2 คุณภาพอากาศในบริเวณริมถนนในกรุงเทพมหานคร

สารมลพิษ	ช่วงค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่ามาตรฐาน	จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน / จำนวนครั้งที่ตรวจวัด
PM ₁₀ (มคก./ลบ.ม.)	10.4 – 206.2	126.9	120	146/2,052 (7.1)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2549

พื้นที่ทั่วไป คุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร ตรวจพบสารมลพิษที่มีปริมาณเกินมาตรฐาน คือ ก๊าซโอโซน และฝุ่นละออง โดยมีปริมาณสูงขึ้นเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา จากการตรวจวัดคุณภาพอากาศฝุ่นขนาดเล็กเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 15.7 – 124.9 มคก./ลบ.ม. สูงเกินมาตรฐานเล็กน้อยจำนวน 2 ครั้ง จากการตรวจวัดทั้งหมด 2,147 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 0.09 บริเวณที่เกินมาตรฐาน ได้แก่ กรมประชาสัมพันธ์ และโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม

ตารางที่ 1-3 คุณภาพอากาศในบริเวณพื้นที่ทั่วไปในกรุงเทพมหานคร

สารมลพิษ	ช่วงค่าที่วัดได้	ค่าเฉลี่ย	ค่ามาตรฐาน	จำนวนครั้งที่เกินมาตรฐาน / จำนวนครั้งที่ตรวจวัด
PM ₁₀ (มคก./ลบ.ม.)	15.7 – 124.9	84.2	120	2/2,147 (0.1)

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2549

สาเหตุสำคัญของปัญหามลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานครจากภาคคมนาคมขนส่งร้อยละ 75 ของการใช้ทั้งหมด เป็นการใช้ในการคมนาคมขนส่งทางบกเกือบทั้งหมดเป็นการขนส่งทางถนน ส่วนที่เหลืออีกเล็กน้อยเป็นการขนส่งทางรถไฟ สาเหตุหลายประการที่การคมนาคมขนส่งมีส่วนก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร เช่น ประเภทรถยนต์ ชนิดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในแต่ละประเภทของรถยนต์ จำนวนยานพาหนะบนท้องถนน คุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง สภาพของรถประเภทต่าง ๆ การมีหรือไม่มีเครื่องกรองมลพิษ สารพิษต่าง ๆ ที่ปล่อยออกมาจากท่อไอเสียของยานพาหนะ จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของเชื้อเพลิงที่ใช้ระดับการควบคุมปริมาณไอเสีย ความเร็วบนเส้นทางการจราจร (วีรญา แผงแสง, 2547)

1.3 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon ; PAHs) เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เกิดจากการต่อกันของวงแหวนเบนซินตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน (C) และไฮโดรเจน (H) ในลักษณะที่เป็นเส้นตรง มุม หรือรวมกันเป็นกลุ่ม (Blumer ,1976 ; Netto et al ,2000 ; WHO ,2000) สาร PAHs ที่ถูกปล่อยสู่บรรยากาศสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) PAHs อยู่ในรูปก๊าซ (gas phase) และ 2) PAHs ที่เกาะอยู่กับฝุ่นละออง (particulate phase) สาร PAHs ส่วนใหญ่มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง จึงถูกปลดปล่อยออกมาสู่บรรยากาศในสถานะก๊าซในสภาวะที่มีความดันไอลต่ำ จากนั้น สาร PAHs มักจะรวมตัวกับอนุภาคในบรรยากาศกลายเป็น particulate PAHs ซึ่ง PAHs ที่อยู่ในรูปอนุภาคของฝุ่นที่มีค่าครึ่งชีวิตที่นานกว่า PAHs ที่อยู่ในรูปของก๊าซ เนื่องจาก PAHs ที่ยึดเกาะอยู่ในรูปอนุภาคของฝุ่นสามารถคงตัวอยู่ในบรรยากาศได้นาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ รวมถึงอัตราการตกสะสมแบบเปียกและแบบแห้ง เมื่อเทียบกับ PAHs ที่อยู่ในรูปของก๊าซที่สามารถสลายตัวโดยปฏิกิริยาของแสงกับไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ไดไนโตรเจนเพนตะออกไซด์ (N₂O₅) ไฮดรอกซิลแรดิคัล (-OH) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และเพอรอกซีแอซีทิลไนเตรต (peroxyacetyl nitrate , PAN) (ATSDR , 1995) การแพร่กระจายของ PAHs ในบรรยากาศขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ ได้แก่ ค่าการละลายน้ำ (Water solubility) ค่าความดันไอ (Vapour pressure) ค่าคงที่เฮนรี (Henry's law constant) สัมประสิทธิ์การพาร์ทิชันของออกทานอลกับน้ำ (Octanal-water partition coefficient, K_{ow}) และ

สัมประสิทธิ์การพาร์ทิชันของสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon partition coefficient, K_{oc}) จากคุณสมบัติดังกล่าวสามารถแบ่งกลุ่มของ PAHs โดยพิจารณาจากน้ำหนักโมเลกุลออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1) PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Low molecular weight) 152 – 178 กรัมต่อโมล พบอยู่ในรูปของก๊าซ 2) PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (Medium molecular weight) 202 กรัมต่อโมล พบอยู่ในรูปของก๊าซและอนุภาค และ 3) PAHs ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (High molecular weight) 228 – 278 กรัมต่อโมล พบอยู่ในรูปอนุภาคฝุ่น (Beak et al, 1991 ; ATSDR ,1995)

1.3.1 แหล่งกำเนิดของสาร PAHs

สาร PAHs ในบรรยากาศเกิดจากแหล่งกำเนิดหลัก 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดที่เป็นกระบวนการตามธรรมชาติและแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

1.3.1.1 แหล่งกำเนิดจากกระบวนการตามธรรมชาติ (Natural sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสาร PAHs ตามกระบวนการตามธรรมชาติ โดยไม่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น การเกิดไฟป่า และภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น ซึ่งในประเทศแคนาดา พบว่ามีสาร PAHs ในบรรยากาศที่เกิดจากไฟป่าประมาณ 2,000 ตัน/ปี และพบ Benzo[a]Pyrene จากภูเขาไฟระเบิดประมาณ 1.2 – 1.4 ตัน/ปี (Environment Canada, 1994 อ้างถึงใน IPCS, 1998)

1.3.1.2 แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic source) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่

1) แหล่งกำเนิดจากอาคารบ้านเรือนและที่อยู่อาศัยส่วนใหญ่มาจากการให้ความร้อนภายในบ้านเรือนและการสูบบุหรี่ โดยเกิดจากการให้ความร้อนภายในบ้านเรือนมักเกิดในฤดูหนาวเนื่องจากมีอุณหภูมิต่ำ จึงมีการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มความอบอุ่นภายในที่อยู่อาศัย โดยเชื้อเพลิงที่ใช้อาจเป็นไม้ ถ่านหิน และถ่านโค้ก ซึ่งทำให้เกิดสาร PAHs ขึ้นจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงดังกล่าว เช่น ที่เมืองเอสเซน ประเทศเยอรมัน พบว่า สาร PAHs มีระดับความเข้มข้นสูงในเขตที่อยู่อาศัยจากการให้ความร้อนโดยใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงพบ B[a]A B[b]F และ Chry มีระดับความเข้มข้นสูงกว่า 260 นนก./ลบ.ม. (Grimmer, 1980) นอกจากนี้สาร PAHs ยังเกิดจากการสูบบุหรี่ทั้งจากควันบุหรี่ที่เกิดจากบุหรี่โดยตรงและควันรอบมวนบุหรี่ พบ Pyr และ Fluo (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

2) แหล่งกำเนิดจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ การเผาถ่านหินหรือโรงไฟฟ้าเชื้อเพลิงชีวมวล การเผาขยะ จากการศึกษาของ Khesina (1994) ได้ทำการตรวจวัดสาร PAHs บริเวณโรงงานน้ำมันในกรุงมอสโก ประเทศรัสเซีย พบ B[a]P มีความเข้มข้นในบรรยากาศสูงกว่า 13 นนก./ลบ.ม. ส่วนสาร PAHs โดยส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการผลิตพลาสติก ซึ่งจากการศึกษาของ Davies et al. (1976) ได้ทำการ

เก็บตัวอย่างอากาศจากปลายปล่องเตาเผาขยะชุมชน พบ Pyr, B[a]A, Chry, Flu, B[ghi]P, B[b]kF, Per และ Ind มีระดับความเข้มข้น 1.6, 0.72, 0.72, 0.58, 0.42, 0.32, 0.18 และ 0.18 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ

3) แหล่งกำเนิดจากการคมนาคมเกิดจากการไอเสียจากรถยนต์ ซึ่งใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง จากการศึกษา Lee et al (1995) ซึ่งได้วิเคราะห์หาความเข้มข้นของสาร PAHs ในน้ำมันเชื้อเพลิง ประเทศไต้หวัน พบว่า น้ำมันเชื้อเพลิงมี Nap, Acy และ Ace เป็นส่วนประกอบหลัก (ประมาณร้อยละ 40) และพบว่า Total PAHs ที่มาจากน้ำมันดีเซลมีระดับความเข้มข้นสูงถึง $7,341 \pm 1,491$ มก./ล. โดยชนิดของสาร PAHs ที่พบมากที่สุดคือ Acy, Ace, Flu, Phe, An, Fluo, Pyr, Chry, B[a]A, Cor และ B[k]F ส่วนผลการศึกษาศาสตร์ PAHs มีปล่อยมาจากไอเสียรถยนต์ดีเซลและเบนซินพบ Ace, Flu, Phe, Fluo, Pyr, Chry และ B[e]P เป็นชนิดหลักของสาร PAHs ที่มาจากรถยนต์ดีเซล และ Flu, Chry, Ind, B[ghi]P, Cyc และ Cor เป็นชนิดหลักของสาร PAHs ที่มาจากรถยนต์เบนซิน (Yang et al., 1998 ; Kulkarni and Venkataraman, 2000 ; Ho et al., 2002 ; Caricchia et al., 1999 ; Omar et al., 2002)

4) แหล่งกำเนิดจากเกษตรกรรมเกิดจากการเผาไหม้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เพื่อเตรียมพื้นที่การเพาะปลูก ได้แก่ การเผาฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น การเผาในลักษณะนี้นอกจากจะทำให้คุณภาพอากาศลดลงและลดทัศนวิสัยในการมองเห็นของผู้ขับขี่ยานพาหนะ จากการศึกษาของ Chen et al (2008) ได้ทำการตรวจหาสาร PAHs จากการเผาต่อซังข้าวในเมือง Jhu-Shan และเมือง Sin Gang โดยตรวจวัดทั้งสถานะก๊าซและที่เกาะอยู่บนอนุภาค พบว่า มีระดับความเข้มข้นรวมของสาร PAHs ทั้ง 21 ชนิด ซึ่งชนิดที่พบส่วนใหญ่ ได้แก่ Nap Acy Ace Flu Phe และ An คิดเป็นร้อยละ 93.4 และ 77.3 ของ Total PAHs ที่เมือง Jhu-Shan และเมือง Sin Gang ตามลำดับ ตัวอย่าง PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ดังแสดงในตารางที่ 1-4

ตารางที่ 1-4 แหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สำคัญ (ATSDR, 1995 และ Keshtkar and Ashbaugh, 2007)

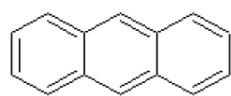
แหล่งที่มา (Source)	PAHs predominant
การเผาไหม้จากยานที่ฟักอาศัย	Acenaphthylene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ในรูปฝุ่น	Fluoranthene, Phenanthrene, Pyrene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ในรูปก๊าซ	Phenanthrene, Anthracene
ไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล ในรูปฝุ่นและก๊าซ	Acenaphthene, Fluorene, Phenanthrene
ถ่านล้อยและถ่านหลัก	Phenanthrene
เตาเผาขยะเทศบาล	Benzo[g,h,i]Perylene

ตารางที่ 1-4 แหล่งที่มาของสาร PAHs ที่สำคัญ (ATSDR, 1995 และ Keshtkar and Ashbaugh, 2007) (ต่อ)

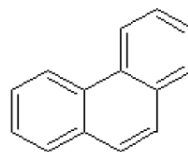
แหล่งที่มา (Source)	PAHs predominant
เตาเผาขยะชุมชน	Fluoranthene, Benzo[a]Fluoranthene, Benzo[g,h,i]Perylene, Phenanthrene, Indeno[1,2,3-c,d]Pyrene, Chrysene
เตาเผาขยะทางการแพทย์	Benz[a]Anthracene, Benzo[g,h,i]Perylene
เตาเผาขยะแบบหมუნ	Benz[a]Anthracene, Phenanthrene
การใช้แก๊สจากบ้านเรือน	Chrysene, Pyrene, Fluoranthene
ควันบุหรี่	Benzo[a] Pyrene
น้ำมันดิน (Coal tar pitch)	Phenanthrene, Pyrene
การเผาไหม้ฟางข้าว	Indeno[1,2,3-c,d]Pyrene, Benzo[a] Pyrene, Dibenz[a,h]Anthracene

1.3.2 โครงสร้างทางเคมีและคุณสมบัติทั่วไปของสาร PAHs

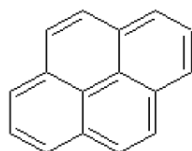
สารประกอบ PAHs ส่วนใหญ่ไม่ละลายน้ำ จุดเดือดระหว่าง 150 – 325°C และจุดหลอมเหลวระหว่าง 101 – 438°C PAHs ในสิ่งแวดล้อม มักเกาะกับอนุภาคฮิวมิก (humic) ในดิน หรือสะสมในสิ่งมีชีวิต PAHs เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ เช่น การเผาถ่านหิน และไม้ PAHs เป็นสารที่มีความคงทนอยู่ในสิ่งแวดล้อมเป็นเวลายาวนาน หรือที่เรียกว่า persistent organic pollutants (POPs) รวมถึงมีการสะสมอยู่ในห่วงโซ่อาหาร สามารถส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมได้ ซึ่งอยู่ในกลุ่มเดียวกับ Polychlorinated Biphenyls (PCBs), Pyrrolobenzodiazepines (PBDs), Dioxin และยาฆ่าแมลง (Pesticides) และเป็นสารก่อมะเร็ง และเปลี่ยนแปลงพันธุกรรม ความสามารถในการละลายน้ำ การระเหยเป็นไอ ของ PAHs แต่ละชนิด ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุลและโครงสร้างทางเคมี โดยความดันไอและความสามารถในการละลายน้ำจะลดลงเมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้น ส่วนใหญ่ PAHs มีความดันไอต่ำเมื่ออยู่ในอากาศ และ PAHs ที่มีวงแหวนเบนซีน 3 วง (acenaphthene, fluorene, phenanthrene และ anthracene) จะอยู่ในวัฏภาคก๊าซ (Trang T.T. Dong and Byeong-Kyu Lee, 2009) และ PAHs ที่มีวงแหวนเบนซีน 4 วง หรือมากกว่านั้น (indeno[1,2-c,d]pyrene, benzo[g,h,i]perylene) จะอยู่ในวัฏภาคอนุภาค และ PAHs ที่อยู่ในวัฏภาคอนุภาคเป็นสารก่อมะเร็งได้สูงกว่า PAHs ที่อยู่ในวัฏภาคก๊าซ



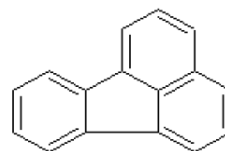
Anthracene (An)



Phenanthrene (Phe)



Pyrene (Py)



Fluoranthene(Fluo)

รูปที่ 1-2 โครงสร้างของ PAHs 4 ชนิดหลักที่ใช้ในงานวิจัย โดย US – EPA

ตารางที่ 1-5 สมบัติ physicochemical property บางประการของสาร PAHs

PAHs	น้ำหนัก โมเลกุล (g)	จุด หลอมเหลว (°C)	จุดเดือด (°C)	ความสามารถ ในการละลาย (mg/l)	log k _{ow}	ความดันไอ (torr at 20 °C)
Phenanthrene	178	100	340	1.29	4.45	6.9×10^{-4}
Anthracene	178	216	342	0.07	4.45	1.9×10^{-7}
Fluoranthene	202	11	375	0.26	5.33	6.0×10^{-6}
Pyrene	202	156	393	0.14	5.32	6.9×10^{-7}

ที่มา: US.EPA.,1989

1.3.3 ความเป็นพิษของสาร PAHs

1.3.3.1 สารก่อมะเร็ง (Carcinogenicity)

สาร PAHs จัดเป็นสารที่เป็นมลพิษทางอากาศที่สำคัญกำหนดใน Clean Air Act ใน ค.ศ.1990 ของสหรัฐอเมริกาและ International Agency for Research on Cancer (IARC) เนื่องจากคุณสมบัติความเป็นสารที่อาจก่อหรือร่วมก่อให้เกิดมะเร็งได้ ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มตามความสามารถในการก่อมะเร็ง คือ สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน สารที่อาจก่อมะเร็งในคน และสารที่ไม่น่าจะก่อมะเร็งในคน โดยการจัดกลุ่มดังกล่าวใช้ข้อมูลที่แสดงศักยภาพของการก่อมะเร็งในมนุษย์และสัตว์ทดลอง และเป็นส่วนประกอบอยู่ในสารผสมที่ได้รับการยืนยันทางระบาดวิทยาแล้วว่าเป็นสาเหตุหรือมีส่วนทำให้เกิดมะเร็งในคน เช่น คาร์บอนหุ้ร น้ำมันดิบ เขม่าจากเตาเผาถ่านหิน หรือจากท่อไอเสียรถยนต์ และเป็นการยากที่จะตรวจยืนยันปริมาณความเข้มข้นของสาร PAHs แต่ละชนิดที่มนุษย์ได้รับในสารผสมเหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีสารก่อมะเร็งอื่น ๆ ปะปนอยู่ในสารผสมดังกล่าวด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

1.3.3.2 การเป็นสารก่อกลายพันธุ์ (Mutagenicity)

สาร PAHs ที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ด้วยโดยสาร PAHs บางชนิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเมตาโบไลต์โดยเอนไซม์ cytochrome P-450 ทำให้เกิดการเติมหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ที่เป็นวงเบนซินได้เป็นสารอนุพันธ์ epoxide ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวมาก สามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ได้ดีกับสารพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิกจากการศึกษาตำแหน่งบนโครงสร้าง DNA พบว่าเบสและหมู่ฟอสเฟต เป็นตำแหน่งที่เกิดการสร้างพันธะโควาเลนต์กับสารก่อมะเร็ง (ไพลิน ทวีวงษ์, 2546)

นอกจากนี้ PAHs ยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งหรือกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ การเสริมพิษ/การต่อต้านพิษ ความเป็นพิษต่อระบบประสาท การระคายเคืองเบื้องต้น ความเป็นพิษต่อภูมิคุ้มกัน ความผิดปกติต่อการสืบพันธุ์ (Reproductive toxicology) ความผิดปกติที่เกิดในทารกความเป็นพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

1.3.4 อัตราส่วนสำหรับบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs

โดยทั่วไปสาร PAHs มักถูกเชื่อมโยงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ในกระบวนการเผาไหม้และการผลิตพลังงานทั้งหลายเหล่านั้นที่นำไปสู่กระบวนการเผาไหม้ในระดับภูมิภาค โดยรูปแบบต่าง ๆ ของการเผาไหม้ทำให้เกิดชนิดของสาร PAHs ที่แตกต่างกัน เช่น กระบวนการเผาไหม้ที่เกิดจากถ่านหินหรือจากเชื้อเพลิงยานยนต์ จะเกิดชนิดของสาร PAHs แตกต่างจากกระบวนการเผาไหม้จากไฟฟ้า เป็นต้น สาร PAHs บางชนิดเกิดขึ้นภายในน้ำมันดิบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโมเลกุลในผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติ โดยสามารถสรุปได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ดังนี้

- Petrogenic สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม มีลักษณะสำคัญคือ เป็นสารที่มีกลุ่มโมเลกุลหลัก(parent) ของ PAHs ซึ่งประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน 2 ถึง 4 วง ได้แก่ Naphthalene Fluorene Phenanthrene Dibenzothiophene และ Chrysene กับกลุ่มที่มีหมู่อัลคิลมาแทนที่ในโมเลกุล โดยพบว่าปริมาณของสารกลุ่มที่มีหมู่อัลคิลมาแทนที่มักจะมีปริมาณรวมมากกว่ากลุ่มหลัก

- Pyrogenic สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกี่ยวข้องกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน น้ำมัน และจากไฟไหม้ป่า โดยมักพบโมเลกุลประเภท unsubstituted PAHs ซึ่งมีวงแหวนเบนซิน ตั้งแต่ 3 ถึง 5 วงที่พบมาก ได้แก่ Fluoranthene และ Pyrene สาร PAHs ที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์

ในการหาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ในฝุ่น PM10 ที่วิเคราะห์จากอัตราส่วน Phe/(Phe+An) และ Fluo/(Fluo+Pyr) จะสามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดได้ว่ามาจากแหล่งกำเนิดของสาร PAHs ประเภท Petrogenic หรือ Pyrogenic ตามค่าดัชนีที่กำหนดในตาราง

อัตราส่วนสำหรับบ่งชี้แหล่งกำเนิดในสาร PAHs แต่ละชนิด เช่น แอนทราซีน ไพรีน เป็นต้น สามารถใช้ระบุและวินิจฉัยแหล่งที่มาของ PAHs ในอากาศ (Kavouras et al., 1999) แต่ในการระบุก็ควรจะใช้ด้วยความระมัดระวัง เพราะมักจะแยกแยะยากระหว่างแหล่งที่มาแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาบางชนิดของ PAHs กับสารชนิดอื่น ๆ ในชั้นบรรยากาศ เช่น โอโซน ไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นต้น (J.Mantis et al., 2005) การคำนวณอัตราส่วนแหล่งกำเนิดของ PAHs แต่ละชนิดนั้น สามารถวิเคราะห์แหล่งกำเนิด PAHs ในสิ่งแวดล้อมที่เรียกว่า Diagnostic Ratio ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาสาร PAHs ทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ An, Phe, Py และ Fluo โดยพบว่าสามารถใช้สัดส่วน Fluo/(Fluo+Pyr) และ Phe/(Phe+An) ตามตารางที่ 1-6 ในการแยกแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันของสาร PAHs ได้ (Nedim Vardar et al., 2008)

สาร PAHs ในแต่ละชนิดนั้นสามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดได้หลายแหล่ง ในการใช้อัตราส่วนเดียวกันอาจไม่สามารถบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดของ PAHs ได้ เนื่องจาก PAHs ในชั้นบรรยากาศมีแหล่งกำเนิดหลายรูปแบบจึงมีความแตกต่างกันและซับซ้อนขึ้นอยู่กับการสลายตัวในชั้นบรรยากาศของสาร PAHs ที่เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูร้อนและความหนาแน่นของการจราจร (J.Mantis et al., 2005)

ตารางที่ 1-6 อัตราส่วนของ PAHs (Binary Ratio) ใน PM₁₀

อัตราส่วนของ PAHs	แหล่งกำเนิด	เอกสารอ้างอิง
Fluo/(Fluo+Pyr)	< 0.4 Petrogenic	Yunger et al ,2002
	0.4 - 0.5 Fossil fuel combustion	
	> 0.5 Grass, wood, coal combustion	
An /(An + Phe)	< 0.1 Petrogenic	Pies et al ,2008
	> 0.1 Pyrogenic	

1.3.5 การสลายตัวของ PAHs ในบรรยากาศ

ปริมาณและการกระจายตัวของสาร PAHs ขึ้นอยู่กับความคงตัวของสาร PAHs โดยทั่วไปสาร PAHs ในบรรยากาศมี 2 ลักษณะ คือ ก๊าซและอนุภาครวมตัวกับฝุ่น ซึ่งขึ้นอยู่กับความดันไอของ PAHs เมื่อสาร PAHs ถูกปล่อยสู่บรรยากาศ อนุภาคเหล่านี้จะเข้าสู่กระบวนการหลายกระบวนการ ความเข้มข้นของ PAHs จะขึ้นอยู่กับชนิดของ PAHs แต่ละตัวในการจับกับอนุภาคสารอินทรีย์และปฏิกิริยาเคมี รวมถึงความคงตัวของสารนั้น (Pankow, 1991 ; Yamasaki et al., 1982) การเปลี่ยนแปลงระหว่างก๊าซและอนุภาคของ PAHs จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนการพาร์ทิชัน (partitioning ratio) ซึ่งสามารถแสดงในรูปของอัตราส่วนระหว่างระดับความเข้มข้น PAHs ในรูป

อนุภาคกับระดับความเข้มข้น PAHs ในรูปก๊าซ โดยทั่วไปแล้ว PAHs ที่อุณหภูมิปกติทั่วไป มีจุดเดือดและจุดหลอมเหลวสูง ค่าความดันไอต่ำ ค่าละลายน้ำได้น้อยมากและการสลายตัวในสิ่งแวดล้อมได้ต่างกัน PAHs สามารถสลายตัวในบรรยากาศได้หลายวิธี ได้แก่

1.3.5.1 การสลายตัวโดยแสง (Photodegradation)

กระบวนการสลายตัวเนื่องมาจากแสง (Photodegradation) เป็นกระบวนการสำคัญของการสลายตัวของสาร PAHs ในบรรยากาศเป็นผลมาจากการกระตุ้นของแสง จากงานวิจัยของ Kamens et al. (1988) สาร PAHs สามารถดูดกลืนแสงในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต ที่ความยาวคลื่น 300 – 420 nm ซึ่งเป็นการเกิด photo - oxidized ที่รวดเร็ว การสลายตัวของ PAHs จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นในบรรยากาศ ปริมาณแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ ในเวลาของการสลายตัวในบรรยากาศของ PAHs ในอนุภาคของเขม่า (soot particle) แสดงถึงค่าครึ่งชีวิตของ B[a]A, B[e]P, B[g]P, Ind และ B[b]F จะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิในบรรยากาศมีค่าต่ำ ปริมาณแสงต่ำและปริมาณความชื้นต่ำ จากการศึกษาของ Panther et al. (1999) พบว่า PAHs จะสลายตัวได้ดีในเดือนที่มีสภาพอากาศร้อน เนื่องจากมีชั่วโมงที่มีแสงสว่างมากกว่าและมีความเข้มของแสงมาก ในบรรยากาศ สาร PAHs ในบรรยากาศโดยทั่วไปส่วนใหญ่ถูกดูดซับอยู่บนเถ้าลอย (fly ash) เขม่า (soot) และผงถ่าน (carbon black) มีความแตกต่างกันอย่างมาก ถึงแม้ว่าเป็น PAHs สารกลุ่มเดียวกันก็ตาม คือมีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่า 1 ชั่วโมงถึง 1,000 ชั่วโมง Behymer and Hites (1988) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสลายตัวโดยแสงของ PAHs ในเถ้าลอยในฤดูร้อนและหนาว จากการศึกษาพบว่าค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวของ PAHs จากปฏิกิริยาของแสง ไม่ว่าโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยวงอะโรมาติกกี่วงก็ตาม ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเถ้าลอย เช่น องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอน ฟอสฟอรัส และซี

Butler and Crossly (1981) ศึกษาค่าครึ่งชีวิตของ PAHs ในอนุภาคของเขม่า ภายใต้สภาวะที่มีแสงและมีระดับความเข้มข้นของก๊าซ NO_2 10 ppm พบว่า Benzo[a]Pyrene มีค่าครึ่งชีวิต 168 ชั่วโมง, Benzo[g,h,i]perylene 195 ชั่วโมง, Benzo[a]Anthracene 264 ชั่วโมง, Pyrene 336 ชั่วโมง, Chrysene 624 ชั่วโมง, Fluoranthene 648 ชั่วโมง และ Phenanthrene 720 ชั่วโมง

1.3.5.2 การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยเคมีแสง (Photochemical oxidation)

การเปลี่ยนรูปจากปฏิกิริยา Photochemical oxidation มีความสำคัญต่อการสลายตัวของ PAHs ทั้งในรูปของก๊าซและในรูปของอนุภาค จากงานวิจัยของ Beak et al. (1991) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสาร PAHs กับ NO_x , N_2O_5 , OH, O_3 , SO_2 และ peroxyacyl nitrate ในบรรยากาศ

1.3.5.3 การทำปฏิกิริยาของสาร PAHs กับ Reactive gases

นอกปฏิกิริยา Photochemical oxidation สาร PAHs สามารถลดลงได้จากการ Evaporative หรือ oxidative reactions กับ reactive gases ซึ่งก๊าซเหล่านี้ อาจจะถูกปล่อยมาจากแหล่งเดียวกัน ได้แก่ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ซัลเฟอร์ออกไซด์ (SO_x) โอโซน (O₃) และสารประกอบอื่น ๆ ของ Photochemical smog และ ได้มีงานวิจัยของ Lindskog et al. (1983) ศึกษาปฏิกิริยาของสารประกอบ PAHs ที่เกิดจากการเผาไหม้ในอนุภาคเขม่า โดยให้สารประกอบ PAHs ทำปฏิกิริยากับ NO₂ และ O₃ ในสถานะที่ไม่มีแสง จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ PAHs ลดลง ซึ่งมีปัจจัยจากความเข้มข้นของก๊าซ เวลาในการทำปฏิกิริยา และความชื้นในบรรยากาศ เมื่อมีการเพิ่มกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ในอนุภาคเขม่าพบว่าปฏิกิริยาของ PAHs เพิ่มขึ้นมากกว่ามีแต่ก๊าซ NO₂ และ O₃ เพียงอย่างเดียว

1.3.5.4 การระเหยกลายเป็นไอ

สาร PAHs มีแนวโน้มในการระเหยกลายเป็นไอเข้าสู่บรรยากาศได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความดันไอ (Vapor pressure) และอุณหภูมิในบรรยากาศ ซึ่งสาร PAHs ทุกชนิด ระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมากที่อุณหภูมิห้อง

1.3.5.5 การรวมตัวของอนุภาคในบรรยากาศ

การกระจายตัวของ PAHs ในบรรยากาศโดยทั่วไปจะแตกต่างกัน ตามกระบวนการที่เกิดไม่ว่าจะเป็นกระบวนการควบแน่นหรือการดูดซับ ทำให้พบ PAHs ใน 2 สถานะ คือ สถานะก๊าซและสถานะที่จับกับอนุภาคแขวนลอย จากการศึกษาของ Chetwittayachan et al. (2002) พบว่าสาร PAHs จะอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส และอยู่ในรูปที่ยึดเกาะกับอนุภาคของซีเถ้าลอยที่อุณหภูมิต่ำกว่า จากการศึกษาโครงสร้างแบบชั้น (Shell structure) สาร PAHs จะเกาะอยู่บนอนุภาคที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก จากนั้นสาร PAHs จะถูกปกคลุมด้วยสารกลุ่มระเหยง่ายชนิดอื่นอีกชั้นหนึ่ง นอกจากนี้ Venkataraman et al. (1999) ศึกษาความสัมพันธ์ของสาร PAHs ที่พบในเขตเมืองโดยได้จำแนก ลักษณะของอนุภาคเป็น 3 ลักษณะ คือ

- 1) สาร PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอน ซึ่งมีขนาดเล็กมาก คือ เล็กกว่า 0.1 ไมครอน
- 2) สาร PAHs ที่เกาะอยู่บนอนุภาคขนาดเล็กหรืออาจดูดซับบนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 0.1 – 2.0 ไมครอน ที่ถูกหุ้มด้วยสารประกอบในกลุ่มระเหยได้ง่าย
- 3) สาร PAHs ที่เข้าไปเกาะติดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขนาดระหว่าง 2 – 10 ไมครอน

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์สาร PAHs เพียง 4 ชนิด คือ Anthracene (An), Phenanthrene (Phe), Pyrene (Py) และ Fluoranthene (Fluo) โดยส่วนใหญ่แล้วสาร PAHs ทั้ง 4 ชนิดนี้มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันจากยานพาหนะ (Duval and Friedlander, 1981) และการเผาไหม้ไม้ภายในชุมชนเมือง (Bruno, 2002) รวมทั้งระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ทั้ง 4 ชนิดนี้ไม่ว่าจะอยู่ในวัฏภาคอนุภาคหรือวัฏภาคแก๊สนั้นก็ยังสามารถตรวจพบระดับความเข้มข้นที่สูง เมื่อเทียบกับสาร PAHs ชนิดอื่น (Boström et al., 2002) ซึ่งจะมีผลต่อการวิเคราะห์ข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์อาจเกิดความผิดพลาดได้

1.4 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems : GIS)

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information Systems :GIS) เป็นกระบวนการทำงานเกี่ยวกับข้อมูลในเชิงพื้นที่ด้วยระบบคอมพิวเตอร์และเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ โดยข้อมูลลักษณะต่าง ๆ ในพื้นที่ที่ทำการศึกษจะถูกนำมาให้จัดอยู่ในรูปแบบที่มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกันและกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและรายละเอียดของข้อมูลนั้น ๆ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดตามต้องการสามารถแปลความหมายเชื่อมโยงกับสภาพภูมิศาสตร์อื่น ๆ สภาพท้องที่ สภาพการทำงานของระบบสัมพันธ์กับสัดส่วนระยะทางและพื้นที่จริงบนแผนที่

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีและองค์ความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วมีประสิทธิภาพสูง สามารถทำงานได้รวดเร็วมากขึ้น ตลอดจนการแสดงผลหรือการส่งออกข้อมูล GIS สามารถนำความรู้ทางด้านการจัดการฐานข้อมูล (Database Management) ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบฐานข้อมูลให้เป็นระบบมากขึ้น

1.4.1 องค์ประกอบหลักของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

องค์ประกอบหลักของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ สามารถจัดแบ่งออกเป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1.4.1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) คือ เครื่องมือหรืออุปกรณ์ ที่เป็นองค์ประกอบที่สนับสนุนกระบวนการจัดการระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ของหน่วยงาน ได้แก่ ตัวเครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างฐานข้อมูลไปจนถึงการจัดเก็บข้อมูล เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ จอภาพ จีพีเอส ดิจิไทเซอร์ เครื่องพิมพ์ ฯลฯ

1.4.1.2 ซอฟต์แวร์ (Software) คือ โปรแกรมหรือชุดคำสั่ง ที่สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามรูปแบบระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อจัดการข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ให้ได้ตามที่วัตถุประสงค์ที่ต้องการ เช่น ArcGIS , ArcView , MapInfo , Quantum GIS เป็นต้น

1.4.1.3 ข้อมูล (Data) คือ ข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิหรือทุติยภูมิที่เกี่ยวข้องหรือเชื่อมโยงกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทั้งในรูปแบบแผนที่ และข้อมูล

สถิติที่เกี่ยวข้อง แล้วนำมาจัดเป็นระบบ เพื่อป้อนเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ให้ทำการประมวลผลออกมา

1.4.1.4 บุคลากร (People) คือ ผู้มีหน้าที่จัดการให้องค์ประกอบทั้ง 5 ส่วน สามารถทำงานประสานกันจนได้ผลลัพธ์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในรูปแบบข้อมูล และผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อสนับสนุนงานที่จำเป็นในหน่วยงาน

1.4.1.5 กระบวนการ (Procedure) เป็นกระบวนการเพื่อสนับสนุนการวิเคราะห์ดำเนินงาน ให้ได้ตามเป้าหมาย ซึ่งต้องอาศัยองค์ประกอบและองค์ความรู้ต่าง ๆ ตามศาสตร์ที่จะดำเนินการ



รูปที่ 1-3 องค์ประกอบของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

1.4.2 ประเภทข้อมูลในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ข้อมูล (Data) หมายถึง ค่าสังเกต ค่าจากการจัดการบันทึกคุณสมบัติของวัตถุต่าง ๆ ข้อมูลที่ได้แปลความหมายแล้วเรียกว่า สารสนเทศ (Information) ผู้นำไปใช้งาน (User) อาจจะนำข้อมูลที่บันทึกไว้มากลับกรองเป็นสารสนเทศก่อน เช่น โดยการหาค่าเฉลี่ย เปรียบเทียบ ข้อมูลปัจจุบันกับอดีตหาความเปลี่ยนแปลง และความแปรปรวน เป็นต้น ในทางภูมิศาสตร์แบ่งประเภทข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) และ ข้อมูลที่ไม่อยู่ในเชิงพื้นที่ (Non-spatial data)

1.4.2.1 ข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial data) เป็นข้อมูลที่สามารถอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ (Geo-referenced) ทางภาคพื้นดิน ซึ่งแตกต่างกับระบบ MIS (Management Information System) หรือระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ เป็นระบบงานคอมพิวเตอร์ซึ่งผสมผสานกับการทำงานด้วยมือ เพื่อจัดทำข่าวสารข้อมูลหรือสารสนเทศสำหรับผู้

บริการในการตัดสินใจ จะเห็นว่าระบบ MIS นั้นไม่จำเป็นต้องอ้างอิงกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ แบ่งการจัดเก็บดังนี้

1) ข้อมูลราสเตอร์ (Raster) คือ จุดของเซลล์ ที่อยู่ในแต่ละช่วงสี่เหลี่ยม (grid) โครงสร้างของ Raster ประกอบด้วยชุดของ Grid cell หรือ pixel ข้อมูลแบบ Raster เป็นข้อมูลที่อยู่บนพิกัดรูปตารางแฉกอนและแฉกตั้ง แต่ละ cell อ้างอิงโดยแฉกและสตรัมภ์ภายใน grid cell จะมีตัวเลขหรือภาพข้อมูล Raster ความสามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลราสเตอร์ขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ ณ จุดพิกัดที่ประกอบขึ้นเป็นฐานข้อมูลแสดงตำแหน่งจุดนั้น ซึ่งข้อมูลประเภท Raster มีข้อได้เปรียบในการใช้ทรัพยากรระบบคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า ช่วยให้สามารถทำการวิเคราะห์ได้รวดเร็ว

2) ข้อมูลเวกเตอร์ (Vector) ตัวแทนของเวกเตอร์นี้อาจแสดงด้วยจุด เส้น หรือพื้นที่ซึ่งถูกกำหนดโดยจุดพิกัด ซึ่งข้อมูลประกอบด้วยจุดพิกัดทางแนวราบ (X,Y) และ/หรือ แนวตั้ง (Z) ถ้าเป็นค่าพิกัดตำแหน่งเดียวก็จะเป็นค่าของจุด ถ้าจุดพิกัดสองจุดหรือมากกว่าก็เป็นเส้น ส่วนพื้นที่นั้นจะต้องมีจุดมากกว่า 3 จุดขึ้นไป และจุดพิกัดเริ่มต้นและจุดพิกัดสุดท้ายจะต้องอยู่ตำแหน่งเดียวกัน ข้อมูลเวกเตอร์ ได้แก่ ถนน แม่น้ำ ลำคลอง ขอบเขตการปกครอง เป็นต้น ซึ่งลักษณะข้อมูลเชิงพื้นที่ในรูปแบบเวกเตอร์จะมีลักษณะและรูปแบบ (Spatial Feature) ต่าง ๆ กัน คือ รูปแบบของจุด (Point Feature) รูปแบบเส้น (Linear Feature) และรูปแบบของพื้นที่ (Area Feature)

1.4.2.2 ข้อมูลที่ไม่อยู่ในเชิงพื้นที่ (Non-spatial data) เป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะต่าง ๆ ในพื้นที่นั้น ๆ (Attributes) ได้แก่ ข้อมูลการถือครองที่ดิน ข้อมูลระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศ และข้อมูลจำนวนประชากร เป็นต้น

ลักษณะข้อมูลเชิงคุณลักษณะ หมายถึง ลักษณะประจำตัวหรือลักษณะที่มีความแปรผันในการชี้วัดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ตามธรรมชาติ โดยจะระบุถึงสถานที่ที่ทำการศึกษในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ๆ ลักษณะข้อมูลเชิงคุณลักษณะ (Attribute) อาจมีลักษณะที่ต่อเนื่องกัน เช่น เส้นชั้นระดับความสูง (Terrain Elevation) หรือเป็นลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น จำนวนพลเมือง (Number of Inhabitants) และชนิดของสิ่งปกคลุมดิน (Land Cover Type) เป็นต้น ค่าความแปรผันของลักษณะข้อมูลเชิงคุณลักษณะนี้ จะทำการชี้วัดออกมาในรูปของตัวเลข (Numeric) โดยกำหนดเกณฑ์การวัดเป็น 3 ระดับคือ

1) Nominal Level เป็นระดับที่มีการวัดข้อมูลอย่างหยาบ ๆ โดยจะกำหนดตัวเลขหรือสัญลักษณ์เพื่อจำแนกลักษณะของสิ่งต่าง ๆ เท่านั้น

2) Ordinal Level หรือ Ranking Level เป็นการเปรียบเทียบลักษณะในแต่ละปัจจัยว่ามีขนาดเล็กกว่า เท่ากันหรือใหญ่กว่า

3) Interval – Ratio Level เป็นการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละปัจจัยของ Ordinal Level ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด

ลักษณะข้อมูล Attribute และ Spatial นี้จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นไปได้ทั้งในแบบต่อเนื่อง(Continuous) และไม่ต่อเนื่อง (Discrete) ยกตัวอย่างเช่น แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map) จะแสดงถึงเส้นระดับความสูงที่มีความสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่จำนวนประชากรที่อาศัยอยู่ในแต่ละชั้นระดับความสูงนั้นจะมีความสัมพันธ์ในลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง โดยจะแปรผันไปตามปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตเท่านั้น เป็นต้น รูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะข้อมูลที่ปรากฏบนโลกมนุษย์และการแสดงสัญลักษณ์ในแผนที่ ในการแสดงสัญลักษณ์บนแผนที่จากลักษณะภูมิประเทศหรือวัตถุบนพื้นผิวโลกนั้นสามารถแทนด้วยรูปแบบจุด เส้นหรือพื้นที่ ทั้งนี้ต้องพิจารณาจากมาตราส่วนของแผนที่ที่จะแสดงหากแผนที่มาตราส่วนใหญ่ เช่น 1 : 4,000 อาจจะแสดงข้อมูลที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณในรูปแบบโพลีกอนก็ได้ แต่หากที่มาตราส่วนเล็ก เช่น 1 : 50,000 สถานีวัดปริมาณน้ำฝนอาจถูกแทนด้วยจุด หรือเส้น หรือพื้นที่ขนาดเล็กได้

1.4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มีกระบวนการวิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลหลายรูปแบบ สำหรับการศึกษานี้ วิธีที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่

1.4.3.1 การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่

การซ้อนทับข้อมูลเชิงพื้นที่เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลหลายชั้นร่วมกัน โดยข้อมูลเหล่านั้นต้องอยู่ในบริเวณเดียวกันและมีคุณลักษณะต่างกัน ผลจากการวิเคราะห์จะทำให้ได้ชั้นข้อมูลใหม่ ในการซ้อนทับข้อมูลมีกระบวนการในการคำนวณโดยใช้หลักพีชคณิตดำเนินการ เช่น NOT, AND, OR และ XOR

1.4.3.2 การวิเคราะห์พื้นผิว (Surface analysis)

การวิเคราะห์พื้นผิวเป็นการวิเคราะห์การกระจายของค่าตัวแปรหนึ่งซึ่งเปรียบเสมือนเป็นมิติที่ 3 ของข้อมูลเชิงพื้นที่โดยข้อมูลเชิงพื้นที่จะเป็นแนวระนาบ (ตามแกน X และแกน Y) ส่วนตัวแปรที่นำมาวิเคราะห์เป็นข้อมูลแนวความสูง (แกน Z) ซึ่งมีการกระจายตัวครอบคลุมทั้งพื้นที่ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลความสูงของพื้นที่ ระดับความเข้มข้นสาร PAHs เป็นต้น การแสดงข้อมูลพื้นผิวสามารถใช้โครงสร้างข้อมูลแบบเวกเตอร์และแบบราสเตอร์ดังต่อไปนี้

1) โครงสร้างแบบเวกเตอร์โดยการใช้ Triangulated Irregular Network (TIN) แสดงลักษณะของพื้นผิวโดยการใช้รูปสามเหลี่ยมหลายรูปซึ่งมีด้านประชิดกันและใช้จุดยอดร่วมกันเรียงต่อเนื่องกันไป โดยค่า Z จัดเก็บอยู่ที่จุดยอดของสามเหลี่ยม จุดเหล่านี้จะ

กระจายตัวไม่สม่ำเสมอ โดยพื้นที่ที่มีความแตกต่างของค่า Z มาก ๆ จุดยอดสามเหลี่ยมจะอยู่ใกล้ ๆ กัน แต่พื้นที่ที่มีค่า Z ไม่แตกต่างกันนัก จุดจะอยู่ห่างกัน

2) โครงสร้างแบบราสเตอร์โดยการใช้ Digital Elevation Model (DEM) มีลักษณะเป็นกริดเซลล์ขนาดเท่ากันเรียงต่อเนื่องกันครอบคลุมทั้งพื้นที่ ค่าประจำกริดเซลล์คือค่า Z ดังนั้นค่า Z ในพื้นที่จึงมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ

โดยทั่วไปข้อมูลค่า Z ที่นำมาวิเคราะห์จะมีเพียงบางจุดจากพื้นที่ทั้งหมด เช่น ข้อมูลระดับความเข้มข้นสาร PAHs มีอยู่ที่ตำแหน่งของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศซึ่งกระจายอยู่ในพื้นที่ศึกษาเท่านั้น การจะวิเคราะห์ค่า Z จึงจำเป็นต้องใช้การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) ภายใต้อสมมติฐาน 2 ข้อ คือ ค่า Z ต้องมีการเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่องค่อยเป็นค่อยไป และค่า Z ต้องมีความสัมพันธ์เชิงพื้นที่โดยค่า Z ของจุดที่ไม่ทราบค่าจะมีค่าใกล้เคียงกับจุดที่ทราบค่าที่อยู่ไกลออกไปเป็นระยะทางน้อยที่สุด

3) การประมาณค่าเชิงพื้นที่ (Spatial Interpolation) เป็นการหาค่าในบริเวณที่ไม่ทราบค่าด้วยการประมาณค่าจากตำแหน่งที่มีค่าของข้อมูล โดยอาศัยองค์ประกอบที่สำคัญคือ ตำแหน่งของข้อมูลในพื้นที่ ค่าของข้อมูล ณ ตำแหน่งในพื้นที่และวิธีการประมาณค่าเชิงพื้นที่ และสามารถแบ่งประเภทการประมาณค่าเชิงพื้นที่เป็นสองประเภทคือ Global interpolation สำหรับการประมาณค่าจากข้อมูลที่ทราบตำแหน่งและค่าของข้อมูลทุกตำแหน่ง และ Local interpolation ด้วยวิธี Inverse Distance Weighted Interpolation เป็นวิธีการประมาณค่าจากค่าที่ได้จากตำแหน่งของข้อมูลระหว่างกัน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1-1

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^s Z_i \frac{1}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{d_i^k}} \quad \text{สมการที่ 1-1}$$

เมื่อ Z_0 = ค่าที่ต้องการทราบจากการประมาณการ ณ ตำแหน่งที่ 0
 Z_i = ค่าของข้อมูลที่ทราบ ณ ตำแหน่งที่ i
 d_i = ระยะทางของตำแหน่งที่ 0 ถึงตำแหน่งที่ i
 s = จำนวนของตำแหน่งที่มีค่าข้อมูล
 k = specified power

นอกจากนี้การวิเคราะห์พื้นผิวสามารถแสดงการวิเคราะห์แบบ 2 มิติได้เหมือนกัน เช่น ผลจากการประมาณค่าระดับความเข้มข้นของสาร PAHs สามารถแสดงในรูปของพื้นที่ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs การแสดงข้อมูลในลักษณะนี้จะต้องมีการแบ่งชั้นข้อมูลออกเป็นช่วง ๆ

1.5 การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ

1.5.1 ความหมายและประเภทของการประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยง (Health risk Assessment) เป็นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้ในการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสสารเคมีหรือปัจจัยอื่น ๆ จากสิ่งแวดล้อมจากสิ่งแวดล้อมทั่วไปหรือสิ่งแวดล้อมจากการทำงานด้านต่าง ๆ เช่น สิ่งคุกคามทางเคมี (สารเคมีต่าง ๆ ทางกายภาพ เช่น รังสี เสียงดัง) และทางชีวภาพ (เชื้อโรคต่าง ๆ) เป็นต้น กับผลกระทบที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์

การประเมินความเสี่ยงโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 สาขาวิชา คือ การประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมหรือระบบนิเวศ (Environmental or Ecological Risk Assessment) และการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ (Health Risk Assessment) การประเมินความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมเป็นการประเมินผลกระทบจากมลพิษทางสิ่งแวดล้อมต่อระบบนิเวศวิทยา ซึ่งเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนและต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากจึงทำได้ค่อนข้างยาก ส่วนการประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพเป็นการศึกษาถึงผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมต่อสุขภาพมนุษย์ซึ่งทำได้ง่ายกว่า

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ หมายถึง การประเมินความเสี่ยงที่ศึกษาถึงผลกระทบที่มาจากสิ่งแวดล้อมแล้วก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ แบ่งลักษณะการศึกษาออกได้เป็น 2 กลุ่ม (Kofi, 2002) คือ

1) การประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณ (Quantitative Risk Assessment) มุ่งเน้นการศึกษาที่อาศัยหลักทางวิทยาศาสตร์เป็นพื้นฐาน ได้แก่ การศึกษาที่เน้นกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถตรวจวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ เป็นตัวเลขโดยอาศัยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์หรือการทดสอบตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ สามารถอธิบายได้โดยใช้หลักเหตุและผล และสามารถทดลองซ้ำได้ โดยเป้าหมายสุดท้ายของการประเมินความเสี่ยงเชิงปริมาณนี้จะได้ข้อมูลสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ

2) การประเมินความเสี่ยงเชิงคุณภาพ (Qualitative Risk Assessment) เป็นการศึกษาเพื่อมุ่งเน้นที่จะอธิบายปรากฏการณ์เชิงสังคมศาสตร์และมานุษยวิทยา โดยอาศัยข้อมูลที่ใช้วิธีการสัมภาษณ์แบบเจาะลึก (in-depth interview) การสัมภาษณ์เฉพาะกลุ่ม (focus group interview) ร่วมกับเทคนิคการศึกษาอื่น ๆ เช่น การศึกษาแบบมีส่วนร่วม (Participatory action research) เป็นต้น วิธีการเชิงคุณภาพจะเน้นความหลากหลายและความครอบคลุมของข้อมูล เพื่อเสนอผลให้เห็นในหลายแง่มุม

การศึกษาทั้ง 2 วิธี ส่วนใหญ่ควรจะต้องทำควบคู่กันไป เพราะการศึกษาทั้งสองแบบต่างเป็นข้อมูลนำเข้าและป้อนกลับซึ่งกันและกัน ผลที่ได้จากการศึกษาทั้งสองแบบ

ร่วมกันจะช่วยเสริมผลการศึกษาทำให้มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปสู่การแก้ปัญหาได้ตรงจุดกว่าการใช้การศึกษาเพียงแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น

1.5.2 ขั้นตอนการประเมินความเสี่ยง

การประเมินถึงความเป็นไปได้ของสารเคมีว่ามีผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่ ซึ่งจะเป็นการประเมินความเสี่ยงในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Klaassen, 2001 ; Kofi, 2002 อ้างถึงใน อนามัย, 2552) ใช้ประโยชน์เพื่อการจัดการความเสี่ยงปัญหาจากการรับสัมผัสสารเคมีต่อไป สภาวิจัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกาได้กำหนดขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงไว้ 4 ขั้นตอน คือ

1.5.2.1 การบ่งชี้ความเป็นอันตราย (Hazard identification) เป็นขั้นตอนแรกจากสี่ขั้นตอนของการประเมินความเสี่ยง ขั้นตอนนี้เป็นการประเมินเชิงคุณภาพ มีวัตถุประสงค์เพื่อบ่งชี้ว่าสารเคมีชนิดนั้น ๆ มีความเป็นพิษมากน้อยเพียงใดและมีผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์หรือไม่ ข้อมูลที่ได้มาจากข้อมูลการเจ็บป่วยที่มีการรับเอาสารเคมีเข้าสู่ร่างกายจนเกิดผลกระทบต่อสุขภาพขึ้น ซึ่งเป็นการศึกษาทางระบาดวิทยาในมนุษย์ นอกจากนั้นยังได้ข้อมูลจากการศึกษาในสัตว์ทดลอง (Kofi, 2002 ; Reed et al., 2005 อ้างถึงใน อนามัย, 2552)

1.5.2.2 การประเมินการตอบสนองของสารเคมี (Dose Response Assessment) เป็นกระบวนการประเมินความเป็นพิษเชิงปริมาณ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของสารเคมีที่รับเข้าไปหรือร่างกายได้รับ และอุบัติการณ์ในการเกิดผลกระทบในกลุ่มที่สัมผัสสารเคมี เช่น การศึกษาพิจารณาค่าต่ำสุดที่ไม่สามารถสังเกตผลอันไม่พึงประสงค์ต่อสัตว์ทดลองหรือเป็นระดับที่ไม่มีผลเสียต่อสุขภาพ (No observed adverse effect level : NOAEL) อย่างไรก็ตามการหาความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสสารเคมีกับผลกระทบต่อร่างกาย สามารถทำการอนุมานผลจากการศึกษาจากสัตว์ทดลองไปยังมนุษย์ได้

1.5.2.3 การประเมินการรับสัมผัส (Exposure Assessment) เป็นขั้นตอนวัดปริมาณสารเคมีที่มนุษย์มีโอกาสได้รับเข้าสู่ร่างกาย หรือประเมินการสัมผัสสารเคมีบนผิวหนังของร่างกายจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ หรือจากตัวกลางต่าง ๆ เช่น ดิน น้ำ อากาศ อาหาร เข้าสู่ร่างกายทางผิวหนัง ปาก ทางเดินหายใจ เป็นต้น เพื่อค้นหาชนิดของสารเคมีที่รับสัมผัสคำนวณหาปริมาณสารเคมีที่ร่างกายได้รับ วิธีการได้รับสัมผัสสารเคมี และเวลาในการรับสัมผัส ภายใต้สภาพการณ์ใด ๆ

1.5.2.4 การอธิบายลักษณะความเสี่ยง (Risk Characterization) เป็นขั้นตอนที่เชื่อมระหว่างการประเมินความเสี่ยงกับการจัดการความเสี่ยงจากสารเคมี เพื่อเป็นกุญแจที่สำคัญในการตัดสินใจในการแก้ปัญหาผลกระทบที่เกิดจากการรับสัมผัสสารเคมี ในบทนี้จะอธิบายลักษณะความเสี่ยง 2 ลักษณะ โดยจำแนกตามประเภทสารเคมี คือ สารเคมีไม่ใช่สารก่อให้เกิดมะเร็งและสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง มีวัตถุประสงค์เพื่อจะสรุปว่าประชากรกลุ่มเสี่ยงจะได้รับผลกระทบไม่เพียง

ประสงค์จากสารเคมีหรือไม่ การอธิบายลักษณะความเสี่ยงนั้นจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมใน 3 ขั้นตอนแรก เพื่อพิจารณาในการอธิบายลักษณะความเสี่ยง

1.5.3 วิธีการวิเคราะห์ความเสี่ยงสุขภาพ

การประเมินความเสี่ยงสุขภาพจากจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศในแต่ละสถานี หากค่าความเสี่ยงมีค่าอยู่ในช่วง $10^{-6} - 10^{-4}$ แสดงว่า เป็นค่าที่อาจจะมีความเสี่ยงก่อให้เกิดมะเร็ง หากได้รับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน และหากมีค่ามากกว่า 10^{-4} แสดงว่า มีความเสี่ยงก่อให้เกิดมะเร็งสูงหากได้รับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน (US.EPA., 2005)

1.6 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.6.1 วิเคราะห์ระดับความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) ทั้ง 4 ชนิด คือ ANTHRACENE , PHENANTHRENE , FLUORANTHENE และ PYRENE ในฝุ่น PM_{10} เขตเมืองกรุงเทพมหานครที่ทำการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ 7 สถานีในบริเวณสถานีริมถนนและพื้นที่ทั่วไป

1.6.2 วิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดของสาร PAHs จากสัดส่วนของแต่ละองค์ประกอบ 4 ชนิดที่มีอยู่ใน PM_{10}

1.6.3 วิเคราะห์รูปแบบการกระจายตัวของระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

ผลจากการศึกษาในครั้งนี้สามารถใช้เป็นฐานข้อมูลในเชิงพื้นที่ เพื่อสามารถประเมินคุณภาพอากาศได้ นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นแหล่งข้อมูลในการบริหารจัดการสิ่งแวดล้อมเพื่อนำไปสู่การกำหนดกลไกและมาตรการที่เหมาะสมในการควบคุมแหล่งกำเนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยครั้งนี้ศึกษาการกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานครโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ พร้อมทั้งวิเคราะห์อัตราส่วนสำหรับบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสาร PAHs โดยนำฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM10) ที่ทำการเก็บโดยกรมควบคุมมลพิษจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ จำนวน 7 สถานี ทุก ๆ เดือน เดือนละ 1 วัน เป็นเวลา 1 ปี โดยทำการเก็บ 24 ชั่วโมงต่อ หนึ่งตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon ; PAHs) จากกระต่ายกรองที่บรรจุในเครื่องเก็บอากาศแบบ High volume air sampler และนำค่าระดับความเข้มข้นของสาร PAHs หาความสัมพันธ์กับ PM10 และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ทิศทางลม ความกดอากาศ การเข้มข้นแสง และปริมาณน้ำฝน) พร้อมทั้ง ประเมินความเสี่ยงทางด้านสุขภาพ อัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิด และแสดงผลในรูปแบบแผนที่ด้วยโปรแกรมทางระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

2.1 พื้นที่ทำการเก็บตัวอย่าง

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ได้นำตัวอย่างฝุ่นละอองที่ทำการเก็บโดยกรมควบคุมมลพิษจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้งหมด 7 สถานี คือ การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนนนทรีวิทยา โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การไฟฟ้าอ้อยธนบุรี สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การเคหะชุมชนดินแดง และโรงเรียนบดินทรเดชา(สิงห์ สิงหเสนี) ดังรูปที่ 2-1 ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไปและกลุ่มที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนน ในตารางที่ 2-1 แสดงรายละเอียดของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ



สถานีเคหะชุมชนดินแดง (DD : 54T)



สถานีการเคหะชุมชนคลองจั่น (KJ : 10T)



โรงเรียนนนทรีวิทยา (NWS : 12T)



โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม (SPS : 15T)



การไฟฟ้าอ้อยธนบุรี (TPS : 52T)

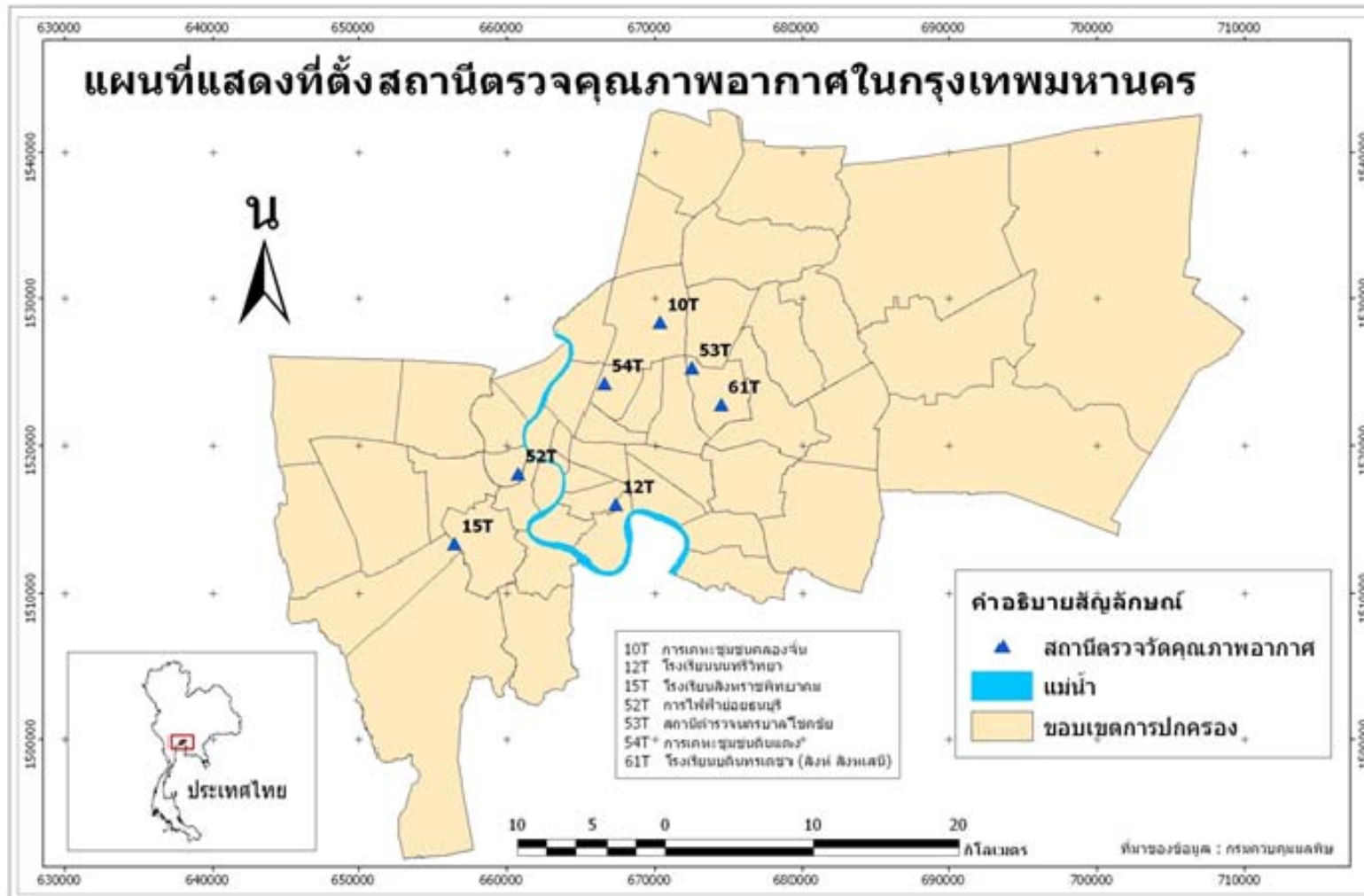


สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 (CC4 : 53T)



โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) (BDC : 61T)

รูปที่ 2-1 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานีเขตเมืองกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 2-2 แผนที่แสดงที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานคร

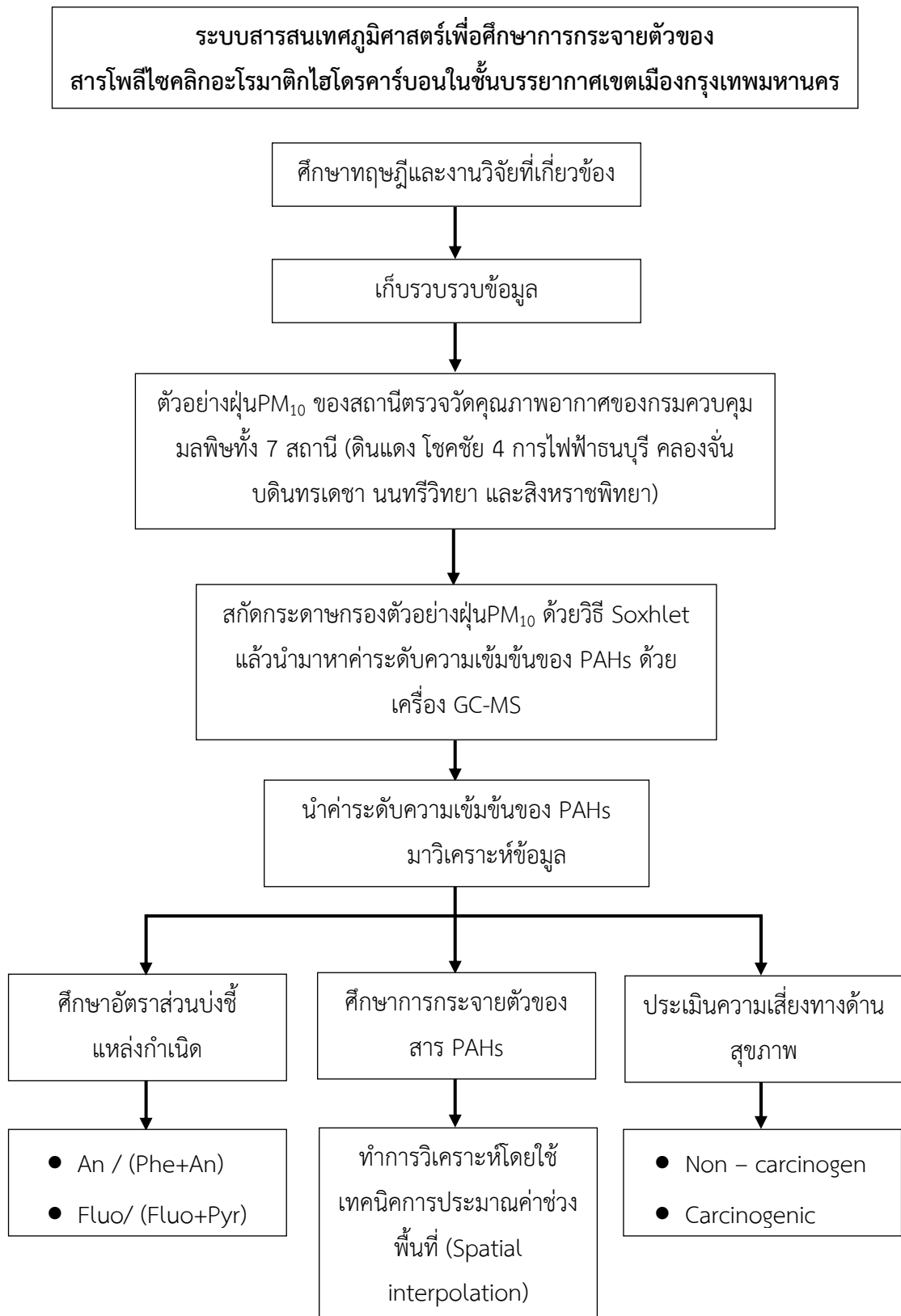
2.2 วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นตามกรมควบคุมมลพิษ

การเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{10} ของกรมควบคุมมลพิษ ทำการเก็บด้วยเบต้าเรย์ (Beta Ray Attenuation) ดังรูปที่ 2-3 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้แผ่นกรองใยหิน (Quartz fiber filter) ขนาด 8×10 นิ้ว ที่ผ่านการอบกระดาศกรองและซั่งน้ำหนักระดาศกรองด้วยเครื่องซั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง ก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2-3 แสดงเครื่องมือเก็บตัวอย่าง Beta Ray Attenuation (β) - Air Particulate Concentration

(ที่มา:<http://www.analysersindia.com/products.html>)



รูปที่ 2-4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.3 เครื่องมือ วัสดุอุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการศึกษา

2.3.1 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs

เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในฝุ่น สำหรับการศึกษาครั้งนี้ คือ เครื่อง Gas Chromatography รุ่น CP-3800 ต่อกับ Mass Spectrometer รุ่น Saturn 2200 ผลิตโดยบริษัท Varian แสดงดังภาพที่ 2-3 และติดตั้ง Capillary column ชนิด DB – 5ms ที่มีความยาว 30 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (I.D) 0.25 มม. และความหนาของฟิล์มเหลว (filmthickness) 0.25 ไมครอน โดยคอลัมน์มีขีดจำกัดของอุณหภูมิใช้งาน 350°ซ ผลิตโดยบริษัท Agilent Technologies เครื่อง GC/MS ได้รับความอนุเคราะห์จากสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2-5 แสดงเครื่องมือ Gas Chromatography – Mass Spectrophotometer – Ion trap

2.3.2 วัสดุและอุปกรณ์

- 2.3.2.1 ตู้อบ (Oven)
- 2.3.2.2 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง
- 2.3.2.3 ตู้ดูดความชื้น (Desiccators)
- 2.3.2.4 ตู้ดูดควัน (Hood)
- 2.3.2.5 ชุดสกัดซอกเลต (Soxhlet)
 - ซอกเลต (Soxhlet body)
 - คอนเดนเซอร์ (Condenser)
- 2.3.2.6 ขวดกลมขนาด 250 มิลลิลิตร

- 2.3.2.7 เตาหลุม (Heating Mantle)
- 2.3.2.8 ชุดระเหย (Evaporator)
- 2.3.2.9 ชุด Fractionation Chromatography
- 2.3.2.10 คีมคีบปากแบน (Forceps) พันด้วยพาราฟิล์ม
- 2.3.2.11 หลอดแก้วก้านยาว (Disposable Glass Pipette) พร้อมลูกยาง
- 2.3.2.12 ขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตร
- 2.3.2.13 กระดาษฟอยด์อะลูมิเนียม (Aluminum Foil)
- 2.3.2.14 แท่งแก้วนำก๊าซไนโตรเจน
- 2.3.2.15 ใยแก้ว (Glass wool)
- 2.3.2.16 ลูกแก้ว (Anti Bumper)
- 2.3.2.17 ขวดปริมาตร (Flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.3.2.18 กระจบอกรวง (Volumetric flask) ขนาด 15 และ 50 มิลลิลิตร
- 2.3.2.19 ขวดทิ้งสารเคมี ติดฉลากแยกชนิดของสารเคมี
- 2.3.2.20 ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร พร้อม insert vial ขนาด 200

ไมโครลิตร

- 2.3.2.21 ตู้เย็น อุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส
- 2.3.2.22 เข็มฉีดยา ขนาด 10 และ 50 ไมโครลิตร
- 2.3.2.23 กระดาษสติ๊กเกอร์สำหรับทำฉลากขวดตัวอย่าง

2.3.3 สารเคมี

- 2.3.3.1 ก๊าซไนโตรเจน (Nitrogen gas)
- 2.3.3.2 ก๊าซฮีเลียม 99.999% (Helium gas)
- 2.3.3.3 สารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane , DCM)

HPLC grade

- 2.3.3.4 สารตัวทำละลายเฮกเซน (n-Hexane) HPLC grade
- 2.3.3.5 สารตัวทำละลายโทลูอีน (Toluene) HPLC grade
- 2.3.3.6 สารตัวทำละลายไซโคลเฮกเซน (Cyclohexane) HPLC grade
- 2.3.3.7 สารตัวทำละลายอะซิโตน (Acetone)
- 2.3.3.8 สารตัวทำละลายเมทานอล (Methanol)
- 2.3.3.9 ซิลิกาเจล (Silica gel)

2.3.4 สารละลายมาตรฐาน

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

ฟีนแอนทรีน	Phenanthrene
แอนทราซีน	Anthracene
ฟลูออแรนทีน	Fluoranthene
ไพรีน	Pyrene

2.3.4.2 สาร Recovery ISTD-PAH ผลิตโดยบริษัท Chiron ประเทศนอร์เวย์ ซึ่งประกอบด้วย

ฟลูออรีน- ดี ₁₂	Fluorene – d ₁₂
----------------------------	----------------------------

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณสาร PAHs ในตัวอย่าง PM₁₀

2.4.1 การเตรียมอุปกรณ์

ในห้องปฏิบัติการเคมีอุปกรณ์และเครื่องแก้วทุกชิ้นก่อนใช้ต้องทำความสะอาดด้วยการล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นชะด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง และชะด้วยอะซิโตน จากนั้นจึงผึ่งอุปกรณ์ให้แห้ง จากนั้นชะด้วยเมธานอลและไดคลอโรมีเทน ตามลำดับ

2.4.1.1 ตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ ได้แก่ ไดคลอโรมีเทน เฮกเซน เมธานอล ทูโลอิน เป็นสารเคมีชนิด HPLC grade

2.4.1.2 ซิลิกาเจลและใยแก้ว นำไปทำความสะอาดก่อน โดยใส่ลงในเซลล์โลสทิมเบิล แล้วนำไปสกัดด้วยชุดสกัดแบบชอกเลตด้วยไดคลอโรมีเทน นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นเก็บไว้ในเดซิเคเตอร์ ที่มีแผ่นอลูมิเนียมฟอยด์คลุมปิดไว้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนที่มากับฝุ่นละอองเมื่อแห้งสนิทก็นำไปเก็บไว้ในขวดแก้วที่ปิดฝาสนิท

2.4.2 การเตรียมตัวอย่างฝุ่น PM₁₀

นำกระดาษกรองชนิด Glass filter ขนาด 8×10 นิ้ว ที่ผ่านการเก็บตัวอย่างฝุ่น และชั่งน้ำหนักแล้วตัดเพียง 1 ใน 4 ส่วน โดยใช้มีดผ่าตัดและสวมถุงมือยางชนิดไม่มีแป้ง เพื่อป้องกันมือไปสัมผัสกับกระดาษกรอง เมื่อตัดเสร็จแล้วทำการพับกระดาษกรองแล้วห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยด์ เก็บใส่ถุงซิปล็อค แช่เย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิ ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อไป

2.4.3 การสกัดสาร PAHs จากตัวอย่างฝุ่น PM₁₀

เป็นการสกัดสาร PAHs ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.4.3.1 ขั้นตอนการสกัด PAHs โดยใช้เครื่องชอกเลต

- 1) หยอดลูกแก้วประมาณ 3 – 4 เม็ดลงในขวดกลมขนาด 250 มิลลิลิตร ที่อยู่บนเตาหลุม (Heating Mantle)
- 2) ใช้คีมคีบปากแบนคีบกระดาษกรองที่เตรียมไว้ข้างต้น ใส่ในชอกเลต แล้วต่อกับขวดกลมที่อยู่บนเตาหลุม
- 3) เติม Internal Standard ลงบนกระดาษกรองตัวอย่างละ 50 ไมโครลิตร
- 4) เทไดคลอโรมีเทนลงไปในชอกเลตประมาณ 1 รอบครึ่ง (150 มิลลิลิตร) เป็นตัวทำละลาย
- 5) หลังจากนั้นทำการติดตั้งชอกเลต และคอนเดนเซอร์บนเตาหลุมที่เตรียมไว้พร้อมกับปิดสวิตช์เตาหลุม

6) เปิดน้ำประปาตรวจสอบให้แน่ใจว่าคอนเดนเซอร์ทำงาน

7) เปิดเตาหลุมเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลา ปิดเตาหลุมทิ้งไว้ประมาณ 30 นาทีจนกว่าเครื่องจะเย็น แล้วนำคีมคีบกระดาษกรองออกแล้วนำไดคลอโรมีเทนที่ตกค้างอยู่ในขวดกลม ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ไปเข้าเครื่องระเหยสารเพื่อนำไปลดปริมาตร

2.4.3.2 ขั้นตอนการลดปริมาตรไดคลอโรมีเทนโดยใช้เครื่องระเหยสาร

1) นำขวดปริมาตร 250 มิลลิลิตรที่บรรจุไดคลอโรมีเทนที่ได้จากการสกัดด้วยเครื่องชอกเลตไปเข้าเครื่องระเหยสารหมุนอย่างช้า ๆ หากมีฟองอากาศเกิดขึ้นให้ลดความเร็วลงทันที ระเหยสารไปจนกว่าปริมาตรของสารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน เหลืออยู่ประมาณ 2 – 3 มิลลิลิตร

2) ทำการล้างขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตรโดยใช้ไดคลอโรมีเทนทำซ้ำ 3 ครั้ง หลังจากนั้นแปะฉลากตัวอย่างบนขวดแก้ว

3) ปิดเครื่องระเหยสารแล้วทำการถ่ายเทสารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน โดยใช้ปิเปต (Disposable Glass Pipette) ลงในขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตรหลังจากนั้นรินด้วย ไดคลอโรมีเทน แล้วดูตอกออกมาใส่ในขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตร ทำซ้ำแบบนี้ 3 ครั้ง

4) ปิดฝาขวดแก้วแล้วนำกลับไปแช่ในตู้เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียสเพื่อนำไปเปลี่ยนตัวทำละลายต่อไป

2.4.3.3 การ Clean up และ Blow-down

- 1) ตวงเฮกเซน 10 มิลลิลิตรด้วยกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร
- 2) เปิดฝาขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่างแล้วนำปิเปตที่ต่อกับท่อก๊าซไนโตรเจนไว้ในขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่าง แล้วค่อย ๆ เปิดก๊าซเบา ๆ พอให้เห็นว่าสารตัวอย่าง กระเพื่อมเล็กน้อย

3) เมื่อไดคลอโรมีเทนออกไปเกือบหมด ใช้ปิเปตดูดเฮกเซนในกระบอกตวง แล้วรินลงในขวดแก้วที่บรรจุสารตัวอย่างเพื่อให้ไดคลอโรมีเทนระเหยออกไปพร้อม ๆ กับพ่นก๊าซไนโตรเจน ลงไปจนเหลือปริมาตรประมาณ 10 มิลลิลิตรหลังจากนั้นภายในขวดแก้วจะไม่มีไดคลอโรมีเทนหลงเหลืออยู่ แต่จะมีเฮกเซนมาแทนที่

4) นำกลับไปแช่ตู้เย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปทำการแยกส่วน PAHs

2.4.3.4 วิธีการแยกส่วน PAHs (Fractionation Chromatography)

การ Fractionation Chromatography แบ่งเป็น 2 ชั้น ดังนี้

1) ใส่ใยแก้วปริมาณเล็กน้อยลงในคอลัมน์(Column) โดยใช้เข็มคีบปากแบน

2) เทเฮกเซนลงในบีกเกอร์ประมาณครึ่งคอลัมน์ ทำการแอกทิเวทซิลิกาเจล อย่างช้า ๆ ซิลิกาเจล จะละลายในสารตัวทำละลายเฮกเซน

3) เทซิลิกาเจลที่ละลายแล้วใส่ลงในคอลัมน์แล้วใช้ปิเปตดูดเฮกเซนฉีดล้างซิลิกาเจลที่ติดอยู่ด้านข้างของบีกเกอร์ลงในคอลัมน์ให้หมด โดยใยแก้ว และซิลิกาเจลจะทำหน้าที่กรองฝุ่นหรือสิ่งสกปรกเอาไว้

4) เปิดวาล์วให้สารตัวทำละลายเฮกเซน ในคอลัมน์ค่อย ๆ ไหลลงบีกเกอร์เปล่า จนสารตัวทำละลายเฮกเซนเหลืออยู่ที่ระดับคอขวด

Fraction 1

5) เทสารตัวอย่างที่ผ่านการ Blow – down แล้วลงในคอลัมน์แล้วใช้ปิเปตดูดสารเฮกเซนจากกระบอกตวง ล้างสารตัวอย่างที่ติดอยู่ด้านข้างขวดแก้วให้หมดแล้วเทลงในคอลัมน์

6) เทสารตัวทำละลายเฮกเซนลงในกระบอกตวงปริมาณ 15 มิลลิลิตร

7) ปิดจุกคอลัมน์แล้วปิดก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันเท่ากับ 1.0 มม.ปรอท

8) ปรับให้มีอัตราการไหล 1 หยด ต่อ 1 วินาที ให้สารตัวอย่างไหลลงมาจนอยู่ในระดับประมาณ 0.5 – 1 เซนติเมตรจากคอขวด ระวังอย่าให้ซิลิกาเจลแห้งเด็ดขาด

Fraction 2

9) ตวงเฮกเซน + โทลูอีน (เฮกเซน 96 มิลลิลิตร : โทลูอีน 54 มิลลิลิตร) 15 มิลลิลิตร ใส่ลงในกระบอกตวง 50 มิลลิลิตรของตัวอย่างเดิม

10) เทเฮกเซน + โทลูอีน ลงในคอลัมน์ให้หมด

- 11) เปิดจุกคออล์มน์แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนให้มีความดันเท่ากับ 1.0 มิลลิเมตรปรอท
- 12) ปรับอัตราการไหล 1 หยด ต่อ 1 วินาที จนสารตัวอย่างแห้งสนิท
- 13) นำขวดปริมาตรที่บรรจุสารตัวอย่างไปทำขั้นตอนระเหยสารต่อไป

2.4.3.5 ขั้นตอนการลดปริมาตรเฮกเซน:โทลูอิน โดยเครื่องEvaporator

- 1) เติมเมทานอล ประมาณ 5 – 6 มิลลิลิตรลงไปในขวดปริมาตรที่บรรจุสารตัวอย่าง
- 2) ปรับอุณหภูมิของน้ำประมาณ 50 – 55 องศาเซลเซียส
- 3) ระเหยสารจนเหลือปริมาตรเพียง 1 – 2 มิลลิลิตร
- 4) เทลงขวดแก้วขนาด 15 มิลลิลิตร ขวดใหม่ที่เตรียมไว้ เพื่อนำไปทำขั้นตอนการ Blow down ต่อไป

2.4.3.6 การ Blow – down

- 1) นำขวดตัวอย่างมาทำการลดปริมาตร (Blow down) อีกครั้งหนึ่ง โดยใช้ก๊าซไนโตรเจน ฟันใส่ตัวอย่างให้เกือบแห้ง จากนั้นดูดไซโคลเฮกเซนล้างให้รอบ ๆ ขวดตัวอย่าง 3 รอบ และพ่นก๊าซไนโตรเจนต่อจนเหลือตัวอย่างเพียงเล็กน้อย เกือบถึงก้นขวด
- 2) ดูดตัวอย่างใส่ใน insert vial ปรับปริมาตรตัวอย่างที่ 100 ไมโครลิตร ปิดฝาขวด vial พันพาราฟิล์ม นำไปแช่เย็น รอการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC/MS



รูปที่ 2-6 แผนผังสรุปขั้นตอนการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละออง

2.5 การวิเคราะห์สาร PAHs ด้วยเครื่อง GC-MS (Ion - Trap)

ตารางที่ 2-1 สภาพการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์ PAHs

C	ชนิดของคอลัมน์	คอลัมน์แคปิลลารี รุ่น CP-8751 ยาว 30 m
	C (Column type)	m
	เฟสเคลื่อนที่	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 มิลลิเมตร
	(Mobile phase)	ความหนาของฟิล์มเหลว 0.25 ไมโครเมตร ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) มีความบริสุทธิ์ 99.999%
MS	อุณหภูมิของ Injector	อัตราการใช้ของก๊าซ 1.0 มิลลิลิตร / นาที
	อุณหภูมิของ Transferline	250 องศาเซลเซียส
	โหมดการฉีดตัวอย่าง	300 องศาเซลเซียส
		ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 ไมโครลิตร (splitless liner)
	ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร	Ion trap
	โหมดการแตกตัวเป็นไอออน	อิเล็กตรอนอิมแพค (EI^+)
	พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว	70 eV
	โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน	SIS (Selected Ion Spectrum)

2.6 การประกันคุณภาพในการวิเคราะห์

การควบคุมคุณภาพในการวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์สารอ้างอิง Standard Reference Material 1941b Organics in marine sediment สำหรับเป็นตัวประกันคุณภาพในการทดลองและการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์คืนกลับ (%accuracy) ของ Internal Standard ในการทดลอง โดยใช้ SRM ประมาณ 1 กรัม ทำการสกัดและวิเคราะห์ 5 ซ้ำ ด้วยวิธีเดียวกับตัวอย่าง

2.7 วิธีการคำนวณระดับความเข้มข้นของสาร PAHs

2.7.1 Relative Response Factor (RRF)

GC/MS จะตอบสนองปริมาณของ PAHs ในรูปแบบพื้นที่ของ Peak กล่าวคือ หากสารละลาย PAHs ที่ฉีดเข้าไปในตัวเครื่องมีความเข้มข้นสูงเครื่องจะตอบสนองโดยการ

แสดงพีคที่มีปริมาณพื้นที่มาก ในทางกลับกันหากสารละลาย PAHs ที่ฉีดเข้าไปในตัวเครื่องมีความเข้มข้นต่ำพื้นที่ของพีคที่ออกมาจะน้อยลง ซึ่งในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผล ตัวเครื่องที่วิเคราะห์ต้องแสดงพื้นที่พีคคงที่ตลอด

$$RRF = \frac{(A_{Nat} / C_{Nat})}{(A_{Deut} / C_{Deut})} = \frac{(A_{Nat} \times C_{Deut})}{(A_{Deut} \times C_{Nat})} \quad \text{สมการที่ 1-1}$$

เมื่อ

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

หากค่าของ RRF = 1 แสดงว่า Sensitivity ของ Native- PAHs และ Deuterated- PAHs มีค่าเท่ากัน

หากค่าของ RRF > 1 แสดงว่า Sensitivity ของ Native- PAHs มีค่าสูงกว่าของ Deuterated- PAHs

หากค่าของ RRF < 1 แสดงว่า Sensitivity ของ Native- PAHs มีค่าต่ำกว่าของ Deuterated- PAHs

2.7.2 วิธีการคำนวณระดับความเข้มข้นของ PAHs โดยใช้ Internal Standard

$$\frac{W_{Nat}}{W_{Deu}} = \frac{A_{Nat}}{A_{Deu}} \quad \text{สมการที่ 1-2}$$

โดยที่

- A_{Nat} : พื้นที่พีคของ Native- PAHs ในตัวอย่าง
- A_{Deut} : พื้นที่พีคของ Deuterated- PAHs ในตัวอย่าง
- W_{Nat} : น้ำหนักของ Native- PAHs ในตัวอย่าง
- W_{Deut} : น้ำหนักของ Deuterated- PAHs ในตัวอย่าง

อัตราส่วนระหว่างพื้นที่พีค (peak) ของ Native- PAHs ในตัวอย่างกับพื้นที่พีคของ Deuterated- PAHs ในตัวอย่างมีค่าเท่ากับอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของ Native- PAHs ในตัวอย่างกับน้ำหนักของ Deuterated- PAHs ในตัวอย่าง (สมการ)

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

สมการที่ 1- 3

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

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (descriptive statistic) วิเคราะห์แนวโน้มและการกระจายของข้อมูล โดยหาค่าผลรวม ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ใช้สถิติเชิงพรรณนาหาความสัมพันธ์ระหว่าง PM10 กับ PAHs และ PAHs กับข้อมูลอุตุนิยมิวิทยา โดยใช้ Pearson Bivariate Correlation วิเคราะห์หองค์ประกอบและสัดส่วนของ PAHs ในแต่ละแหล่งกำเนิดโดยวิธีทางสถิติแบบ Binary Ratio แสดงผลความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนด้วยโปรแกรม Sigma Plot

2.9 การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

วิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยใช้โปรแกรม ArcGIS วิเคราะห์แนวโน้มและการกระจายตัวของสาร PAHs ด้วยวิธี Interpolation

2.10 การวิเคราะห์การประเมินความเสี่ยงทางด้านสุขภาพ

กรณีที่ 1 การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารไม่ก่อมะเร็ง (Non-Carcinogen) การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารไม่ก่อมะเร็ง (Non-Carcinogen) คำนวณจากผลรวมของดัชนีคุกคามของการสัมผัสมลสาร (Hazard Quotient, HQ) สำหรับดัชนีคุกคามของการสัมผัสมลสาร(HQ) สามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$\text{ดัชนีคุกคามของการสัมผัสมลสาร (Hazard Quotient; HQ)} = \frac{\text{ปริมาณสารพิษเข้าสู่ร่างกาย (CDI)}}{\text{ปริมาณอ้างอิง (RfD)}}$$

เมื่อ ADI = Chronic Daily Intake จากการหายใจ (Inhalation)

RfD = Reference Concentration

โดยที่

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย	ค่าที่ใช้ในการคำนวณ
CDI	มคก./ลบ.ม.	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่ง คุกคามในอากาศ	ค่าความเข้มข้นสูงสุด
RfD	มคก/กก./วัน	ปริมาณสารอ้างอิง	An = 0.3 Fluo = 0.04 Pyr = 0.03

กรณีที่ 2 การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารที่อาจจะก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogen) ในเชิงปริมาณสามารถประเมินได้โดยการคำนวณจากสมการที่ดัดแปลงจาก US.EPA เพื่อคำนวณหาปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับจากมลสารแต่ละชนิด จากนั้นนำมาหาปริมาณสิ่งคุกคามรวมในพื้นที่ เพื่อประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อประชาชน การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) คำนวณจากความเสี่ยงจากการสัมผัสมลสาร (Risk) ของสารแต่ละชนิดในพื้นที่ศึกษา เพื่อนำมาหาค่าความเสี่ยงรวม (Total Risk, Risk_T) สำหรับการคำนวณความเสี่ยงจากการสัมผัสมลสาร (Risk) เป็นดังนี้

$$\text{Risk (RT)} = \text{ADI} \times \text{PEF}$$

เมื่อ ADI = Average Daily Intake จากการหายใจ (Inhalation)

$$= \frac{\text{CA} \times \text{IR} \times \text{ET} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}}$$

PEF = Potency Equivalency Factor ค่าศักยภาพก่อให้เกิดมะเร็ง

ตารางที่ 2-2 ค่าตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการคำนวณสมการ

ตัวแปร	หน่วย	ความหมาย
CA	มก./ลบ.ม.	ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามในอากาศ
IR	ลบ.ม./วัน	อัตราการหายใจ
ET	ชั่วโมง/วัน	เวลาในการสัมผัส
EF	วัน/ปี	ความถี่ของการสัมผัส
EP	ปี	ระยะเวลาที่สัมผัส
BW	กิโลกรัม	น้ำหนักของร่างกาย
AT	วัน	ระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย
PEF	(กก.-วัน)/มก.	ตัวแปรในการคำนวณความเสี่ยง

ผลการประเมินความเสี่ยงของการสัมผัสสารก่อมะเร็ง (Carcinogen) จากโครงการฯ จะนำมาคำนวณหาค่าความเสี่ยงรวม (Total Risk, Risk_T) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความเสี่ยงรวม (Total Risk)} &= \text{ผลรวมของความเสี่ยงจากการสัมผัสมลสาร (R}_i\text{)} \\ &= \text{RiskAn} + \text{RiskPhe} + \text{RiskFluo} + \text{RiskPyr} \end{aligned}$$

ตารางที่ 2-3 ค่าตัวแปรที่นำมาพิจารณาในการคำนวณการได้รับสัมผัส

ตัวแปร	หน่วย	ผู้ใหญ่		
		เด็ก (1-6 ปี)	เพศชาย	เพศหญิง
อัตราการหายใจ (IR)	ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง	10	22	21
เวลาที่ได้รับสัมผัส (ET)	ชั่วโมง/วัน	8	8	8
ความถี่ของการรับสัมผัส (EF)	วัน/ปี	350	350	350
ระยะเวลาที่สัมผัส (ED)	ปี	6	30	30
อายุขัยเฉลี่ยของประชากร(AT)	วัน	25550	25550	25550
น้ำหนัก (BW)	กิโลกรัม	16	70	60

ที่มา : USEPA, 1989

ตารางที่ 2-4 ค่า Potency Equivalency Factor(PEF) ของ PAHs แต่ละชนิดเมื่อเทียบกับ B[a]P

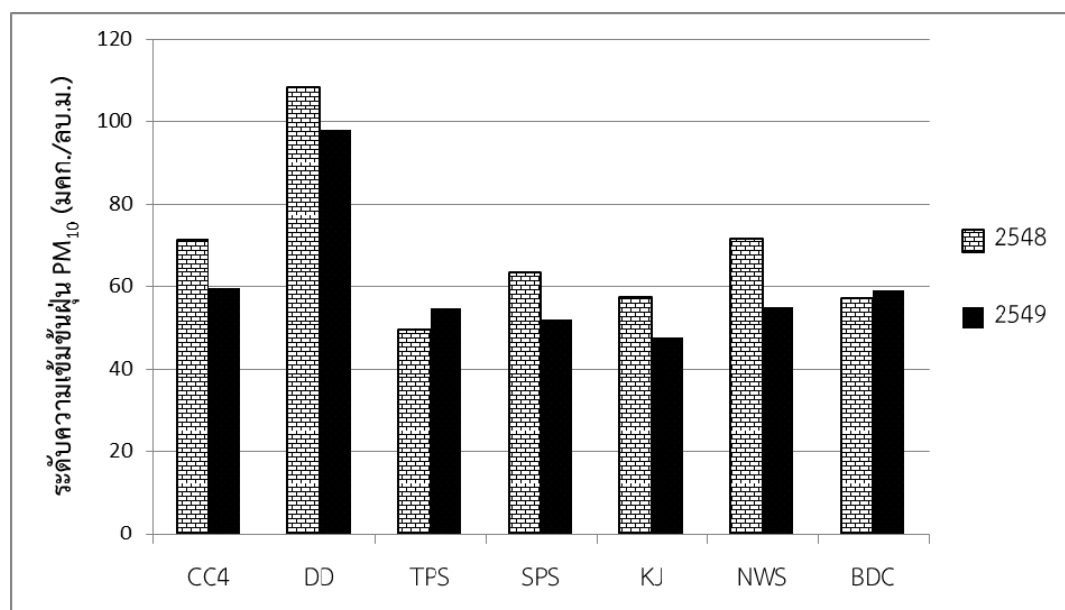
PAHs	PEF
Ref. Benzo[a]Pyrene	1
Anthracene	0.01
Pyrene	0.001
Phenanthrene	0.001
Fluoranthene	0.001

ที่มา : Nisbet and Lagoy, 1992

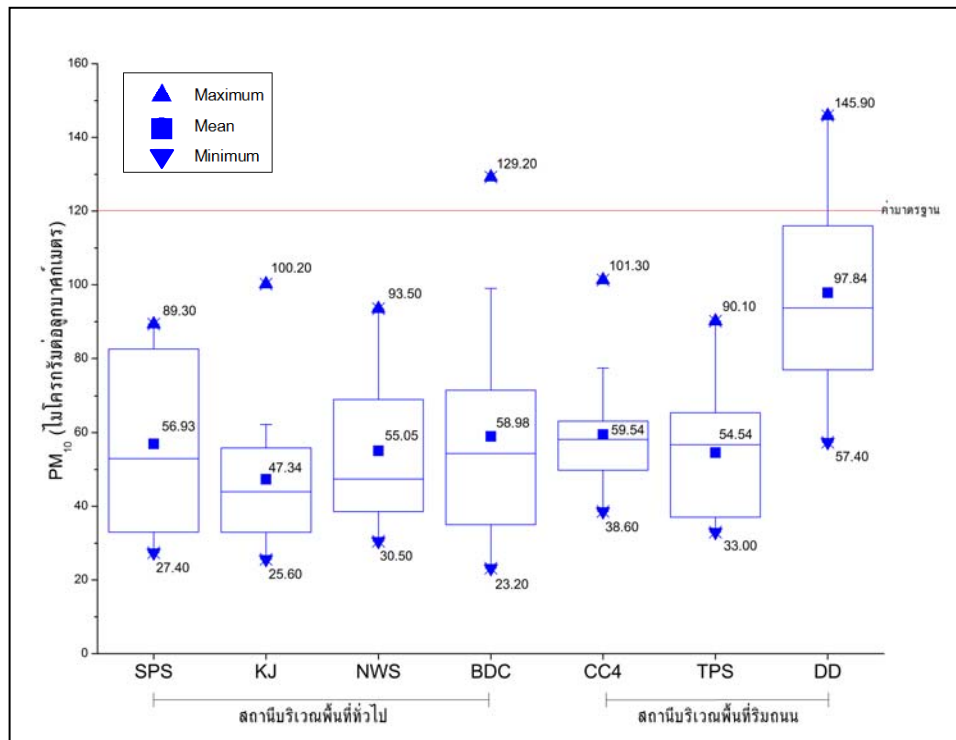
บทที่ 3 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

3.1 ระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM₁₀) ในสถานีตรวจวัด คุณภาพเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

คุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานครปี 2549 เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2548 ปริมาณฝุ่นPM₁₀ลดลงเพียงเล็กน้อยแต่ยังคงเป็นปัญหาหลักบริเวณริมถนน จากผลการตรวจวัด ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM₁₀ ในเขตกรุงเทพมหานครมีระดับความเข้มข้นลดลง โดยในปี 2549 มีค่าอยู่ในช่วง 10.4 – 206.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เกินมาตรฐานร้อยละ 7.1 โดยลดลงจากปี 2548 (ร้อยละ 7.3) เพียงร้อยละ 0.2 เนื่องมาจากความเข้มงวดในเรื่องมาตรฐานการปล่อยมลพิษของยานพาหนะและเทคโนโลยีการผลิตยานพาหนะได้มีการพัฒนามากขึ้น จึงทำให้ปริมาณฝุ่นลดน้อยลงถึงแม้ว่าปริมาณยานพาหนะเพิ่มมากขึ้นกว่าปีที่ผ่านมา



รูปที่ 3-1 ฝุ่นPM₁₀ ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร ปี 2548 -2549



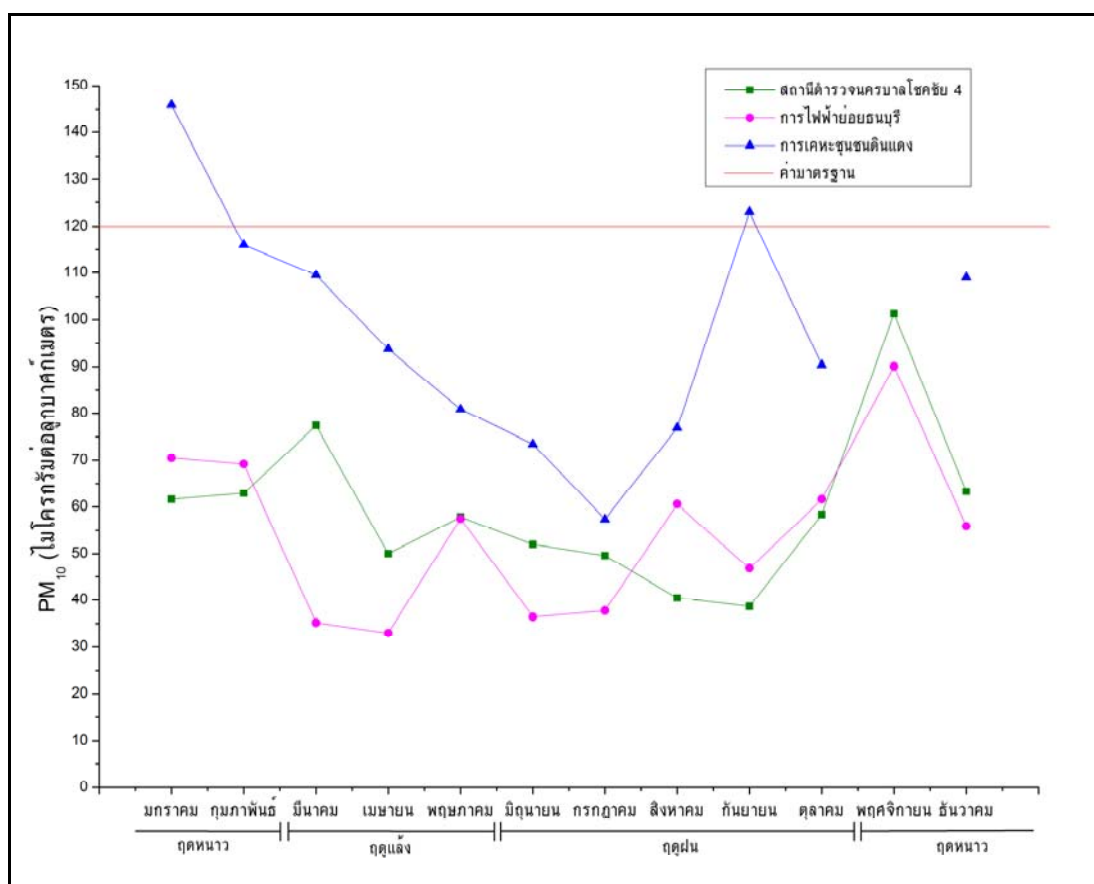
รูปที่ 3-2 ระดับความเข้มข้นของ PM_{10} สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร ทั้ง 7 สถานี

จากผลการตรวจวัดระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) พบว่าในเดือนมกราคม 2549 – ธันวาคม 2549 แสดงเป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM_{10} แสดงในรูปที่ 3-2 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศประเภทริมถนน ระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ในชั้นบรรยากาศมีค่าสูงสุดที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดง (DD) รองลงมาคือ สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 (CC4) และการไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี (TPS) โดยมีค่าระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงอยู่ในช่วง 57.60 – 145.90 38.60 – 101.30 และ 33.00 – 90.10 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} สูงสุดมากกว่าค่ามาตรฐานฝุ่น PM_{10} ที่กำหนดในชั้นบรรยากาศ (120 มกค./ลบ.ม.) และเมื่อพิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยรายปีของระดับความเข้มข้นของ PM_{10} พบว่ามีค่าเท่ากับ 97.84 59.54 และ 54.54 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากสถานีการเคหะชุมชนดินแดงตั้งอยู่บริเวณริมถนนที่เป็นแหล่งชุมชน มีสถานที่ราชการ โรงเรียน และสำนักงานมากมายตั้งอยู่ในบริเวณนั้นส่งผลให้มีการจราจรหนาแน่นที่สุดในกรุงเทพมหานครตั้งแต่เวลา 7.00 – 9.00 น.และ เวลา 17.00 – 19.00 มีการจราจรมากกว่า 5,000 คัน

สำหรับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศประเภทพื้นที่ทั่วไป พบว่า ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM_{10} ในชั้นบรรยากาศมีค่าสูงสุดคือค่าที่ตรวจวัดได้ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) (BDC) รองลงมาคือ โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม (SPS) โรงเรียนนนทรีวิทยา(NWS) และการเคหะชุมชนคลองจั่น (KJ) โดยมีค่าระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงอยู่ในช่วง 23.20 – 129.20 26.30 – 89.30 30.50 – 93.50 และ 25.60 – 100.20 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ ซึ่งในสถานี BDC มีค่าระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} สูงสุดมากกว่าค่ามาตรฐานฝุ่น PM_{10} ที่กำหนดในชั้นบรรยากาศ (120 มคก./ลบ.ม.) และเมื่อพิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยรายปีของระดับความเข้มข้นของ PM_{10} มีค่าเท่ากับ 58.98 56.93 55.05 และ 47.34 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากสถานีตรวจวัดคุณภาพโรงเรียนโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ตั้งอยู่บริเวณถนนที่เป็นแหล่งชุมชนที่หนาแน่น มีโรงเรียนขนาดใหญ่ ตั้งอยู่ไม่ห่างจากถนนลาดพร้าวมากนักและเป็นเส้นทางลัดผ่านถนนหลายสายทำให้มีการจราจรหนาแน่นตั้งแต่เวลา 07.00 – 09.00 และเวลา 16.00 – 18.00 มีการจราจรมากกว่า 3,000 คัน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ในแต่ละสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในประเภทสถานีริมถนนและสถานีพื้นที่ทั่วไป โดยใช้การทดสอบแบบ Independent – Sample T-Test พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} มีความแตกต่างกันในประเภทสถานีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าระดับเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} เฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานี ทางสถิติโดยใช้ One – way ANOVA พบว่า มีระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และเมื่อทดสอบโดยใช้ Multiple Comparison ด้วยวิธี Scheffe พบว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ในทั้ง 7 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยค่าเฉลี่ยของความเข้มข้น PM_{10} ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดงมีความแตกต่างกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอีกทั้ง 6 สถานี จากรูปที่ 3-2 จะเห็นว่าค่ามัธยฐานของระดับความเข้มข้น PM_{10} ถ้าเส้นมัธยฐานมีลักษณะชิดขอบกล่องด้านบนข้อมูลจะมีแนวโน้มระดับความเข้มข้นค่อนข้างสูงในสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 และการไฟฟ้าอโยธยาบุรี ถ้าลักษณะเส้นมัธยฐานชิดขอบล่างข้อมูลจะมีแนวโน้มระดับความเข้มข้นต่ำในสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนนนทรีวิทยา และถ้าลักษณะเส้นมัธยฐานอยู่กึ่งกลางของกล่องข้อมูลจะมีแนวโน้มระดับความเข้มข้นสูง-ต่ำในสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น และการเคหะชุมชนดินแดง ส่วนการกระจายตัวของข้อมูลจาก box plot รูปที่ 3-2 เห็นได้ว่าสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคมมีการกระจายตัวของข้อมูลได้ดีที่สุด เนื่องมาจากแหล่งกำเนิดของมลพิษอาจมาจากที่หลากหลายและปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา จากการตรวจสอบวันเก็บตัวอย่างพบว่าในวันที่เก็บตัวอย่างในแต่ละเดือนนั้นปัจจัยที่

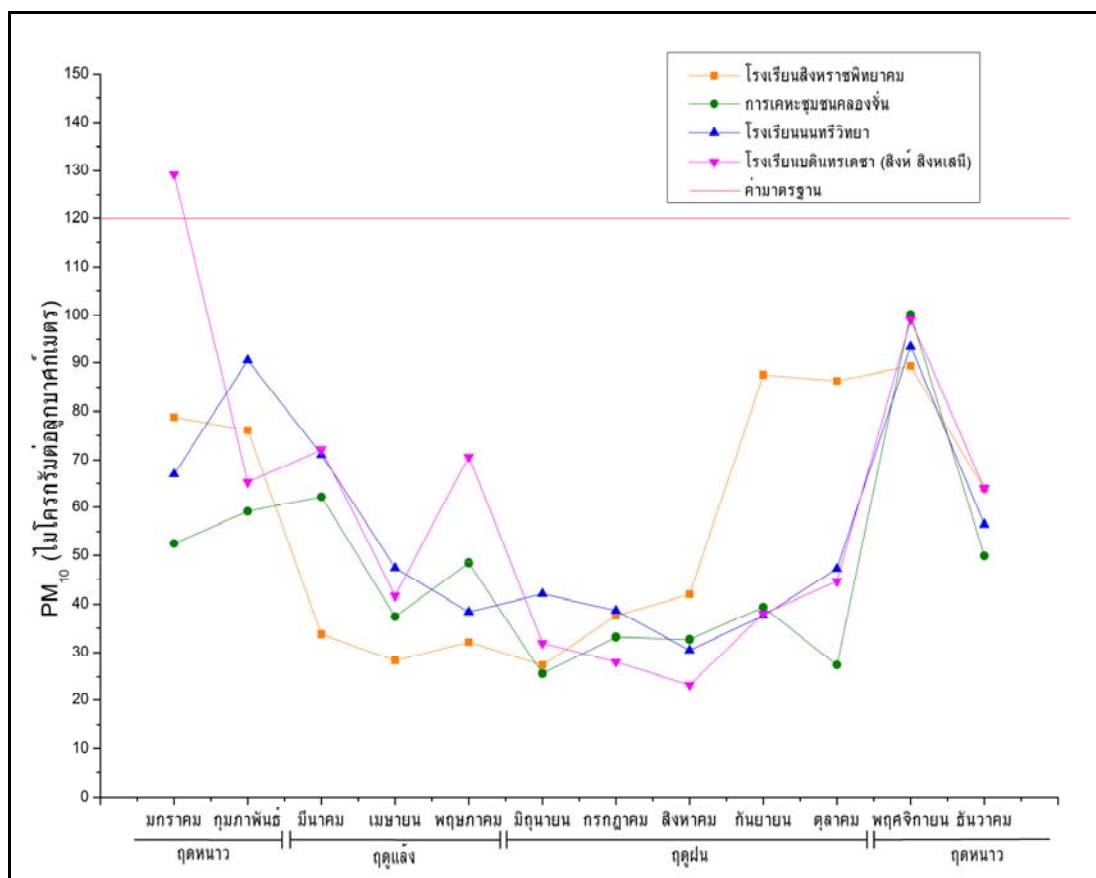
กล่าวมาจากปัจจัยข้างต้นนั้นเป็นเหตุผลสำคัญในการกระจายตัวข้อมูลในสถานีนี้ รองลงมาคือ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดงและโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ส่วนสถานีที่มีการกระจายของข้อมูลน้อยนั้นคือ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 และการเคหะชุมชนคลองจั่น เนื่องจากบริเวณใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศนั้นพบว่า ลักษณะแหล่งกำเนิดของมลพิษนั้นไม่หลากหลาย เช่น สถานีโชคชัย 4 ตั้งอยู่บนถนนลาดพร้าว ซึ่งฝุ่นมีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะเพียงอย่างเดียว เช่นเดียวกับสถานีคลองจั่นที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษไม่หลากหลาย



รูปที่ 3-3 ระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนนเขตเมือง กรุงเทพมหานคร ปี 2549

จากการตรวจวัดค่าระดับความเข้มข้น PM₁₀ จากรูปที่ 3-3 และ 3-4 พบว่า ระดับความเข้มข้น PM₁₀ มีค่าน้อยที่สุดในฤดูฝนและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงฤดูหนาวจนมีค่าสูงสุดในฤดูแล้งและจะค่อย ๆ ลดลงอีกครั้งในช่วงเปลี่ยนจากฤดูแล้งเป็นฤดูฝน เนื่องจากฝนทำหน้าที่ชะล้างฝุ่นที่กระจายในอากาศลงสู่พื้นทำให้ระดับความเข้มข้นฝุ่น PM₁₀ ในฤดูฝนมีค่าต่ำสุด เมื่ออย่างเข้าฤดูหนาวและฤดูแล้งระดับความเข้มข้นฝุ่น PM₁₀ จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากไม่มีการชะล้างโดยฝนและ

มีค่าสูงสุดในช่วงฤดูแล้ง รูปที่ 3-3 สังเกตได้ว่าการเคหะชุมชนดินแดงข้อมูลจะสูงอยู่ในเดือนกันยายน เป็นช่วงฤดูฝนควรจะมีค่าของ PM₁₀ ลดลง แต่ในระหว่างที่ทำการเก็บตัวอย่างพบว่าไม่มีฝนตกใน ระหว่างนั้นและในบริเวณนั้นมีการจราจรที่หนาหนาแน่นสะสมอยู่เป็นประจำจึงทำให้ข้อมูลผิดจาก แนวโน้มเดิม รูปที่ 3-4 มีสถานีโรงเรียนบดินทรเดชาที่ข้อมูลมีระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ สูงกว่า สถานีอื่นเนื่องจากการจราจรที่หนาแน่นและความชื้นสัมพัทธ์ที่น้อยกว่าสถานีพื้นที่ทั่วไปซึ่งเป็น ปัจจัยที่ส่งผลต่อระดับความเข้มข้นของ PM₁₀



รูปที่ 3-4 ระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไปเขตเมือง กรุงเทพมหานคร ปี 2549

เมื่อนำผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติระหว่างความสัมพันธ์ ฝุ่น PM₁₀ กับข้อมูล อุตุนิยมวิทยาในตารางที่ 3-1 กล่าวได้ว่าระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ ในแต่ละสถานีนั้นมีความสัมพันธ์แปรผันกับความกดอากาศอย่างมีนัยสำคัญอยู่ในระดับต่ำ ($r = 0.32, p < 0.01$) และระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM₁₀ มีความสัมพันธ์แปรผกผันกับความชื้นสัมพัทธ์ ($r = -0.38, p < 0.01$) และปริมาณฝน ($r = -0.22, p < 0.05$) อย่างมีนัยสำคัญอยู่ในระดับต่ำ ($r > 0.5$) เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 3-1 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ของPM₁₀ กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

PM ₁₀ (n = 83)	ความกดอากาศ					ความเร็วลม
	อากาศ	ความชื้นแสง	ปริมาณฝน	ความชื้นสัมพัทธ์	อุณหภูมิ	ลม
	.32(**)	-	-.22(*)	-.38(**)	-	-.24(*)

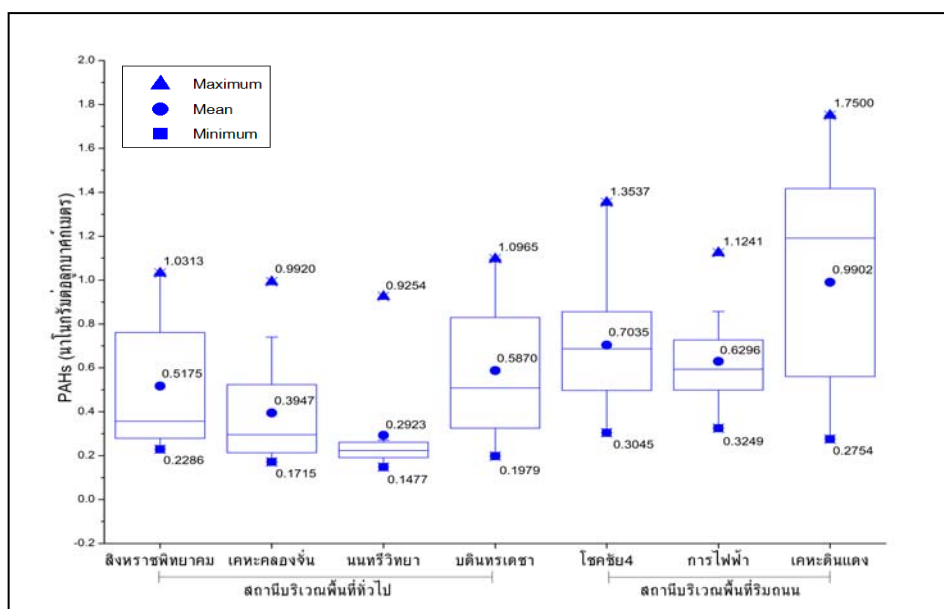
* มีนัยสำคัญที่ระดับ $p < 0.05$

** มีนัยสำคัญที่ระดับ $p < 0.01$

3.2 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs

3.2.1 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs

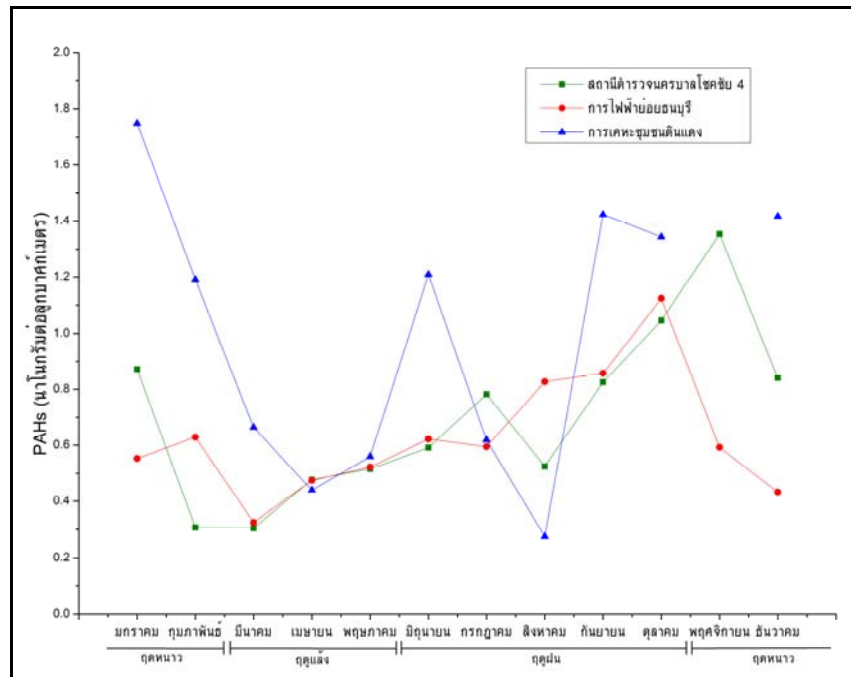
ผลการศึกษาระดับความเข้มข้นรวมของ PAHs 4 ชนิด ประกอบด้วย ฟีนานทรีน (Phe) แอนทราซีน(An) ฟลูออแรนทีน(Fluo) และไพรีน (Pyr) ในฝุ่น PM₁₀ จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 7 สถานี ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทสถานีบริเวณริมถนน (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอยุธยาบุรี และการเคหะชุมชนดินแดง) และประเภทสถานีบริเวณพื้นที่ทั่วไป (สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนนนทรีวิทยา โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม และการเคหะชุมชนคลองจั่น)



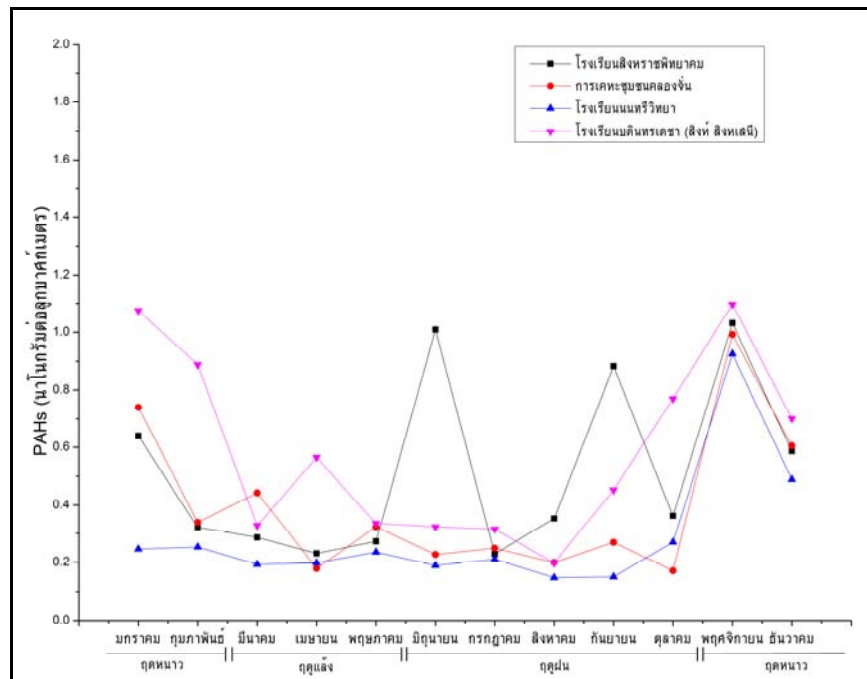
รูปที่ 3-5 ระดับความเข้มข้นของ PAHs สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตเมืองกรุงเทพฯ ทั้ง 7 สถานี

ผลการศึกษาค่าระดับความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของ PAHs สถานีบริเวณริมถนนพบว่ามีความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดง >

สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 > การไฟฟ้าอยุธยาบุรี โดยมีระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.2754 – 1.75 , 0.3044 – 1.3536 และ 0.3249 – 1.1241 นนก./ลบ.ม. และสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่ามีระดับความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) > โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม > การเคหะชุมชนคลองจั่น > โรงเรียนนนทรีวิทยา โดยมีระดับความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.1978 – 1.0964 , 0.2285 – 1.0313 , 0.1714 – 0.9920 และ 0.1476 – 0.9254 นนก./ลบ.ม. เห็นได้ว่าส่วนใหญ่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนนจะมีค่า PAHs สูงกว่าสถานีบริเวณพื้นที่ทั่วไป เนื่องจากสถานีบริเวณนั้นตั้งใกล้กับบริเวณที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดหลักของ PAHs รวมถึงการที่ PAHs สามารถสลายตัวด้วยแสงเมื่อระยะห่างจากต้นกำเนิดถึงจุดตรวจวัดมีค่ามากกว่าและสารใช้เวลาในการเดินทางจากแหล่งกำเนิดถึงจุดตรวจวัดได้นานกว่ามีโอกาสได้รับแสงมากกว่าจึงทำให้ PAHs ย่อยสลายด้วยแสงจึงเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในบริเวณพื้นที่ริมถนนมีค่าสูงกว่าบริเวณพื้นที่ทั่วไป (จากรูปที่ 3-6 และ 3-7) และแนวโน้มของระดับความเข้มข้นของ PAHs มีค่าสูงสุดในฤดูหนาว และจะมีค่าเริ่มลดลงเมื่อเริ่มเข้าสู่ฤดูแล้งเนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา คือ ความเข้มของแสง ซึ่งจะเห็นได้จากข้อมูลข้างต้นของความเข้มแสงในช่วงฤดูแล้งนั้นจะมีค่าเฉลี่ยมากกว่าฤดูฝน และต่ำสุดในฤดูหนาว เนื่องจากกรุงเทพมหานครได้รับอิทธิพลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่พัดพาความหนาวเย็นจึงทำให้ฤดูหนาวมีอุณหภูมิและความเข้มแสงน้อยกว่าในฤดูฝน สอดคล้องกับงานของ Beak (1992) ได้ศึกษาระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในประเทศอังกฤษ พบว่ามีช่วงค่าสูงที่สุดในฤดูหนาวและช่วงค่าที่น้อยสุดในฤดูร้อน งานวิจัยอื่น พบว่า ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา เช่น ความเข้มของแสง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความเร็วลม (Celia, 2001 ; Sueng, 2002) มีผลต่อระดับความเข้มข้นของสาร PAHs โดยในงานวิจัยนี้มีเพียงความเข้มแสงที่มีความสัมพันธ์แปรผกผันในระดับต่ำกับระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ที่มีระดับนัยสำคัญที่ 0.01 โดยที่ค่า $r = -0.338$ นอกจากปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาแล้ว ยังมีปัจจัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มข้นของสาร PAHs คือ การแยกตัวที่เพิ่มขึ้นของสารในช่วงฤดูร้อน การเคลื่อนที่ของสารมลพิษจากแหล่งอื่น การแยกตัวของสาร PAHs ในช่วงฤดูฝน และการระเหยของสาร PAHs โมเลกุลต่ำจากฝุ่น (Panther, 1999)



รูปที่ 3-6 ระดับความเข้มข้นของ PAHs สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนนเขตเมือง กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 3-7 ระดับความเข้มข้นของ PAHs สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไปเขตเมือง กรุงเทพมหานคร

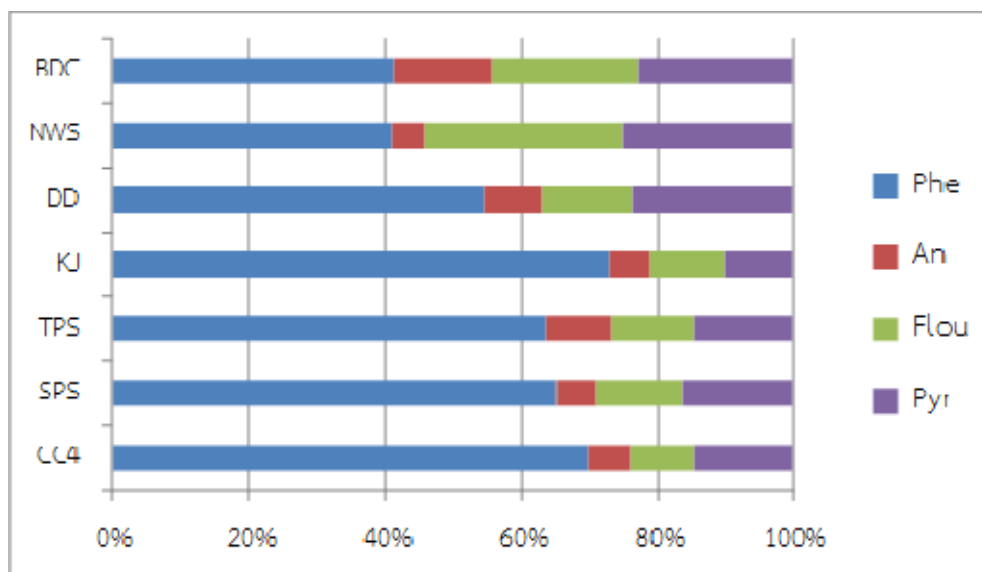
ในการกำหนดค่ามาตรฐานของสาร PAHs ในบรรยากาศทั่วไปนั้น องค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) ได้กำหนดให้ใช้สาร PAHs ชนิด BaP เป็นตัวบ่งชี้ถึงการปนเปื้อนของสาร PAHs ในบรรยากาศ เนื่องจากสาร PAHs ชนิดนี้จัดเป็นสารก่อมะเร็งชนิด 2A คือ

เป็นสารที่น่ากัมมะเร็งในคน และสารชนิดนี้ยังสามารถพบได้โดยทั่วไปจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ จึงนำมาใช้เป็นตัวบ่งชี้การปนเปื้อนสาร PAHs ได้ ซึ่งองค์การอนามัยโลกได้กำหนดให้ในชั้นบรรยากาศทั่วไปนั้นมีสารประกอบ PAHs ชนิด BaP ไม่ควรเกิน 1.0 นก./ลบ.ม. (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) แต่จากการศึกษาครั้งนี้ ศึกษา PAHs 4 ชนิด คือ ฟีนแอนทริน (Phe) แอนทราซีน(An) ฟลูออแรนทีน (Fluo) และไพรีน (Pyr) ซึ่งจัดเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 3 คือไม่ก่อมะเร็งในมนุษย์ แต่เมื่อรับสัมผัสในปริมาณมากก็สามารถก่อให้เกิดพิษและสะสมในร่างกาย อาจก่อให้เกิดอาการระคายเคืองของผิวหนังและเยื่อต่างๆ ได้ รวมทั้งสาร PAHs ทั้ง 4 ชนิดนี้ ทำให้ฤทธิ์ก่อมะเร็งของ Benzo[a]Pyrene เพิ่มขึ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ผลการศึกษาผลรวมของสาร PAHs ทั้ง 4 ชนิดนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยรายปีของสาร PAHs มีค่าสูงในช่วงฤดูหนาวและช่วงเปลี่ยนฤดูหนาวเป็นฤดูแล้ง เช่นเดียวกับการศึกษาของ รุ่งนภา (2551) ที่ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs เกินค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลกในช่วงฤดูแล้งและไม่เกินมาตรฐานในช่วงฤดูฝน

จากรูปที่ 3-6 และ 3-7 พบว่า จากการตรวจสอบตัวอย่างในแต่ละข้อมูลสอดคล้องกับข้อมูลของ PM₁₀ ที่ค่าสูงกว่าปกติในช่วงเดือนกันยายนของสถานีการเคหะชุมชนดินแดงและสถานีโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม และในเดือนมิถุนายนของสถานีดินแดงซึ่งอยู่ในช่วงฤดูฝนแต่ฝนตกน้อยกว่าในสถานีอื่น รวมทั้งความเข้มแสงและอุณหภูมิต่ำกว่าสถานีอื่นอีกด้วย

3.2.2 ชนิดของสาร PAHs

การศึกษาครั้งนี้ ศึกษา PAHs 4 ชนิด ประกอบด้วย ประกอบด้วย ฟีนแอนทริน (Phe) แอนทราซีน(An) ฟลูออแรนทีน(Fluo) และไพรีน (Pyr) ค่าเฉลี่ยของ PAHs สถานีบริเวณริมถนน พบว่า Phe มีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วง 0.4011 – 0.4914 นก./ลบ.ม. และน้อยที่สุดคือ An มีค่าอยู่ในช่วง 0.0438 – 0.0855 นก./ลบ.ม. ส่วนสถานีบริเวณพื้นที่ทั่วไป พบว่า Phe มีค่ามากที่สุดอยู่ในช่วง 0.1202 – 0.3370 นก./ลบ.ม. และน้อยที่สุดคือ An มีค่าอยู่ในช่วง 0.0138 – 0.0969 นก./ลบ.ม.



รูปที่ 3-8 ระดับความเข้มข้นของสาร PAHs แยกชนิดของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตเมือง กรุงเทพมหานคร ปี 2549

ลักษณะของ PAHs ทั้ง 4 ชนิด ในแต่ละสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 7 สถานี พบว่า สถานีบริเวณริมถนนมีสัดส่วนของ PAHs ได้แก่ Phe > Pyr > Fluo > An ซึ่งส่วนใหญ่ Phe มีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 50 โดยประมาณของ TotalPAHs (Phe An Fluo และ Pyr) และ An มีน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 5 โดยประมาณของ TotalPAHs ส่วนสถานีบริเวณพื้นที่ทั่วไป มีสัดส่วนของ PAHs ได้แก่ Phe > Pyr > Fluo > An โดยส่วนใหญ่ Phe มีมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 40 โดยประมาณของ TotalPAHs และ An มีน้อยที่สุดคิดเป็นร้อยละ 5 โดยประมาณของ TotalPAHs พื้นที่บริเวณที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในการศึกษานี้ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจร และพื้นที่ที่อยู่อาศัยของชุมชน ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของสาร PAHs 4 ชนิด คือ An Phe Fluo และ Pyr ส่วนใหญ่มาจากแหล่งกำเนิดของการจราจรหนาแน่นซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ธิตา (2551) พบว่าระดับความเข้มข้นของ PAHs ในกรุงเทพมหานครชั้นล่างจาก 3 ระดับชั้นนั้น พบว่าองค์ประกอบหลัก คือ An BghiP Pyr BbF และ Phe มีแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PAHs ในชั้นนี้มาจากการจราจรเป็นสาเหตุหลักและส่วนใหญ่มาจากเครื่องยนต์ดีเซลสถานที่ทำการเก็บตัวอย่างงานวิจัยนี้ตั้งใกล้กับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดงที่มีแหล่งกำเนิดเดียวกัน และจากการศึกษาของ Lee et al.(1995) พบว่า ระดับความเข้มข้นของสารPAHsในน้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบหลัก คือ Nap Acy และ Ace (ประมาณร้อยละ 40) และพบว่า Total PAHs ที่มาจากน้ำมันดีเซล โดยชนิดของสาร PAHs ที่พบมาก คือ Acy Ace Fluo Phe An Fluo Pyr Chry BaA Cor และ BkF ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาสาร PAHs ที่ปล่อยมาจากไอเสียรถยนต์ดีเซลและเบนซินพบ Ace Fluo Fluo Phe Pyr Chry และ BeP เป็นชนิดหลักของสารประกอบ PAHs ที่มาจากรถดีเซล ส่วน Fluo

Chry Ind BghiP Cyc และ Cor เป็นชนิดหลักของสาร PAHs ที่มาจากรถยนต์เบนซิน (Caricchia et al., 1999; Ho et al., 2002; Kulkarni and Venkataraman, 2000; Omar et al., 2002; Yang et al., 1998) ซึ่งให้เห็นว่าองค์ประกอบหลักของสาร PAHs ที่มาจากเชื้อเพลิงยานพาหนะนั้นมีสาร PAHs 4 ชนิด คือ Phe An Fluo และ Pyr ซึ่งส่วนใหญ่แหล่งกำเนิดมลพิษของ PAHs

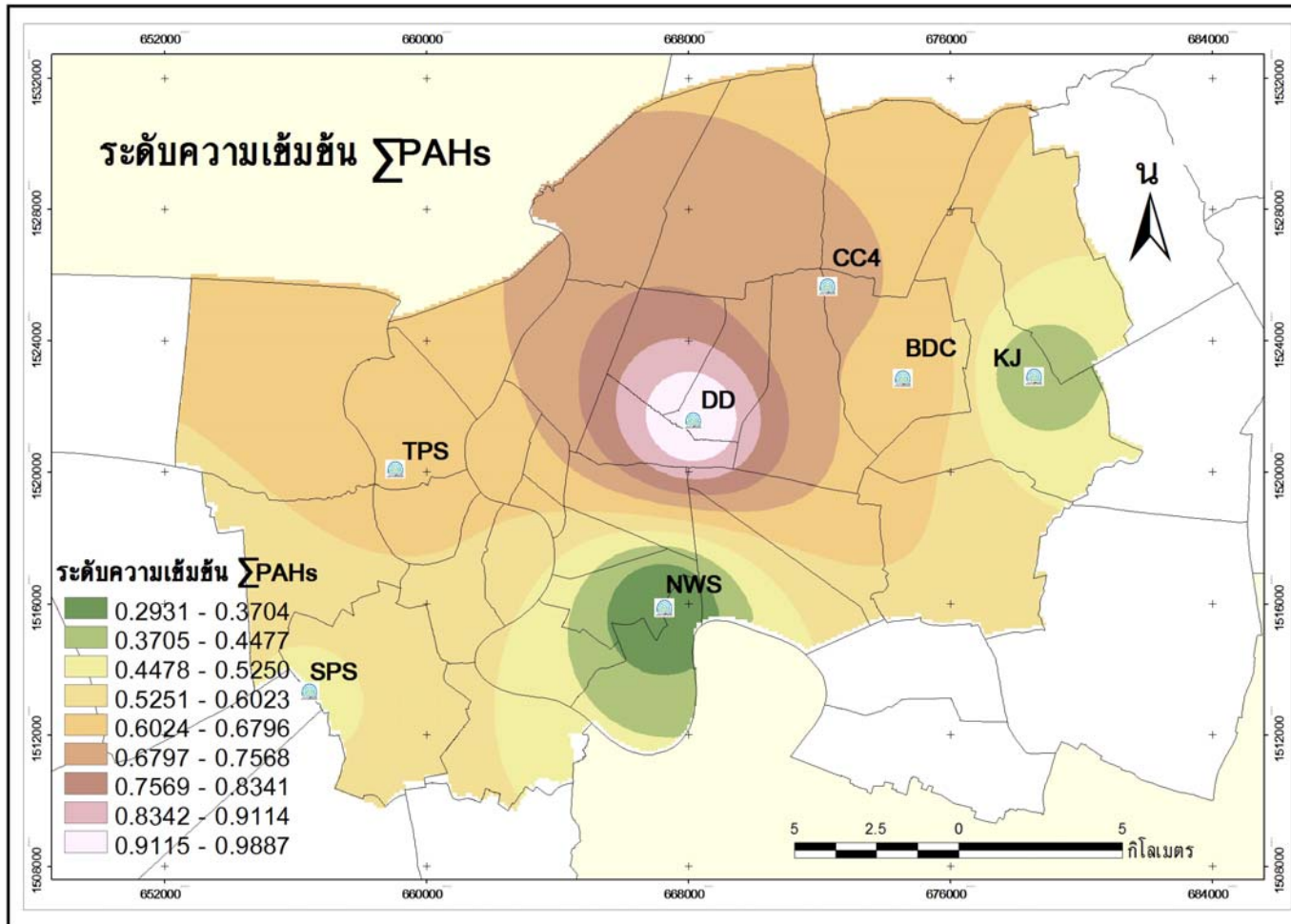
3.2.3 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs

ผลการศึกษาสาร PAHs บริเวณเขตเมืองกรุงเทพมหานครพบสาร PAHs รวมมีค่าความเข้มข้นกระจายตัวสูงในสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ แสดงในรูปที่ 3-9 ถึง 3-13 ลักษณะการกระจายตัวของสาร PAHs ในแต่ละชนิดที่ทำการศึกษา คือ แอนทราซีน พีแนนทรีน ฟลูออแรนทรีน และไพรีน พบว่า ส่วนใหญ่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดงที่ระดับความเข้มข้น PAHs รวมสูงสุด และการกระจายตัวมีแนวโน้มไปทางสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 ซึ่งบริเวณนั้นมีถนนหลายสายตัดกัน เช่น ถนนพระราม 9 ลาดพร้าว รัชดา พหลโยธิน เป็นต้นจากรายงานของกรมควบคุมมลพิษ ปี 2549 พบว่าพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่มีปัญหามลพิษทางอากาศเกินค่ามาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ซึ่งส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ

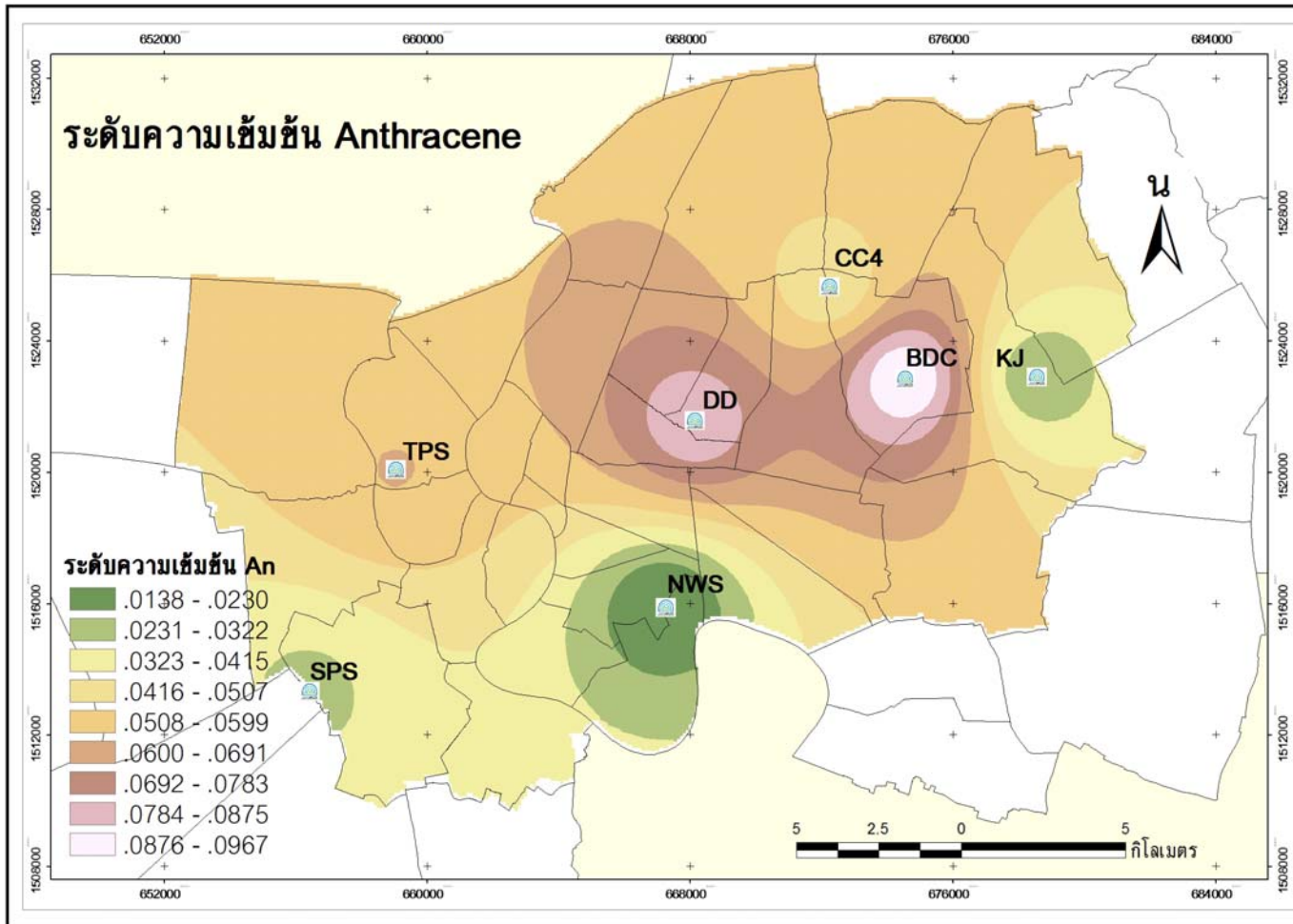
ลักษณะการกระจายตัวของ PAHs แต่ละชนิดพบว่ามีความเข้มข้นสูงสุดในพื้นที่ริมถนน อาจเป็นผลมาจากบริเวณใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศดังกล่าวอยู่ใกล้กับบริเวณที่มีปริมาณรถหนาแน่น ซึ่งประกอบกับในช่วงปีที่ทำการเก็บตัวอย่างมีการซ่อมบำรุงถนนบริเวณนี้จึงทำให้ปริมาณการจราจรติดขัดนานกว่าเดิม (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) รวมทั้งบริเวณนั้นเป็นเส้นทางสายหลักในการเชื่อมต่อไปยังการเดินทางสายอื่น ๆ ทั้งนี้ทั้งย่านที่อยู่อาศัยหนาแน่น อาคารสำนักงาน โรงเรียน และสถานที่ราชการอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามระดับความเข้มข้นสาร PAHs ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนบดินทรเดชา ซึ่งมีระดับความเข้มข้นมากที่สุดเป็นลำดับที่ 3 ทั้ง ๆ ที่เป็นสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในบริเวณพื้นที่ทั่วไป เพราะสถานีนี้ใกล้กับถนนหลักหลายสาย เช่น ลาดพร้าว รามคำแหง และเป็นย่านชุมชนที่อยู่อาศัยมีการสัญจรไปมาอยู่ไม่น้อยเช่นกัน

ตารางที่ 3-2 ระดับความเข้มข้นของ PAHs ในแต่ละชนิด (Phe, An, Fluo และ Pyr) ในพื้นที่อื่น ๆ (หน่วยเป็น นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

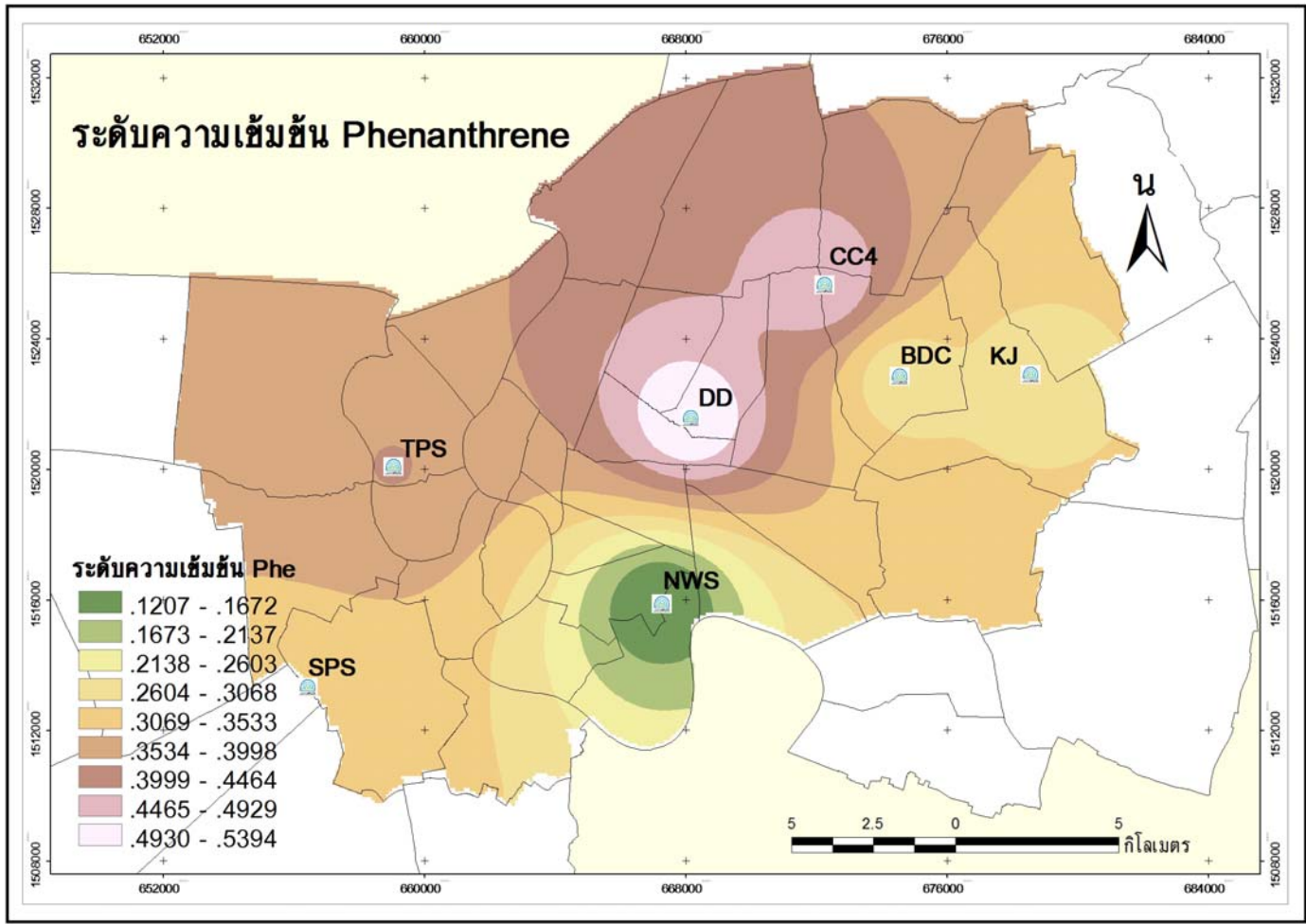
Sampling site	Type	Phe	An	Fluo	Pyr	Ref.
Seoul, Korea	Traffic	1.46	0.18	0.63	1.75	Kim et al., 2002
Taichung, Taiwan	Urban	3.20	4.10	5.20	1.20	G.-C.Fang et al, 2004
Athen, Greece	Traffic	0.22	0.24	0.22	0.34	Mantis et al., 2005
Guangzhou, China	Urban	1.6	0.2	1.5	1.6	J.Li et al., 2006
Xiamen, China	Traffic	8.24	0.22	0.63	1.75	Wang et al., 2007
Songkhla, Thailand	Traffic	0.157	0.013	0.151	0.168	} Muprasit J., 2010
		0.147	0.014	0.108	0.117	
		0.115	0.015	0.080	0.113	
Oporto, Portugal	Traffic	0.801	0.504	1.26	1.56	K.slezakova et al., 2011
CC4	Traffic	0.4914	0.0438	0.0669	0.1014	} การศึกษาใน
DD	Traffic	0.5402	0.0854	0.1308	0.2336	
TPS	Traffic	0.4011	0.0602	0.0773	0.0910	
SPS	Urban	0.3370	0.0306	0.0651	0.0842	
KJ	Urban	0.2874	0.0249	0.0426	0.0398	
NWS	Urban	0.1202	0.0138	0.0852	0.0731	
BDC	Urban	0.2575	0.0724	0.1189	0.1402	



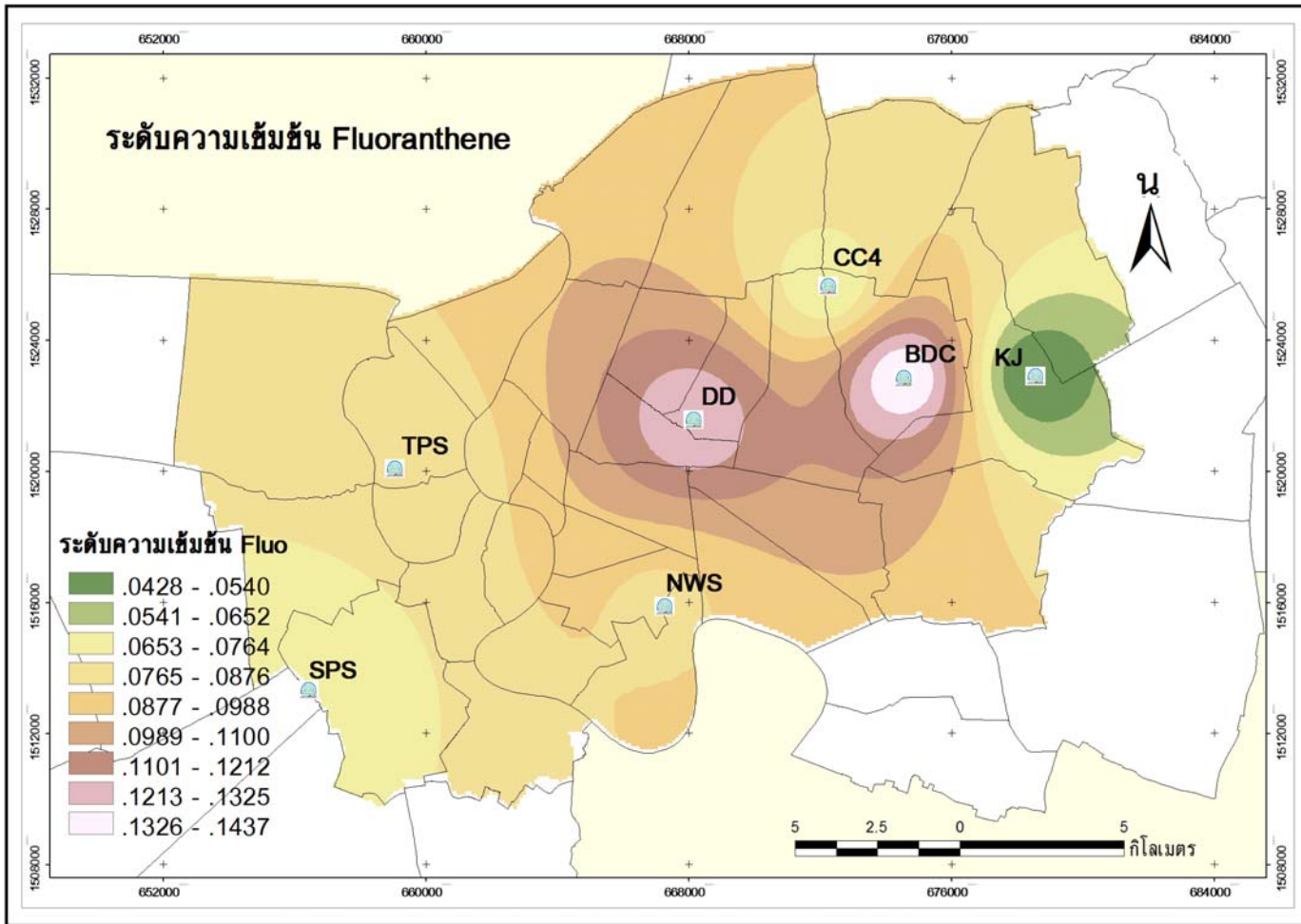
รูปที่ 3-9 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ TotalPAHs (An, Phe, Flou และ Pyr) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร



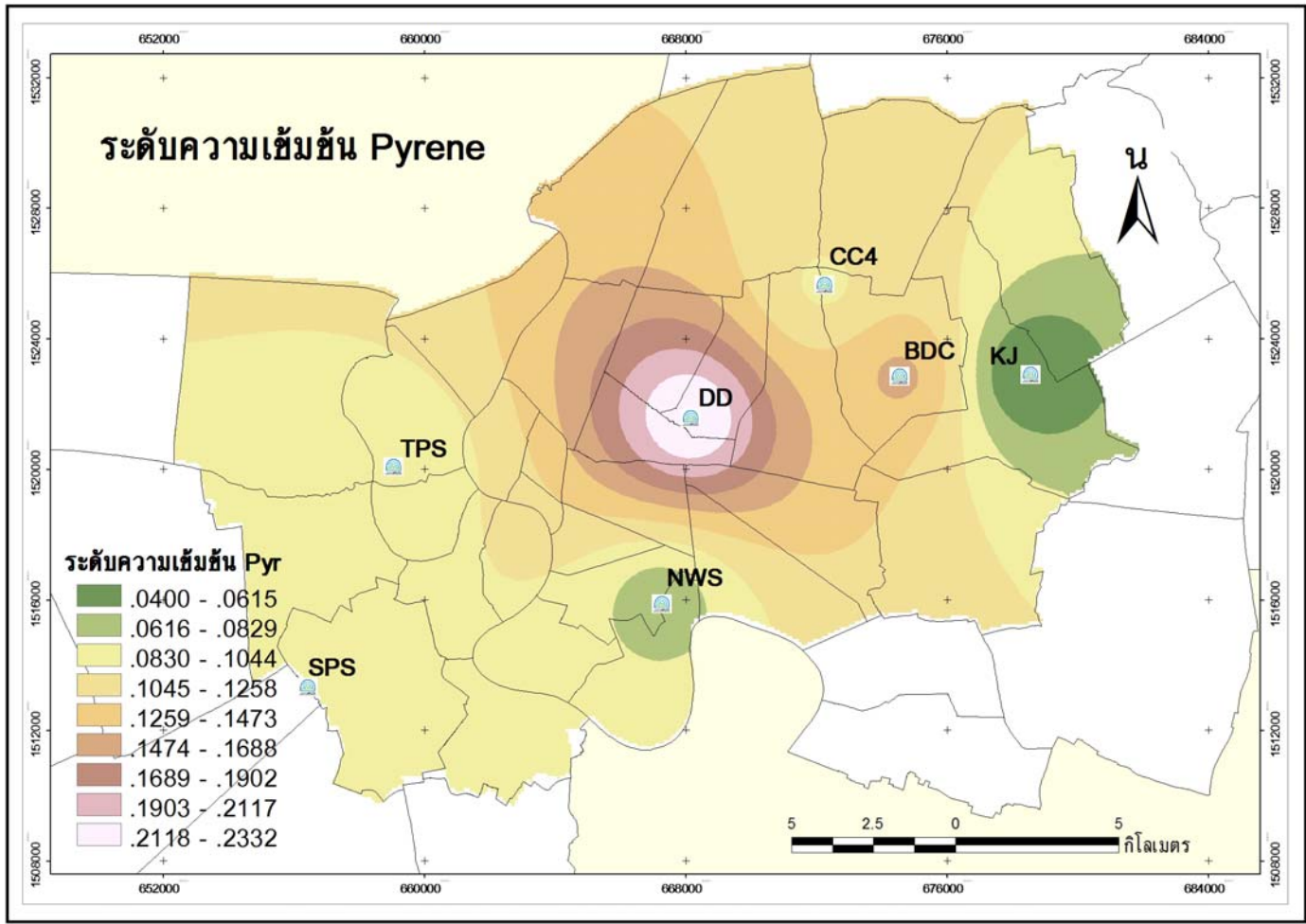
รูปที่ 3-10 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ Anthracene (An) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร



รูปที่ 3-11 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ Phenanthrene (Phe) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร



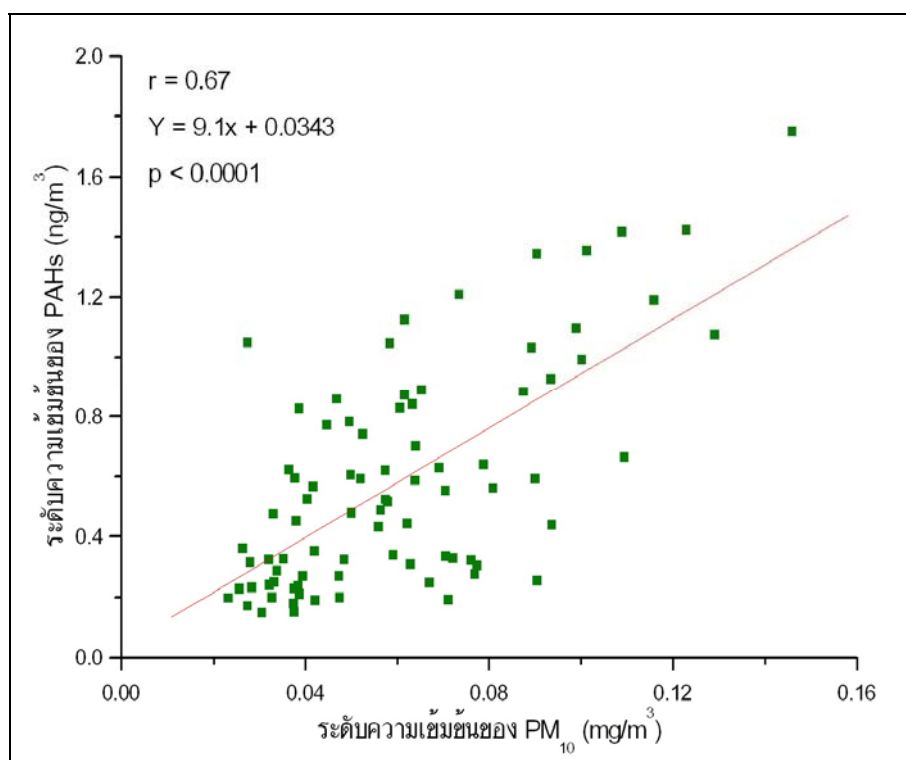
รูปที่ 3-12 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ Fluoranthene (Fluo) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร



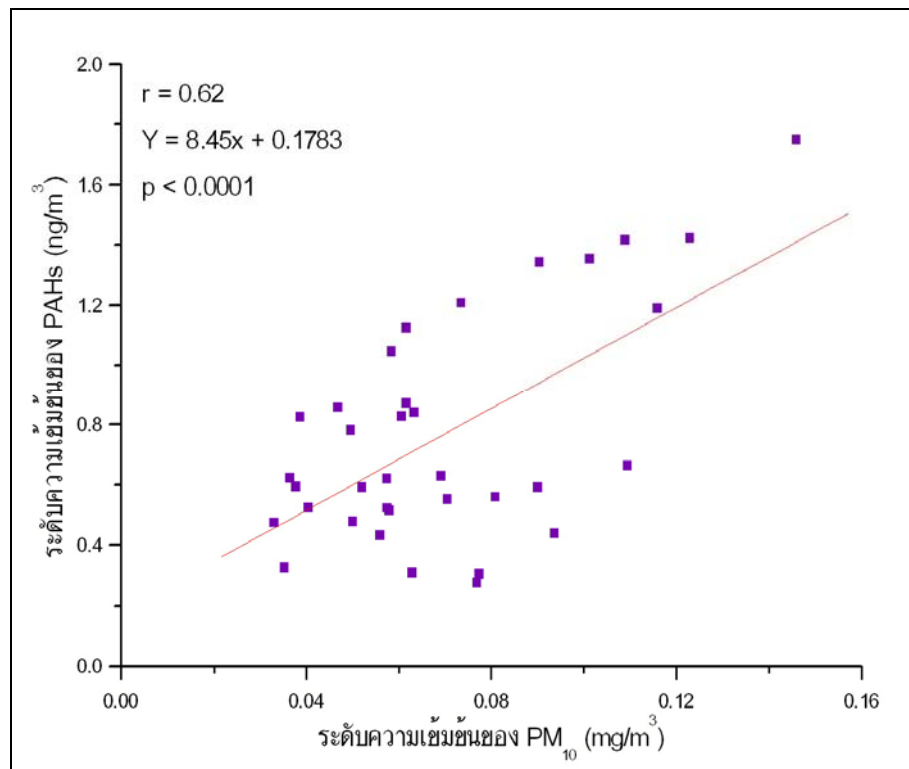
รูปที่ 3-13 แผนที่แสดงระดับความเข้มข้นของ Pyrene (Pyr) ในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

3.2.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PAHs กับ PM₁₀

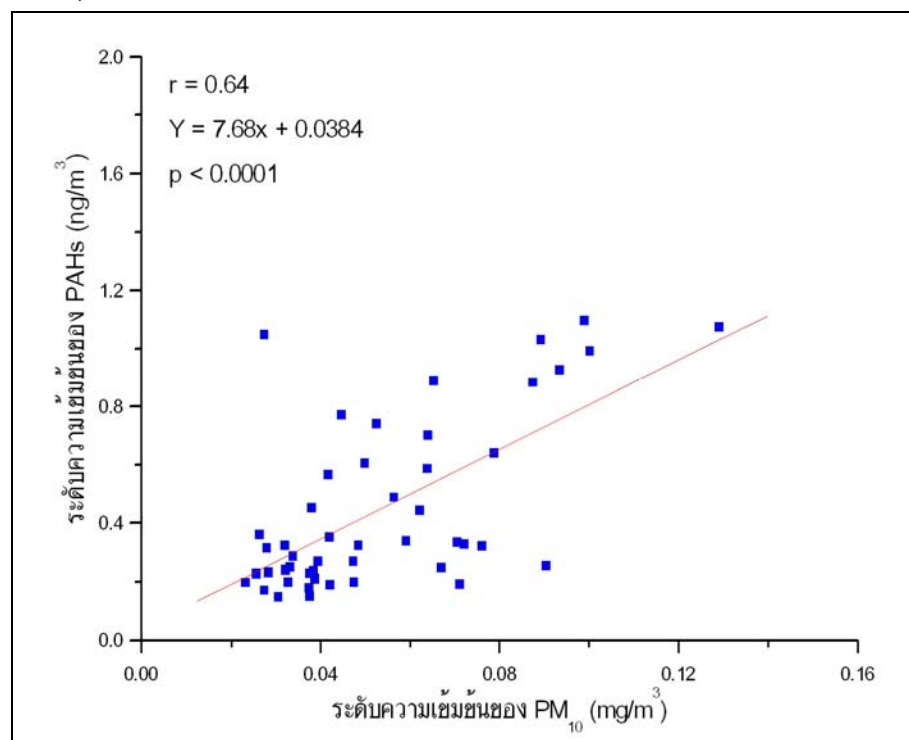
ผลการศึกษาค้นคว้าหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ กับ PAHs สถานีบริเวณริมถนน พบว่า โดยภาพรวมทั้ง 3 สถานีที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.620 กล่าวได้ว่าระดับความเข้มข้น PM₁₀ กับระดับความเข้มข้น PAHs มีค่าแปรผันกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับปานกลาง แต่เมื่อแยกเป็นสถานีกลับพบว่า สถานีตรวจคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดงมีระดับความเข้มข้น PM₁₀ และ PAHs มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.666 ซึ่งค่าระดับความเข้มข้น PM₁₀ กับระดับความเข้มข้น PAHs ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดงมีค่าแปรผันกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับปานกลาง สถานีบริเวณพื้นที่ทั่วไป พบว่า โดยภาพรวมทั้ง 4 สถานีที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.628 กล่าวได้ว่าระดับความเข้มข้น PM₁₀ กับระดับความเข้มข้น PAHs มีค่าแปรผันกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับปานกลาง แต่เมื่อแยกเป็นสถานีกลับพบว่า สถานีตรวจคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนคลองจั่นและโรงเรียนนนทรีวิทยามีระดับความเข้มข้น PM₁₀ และ PAHs มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 โดยที่ค่า r เท่ากับ 0.860 และ 0.625 ตามลำดับ ซึ่งค่าระดับความเข้มข้น PM₁₀ กับระดับความเข้มข้น PAHs ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนคลองจั่นและโรงเรียนนนทรีวิทยามีค่าแปรผันกันอย่างมีนัยสำคัญในระดับสูงและปานกลาง ตามลำดับ



รูปที่ 3-14 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของ PAHs กับระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานี



รูปที่ 3-15 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของ PAHs กับระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนน



รูปที่ 3-16 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของ PAHs กับระดับความเข้มข้นของ PM₁₀ ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไป

3.2.5 อัตราบ่งชี้แหล่งกำเนิด (Diagnostic ratio)

การศึกษาอัตราบ่งชี้แหล่งกำเนิดมักกล่าวถึงแหล่งที่มาของ PAHs ในชั้นบรรยากาศ เช่น กระบวนการเผาไหม้ของถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ชีวมวลและไอเสียจากยานพาหนะ (บางครั้งแยกระหว่างน้ำมันเบนซินหรือน้ำมันดีเซล) นำมาเปรียบเทียบกับค่าสัดส่วนที่คำนวณในแต่ละสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานี ผลการศึกษาพบว่าค่าสัดส่วน An / (An+Phe) มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงยานพาหนะ ได้แก่ สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 (0.03 - 0.11) การไฟฟ้าอยุธยาบุรี (0.10 - 0.16) การเคหะชุมชนดินแดง (0.09 - 0.19) โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม (0.02 - 0.13) การเคหะชุมชนคลองจั่น (0.01 - 0.12) โรงเรียนนนทรีวิทยา (0.06 - 0.15) และโรงเรียนบดินทรเดชา (0.10 - 0.58)

ค่าสัดส่วน Flou/(Flou+pyr) ได้แก่ สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 (0.28 - 0.50) การไฟฟ้าอยุธยาบุรี (0.39 - 0.56) การเคหะชุมชนดินแดง (0.23 - 0.62) โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม (0.34 - 0.65) การเคหะชุมชนคลองจั่น (0.30 - 0.65) โรงเรียนนนทรีวิทยา (0.40 - 0.61) และโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) (0.27 - 0.57)

เนื่องจากรูปแบบของ PAHs ที่ถูกปล่อยออกมาสู่บรรยากาศมีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันในแต่ละสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ซึ่งบางสถานีมาจากแหล่งกำเนิดมาจากหลายแหล่งกำเนิด ประกอบกับปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาหรือมลพิษอื่น ๆ เกิดปฏิกิริยาทางเคมีในแต่ละพื้นที่ศึกษาต่างกัน ทำให้ค่าที่ได้แตกต่างกัน (Fang et al., 2006 ; Pyysalo et al., 1987)

ในการศึกษาครั้งนี้ได้นำสัดส่วนสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ของแหล่งกำเนิดของกลุ่มจราจรและกลุ่มพื้นที่ทั่วไป (จากรูปที่ 3- 17) จากสัดส่วน An/(An+Phe) พบว่า ส่วนใหญ่สถานีการไฟฟ้าอยุธยาบุรีและการเคหะชุมชนดินแดง มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากยานพาหนะที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนในสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 มีแหล่งกำเนิดมาจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับปิโตรเลียม สำหรับพื้นที่ทั่วไปนั้น สัดส่วน An/(An+Phe) พบว่า สถานีโรงเรียนนนทรีวิทยาและสถานีโรงเรียนบดินทรเดชามาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากยานพาหนะ

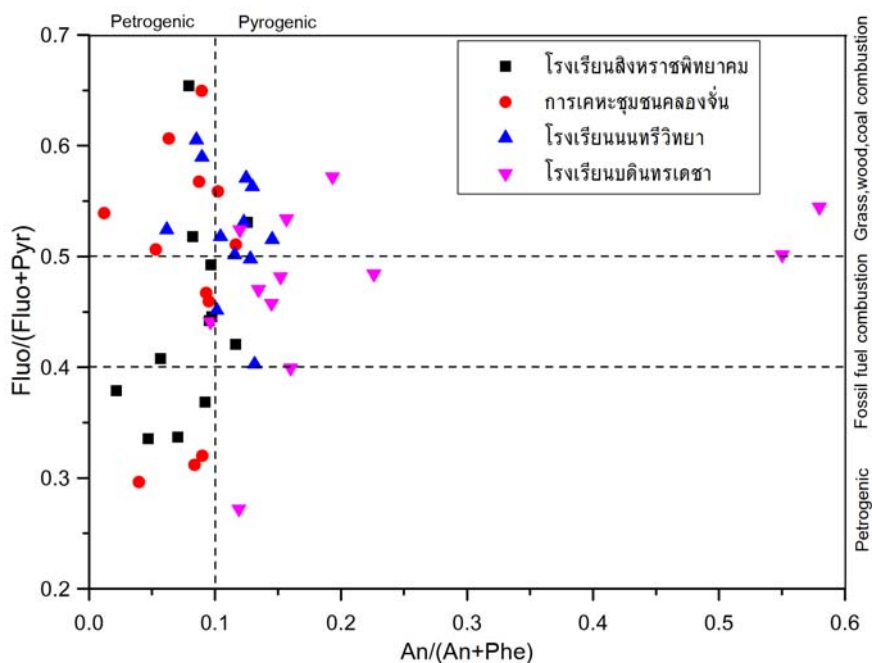
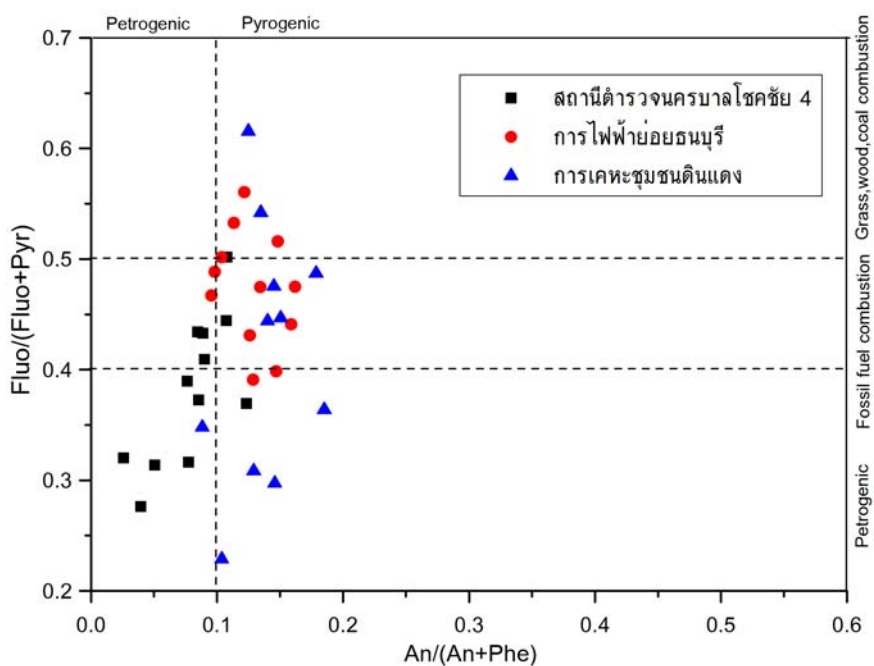
จากสัดส่วน Flou/(Flou+pyr) พบว่า สถานีบริเวณริมถนนสัดส่วนจะน้อยกว่า 0.5 ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงซึ่งส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ สำหรับสถานีพื้นที่ทั่วไปจะกระจายอยู่ทั่วไป ส่วนใหญ่จะมีค่ามากกว่า 0.4 มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ของชีวมวล

ตารางที่ 3-3 อัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณพื้นที่ทั่วไปเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

เดือน	SPS		KJ		NWS		BDC	
	An/(An +Phe)	Fluo/(Fluo+pyr)	An/(An +Phe)	Fluo/(Fluo+pyr)	An/(An +Phe)	Fluo/(Fluo+pyr)	An/(An +Phe)	Fluo/(Fluo+pyr)
มกราคม	0.10	0.45	0.09	0.47	0.15	0.52	0.15	0.48
กุมภาพันธ์	0.05	0.34	0.05	0.51	0.12	0.53	0.19	0.57
มีนาคม	0.10	0.45	0.01	0.54	0.12	0.50	0.12	0.52
เมษายน	0.08	0.52	0.04	0.30	0.06	0.52	0.16	0.40
พฤษภาคม	0.06	0.41	0.09	0.32	0.12	0.57	0.14	0.46
มิถุนายน	0.02	0.38	0.08	0.31	0.13	0.50	0.16	0.53
กรกฎาคม	0.08	0.65	0.09	0.57	0.09	0.59	0.12	0.27
สิงหาคม	0.09	0.37	0.10	0.56	0.10	0.52	0.13	0.47
กันยายน	0.12	0.42	0.09	0.65	0.13	0.40	0.23	0.48
ตุลาคม	0.07	0.34	0.10	0.46	0.13	0.56	0.58	0.54
พฤศจิกายน	0.10	0.49	0.12	0.51	0.09	0.61	0.10	0.44
ธันวาคม	0.13	0.53	0.06	0.61	0.10	0.45	0.55	0.50

ตารางที่ 3- 4 อัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิดสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนนเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

เดือน	CC4		TPS		DD	
	An/(An +Phe)	Fluo/(Fluo+pyr)	An/(An +Phe)	Fluo/(Fluo+pyr)	An/(An +Phe)	Fluo/(Fluo+pyr)
มกราคม	0.04	0.28	0.16	0.44	0.15	0.30
กุมภาพันธ์	0.03	0.32	0.13	0.47	0.13	0.31
มีนาคม	0.09	0.41	0.11	0.53	0.15	0.48
เมษายน	0.09	0.43	0.10	0.49	0.18	0.49
พฤษภาคม	0.09	0.37	0.15	0.52	0.15	0.45
มิถุนายน	0.08	0.32	0.12	0.56	0.19	0.36
กรกฎาคม	0.08	0.39	0.16	0.47	0.14	0.44
สิงหาคม	0.08	0.43	0.13	0.43	0.12	0.62
กันยายน	0.05	0.31	0.15	0.40	0.10	0.23
ตุลาคม	0.12	0.37	0.13	0.39	0.09	0.35
พฤศจิกายน	0.11	0.44	0.10	0.47	-	-
ธันวาคม	0.11	0.50	0.10	0.50	0.13	0.54



รูปที่ 3-17 อัตราส่วนบ่งชี้แหล่งกำเนิดของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณสถานีริมถนน (รูปบน) และสถานีพื้นที่ทั่วไป (รูปล่าง)

3.3 การประเมินความเสี่ยง

การวิเคราะห์หาระดับความเข้มข้นของสาร PAHs ในชั้นบรรยากาศจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศและนำมาประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพด้วยวิธีของ US-EPA (1989) จากการได้รับสัมผัสของร่างกายที่ได้รับผ่านการหายใจในแต่ละวัน หากความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งมีค่าอยู่ในช่วง $10^{-6} - 10^{-4}$ แสดงว่าอาจมีความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งเมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน และถ้ามีค่าความเสี่ยงมีค่ามากกว่า 10^{-4} แสดงว่า มีความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งสูงเมื่อได้รับเป็นระยะเวลาสั้น (US-EPA, 2005)

3.2.1 การประเมินความเสี่ยงทางด้านสุขภาพ

จากการวิเคราะห์สาร PAHs ทั้ง 4 ชนิด คือ Phe An Fluo และ Pyr ซึ่งวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็งและไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง ซึ่งคำนวณทั้งสองแบบ เนื่องจากค่า RfD ของ Phe ไม่มีข้อมูลในการคำนวณจึงจำเป็นต้องคำนวณค่าความเสี่ยงที่สัมผัสสารก่อให้เกิดมะเร็งด้วย จากสูตรและวิธีการคำนวณนั้นอยู่ในบทที่ 2 ทั้งนี้จากข้อมูลตารางที่ 3-4 3-5 และ 3-6 เป็นการคำนวณการประเมินความเสี่ยง พบว่า ค่า HQ อยู่ในช่วง $2.17 \times 10^{-10} - 2.89 \times 10^{-7}$ ซึ่งอยู่ในระดับต่ำกว่า 1 เป็นค่าที่สามารถยอมรับได้แสดงให้เห็นว่า สาร PAHs ไม่มีโอกาสไปเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพประชากรในกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 3-5 ดัชนีคุกคามของการสัมผัสสาร PAHs ของเด็กในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ	Phe	An	Fluo	Pyr
1.เคหะชุมชนดินแดง (DD)	ND	X	X	X
2.การเคหะชุมชนคลองจั่น (KJ)	ND	X	X	X
3.โรงเรียนนนทรีวิทยา (NWS)	ND	X	X	X
4.โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม (SPS)	ND	X	X	X
5.การไฟฟ้าอ้อยธนบุรี (TPS)	ND	X	X	X
6.สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 (CC4)	ND	X	X	X
7.โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) (BDC)	ND	X	X	X

หมายเหตุ : X ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
 O มีผลกระทบต่อสุขภาพ
 ND ไม่มีข้อมูล (Phe ไม่มีค่า RfD)

ตารางที่ 3-6 ดัชนีคุณภาพของการสัมผัสสาร PAHs ของผู้หญิงในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

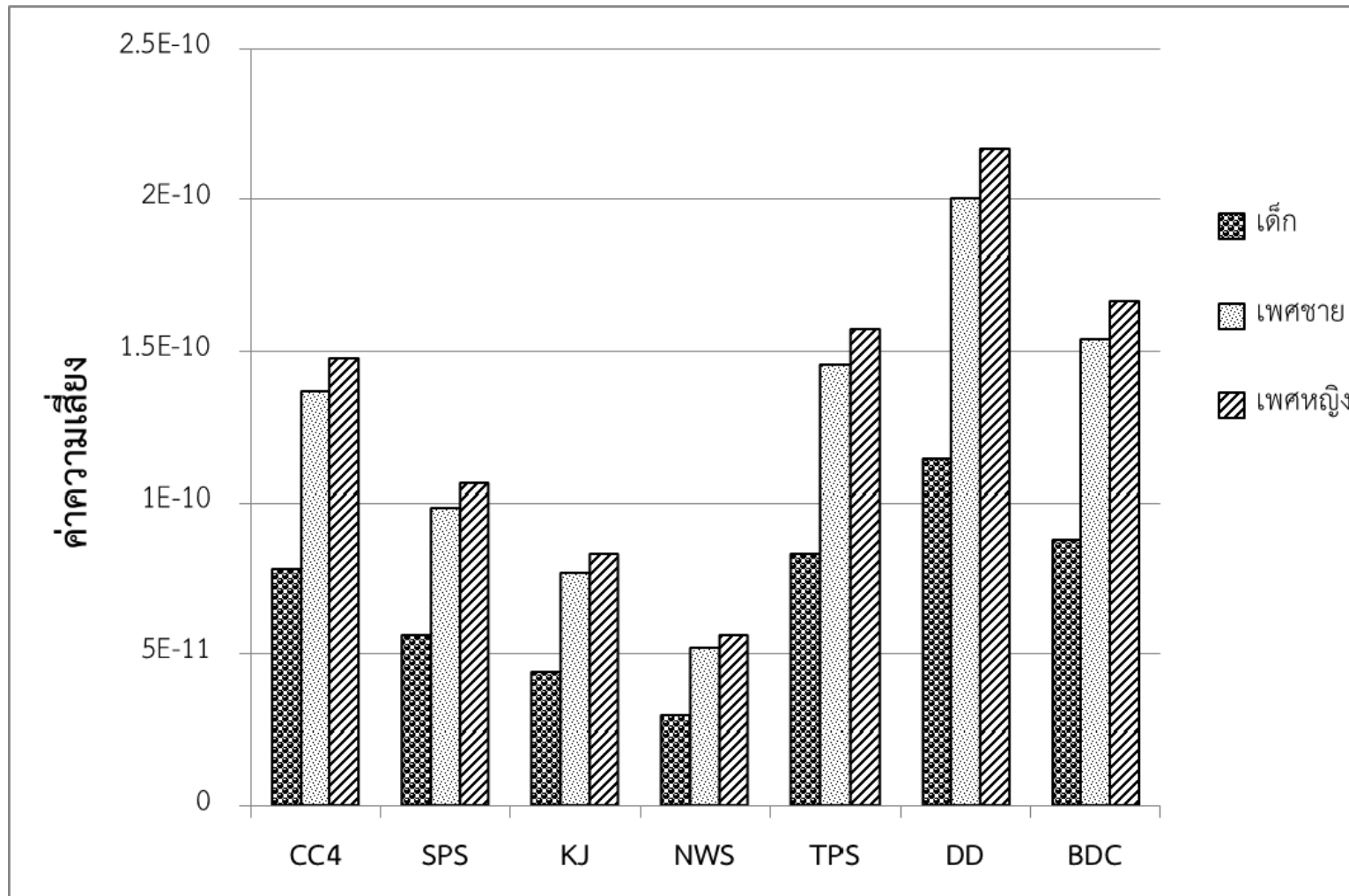
สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ	Phe	An	Fluo	Pyr
1.เคหะชุมชนดินแดง (DD)	ND	X	X	X
2.การเคหะชุมชนคลองจั่น (KJ)	ND	X	X	X
3.โรงเรียนนนทรีวิทยา (NWS)	ND	X	X	X
4.โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม (SPS)	ND	X	X	X
5.การไฟฟ้าอ้อยธนบุรี (TPS)	ND	X	X	X
6.สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 (CC4)	ND	X	X	X
7.โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) (BDC)	ND	X	X	X

หมายเหตุ : X ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
 O มีผลกระทบต่อสุขภาพ
 ND ไม่มีข้อมูล (Phe ไม่มีค่า RfD)

ตารางที่ 3-7 ดัชนีคุณภาพของการสัมผัสสาร PAHs ของผู้ชายในเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ	Phe	An	Fluo	Pyr
1.เคหะชุมชนดินแดง (DD)	ND	X	X	X
2.การเคหะชุมชนคลองจั่น (KJ)	ND	X	X	X
3.โรงเรียนนนทรีวิทยา (NWS)	ND	X	X	X
4.โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม (SPS)	ND	X	X	X
5.การไฟฟ้าอ้อยธนบุรี (TPS)	ND	X	X	X
6.สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 (CC4)	ND	X	X	X
7.โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) (BDC)	ND	X	X	X

หมายเหตุ : X ไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ
 O มีผลกระทบต่อสุขภาพ
 ND ไม่มีข้อมูล (Phe ไม่มีค่า RfD)



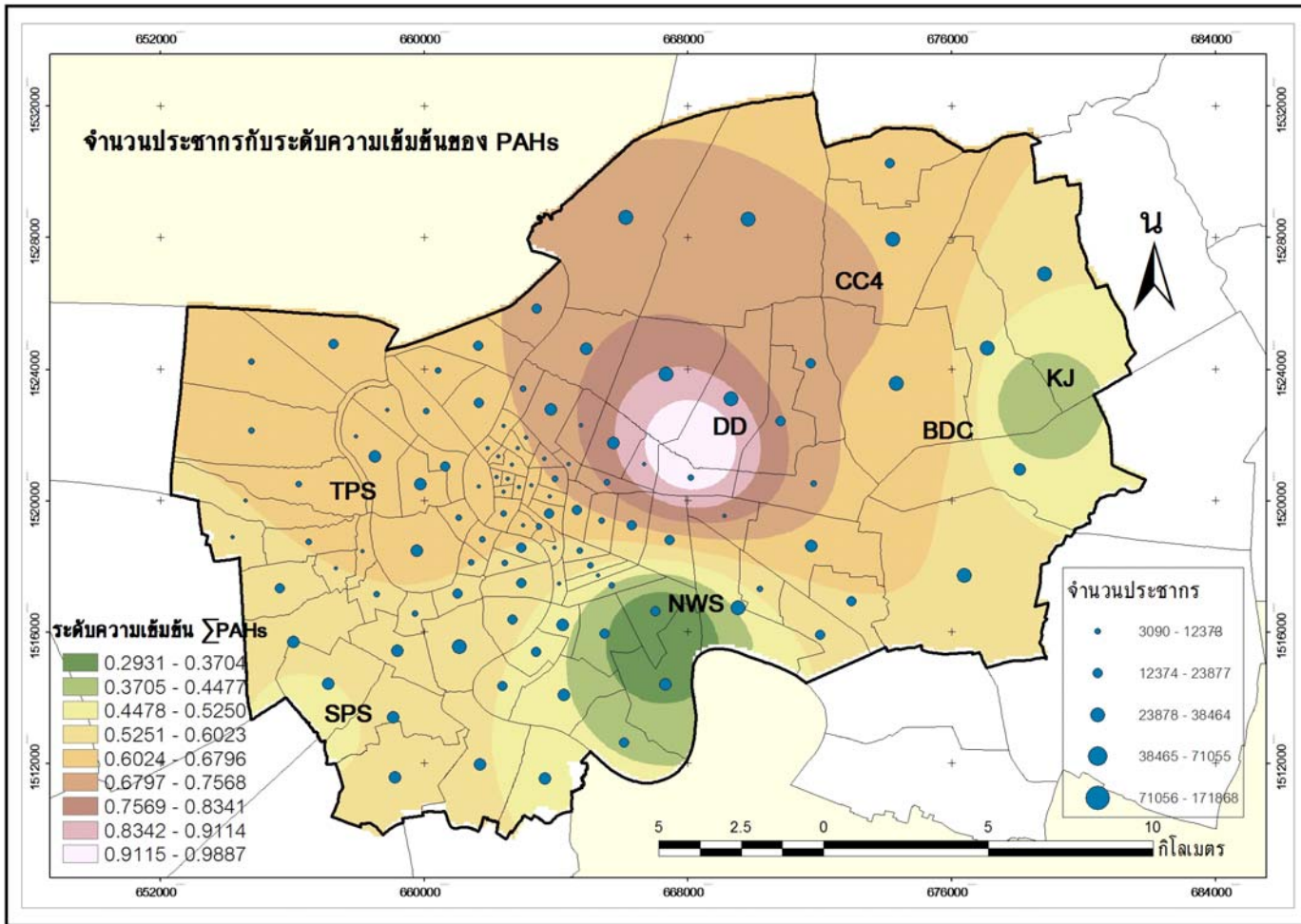
รูปที่ 3-18 ค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งของ PAHs (An, Phe, Fluo และ Pyr) ในแต่ละสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

เมื่อเปรียบเทียบค่าความเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งกับค่าที่ยอมรับได้ คือ 1×10^{-6} ซึ่งหมายถึงประชากรหนึ่งคนจากล้านคนมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็ง ดังนั้นงานวิจัยนี้ประเมินการรับสัมผัสสาร PAHs (TotalPAHs) มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 2.3×10^{-11} – 3.93×10^{-10} อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่ายังอยู่ในระดับที่ไม่มีโอกาสเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสาร PAHs (Phe An Fluo และ Pyr)

3.2.2 การได้รับสัมผัสสาร PAHs ของประชากรเขตเมืองกรุงเทพมหานคร

จากการประเมินความเสี่ยงของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานีในช่วงต้นนั้น พบว่าสถานีที่ได้รับสาร PAHs สถานีริมถนนส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบจากการจราจรที่หนาแน่นซึ่งแสดงว่าคนที่ทำงานหรืออาศัยอยู่ใกล้กับสถานีริมถนนมีโอกาสได้รับสาร PAHs จากการจราจรเป็นหลักมากกว่าสถานีพื้นที่ทั่วไป ซึ่งเงื่อนไขของสมการที่งานวิจัยกำหนดนั้นมีค่าความเสี่ยงก่อให้เกิดมะเร็งต่ำกว่า WHO กำหนดที่ตั้งไว้ของเวลาการได้รับสัมผัสสารต่อวันคือ 8 ชั่วโมง แต่ความจริงนั้นมีบางอาชีพที่ได้รับสารมากกว่า 8 ชั่วโมงต่อวัน เช่น ตำรวจจราจร พ่อค้าแม่ค้าที่ค้าขายอยู่บริเวณริมถนนที่มีการจราจร เป็นต้น

ในสถานีริมถนนคนทำงานใกล้กับแหล่งที่อยู่อาศัยมีความเสี่ยงก่อให้เกิดโรคมะเร็งค่อนข้างต่ำแต่ในอนาคตเมื่อจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณวัตถุที่เป็นแหล่งกำเนิดเพิ่มขึ้น เช่น ปริมาณรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น และก่อให้เกิดความเสี่ยงโรคมะเร็งมากขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้โอกาสที่ได้รับสาร PAHs มีโอกาสได้รับสารทั้งทางปาก ทางผิวหนัง จึงอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงในก่อมะเร็งเพิ่มขึ้น (Liao et al., 2006) โดยที่ค่าความเสี่ยงนั้นอาจประเมินค่าได้อย่างไม่แม่นยำนักและไม่แน่นอนเนื่องจากอาจมีตัวแปรอื่นมาใช้วิเคราะห์นอกเหนือจากนี้อีกด้วย



รูปที่ 3-19 จำนวนประชากรในเขตเมืองกรุงเทพมหานครกับระดับความเข้มข้นของ PAHs

บทที่ 4

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผลงานวิจัย

ระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM_{10}) เขตเมืองกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่เดือนมกราคม 2549 – ธันวาคม 2549 ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM_{10} พบว่า ประเภทสถานีริมถนน ฝุ่น PM_{10} จากการเคหะชุมชนดินแดง > สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 > การไฟฟ้า ย่อยธนบุรี ส่วนประเภทสถานีบริเวณพื้นที่ทั่วไป ฝุ่น PM_{10} จาก โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) > โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม > โรงเรียนนนทรีวิทยา > การเคหะชุมชนคลองจั่น ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ในเขตกรุงเทพมหานครที่เกินมาตรฐานของ WHO มีระดับความเข้มข้นลดลงจากปีที่ผ่านมาเพียงร้อยละ 0.2 อาจเป็นผลเนื่องมาจากความเข้มงวดในเรื่องมาตรฐานการปล่อยมลพิษของยานพาหนะและเทคโนโลยีการผลิตยานพาหนะได้มีการพัฒนามากขึ้น จึงทำให้ปริมาณฝุ่นลดน้อยลง

ระดับความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของ PAHs สถานีบริเวณริมถนน พบว่ามีระดับความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดง > สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 > การไฟฟ้าย่อยธนบุรี ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่ามีระดับความเข้มข้นเฉลี่ยรวมของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) > โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม > การเคหะชุมชนคลองจั่น > โรงเรียนนนทรีวิทยา เห็นได้ว่าส่วนใหญ่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศบริเวณริมถนนจะมีค่า PAHs สูงกว่าสถานีบริเวณพื้นที่ทั่วไป เนื่องจากสถานีบริเวณนั้นตั้งใกล้กับบริเวณที่มีปริมาณการจราจรหนาแน่นซึ่งเป็นต้นกำเนิดหลักของ PAHs

ชนิดของ PAHs ทั้ง 4 ชนิด ในแต่ละสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 7 สถานี Phe > Pyr > Fluo > An ส่วนสถานีบริเวณพื้นที่ทั่วไป มีสัดส่วนส่วนของ PAHs ได้แก่ Phe > Pyr > Fluo > An พื้นที่บริเวณที่ตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจรและพื้นที่ที่อยู่อาศัยของชุมชน ในงานวิจัยครั้งนี้ทำการตรวจวัดระดับความเข้มข้นของสาร PAHs 4 ชนิด คือ An Phe Fluo และ Pyr ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ

การศึกษาอัตราบ่งชี้แหล่งกำเนิดส่วนใหญ่แหล่งกำเนิดมลพิษมาจากการเผาไหม้จากยานพาหนะและการเผาไหม้ทางชีวมวล ในสถานีพื้นที่ทั่วไป คือสถานีโรงเรียนนนทรีวิทยา โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และการเคหะชุมชนคลองจั่นมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ของชีวมวล โรงเรียนสิงหราชพิทยาคมและโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)มีแหล่งกำเนิดมา

จากไอเสียของยานพาหนะ ในสถานีพื้นที่ทั่วไป คือสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อย
ธนบุรีและการเคหะชุมชนดินแดงมีแหล่งกำเนิดมาจากไอเสียของยานพาหนะ

การประเมินความเสี่ยงของสาร PAHs ทั้ง 4 ชนิด คือ Phe An Fluo และ Pyr ซึ่ง
วิเคราะห์ค่าความเสี่ยงทั้งสองแบบ คือ การได้รับสัมผัสสารไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง พบว่า ค่า HQ อยู่ใน
ระดับต่ำกว่า 1 เป็นค่าที่สามารถยอมรับได้แสดงให้เห็นว่า สาร PAHs ไม่มีโอกาสไปเพิ่มความเสี่ยงใน
การเกิดผลกระทบต่อสุขภาพประชากรในกรุงเทพมหานคร การได้รับสัมผัสสารที่ก่อให้เกิดมะเร็ง
พบว่า ประเมินการรับสัมผัสสาร PAHs (TotalPAHs) มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ อยู่ในระดับที่
ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่ายังอยู่ในระดับที่ไม่มีโอกาสเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารPAHs
(Phe An Fluo และ Pyr) ทั้งนี้ถึงแม้ว่าค่าความเสี่ยงไม่เกินเกณฑ์กำหนดของ WHO แต่เมื่อได้รับ
สาร PAHs เป็นระยะเวลาานาน ๆ ก็เสี่ยงที่ก่อให้เกิดพิษกับส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้

4.2 ข้อเสนอแนะ

4.2.1 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาความเข้มข้นของ PAHs 4 ชนิด ควรทำการศึกษา
เพิ่มชนิดให้ครอบคลุมตามที่ US.EPA กำหนด

4.2.2 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศควรเพิ่มสถานีให้ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานคร และ
ควรเพิ่มตัวอย่างให้ครอบคลุมทุกช่วงเวลาในรายปี

4.2.3 ควรศึกษาแบบจำลองทางด้านคุณภาพอากาศเพิ่ม เพื่อจะได้ทราบถึงแหล่งกำเนิดของ
สาร PAHs ที่ละเอียดมากกว่านี้

บรรณานุกรม

- กมลนารี ลายคราม. 2546. การพัฒนาแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร บริเวณริมถนนในเขตกรุงเทพมหานคร. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม. คณะบัณฑิตวิทยาลัย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2549. รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี พุทธศักราช 2549, สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- สุเทพ เรื่องพิเศษ. 2551. Risk Assessment เพื่อการจัดการสารเคมีของประเทศ. บทความนำเสนอในเวทีสาธารณะครั้งที่ 3. ณ วันที่ 24 พฤศจิกายน 2551
- สวรรค์ ภูธิวุฒิ. 2552. การกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดต่าง ๆ ที่เกิดจากการเผาชีวมวลในที่โล่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตภาควิชาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- Ames, BN., McCann, J. and Yamasaki, E. 1975. Methods for detecting carcinogens and mutagens with the salmonella/mammalian-microsome mutagenicity test. *Mutation Research/Environmental Mutagenesis and Related Subjects*. 31: 347-363.
- ATSDR, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1995. Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons. Atlanta, GA, USA.
- Beak, S. O., Field, R. A., Goldstone, M. E., Kirk, P. W., Lester, J. N and Perry, R (1991) A review of atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: sources, fate and behaviour, *Water Soil Pollute* 60, pp. 279–300.
- Behymer, T.D. and Hites, R.A. 1988. Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on fly ash. *Environmental Science and Technology*. 22: 1311-1319.
- Blumer, M., 1976. Polycyclic aromatic compounds in nature. *Scientific American* 234, 34–45.
- Bostrom, C. E.; Gerde, P.; Hanberg, A.; Jernstrom, B.; Johansson, C.; Kyrklund, T.;

- Rannug, A.; Tornqvist, M.; Victorin, K.; Westernholm, R., (2002). Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air. *Environmental Health Perspective*, 110 (Suppl. 3), 451-488
- Bruno, P., Caselli, M., de Gennaro, G., de Rienzo, M., Ielpo, P., Manigrassi, D., 2002. Collection and analytical characterisation of atmospheric particulate in the city of Bari. *Annali di Chimica* 92 . 9 : 815–824.
- Bumb, R.R., Crummett, W.B., Cutie, S.S., Iedhill, J.R., Hummell, R.H., Kagel, R.O., Lamprski, L.L., Luoma, E.V., Miller, D.L., Nestruck, T.J., Shadoff, L.A., Stehl, R.H. and Woods J.S (1980) Trace chemistries of fire: a source of chlorinated dioxins. *Science*. 210, pp. 385-390.
- Caricchia, A.M., Chiavarini, S., Pezza, M., 1999. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmospheric particulate matter in the city of Naples (Italy). *Atmospheric Environment* 33 (23), 3731–3738.
- Chen, Y.G., Sheng, G.Y. and Bi, X.H. (2005). Emission Factors for Carbonaceous Particles and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons from Residential Coal Combustion in China. *Environmental Science and Technology*. 39: 1861–1867.
- Chetwittayachan T, Shimazaki D, Yamamoto K, 2002. A comparison of temporal variation of particle-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (pPAHs) concentration in different urban environments: Tokyo, Japan, and Bangkok, Thailand [J]. *Atmospheric Environment*, 36:2027-37.
- Davis, D.D., Heaps, W. and McGee, T. (1976). Direct measurements of natural tropospheric levels of OH via an aircraft borne tunable dye laser. *Geophysical Research Letters* 3(6)
- Dong, Trang T.T.; Lee, Byeong-Kyu .2009. Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea. . *Waste Management* 29 (5). 1725-1731
- EPA, U.S., 1999. Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Ambient Air Using Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS), Cincinnati, OH, USA.
- Fang, G.C., Wu, Y.S., Chen, M.H., Ho, T.T., Huang, S.H., Rau, J.Y., 2004. Polycyclic aromatic hydrocarbons study in Taichung, Taiwan, during 2002–2003.

- Atmospheric Environment 38, 3385–3391.
- Grimmer, G., Jacob, J., Dettbarn, G., Naujack, K.W., 1985. Determination of polycyclic aromatic compounds, azaarenes, and thiaarenes emitted from coal-fired residential furnaces by gas chromatography/mass spectrometry. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry* 322 (6), 595–602.
- Heinsohn, R. J., and R. L. Kabel. 1999. *Sources and Control of Air Pollution*. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall, Inc.
- Ho, K. F.; Lee, S. C.; Chiu, G. M. Y., (2002). Characterization of selected volatile organic compounds, polycyclic aromatic hydrocarbons and carbonyl compounds at a roadside monitoring station. *Atmospheric Environment.*, 36 (1), 57-65
- Hu, Y., Bai, Z., Zhang, L., Wang, X., Zhang, L., Yu, Q., Zhu, T., 2007. Health risk assessment for traffic policemen exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Tianjin, China. *The Science of the Total Environment* 382, 240-250.
- Jerrett, M., Arain, A., Kanaroglou, P., Beckerman, B., Potoglou, D., Sahuvaroglu, T., Morrison, J., Giovis, C., 2005. A review and evaluation of intraurban air pollution exposure models. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 15, 185-204.
- Kavouras, I., Lawrence, J., Koutrakis, P., Stephanou, E., Oyola, P., 1999. Measurements of particulate aliphatic and polynuclear aromatic hydrocarbons in Santiago de Chile: source reconciliation and evaluation of sampling artifacts. *Atmospheric Environment* 33, 4977–4986.
- Khalili, N.R., Scheff, P.A., Holsen, T.M., 1995. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions. *Atmospheric Environment.* 29, 533–542.
- Khesina AY. 1994. Urban air pollution by carcinogenic and genotoxic polyaromatic hydrocarbons in the former USSR. *Environ Health Perspect.* 1994 October; 102 (Suppl 4): 49–53.
- Kulkarni, P.; Venkataraman, C., (2000). Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons in Mumbai, India. *Atmospheric Environment.*, 34 (17), 2785-2790
- Li, J., Zhang, G., Qi, S.H., 2004. Characteristics and seasonal variations and

- influence factors on polycyclic aromatic hydrocarbons in Ghuangzhou City. *Environmental Science*. 25, 7–13.
- Liao, C.-M., Chiang, K.-C., 2006. Probabilistic risk assessment for personal exposure to carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in Taiwanese temples. *Chemosphere* 63, 1610-1619.
- Mantis J., Chaloulakou A. and Samara C., (2005). PM10-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Greater Area of Athens, Greece, *Chemosphere*, 59, 593-604.
- Nisbet, I.C.T., LaGoy, P.K., 1992. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 16, 290–300.
- Omar, R., Hailstone, J.C., Warren, J.E., Crutch, S.J., Warren, J.D., 2010. The cognitive organisation of music knowledge: a clinical analysis. *Brain* 133 (Pt 4), 1200–1213.
- Pankow, J.F., 1991. Common y-intercept and single compound regressions of gas-particle partitioning data vs 1/T. *Atmospheric Environment. Part A: General Topics* 25 A, 2229–2239.
- Panther, B., Hooper, M., Limpaseni, W., and Hooper, B. 1996. Polycyclic aromatic hydrocabons as environmental contaminants: some results from Bangkok, The Third International Symposium of ETERNET-APR : Conservation of The Hydrospheric, Environment Research Institute, Chulalongkorn University. 178-181.
- Pies et al ,2008. Identification of carbonaceous geosorbents for PAHs by organic petrography in river floodplain soils. *Chemosphere*.71(11). 2158–2167
- Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass, G.R., Simoneit, B.R.T., 1993. Sources of fine organic aerosol. 3. Road dust, tire debris, and organometallic brake lining dust: roads as sources and sinks. *Environmental Science and Technology* 27, 1892–1904.
- Simoneit, B.R.T. (1999) A review of biomarker compounds as source indicators

- and tracers for air pollution, *Environmental Science and Pollution Research* 6. 159–169.
- Tsai, P.-J., Shieh, H.-Y., Lee, W.-J., Lai, S.-O., 2001. Health-risk assessment for workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a carbon black manufacturing industry. *The Science of the Total Environment* 278, 137-150.
- Thongsanit, P., Jinsart W., Hooper, B., Limpaseni W., and Hooper M. 2002. Particulate matter and associated polycyclic aromatic hydrocarbons in Bangkok. roceeding of Air & Waste Management Association 's 95th Annual Conference, 23-27 June 2002, Baltimore, USA.
- USEPA, 1991. Risk Assessment Guidance for Superfund, Volume 1, Human Health Evaluation Manual (Part B, Development of Risk-based Preliminary Remediation Goals). EPA/540/R-92/003 Publication 9285.7-01B.
- WHO.1987. Air Quality guideline for Europe, Copenhagen, World Health Organization Regional office for Europe. 105-117.
- Yang, H.H., Lee, W.J., Mi, H.H., Wong, C.H. and Chen, C.B. (1998). PAH Emissions Influenced by Mn-based Additive and Turbocharging from a Heavy-duty Diesel Engine. *Environment International*. 24: 389–403.
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D., Sylvestre, S., 2002. PAHs in the Fraser River basin: A critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry* 33, 489–515

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ลักษณะทั่วไปทางอุตุนิยมวิทยาบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ

1.ทิศทางลมและความเร็วลม

ข้อมูลทิศทางและความเร็วลมที่พัดผ่านสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 สถานีที่กล่าวมาแล้วในข้างต้นนำมาพล็อต Wind rose รายเดือน โดยใช้ Origin Software

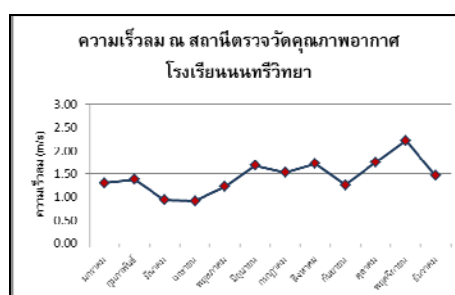
Wind rose แสดงให้เห็นว่าในช่วงฤดูฝน อยู่ระหว่างเดือนมิถุนายน – กันยายน ประเภทสถานีบริเวณริมถนน พบว่า ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจโชคชัย 4 และสถานีการไฟฟ้าอยุธยาธนบุรี ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงใต้ผ่าน โดยมีความเร็วลมในช่วง 0.7 – 3.8 และ 0 – 4.1 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในขณะที่สถานีการเคหะชุมชนดินแดงนั้น ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0 – 1.2 เมตรต่อวินาที ส่วนประเภทสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคมและโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศใต้และทิศตะวันตกเฉียงใต้ผ่าน โดยมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0 – 1.1 และ 0.3 - 4.4 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในขณะที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนคลองจั่นและโรงเรียนนนทรีวิทยาลัย ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงใต้ผ่าน โดยมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0.6 – 4.0 และ 0.6 – 4.4 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ เห็นได้ว่าทิศทางลมที่พัดนั้นมีความแตกต่างกันในทั้ง 7 สถานี ผลนี้อาจมีสาเหตุมาจากความหนาแน่นของอาคารโดยรอบ ซึ่งอาจทำให้ทิศทางลมเปลี่ยนแปลงจากเดิมโดยปกติในช่วงฤดูฝนนั้นลมส่วนใหญ่จะพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้

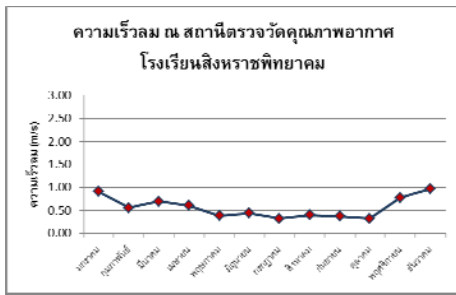
สำหรับในช่วงเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้ง (เดือนตุลาคม – พฤศจิกายน) สถานีบริเวณริมถนน พบว่า ลมที่พัดเข้าหาสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจโชคชัย 4 และการไฟฟ้าอยุธยาธนบุรี มีลมคล้ายคลึงกับที่พบในฤดูฝน กล่าวคือ ลมส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0.1 – 4.2 และ 0.09 - 2.2 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในขณะที่สถานีการเคหะชุมชนดินแดงนั้นลมส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้แตกต่างจากฤดูฝน โดยมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0 - 0.8 เมตรต่อวินาที ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า สถานีโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนนนทรีวิทยาลัย และโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ลมมีการเปลี่ยนแปลงทิศทางตลอดฤดูโดยพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้และทิศ

ตะวันตกเฉียงเหนือ ซึ่งมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0.1 – 1.5 , 0.6 – 3.8 , 0.7 – 3.8 และ 0.4 – 1.7 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ในช่วงฤดูแล้ง สถานีบริเวณริมถนน พบว่า สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจโชคชัย 4 และการไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี ส่วนใหญ่ลมพัดมาจาก ทิศตะวันตกและตะวันตกเฉียงใต้ มีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0.3 – 4.1 และ 0.09 – 3.1 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ในขณะที่สถานีการเคหะชุมชนดินแดงนั้นลมส่วนใหญ่มาจากทิศตะวันออกและทิศตะวันออกเฉียงใต้ โดยมีความเร็วลมอยู่ในช่วง 0.1 - 1.7 เมตรต่อวินาที ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า สถานีโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนนนทรีวิทยา และโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ทั้งสี่สถานีนี้นั้นมีลมพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลักในต้นฤดูแล้วจึงมีการเปลี่ยนทิศของการพัดในช่วงปลายฤดูที่พัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ โดยมีความเร็วลมในช่วง 0.1 – 1.5 , 1.1 – 4.1 , 0.2 – 3.9 และ 0.2 – 4.1 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

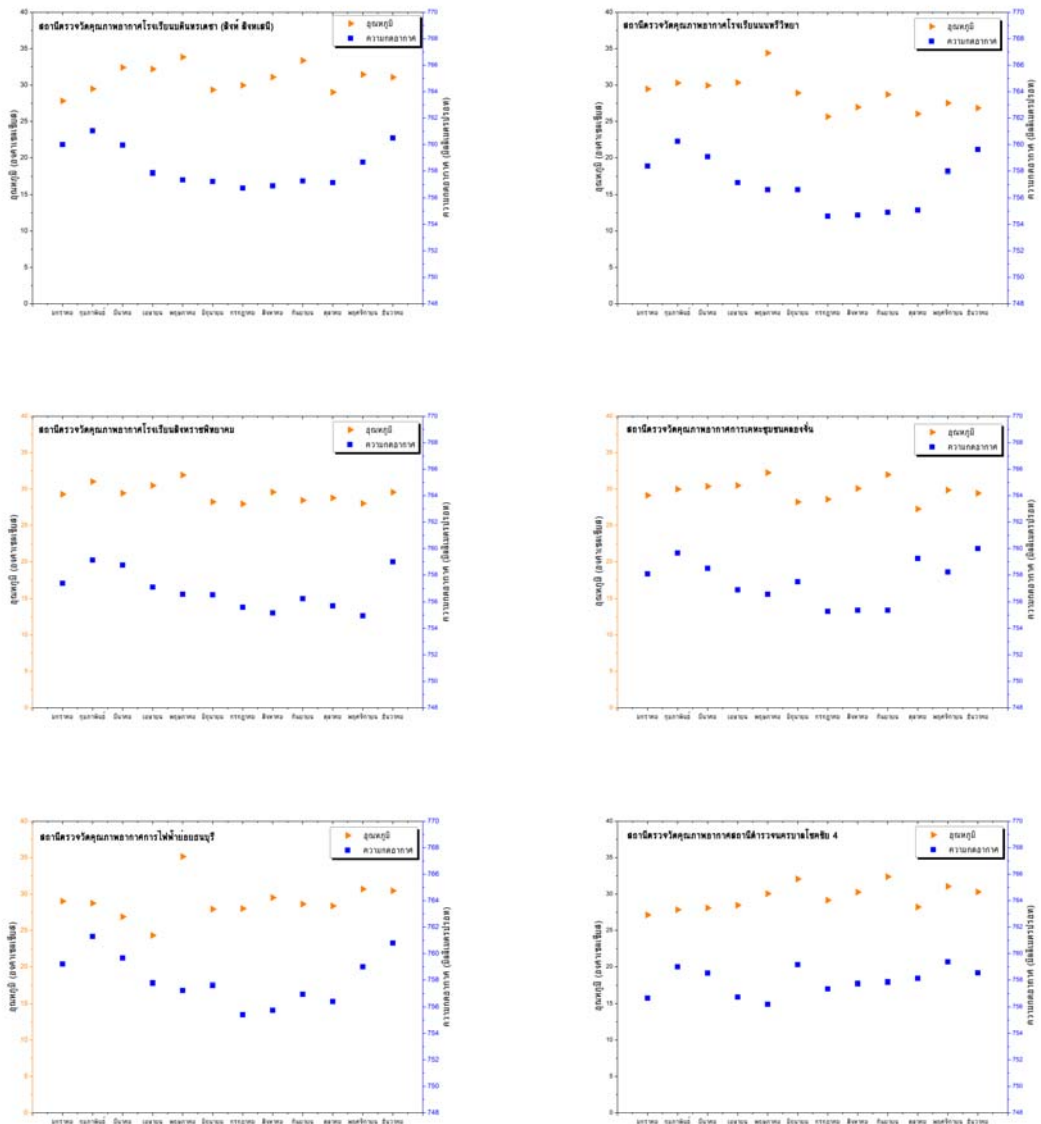
ในช่วงการเปลี่ยนฤดูแล้งเป็นฤดูฝน สถานีบริเวณริมถนน พบว่า สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจโชคชัย 4 สถานีการไฟฟ้าอ้อยธนูบุรีและสถานีการเคหะชุมชนดินแดง ทั้งสามสถานีพัดมาจากทิศตะวันตกและทิศตะวันตกเฉียงใต้เป็นหลัก โดยมีความเร็วอยู่ในช่วง 0.5 – 4.3 , 0.2 – 2.2 และ 0.1 – 0.7 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า สถานีโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนนนทรีวิทยา และโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ทั้งสี่สถานี ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทิศใต้เป็นหลักในต้นฤดูแล้วจึงเริ่มมีการเปลี่ยนทิศของการพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยมีความเร็วลมในช่วง 0.1 – 1.1 , 0.8 – 4.1 , 0.2 – 1.7 และ 0.2 – 3.0 เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

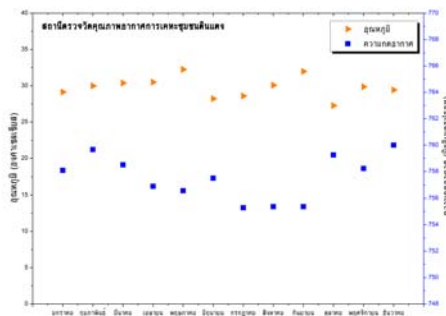




2. อุณหภูมิและความกดอากาศ

รูปที่ แสดงค่าอุณหภูมิและความกดอากาศรายวันที่วัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ทั้ง 7 สถานี





ในฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน) สถานีบริเวณริมถนน พบว่า อุณหภูมิทั้ง 3 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 28.51 - 30.96 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสามสถานีใกล้เคียงกัน กล่าวคือ บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 เท่ากับ 30.96 ± 1.53 องศาเซลเซียส สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรีเท่ากับ 28.51 ± 0.73 องศาเซลเซียส สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่การเคหะชุมชนดินแดงเท่ากับ 30.43 ± 1.54 องศาเซลเซียส และค่าความกดอากาศนั้นพบว่าทั้งสามสถานีคือสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรีและการเคหะชุมชนดินแดง มีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ระหว่าง 756.04 ถึง 758.04 มิลลิเมตรปรอท โดยความกดอากาศเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 758.04 ± 0.78 , 756.44 ± 1.03 และ 757.26 ± 1.42 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัยทั้ง 4 สถานี คือ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีอุณหภูมิเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 28.55 ± 0.71 , 29.71 ± 1.71 , 30.94 ± 1.78 และ 27.55 ± 1.54 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่าความกดอากาศนั้นพบว่าทั้งสี่สถานีคือสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ระหว่าง 755.22 ถึง 757.05 มิลลิเมตรปรอท โดยความกดอากาศเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 755.89 ± 0.62 , 755.90 ± 1.10 , 757.05 ± 0.26 และ 755.22 ± 0.95 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ

ในช่วงเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้งสถานีบริเวณริมถนน พบว่า อุณหภูมิทั้ง 3 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 22.65 – 29.63 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ย \pm ค่า

เปรียบเทียบมาตรฐานของทั้งสองสถานีใกล้เคียงกัน กล่าวคือ บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 และการไฟฟ้าอโยธยบุรี เท่ากับ 29.63 ± 2.01 และ 29.51 ± 1.64 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดงมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำกว่าสองสถานีข้างต้นมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.65 ± 0.25 องศาเซลเซียส และค่าความกดอากาศนั้นพบว่าทั้งสองสถานีคือสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 และการไฟฟ้าอโยธยบุรี มีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ระหว่าง 749.21 ถึง 758.75 มิลลิเมตรปรอท โดยความกดอากาศเฉลี่ย \pm ค่าเปรียบเทียบมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 758.75 ± 0.88 และ 757.71 ± 1.83 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ ในขณะที่การเคหะชุมชนดินแดงมีความกดอากาศต่ำกว่าสองสถานีข้างต้นมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 749.21 ± 0.56 มิลลิเมตรปรอท ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัยทั้ง 4 สถานีคือ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีอุณหภูมิเฉลี่ย \pm ค่าเปรียบเทียบมาตรฐานเท่ากับ 28.39 ± 0.53 , 28.55 ± 1.84 , 30.23 ± 1.73 และ 32.37 ± 2.87 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่าความกดอากาศนั้นพบว่าทั้งสี่สถานีคือสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ระหว่าง 755.33 ถึง 758.74 มิลลิเมตรปรอท โดยความกดอากาศเฉลี่ย \pm ค่าเปรียบเทียบมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 755.33 ± 0.53 , 758.74 ± 0.72 , 757.92 ± 1.06 และ 756.90 ± 0.38 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ

ในฤดูแล้ง สถานีบริเวณริมถนน พบว่า อุณหภูมิทั้ง 3 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ มีค่าใกล้เคียงกันโดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ย \pm ค่าเปรียบเทียบมาตรฐานของทั้งสามสถานี กล่าวคือ บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอโยธยบุรี และการเคหะชุมชนดินแดง มีค่าเท่ากับ 28.33 ± 1.36 , 28.76 ± 1.47 และ 28.71 ± 2.82 องศาเซลเซียส และค่าความกดอากาศนั้นพบว่าทั้งสามสถานีคือสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอโยธยบุรีและการเคหะชุมชนดินแดง มีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ระหว่าง 758.18 ถึง 760.24 มิลลิเมตรปรอท โดยความกดอากาศเฉลี่ย \pm ค่าเปรียบเทียบมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 758.18 ± 1.03 , 760.24 ± 0.94 และ 759.43 ± 4.43 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัยทั้ง 4 สถานี กล่าวคือ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีอุณหภูมิเฉลี่ย \pm ค่า

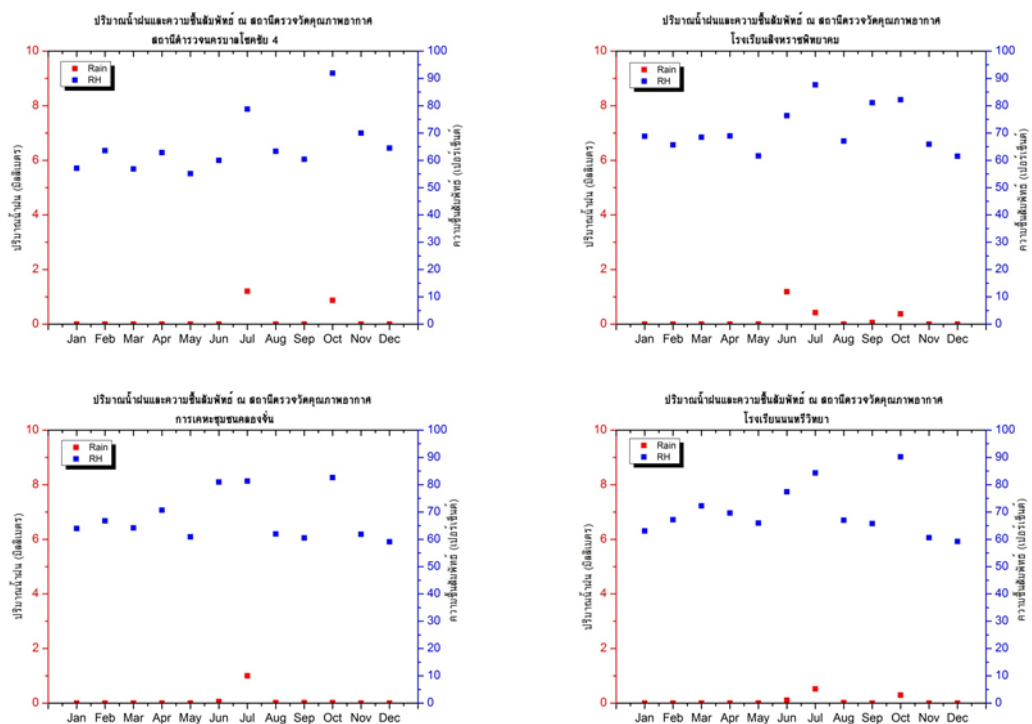
เบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 29.81 ± 0.81 , 29.72 ± 0.56 , 30.19 ± 1.98 และ 29.12 ± 1.56 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และค่าความกดอากาศนั้นพบว่าทั้งสี่สถานีสื่อสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ระหว่าง 758.57 ถึง 759.33 มิลลิเมตรปรอท โดยความกดอากาศเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 758.57 ± 0.79 , 759.06 ± 0.92 , 760.38 ± 0.51 และ 759.33 ± 0.80 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ

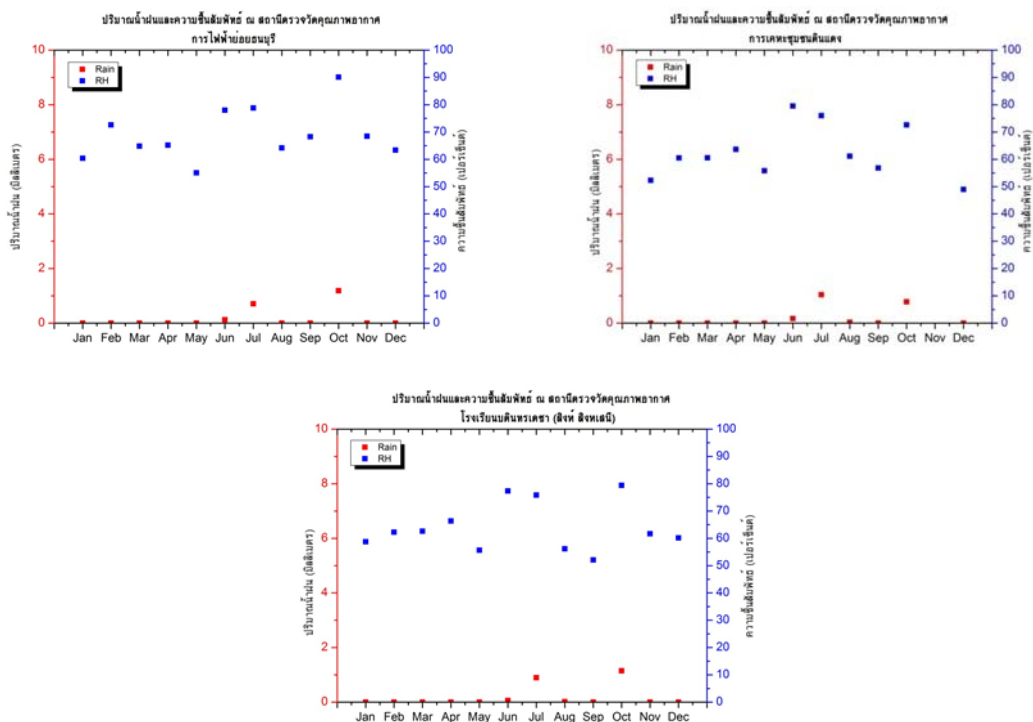
ในช่วงเปลี่ยนจากฤดูแล้งเป็นฤดูฝนสถานีบริเวณริมถนน พบว่า อุณหภูมิทั้ง 3 สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 29.25 – 32.92 องศาเซลเซียส โดยค่าอุณหภูมิเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองสถานีใกล้เคียงกัน กล่าวคือ บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่สถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 และการไฟฟ้าอโยธยบุรี เท่ากับ 29.25 ± 1.12 และ 29.73 ± 7.66 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดงมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงกว่าสองสถานีข้างต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 32.92 ± 1.15 องศาเซลเซียส และค่าความกดอากาศนั้นพบว่าทั้งสองสถานีสื่อสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 และการไฟฟ้าอโยธยบุรี มีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ระหว่าง 756.48 ถึง 759.21 มิลลิเมตรปรอท โดยความกดอากาศเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 756.48 ± 0.38 และ 757.52 ± 0.38 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ ในขณะที่การเคหะชุมชนดินแดงมีความกดอากาศสูงกว่าสองสถานีข้างต้นมาก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 759.21 ± 0.41 มิลลิเมตรปรอท ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัยทั้ง 3 สถานีคือ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น และโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) มีอุณหภูมิเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 31.20 ± 1.01 , 31.31 ± 1.24 และ 33.01 ± 1.16 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ในขณะที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนนนทรีวิทยามีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำกว่าสองสถานีข้างต้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26.77 ± 1.05 องศาเซลเซียส และค่าความกดอากาศนั้นพบว่าทั้งสามสถานีสื่อสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยามีค่าใกล้เคียงกันโดยอยู่ระหว่าง 756.54 ถึง 757.63 มิลลิเมตรปรอท โดยความกดอากาศเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 756.85 ± 0.38 , 756.75 ± 0.24 , 757.63 ± 0.35 และ 756.54 ± 2.06 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ

เห็นได้ว่าสถานีริมถนนในช่วงฤดูฝนมีอุณหภูมิสูงกว่าฤดูแล้ง ขณะที่ในช่วงเปลี่ยนฤดูมีความแปรปรวนสูง ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในฤดูแล้งและฤดูฝนไม่แตกต่างกันมากแต่ในช่วงเปลี่ยนฤดูมีความแปรปรวนเช่นเดียวกับสถานีบริเวณริมถนน แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี การเคหะชุมชนดินแดง โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าเท่ากับ 29.58 ± 1.7 , 28.96 ± 2.56 , 29.55 ± 3.29 , 29.38 ± 1.24 , 29.79 ± 1.43 , 30.91 ± 1.84 และ 28.74 ± 2.41 องศาเซลเซียส ส่วนค่าความกดอากาศนั้นพบว่ามีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันทั้งเจ็ดสถานี

3. ปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์

ปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์บริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี การเคหะชุมชนดินแดง โรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา





ในช่วงฤดูฝน สถานีบริเวณริมถนน พบว่า สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนบุรี และการเคหะชุมชนดินแดงมีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนเท่ากับ 0.30 ± 0.6 , 0.21 ± 0.34 และ 0.31 ± 0.49 มิลลิเมตร ตามลำดับ เห็นได้ว่าบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการไฟฟ้าอ้อยธนบุรีมีปริมาณฝนเฉลี่ยสูงสุดทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากพื้นที่ที่ตั้งและความใกล้เคียงทะเล ในขณะที่ปริมาณฝนเฉลี่ยที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 และการเคหะชุมชนดินแดงมีปริมาณฝนเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ในด้านความชื้นสัมพัทธ์นั้นพบว่า ค่าเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนบุรี และการเคหะชุมชนดินแดงมีค่าเท่ากับ 65.59 ± 8.9 , 72.33 ± 7.23 และ 68.38 ± 11.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การที่ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการไฟฟ้าอ้อยธนบุรีมีค่าสูงสุดคาดว่าได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนซึ่งมีค่าแตกต่างจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอื่น ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนเท่ากับ 0.42 ± 0.55 , 0.28 ± 0.48 , 0.24 ± 0.43 และ 0.16 ± 2.4 มิลลิเมตร ตามลำดับ เห็นได้ว่าบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราช

พิทยาคม มีปริมาณฝนเฉลี่ยสูงสุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากพื้นที่ที่ตั้งและความใกล้ไกลทะเล ในขณะที่ปริมาณฝนเฉลี่ยที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนนนทรีวิทยามีปริมาณฝนเฉลี่ยต่ำสุด ในด้านความชื้นสัมพัทธ์นั้นพบว่าค่าเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยามีค่าเท่ากับ 78.05 ± 8.65 , 71.20 ± 11.50 , 65.36 ± 13.09 และ 73.63 ± 8.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การที่ค่าเฉลี่ยความชื้นสัมพัทธ์ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคมมีค่าสูงสุดคาดว่าได้รับอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนซึ่งมีค่าสูงกว่าสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอื่น

ในช่วงเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้ง สถานีริมถนน พบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณฝนและความชื้นสัมพัทธ์ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี และการเคหะชุมชนดินแดง มีค่าเท่ากับ 0.44 ± 0.62 , 0.59 ± 0.84 และ 0.39 ± 0.55 มิลลิเมตร ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 80.94 ± 15.53 , 79.27 ± 15.29 และ 64.23 ± 11.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าเท่ากับ 0.19 ± 0.27 , 0.01 ± 0.01 , 0.57 ± 0.81 และ 0.15 ± 0.21 มิลลิเมตร ส่วนค่าความชื้นสัมพัทธ์มีค่า 74.04 ± 11.55 , 72.24 ± 14.68 , 70.54 ± 12.49 และ 75.42 ± 20.92 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เห็นได้ว่าช่วงนี้ยังมีปริมาณฝนประปราย

ในฤดูแล้ง สถานีบริเวณริมถนน พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี และการเคหะชุมชนดินแดง มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง กล่าวคือเท่ากับ 60.49 ± 4.09 , 65.30 ± 5.22 และ 55.59 ± 5.85 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าเท่ากับ 66.11 ± 3.39 , 63.50 ± 3.21 , 60.96 ± 1.83 และ 65.44 ± 5.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ในช่วงเปลี่ยนจากฤดูแล้งเป็นฤดูฝนนั้น พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี และการเคหะชุมชนดินแดง มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำลง กล่าวคือเท่ากับ 59.00 ± 5.48 , 60.13 ± 7.13 และ 59.75 ± 5.54

เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าเท่ากับ 65.29 ± 5.19 , 65.79 ± 6.89 , 61.00 ± 7.54 และ 67.79 ± 2.59 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝนกับความชื้นสัมพัทธ์ภายในบริเวณสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศทั้ง 7 แห่ง โดยใช้วิธี Pearson correlation ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 แล้วพบว่าปริมาณฝนมีความสัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญเลยดังเห็นได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) มีค่า 0.636

4. ความเข้มของแสง

การเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มของแสงในแต่ละวัน พบว่าในช่วงเปลี่ยนจากฤดูแล้งเป็นฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสูงสุด เมื่อเทียบกับฤดูอื่น ๆ สถานีบริเวณริมถนน พบว่าค่าความเข้มของแสงเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี และการเคหะชุมชนดินแดง มีค่าเท่ากับ 187.04 ± 5.66 , 173.29 ± 7.84 และ 211.52 ± 12.11 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า ค่าความเข้มของแสงเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าเท่ากับ เท่ากับ 219.21 ± 1.06 , 236.15 ± 10.22 , 182.38 ± 2.47 และ 191.33 ± 0.65 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

ในขณะที่ในช่วงเปลี่ยนจากฤดูฝนเป็นฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงต่ำสุด สถานีบริเวณริมถนน พบว่า ค่าความเข้มของแสงเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย 4 การไฟฟ้าอ้อยธนูบุรี และการเคหะชุมชนดินแดง มีค่าเท่ากับ 102.50 ± 66.82 , 79.38 ± 50.26 และ 62.41 ± 10.48 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ ส่วนสถานีบริเวณที่อยู่อาศัย พบว่า ค่าความเข้มของแสงเฉลี่ยของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม การเคหะชุมชนคลองจั่น โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) และโรงเรียนนนทรีวิทยา มีค่าเท่ากับ เท่ากับ 66.04 ± 12.14 , 124.32 ± 5.52 , 93.13 ± 65.53 และ 84.25 ± 41.19 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามลำดับ

จากการหาความสัมพันธ์ทางสถิติของความเข้มของแสงกับข้อมูลลักษณะ
อุตุนิยมวิทยาอื่น ๆ โดยวิธี Pearson correlation ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 พบว่า ความเข้มของแสง
มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางทางบวกกับอุณหภูมิ ($r = 0.556$) ผลนี้ชี้ให้เห็นความเป็นไปได้ว่า
ความเข้มของแสงสูงขึ้นเมื่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

ภาคผนวก ข.

ระดับความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

1. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย4

เดือน\ชนิด	Phe	An	Fluo	Pyr	TotalPAHs
มกราคม	0.744	0.031	0.027	0.070	0.872
กุมภาพันธ์	0.238	0.006	0.020	0.043	0.307
มีนาคม	0.241	0.024	0.016	0.024	0.304
เมษายน	0.333	0.033	0.048	0.063	0.478
พฤษภาคม	0.376	0.035	0.039	0.066	0.517
มิถุนายน	0.462	0.039	0.029	0.062	0.591
กรกฎาคม	0.553	0.046	0.072	0.112	0.783
สิงหาคม	0.362	0.033	0.056	0.073	0.525
กันยายน	0.660	0.035	0.041	0.089	0.825
ตุลาคม	0.567	0.080	0.147	0.252	1.046
พฤศจิกายน	0.763	0.092	0.222	0.277	1.354
ธันวาคม	0.598	0.072	0.085	0.085	0.840
ค่าเฉลี่ย	0.491	0.044	0.067	0.101	0.704

2. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการไฟฟ้าอยุธยาบุรี

เดือน\ชนิด	Phe	An	Fluo	Pyr	TotalPAHs
มกราคม	0.368	0.070	0.051	0.065	0.554
กุมภาพันธ์	0.442	0.069	0.056	0.062	0.629
มีนาคม	0.181	0.023	0.064	0.056	0.325
เมษายน	0.303	0.033	0.068	0.071	0.475
พฤษภาคม	0.319	0.056	0.077	0.072	0.523
มิถุนายน	0.395	0.055	0.097	0.076	0.622
กรกฎาคม	0.394	0.076	0.059	0.066	0.595
สิงหาคม	0.502	0.072	0.109	0.144	0.827
กันยายน	0.543	0.094	0.088	0.133	0.857
ตุลาคม	0.663	0.098	0.142	0.221	1.124
พฤศจิกายน	0.403	0.043	0.069	0.078	0.593
ธันวาคม	0.300	0.035	0.049	0.049	0.432
ค่าเฉลี่ย	0.401	0.060	0.077	0.091	0.630

3. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดง

เดือน\ชนิด	Phe	An	Fluo	Pyr	TotalPAHs
มกราคม	0.857	0.146	0.222	0.525	1.750
กุมภาพันธ์	0.576	0.085	0.163	0.366	1.191
มีนาคม	0.421	0.072	0.081	0.090	0.664
เมษายน	0.278	0.061	0.049	0.052	0.440
พฤษภาคม	0.327	0.058	0.078	0.097	0.560
มิถุนายน	0.671	0.153	0.140	0.245	1.209
กรกฎาคม	0.338	0.055	0.100	0.126	0.619
สิงหาคม	0.083	0.012	0.111	0.070	0.275
กันยายน	0.608	0.070	0.170	0.574	1.423
ตุลาคม	0.836	0.081	0.149	0.279	1.344
พฤศจิกายน	-	-	-	-	-
ธันวาคม	0.948	0.148	0.174	0.147	1.417
ค่าเฉลี่ย	0.540	0.085	0.131	0.234	0.990

4. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม

เดือน\ชนิด	Phe	An	Fluo	Pyr	TotalPAHs
มกราคม	0.449	0.047	0.063	0.080	0.640
กุมภาพันธ์	0.277	0.014	0.010	0.020	0.322
มีนาคม	0.222	0.024	0.018	0.022	0.286
เมษายน	0.112	0.010	0.056	0.053	0.231
พฤษภาคม	0.149	0.009	0.046	0.067	0.272
มิถุนายน	0.649	0.014	0.131	0.215	1.009
กรกฎาคม	0.168	0.014	0.030	0.016	0.229
สิงหาคม	0.252	0.026	0.027	0.047	0.352
กันยายน	0.491	0.065	0.138	0.190	0.883
ตุลาคม	0.209	0.016	0.046	0.091	0.362
พฤศจิกายน	0.687	0.074	0.133	0.138	1.031
ธันวาคม	0.378	0.054	0.082	0.072	0.587
ค่าเฉลี่ย	0.337	0.031	0.065	0.084	0.517

5. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนคลองจั่น

เดือน\ชนิด	Phe	An	Fluo	Pyr	TotalPAHs
มกราคม	0.577	0.059	0.049	0.056	0.741
กุมภาพันธ์	0.301	0.017	0.011	0.010	0.339
มีนาคม	0.389	0.005	0.026	0.023	0.443
เมษายน	0.142	0.006	0.009	0.022	0.179
พฤษภาคม	0.264	0.026	0.011	0.022	0.323
มิถุนายน	0.185	0.017	0.008	0.017	0.227
กรกฎาคม	0.204	0.020	0.014	0.011	0.249
สิงหาคม	0.139	0.016	0.025	0.020	0.200
กันยายน	0.190	0.019	0.039	0.021	0.269
ตุลาคม	0.060	0.006	0.049	0.057	0.171
พฤศจิกายน	0.636	0.084	0.139	0.133	0.992
ธันวาคม	0.362	0.025	0.132	0.086	0.605
ค่าเฉลี่ย	0.287	0.025	0.043	0.040	0.395

6. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนนนทรีวิทยา

เดือน\ชนิด	Phe	An	Fluo	Pyr	TotalPAHs
มกราคม	0.079	0.013	0.079	0.074	0.246
กุมภาพันธ์	0.087	0.012	0.081	0.072	0.253
มีนาคม	0.060	0.008	0.063	0.062	0.193
เมษายน	0.055	0.004	0.073	0.067	0.198
พฤษภาคม	0.068	0.010	0.090	0.068	0.236
มิถุนายน	0.050	0.007	0.066	0.066	0.190
กรกฎาคม	0.053	0.005	0.090	0.062	0.211
สิงหาคม	0.037	0.004	0.055	0.051	0.148
กันยายน	0.042	0.006	0.041	0.061	0.150
ตุลาคม	0.074	0.011	0.104	0.081	0.270
พฤศจิกายน	0.504	0.047	0.227	0.148	0.925
ธันวาคม	0.334	0.038	0.053	0.064	0.489
ค่าเฉลี่ย	0.120	0.014	0.085	0.073	0.292

7. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

เดือน\ชนิด	Phe	An	Fluo	Pyr	TotalPAHs
มกราคม	0.636	0.114	0.156	0.168	1.074
กุมภาพันธ์	0.456	0.109	0.184	0.138	0.888
มีนาคม	0.202	0.027	0.051	0.047	0.327
เมษายน	0.304	0.058	0.081	0.122	0.565
พฤษภาคม	0.174	0.030	0.060	0.071	0.335
มิถุนายน	0.192	0.036	0.051	0.044	0.323
กรกฎาคม	0.202	0.027	0.023	0.062	0.314
สิงหาคม	0.131	0.020	0.022	0.025	0.198
กันยายน	0.284	0.083	0.041	0.044	0.452
ตุลาคม	0.270	0.373	0.345	0.289	1.278
พฤศจิกายน	0.245	0.026	0.364	0.461	1.096
ธันวาคม	0.212	0.259	0.347	0.345	1.162
ค่าเฉลี่ย	0.276	0.097	0.144	0.151	0.668

ภาคผนวก ค.

ค่าความเสี่ยงก่อให้เกิดมะเร็งของ TotalPAHs (Phe+An+Fluo+Pyr)

1. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสถานีตำรวจนครบาลโชคชัย4

เดือน\ชนิด	เด็ก	ผู้ชาย	ผู้หญิง
มกราคม	8.15E-11	1.43E-10	1.54E-10
กุมภาพันธ์	2.58E-11	4.52E-11	4.89E-11
มีนาคม	3.68E-11	6.45E-11	6.97E-11
เมษายน	5.47E-11	9.57E-11	1.03E-10
พฤษภาคม	5.91E-11	1.04E-10	1.12E-10
มิถุนายน	6.68E-11	1.17E-10	1.26E-10
กรกฎาคม	8.49E-11	1.49E-10	1.61E-10
สิงหาคม	5.87E-11	1.03E-10	1.11E-10
กันยายน	8.1E-11	1.42E-10	1.53E-10
ตุลาคม	1.25E-10	2.19E-10	2.37E-10
พฤศจิกายน	1.55E-10	2.71E-10	2.93E-10
ธันวาคม	1.06E-10	1.85E-10	2E-10
ค่าเฉลี่ย	7.79E-11	1.36E-10	1.47E-10

2. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการไฟฟ้าอยุธยาธนบุรี

เดือน\ชนิด	เด็ก	ผู้ชาย	ผู้หญิง
มกราคม	8.38E-11	1.47E-10	1.59E-10
กุมภาพันธ์	8.85E-11	1.55E-10	1.67E-10
มีนาคม	3.79E-11	6.63E-11	7.17E-11
เมษายน	5.48E-11	9.6E-11	1.04E-10
พฤษภาคม	7.26E-11	1.27E-10	1.37E-10
มิถุนายน	7.91E-11	1.39E-10	1.5E-10
กรกฎาคม	9.08E-11	1.59E-10	1.72E-10
สิงหาคม	1.05E-10	1.84E-10	1.99E-10
กันยายน	1.21E-10	2.11E-10	2.28E-10
ตุลาคม	1.42E-10	2.49E-10	2.69E-10
พฤศจิกายน	6.93E-11	1.21E-10	1.31E-10
ธันวาคม	5.29E-11	9.26E-11	1E-10
ค่าเฉลี่ย	8.32E-11	1.46E-10	1.57E-10

3. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนดินแดง

เดือน\ชนิด	เด็ก	ผู้ชาย	ผู้หญิง
มกราคม	2.18E-10	3.81E-10	4.12E-10
กุมภาพันธ์	1.39E-10	2.44E-10	2.63E-10
มีนาคม	9.28E-11	1.63E-10	1.76E-10
เมษายน	6.99E-11	1.22E-10	1.32E-10
พฤษภาคม	7.67E-11	1.34E-10	1.45E-10
มิถุนายน	1.83E-10	3.21E-10	3.47E-10
กรกฎาคม	7.92E-11	1.39E-10	1.5E-10
สิงหาคม	2.71E-11	4.74E-11	5.12E-11
กันยายน	1.46E-10	2.56E-10	2.76E-10
ตุลาคม	1.47E-10	2.58E-10	2.78E-10
พฤศจิกายน	-	-	-
ธันวาคม	1.95E-10	3.42E-10	3.69E-10
ค่าเฉลี่ย	1.14E-10	2.00E-10	2.17E-10

4. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม

เดือน\ชนิด	เด็ก	ผู้ชาย	ผู้หญิง
มกราคม	7.57E-11	1.33E-10	1.43E-10
กุมภาพันธ์	3.16E-11	5.53E-11	5.97E-11
มีนาคม	3.57E-11	6.25E-11	6.75E-11
เมษายน	2.28E-11	3.99E-11	4.32E-11
พฤษภาคม	2.14E-11	3.75E-11	4.05E-11
มิถุนายน	8.29E-11	1.45E-10	1.57E-10
กรกฎาคม	2.55E-11	4.46E-11	4.82E-11
สิงหาคม	4.14E-11	7.25E-11	7.83E-11
กันยายน	1.04E-10	1.82E-10	1.97E-10
ตุลาคม	3.58E-11	6.27E-11	6.78E-11
พฤศจิกายน	1.2E-10	2.11E-10	2.28E-10
ธันวาคม	7.64E-11	1.34E-10	1.45E-10
ค่าเฉลี่ย	5.61E-11	9.83E-11	1.06E-10

5. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศการเคหะชุมชนคลองจั่น

เดือน\ชนิด	เด็ก	ผู้ชาย	ผู้หญิง
มกราคม	9.04E-11	1.58E-10	1.71E-10
กุมภาพันธ์	3.48E-11	6.1E-11	6.59E-11
มีนาคม	3.45E-11	6.03E-11	6.52E-11
เมษายน	1.65E-11	2.89E-11	3.12E-11
พฤษภาคม	3.95E-11	6.93E-11	7.48E-11
มิถุนายน	2.69E-11	4.71E-11	5.09E-11
กรกฎาคม	3.02E-11	5.29E-11	5.71E-11
สิงหาคม	2.43E-11	4.25E-11	4.6E-11
กันยายน	3.1E-11	5.43E-11	5.87E-11
ตุลาคม	1.62E-11	2.83E-11	3.06E-11
พฤศจิกายน	1.24E-10	2.17E-10	2.35E-10
ธันวาคม	5.86E-11	1.03E-10	1.11E-10
ค่าเฉลี่ย	4.39E-11	7.69E-11	8.31E-11

6. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนนนทรีวิทยา

เดือน\ชนิด	เด็ก	ผู้ชาย	ผู้หญิง
มกราคม	2.61E-11	4.57E-11	4.94E-11
กุมภาพันธ์	2.58E-11	4.51E-11	4.88E-11
มีนาคม	1.87E-11	3.28E-11	3.55E-11
เมษายน	1.64E-11	2.87E-11	3.1E-11
พฤษภาคม	2.29E-11	4.01E-11	4.34E-11
มิถุนายน	1.82E-11	3.18E-11	3.44E-11
กรกฎาคม	1.83E-11	3.2E-11	3.46E-11
สิงหาคม	1.32E-11	2.31E-11	2.5E-11
กันยายน	1.47E-11	2.58E-11	2.79E-11
ตุลาคม	2.62E-11	4.58E-11	4.95E-11
พฤศจิกายน	9.57E-11	1.68E-10	1.81E-10
ธันวาคม	5.87E-11	1.03E-10	1.11E-10
ค่าเฉลี่ย	2.96E-11	5.18E-11	5.6E-11

7. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)

เดือน\ชนิด	เด็ก	ผู้ชาย	ผู้หญิง
มกราคม	1.49E-10	2.61E-10	2.82E-10
กุมภาพันธ์	1.33E-10	2.33E-10	2.52E-10
มีนาคม	4.08E-11	7.15E-11	7.72E-11
เมษายน	7.7E-11	1.35E-10	1.46E-10
พฤษภาคม	4.27E-11	7.47E-11	8.07E-11
มิถุนายน	4.57E-11	8E-11	8.65E-11
กรกฎาคม	3.98E-11	6.97E-11	7.53E-11
สิงหาคม	2.71E-11	4.74E-11	5.12E-11
กันยายน	8.51E-11	1.49E-10	1.61E-10
ตุลาคม	1.78E-10	3.11E-10	3.36E-10
พฤศจิกายน	9.45E-11	1.66E-10	1.79E-10
ธันวาคม	1.43E-10	2.5E-10	2.71E-10
ค่าเฉลี่ย	8.79E-11	1.54E-10	1.66E-10

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล	นางสาวมัทนาวดี หัทยานนท์	
รหัสประจำตัวนักศึกษา	5210920016	
วุฒิการศึกษา		
วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
ศิลปศาสตรบัณฑิต (ภูมิศาสตร์)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2550

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

- มัทนาวดี หัทยานนท์, ศิวัช พงษ์เพียจันทร์, ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ และ อภิรดี สรวีสูตร. 2553. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการศึกษาผลกระทบของจำนวนประชากรโลกต่อปริมาณการเพิ่มของสารมลพิษอินทรีย์ที่ตกค้างยาวนานในชั้นบรรยากาศ. ในเอกสารประกอบ *งานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 9* จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยระหว่างวันที่ 24-27 มีนาคม พ.ศ.2553 ณ โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์ จังหวัดอุบลราชธานี.
- มัทนาวดี หัทยานนท์, ศิวัช พงษ์เพียจันทร์, อรมาศ สุธิณุ่น, ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ และ อภิรดี สรวีสูตร. 2554. การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อศึกษาการกระจายตัวของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนใน PM₁₀ ของชั้นบรรยากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร. ในเอกสารประกอบ *งานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 10* จัดโดยสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทยระหว่างวันที่ 24-26 มีนาคม พ.ศ.2554 ณ โรงแรมบีพี ฝิสมิทลาบีช แอนด์ รีสอร์ท จังหวัดสงขลา.
- มัทนาวดี หัทยานนท์, ศิวัช พงษ์เพียจันทร์ และอรมาศ สุธิณุ่น. 2554. องค์ประกอบและสัดส่วนของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนใน PM₁₀ ของชั้นบรรยากาศเขตเมืองกรุงเทพมหานคร. ในเอกสารประกอบ *งานประชุมวิชาการประจำปี 2554 ของสถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์* วันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ.2554 ณ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร.