

การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน  
ในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร



นางสาวธัญภัสสร ทองเย็น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SOURCE APPORTIONMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN  
SIZE-SELECTED PARTICULATE MATTER IN BANGKOK METROPOLITAN AREA



Miss Thunyapat Thongyen

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering  
Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติก  
ไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

โดย

นางสาวธัญภัทสร ทงเย็น

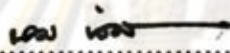
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

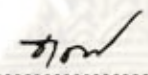
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์

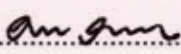
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อาจารย์ ดร. ทรรคนีย์ พฤกษาสีทธิ์

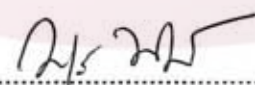
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

  
..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัณวงศ์)

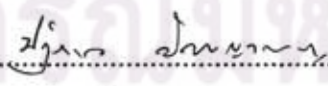
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(อาจารย์ ดร. ทรรคนีย์ พฤกษาสีทธิ์)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปาจารย์ ทองสินท)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ปฏิภาณ บัญญาพลกุล)

ธัญภัทสรณ์ ทองเย็น : การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร. (SOURCE APPORTIONMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SIZE-SELECTED PARTICULATE MATTER IN BANGKOK METROPOLITAN AREA) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : อ.ดร. ทรรคนีย์ พุกกาสิทธิ์, 142 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน(เล็กกว่า 100 นาโนเมตร หรือเรียกว่าฝุ่นละอองขนาดนาโน), 0.1-1.0 ไมครอน, 1.0-2.5 ไมครอน, 2.5-10 ไมครอน และขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดนาโน (Nanoparticle sampler) เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง ทุกๆ 6 วัน เป็นระยะเวลา 2 เดือนต่อสถานี ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนพฤษภาคม 2552 ในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง คือ บริเวณริมถนน ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษการเคหะชุมชนดินแดง และบริเวณพื้นที่ทั่วไป ได้แก่ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาด ในสถานีเก็บตัวอย่าง 3 แห่ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีสัดส่วนเฉลี่ยของ PM<sub>10-2.5</sub>, PM<sub>2.5-1.0</sub>, PM<sub>1.0-0.1</sub> และ PM<sub>0.1</sub> ต่อความเข้มข้นของ PM<sub>10</sub> เท่ากับ 33.35, 22.62, 33.31 และ 10.72 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> ต่อ PM<sub>10</sub> ในบริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไป มีค่าเท่ากับ 0.67 และ 0.66 เมื่อวิเคราะห์สารพีเอเอชในฝุ่นละอองในพื้นที่ศึกษา พบว่า บริเวณที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมสูงสุด คือ การเคหะชุมชนดินแดง รองลงมา คือ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตามลำดับ ซึ่งระดับความสูงของจุดเก็บตัวอย่าง และความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีผลกับความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง และกลุ่มสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารพีเอเอชชนิดอื่น มีจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Benzo(a)pyrene Benzo(b)fluoranthene Acenaphthylene และ Fluorene และพบว่าสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นขนาด >10  $\mu\text{m}$  2.5-10  $\mu\text{m}$  1.0-2.5  $\mu\text{m}$  0.1-1.0  $\mu\text{m}$  และ <0.1  $\mu\text{m}$  มีสัดส่วนแหล่งกำเนิดสอดคล้องกัน คือ มาจากการจราจรเป็นหลัก ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิดหลัก 4 ประเภท คือ รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ มีสัดส่วนสูงสุด รองลงมาคือ รถสามล้อเครื่อง รถที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด และรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนิสิต..... ธัญภัทสรณ์ ทองเย็น.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... อ.ดร. ทรรคนีย์ พุกกาสิทธิ์.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม..... อ.ดร. ทรรคนีย์ พุกกาสิทธิ์.....

## 5070566821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD : POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS / NANOPARTICLE / SOURCE APPORTIONMENT.

THUNYAPAT THONGYEN: SOURCE APPORTIONMENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN SIZE-SELECTED PARTICULATE MATTER IN BANGKOK METROPOLITAN AREA. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. WONGPUN LIMPASENI. THESIS CO-ADVISOR : TASSANEE PRUEKSASIT, Ph.D., 142 pp.

The study was carried out to identify the contribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in particulate matter in Bangkok ambient air by nano-particle sampler, which can collect size-selected particulate matter, namely less than 0.1 µm (less than 100 nm or nanoparticles) , 0.1-1 µm, 1-2.5 µm, 2.5-10 µm and >10 µm. The sampler cutoff flow rate was 40 l/m. The samplings were carried out every 6 days for 2 months at each station for the total period of 6 months during November 2008 until May 2009. The sampling were taken at 3 locations: roadside area at Pollution Control Department's Dindaeng air quality monitoring station (PCD AQ station) and background area at 2 stations; namely Bansomdet Chaopraya Rajabhat University PCD AQ station and Chulalongkorn University.

The results at Bangkok roadside area showed the proportions of PM10-2.5, PM2.5-1.0, PM1.0-0.1 and PM0.1 to the total PM10 mass averaged for 3 stations were 33.35, 22.62, 33.31 and 10.72 percent. The average PM2.5/PM10 ratios of roadside area to background area were 0.67 and 0.66. The PAHs concentration result showed dominant PAHs in every particulate matter size is Benzo(a)pyrene Benzo(b) fluoranthene Acenaphthylene and Fluorene. CMB showed major sources of PAHs is traffic which came from four stroke motorcycle, tuktuk, compressed natural gas vehicles and two stroke motorcycle.

Department Environmental Engineering  
Field of study Environmental Engineering  
Academic year 2009

Student's signature.....*Thunypat Thongyen*.....  
Advisor's signature.....*Wongpun Limpaseni*.....  
Co-advisor's signature.....*T. Prueksasit*.....



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากผู้เกี่ยวข้องหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.ทรรศนีย์ พุกษาลิทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยเหลือในการแก้ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นเสมอมา จนวิทยานิพนธ์นี้ เสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ธเรศ ศรีสถิตย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปาศกรีย์ ทองสนธิ และอาจารย์ ดร.ปฎิภาณ ปัญญาพลกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.Masami Furuuchi และศาสตราจารย์ ดร.Yoshio Otani จากมหาวิทยาลัย Kanazawa ประเทศญี่ปุ่น ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นและให้คำแนะนำตลอดการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ ดร.พรรณวดี สุวัฒน์ิกะ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งเกี่ยวกับการใช้แบบจำลองสมดุลมวลเคมี และขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้ความรู้และคำแนะนำตลอดการศึกษา รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และเจ้าหน้าที่ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการวิจัยและเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ปริมาณสารพีเอเอชในฝุ่นละออง และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เก็บตัวอย่าง และเจ้าหน้าที่ของสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง ที่ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดียิ่ง

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก “ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้อง ที่กรุณาในการสนับสนุนและเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

|   |   | หน้า |
|---|---|------|
|   | บทคัดย่อภาษาไทย.....  | ง    |
|   | บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                     | จ    |
|   | กิตติกรรมประกาศ.....  | ฉ    |
|   | สารบัญ.....   | ช    |
|   | สารบัญตาราง.....  | ฎ    |
|   | สารบัญภาพ.....  | ฐ    |
|   | รายการคำย่อ.....  | ณ    |
|   | บทที่   |      |
| 1 | บทนำ.....   | 1    |
|   | 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....                     | 1    |
|   | 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....                            | 3    |
|   | 1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....                                  | 3    |
|   | 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                          | 5    |
| 2 | เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                         | 6    |
|   | 2.1 ผู้เฒ่า.....  | 6    |
|   | 2.1.1 ชนิดของผู้เฒ่า.....                                   | 6    |
|   | 2.1.2 แหล่งกำเนิดของผู้เฒ่า.....                            | 10   |
|   | 2.1.2 ผลกระทบของผู้เฒ่า.....                                | 13   |
|   | 2.2 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....                 | 16   |
|   | 2.2.1 ชนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....        | 20   |
|   | 2.2.2 แหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน..... | 22   |
|   | 2.2.3 ผลกระทบของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....     | 25   |
|   | 2.3 แบบจำลองด้านอากาศ.....                                  | 27   |
|   | 2.3.1 แบบจำลองกายภาพ.....                                   | 27   |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่  | หน้า |
|--|------|
| 2.3.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์.....  | 27   |
| 2.4 แบบจำลองสมดุลมวลเคมี.....  | 29   |
| 2.4.1 สมมติฐานของแบบจำลองสมดุลมวลเคมี.....   | 29   |
| 2.4.2 ดรรชนีที่ใช้อธิบายแบบจำลองสมดุลมวลเคมี.....                                      | 30   |
| 2.5 ลักษณะภูมิประเทศและอุตุนิยมวิทยาของกรุงเทพมหานคร.....                              | 33   |
| 2.6 สถานการณ์ฝุ่นในกรุงเทพมหานคร.....  | 34   |
| 2.7 สถานการณ์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในกรุงเทพมหานคร.....                    | 35   |
| 2.8 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ.....  | 38   |
| 2.8.1 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....  | 38   |
| 2.8.2 มาตรฐานสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ.....                         | 40   |
| 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....   | 42   |
| 2.9.1 ชนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง.....  | 42   |
| 2.9.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณสารพีเอเอชกับฝุ่นขนาดต่างๆ.....                             | 43   |
| 2.9.3 แหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในบรรยากาศ.....  | 45   |
| 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....  | 49   |
| 3.1 พื้นที่ศึกษา.....  | 49   |
| 3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง.....  | 51   |
| 3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง.....                                 | 51   |
| 3.2.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง.....   | 54   |
| 3.2.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง.....   | 55   |
| 3.2.4 การคำนวณความเข้มข้นและการกระจายตัวของฝุ่นละออง.....                              | 57   |
| 3.3 การวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน.....                                | 58   |
| 3.3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติก<br>ไฮโดรคาร์บอน..... | 58   |



สารบัญ (ต่อ)

| บทที่ | หน้า |
|-------|------|
| 3.3.2 | 59   |
| 3.3.3 | 60   |
| 3.3.4 | 65   |
| 3.4   | 65   |
| 3.4.1 | 65   |
| 3.4.2 | 66   |
| 3.5   | 69   |
| 4     | 70   |
| 4.1   | 70   |
| 4.1.1 | 70   |
| 4.1.2 | 70   |
| 4.1.3 | 70   |
| 4.2   | 76   |
| 4.3   | 77   |
| 4.4   | 81   |
| 4.4.1 | 83   |
| 4.4.2 | 87   |

## สารบัญ (ต่อ)

| บทที่   | หน้า |
|---|------|
| 4.4.3 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....  | 92   |
| 4.5 ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด.....   | 97   |
| 4.5.1 ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด<br>บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง.....                   | 97   |
| 4.5.2 ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด<br>บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา..... | 100  |
| 4.5.3 ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด<br>บริเวณมหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....     | 103  |
| 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....  | 106  |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย.....   | 106  |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....   | 107  |
| รายการอ้างอิง.....  | 108  |
| ภาคผนวก.....  | 114  |
| ภาคผนวก ก ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละออง.....  | 115  |
| ภาคผนวก ข ข้อมูลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง..  | 119  |
| ภาคผนวก ค ข้อมูลสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....  | 138  |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....   | 142  |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 2.1 ขนาดอนุภาคในบรรยากาศที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....  | 7    |
| ตารางที่ 2.2 ปริมาณการปล่อยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน.....  | 12   |
| ตารางที่ 2.1 ชนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....  | 20   |
| ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในปี 2549.....                                     | 35   |
| ตารางที่ 2.5 ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในปี 1999.....  | 36   |
| ตารางที่ 3.4 ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชหลัก ในปี 2542-2543   | 37   |
| ตารางที่ 2.7 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศไทย.....   | 39   |
| ตารางที่ 2.8 National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).....  | 40   |
| ตารางที่ 2.9 The National Environment Protection Measure for Ambient Air<br>Quality standards (the Air NEPM standards)..... | 40   |
| ตารางที่ 2.10 ค่ามาตรฐานของสาร Benzo[a]pyrene ในบรรยากาศ.....   | 27   |
| ตารางที่ 2.11 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....  | 47   |
| ตารางที่ 3.1 วันที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในพื้นที่ศึกษา.....   | 55   |
| ตารางที่ 3.2 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์สารพีเอเอช.....  | 62   |
| ตารางที่ 3.3 Retention time และ Ion fragments ของสารพีเอเอชชนิดต่างๆ.....   | 63   |
| ตารางที่ 3.4 ค่าตัวแปรต่างๆ ในการวิจัย.....   | 69   |
| ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง.....   | 71   |
| ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ<br>เจ้าพระยา.....                           | 72   |
| ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .....   | 73   |
| ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดในพื้นที่ศึกษา.....  | 75   |
| ตารางที่ 4.5 สัดส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่ศึกษา.....  | 75   |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่  | หน้า |
|---|------|
| ตารางที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler, TEOM, Beta Ray และ High volume sampler บริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.....     | 78   |
| ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler กับเครื่องเก็บตัวอย่างอื่นๆ บริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา..... | 79   |
| ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler, Cascade impactor และ High volume sampler ในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....  | 80   |
| ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler กับเครื่องเก็บตัวอย่างอื่นๆ ในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....                                   | 81   |
| ตารางที่ 4.10 ค่า coefficient of determination( $R^2$ ) ของสารละลายมาตรฐานพีเอเอช 16ชนิด..  | 82   |
| ตารางที่ 4.11 ค่า Limit of detection ของสารพีเอเอช 16 ชนิด.....   | 83   |
| ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง.....   | 84   |
| ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.....   | 88   |
| ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....  | 92   |
| ตารางที่ 4.15 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาดบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง.....   | 98   |
| ตารางที่ 4.16 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาดบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.....   | 101  |
| ตารางที่ 4.17 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....   | 103  |

## สารบัญรูป

| รูปที่      | หน้า |
|-------------|------|
| รูปที่ 2.1  | 9    |
| รูปที่ 2.2  | 12   |
| รูปที่ 2.3  | 17   |
| รูปที่ 2.4  | 19   |
| รูปที่ 3.1  | 49   |
| รูปที่ 3.2  | 50   |
| รูปที่ 3.3  | 50   |
| รูปที่ 3.4  | 51   |
| รูปที่ 3.5  | 53   |
| รูปที่ 3.6  | 53   |
| รูปที่ 3.7  | 53   |
| รูปที่ 3.8  | 54   |
| รูปที่ 3.9  | 54   |
| รูปที่ 3.10 | 56   |
| รูปที่ 3.11 | 59   |
| รูปที่ 3.12 | 59   |
| รูปที่ 3.13 | 59   |
| รูปที่ 3.14 | 59   |
| รูปที่ 3.15 | 68   |
| รูปที่ 4.1  | 74   |
| รูปที่ 4.2  | 74   |
| รูปที่ 4.3  | 74   |
| รูปที่ 4.4  | 76   |

## สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.5  |      |
| ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละออง บริเวณการเคหะชุมชน<br>ดินแดง.....                                | 85   |
| รูปที่ 4.6  |      |
| ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองแต่ละขนาดจำแนกรายวัน บริเวณ<br>การเคหะชุมชนดินแดง.....                  | 86   |
| รูปที่ 4.7  |      |
| ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองจำแนกรายวัน บริเวณการเคหะ<br>ชุมชนดินแดง.....                           | 86   |
| รูปที่ 4.8  |      |
| สัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาด บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง.....  | 87   |
| รูปที่ 4.9  |      |
| ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละออง บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏ<br>บ้านสมเด็จเจ้าพระยา.....              | 89   |
| รูปที่ 4.10   |      |
| ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองแต่ละขนาดจำแนกรายวัน<br>บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา..... | 90   |
| รูปที่ 4.11   |      |
| ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองจำแนกรายวัน บริเวณ<br>มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.....         | 91   |
| รูปที่ 4.12   |      |
| สัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาด บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏ<br>บ้านสมเด็จเจ้าพระยา.....                        | 91   |
| รูปที่ 4.13   |      |
| ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละออง บริเวณจุฬาลงกรณ์<br>มหาวิทยาลัย.....                             | 93   |
| รูปที่ 4.14   |      |
| ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองแต่ละขนาดจำแนกรายวัน<br>บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....                | 94   |
| รูปที่ 4.15   |      |
| ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองจำแนกรายวัน บริเวณจุฬาลงกรณ์<br>มหาวิทยาลัย.....                        | 94   |
| รูปที่ 4.16   |      |
| สัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาด บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย....  | 95   |
| รูปที่ 4.17   |      |
| ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในพื้นที่ศึกษา.....  | 96   |
| รูปที่ 4.18   |      |
| สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาดบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง.   | 99   |

## สารบัญรูป

| รูปที่  | หน้า |
|---|------|
| รูปที่ 4.19 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาดบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏ<br>บ้านสมเด็จเจ้าพระยา..... | 102  |
| รูปที่ 4.20 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด บริเวณจุฬาลงกรณ์<br>มหาวิทยาลัย.....               | 104  |



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

|                   |   |
|-------------------|---|
| µg                | ไมโครกรัม   |
| µg/m <sup>3</sup> | ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร  |
| Ace               | อะซีแนฟทีน (Acenaphthene)   |
| Acy               | อะซีแนฟไทลีน (Acenaphthylene)   |
| Anth              | แอนทราซีน (Anthracene)  |
| BaA               | เบนโซ(เอ)แอนทราซีน (Benzo(a)anthracene)                                 |
| BaP               | เบนโซ(เอ)ไพรีน (Benzo(a)pyrene)   |
| BbF               | เบนโซ(บี)ฟลูออแรนทีน (Benzo(b)fluoranthene)                             |
| BeP               | เบนโซ(อี)ไพรีน (Benzo(e)pyrene)   |
| BghiP             | เบนโซ(จี, เอช, ไอ)ไพรีน (Benzo(g, h, i)pyrene)                          |
| BkF               | เบนโซ(เค)ฟลูออแรนทีน (Benzo(k)fluoranthene)                             |
| Chr               | ไครซีน (Chrysene)   |
| DBahA             | ไดเบนโซ(เอ, เอช)แอนทราซีน (Dibenzo(ah)anthracene)                       |
| Flt               | ฟลูออแรนทีน (Fluoranthene)  |
| Flu               | ฟลูออรีน (Fluorene)   |
| GC/MS             | ก๊าซโครมาโตกราฟี/แมสสเปคโตรเมทรี (Gas Chromatography/Mass Spectrometry) |
| HDDV              | รถยนต์ดีเซลใหญ่ ( Heavy – Duty Diesel Vehicles )                        |
| Ind               | อินดีโน(1, 2, 3-ซีดี)ไพรีน (Indeno(1,2,3-cd)pyrene)                     |
| LDDV              | รถยนต์ดีเซลเล็ก (Light – Duty Diesel Vehicles )                         |
| ng/m <sup>3</sup> | นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร   |
| Nap               | แนฟทาลีน (Naphthalene)  |
| PAHs              | สารโพลีไซคลิกแอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons)   |
| Per               | เพอริรีน (Perylene)   |
| Phen              | ฟีแนนทรีน (Phenanthrene)  |
| Pyr               | ไพรีน (Pyrene)  |



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มลพิษอากาศ เป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งที่เกิดขึ้นในเขตเมือง โดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร เนื่องจากมลพิษอากาศก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน และบดบังทัศนวิสัย ซึ่งเป็นอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง โดยมีฝุ่นละอองเป็นปัญหาหลัก ซึ่งฝุ่นแต่ละขนาดจะมีแหล่งกำเนิดหลักที่แตกต่างกัน เช่น ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) มีแหล่งกำเนิดหลักจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง ฝุ่นจากกิจกรรมบด ย่อย หิน ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) จะมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน รวมทั้งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจน และสารอินทรีย์ระเหยง่ายกับสารอื่นในบรรยากาศ (นพภาพร และคณะ, 2547) จากการที่ฝุ่นแต่ละขนาดมาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน จึงทำให้องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นแต่ละขนาดมีชนิดและความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ เมื่อได้รับฝุ่นละอองเข้าไปในร่างกายปริมาณมากหรือเป็นระยะเวลาต่อเนื่อง โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับชนิดและปริมาณขององค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละออง ขนาดของฝุ่นละออง ระยะเวลาสัมผัส สัมผัส สุขภาพอนามัยของผู้รับสัมผัส รวมทั้งความเป็นพิษขององค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละอองนั้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก เมื่อเข้าสู่ร่างกายแล้วอนุภาคของฝุ่นละอองเหล่านี้จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ถุงลมปอด และยังไปถึงสมองได้ เป็นผลให้เกิดโรคทางเดินหายใจ โรคหลอดเลือดหัวใจ เกิดการระคายเคืองและทำลายเยื่อหุ้มปอด หากได้รับในปริมาณมากและเป็นเวลานานจะเกิดการสะสม ทำให้เกิดพังผืดและเป็นแผลได้ ทำให้การทำงานของปอดลดลง โดยความรุนแรงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของฝุ่นละอองนั้น ซึ่งปัจจุบันเราได้รับฝุ่นทั้งจากควันรถยนต์หรือเตาทำอาหารบางประเภท รวมทั้งจากการประกอบอาชีพ เช่น การผลิตสีหมึก การผลิตหมึกพิมพ์เครื่องถ่ายเอกสาร หรือการทำงานกับเครื่องเชื่อม

ในประเทศไทยนั้น กรุงเทพมหานครจัดเป็นจังหวัดที่ประสบปัญหาทางด้านมลพิษทางอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยจากการตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2550) พบว่า ในบริเวณริมถนนจะมีฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) เป็นปัญหาหลัก รองลงมาคือ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอนหรือฝุ่นรวม (TSP) ส่วนในบริเวณพื้นที่ทั่วไปซึ่งเป็น

เขตที่อยู่อาศัย พบว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) มีค่าสูงเกินมาตรฐานเพียงบางวัน จึงเป็นปัญหาเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) พบว่าในบริเวณริมถนนมีปริมาณ  $PM_{2.5}$  สูงกว่าในบริเวณพื้นที่ทั่วไป ซึ่งจากผลการวิจัยในประเทศไทยที่มีการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศทั้ง  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$  พบว่าอัตราส่วนระหว่าง  $PM_{2.5}$  กับ  $PM_{10}$  อยู่ในช่วง 0.60 ถึง 0.74 (สมานชัย, 2543) แสดงถึงฝุ่นขนาดเล็กมีปริมาณมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละออง พบว่ามีองค์ประกอบหลากหลายชนิด เช่น โลหะหนัก (heavy metal) โลหะปริมาณน้อย (trace metal) และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เป็นต้น โดยสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่สำคัญ ได้แก่ สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (พีเอเอช) ซึ่งจากการศึกษาทางพิษวิทยา พบว่า สารพีเอเอชเป็นสารที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ สามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายวิธี ทั้งจากการกินอาหารที่ปนเปื้อนสารพีเอเอช สูดดมไอระเหยหรือเขม่าควันไฟที่มีสารพีเอเอชผสมอยู่หรือการสัมผัสทางผิวหนัง ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูงจะพบความเป็นพิษเรื้อรัง ซึ่งความเป็นพิษที่สำคัญ คือ ความสามารถในการก่อมะเร็ง (Carcinogenic) ในอวัยวะหลายชนิด และสารก่อการกลายพันธุ์ (Mutagenicity) สารพีเอเอชมีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติ เช่น ไฟป่า ภูเขาไฟระเบิด เป็นต้น และจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การหุงต้มและการให้ความร้อนภายในที่อยู่อาศัย กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม และการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

การศึกษาเกี่ยวกับสารพีเอเอชในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในกรุงเทพมหานคร พบสารพีเอเอช ร้อยละ 97 ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.95 ไมครอน และสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูง 6 ชนิด ได้แก่ Benzo[ghi] perylene (BghiP), Indeno[123cd]pyrene (Ind), Benzo[e]pyrene (BeP), Benzo[b]fluoranthene (BbF), Coronene (Cor) และ Benzo[a]pyrene (BaP) (ป้าจรรย์, 2545) เนื่องจากฝุ่นขนาดเล็กมีจำนวนและพื้นที่ผิวมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ สารพีเอเอชจึงมีโอกาสดูดซับอยู่บนฝุ่นขนาดเล็กได้มาก (Seinfeld, 1975) และจากการที่สารพีเอเอชในบรรยากาศมีแหล่งกำเนิดหลายประเภท จึงมีความจำเป็นต้องจำแนกแหล่งกำเนิดของสารดังกล่าว เพื่อการควบคุมและหาแนวทางป้องกันการได้รับผลกระทบ ซึ่งการจำแนกแหล่งกำเนิดสามารถทำได้โดยการตรวจวัดหาค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในบรรยากาศที่แหล่งรับ และใช้แบบจำลองสมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance [CMB] Receptor Model) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่สามารถประมาณสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองจากแหล่งรับได้

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ไปจนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) โดยฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 100

นาโนเมตร จะเรียกว่าอนุภาคนาโน (nanoparticle) สำหรับหน่วยนาโนเมตรเป็นหน่วยที่มีค่าคิดเป็นหนึ่งในพันล้านส่วนของเมตร หรือเล็กกว่าเส้นผมคนเราประมาณ 500 เท่า โดยทุกวันนี้ มนุษย์ได้รับอนุภาคนาโนหลายชนิด และตระหนักดีว่าการได้รับเข้าไปนั้นคงมีผลต่อสุขภาพอย่างแน่นอน แต่ยังไม่เป็นที่สรุปแน่ชัดว่าจะเกิดผลอะไรตามมาบ้าง หากอนุภาคเหล่านี้กระจายตัวจากบริเวณที่ได้รับไปตามกระแสเลือดและไปที่สมอง เนื่องจากอนุภาคนาโนเหล่านี้ไม่สามารถถูกดักกักกำจัดได้ด้วยแผ่นกรอง (สิทธิพร, 2547)

เนื่องจากจังหวัดกรุงเทพมหานครยังประสบปัญหาทางด้านมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะฝุ่นละออง ซึ่งพบสัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ โดยฝุ่นขนาดเล็กทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้รุนแรงมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีสารพีเอเอชที่เป็นสารก่อมะเร็งและสารก่อการกลายพันธุ์เป็นองค์ประกอบในฝุ่นด้วยแล้ว จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงเป็นความสำคัญให้ตระหนักถึงปัญหาจากฝุ่นละอองขนาดเล็กและสารพีเอเอช การศึกษาในครั้งนี้จึงเป็นการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองแต่ละขนาด และความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร เพื่อเป็นข้อมูลสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาด และสามารถนำผลจากการศึกษาในครั้งนี้ ไปเป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงของสารพีเอเอชในบรรยากาศ รวมทั้งเป็นส่วนหนึ่งในการกำหนดมาตรการและแนวทางในการจัดการปัญหาฝุ่นละออง เพื่อลดผลกระทบจากปัญหามลพิษทางอากาศในจังหวัดกรุงเทพมหานครต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.3.1 เพื่อศึกษาหาความเข้มข้นของฝุ่นขนาดต่างๆ ในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร
- 1.3.2 เพื่อศึกษาหาชนิดและความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดต่างๆ ในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร
- 1.3.3 เพื่อหาสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดต่างๆ ในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร โดยใช้แบบจำลองสมดุลมวลเคมี

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

### 1.4.1 พื้นที่ศึกษา

ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 2 บริเวณ คือ บริเวณพื้นที่ทั่วไปและบริเวณริมถนน

บริเวณพื้นที่ทั่วไป เก็บตัวอย่างจำนวน 2 สถานี ได้แก่ สถานีอาคารวิศวกรรมโยธา-สิ่งแวดลอม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ที่ตั้งอยู่ห่างจากถนนสายหลักมากกว่า 50 เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

บริเวณริมถนน เก็บตัวอย่างจำนวน 1 สถานี คือ สถานีการเคหะชุมชนดินแดง ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ที่ตั้งอยู่ห่างจากถนนสายหลักไม่เกิน 10 เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

#### 1.4.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทุกๆ 6 วัน จำนวน 10 ตัวอย่างต่อสถานี ทั้งหมด 3 สถานี รวมระยะเวลาเก็บตัวอย่าง 6 เดือน

#### 1.4.3 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น

ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน (Nano-particle sampler) ซึ่งจะแบ่งขนาดฝุ่นออกเป็น 5 ขนาด ได้แก่

- (1) ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน (ขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร)
- (2) ฝุ่นที่มีขนาด 0.1 ไมครอน ถึงขนาดเล็กกว่า 1.0 ไมครอน
- (3) ฝุ่นที่มีขนาด 1.0 ไมครอน ถึงขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
- (4) ฝุ่นที่มีขนาด 2.5 ไมครอน ถึงขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน
- (5) ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน

โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบแยกขนาด (Cascade impactor) และเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (High volume sampler) ร่วมเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วย เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดฝุ่นของเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน

#### 1.4.4 การวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละออง

วิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดต่างๆ และหาความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นที่เก็บโดยเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน จำนวน 16 ชนิด ตามรายชื่อสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ควรตรวจวัดของ US.EPA. (The working group on polycyclic aromatic hydrocarbons, 2001) ซึ่งจะใช้วิธีสกัดสารที่ดัดแปลงตาม Method TO-13A (US.EPA, 1999) และวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนโดยเครื่อง Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)

1.4.5 การหาสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น  
วิเคราะห์แหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นแต่ละขนาด  
โดยใช้แบบจำลองสมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance Model) รุ่นที่ 8.2

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นข้อมูลพื้นฐานสัดส่วนแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติก  
ไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

1.5.2 เป็นประโยชน์ในการประกอบการพิจารณาการกำหนดแผน มาตรการ และแนวทางใน  
การจัดการปัญหาฝุ่นละอองในจังหวัดกรุงเทพมหานคร และใช้เป็นแนวทางในการ  
กำหนดค่ามาตรฐานของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศของ  
ประเทศไทย



ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1.6 ฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศ เป็นปัญหามลพิษอากาศที่สำคัญของเมืองใหญ่ทุกแห่ง โดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร และส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบๆ ตัวเรามีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน ซึ่งเป็นกลุ่มของโมเลกุล (มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน) ไปจนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นทรายขนาดใหญ่ มองเห็นด้วยตาเปล่า (ฝุ่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่า มีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป)

ฝุ่นละอองเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบอาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลว ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมักจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการตกต่ำ หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนร่วมเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น จะทำให้แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปีในบรรยากาศ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจะมีชื่อเรียกต่างกันไปตามลักษณะการรวมตัวฝุ่นละออง เช่น ควัน (Smoke) ฟุม (fume) หมอกน้ำค้าง (mist) เป็นต้น และแหล่งกำเนิดของฝุ่นยังแสดงถึงคุณสมบัติความเป็นพิษของฝุ่นด้วย เช่น แอสเบสตอส ตะกั่ว ไฮโดรคาร์บอน กัมมันตรังสี (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

#### 2.1.1 ชนิดของฝุ่นละออง

การจำแนกชนิดของฝุ่นละออง สามารถจำแนกได้ตามองค์ประกอบ และแหล่งกำเนิด ดังนี้

- 1) จำแนกตามองค์ประกอบทางเคมี แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

- 1.1) ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์(Organic Dust) เป็นฝุ่นละอองที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนไฮโดรเจน และออกซิเจน ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ แบ่งเป็น

- ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ที่ไม่มีชีวิต เช่น ละอองเกสรของพืชหรือหญ้า ซึ่งสามารถทำให้เกิดอาการแพ้พิษได้

- ฝุ่นละอองจากสารอินทรีย์ที่มีชีวิต เช่น แบคทีเรีย , เชื้อรา เป็นต้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดโรคบาดทะยัก คอติบ วัณโรค และไทฟอยด์ได้

1.2) ฝุ่นละอองจากสารอนินทรีย์(Inorganic Dust) เป็นฝุ่นละอองที่มีองค์ประกอบของไอออนต่าง ๆ เช่น  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}^2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  หรือประกอบด้วยโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม แอสเบสตอส เมื่อร่างกายได้รับฝุ่นชนิดนี้เข้าไปและสะสมในร่างกาย แล้วจะทำให้เกิดอันตรายอย่างร้ายแรง

2) จำแนกตามแหล่งกำเนิด แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1) ฝุ่นละอองที่เป็นสารมลพิษปฐมภูมิ (primary pollutants) ซึ่งเป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายสู่บรรยากาศโดยตรง เช่น ฝุ่นที่เกิดจากการกัดเซาะของลม (Wind Erosion Products) ฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม ฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เป็นต้น

2.2) ฝุ่นละอองที่เป็นสารทุติยภูมิ (secondary pollutants) ซึ่งเป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาเคมีของสารในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวของฝุ่นละอองด้วยกัน หรือรวมตัวกับก๊าซหรือรวมตัวกับของเหลว หรือรวมตัวกับของแข็ง ด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ หรือทางเคมี หรือทางเคมีแสง (Photochemical reaction) ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่สามารถกัดกร่อนโลหะหรือเป็นอันตรายต่อพืชต่างๆ (กรมควบคุมมลพิษ, 2551; วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543)

นอกจากนี้ยังสามารถบอกชนิดของฝุ่นละอองตามลักษณะโครงสร้างหรือองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นนั้น หรือประเภทของอุตสาหกรรม หรือกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ทำให้เกิดฝุ่นได้ เช่น ฝุ่นถ่านหิน ฝุ่นปูน ฝุ่นดิน ฝุ่นซิลิกา และฝุ่นคาร์บอน เป็นต้น ซึ่งฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ จะมีขนาดแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ขนาดอนุภาคในบรรยากาศที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

| สาร              | ขนาดของอนุภาค (ไมครอน) |
|------------------|------------------------|
| ผงถ่านหิน        | 25.0 – 250.0           |
| ฝุ่นละออง        | 20.0 – 200.0           |
| ฝุ่นโรงถลุงเหล็ก | 1.0 – 200.0            |
| ผงซีเมนต์        | 10.0 – 150.0           |
| ซีเมนต์          | 3.0 – 110.0            |
| เกสรดอกไม้       | 20.0 – 60.0            |
| หมอก             | 1.5 – 40.0             |

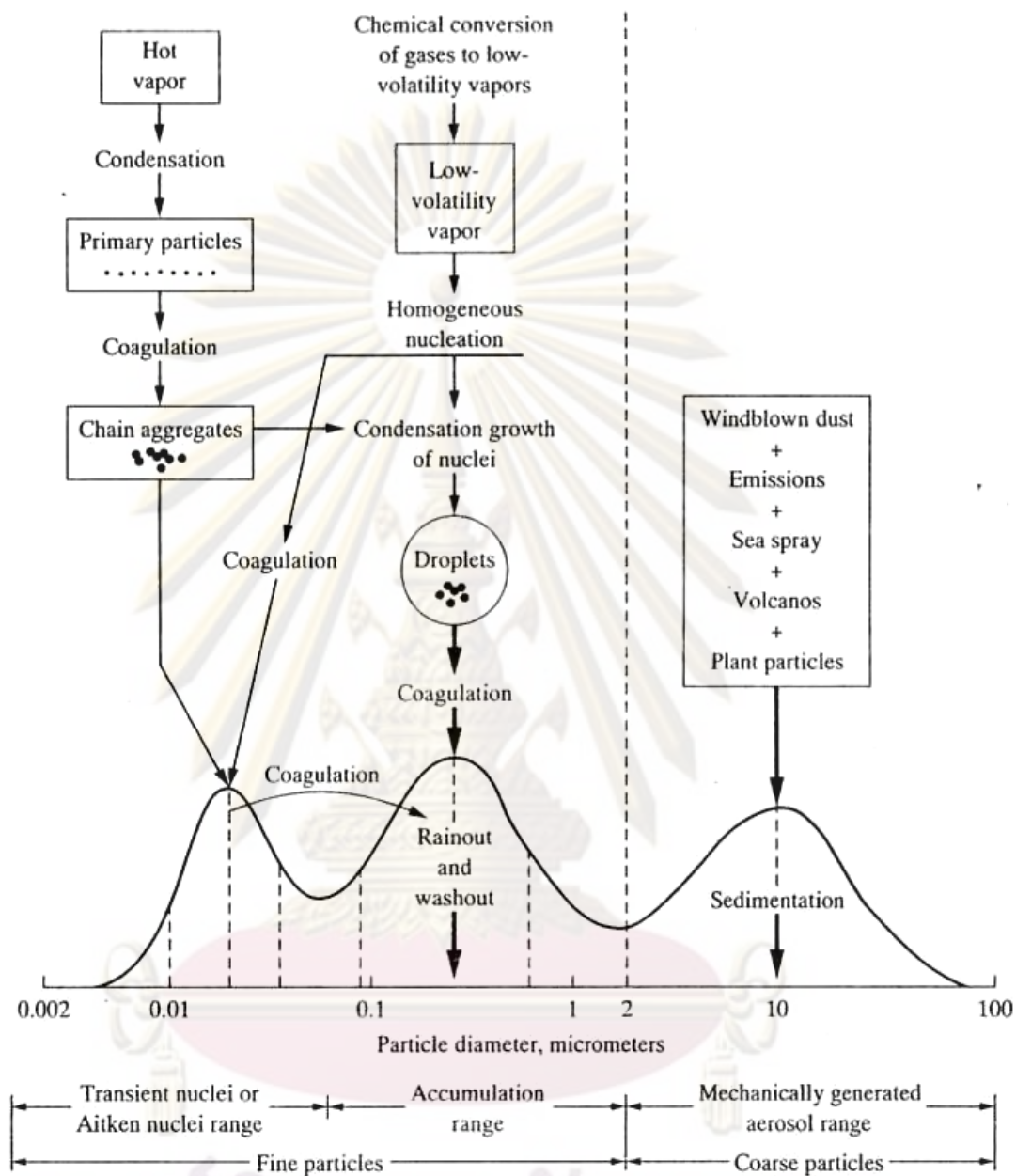
ตารางที่ 2.1(ต่อ) ขนาดอนุภาคในบรรยากาศที่เกิดจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

| สาร                    | ขนาดของอนุภาค (ไมครอน) |
|------------------------|------------------------|
| สปอร์พืช               | 10.0 – 30.0            |
| แบคทีเรีย              | 1.0 – 15.0             |
| สารเคมีกำจัดแมลงชนิดผง | 0.4 – 10.0             |
| สีฝุ่น                 | 0.1 – 4.0              |
| สม็อก                  | 0.001 – 2.0            |
| ควันบุหรี่             | 0.01 – 1.0             |
| ควันน้ำมัน             | 0.03 – 1.0             |
| ควันซิงค์ออกไซด์       | 0.01 – 0.3             |
| ควันถ่านหิน            | 0.01 – 0.2             |

ที่มา: วงศ์พันธ์, นิตยา และ ธีระ, 2543

เมื่อฝุ่นละอองในบรรยากาศสัมผัสกัน จะสามารถเกาะติดกันได้โดยกระบวนการรวมตัว (Coagulation Process) กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาอย่างต่อเนื่องและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงตามขนาดและปริมาตร ซึ่งกลไกสำคัญสำหรับการรวมตัวของฝุ่นละออง คือ การเคลื่อนไหวแบบ บราวเนียน กลไกนี้จึงเป็นสาเหตุให้ฝุ่นละอองที่มีรัศมีเล็กกว่า 0.1 ไมครอนในอากาศตกลงอย่างรวดเร็วและมีขนาดโตขึ้น ฝุ่นละอองรัศมีเล็กกว่า 0.1 ไมครอนนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่สูง และอัตราการรวมตัวสูง ส่วนฝุ่นละอองที่มีรัศมีใหญ่กว่า 0.3 ไมครอนมีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่น้อยกว่ามาก จึงทำหน้าที่หลักเสมือนตัวจับฝุ่นละอองที่เล็กกว่าที่แพร่อย่างรวดเร็ว กล่าวโดยสรุป คือฝุ่นละอองขนาดเล็กส่วนใหญ่จะถูกกำจัดโดยกระบวนการรวมตัว ซึ่งขึ้นกับการแพร่ (Diffusion) และกลายเป็นฝุ่นละอองขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนฝุ่นละอองขนาดใหญ่จะถูกกำจัดโดยกระบวนการซึ่งขึ้นกับคุณสมบัติเชิงเฉื่อย ก็คือการตกตะกอน (Sedimentation) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงกลไกการเกิดฝุ่นละอองขนาดต่างๆ จะพบว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอนเกิดจากการควบแน่นของ ไอระเหยที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดฝุ่นละอองปฐมภูมิที่สามารถรวมตัวกันเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ขึ้นได้ ฝุ่นละอองขนาด 0.1-2 ไมครอน เกิดจากการเปลี่ยนรูปทางเคมีของ ก๊าซเป็นสารที่ระเหยได้น้อย จากนั้นจึงควบแน่นเกิดเป็นฝุ่นละออง ส่วนฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอน ซึ่งส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น เกิดจากฝุ่นจากการฟุ้งกระจาย ฝุ่นจาก ไอน้ำทะเล ฝุ่นจากภูเขาไฟระเบิด และฝุ่นจากพืช





รูปที่ 2.1 กลไกการเกิดฝุ่นละอองขนาดต่างๆ

ที่มา: De Nevers, 1995

โดยทั่วไปมักจะนิยมแบ่งฝุ่นละอองออกเป็น 3 ช่วงขนาด ได้แก่ ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate, TSP) มีขนาดตั้งแต่ 0-100 ไมครอน ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งนานาประเทศได้มีการกำหนด

มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศชั้น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา U.S. EPA (United State Environmental Protection Agency) ได้กำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองเป็น 2 ชนิด คือ  $PM_{10}$  และ  $PM_{2.5}$  โดย  $PM_{10}$  ตามคำจำกัดความของ U.S. EPA หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 - 10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยางตามการขนส่งวัสดุฝุ่นจากกิจกรรมบด ย่อย หิน และ  $PM_{2.5}$  ตามคำจำกัดความของ U.S. EPA หมายถึง ฝุ่นละเอียด (Fine Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละเอียดที่มีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากการหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ออกไซด์ของไนโตรเจนและสารอินทรีย์ระเหยจะทำปฏิกิริยากับสารอื่นในอากาศทำให้เกิดฝุ่นละเอียดได้

ในประเทศไทยได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละออง 2 ชนิด คือ ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate, TSP) และฝุ่นขนาดเล็ก ( $PM_{10}$ ) โดยให้ความหมายไว้ดังนี้ ฝุ่นรวม (TSP) หมายถึง ฝุ่นขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ส่วนฝุ่นขนาดเล็ก ( $PM_{10}$ ) หมายถึงฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา ซึ่งเป็นปัญหามลพิษสำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ.2550 (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

### 2.1.2 แหล่งกำเนิดของฝุ่น

ฝุ่นละอองที่แขวนลอยฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศทั่วไปนั้น อาจเกิดได้จากแหล่งกำเนิดโดยตรงแล้วแพร่สู่บรรยากาศหรือเกิดจากปฏิกิริยาต่างๆ ในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ หรือปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีแสง (Photochemical Reaction) ทำให้เกิดเป็นฝุ่นละอองขึ้น แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในบรรยากาศ จึงสามารถจำแนกเป็น 2 ประเภท ดังนี้

#### 1) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle)

1.1) เกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านวัสดุธรรมชาติตามธรรมชาติ ทำให้เกิดฝุ่น เช่น ดินทราย เขม่าควันจากไฟฟ้า ฝุ่นเกลือจากทะเล ภูเขาไฟ เป็นต้น

1.2) เกิดจากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลของก๊าซ (Photochemical Gas Reactions) ซึ่งเกิดระหว่างก๊าซไอโซนในธรรมชาติและสารไฮโดรคาร์บอน เป็นผลทำให้เกิดฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 0.2 ไมครอน

#### 2) ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Anthropogenic Particle) เช่น การเผาไหม้

เชื้อเพลิง การคมนาคมขนส่ง การก่อสร้าง กระบวนการต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม และการเผาวัสดุในที่โล่งแจ้ง เป็นต้น

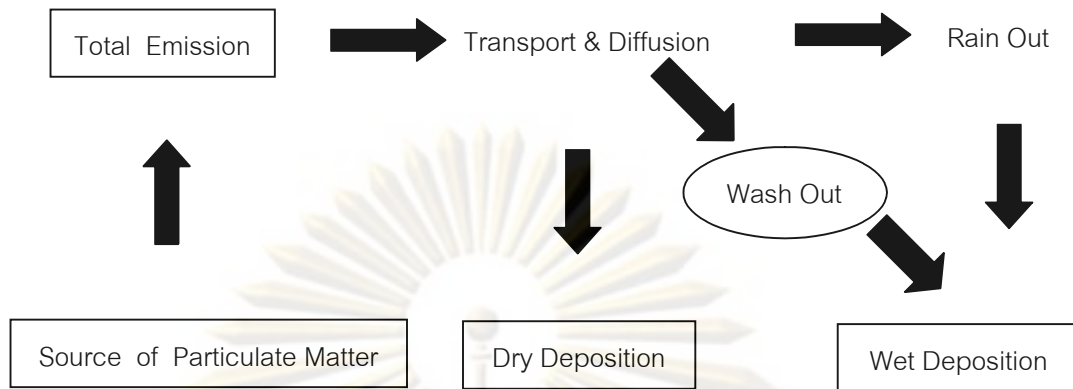
2.1) ฝุ่นจากการคมนาคมขนส่ง เกิดการเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงจากยานพาหนะหรือรถประเภทต่างๆ เช่น เครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อยควันดำ ซึ่งเป็นอนุภาคของคาร์บอนจำนวนมากที่เกิดจากสันดาปไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซล หรือการปล่อยควันขาวซึ่งเป็นละอองไอของน้ำมันหล่อลื่น เป็นต้น นอกจากนี้การขนส่งหิน ดินทราย ซีเมนต์ หรือวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ได้คลุมด้วยผ้าใบ ทำให้เกิดฝุ่นละอองหรือดินโคลนตกอยู่บนถนนและติดอยู่ที่ล้อรถ ซึ่งขณะรถแล่นจะทำให้เกิดการกระจายตัวของฝุ่นละอองอยู่ในอากาศ

2.2) ฝุ่นจากการก่อสร้าง เกิดจากการก่อสร้างอาคาร หรือการปรับปรุงระบบสาธารณูปโภค และการรื้อถอนสิ่งก่อสร้างต่างๆ ซึ่งมักมีการเปิดหน้าดินก่อนการก่อสร้าง ทำให้เกิดฝุ่นได้ง่าย โดยเฉพาะในอาคารสูงจะทำให้ฝุ่นปูนซีเมนต์ถูกลมพัดออกมาจากอาคาร และส่งผลกระทบต่อประชาชนได้ในบริเวณกว้าง

2.3) ฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม เกิดจากการประกอบการอุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซีเมนต์ โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับหิน กรวด ทราย หรือดิน สำหรับใช้ในการก่อสร้างอย่างใดอย่างหนึ่ง การย่อยหิน การร่อน การคัดกรวดหรือทราย รวมทั้งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน แกลบ เพื่อนำพลังงานไปใช้ในการผลิต ซึ่งกระบวนการผลิตที่มีฝุ่นออกมา ได้แก่ การโม่หิน การผลิตปูนซีเมนต์ การบั่นฝ้าย การเจียรโลหะ การเคลื่อนย้ายวัสดุดิบ นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมที่มีการปลดปล่อยออกไซด์ของไนโตรเจนและไฮโดรคาร์บอนออกสู่บรรยากาศ ยังสามารถทำให้เกิดฝุ่นละอองในอากาศได้จากการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอลระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจนและไฮโดรคาร์บอน

2.4) ฝุ่นจากการเผาวัสดุในเตาเผา เกิดจากการเผาขยะมูลฝอยหรือวัสดุต่างๆ จะเกิดเขม่าเป็นจำนวนมากฟุ้งกระจายไปในอากาศและลอยไปตามกระแสลมปกคลุมพื้นที่กว้าง

ฝุ่นละอองที่เกิดจากแหล่งกำเนิดชนิดต่างๆจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ แล้วอาจจะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศหรือถูกพัดพาไปในอากาศโดยกระแสลม ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมากจะแขวนลอยในบรรยากาศได้ไม่นานก็ตกกลับลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เรียกว่าการตกแบบแห้ง (Dry deposition) ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กหรือมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน จะแขวนลอยในบรรยากาศได้นานกว่า ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กนี้สามารถตกกลับแบบเปียก (Wet deposition) ได้ 2 รูปแบบ คือ อนุภาคฝุ่นจะเข้าไปในแกนกลางให้น้ำเกาะแล้วรวมตัวอยู่ในเมฆ เรียกว่า Rain out และการตกกลับโดยฝนตกชะเอาอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศลงมา ที่เรียกว่า Washout ตามรูปที่ 2.2 (กรมควบคุมมลพิษ, 2551; สำนักอนามัยกรุงเทพมหานคร, 2551)



รูปที่ 2.2 วัฏจักรของฝุ่นละอองในบรรยากาศ  
ที่มา: ศิริวรรณ, 2543

จากการศึกษาของบริษัท เเรเดียอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด เมื่อปี พ.ศ.2541 พบว่าฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานครมีที่มาจาก 5 แหล่งสำคัญ คือ ฝุ่นปลิวจากถนน ฝุ่นจากรถยนต์ ฝุ่นจากการก่อสร้าง ฝุ่นจากหม้อไอน้ำและฝุ่นจากโรงไฟฟ้า ฝุ่นปลิวจากถนนเกิดจากการวิ่งของยานยนต์ ในปี พ.ศ.2539 มีฝุ่นจากแหล่งนี้ประมาณ 20,378 ตัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 33.2 ของฝุ่นจากทุกแหล่ง แหล่งกำเนิดที่สำคัญอีกแหล่ง คือ ฝุ่นจากหม้อไอน้ำ ซึ่งทำให้เกิดฝุ่นประมาณ 18,115 ตัน/ปี(29.5%)ในปีเดียวกัน ฝุ่นจากยานยนต์เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ทำให้เกิดฝุ่นค่อนข้างมากเช่นกัน ประมาณ 14,043 ตัน/ปี (22.8%)ฝุ่นบางส่วนจะมาจากโรงไฟฟ้าประมาณ 7,191 ตัน/ปี (11.7%)และการก่อสร้างประมาณ 1,752 ตัน/ปี (2.9%) ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการปล่อยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

| ประเภทแหล่งกำเนิด | อัตราการปล่อย (ตัน/ปี) | เปอร์เซ็นต์ (%) |
|-------------------|------------------------|-----------------|
| ฝุ่นปลิวจากถนน    | 20,378                 | 33.2            |
| หม้อไอน้ำโรงงาน   | 18,115                 | 29.5            |
| ยานยนต์           | 14,043                 | 22.8            |
| โรงไฟฟ้า          | 7,191                  | 11.7            |
| การก่อสร้าง       | 1,752                  | 2.9             |
| รวม               | 61,492                 | 100             |

ที่มา: บริษัท เเรเดียอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด, 2541

### 2.1.3 ผลกระทบของฝุ่น

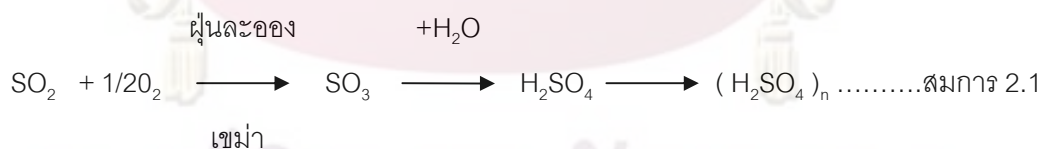
ผลกระทบของฝุ่นเกิดมาจาก 3 สาเหตุ ได้แก่ ฝุ่นเป็นพิษเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีหรือลักษณะทางกายภาพ ฝุ่นเข้าไปรบกวนระบบหายใจ และฝุ่นเป็นตัวพาหรือดูดซับสารพิษและพาเข้าสู่ร่างกาย (นพภาพร และคณะ, 2547) ซึ่งจะส่งผลต่อสภาพบรรยากาศ วัตถุและสิ่งก่อสร้างพืช และสุขภาพของมนุษย์ ดังนี้

#### 1) ผลกระทบต่อสภาพบรรยากาศทั่วไป

เนื่องจากฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศมีทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว ซึ่งสามารถดูดซับและหักเหได้ จึงลดความสามารถในการมองเห็น (Visibility) ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นเสื่อมลง ซึ่งถ้ามีปริมาณอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศมากจนกลายเป็นหมอก อาจรบกวนการมองเห็นมากจนอาจทำให้เกิดอันตรายในการสัญจรได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้นๆ

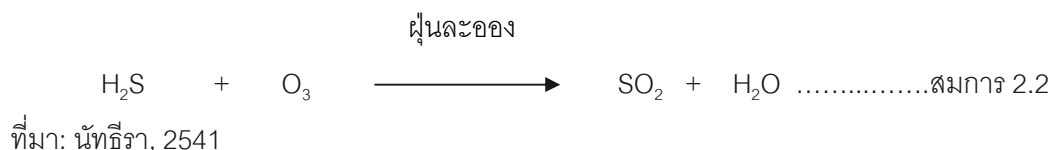
ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการศึกษาผลกระทบของอนุภาคฝุ่นละอองต่อความสามารถในการมองเห็น พบว่าช่วงของการมองเห็นลดลงถึง 70 เปอร์เซ็นต์จากสภาวะเดิม ทางด้านทิศตะวันตกของสหรัฐอเมริกาสามารถมองเห็นได้ในระยะทางเพียง 14 – 24 ไมล์ ซึ่งจากเดิมมองเห็นได้ถึง 90 ไมล์ ส่วนทิศตะวันออกในปัจจุบันสามารถมองเห็นได้ในระยะทางเพียง 33 – 90 ไมล์ ซึ่งจากเดิม คือ 140 ไมล์ สำหรับในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล การมองเห็นเริ่มลดลง ซึ่งสังเกตได้จากสภาพเหมือนหมอกและควันปกคลุมหนาแน่นมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเช้าตรู่ของบางวันในฤดูหนาว

นอกจากนี้ละอองยังเข้าไปมีส่วนทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาและ/หรือทำให้เกิดมลภาวะในอากาศรุนแรงขึ้น โดยเฉพาะเกิดร่วมกับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในอากาศ เช่น



ที่มา: นัทธีรา, 2541

ซึ่งจะได้กรดซัลฟูริกที่อันตรายรุนแรงต่อทางเดินหายใจ และสิ่งแวดล้อม ดังกรณีตัวอย่างการเกิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญ คือ โฟโตเคมีคัลสม็อก (Photochemical Smog) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ก็สามารถเกิดปฏิกิริยากับโอโซนได้ก๊าซซัลเฟอร์ออกมาได้อีก ถ้ามีอนุภาคในบรรยากาศช่วย และปฏิกิริยาก็จะยิ่งเกิดเร็วขึ้นถ้ามีอนุภาคในบรรยากาศมาก ดังตัวอย่างปฏิกิริยาต่อไปนี้



## 2) ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองสามารถทำอันตรายต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ โดยฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศจะตกลงตามแรงดึงดูดของโลก แล้วเกาะติดวัตถุและสิ่งก่อสร้างต่างๆ ทำให้เกิดการสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ และเกิดความสกปรกของวัตถุ

นอกจากนี้อนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยยังมีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ไว้ที่พื้นผิวของอนุภาค หรือจากชนิดของอนุภาคฝุ่นละอองเองที่เป็นชนิดที่มีสภาพเป็นกรดหรือมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอันตราย เมื่อเกาะติดวัสดุหรือสิ่งก่อสร้างจึงสามารถทำอันตรายต่อสิ่งต่างๆ เหล่านี้ได้ เช่น ทำให้เกิดการสึกกร่อนของวัสดุที่ทำจากโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง ทำให้เกิดความเสียหาย เช่น ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของผลงานทางศิลปะ การผุกร่อนของหลังคาสังกะสี เป็นต้น

## 3) ผลกระทบต่อพืช

ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถตกลงมาสู่พืช แล้วจับเกาะกระจบบนส่วนต่างๆ ของพืช โดยเฉพาะใบซึ่งเป็นส่วนที่มีพื้นผิวมาก และรับการตกลงมาเกาะของอนุภาคฝุ่นละอองได้ดี ดังนั้นจึงไปขัดขวางการหายใจของพืช ทำให้พืชหายใจได้อย่างจำกัด เป็นผลให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงลดลง ฝุ่นละอองที่ปิดปากใบยังทำให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในมากขึ้น จึงมีส่วนเร่งรัดหรือขัดขวางการเจริญเติบโตของพืชได้ และถ้าฝุ่นละอองนั้นมีสารพิษปะปนอยู่ เช่น โลหะหนัก หรือปุ๋ยเคมี จะทำให้พืชได้รับพิษเพิ่มจากสารต่างๆ นั้นอีกด้วย

## 4) ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์

ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ ก่อให้เกิดปัญหาหามลพิษ หรือเหตุเดือดร้อนรำคาญ ส่วนฝุ่นละอองที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ มีขนาดตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองขนาดเล็กเหล่านี้ เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจจะเกาะตัวหรือตกตัวได้ในส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ก่อให้เกิดการระคายเคือง และทำลายเนื้อเยื่อของอวัยวะนั้นๆ เช่น เนื้อเยื่อปอด ซึ่งหากได้รับในปริมาณมาก หรือในช่วงเวลานานจะสามารถสะสมในเนื้อเยื่อปอด เกิดเป็นพังผืดหรือแผลขึ้นได้ และทำให้การทำงานของปอด เสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลม

อักเสบ เกิดหอบหืด ถุงลมโป่งพอง และโอกาสเกิดโรกระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากการติดเชื้อเพิ่มขึ้นได้ ในสหรัฐอเมริกาพบว่า ผู้ที่ได้รับฝุ่น  $PM_{10}$  ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรคหอบหืดและ ฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอด และเกี่ยวข้องกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคหืดหอบ และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนปกติด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2551)

วิธีการที่ฝุ่นละอองเข้าสู่ร่างกายมี 3 วิธี คือ ทางจมูก ทางปาก และทางผิวหนัง

- ทางจมูก โดยการหายใจเข้าไป ซึ่งฝุ่นละอองจะเข้าสู่ร่างกายโดยวิธีนี้มากที่สุด
- ทางปาก ได้รับโดยการที่ฝุ่นละอองในอากาศตกลงสู่อาหารแล้วมนุษย์กินเข้าไป ซึ่งโดยวิธีการนี้ฝุ่นละอองติดเข้าไปไม่มากนัก

- ทางผิวหนัง ฝุ่นละอองจะปลิวมาติดอยู่ตามผิวหนัง จะดูดซับน้ำและน้ำมันออกทำให้ผิวหนังเกิดการระคายเคือง ทำให้เป็นผื่นคันได้

ผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีผลต่อสุขภาพมนุษย์แบ่งออกได้ดังนี้

#### 4.1) ผลกระทบต่อภายนอกร่างกาย

ฝุ่นละอองขนาด 0.4 – 0.9 ไมครอน จะสามารถกั้นทางเดินของแสง ทำให้การมองเห็นในระยะไกลไม่ชัดเจน ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทได้รับความรู้สึกของร่างกาย เช่น ตา จมูก คอ เป็นต้น

#### 4.2) ผลกระทบเมื่อฝุ่นเข้าสู่ร่างกาย

ฝุ่นละอองที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้จะมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่จะติดอยู่บริเวณโพรงจมูกและทางเดินหายใจส่วนบน อาจถูกกำจัดออกมาด้วยการไอ จาม หรือกลืนเข้าไป ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่าก็อาจสามารถติดที่ทางเดินหายใจได้มาก เมื่อมีอัตราการหายใจต่ำๆ และสามารถเข้าไปสะสมอยู่ถุงลมปอดได้เนื่องจากถูกพาเข้าไปด้วยความเร็วลมจากการหายใจเข้า มีการสัมผัสกับส่วนต่างๆ ของหลอดลมและถูกแรงโน้มถ่วงพัดให้ตกลงสู่ถุงลมปอด ซึ่งอาจถูกขับออกจากร่างกายได้โดยกลไกของร่างกายหรือติดค้างอยู่ในถุงลมของปอดตลอดไป ซึ่งฝุ่นละอองเหล่านี้ อาจถูกขับออกจากร่างกายได้โดยกลไกของร่างกายหรืออาจติดค้างอยู่ในปอดตลอดไป ดังนั้นขนาดของฝุ่นละอองจึงมีผลต่อการฝังตัวในระบบทางเดินหายใจ โดยฝุ่นละอองขนาด 1 – 2 ไมครอน สามารถฝังตัวติดในระบบทางเดินและเข้าไปในถุงลมได้มาก ขณะที่ฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะไม่สามารถเข้าสู่ถุงลมปอดได้

กล่าวโดยสรุปถึงอันตรายของฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อบรรยากาศทั่วไป ต่อวัตถุก่อสร้าง ต่อพืชและต่อมนุษย์นั้น จะก่อให้เกิดอันตรายหรือความเสียหายมาน้อยเพียงใด จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ปริมาณที่ได้รับ ระยะเวลาที่ได้รับ และการเกิดปฏิกิริยาซึ่งแตกต่างกัน

## 1.7 สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนหรือสารพีเอเอช เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป จัดเรียงเป็นเส้นตรง เป็นมุม หรือเป็นกลุ่ม มีเฉพาะอะตอมของไฮโดรเจนและคาร์บอน โดยทั่วไปสารพีเอเอชที่อุณหภูมิปกติจะเป็นของแข็ง มีจุดเดือด จุดหลอมเหลวสูง ความดันไอต่ำ ละลายน้ำได้น้อยมากโดยการละลายจะขึ้นอยู่กับมวล สารพีเอเอชเป็นสารที่เฉื่อย และสามารถสลายตัวในสิ่งแวดล้อมด้วยปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยแสง (photodecomposition) และปฏิกิริยาที่เกิดกับไนโตรเจนออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซัลฟิวริกแอซิด โอโซน และไฮดรอกซี เรดิคัล (เมทินี, 2548)

สารพีเอเอชในบรรยากาศโดยทั่วไป จะเกิดจากกระบวนการควบแน่นหรือการดูดซับ ทำให้เกิดสารพีเอเอชใน 2 สถานะ ได้แก่ สถานะก๊าซ (gas phase) และสถานะที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (Particle-bound PAHs, p-PAHs) โดยสารพีเอเอชจะอยู่ในสถานะใดขึ้นกับความดันไอของสารพีเอเอช จำนวนอนุภาคหรือพื้นที่ผิวที่สารพีเอเอชดูดติดผิว ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยา และความคงตัวของสารพีเอเอชนั้น (Yamasaki และคณะ, 1982) จากการศึกษาพบว่าสารพีเอเอชจะอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิสูงกว่า 150 องศาเซลเซียส และจะเกาะกับซีเฝ้าลอยที่อุณหภูมิต่ำกว่านั้น (Chetwittayachan และคณะ, 2002) จากการศึกษาโครงสร้างแบบชั้น (shell structure) สารพีเอเอชจะเกาะอยู่บนอนุภาคที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก จากนั้นสารพีเอเอชจะถูกปกคลุมด้วยสารในกลุ่ม high volatile ชนิดอื่นอีกชั้นหนึ่ง นอกจากนี้ Ventakaraman และคณะ (1999) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของสารพีเอเอชที่พบในเขตเมือง โดยจำแนกลักษณะของอนุภาคเป็น 3 ลักษณะ (Chetwittayachan และคณะ, 2002) คือ

1) สารพีเอเอชที่เกาะอยู่บนอนุภาคที่มีแกนเป็นธาตุคาร์บอน ซึ่งมีขนาดเล็กมาก คือ เล็กกว่า  $0.1 \mu\text{m}$

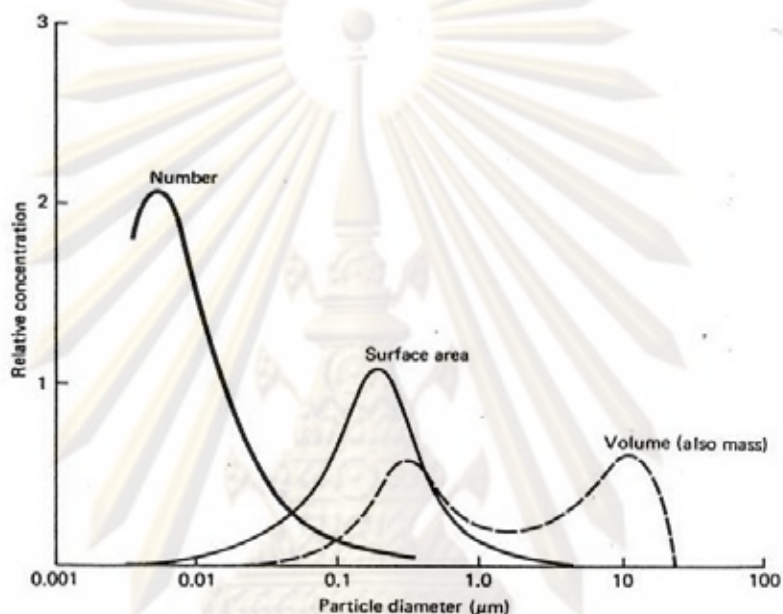
2) สารพีเอเอชที่เกาะอยู่บนอนุภาคขนาดเล็ก หรืออาจดูดซับบนอนุภาคที่มีขนาดระหว่าง  $0.1 - 2 \mu\text{m}$  ที่ถูกห่อหุ้มด้วยสารประกอบในกลุ่ม high volatility

3) สารพีเอเอชที่เข้าไปเกาะติดกับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่มีขนาด  $2 - 10 \mu\text{m}$

จากการเปรียบเทียบจำนวน พื้นที่ผิว และความเข้มข้นของฝุ่นขนาด  $0.001-100$  ไมครอน พบว่า ฝุ่นที่มีขนาดเล็กจะมีจำนวนมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ ฝุ่นที่มีขนาด  $0.1-0.5$  ไมครอนมีพื้นที่ผิวมาก และฝุ่นที่มีความเข้มข้นสูงจะเป็นฝุ่นขนาดประมาณ  $0.5$  และ  $10$  ไมครอน (Seinfeld, 1975) ดังรูปที่ 2.3 เนื่องจากฝุ่นขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมาก ดังนั้นสารพีเอเอชจึงสามารถเกาะติดกับฝุ่นขนาดเล็กได้มากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ และจากการวิจัยของคุนยิวิจัยและฝีกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้ตรวจวิเคราะห์หาปริมาณสารพีเอเอชจำนวน 6 ชนิด ที่มีอยู่ในฝุ่น



ละอองขนาดเล็กกว่า 11 ไมครอนในอากาศของกรุงเทพมหานคร 3 บริเวณ คือ ย่านธุรกิจการค้า และที่อยู่อาศัย ย่านอุตสาหกรรม และริมเส้นทางจราจร พบ benzo[ghi]perylene มีความเข้มข้นสูงสุด และมีข้อที่น่าสังเกต คือ ส่วนใหญ่สารพีเอเอชที่ปนเปื้อนในอากาศอยู่ในรูปดูดซับอยู่บนฝุ่นละอองขนาดเล็ก เนื่องจากฝุ่นขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวมากและสารพีเอเอชระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)



รูปที่ 2.3 การกระจายของฝุ่นขนาดต่างๆ ตามจำนวน พื้นที่ผิว และความเข้มข้น  
ที่มา: Seinfeld, 1975

ปริมาณและการกระจายของสารพีเอเอชจะขึ้นกับความคงตัวของสารพีเอเอชในบรรยากาศ เมื่อมีสารพีเอเอชปล่อยสู่บรรยากาศจะเข้าสู่กระบวนการต่างๆ ได้แก่

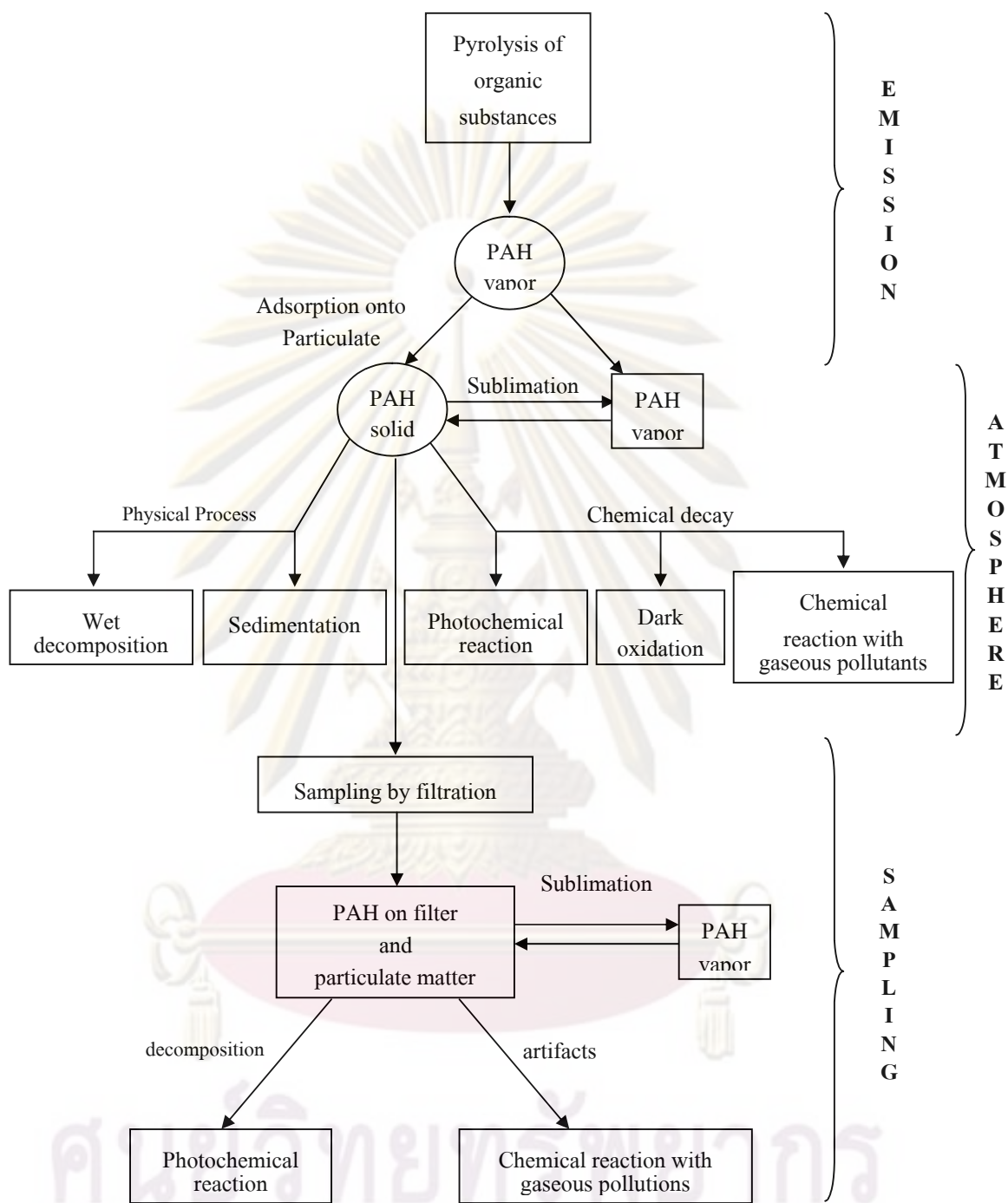
- กระบวนการทางกายภาพโดยการตกกลับของอนุภาคตามแรงโน้มถ่วงของโลกหรือแบบแห้ง (dry deposition) หรือถูกชะล้างด้วยอนุภาคน้ำ (wet deposition)
- การเคลื่อนย้าย และการเคลื่อนที่ด้วยการยกของมวลอากาศ ความปั่นป่วน (turbulence) และการเคลื่อนที่เนื่องจากความร้อนในบรรยากาศ
- การย่อยสลาย (degradation) และการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (conversion) กระบวนการเคมี หรือทำปฏิกิริยากับแสง
- การแลกเปลี่ยนสถานะระหว่างสถานะก๊าซและสถานะฝุ่นละออง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสมดุลของสถานะ

การย่อยสลาย (degradation) ของสารพีเอเอชในอากาศเกิดขึ้นจากปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยแสง (photooxidation) กับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล (hydroxyl) อัลคอกซิล (alkoxyl) และเพอรอกซิล (peroxyl) ทั้งนี้ปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลจะมีความสำคัญที่สุด การย่อยสลายของ anthracene benzo[a]anthracene และ fluoranthene ในอากาศเป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยน้ำ (hydrolysis) (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) การย่อยสลายของสารพีเอเอชในอากาศที่มีการศึกษาจำนวน 13 ชนิดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าครึ่งชีวิตน้อยกว่า 24 ชั่วโมง ยกเว้น naphthalene และ fluorine ที่มีค่าครึ่งชีวิต 29.6 และ 68.1 ชั่วโมง ตามลำดับ (Howard และคณะ, 1991) และจากการศึกษาของ Behymer และ Hites (1988) พบว่า ค่าครึ่งชีวิตของการย่อยสลายโดยแสงของสารพีเอเอชในถ้ำลอย ไม่ว่าโครงสร้างโมเลกุลจะประกอบด้วยวงอะโรเมติกกี่วงก็ตามขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของถ้ำลอย (fly ash) เช่น องค์ประกอบที่เป็นคาร์บอน พื้นผิว และสี ซึ่งมีความสำคัญมาก ถ้ำลอยยังมีสีเข้มมากเท่าใด ค่าครึ่งชีวิตของสารพีเอเอชก็ยิ่งมากคือสลายตัวได้ช้า และถ้ำลอยที่มีสีจาง ค่าครึ่งชีวิตของสารพีเอเอชก็ยิ่งน้อยคือสลายตัวได้เร็ว เหตุผลคือถ้ำลอยที่มีสีเข้มดูดกลืนแสงได้ดี ทำให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับสารพีเอเอชได้น้อย ดังนั้นการย่อยสลายจึงเกิดเพียงเล็กน้อย ครึ่งชีวิตจึงมีค่ามาก ในทางตรงกันข้ามถ้ำลอยที่มีสีจางดูดกลืนแสงได้น้อย ทำให้แสงเข้าทำปฏิกิริยากับสารพีเอเอชได้มาก การย่อยสลายด้วยแสงจึงเกิดมาก ครึ่งชีวิตจึงมีค่าน้อย

ส่วนการกลายเป็นไอ (volatilization) สารพีเอเอชเกือบทุกชนิดระเหยกลายเป็นไอได้น้อยมากที่อุณหภูมิห้อง benzo[ghi]perylene มีค่าความดันไอเพียง  $1 \times 10^{-10}$  มิลลิเมตรปรอทที่ 20 องศาเซลเซียส naphthalene มีค่าความดันไอ 1 มิลลิเมตรปรอทที่ 53 องศาเซลเซียส และระเหิดได้ที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า การกลายเป็นไอของสารพีเอเอชที่อุณหภูมิห้องได้น้อยมากหรือไม่เกิดเลย จึงไม่เป็นวิธีสำคัญที่สารพีเอเอชเข้าสู่สิ่งแวดล้อม

การเคลื่อนย้ายและปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับสารพีเอเอชในบรรยากาศตั้งแต่แหล่งกำเนิดจนถึงแหล่งรับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 การเคลื่อนย้ายและปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับสารพีเอเอชในบรรยากาศ





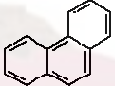
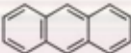
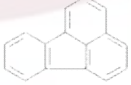
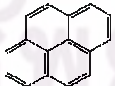
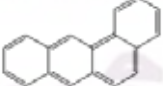
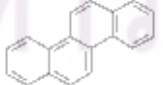
ที่มา: Masclet และ Mouvier, 1988

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

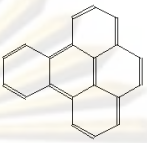
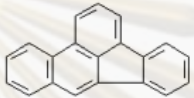

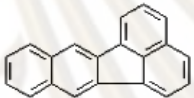
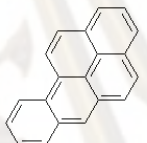
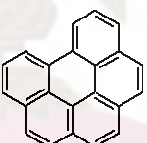

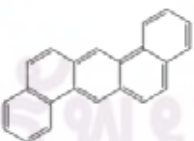


### 2.2.1 ชนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

เนื่องจากสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป และมีการจัดเรียงตัวหลายรูปแบบ จึงทำให้เกิดสารประกอบได้มากกว่า 200 ชนิด ตัวอย่างชนิดสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในบรรยากาศจำนวน 20 ชนิด เรียงตามน้ำหนักโมเลกุลแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ชนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในบรรยากาศ

| ชนิด                      | ตัวย่อ | สูตรทางเคมี    | สูตรโครงสร้าง  | น้ำหนักโมเลกุล | ระดับสารก่อมะเร็ง |
|---------------------------|--------|----------------|--|----------------|-------------------|
| <i>Naphthalene</i>        | Nap    | $C_{10}H_8$    |    | 128            | (-)               |
| <i>Acenaphthylene</i>     | Acy    | $C_{12}H_8$    |    | 152            | (-)               |
| <i>Acenaphthene</i>       | Ace    | $C_{12}H_{10}$ |   | 154            | (-)               |
| <i>Fluorene</i>           | Flu    | $C_{13}H_{10}$ |  | 166            | (-)               |
| <i>Phenanthrene</i>       | Phen   | $C_{14}H_{10}$ |  | 178            | (-)               |
| <i>Anthracene</i>         | Anth   | $C_{14}H_{10}$ |  | 178            | (-)               |
| <i>Fluoranthene</i>       | Flt    | $C_{16}H_{10}$ |  | 202            | (-)               |
| <i>Pyrene</i>             | Pyr    | $C_{16}H_{10}$ |  | 202            | (-)               |
| <i>Benzo[a]anthracene</i> | BaA    | $C_{18}H_{12}$ |  | 228            | (+)               |
| <i>Chrysene</i>           | Chr    | $C_{18}H_{12}$ |  | 228            | (+/-)             |

ตารางที่ 2.3(ต่อ) ชนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในบรรยากาศ

| ชนิด                  | ตัวย่อ | สูตรทางเคมี    | สูตรโครงสร้าง  | น้ำหนักโมเลกุล | ระดับสารก่อมะเร็ง |
|-----------------------|--------|----------------|--|----------------|-------------------|
| Benzo[e]pyrene        | BeP    | $C_{20}H_{12}$ |    | 252            | (-)               |
| Benzo[b]fluoranthene  | BbF    | $C_{20}H_{12}$ |    | 252            | (++/+++)          |
| Perylene              | Per    | $C_{20}H_{12}$ |    | 252            | (-)               |
| Benzo[k]fluoranthene  | BkF    | $C_{20}H_{12}$ |    | 252            | (+)               |
| Benzo[a]pyrene        | BaP    | $C_{20}H_{12}$ |   | 252            | (++++)            |
| Benzo[ghi]perylene    | BghiP  | $C_{22}H_{12}$ |  | 276            | (±)               |
| Indeno[123cd]pyrene   | Ind    | $C_{22}H_{12}$ |  | 276            | (++)              |
| Dibenzo[ah]anthracene | DBahA  | $C_{22}H_{14}$ |  | 278            | (+++ / +++)       |
| Anthanthrene          | Ant    | $C_{22}H_{12}$ |  | 278            | (+/++)            |
| Coronene              | Cor    | $C_{24}H_{12}$ |  | 300            | (-)               |

|                   |   |
|-------------------|---|
| ระดับสารก่อมะเร็ง | (-) ไม่มีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งในสัตว์                      |
|                   | (±) ไม่มีหลักฐานแน่ชัดหรือมีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งระดับน้อย |
|                   | (+) มีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งระดับน้อย                       |
|                   | (++) มีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งระดับปานกลาง                   |
|                   | (+++) มีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งระดับรุนแรง                   |
|                   | (++++) มีหลักฐานว่าเป็นสารก่อมะเร็งระดับรุนแรงมาก               |

ที่มา: International Agency for Research on Cancer (IARC), 1983

หมายเหตุ : ตัวพิมพ์เอียง คือ สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

### 2.2.2 แหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารพีเอเอชในบรรยากาศเกิดจากแหล่งกำเนิดหลัก 2 ประเภท คือ แหล่งกำเนิดที่เป็นกระบวนการตามธรรมชาติและแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์

#### 1) แหล่งกำเนิดจากกระบวนการตามธรรมชาติ

การเกิดไฟฟ้าและภูเขาไฟระเบิด เป็นแหล่งกำเนิดหลักของสารพีเอเอชจากธรรมชาติ เช่น ในประเทศแคนาดา พบสารพีเอเอชในบรรยากาศที่เกิดจากไฟฟ้าประมาณ 2,000 ตัน/ปี (Environment Canada, 1994 อ้างใน IPCS, 1998) และพบ Benzo(a)pyrene ที่เกิดจากภูเขาไฟระเบิด 1.2 – 1.4 ตัน/ปี

#### 2) แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์

##### 2.1) แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่

##### 2.1.1) อาคารบ้านเรือนและที่อยู่อาศัย

สารพีเอเอชในอาคารบ้านเรือนและที่อยู่อาศัย เกิดจากการให้ความร้อนภายในบ้านเรือนรวมทั้งการสูบบุหรี่ เนื่องจากในฤดูหนาวมีอุณหภูมิต่ำจึงมีการให้ความร้อนภายใน ที่อยู่อาศัย โดยมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อน เช่น กิ่งไม้ ถ่านหิน และถ่านโค้ก ซึ่งการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงเหล่านี้ทำให้เกิดสารพีเอเอชได้ ในประเทศอินเดียประชาชนใช้ไม้และถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหลักในการให้ความร้อนภายในที่อยู่อาศัย พบว่ามีความเข้มข้นของ Benzo(a)pyrene สูงกว่า  $120 \text{ ng/m}^3$  และความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดมีค่าอยู่ในช่วง  $1.3 - 200 \text{ ng/m}^3$  โดยสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่ Benzo(a)pyrene, Benzo(g,h,i)perylene และ Benzo(b)fluoranthene (Chakraborti และคณะ, 1988) ใน Christchurch ประเทศนิวซีแลนด์ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดจากเครื่องทำความร้อนในที่อยู่อาศัยมีค่าตั้งแต่  $1 - 210 \text{ ng/m}^3$  โดยชนิดที่มีความเข้มข้นสูง คือ Benzo(g,h,i)perylene และ

Coronene ซึ่งมีความเข้มข้นสูงกว่า  $43 \text{ ng/m}^3$  (Cretney และคณะ, 1985) ในเมือง Esen – Vogelheim ประเทศเยอรมัน พบสารพีเอเอชมีความเข้มข้นสูงในพื้นที่ที่อยู่อาศัยเนื่องจากการให้ความร้อนโดยใช้ถ่านหิน โดยพบ benzo(a)anthracene, benzo(b)fluoranthene และ Chrysene มีความเข้มข้นสูงกว่า  $260 \text{ ng/m}^3$  (Grimmer, 1980 อ้างใน IPCS, 1998)

IPCS (1998) ตรวจสอบวัดความเข้มข้นสารพีเอเอชในบรรยากาศของเยอรมนีตะวันออกและเยอรมนีตะวันตก พบว่าความเข้มข้นสารพีเอเอชในพื้นที่ชนบทของเยอรมนีตะวันออกสูงกว่าเยอรมนีตะวันตก 3 – 12 เท่า ความเข้มข้นของสารพีเอเอชทั้งสองแห่งแตกต่างกันเล็กน้อย โดยในเยอรมนีตะวันออกมี fluoranthene และ pyrene เท่ากับ  $110 \text{ ng/m}^3$  และ  $63 \text{ ng/m}^3$  ตามลำดับ ในเยอรมนีตะวันตกมี fluoranthene และ pyrene เท่ากับ  $36 \text{ ng/m}^3$  และ  $28 \text{ ng/m}^3$  ตามลำดับ ความแตกต่างของทั้ง 2 แห่งเกิดจากชนิดของถ่านหินที่ใช้และการเผาไหม้ถ่านหิน

สารพีเอเอชที่เกิดจากการสูบบุหรี่ มาจากควันที่เกิดจากบุหรี่โดยตรง (main stream) และควันรอบมวนบุหรี่ (side stream) พบว่าสารพีเอเอชที่มาจากควันรอบมวนบุหรี่มี pyrene 39 – 101 ไมโครกรัม/บุหรี่ 100 มวน และมี fluoranthene 126 ไมโครกรัม/บุหรี่ 100 มวน ส่วนควันที่เกิดจากบุหรี่โดยตรง พบ pyrene 5 – 27 ไมโครกรัม/บุหรี่ 100 มวน และพบ fluoranthene 1 – 27.2 ไมโครกรัม/บุหรี่ 100 มวน (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

#### 2.1.2) อุตสาหกรรม

แหล่งกำเนิดสารพีเอเอชจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของสารอินทรีย์ ประกอบด้วย อุตสาหกรรมโรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการผลิตโดยใช้ถ่านหิน น้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรมที่มีกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินและถ่านโค้ก การกลั่นปิโตรเลียม อุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตถ่านคาร์บอน ยารักษาเนื้อไม้ เพื่อป้องกันแมลง น้ำมันดิบ และปิทูเมน กระบวนการผลิตอะลูมิเนียม เหล็ก เหล็กกล้า ในโรงงานอุตสาหกรรมและกระบวนการหล่อแบบขึ้นรูป โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน และเตาเผาขยะ เป็นต้น

Khesina (1994) ตรวจสอบวัดสารพีเอเอชใกล้กับโรงงานน้ำมันในเมืองมอสโคว พบความเข้มข้น benzo(a)pyrene ในบรรยากาศสูงกว่า  $13 \text{ ng/m}^3$  และจากการตรวจวัดบริเวณที่มีมลพิษสูงใน 39 สถานี บริเวณพื้นที่ส่วนบนของ Silesia ประเทศโปแลนด์พบ benzo(a)pyrene  $950 \text{ ng/m}^3$  และ perylene  $270 \text{ ng/m}^3$

ใน Hoyanger ประเทศนอร์เวย์ ตรวจสอบวัดความเข้มข้นสารพีเอเอชบริเวณที่ใกล้กับโรงงานถลุงอะลูมิเนียม พบ Phenanthrene ในบรรยากาศที่ความเข้มข้นระดับสูง ซึ่งมาจากการปนเปื้อนในโรงงานอุตสาหกรรม (Thrane, 1987) ใน Sundsvall ประเทศสวีเดนบริเวณ

พื้นที่ที่ใกล้กับโรงงานผลิตอะลูมิเนียมพบ Phenanthrene 310 ng/m<sup>3</sup> naphthalene 190 ng/m<sup>3</sup> pyrene 120 ng/m<sup>3</sup> fluorene 84 ng/m<sup>3</sup> (IPCS, 1998)

ใน Ontario ประเทศแคนาดา บริเวณใกล้กับโรงงานเหล็กกล้าพบ benzo(k)fluoranthene ในบรรยากาศสูงกว่า 140 ng/m<sup>3</sup> perylene 110 ng/m<sup>3</sup> benzo(a)pyrene 90 ng/m<sup>3</sup> benzo(g,h,i)perylene 90 ng/m<sup>3</sup> และ fluoranthene 43 ng/m<sup>3</sup> (IPCS, 1998)

สารพีเอเอชที่เกิดจากเตาเผาขยะ โดยส่วนมากเกิดจากพลาสติกพวก polystyrene polyethylene และ polyvinyl chloride ในเมือง British ประเทศอังกฤษเก็บตัวอย่างอากาศจากปลายท่อเตาเผาขยะชุมชน พบ pyrene 1.6 µg/m<sup>3</sup> benz(a)anthracene กับ chryrene 0.72 µg/m<sup>3</sup> fluorene 0.58 µg/m<sup>3</sup> benzo(g,h,i)perylene 0.42 µg/m<sup>3</sup> benzo(b,j,k)fluoranthene 0.32 µg/m<sup>3</sup> perylene 0.18 µg/m<sup>3</sup> indeno(1,2,3-cd) และ pyrene 0.18 µg/m<sup>3</sup> (Davies และคณะ, 1976)

## 2.2) แหล่งกำเนิดแบบเคลื่อนที่

แหล่งกำเนิดสารพีเอชแบบเคลื่อนที่ที่สำคัญมาจากการจราจร โดยมาจากไอเสียจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน(เมทินี, 2548) ปริมาณพีเอชที่ปล่อยออกมาขึ้นขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) ซึ่งการตรวจวัดสารพีเอชโดยส่วนมากจะตรวจวัดสารพีเอชที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย เนื่องจากสารพีเอชที่อยู่ในรูปก๊าซสามารถระเหยและสลายตัวได้ง่ายในบรรยากาศ ทำให้การเก็บตัวอย่างลำบาก ส่วนสารพีเอชที่มีโมเลกุลสูงจะดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย ซึ่งสามารถเข้าสู่ระบบหายใจของมนุษย์ได้ โดยเฉพาะสารพีเอชในกลุ่มที่จัดเป็นสารก่อมะเร็ง สารพีเอชที่มาจากรถยนต์เบนซินส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงอยู่ในรูปก๊าซ ส่วนรถยนต์ประเภทดีเซลเมื่อสารพีเอชที่อยู่ในน้ำมันถูกเผาไหม้ภายในเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิสูง ออกมาภายนอกเครื่องยนต์อุณหภูมิต่ำกว่า จึงเกิดการควบแน่นอยู่บนฝุ่นละออง

Miguel และคณะ (1998) ศึกษาการปลดปล่อยสารพีเอชจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลและก๊าซโซลีนบริเวณถนน โดยทำการตรวจวัดบริเวณอ่าว San Fransico ในอูโมงค์ Caldecott ช่วงฤดูร้อนในปี 1996 โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรกคือเก็บตัวอย่างที่ปล่อยจากรถบรรทุก (Heavy-duty diesel truck) และประเภทที่สองคือเก็บตัวอย่างที่ปล่อยจากยานพาหนะขนาดเล็ก (Light-duty vehicles) จากการศึกษพบว่าสารมลพิษจากยานพาหนะขนาดเล็กและรถบรรทุกมีค่า 30±2 และ 1,440±160 mg เขม่าควัน/kg น้ำมันตามลำดับ ดังนั้นรถบรรทุกที่ใช้น้ำมันดีเซลจึงเป็นแหล่งกำเนิดหลักในการปล่อยสารพีเอช Lee และคณะ (1995) ศึกษาความเข้มข้นสารพีเอช (mg/l) ในน้ำมันเชื้อเพลิง 5 ชนิด คือ Premier gasoline, 92 Unleaded gasoline, 95 Unleaded gasoline, Two Stroke gasoline และ



Diesel โดยนำน้ำมันมาจากบ่อบำบัดในเมือง Tainan ของไต้หวันมาวิเคราะห์ พบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงทั้ง 5 ชนิด มี Nap, Acy, และ Ace เป็นส่วนประกอบหลัก (ประมาณ 40 %) และพบว่าความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอชจากเชื้อเพลิงประเภทดีเซลมีปริมาณสูงถึง  $7,341 \pm 1,491$  m/l โดยชนิดสารพีเอเอชที่พบมาก คือ Acy, Ace, Flu, Phe, Ant, Fluor, Pyr, Chry, BaA, Cor และ BkF จากการศึกษาสารพีเอเอชที่ปล่อยมาจากไอเสียรถยนต์ดีเซล และเบนซิน พบว่า Ace, Fluor, Flu, Phe, Pyr, Chry และ Bep มาจากรถยนต์ดีเซล ส่วน Flu, Chry, Ind, Bghip, Cyc และ Cor มาจากรถยนต์เบนซิน (e.g. Yang และคณะ, 1998; Kulkarni and Venkataraman, 2000; Ho และคณะ, 2002; Caricchia และคณะ, 1999; Omar และคณะ, 2002)

สารพีเอเอชที่ปรากฏในพื้นที่เมืองมีหลากหลายชนิด ชนิดของสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นค่อนข้างสูง คือ Benzo[a]pyrene Benzo[g,h,i]perylene Phenanthrene fluoranthene และ Pyrene ในลอนดอนประเทศอังกฤษ พบความเข้มข้นรวมของสารพีเอเอชที่ระดับ 43–640 ng/m<sup>3</sup> ซึ่ง 80% ประกอบด้วย Phenanthrene fluorine และ fluoranthene และประมาณ 1% หรือน้อยกว่านั้น คือ benzo[a]pyrene และ benz[a]anthracene (Clayton และคณะ, 1992)

### 2.2.3 ผลกระทบของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

โดยทั่วไป โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษเฉียบพลันต่ำ ในสิ่งมีชีวิตชั้นสูงจะพบความเป็นพิษเรื้อรัง การได้รับแบบเรื้อรังอาจทำให้เกิดความเป็นพิษต่อระบบต่างๆของร่างกายได้ แต่อาการไม่รุนแรงนัก ความเป็นพิษที่สำคัญของพีเอเอช คือความสามารถในการก่อมะเร็งในอวัยวะหลายชนิด แต่ไม่มีผลต่อการพัฒนาของตัวอ่อนและพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต

สารพีเอเอชที่เป็นสารก่อมะเร็งจะมีฤทธิ์เป็นสารก่อเกิดการกลายพันธุ์ (Mutagenicity) ด้วย สารพีเอเอชบางชนิดเมื่อเข้าสู่ร่างกายจะถูกเมตาโบไลต์โดยเอนไซม์ cytochrome P-450 ทำให้เกิดการเติมหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ที่เป็นวงเบนซีนได้เป็นสารอนุพันธ์ epoxide ซึ่งเป็นสารที่ว่องไวมาก สามารถสร้างพันธะโควาเลนต์ได้ดีกับสารพวกโปรตีนและกรดนิวคลีอิก จากการศึกษาตำแหน่งบนโครงสร้าง DNA พบว่าเบสและหมู่ฟอสเฟต เป็นตำแหน่งที่สร้างพันธะโควาเลนต์กับสารก่อมะเร็ง (โพลิน, 2546)

ความเป็นพิษต่อระบบประสาทจากการได้รับสารพีเอเอช พบว่า Naphthalene ทำให้เกิดอาการทางประสาทในเด็กทารกได้ เช่น มีอาการเซื่องซึม การร้องไห้ลดลง มีดีซ่านในสมอง

(kernicterus) อาการเหล่านี้เกิดจากการขาดออกซิเจนในสมองซึ่งเป็นผลของภาวะโลหิตจางที่เกิดจากเม็ดเลือดแตก (hemolytic anemia) (U.S.EPA, 1999)

สารพีเอเอชสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายวิธี ทั้งโดยการกินอาหารที่ปนเปื้อนสารพีเอเอช สูดดมไอระเหยหรือเขม่าควันไฟที่มีสารพีเอเอชผสมอยู่ หรือโดยการสัมผัสทางผิวหนัง ซึ่งมีรายงานว่าสารพีเอเอชเข้าสู่ร่างกายโดยการสูดดม โดยพบเมตาบอลไลต์ของเบนโซเอไพรีนในปัสสาวะของอาสาสมัครชายที่สูบบุหรี่ 15-20 มวนต่อวัน เป็นเวลานานกว่า 10 ปี ซึ่งเมตาบอลไลต์ในปัสสาวะของอาสาสมัครที่ยังมีสุขภาพดีมีค่าสูงกว่าในอาสาสมัครที่เป็นมะเร็งปอด และในอาสาสมัครที่กินเนื้อย่างที่ปนเปื้อนเบนโซเอไพรีนจะพบเบนโซเอไพรีนในอุจจาระ แต่จะไม่พบในอาสาสมัครที่กินเนื้อย่างที่ไม่ปนเปื้อน ส่วนการแพร่กระจายของสารพีเอเอชในสัตว์ทดลอง พบว่าเมื่อได้รับโดยการสูดดมและการกินจะแพร่ไปยัง ปอด ตับ ไต และทางเดินอาหาร หนูที่ได้รับเบนโซเอไพรีนโดยการหยอดเข้าหลอดคอ พบว่าเบนโซเอไพรีนจะกระจายไปยังปอด ตับ และทางเดินอาหาร โดยเมตาบอลไลต์ในลำไส้จะมากขึ้นเมื่อเวลานานขึ้นแสดงว่ามีการขับออกทางน้ำดีและมีการหมุนเวียนระหว่างลำไส้และตับ และสามารถแพร่ไปยังลูกอ่อนในครรภ์ได้ แต่ไม่มีรายงานเกี่ยวกับการแพร่กระจายหลังการสัมผัสทางผิวหนัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2542)

จากงานวิจัยของ Monterio, Reis-Henriques และ Coimbra ในปี 2000 พบว่า สารพีเอเอชมีผลรบกวนระบบต่อมไร้ท่อในปลาและมีผลกระทบต่อสเตอรอยด์ฮอร์โมนในกลุ่มอาร์โทรพอด และมีผลต่อการลอกคราบของปูคริสต์เขียนหลายชนิดที่สัมผัสกับน้ำมันดิน มักมีการลอกคราบที่ผิดปกติ (Oberdoerster และคณะ., 1999) รบกวนการสื่อสารระหว่างเซลล์ (Ghoshal และคณะ, 1999) และ แนฟทาลีน ซึ่งเป็นสารพีเอเอชชนิดหนึ่งสามารถเข้าไปจับกับโมเลกุลของตับ ไต ปอด ยับยั้งกระบวนการหายใจที่ไม่โตคอนเดรีย เป็นพิษต่อระบบประสาท ระบายเคืองต่อผิวหนังและตาก่อให้เกิดการแพ้แสง และเป็นสารก่อภูมิแพ้ที่อ่อนแอ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนระหว่างโครโมโซมคู่เหมือนมากขึ้น ยับยั้งการส่งสัญญาณผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ ลดระดับอิมมูโนโกลบูลินเอและอิมมูโนโกลบูลินจีในระบบภูมิคุ้มกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) อีกทั้งสารพีเอเอชยังมีผลต่อโครงสร้างชุมชนจุลินทรีย์ในดิน ทำให้ในดินที่มีการปนเปื้อนน้ำมันจะมีโครงสร้างจุลินทรีย์ต่างไปจากดินที่ไม่ปนเปื้อน โดยจะมีแบคทีเรียแกรมลบมากขึ้น พบ alpha-proteobacteria นอกจากนั้นจะมีปริมาณ alkane degrader และ PAH-degrader เพิ่มขึ้นด้วย (Macnaughton และคณะ, 1999)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2.3 แบบจำลองด้านอากาศ

ปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศของโลกนั้นเป็นสิ่งที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากว่ามีกระบวนการทั้งทางฟิสิกส์และเคมีเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว จึงทำให้การตรวจวัดฝุ่นละอองต่างๆ ในบรรยากาศจะได้เพียงข้อมูลซึ่งอยู่ในลักษณะของบรรยากาศ ช่วงเวลาและสถานที่นั้นๆ เท่านั้น เพราะฉะนั้นความเข้าใจในเรื่องของกระบวนการต่างๆ ของฝุ่นละอองในบรรยากาศจึงไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับกระบวนการทั้งระบบที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นจึงได้มีการจัดทำแบบจำลองเพื่อความเป็นจริงในการรวมความเข้าใจในกระบวนการทางอากาศและศึกษาถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นซึ่งกันและกัน การนำความเข้าใจทั้งในด้านการตรวจวัดและการจัดทำแบบจำลองจะเป็นวิธีการที่ทำให้เข้าใจถึงปฏิกิริยาต่างๆ ภายในบรรยากาศของโลกต่อไป แบบจำลองที่กระทำกันอยู่สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

### 2.3.1 แบบจำลองกายภาพ

เป็นการจำลองกระบวนการในบรรยากาศ โดยใช้วิธีการจัดทำแบบจำลองขนาดเล็กจากระบบหรือสภาพที่แท้จริง ซึ่งจะย่อส่วนให้มีอัตราส่วนอยู่ระหว่าง 1:100 ถึง 1: 5000 โดยให้มีสภาพและสัดส่วนของระบบหรือสถานที่เหมือนความเป็นจริงมากที่สุด จากนั้นจึงศึกษาถึงการแพร่กระจายของมลพิษในบรรยากาศจากแหล่งกำเนิด รวมทั้งผลกระทบต่อคุณภาพอากาศจากแหล่งกำเนิดนั้นๆ โดยทำการศึกษาในอุโมงค์ลม ซึ่งวิธีนี้จะให้ผลที่ถูกต้องแน่นอนมากกว่าการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับในกรณีในพื้นที่ที่เป็นที่ตั้งของแหล่งกำเนิดและพื้นที่โดยรอบมีสภาพภูมิประเทศที่สลับซับซ้อน เช่น เป็นภูเขาหรือหุบเขา แต่จะมีความยุ่งยากต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายมาก และปัญหาของระบบลักษณะนี้ยังคงมีอยู่มาก เมื่อนำไปใช้อธิบายในระบบจริงเพราะฉะนั้นการใช้แบบจำลองทางกายภาพจึงมีข้อจำกัดมาก

### 2.3.2 แบบจำลองคณิตศาสตร์

แบบจำลองคณิตศาสตร์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้ในการคาดประมาณผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อคุณภาพอากาศจากสารมลพิษที่ระบายออกสู่อากาศจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ ซึ่งจะให้ผลการคาดประมาณที่มีความถูกต้องและแม่นยำน้อยกว่าการใช้แบบจำลองย่อยส่วนทางกายภาพ แต่มีความยุ่งยากซับซ้อนน้อยกว่า รวมทั้งเสียเวลาและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าด้วย โดยที่สามารถให้ผลที่มีความถูกต้องพอควร ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเป็นที่นิยมใช้กันทั่วไปในการประเมินผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อคุณภาพอากาศ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) แบบจำลองที่ใช้กระบวนการทางฟิสิกส์และเคมีเป็นหลัก หรือ เรียกว่า Atmospheric Chemical Transport Model แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่อ้างอิงจากแหล่งกำเนิด (Source – Based Model) เช่น Lagrangian Model, Eulerian Model และ Gaussian Plume Model เป็นต้น โดยใช้ความรู้เรื่องอัตราการปล่อยมลพิษ (Emission Rate) ของแหล่งกำเนิดและสภาวะอากาศมาพยากรณ์ความเข้มข้นทางด้านท้ายลมที่แหล่งรับ (Receptor) แต่จะมีจุดด้อยเนื่องจากข้อมูลที่ไม่มีความสมบูรณ์จากอัตราการปล่อยมลพิษ สภาวะอากาศ คุณสมบัติของมลพิษในอากาศแต่ละตัว สมมุติฐานที่ไม่เน้นความต่างเรื่องเวลาและสถานที่ของแหล่งกำเนิดทำให้ทำนายไม่ถูกต้อง

2) แบบจำลองที่ใช้แนวคิดทางสถิติเป็นหลัก แบบจำลองนี้จะมีข้อดี คือ ง่ายต่อการประยุกต์ใช้ แต่ความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่มีอยู่ยังเป็นจุดอ่อนที่สำคัญอย่างหนึ่ง จึงทำให้แบบจำลองที่ใช้สถิติจะไม่สามารถใช้ทำนายผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอัตราการปล่อยมลพิษ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แนวคิดทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการจัดการคุณภาพอากาศ แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ (1) แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษจากแหล่งกำเนิด (Source-based Model) และ (2) แบบจำลองแหล่งรับ (Receptor-based Model) ทั้งนี้แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษจากแหล่งกำเนิดเป็นการคำนวณการแพร่กระจายมลพิษจากแหล่งกำเนิดมายังแหล่งรับ ต้องใช้ข้อมูลรายละเอียดของแหล่งกำเนิด และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ตลอดจนสภาพภูมิประเทศโดยรอบในการคำนวณความเข้มข้นมลพิษที่แหล่งรับ ส่วนแบบจำลองแหล่งรับ เป็นการคำนวณย้อนกลับจากความเข้มข้นมลพิษที่แหล่งรับ เพื่อระบุถึงสัดส่วนแหล่งที่มาของแหล่งกำเนิดแต่ละประเภท ข้อดีของแบบจำลองแหล่งรับ คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแพร่กระจายของมลพิษ ได้แก่ ความเร็วลม ความคงตัวของบรรยากาศ ปริมาณมลพิษที่ระบายออก และตำแหน่งของแหล่งกำเนิดมลพิษ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวต้องใช้ในแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษจากแหล่งกำเนิด สำหรับข้อมูลที่ใช้ในข้อมูลแหล่งรับ ได้แก่ ความเข้มข้นของมลพิษและองค์ประกอบทางเคมีชนิดต่างๆ ที่พบที่แหล่งรับ และสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีของมลพิษที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิด ทั้งนี้แบบจำลองแหล่งรับมีข้อได้เปรียบในการใช้งานกับแหล่งกำเนิดแบบกระจาย (Fugitive Sources) ซึ่งคำนวณปริมาณมลพิษที่ระบายออกได้ยากลำบากเนื่องจากไม่มีข้อมูลแหล่งกำเนิดที่เพียงพอ (วงศ์พันธ์ และคณะ, 2549)

แบบจำลองแหล่งรับ มีหลายรูปแบบ ได้แก่ (1) Principle Component Analysis, PCA หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า Factor Analysis (2) Multiple Linear Regression และ (3) สมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance) โดยการคำนวณสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่กรุงเทพมหานครนี้ ใช้แบบจำลองแหล่งรับ Receptor Model, CMB 8.2 ของ U.S. EPA (U.S. EPA, 2004) ซึ่งเป็นแบบจำลองแหล่งรับที่มี

พื้นฐานของการใช้หลักการสมดุลมวลเช่นเดียวกันกับแบบจำลองแหล่งรับรูปแบบอื่นๆ และใช้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีที่แหล่งรับและของแหล่งกำเนิด ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงสัดส่วนแหล่งกำเนิดแต่ละประเภทโดยตรง โดยจะต้องมีข้อมูลสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดที่ครบถ้วนจึงจะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง ทั้งนี้สามารถพิจารณาข้อมูลแหล่งรับเพื่อคำนวณสัดส่วนแหล่งกำเนิดในแต่ละวันได้

#### 2.4 แบบจำลองสมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance [CMB] Receptor Model)

แบบจำลองสมดุลมวลเคมี สามารถแสดงด้วยสมการเส้นตรงซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีแต่ละชนิดที่แหล่งรับ กับผลรวมของผลคูณระหว่างสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีในแหล่งกำเนิดแต่ละประเภท (Source Profiles) และสัดส่วนของแหล่งกำเนิด แต่ละประเภทที่มาถึงแหล่งรับ (Source Contributions) แสดงเป็นสมการ ดังนี้

$$C_i = \sum F_{ij} \cdot S_j + E \quad i = 1, 2, \dots, I \quad \dots \dots \dots \text{สมการที่ 2.3}$$

เมื่อ  $C_i$  คือ ความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีชนิดที่  $i$  ที่พบในฝุ่น ซึ่งตรวจวัดได้ที่แหล่งรับ

$F_{ij}$  คือ สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีชนิดที่  $i$  ในฝุ่นที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิด  $j$  (Source Profiles จำนวน  $j$  แหล่ง)

$S_j$  คือ สัดส่วนของแหล่งกำเนิด  $j$  ที่มาถึงแหล่งรับ

$I$  คือ จำนวนองค์ประกอบทางเคมีที่ศึกษา โดยที่  $I$  ต้องเท่ากับหรือมากกว่า  $J$

$J$  คือ จำนวนประเภทแหล่งกำเนิดที่ศึกษา

$E$  คือ Uncertainty

##### 2.4.1 สมมติฐานของแบบจำลองสมดุลมวลเคมี

สมมติฐานของแบบจำลองสมดุลมวลเคมี ประกอบด้วย

- 1) ค่าความเข้มข้นองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดจะต้องมีค่าคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาที่ทำการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศและในแหล่งกำเนิด
- 2) องค์ประกอบทางเคมีที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดนั้นต้องไม่ทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน (รวมกันในเชิงเส้นตรง)

3) แหล่งกำเนิดที่มีความสำคัญต่อแหล่งรับทุกแหล่งจะต้องนำมาพิจารณา และแต่ละแหล่ง กำเนิดจะมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีลักษณะเด่น

4) จำนวนประเภทของแหล่งกำเนิดต้องเท่ากับหรือไม่มากกว่าจำนวนองค์ประกอบทางเคมี

5) สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิด (Source Profiles) แต่ละประเภทเป็นอิสระต่อกัน (Linearly Independent)

6) ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty) ของการตรวจวัดเป็นแบบสุ่ม (Random) ไม่สัมพันธ์กัน (Uncorrelated) และมีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution)

#### 2.4.2 ผลลัพธ์การประมาณสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดและดรชนีที่ใช้อธิบายแบบจำลองคุณภาพมวลเคมี

ดรชนีที่ใช้อธิบายแบบจำลองคุณภาพมวลเคมีจะใช้ในการประเมินความมีเหตุมีผล (Validity) ของผลลัพธ์การประมาณสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด (Source Contribution Estimate, SCE and CMB Performance Measures) ผลลัพธ์และดรชนีที่ใช้อธิบายแบบจำลองคุณภาพมวลเคมีมีดังนี้ (Watson, J. G., et al, 1989)

1) สัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด (Source Contribution Estimate, SCE) เป็นผลลัพธ์หลักที่จะได้จากแบบจำลองคุณภาพมวลเคมี ค่านี้ควรจะมีค่ามากกว่าศูนย์แต่จะไม่เกินความเข้มข้นฝุ่นละออง แต่ว่าการคำนวณของแบบจำลองคุณภาพมวลเคมีบางครั้งจะมีการประมาณสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดแต่ละชนิดที่เป็นลบ (Negative SCE) ซึ่งไม่มีความหมายในทางปฏิบัติ และสามารถที่จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งมีความคล้ายคลึงกันหรือเมื่อการกระจายของแหล่งกำเนิดมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

2) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) เป็นค่าที่แสดงถึงความแม่นยำของสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดและความคล้ายคลึงกัน (Collinearity) ระหว่างความเข้มข้นองค์ประกอบทางเคมีของแต่ละแหล่งกำเนิด (Profiles) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเป็นฟังก์ชันของค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลที่ป้อนเข้าไปและความคล้ายคลึงกันของสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิด ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานควรที่จะมีค่าน้อยกว่าค่าสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด

3) T-Statistic (TSTAT) เป็นอัตราส่วนระหว่างสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดกับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ค่า TSTAT ที่มีค่าสูงกว่า 2.0 แสดงให้เห็นว่าความแม่นยำของ

การทำนายสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดนั้นดีมาก แต่ว่าถ้าค่า TSTAT มีค่าน้อยกว่า 2.0 หมายความว่า การกระจายของแหล่งกำเนิดจะไม่แสดงถึงระดับที่จะเกิน 2 เท่าของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน สำหรับค่า TSTAT ที่ต่ำจะเป็นผลให้สัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดที่คำนวณได้มาจากแหล่งกำเนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกัน

#### 4) Chi-Square และ R-Square

Chi-Square เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นว่าผลบวกกำลังสองของค่าแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการคำนวณและได้จากการตรวจวัด การชี้ให้เห็นนี้จะแปรผกผันกับกำลังสองของค่าความไม่แน่นอนของสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดและแหล่งรับสำหรับองค์ประกอบทางเคมีแต่ละตัว ในทางอุดมคติแล้วค่าที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการตรวจวัดควรที่จะไม่มีความแตกต่างกันและ Chi-Square จะต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ ถ้าค่า Chi-Square มีค่าน้อยกว่า 1 จะถือว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะเข้าได้กับสมการที่สร้างมาเป็นตัวแทน ถ้าค่า Chi-Square อยู่ระหว่าง 1 – 2 ถือว่าย่างยอมรับได้ แต่ถ้าค่า Chi-Square มีค่ามากกว่า 4 แสดงว่าจำนวนธาตุหนึ่งธาตุหรือมากกว่านั้นไม่สามารถที่จะถูกอธิบายได้ดีโดยการประมาณสัดส่วนของแหล่งกำเนิด

R-Square เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าสมการความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณอธิบายความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดที่แหล่งรับดีมากเท่าใด ค่า R-Square จะหาได้จากการคำนวณทางด้านความถดถอยเชิงเส้นของค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ กับค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้จากแบบจำลองดุลยภาพมวลเคมี ค่า R-Square จะมีค่าตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง ค่า R-Square ที่ดีที่สุดคือ 1.0 คือยิ่งค่า R-Square เข้าใกล้ 1.0 มากเท่าใด การประมาณสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดจากแบบจำลองดุลยภาพมวลเคมี ก็จะสามารถอธิบายการกระจายของแหล่งกำเนิดมาที่แหล่งรับในสภาพแวดล้อมจริงได้ดีเท่านั้น ถ้าค่า R-Square น้อยกว่า 0.8 จะถือว่าการประมาณสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดไม่สามารถที่จะอธิบายข้อมูลได้ดีนักกับสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดที่นำมาใช้ จึงมีความจำเป็นต้องเปลี่ยนสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดนั้นๆ หรือเพิ่มสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดที่ยังขาดอยู่

ค่า Chi-Square และ R-Square ทั้งสองนี้มีค่าไม่ถึงเป้าหมายที่ต้องการนั้น อาจจะเนื่องมาจากสาเหตุต่อไปนี้

- แหล่งกำเนิดที่นำมาใช้ในการคำนวณในแบบจำลองดุลยภาพมวลเคมีนั้นไม่มีพอ
- สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดที่นำมาใช้นั้น ไม่ได้เป็นตัวแทนที่แท้จริงของแหล่งกำเนิดที่มีอยู่ในบริเวณนั้น

- ความแม่นยำของข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากแหล่งรับและแหล่งกำเนิดมีค่าต่ำเกินไป

- ข้อมูลที่ได้จากแหล่งกำเนิดและแหล่งรับมีค่าไม่ถูกต้อง

5) Percent Mass เป็นอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของผลบวกของค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ กับค่าความเข้มข้นของมวลทั้งหมดที่ตรวจวัดได้จริง ค่านี้ควรที่จะเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ แม้ว่าเปอร์เซ็นต์มวล (Percent Mass) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 80 – 120 เปอร์เซ็นต์ก็ถือว่ายอมรับได้

6) Uncertainty/Similarity Cluster ในส่วนนี้จะแสดงถึงผลของการวิเคราะห์เมื่อแหล่งกำเนิดมีความคล้ายคลึงกันในด้านองค์ประกอบทางเคมี หมายความว่าถ้ามีรหัสของแหล่งกำเนิด (รหัสนี้จะแทนแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งในโปรแกรมดูคุณภาพมลเคมีรุ่นที่ 7) แสดงอยู่ในส่วนนี้ จะทำให้การทำนายผลของแบบจำลองดูคุณภาพมลเคมีนั้นค่อนข้างที่จะเบี่ยงเบนออกจากความเป็นจริง ซึ่งส่วนใหญ่เหตุการณ์เหล่านี้จะเกิดขึ้นกับแหล่งกำเนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีค่อนข้างใกล้เคียงกัน เช่น ฝุ่นละอองจากดิน การเผาไหม้ของชีวมวลและไอเสียจากยานพาหนะ เป็นต้น เหตุผลอีกข้อหนึ่งที่มีรหัสของแหล่งกำเนิดปรากฏในส่วนนี้ก็คือ ค่าความไม่แน่นอนของการตรวจวัดหรือค่าความไม่แน่นอนของความเข้มข้นองค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดนั้นสูงมาก

7) Ratio R/U เป็นอัตราส่วนความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีที่คำนวณได้และตรวจวัดได้กับค่าความไม่แน่นอนขององค์ประกอบทางเคมีชนิดนั้น ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าเกิน 2.0 แสดงว่าการคำนวณของโปรแกรมแบบจำลองดูคุณภาพมลเคมีจะเน้นไปที่องค์ประกอบทางเคมีนั้นมากเกินไป แต่ถ้าอัตราส่วนนี้ต่ำกว่า - 2.0 แสดงว่าสมการกระจายแหล่งกำเนิดไปสู่องค์ประกอบทางเคมีชนิดนี้มีน้อยเกินไปหรือไม่ก็อาจจะขาดแหล่งกำเนิดที่สำคัญไป

8) Ratio C/M เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีที่คำนวณได้กับค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้จริงในบรรยากาศ พร้อมกับการคำนวณค่า Standard Error ด้วย ค่าอัตราส่วนนี้ควรจะมีค่าเท่ากับ 1.00 ถ้าแบบจำลองนี้คำนวณความถูกต้องได้ดีที่จะอธิบายความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้



## 2.5 ลักษณะภูมิประเทศและอุตุนิยมวิทยาของกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานคร เป็นเมืองหลวงซึ่งอยู่ในภาคกลางของประเทศไทย มีพื้นที่ประมาณ 1,565 ตารางกิโลเมตร ลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบ ระดับพื้นที่ลาดชันลงไปทางอ่าวไทยด้านทิศใต้ และจากลักษณะที่ตั้งของภาคกลางซึ่งทางด้านใต้เปิดโล่งลงสู่อ่าวไทย จึงรับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากอ่าวไทยอย่างเต็มที่ อีกทั้งได้รับลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากอ่าวเบงกอล ทำให้ในฤดูฝนมีฝนตกมากพอสมควร ซึ่งฤดูฝนนั้นจะเริ่มประมาณกลางเดือนพฤษภาคม และจะสิ้นสุดลงในราวกลางเดือนตุลาคม สถิติฝนรวมเฉลี่ยตลอดปีของภาคกลางนี้ในคาบ 30 ปี มีค่า 1,232.8 มิลลิเมตร จำนวนวันที่มีฝนตกตลอดปีเฉลี่ย 113.1 วัน เดือนที่มีฝนตกน้อยที่สุดคือ เดือนมกราคม โดยประเทศไทยนั้นอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิด คือ ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ

ลมมรสุม เป็นการหมุนเวียนส่วนหนึ่งของลมที่พัดตามฤดูกาล คือลมประจำฤดู เป็นลมที่มีทิศทางแน่นอนและสม่ำเสมอ สาเหตุเกิดจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นดินและพื้นน้ำ ในฤดูหนาวอุณหภูมิของพื้นดินเย็นกว่าอุณหภูมิของน้ำในมหาสมุทร อากาศเหนือพื้นน้ำจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าและลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน อากาศเหนือทวีปซึ่งเย็นกว่าไหลไปแทนที่ ทำให้เกิดเป็นลมพัดออกจากทวีป พอถึงฤดูร้อนอุณหภูมิของดินภาคพื้นทวีปร้อนกว่าน้ำในมหาสมุทร เป็นเหตุให้เกิดลมพัดในทิศทางตรงข้าม โดยลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จะพัดปกคลุมประเทศไทยระหว่างกลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงในซีกโลกใต้บริเวณมหาสมุทรอินเดีย มรสุมนี้จะนำมวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทย ทำให้มีเมฆมากและฝนชุกทั่วไป ส่วนลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดปกคลุมประเทศไทย ประมาณกลางเดือนตุลาคมจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์ มีแหล่งกำเนิดจากบริเวณความกดอากาศสูงบนซีกโลกเหนือ แถบประเทศมองโกเลียและจีน จึงพัดพาเอามวลอากาศเย็นและแห้งจากแหล่งกำเนิดเข้ามาปกคลุมประเทศไทย ทำให้ท้องฟ้าโปร่ง อากาศหนาวเย็นและแห้งแล้งทั่วไป เนื่องจากมรสุมนี้นำความชื้นขึ้นจากอ่าวไทยเข้ามาปกคลุม การเริ่มต้นและสิ้นสุดมรสุมทั้งสองชนิดอาจผันแปรไปจากปกติได้ในแต่ละปี

อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปีของภาคกลาง 28.2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุดที่เคยตรวจวัดได้ของภาคกลาง 43.5 องศาเซลเซียส ที่จังหวัดกาญจนบุรี ส่วนอุณหภูมิต่ำที่สุดที่เคยตรวจวัดได้ของภาคกลาง 5.4 องศาเซลเซียส ที่อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี สำหรับกรุงเทพมหานคร อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดทั้งปี 27.7 องศาเซลเซียส อุณหภูมิต่ำที่สุดที่เคยวัดได้ 9.9 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ 40.8 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์ของประเทศไทยโดยทั่วไป มีค่าสูงตลอดปีประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ โดยในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือหรือฤดูหนาว อากาศเย็นและแห้งแล้ง ความชื้นสัมพัทธ์จะเริ่มลดตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนเป็นต้นไป โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 77 เปอร์เซ็นต์จนถึงต่ำสุด 67 เปอร์เซ็นต์ในเดือนมีนาคม และเมื่อเข้าสู่ฤดูร้อนในเดือนมีนาคมถึงเมษายน ความชื้นสัมพัทธ์จะเริ่มสูงขึ้น แต่เนื่องจากอุณหภูมิยังอยู่ในเกณฑ์สูง ความชื้นสัมพัทธ์ในช่วงนี้จึงไม่สูงมาก มีค่าเฉลี่ยประมาณ 65-70 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดเข้าสู่ประเทศไทย ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ความชื้นสัมพัทธ์เริ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ โดยค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม

## 2.6 สถานการณ์ฝุ่นในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

การตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในปี 2548 พบว่า กรุงเทพมหานคร ยังคงประสบปัญหาหมอกพิษทางอากาศอย่างต่อเนื่อง แต่ลดระดับความรุนแรงลงเมื่อเทียบกับปี 2547 โดยบริเวณริมถนนจะมีฝุ่นขนาดเล็ก (ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน) เป็นปัญหาหลัก รองลงมาคือ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน หรือฝุ่นรวม (TSP) ส่วนบริเวณพื้นที่ทั่วไปซึ่งเป็นที่อยู่อาศัยและห่างจากถนน จะมีปัญหาเฉพาะฝุ่นขนาดเล็ก โดยฝุ่นขนาดเล็ก ( $PM_{10}$ ) ในกรุงเทพมหานคร มีปริมาณเกินมาตรฐานในหลายพื้นที่ (ค่ามาตรฐานในเวลา 24 ชั่วโมง ต้องไม่เกิน 120 มคก./ลบ.ม.) จากการตรวจวัดบริเวณริมถนน จำนวน 7 สถานี พบบริเวณริมถนนที่มีปัญหามากที่สุด คือ ดินแดง สาเหตุเนื่องมาจากการจราจรที่ทำให้เกิดการสะสมของมลพิษทางอากาศที่ระบายนจากยานพาหนะ รองลงมา คือ ถนนพระราม 6 ถนนพระราม 4 และถนนพหลโยธิน ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) มีการตรวจวัดในบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา (พื้นที่ทั่วไป) และการเคหะชุมชนดินแดง (บริเวณริมถนน) พบว่าในบริเวณริมถนนมีปริมาณ  $PM_{2.5}$  สูงกว่าบริเวณพื้นที่ทั่วไป ดังตารางที่ 2.4 เช่นเดียวกับผลการตรวจวัดของ  $PM_{10}$  และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจวัดย้อนหลัง 5 ปี (ปี 2543-2547) พบว่ามีค่าเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และจากการตรวจวัดในปี 2549-2550 ปัญหาหมอกพิษทางอากาศหลักยังคงเป็นฝุ่นขนาดเล็ก บริเวณที่มีค่าความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็กเกินมาตรฐาน ได้แก่ ถนนดินแดง ถนนพระราม 4 ถนนพระราม 6 ถนนอินทรพิทักษ์ และถนนลาดพร้าว ซึ่งเป็นพื้นที่ริมถนน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในปี 2549

| เดือน      | ค่าความเข้มข้นของ PM <sub>2.5</sub> เฉลี่ย 24 ชั่วโมง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |                    |
|------------|--|--------------------|
|            | พื้นที่ทั่วไป  | บริเวณริมถนน       |
|            | มหาวิทยาลัยราชภัฏ<br>บ้านสมเด็จเจ้าพระยา   | การเคหะชุมชนดินแดง |
| มกราคม     | 33.73  | 54.38              |
| กุมภาพันธ์ | 25.50  | 41.82              |
| มีนาคม     | 23.80  | 33.87              |
| เมษายน     | 23.22  | 36.45              |
| พฤษภาคม    | 20.90  | 41.32              |
| มิถุนายน   | 19.43  | 33.60              |
| กรกฎาคม    | 18.09  | 21.95              |
| สิงหาคม    | 15.09  | 23.92              |
| กันยายน    | 17.24  | 34.83              |
| ตุลาคม     | 26.16  | 43.15              |
| พฤศจิกายน  | 31.34  | ไม่มีข้อมูล        |
| ธันวาคม    | 27.39  | ไม่มีข้อมูล        |

## 2.7 สถานการณ์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในกรุงเทพมหานคร

จากงานวิจัยของ Garivait ในปี 1999 ได้วิเคราะห์สารพีเอเอชในบรรยากาศของจังหวัด กรุงเทพมหานคร โดยเก็บตัวอย่างจาก 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณพื้นที่ทั่วไปเก็บตัวอย่างที่สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม บริเวณริมถนนเก็บตัวอย่างที่กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และบริเวณชานเมืองเก็บตัวอย่างที่ทำกรไปรษณีย์ราชบุรีบูรณะ พบว่า ความเข้มข้นของสารพีเอเอช 9 ชนิด ทั้งที่อยู่ในสถานะก๊าซและฝุ่นละออง ในบริเวณริมถนนมีความเข้มข้นสูงกว่าบริเวณที่อยู่อาศัย ซึ่งสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่ Pyrene, Benzo(a)anthracene, Benzo(e)pyrene, Benzo(k)fluoranthene Benzo(a)pyrene และ Benzo(ghi)perylene

ตารางที่ 2.5 ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในปี 1999

| ชนิด                   | ตัวย่อ | ความเข้มข้น (นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร) |              |                             |
|------------------------|--------|-------------------------------------|--------------|-----------------------------|
|                        |        | พีเอเอชในสถานะก๊าซและฝุ่น<br>ละออง  |              | พีเอเอชในสถานะ<br>ฝุ่นละออง |
|                        |        | บริเวณพื้นที่ทั่วไป                 | บริเวณริมถนน | ค่าเฉลี่ย                   |
| Pyrene                 | Pyr    | 14.0                                | 26.7         | 1.26-3.23                   |
| Benzo[a]anthracene     | BaA    | 0.66                                | 1.59         | 0.50-1.31                   |
| Benzo[e]pyrene         | BeP    | 1.29                                | 4.34         | 1.02-2.59                   |
| Dibenz[a,c]anthracene  | DBaC   | 0.06                                | 0.12         | 0.06-0.15                   |
| Benzo[k]fluoranthene   | BkF    | 0.48                                | 1.13         | 0.45-1.09                   |
| Benzo[a]pyrene         | BaP    | 0.72                                | 2.52         | 0.72-2.50                   |
| Dibenzo[a,h]anthracene | DBaH   | 0.03                                | 0.16         | 0.03-0.16                   |
| Benzo[ghi]perylene     | BghiP  | 2.16                                | 6.32         | 2.20-6.30                   |
| Trimethylcholanthrene  | 3MC    | 0.05                                | 0.07         | 0.04-0.07                   |

ที่มา: Garivait, H., 1999

จากการวิเคราะห์สารพีเอเอชจำนวน 20 ชนิดในฝุ่นละอองในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร  
เมื่อปี 2542 ถึง 2543 (ปาจารย์, 2545) พบว่ามีสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูง 6 ชนิด ได้แก่  
Benzo[ghi]perylene (BghiP), Indeno[123cd]pyrene (Ind), Benzo[e]pyrene (BeP),  
Benzo[b]fluoranthene (BbF), Coronene (Cor) และ Benzo[a]pyrene (BaP) โดยมีในแต่ละ  
บริเวณมีค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอช ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูง ในปี 2542-2543

| ชนิดของ<br>สารพีเอเอช                 | ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปี (นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) |                         |                  |   |                         |                         |
|---------------------------------------|---|-------------------------|------------------|---|-------------------------|-------------------------|
|                                       | สถาบัน<br>การศึกษา                                  | บริเวณ<br>ริมถนน        | บริเวณ<br>ริมถนน | บริเวณ<br>พื้นที่ทั่วไป                     | บริเวณ<br>พื้นที่ทั่วไป | บริเวณ<br>พื้นที่ทั่วไป |
|                                       | จุฬาลงกรณ์<br>มหาวิทยาลัย                           | โรงพยาบาล<br>จุฬาลงกรณ์ | ดินแดง           | สำนักงาน<br>นโยบาย<br>และแผน<br>สิ่งแวดล้อม | โรงเรียน<br>สิงหราช     | มหาวิทยาลัย<br>กรุงเทพ  |
| BghiP<br>ค่าเฉลี่ย<br>ช่วงความเข้มข้น | 12<br>2.5-27.6                                      | 15<br>3.8-40.1          | 13<br>3.1-25.3   | 12<br>0.5-29.2                              | 17<br>2.3-38.8          | 10<br>1.2-19.6          |
| Ind<br>ค่าเฉลี่ย<br>ช่วงความเข้มข้น   | 10<br>1.7-30.6                                      | 10<br>2.5-27.5          | 7<br>1.4-17.6    | 10<br>1.5-23.8                              | 14<br>2.5-35.3          | 9<br>1.2-20.7           |
| BeP<br>ค่าเฉลี่ย<br>ช่วงความเข้มข้น   | 10<br>1.6-28.4                                      | 10<br>1.9-22.9          | 9<br>1.3-17.7    | 7<br>0.9-25.0                               | 7<br>0.7-24.8           | 5<br>0.5-17.5           |
| BbF<br>ค่าเฉลี่ย<br>ช่วงความเข้มข้น   | 8<br>0.2-25.3                                       | 6<br>1.2-13.0           | 5<br>0.6-13.4    | 4<br>0.31-11.6                              | 4<br>0.3-15.0           | 3<br>0.3-11.6           |
| Cor<br>ค่าเฉลี่ย<br>ช่วงความเข้มข้น   | 4<br>1.2-12.8                                       | 5<br>1.0-14.2           | 3<br>1.2-7.0     | 5<br>1.5-11.2                               | 8<br>1.6-19.1           | 4<br>0.5-8.3            |
| BaP<br>ค่าเฉลี่ย<br>ช่วงความเข้มข้น   | 4<br>1.6-12.6                                       | 5<br>1.2-3.0            | 4<br>0.3-10.7    | 3<br>0.6-10.0                               | 3<br>0.4-10.8           | 3<br>0.3-6.2            |

ที่มา: ปาจารย์, 2545

## 2.8 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป

### 2.8.1 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

#### 1) มาตรฐานฝุ่นละอองของประเทศไทย

มาตรฐานคุณภาพอากาศ ได้กำหนดขึ้นเพื่อประโยชน์ต่อการใช้กฎหมายในการควบคุมดูแลคุณภาพอากาศทั้งในบรรยากาศ และในสถานที่ประกอบการหรือบริเวณที่อยู่อาศัยให้อยู่ในระดับที่เกิดความปลอดภัย โดยมาตรฐานคุณภาพอากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.1) มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ (Ambient Air Quality Standards) ถูกกำหนดขึ้นเพื่อที่จะให้หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมคุณภาพอากาศใช้เป็นมาตรการสำหรับตรวจสอบและควบคุมดูแลให้สภาพแวดล้อมของบรรยากาศอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

1.2) มาตรฐานคุณภาพอากาศจากแหล่งกำเนิด (Emission Air Quality Standard) แหล่งกำเนิดของอากาศเสียที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์นั้นเป็นแหล่งสำคัญที่จะต้องถูกควบคุม ไม่ให้มีการปล่อยสารมลพิษทางอากาศจนอาจเกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น อีกทั้งต้องไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมด้วย

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศนั้น ยังแบ่งออกได้อีกเป็น มาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะสั้น (1, 8 และ 24 ชั่วโมง) ที่กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยอย่างเฉียบพลัน (acute effect) และมาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะยาว (1 เดือน และ 1 ปี) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบยาวหรือผลกระทบเรื้อรัง ที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย (chronic effect) โดยมาตรฐานดังกล่าวนี้จะได้รับการทบทวนและปรับปรุงให้เหมาะสมกับสถานการณ์เป็นระยะ ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 (พ.ศ. 2538) ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) และฉบับที่ 28 (พ.ศ. 2550) ดังตารางที่ 2.7

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย มีการกำหนดมาตรฐานความเข้มข้นของฝุ่นละออง 2 ขนาด คือ ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) และฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอนหรือฝุ่นรวม (TSP) โดยในอนาคตคาดว่าจะมีการกำหนดมาตรฐานของฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) เพิ่มเติมอีกด้วย ซึ่งจากการจัดทำ(ร่าง)มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยกรมควบคุมมลพิษ ได้พิจารณาเสนอค่ามาตรฐานสำหรับค่าเฉลี่ยรายปี เท่ากับ 12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากเป็นค่าที่สามารถ

ป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพได้มากที่สุด และกำหนดค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปของประเทศไทย

| สารมลพิษ  | ค่าเฉลี่ย | ค่ามาตรฐาน             | วิธีการตรวจวัด   |
|---|-----------|------------------------|------------------|
| ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน<br>(PM <sub>10</sub> ) | 24 ชม.    | 0.12 mg/m <sup>3</sup> | Gravimetric-High |
|   | 1 ปี*     | 0.05 mg/m <sup>3</sup> | Volume           |
| ฝุ่นรวม (TSP)                                     | 24 ชม.    | 0.33 mg/m <sup>3</sup> | Gravimetric-High |
|   | 1 ปี*     | 0.1 mg/m <sup>3</sup>  | Volume           |

หมายเหตุ: ค่าความเข้มข้นคำนวณที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

\* หมายถึง ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต

## 2) มาตรฐานฝุ่นละอองของต่างประเทศ

เมื่อเปรียบเทียบค่ามาตรฐานของมลพิษทางอากาศของประเทศไทย กับประเทศที่พัฒนาแล้ว ได้แก่ สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น เนเธอร์แลนด์ ออสเตรเลีย แคนาดา เยอรมันนี ไต้หวัน หรือประเทศที่ใกล้เคียงกับไทยเช่นเม็กซิโก และมาตรฐานของ WHO พบว่า มาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน(PM<sub>10</sub>) ของประเทศไทยจะใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของต่างประเทศ และในการกำหนดมาตรฐานของฝุ่นในบรรยากาศของต่างประเทศนั้น ได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน(PM<sub>2.5</sub>) รวมอยู่ด้วย เช่น

2.1) National Ambient Air Quality Standard (NAAQS) เป็นมาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศสหรัฐอเมริกา มีการกำหนดมาตรฐานของสารมลพิษในบรรยากาศ ได้แก่ CO, NO<sub>2</sub>, Pb, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> และ PM<sub>2.5</sub> แบ่งเป็นมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard) และมาตรฐานทุติยภูมิ (secondary standard) มาตรฐานปฐมภูมิเป็นมาตรฐานที่ป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพที่มีต่อสุขภาพมนุษย์ ส่วนมาตรฐานทุติยภูมิ เป็นมาตรฐานเพื่อความเป็นอยู่ เช่น ผลที่มีต่อพืชและสัตว์ อาคาร และการมองเห็น ในค่ามาตรฐานจะมีทั้งระยะสั้น(24 ชั่วโมง) และระยะยาว(1 ปี) ซึ่งกำหนดมาตรฐานของฝุ่นในบรรยากาศ ดังตารางที่ 2.8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.8 National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)

| สารมลพิษ   | มาตรฐานปฐมภูมิ              |                        | มาตรฐานทุติยภูมิ            |                        |
|--|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|------------------------|
|  | ค่าเฉลี่ย                   | ค่ามาตรฐาน             | ค่าเฉลี่ย                   | ค่ามาตรฐาน             |
| ฝุ่นขนาดเล็กกว่า<br>10 ไมครอน<br>(PM <sub>10</sub> )   | 24 ชั่วโมง                  | 150 µg/m <sup>3</sup>  | 24 ชั่วโมง                  | 150 µg/m <sup>3</sup>  |
| ฝุ่นขนาดเล็กกว่า<br>2.5 ไมครอน<br>(PM <sub>2.5</sub> ) | 1 ปี<br>(ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต) | 15.0 µg/m <sup>3</sup> | 1 ปี<br>(ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต) | 15.0 µg/m <sup>3</sup> |
|  | 24 ชั่วโมง                  | 35 µg/m <sup>3</sup>   | 24 ชั่วโมง                  | 35 µg/m <sup>3</sup>   |

2.2) The National Environment Protection Measure for Ambient Air Quality standards (the Air NEPM standards) เป็นมาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศออสเตรเลีย มีการกำหนดมาตรฐานของสารมลพิษในบรรยากาศ ได้แก่ CO, NO<sub>2</sub>, Pb, O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub> และ PM<sub>10</sub> ซึ่งกำหนดมาตรฐานของฝุ่นในบรรยากาศ ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 The National Environment Protection Measure for Ambient Air Quality Standards (the Air NEPM standards)

| สารมลพิษ  | ค่าเฉลี่ย  | ค่ามาตรฐาน           |
|---|------------|----------------------|
| ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน<br>(PM <sub>10</sub> )   | 24 ชั่วโมง | 50 µg/m <sup>3</sup> |
| ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน<br>(PM <sub>2.5</sub> ) | 1 ปี       | 8 µg/m <sup>3</sup>  |
|   | 24 ชั่วโมง | 25 µg/m <sup>3</sup> |

### 2.8.2 มาตรฐานสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในบรรยากาศ

การจัดกลุ่มสารพีเอเอชตามความสามารถในการก่อมะเร็ง (International Agency for Research on Cancer, 1983) แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มคือ สารที่น่าจะก่อให้เกิดมะเร็งในคน (probably carcinogen to humans) สารที่อาจก่อมะเร็งในคน (possibly carcinogen to humans) และสารที่ไม่ ก่อมะเร็งในคน (unclassifiable as to carcinogenicity to humans)



พบว่า สารที่น่าจะก่อมะเร็งในคน ได้แก่ Benzo[a]anthracene Benzo[a]pyrene และ Dibenzo[a,h]anthracene ซึ่งการตรวจวัดสารพีเอเอชในบรรยากาศหลายประเทศ พบว่า Benzo[a]pyrene มีความเข้มข้นสูง (IPCS, 1998 อ้างถึงใน เมธินี, 2548) อีกทั้งในอดีตการวัดหาความเป็นสารก่อมะเร็งยังทำได้ยาก จึงได้ใช้สาร Benzo[a] pyrene เป็นตัวบ่งบอกถึงปริมาณรวมของสารพีเอเอช (จินตนา, 2541) ซึ่งองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) จึงได้กำหนดมาตรฐานความเข้มข้นของ BaP ในบรรยากาศ มีค่าไม่ควรเกิน  $1 \text{ ng/m}^3$  แม้ว่าในปัจจุบันหลายประเทศยังไม่มีกำหนดมาตรฐานของสารพีเอเอชในบรรยากาศ แต่ได้กำหนดระดับความเข้มข้นของสารพีเอเอชไว้ เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดค่ามาตรฐานในอนาคต ดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 ค่ามาตรฐานของสาร Benzo[a]pyrene ในบรรยากาศ

| ประเทศ       | Limit value<br>(annual average)( $\text{ng/m}^3$ ) | Guide value<br>(annual average)( $\text{ng/m}^3$ ) |
|--------------|--|--|
| ออสเตรเลีย   | -  | 1.0  |
| เบลเยียม     | 1.0  | 0.5  |
| โครเอเชีย    | 2.0  | 0.1  |
| เยอรมันนี    | -  | 10.0   |
| อินเดีย      | -  | 5.0  |
| เนเธอร์แลนด์ | 1.0  | 0.5  |
| ฝรั่งเศส     | 0.7  | 0.1  |
| อิตาลี       | 1.0  | -  |
| สวีเดน       | -  | 0.1  |
| อังกฤษ       | -  | 0.25   |
| WHO          | -  | 1.0  |
| EU           | 6.0 (ในปี 2010)                                    | 1.0 (ในฝุ่นเล็กกว่า $10 \mu\text{m}$ ครอน)         |

ที่มา: Ravindra และคณะ, 2008

## 2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารพีเอเอชในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ และแหล่งกำเนิดของสาร พีเอเอชในบรรยากาศทั้งของประเทศไทยและต่างประเทศที่ผ่านมา สรุปได้ดังนี้

### 2.9.1 ชนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง

ปาจรีย์ (2545) ศึกษาความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน 5 ขนาด คือ <math> < 0.95, 0.95-1.5, 1.5-3.0, 3.0-7.2 < /math> และ >7.2 ไมครอนในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ประเทศไทย โดยเก็บตัวอย่าง 6 บริเวณ ได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ ดินแดง สำนักงานนโยบายและแผนพัฒนาสิ่งแวดล้อม โรงเรียนสิงหราช และมหาวิทยาลัยกรุงเทพ พบว่า benzo[a]pyrene, indeno[123cd]pyrene และ benzo[ghi]perylene เป็นองค์ประกอบหลักของสารพีเอเอชในฝุ่นซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 97 ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.95 ไมครอนที่ปล่อยจากรถยนต์ดีเซล และพบว่ารถยนต์เบนซินมี benzo[ghi]perylene เป็นองค์ประกอบหลัก

Garivait (1999) พบว่าสารพีเอเอชที่มีวงแหวน 4 วง ขึ้นไป ส่วนมากจะเป็นสารพีเอเอชที่ดูดซับอยู่บนฝุ่นโดย benzo[a]anthracene และ benzo[e]pyrene ร้อยละ 77 ส่วน benzo[a]pyrene, Dibenzo[ah]anthracene และ benzo[ghi]perylene จะดูดซับอยู่บนฝุ่น 100 เปอร์เซ็นต์

Oanh และคณะ (2000) ศึกษาเปรียบเทียบสารพีเอเอชบริเวณริมถนนกับพื้นที่ห่างจากถนน โดยศึกษาการกระจายตัวของสารพีเอเอช 18 ชนิด ในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ห่างจากจังหวัดกรุงเทพมหานครไปทางทิศเหนือ 40 กิโลเมตร ซึ่งตั้งอยู่บนถนนพหลโยธิน จังหวัดปทุมธานี พื้นที่แรกเป็นพื้นที่ริมถนน พื้นที่ที่สองเป็นพื้นที่สีเขียว เก็บฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน (TSP) โดยใช้ High volume sampler เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ปริมาตรอากาศเฉลี่ย 2200 m<sup>3</sup> พบว่าฝุ่นรวมมีค่า 56-200 µg/m<sup>3</sup> พื้นที่ริมถนนมีความเข้มข้นของ benzo[e]pyrene coronene และ benzo[ghi]perylene สูง โดยค่าความเข้มข้นของ coronene และ benzo[ghi]perylene เพิ่มขึ้นเมื่อจุดเก็บตัวอย่างใกล้กับถนน แสดงว่าการกระจายตัวของสารพีเอเอชมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการจราจร ส่วนพื้นที่สีเขียวมีความเข้มข้นของ benzo[a]anthracene benzo[e]pyrene และ Indeno [123cd]pyrene สูง

Bi และคณะ (2003) ศึกษาสารพีเอเอชในฝุ่นและก๊าซ ในเขตเมือง Guangzhou ประเทศจีน โดยเก็บตัวอย่างบริเวณที่อยู่อาศัย การค้าขาย โรงเรียน และบริเวณที่จราจรติดขัด เก็บตัวอย่างในเดือนเมษายนและกรกฎาคม ที่ระดับพื้นและสูงจากพื้น 25 เมตร ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง

ปริมาณสูงที่อัตราการไหล 0.4-0.6 ลูกบาศก์เมตรต่ออนาที ตัวอย่างละ 24 ชั่วโมง และนำมาวิเคราะห์สารพีเอเอช 37 ชนิด พบว่า สารพีเอเอชทั้งหมดมีค่า 134.4-298.5 ng/m<sup>3</sup> ที่ระดับพื้นพบ phenanthrene, methylphenanthrene, fluoranthene, pyrene, chrysene, indeno[123cd]pyrene และ benzo[ghi]perylene ที่ระดับร้อยละ 69 และที่ 25 เมตรพบร้อยละ 77 และพบว่า สารพีเอเอชที่เป็น semi-volatile จะปรากฏอยู่ได้ทั้งรูปของฝุ่นและก๊าซ ซึ่งขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล สารพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะอยู่ในรูปก๊าซ ได้แก่ fluorine, phenanthrene, fluoranthene และ pyrene (3-4 ring) ในขณะที่สารพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะอยู่ในรูปฝุ่น

Guo และคณะ (2003) ตรวจวัดสารพีเอเอช 16 ชนิดในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM<sub>2.5</sub>) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) ในเมืองฮ่องกง ในช่วงฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2000 ถึงเดือนมีนาคม ปี 2001 และฤดูร้อน ในเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม 2001 โดยเก็บตัวอย่างที่ Hung Hom ซึ่งเป็นตัวแทนพื้นที่ที่มีจราจรหนาแน่นและที่ Khun Tony เป็นตัวแทนพื้นที่รวม ได้แก่ ย่านธุรกิจการค้า ที่อยู่อาศัย และอุตสาหกรรม จากการศึกษาพบว่า ทั้ง 2 พื้นที่ พบ benzo[b]fluoranthene, pyrene, fluoranthene และ indeno[123cd]pyrene เป็นสารพีเอเอชหลักใน PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> โดยบริเวณ Hung Hom ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นมีค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชสูงกว่าที่ Kwun Tony โดยมีค่าสูงสุดในฤดูหนาวและค่าต่ำสุดในฤดูร้อน

Vasconcellos และคณะ (2003) ศึกษาสารพีเอเอช 12 ชนิดในเขตเมือง Sao Paulo ประเทศบราซิล เก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 20 ไมครอน ด้วย high volume sampler เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในช่วงฤดูหนาว จำนวน 3 จุดเก็บตัวอย่าง รวม 41 ตัวอย่าง โดยจุดแรกห่างจากถนนสายหลัก 2 กิโลเมตร เป็นบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น มียานพาหนะที่ใช้แก๊สโซฮอล ดีเซล และเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง บริเวณที่สองเป็นพื้นที่ป่า และบริเวณที่สามเป็นส่วนท้ายของป่า ซึ่งได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์น้อยมาก พบว่า สารพีเอเอชในฝุ่นละอองในจุดแรกมีค่าเท่ากับ 3.10 ng/m<sup>3</sup> จุดที่สองมีค่าเท่ากับ 1.92 ng/m<sup>3</sup> และจุดที่สามมีค่าเท่ากับ 2.73 ng/m<sup>3</sup> จากทั้งสามจุดเก็บตัวอย่างพบว่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชอยู่ในระดับต่ำเนื่องจากมีฝนตก

### 2.9.2 ความสัมพันธ์ของปริมาณสารพีเอเอชกับฝุ่นขนาดต่างๆ

ปาจารย์ (2545) ศึกษาสารพีเอเอชในฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร โดยแบ่งออกเป็น 5 ขนาด คือ <0.95, 0.95-1.5, 1.5-3.0, 3.0-7.2 และ >7.2 ไมครอน พบว่าสารพีเอเอช 97.55 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.95 ไมครอน, 1.02 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในฝุ่นขนาด 0.95-1.5

ไมครอน, 0.52 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในฝุ่นขนาด 1.5-3.0 ไมครอน, 0.50 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในฝุ่นขนาด 3.0-7.2 ไมครอน และ 0.41 เปอร์เซ็นต์ อยู่ในฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 7.2 ไมครอน

เมทินี (2548) ศึกษาปริมาณและชนิดสารพีเอเอชในฝุ่น  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{2.5-10}$  พบว่า มีความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่น  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{2.5-10}$  กับปริมาณฝุ่นทั้งสองขนาด โดยมีค่า  $R^2$  เท่ากับ 0.778 และ 0.761 ตามลำดับ และสารพีเอเอชที่พบในฝุ่น  $PM_{2.5}$  เป็นหลัก คือ Benzo[k]fluoranthene Benzo[a]pyrene indeno[123cd]pyrene dibenzo[ah]anthracene และ benzo[ghi]perylene และสำหรับฝุ่น  $PM_{2.5-10}$  มีสารพีเอเอชที่พบเป็นหลักคือ Phenanthrene Anthracene Fluorene Benzo[b]fluoranthene และ dibenzo[ah]anthracene

Schnelle และคณะ (1995) ศึกษาการกระจายตัวของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในบรรยากาศภายนอกอาคาร ในทางตอนใต้ของประเทศเยอรมันนี โดยใช้ High volume sampler ต่อกับ Andersen PM10 Sampler (HVS) ที่อัตราการไหล  $1.13 \text{ m}^3/\text{min}$  และวิเคราะห์สารพีเอเอช 22 ชนิด ในฝุ่น ร้อยละ 50 ของสารพีเอเอชอยู่ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.49 ไมครอน และมากกว่าร้อยละ 85 ของสารพีเอเอช เป็นชนิด Phenanthrene, Anthanthrene, Fluorene และ Pyrene ซึ่งความเข้มข้นจะสูงขึ้นเมื่อขนาดของฝุ่นใหญ่ขึ้น แต่ Chrysene, Benzo[b]fluoranthene, Benzo[k]fluoranthene และ Benzo[a] pyrene ความเข้มข้นจะลดลงเมื่อขนาดของฝุ่นละอองใหญ่ขึ้น

Guo และคณะ (2003) ตรวจวัดสารพีเอเอช 16 ชนิด ในฝุ่น  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  ในเมืองฮองกง ในเขตพื้นที่จราจรหนาแน่นและพื้นที่รวม พบว่าอัตราส่วนของสารพีเอเอชใน  $PM_{2.5}$  ต่อ  $PM_{10}$  ในพื้นที่จราจรหนาแน่น มีค่าอัตราส่วน 0.76-0.84 พื้นที่รวมมีอัตราส่วน 0.72-0.79 แสดงว่าสารพีเอเอชในฝุ่นละอองเกาะกับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มากกว่าฝุ่นที่มีขนาด 2.5-10 ไมครอน

Zhou และคณะ (2003) ศึกษาปริมาณสารพีเอเอช 17 ชนิด ในฝุ่นละอองในเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบคัดขนาดฝุ่น 5 ขนาด ได้แก่  $>7.0$  3.3-7.0 2.0-3.3 1.1-2.0 และ  $<1.1$  ไมครอน พบว่า มีสารพีเอเอชอยู่ในช่วง  $0.84-152 \text{ ng/m}^3$  มีค่าเฉลี่ย  $116 \text{ ng/m}^3$  และในบริเวณเขตเมืองมีค่าสูงกว่าชานเมือง 1.1-1.6 เท่า และความเข้มข้นของสารพีเอเอชเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง โดยร้อยละ 45.0-67.8 ของสารพีเอเอชอยู่ในฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1.1 ไมครอน และร้อยละ 68.4-84.7 ของสารพีเอเอชอยู่ในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน แสดงว่าสารพีเอเอชส่วนใหญ่ดูดซับอยู่ในฝุ่นขนาดเล็ก

Bi และคณะ (2005) ศึกษาการกระจายตัวของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในเขตเมืองและชนบทของประเทศจีน เก็บตัวอย่างโดยใช้ cascade impactor แบ่งขนาดฝุ่นเป็น  $<0.49$ , 0.4-0.95, 0.95-1.5, 1.5-3.0, 3.0-7.2 และ 7.2-10 ไมครอน อัตราการไหล  $1.13 \text{ m}^3/\text{min}$  พบว่า

บรรยากาศในเขตเมืองมีความเข้มข้นฝุ่นละออง  $129.9-362.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และชนบท  $175.9-201.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  พบว่า ในเขตเมืองบริเวณที่ใกล้กับถนน สารพีเอเอช 62 เปอร์เซ็นต์ พบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า  $0.49$  ไมครอน และปริมาณพีเอเอชมีค่าอยู่ในช่วง  $48.3-148.6 \text{ ng}/\text{m}^3$

Wu และคณะ (2006) ศึกษาสารพีเอเอชในฝุ่นละอองโดยใช้ cascade impactor แบบ 9 ชั้น เก็บตัวอย่างในเขตเมืองและชนบท ในประเทศจีน ช่วงฤดูหนาวของปี 2003 และปี 2004 พบว่า ฝุ่นขนาดเล็กมีความเข้มข้นสูง คือ  $0.43-2.1$  ไมครอน และ  $9.0-10.0$  ไมครอน ทั้งในเขตเมืองและชนบท สารพีเอเอช รวมในฝุ่นขนาด  $0.43-2.1$  ไมครอน ในเขตเมืองและชนบท มีสัดส่วน  $76.5\%$  และ  $63.9\%$  ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเร็วลม และทิศทางลมเป็นปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสารพีเอเอชในบรรยากาศ และสารพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ( $278 \geq \text{MW} \geq 202$ ) จะดูดซับอยู่ในฝุ่นขนาดเล็ก (ฝุ่นขนาดเล็กกว่า  $2.1$  ไมครอน) ส่วนสารพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ( $128 \geq \text{MW} \geq 178$ ) จะดูดซับอยู่ในฝุ่นทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่

### 2.9.3 แหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในบรรยากาศ

Garivait (1999) ศึกษาสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในพื้นที่กรุงเทพมหานครโดยใช้ Factor Analysis-Multiple Regression (FA-MR) Model พบว่า สัดส่วนฝุ่นละอองจากดินและฝุ่นจากการฟุ้งกระจายอีกครั้ง มีสัดส่วนมากที่สุด คือ  $51\%$  รองลงมาคือ ไอเสียจากยานพาหนะ  $18\%$  ส่วนไอเสียจากการเผาไหม้ขยะและชีวมวล ไอเสียจากอุตสาหกรรม ละอองไอจากทะเล และมลพิษทุติยภูมิมีสัดส่วนค่อนข้างต่ำประมาณ  $6-11\%$  และมีมวลที่ไม่สามารถอธิบายได้  $10\%$  จึงแสดงว่าสารพีเอเอชจะเป็นองค์ประกอบทางเคมีที่มาจากยานพาหนะเป็นส่วนใหญ่

Yang และ Chen (2004) ศึกษาแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในบรรยากาศบริเวณชานเมือง ประเทศไต้หวัน โดยเก็บตัวอย่างใน 7 บริเวณ รวม 16 ตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน ปี 2001 และวิเคราะห์สารพีเอเอช 21 ชนิดทั้งในรูปก๊าซและอนุภาค จากนั้นประมาณสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชด้วยแบบจำลองสมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance Receptor Model) พบว่า สารพีเอเอชในรูปก๊าซและอนุภาคมีแหล่งกำเนิดมาจากยานพาหนะ  $49\%$  การเผาไหม้น้ำมันเตา  $14\%$  การเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ  $22\%$  การเผาไหม้ถ่านหิน  $12\%$  และการเผาไหม้น้ำมันดีเซล  $2\%$  และเมื่อพิจารณาเฉพาะแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชที่อยู่ในรูปอนุภาค พบว่าสัดส่วนแหล่งกำเนิดมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ ยานพาหนะ  $40\%$  การเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ  $34\%$  การเผาไหม้น้ำมันเตา  $11\%$  การเผาไหม้ถ่านหิน  $8\%$  และการเผาไหม้น้ำมันดีเซล  $7\%$

Wan และคณะ (2006) ศึกษาปริมาณสารพีเอเอช 12 ชนิดในฝุ่นละออง ในเขตเมือง Dalian ประเทศจีน โดยใช้ High-volume air sampler เก็บตัวอย่างฝุ่นรวมทั้งหมด 120 ตัวอย่าง จาก 15 บริเวณ ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน ปี 1998 พบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของพีเอเอช ทั้งหมด 167 (53.3-561) ng/m<sup>3</sup> ในฤดูหนาว และ 17.9 (1.6-48.9) ng/m<sup>3</sup> ในฤดูร้อน ซึ่งมีค่าอยู่ในระดับสูงกว่าประเทศต่างๆ ทั่วโลก และการหาสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชโดยวิธี Factor analysis พบว่า ในฤดูหนาว สารพีเอเอชมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการใช้ถ่านหิน 87% และการจราจร 13% ส่วนในฤดูร้อนมีแหล่งกำเนิดมาจากการใช้ถ่านหิน 70% การจราจร 27% และการเผาฟืน 3%

Lee และ Kim (2007) ศึกษาสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในเมืองโซล ประเทศเกาหลี เก็บตัวอย่างฝุ่นโดยใช้ High volume TSP sampler ตั้งแต่เดือนสิงหาคม ปี 2002 ถึงเดือนธันวาคม ปี 2003 และใช้แบบจำลองสมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance Receptor Model) หา สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชจาก 6 แหล่งกำเนิดหลัก ได้แก่ ยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันเบนซิน และดีเซล การใช้ถ่านหินในที่อยู่อาศัย เตาที่ใช้ถ่านโค้ก โรงไฟฟ้าถ่านหิน การเผาไหม้ชีวมวล และการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ พบว่า แหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นในเมืองโซล คือ ยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันเบนซินและดีเซล มีสัดส่วนถึง 31% และมีสัดส่วนของการเผาไหม้ชีวมวลและถ่านหิน (การใช้ถ่านหินในที่อยู่อาศัยและเตาที่ใช้ถ่านโค้ก) 63% ในฤดูใบไม้ร่วง และ 82% ในฤดูหนาว

Liu และคณะ (2008) ศึกษาปริมาณสารพีเอเอชในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในเมือง ปักกิ่ง ประเทศจีน โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างที่ออกแบบโดย Research Institute of Environmental Sciences of China มีอัตราการไหล 77.49 L/min เก็บตัวอย่าง 8 บริเวณ รวม 11 ตัวอย่าง และวิเคราะห์สารพีเอเอช 16 ชนิด โดยใช้ high performance liquid chromatography (HPLC) แบบ variable wavelength detector (VWD) และ fluorescence detector (FID) พบว่า ความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> อยู่ในระดับสูงเกินค่ามาตรฐานของ US.EPA. (65 µg/m<sup>3</sup>) และความเข้มข้นของพีเอเอชรวม 16 ชนิด มีค่า 22.17-53.66 ng/m<sup>3</sup> ซึ่งแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชใน PM<sub>2.5</sub> ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ถ่านหินและการจราจร

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตารางที่ 2.11 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| งานวิจัยเกี่ยวกับชนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง  | ผู้วิจัย  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- benzo[a]pyrene, indeno[123cd]pyrene และ benzo[ghi]perylene เป็นสารพีเอเอชหลักที่ปล่อยจากรถยนต์ดีเซล และ benzo[ghi]perylene เป็นสารพีเอเอชหลักที่ปล่อยจากรถยนต์เบนซิน</li> <li>- พื้นที่ริมถนนมีความเข้มข้นของ benzo[e]pyrene coronene และ benzo[ghi]perylene สูง ส่วนพื้นที่สีเขียวมีความเข้มข้นของ benzo[a]anthracene benzo[e]pyrene และ Indeno [123cd]pyrene สูง และการกระจายตัวของสารพีเอเอชมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการจราจร</li> <li>- สารพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะอยู่ในรูปก๊าซ ส่วนสารพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะอยู่ในรูปฝุ่น โดยเกาะติดกับอนุภาคฝุ่น</li> <li>- benzo[b]fluoranthene, pyrene, fluoranthene และ indeno[123cd]pyrene เป็นสารพีเอเอชหลักใน PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> โดยบริเวณพื้นที่การจราจรหนาแน่นมีค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชสูงกว่าบริเวณพื้นที่รวมโดยมีค่า สูงสุดในฤดูหนาวและค่าต่ำสุดในฤดูร้อน</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ปาจริย์ (2545)</li> <li>- Oanh และคณะ (2000)</li> <li>- Bi และคณะ (2003)</li> <li>- Guo และคณะ (2003)</li> </ul> |
| งานวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของปริมาณสารพีเอเอชกับฝุ่นขนาดต่างๆ   | ผู้วิจัย  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- สารพีเอเอช 97.55% อยู่ในฝุ่นขนาดเล็กลงว่า 0.95 ไมครอน และสารพีเอเอชในฝุ่นขนาด 0.95-1.5, 1.5-3.0, 3.0-7.2 และ &gt; 7.2 ไมครอน มีสัดส่วน 1.02%, 0.52 %, 0.50% และ 0.41% ตามลำดับ</li> <li>- สารพีเอเอชในฝุ่นละอองเกาะกับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มากกว่าฝุ่นที่มีขนาด 2.5-10 ไมครอน</li> <li>- สารพีเอเอชในเขตเมืองมีความเข้มข้นสูงกว่าชานเมือง 1.1-1.6 เท่า และความเข้มข้นของสารพีเอเอชเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลง</li> <li>- ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ ความเร็วลม และทิศทางลม เป็นปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นของสารพีเอเอชในบรรยากาศ และสารพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะดูดซับอยู่ในฝุ่นขนาดเล็ก ส่วนสารพีเอเอชที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะดูดซับอยู่ในฝุ่นทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- ปาจริย์ (2545)</li> <li>- Guo และคณะ (2003)</li> <li>- Zhou และคณะ (2003)</li> <li>- Wu และคณะ (2006)</li> </ul> |

ตารางที่ 2.11 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

| งานวิจัยเกี่ยวกับแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในบรรยากาศ  | ผู้วิจัย   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- สารพีเอเอชในฝุ่นของกรุงเทพมหานคร มาจากฝุ่นละอองจากดินและฝุ่นจากการฟุ้งกระจายอีกครั้ง 51% ไอเสียจากยานพาหนะ 18% ส่วนไอเสียจากการเผาไหม้ขยะและชีวมวล ไอเสียจากอุตสาหกรรม ละอองไอจากทะเล และมลพิษทุติยภูมิมีสัดส่วนประมาณ 6-11%</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Garivait (1999)</li> </ul>      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- สารพีเอเอชในฝุ่นของประเทศไต้หวัน มาจากยานพาหนะ 40% การเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติ 34% การเผาไหม้น้ำมันเตา 11% การเผาไหม้ถ่านหิน 8% และการเผาไหม้น้ำมันดีเซล 7%</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Yang และ Chen (2004)</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- สารพีเอเอชในประเทศจีนในฤดูหนาว มาจากการใช้ถ่านหิน 87% และการจราจร 13% ส่วนในฤดูร้อนมีแหล่งกำเนิดมาจากการใช้ถ่านหิน 70% การจราจร 27% และการเผาฟืน 3%</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wan และคณะ (2006)</li> </ul>    |

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปริมาณสารพีเอเอชในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ และแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในบรรยากาศ พบว่า สารพีเอเอชจะดูดซับในฝุ่นขนาดเล็กมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ และการหาสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นในต่างประเทศ พบว่า มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในยานพาหนะและการเผาไหม้ถ่านหินเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในประเทศไทยพบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารพีเอเอชในฝุ่นขนาดต่างๆ ค่อนข้างน้อย และยังไม่มีการศึกษาถึงแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นขนาดเล็ก



### บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 พื้นที่ศึกษา

การวิจัยนี้ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 2 บริเวณ ได้แก่ บริเวณพื้นที่ทั่วไป จำนวน 2 สถานี และบริเวณริมถนน จำนวน 1 สถานี

##### 1) บริเวณพื้นที่ทั่วไป

บริเวณพื้นที่ทั่วไป คือ บริเวณที่ห่างจากถนนสายหลัก 50 เมตรขึ้นไป เป็นการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบริเวณชุมชนที่อยู่อาศัยและย่านธุรกิจการค้า (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) เก็บตัวอย่าง 2 สถานี คือ

1.1) สถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เก็บตัวอย่างที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งตั้งอยู่ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา บริเวณโดยรอบเป็นอาคารเรียน บ้านเรือน วัด สนามกีฬา และร้านอาหาร โดยเครื่องมือการเก็บตัวอย่างจะตั้งบนตู้คอนเทนเนอร์ที่อยู่สูงจากพื้น 3 เมตร



รูปที่ 3.1 พื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

1.2) สถานีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เก็บตัวอย่างบริเวณตลาดฟ้าอาคารวิศวกรรมโยธา-สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาคาร 5 ชั้น โดยรอบมีอาคารเรียน โรงอาหาร สนามกีฬา และลานจอดรถ



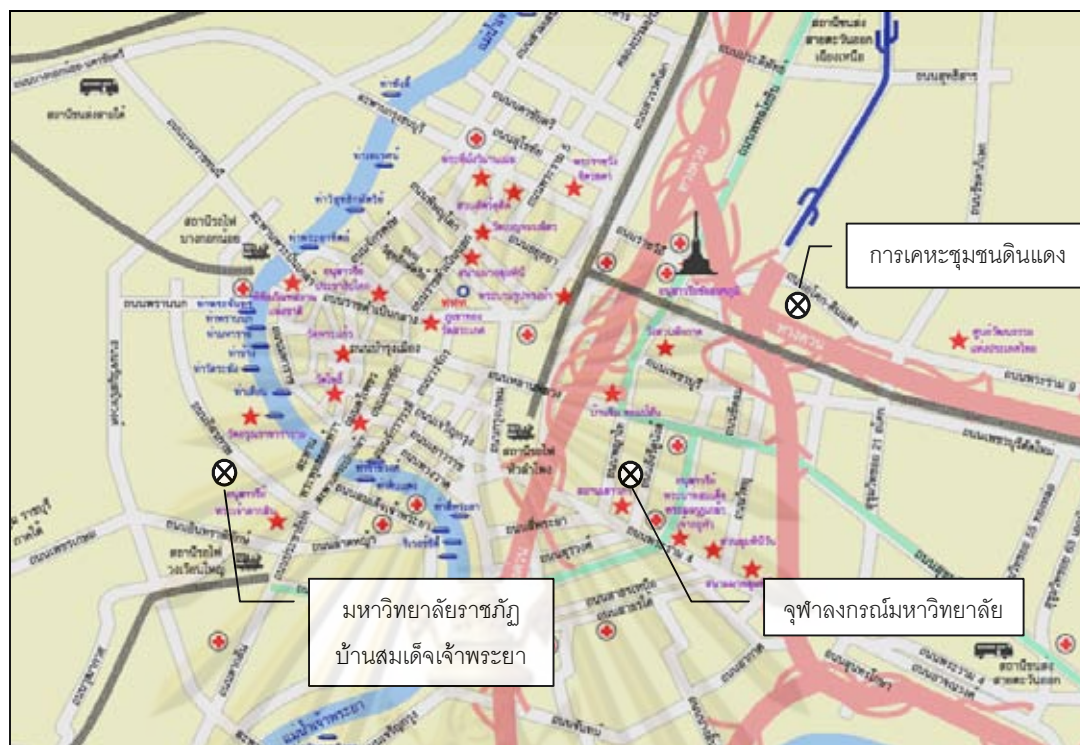
รูปที่ 3.2 พื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2) บริเวณริมถนน

เก็บตัวอย่างที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษบริเวณริมถนน ซึ่งติดตั้งอยู่ห่างจากถนนสายหลักไม่เกิน 10 เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) โดยเลือกเก็บตัวอย่าง 1 สถานี คือ สถานีการเคหะชุมชนดินแดง ซึ่งอยู่ริมถนนอโศก-ดินแดง บริเวณใกล้เคียพรีมีเนียม แพลตตินั่มและด้านตรงข้ามมีโรงเรียนพิบูลประชาสรรค์ โดยเครื่องมือการเก็บตัวอย่างจะตั้งบนตู้คอนเทนเนอร์ที่อยู่สูงจากพื้น 3 เมตร



รูปที่ 3.3 พื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง



รูปที่ 3.4 พื้นที่เก็บตัวอย่างในจังหวัดกรุงเทพมหานคร

### 3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

#### 3.2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

- 1) Nano-particle sampler
- 2) Cascade impactor
- 3) High volume sampler
- 4) Glass fiber filter ขนาด  $8 \times 10$  นิ้ว
- 5) Glass fiber filter ขนาด 80 มิลลิเมตร
- 6) Glass fiber filter แบบ donut ขนาด  $65 \times 30$  มิลลิเมตร
- 7) Glass fiber filter (backup filter) ขนาด 47 มิลลิเมตร
- 8) Inertial filter ซึ่งประกอบด้วย empty inertial filter และ Inertial filter SUS-Fiber ขนาด 8 ไมครอน
- 9) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งของกรัม
- 10) เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่งของกรัม

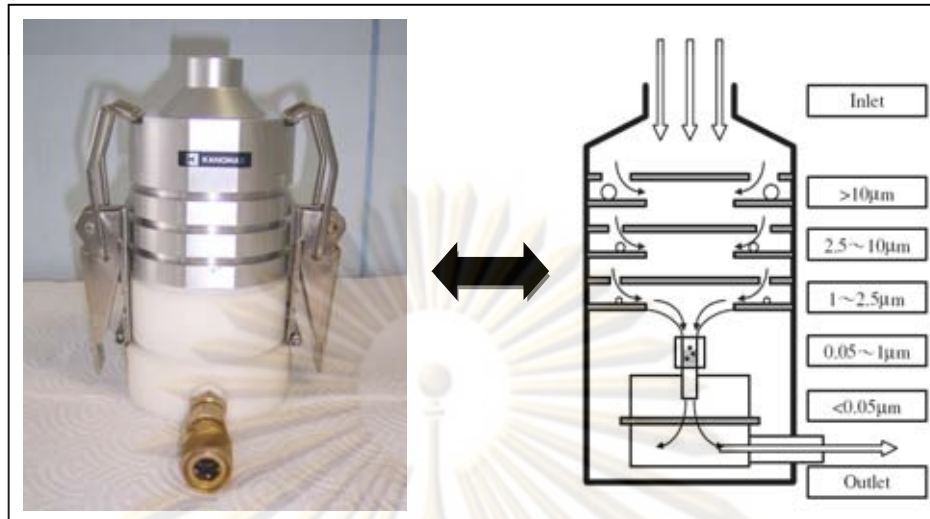
- 11) ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)
- 12) คีมคีบปากแบน (forceps) ชนิดพลาสติก
- 13) ลูกยาง (Syringe ball)

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน (Nano-particle sampler) ดังรูปที่ 3.5 เป็นอุปกรณ์หลัก เนื่องจากเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโนนี้มีพื้นฐานจากเทคโนโลยี Inertial filter ซึ่งกำลังอยู่ระหว่างการพัฒนา จึงมีการใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบแยกขนาด (Cascade impactor) และเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (High volume sampler) ร่วมเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วย เพื่อใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดฝุ่นของเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการคัดแยกขนาดฝุ่น จะใช้การหาความสัมพันธ์ด้วยค่าสถิติ T-test และ Linear Regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% จากโปรแกรม SPSS (Statistical Package for The Social Science)

เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน (Nano-particle sampler) ภายในประกอบด้วย 5 ชั้น ได้แก่ Impactor stage 3 ชั้น Inertial filter 1 ชั้น Back-up filter 1 ชั้น โดย Impactor stage มี filter สำหรับคัดแยกฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน 2.5-10 ไมครอน และ 1.0-2.5 ไมครอน Inertial filter สำหรับคัดแยกฝุ่นขนาด 0.1-1 ไมครอน ภายในบรรจุ Inertial filter SUS-Fiber ขนาด 8 ไมครอน เพื่อใช้คัดแยกฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 0.1 ไมครอน (100 นาโนเมตร) และ Back-up filter สำหรับรองรับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ดังรูปที่ 3.6 และ 3.7 โดยเก็บตัวอย่างที่อัตราการไหล 40 ลิตรต่อนาที

เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบแยกขนาด (Cascade impactor) ภายในประกอบด้วย 9 ชั้น ซึ่งคัดขนาดฝุ่นออกเป็น 9 ช่วงขนาด ได้แก่ 9.0-10.0, 5.8-9.0, 4.7-5.8, 3.3-4.7, 2.1-3.3, 1.1-2.1, 0.65-1.1, 0.43-0.65 และขนาดเล็กกว่า 0.4 ไมครอน มีอัตราการไหลของอากาศ 28.3 ลิตรต่อนาที ดังรูปที่ 3.8

เครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (High volume sampler) ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่มีขนาดระหว่าง 0.1-100 ไมครอน มีอัตราการไหลของอากาศ 1.1-1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.5 การคัดแยกฝุ่นขนาดต่างๆ ของ Nano-particle sampler



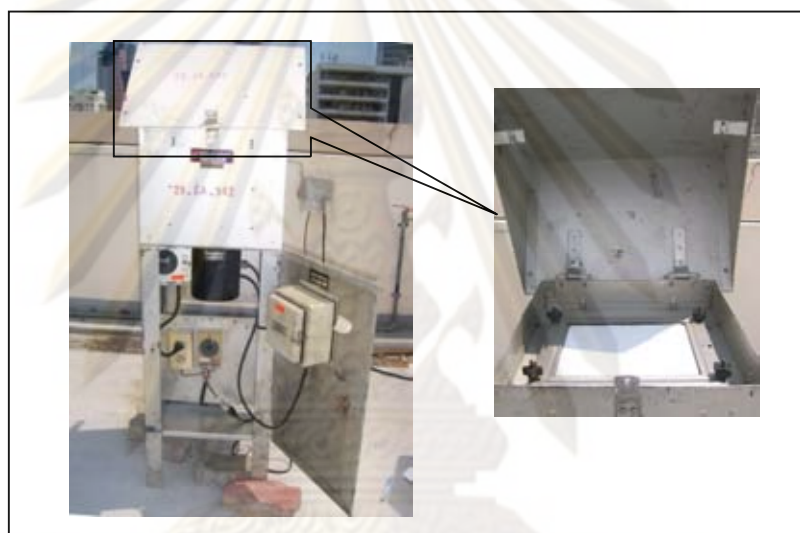
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ภายใน Nano-particle sampler



รูปที่ 3.7 กระดาศกรองสำหรับ Impactor stage 3 ชั้น Back-up filter 1 ชั้น  
และ Inertial filter 1 ชั้น



รูปที่ 3.8 Cascade Impactor



รูปที่ 3.9 High volume sampler

### 3.2.2 ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง 3 สถานี ได้แก่ การเคหะชุมชนดินแดง มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน (Nano-particle sampler) เก็บตัวอย่างในทุกสถานี ทุกๆ 6 วัน ครั้งละ 24 ชั่วโมง จำนวน 10 ตัวอย่างต่อสถานี และเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบแยกขนาด (Cascade impactor) และเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (High volume sampler) ในสถานีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อย่างละ 5 ตัวอย่าง ทุกๆ 12 วัน ครั้งละ 24 ชั่วโมง ดังแสดงวันที่เก็บตัวอย่าง ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วันที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในพื้นที่ศึกษา

| สถานี | การเคหะชุมชน<br>ดินแดง | มหาวิทยาลัยราชภัฏ<br>บ้านสมเด็จเจ้าพระยา | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย    |                     |                        |
|-------|------------------------|--|--------------------------|---------------------|------------------------|
|       |                        |  | Nano-particle<br>sampler | Cascade<br>impactor | High volume<br>sampler |
| 1     | 9 พ.ย. 51              | 15 ม.ค. 52                               | 16 มี.ค. 52              | 22 มี.ค. 52         | 22 มี.ค. 52            |
| 2     | 15 พ.ย. 51             | 21 ม.ค. 52                               | 22 มี.ค. 52              | 3 เม.ย. 52          | 3 เม.ย. 52             |
| 3     | 21 พ.ย. 51             | 27 ม.ค. 52                               | 28 มี.ค. 52              | 15 เม.ย. 52         | 15 เม.ย. 52            |
| 4     | 27 พ.ย. 51             | 2 ก.พ. 52                                | 3 เม.ย. 52               | 27 เม.ย. 52         | 27 เม.ย. 52            |
| 5     | 3 ธ.ค. 51              | 8 ก.พ. 52                                | 9 เม.ย. 52               | 9 พ.ค. 52           | 9 พ.ค. 52              |
| 6     | 9 ธ.ค. 51              | 14 ก.พ. 52                               | 15 เม.ย. 52              | -                   | -                      |
| 7     | 15 ธ.ค. 51             | 20 ก.พ. 52                               | 21 เม.ย. 52              | -                   | -                      |
| 8     | 28 ธ.ค. 51             | 26 ก.พ. 52                               | 27 เม.ย. 52              | -                   | -                      |
| 9     | 3 ม.ค. 52              | 4 มี.ค. 52                               | 3 พ.ค. 52                | -                   | -                      |
| 10    | 9 ม.ค. 52              | 10 มี.ค. 52                              | 9 พ.ค. 52                | -                   | -                      |
| รวม   | 10                     | 10                                       | 10                       | 5                   | 5                      |

### 3.2.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง

1) การเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน (Nano-particle sampler)

1.1) เตรียมกระดาดาชกรง โดยการอบในตู้ดูดความชื้นอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ซึ่งในการเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง จะประกอบด้วย

- Glass fiber filter แบบ donut ขนาด 65 × 30 มิลลิเมตร จำนวน 3 แผ่น
- Glass fiber filter สำหรับเป็น backup filter ขนาด 47 มิลลิเมตร จำนวน 1 แผ่น
- Inertial filter ที่บรรจุ Inertial filter SUS- Fiber ขนาด 8 ไมครอน น้ำหนักประมาณ 9-10 มิลลิกรัม

1.2) นำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.10

1.3) ใส่กระดาษกรองในเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน เดินเครื่องปรับอัตราการไหลอากาศให้เท่ากับ 40 ลิตรต่อนาที

1.4) เมื่อเดินเครื่องครบ 48 ชั่วโมง นำกระดาษกรองที่ได้อบในตู้ดูดความชื้นอย่างน้อย 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

2) การเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบแยกขนาด (Cascade impactor)

2.1) เตรียม Glass fiber filter ขนาด 80 มิลลิเมตร อบในตู้ดูดความชื้นอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ซึ่งในการเก็บตัวอย่าง 1 ครั้ง จะใช้จำนวน 9 แผ่น

2.2) นำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง

2.3) ใส่กระดาษกรองในเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบแยกขนาด เดินเครื่องปรับอัตราการไหลอากาศให้เท่ากับ 28.3 ลิตรต่อนาที

2.4) เมื่อเดินเครื่องครบ 48 ชั่วโมง นำกระดาษกรองที่ได้อบในตู้ดูดความชื้นอย่างน้อย 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

3) การเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (High volume sampler)

3.1) เตรียม Glass fiber filter ขนาด 8×10 นิ้ว อบในตู้ดูดความชื้นอย่างน้อย 48 ชั่วโมง

3.2) นำมาชั่งน้ำหนักโดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 3.11

3.3) ใส่กระดาษกรองในเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบคัดขนาด เดินเครื่องปรับอัตราการไหลอากาศให้เท่ากับ 1.1–1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

3.4) เมื่อเดินเครื่องครบ 24 ชั่วโมง นำกระดาษกรองที่ได้อบในตู้ดูดความชื้นอย่างน้อย 48 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง



รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งทศนิยม 5 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.11 เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง



### 3.2.4 การคำนวณความเข้มข้นและการกระจายตัวของฝุ่นละออง

1) การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) โดยคำนวณจากน้ำหนักกระดาศกรองที่เพิ่มขึ้นและปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง ดังสมการที่ 3.1

$$\text{PM Concentration} = \frac{(W_f - W_s) \times 10^6}{V_s} \dots\dots\dots\text{สมการที่ 3.1}$$

เมื่อ PM Concentration = ความเข้มข้นของฝุ่นละออง, ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$W_s$  = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม (mg)

$W_f$  = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง, มิลลิกรัม (mg)

$V_s$  = ปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง, ลูกบาศก์เมตร ( $\text{m}^3$ )

2) การคำนวณกระจายตัวของฝุ่นละออง (Particle Size Distribution, SD) แสดงลักษณะความถี่การตกสะสม (Cumulative Frequency, CF) เพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ โดยคำนวณจากการแบ่งชั้นขนาดของฝุ่นละออง ดังสมการที่ 3.2

$$\text{SD} = \frac{dN}{dDP} = \frac{dCi}{d\log Dp} \dots\dots\dots\text{สมการที่ 3.2}$$

เมื่อ SD = การกระจายตัวของฝุ่นละออง

$dN$  = ส่วนต่างของจำนวนฝุ่นละอองในแต่ละชั้น

$Dp$  = เส้นผ่านศูนย์กลางของฝุ่นละออง ( $\mu\text{m}$ )

$dDp$  = ส่วนต่างของขนาดฝุ่นในแต่ละชั้น

$d \log Dp$  =  $\log$  ขนาดชั้นบน -  $\log$  ขนาดชั้นล่าง

$dCi$  = ส่วนต่างของความเข้มข้นฝุ่นละอองในแต่ละชั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.3 การวิเคราะห์โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

#### 3.3.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

1) สารละลายมาตรฐานผสมของสารพีเอเอช 16 ชนิด (PAHs Standard Mix) ซึ่งประกอบด้วย

|                              |                              |
|------------------------------|------------------------------|
| อะซีแนฟทีน                   | (Acenaphthene)               |
| อะซีแนฟไทลีน                 | (Acenaphthylene)             |
| แอนทราซีน                    | (Anthracene)                 |
| เบนโซ (เอ) แอนทราซีน         | (Benzo (a) anthracene)       |
| เบนโซ (เอ) ไพรีน             | (Benzo (a) pyrene)           |
| เบนโซ (บี) ฟลูออแรนทีน       | (Benzo (b) fluoranthene)     |
| เบนโซ (จี, เอช, ไอ) ไพรีน    | (Benzo (g, h, i) pyrene)     |
| เบนโซ (เค) ฟลูออแรนทีน       | (Benzo (k) fluoranthene)     |
| ไครซีน                       | (Chrysene)                   |
| ไดเบนโซ (เอ, เอช) แอนทราซีน  | (Dibenzo (a, h) anthracene)  |
| ฟลูออแรนทีน                  | (Fluoranthene)               |
| ฟลูออรีน                     | (Fluorene)                   |
| อินดีโน (1, 2, 3-ซีดี) ไพรีน | (Indeno (1, 2, 3-cd) pyrene) |
| แนฟทาลีน                     | (Naphthalene)                |
| ฟีแนนทรีน-                   | (Phenanthrene)               |
| ไพรีน                        | (Pyrene)                     |

2) สาร Internal Standard Mix ซึ่งประกอบด้วย

|                        |                          |
|------------------------|--------------------------|
| อะซีแนฟทีน-ดี10        | (Acenaphthene-d10)       |
| ไครซีน-ดี12            | (Chrysene-d12)           |
| แนฟทาลีน-ดี8           | (Naphthalene-d8)         |
| เพอร์ลิซีน-ดี12        | (perylene-d12)           |
| ฟีแนนทรีน-ดี10         | (Phenanthrene-d10)       |
| 1,4 -ไดคลอโรเบนซีน-ดี4 | (1,4-dichlorobenzene-d4) |

- 3) สารตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane, DCM) เกรดสำหรับการวิเคราะห์
- 4) สารอะซิโตน (Acetone) เกรดสำหรับการวิเคราะห์
- 5) เครื่องแก้ว เช่น ปีกเกอร์ (beaker) หลอดหยด (dropper)
- 6) Syringe กรองสารละลายขนาด 10 มิลลิลิตร
- 7) Microsyringe ขนาด 25 ไมโครลิตร และ 250 ไมโครลิตร
- 8) เครื่องแยกสาร Sonopuls Ultrasonic Homogenizer
- 9) ท่อ PVC ดัดแปลงมีจุดต่อสายยางเพื่อกระจายก๊าซไนโตรเจนในการระเหยสาร
- 10) ขวด vial ขนาด 2 มิลลิลิตร
- 11) ขวด insert vial ขนาด 200 ไมโครลิตร
- 12) ฝาปิด screw cap vial และแผ่น septa ชนิด PTFE
- 13) ก๊าซไนโตรเจนสำหรับระเหยสารละลาย มีความบริสุทธิ์ 99.99%
- 14) ก๊าซฮีเลียม มีความบริสุทธิ์ 99.999%
- 15) เครื่อง Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS)

### 3.3.2 การสกัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

การสกัดสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจะสกัดออกจากกระดาศกรงที่เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน (Nano-particle sampler) และใช้วิธีสกัดสารซึ่งดัดแปลงตาม Method TO-13A (US.EPA, 1999 อ้างถึงใน สุทธิจันทร์, 2548) โดยสามารถแสดงขั้นตอนการสกัดสารพีเอเอชได้ดังรูปที่ 3.14

1) ใส่สารละลาย Internal standard ความเข้มข้น 200 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ลงขวดสีชาปริมาตร 50 มิลลิลิตร สีชาปริมาตร 50 มิลลิลิตร เติมสาร dichloromethane (DCM) 10 มิลลิลิตร ตามด้วยตัวอย่างกระดาศกรง

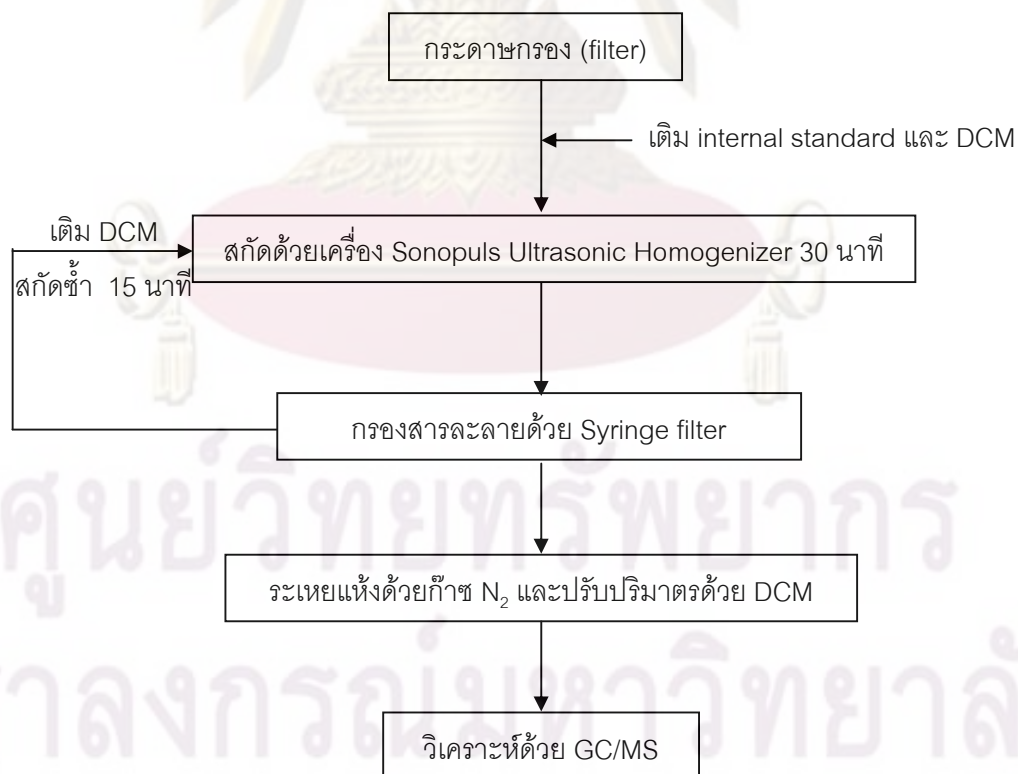
2) นำไปแยกสกัดครั้งที่ 1 ด้วยเครื่อง Sonopuls Ultrasonic Homogenizer ดังรูปที่ 3.12 เป็นเวลา 30 นาที กรองสารละลายด้วย Syringe filter ชนิด PTFE ลงในขวดสีชาขวดใหม่ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และนำขวดสีชาเดิมพร้อมกระดาศกรงที่ผ่านการสกัดครั้งที่ 1 แล้วเติม DCM 5 มิลลิลิตร เพื่อแยกสกัดครั้งที่ 2 ด้วยเครื่อง Sonopuls Ultrasonic Homogenizer เป็นเวลาอีก 15 นาที แล้วกรองลงในขวดเดิม

3) นำไประเหยแห้ง ด้วยก๊าซไนโตรเจน 99.99 % จนสารละลายเหลือปริมาณน้อย ใช้ Microsyringe ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยสาร DCM ดูดสารละลายใส่ใน insert vial ซึ่งบรรจุในขวดสี่ขาขนาด 2 มิลลิลิตร และนำไประเหยแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจนจนแห้งสนิท ดังรูปที่ 3.13

4) เติมสาร DCM ปริมาตร 50 ไมโครลิตร ปิดฝาขวด และพันฝาขวดด้วยพาราฟิน และนำไปวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของสารพีเอเอชในตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง GC/MS



รูปที่ 3.12 Sonopuls Ultrasonic Homogenizer รูปที่ 3.13 การระเหยแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน



รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการสกัดสารพีเอเอช

### 3.3.3 การวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารพีเอเอชในสารละลายมีความสลับซับซ้อนมาก โดยทั่วไปจะลดความซับซ้อนของตัวอย่างลงโดยการแยกสารพีเอเอช ออกเป็นส่วนๆ โดยใช้หลักการของ Liquid Chromatography ตามความสามารถในการละลายของสารในตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วที่แตกต่างกัน ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่มีความเป็นขั้วสูง มีความเป็นขั้วปานกลาง และไม่มีความเป็นขั้ว แต่แต่ละส่วนที่แยกได้จะนำไปวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ Gas Chromatography (GC) (จินตนา, 2541)

การตรวจสอบสารพีเอเอช ที่แยกออกจากเครื่อง GC เพียงอย่างเดียวยังไม่เป็นวิธีที่ดีที่สุด เนื่องจากไม่สามารถยืนยันผลการวิเคราะห์ได้แน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เวลาวิเคราะห์ขึ้นเป็นตัววัด วิธีการตรวจวัดสารพีเอเอชที่เป็นที่นิยมมาก คือ การใช้ Mass Spectrometer (MS) เป็นตัววัดสารที่ได้ผ่านการแยกด้วยเครื่อง GC ซึ่งสารจะผ่านเข้าสู่ขบวนการแตกตัวเป็นไอออนโดยการชนกับอิเล็กตรอนแล้วแตกเป็นแฟรกเมนต์ที่ได้จะมีประจุหนึ่งบวก และจะวิ่งไปตามทางโค้งตามทฤษฎีแรงหนีศูนย์กลาง ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับมวลของสาร และสัดส่วนกลับของเส้นรัศมี มวลที่มีประจุสามารถวิ่งผ่านไปถึงตัววัดเครื่องได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแรงของสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำ และบังคับการวิ่งของมวลที่มีประจุให้วิ่งผ่านไปโดยไม่ชนผนังของท่อทางเดิน (Flight Tube) ขนาดของสนามแม่เหล็กที่ให้ขึ้นอยู่กับขนาดของมวลที่มีประจุนั้น การสแกนสนามแม่เหล็กจะเป็นการสแกนมวลต่อประจุของแฟรกเมนต์ ค่าความเข้มของแต่ละแฟรกเมนต์ขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการแตกตัวให้แฟรกเมนต์นั้น กราฟที่แสดงค่าความเข้มของแฟรกเมนต์ต่อมวลของประจุ เรียกว่า Mass Spectrum โดยการแตกตัวให้แฟรกเมนต์ของสารชนิดหนึ่งๆ เป็นลักษณะเฉพาะของสาร ดังนั้น การตรวจสอบโดยวิธี Mass Spectrometer เป็นการยืนยันการวิเคราะห์ที่ดีมากและให้ความไวของการตรวจวัดสูง (จินตนา, 2541)

ดังนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารพีเอเอชในการวิจัยนี้ คือ เครื่อง Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS) ผลิตโดยบริษัท Varian ซึ่งกำหนดสภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ดังตารางที่ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตารางที่ 3.2 สภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS ในการวิเคราะห์สารพีเอเอช

| เครื่องวิเคราะห์        | ตัวแปร   | ลักษณะเฉพาะ   |
|-------------------------|--|---|
| Gas Chromatography (GC) | ชนิดของคอลัมน์ (column type)<br>เฟสเคลื่อนที่ (mobile phase)<br>อุณหภูมิของอินดิเคเตอร์<br>อุณหภูมิของทรานซเฟอร์ไลน์<br>โหมดการฉีดตัวอย่าง                                       | แคปิลารี รูน CP-8944 ยาว 30 เมตร<br>ใช้ก๊าซฮีเลียม (He) มีความบริสุทธิ์ 99.999%<br>อัตราการไหลของก๊าซ 1.0 มิลลิเมตรต่อนาที<br>300 องศาเซลเซียส<br>269 องศาเซลเซียส<br>ตัวอย่างที่ฉีดเข้าเครื่อง 1 ไมโครลิตร แยกที่ 1:50 (split) |
| Mass Spectrometry (MS)  | ชนิดของตัววิเคราะห์มวลสาร<br>โหมดการแตกตัวเป็นไอออน<br>พลังงานของอิเล็กตรอนเพื่อทำให้มวลสารแตกตัว<br>การสแกนมวลแบบเลือกช่วง<br>มวลสารตั้งแต่<br>โหมดการบันทึกโครมาโตแกรมแบบไอออน | ไอออนแทรป (Ion trap)<br>อิเล็กตรอนอิมแพค (EI <sup>+</sup> )<br>70 eV<br>50-300 AMU<br>SIS (Selective Ion Spectrum)  |

กำหนดสภาวะการทำงานของเครื่อง GC/MS โดยทำการฉีดแบบอัตโนมัติด้วยสารละลายตัวอย่างพีเอเอชที่สกัดแล้วเข้าสู่เครื่อง GC โดยผ่านอินเจคเตอร์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ปริมาณ 1 ไมโครลิตร เข้าสู่คอลัมน์ CP-8944 ซึ่งเคลือบด้วยสารละลาย diphenyl 5% และ dimethyl 89% มีความยาว 30 เมตร ที่สภาวะการแยกใช้อัตราการพาของก๊าซ He 1 มิลลิเมตรต่อนาที อุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เพิ่มเป็น 230 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสต่อนาที แล้วเปลี่ยนเป็น 300 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่ม 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที สารพีเอเอชต่างชนิดกันจะมีการกระจายตัวอยู่ระหว่างเฟสของเหลวที่เป็นฟิล์มเคลือบอยู่ภายในคอลัมน์ และเฟสที่เป็นก๊าซเป็นตัวพาด้วยอัตราที่ต่างกัน โดยมีอุณหภูมิของเตา GC เป็นปัจจัยช่วยหน่วง หรือเร่งการกระจายตัวของสาร ทำให้เกิดการแยกสารขึ้น สารพีเอเอชที่ถูกหน่วงน้อยที่สุดจะถูกแยกออกมาจากคอลัมน์ก่อน และสารตัวอื่นที่ถูกหน่วงมากกว่าก็จะแยกออกมาตามลำดับ เมื่อสารเคลื่อนที่ผ่านพ้นเครื่อง GC เข้าสู่ทรานซเฟอร์ไลน์ ระหว่างเครื่อง GC กับ MS ที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส เพื่อกันไม่ให้ไอ

ของสารเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ซึ่งไอสารที่แยกจะผ่านเข้าสู่เครื่อง MS ซึ่งเป็นส่วนของ Ion trap ทำหน้าที่วิเคราะห์มวลสารโดยการยิงอิเล็กตรอนพลังงานสูง ( $EI^+ 70eV$ ) ในสารตัวอย่างทำให้สารเกิดการแตกตัวเป็นแฟร็กเมนต์ไอออนที่ประจุบวกหนึ่งและกักเก็บประจุเหล่านี้เอาไว้ ซึ่งจะครอบคลุมมวลสารตั้งแต่ช่วง 50-300 AMU ทำให้ได้แฟร็กเมนต์ไอออนทั้งหมดจากการสแกน 1 ครั้ง ตกลงสู่เครื่องตรวจวัดของส่วน MS และมีการควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมของเครื่องทำให้สามารถบันทึกผล และรายงานเป็นโครมาโตแกรมที่แสดงปริมาณและมวลของสารด้วยแมสสเปคตรัมของแต่ละสารได้ อีกทั้งยังสามารถใช้โหมดการบันทึกไอออนเฉพาะหรือไอออนเดี่ยวได้คือ โหมด SIS (Selective Ion Spectrum) ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถใช้หาปริมาณสารพีเอเอชโดยการสแกนเฉพาะพีคของแฟร็กเมนต์ไอออน หรือแมสสเปคตรัมของสารพีเอเอชที่ศึกษาแทนการสแกนตั้งแต่ช่วง 50-300 AMU ซึ่งทำให้ผลการตรวจวัดแต่ละพีคดียิ่งขึ้น (สุทธิชาน์, 2548)

การวิเคราะห์สารพีเอเอชในฝุ่นละออง จะใช้ PAHs Standard Mix 16 ชนิด และ Internal Standard Mix 6 ชนิด ซึ่งมี retention time และ ion fragments ที่ใช้ตรวจวัดสารพีเอเอชชนิดต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 Retention time และ Ion fragments ของสารพีเอเอชชนิดต่างๆ

| สารพีเอเอช     | Ion Mass | Retention Time |
|----------------|----------|----------------|
| PAHs standard  |          |                |
| Naphthalene    | 128+102  | 8.727          |
| Acenaphthylene | 152+151  | 11.361         |
| Acenaphthene   | 153+154  | 11.598         |
| Fluorene       | 166+165  | 12.566         |
| Phenanthrene   | 178+152  | 14.453         |
| Anthracene     | 178+152  | 14.737         |
| Fluoranthene   | 202+101  | 17.022         |

ตารางที่ 3.3 (ต่อ) Retention time และ Ion fragments ของสารพีเอเอชชนิดต่างๆ

| สารพีเอเอช                | Ion Mass | Retention Time |
|---------------------------|----------|----------------|
| PAHs standard             |          |                |
| Benzo [b] fluoranthene    | 252+126  | 23.082         |
| Pyrene                    | 202+101  | 17.487         |
| Benzo [a] anthracene      | 228+114  | 21.283         |
| Chrysene                  | 228+114  | 21.577         |
| Benzo [k] fluoranthene    | 252+126  | 23.161         |
| Benzo [a] pyrene          | 252+126  | 24.176         |
| Indeno [1,2,3 -CD] pyrene | 276+138  | 27.948         |
| Dibenzo [A, H] Anthracene | 278+139  | 28.001         |
| Benzo [G, H, I] perylene  | 276+138  | 28.737         |
| Internal standard         |          |                |
| 1,4-dichlorobenzene-d4    | 150+152  | 6.475          |
| Naphthalene-d8            | 136+132  | 8.648          |
| Acenaphthene-d10          | 162+164  | 11.533         |
| Phenanthrene-d10          | 188+160  | 13.629         |
| Chrysene-d12              | 240+120  | 21.329         |
| Perylene-d12              | 264+132  | 24.378         |

Retention time และ Ion fragments ของสารพีเอเอชแต่ละชนิด จะใช้เป็นข้อมูลในการตรวจหาสารพีเอเอชในตัวอย่างฝุ่นละออง ซึ่งถ้าสารในตัวอย่างฝุ่นละอองมี Retention time และ Ion fragments ตรงกับสารพีเอเอชในสารละลายมาตรฐานพีเอเอช แสดงว่าสารในตัวอย่างฝุ่นละอองเป็นสารพีเอเอชชนิดนั้น



### 3.3.4 การคำนวณความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละออง

การคำนวณความเข้มข้นของสารพีเอเอชในตัวอย่างฝุ่นละอองจากการสกัดสารและวิเคราะห์ด้วย GC/MS ในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟ ปริมาตรสารหลังจากการสกัด ปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง ดังสมการที่ 3.3

$$\text{PAH Conc. (ng/m}^3\text{)} = (C_x)(D)(10^3) \text{ ng/ml} \times \frac{A/B \times (V_s)(10^{-3}) \text{ ml} \times F_T \times 1}{E/F \quad V_{inj} \quad F_s \quad V_A} \dots\dots\text{สมการที่ 3.3}$$

- เมื่อ
- $C_x$  = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานสารประกอบพีเอเอช ( $\mu\text{g/ml}$ )
  - $D$  = dilution factor
  - $A$  = พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบพีเอเอชเป้าหมายในตัวอย่าง
  - $B$  = พื้นที่ใต้กราฟของ Internal PAH Standard ในตัวอย่าง
  - $E$  = พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบพีเอเอชเป้าหมายใน Standard
  - $F$  = พื้นที่ใต้กราฟของ Internal PAH Standard ใน Standard
  - $V_s$  = ปริมาตรของตัวอย่างที่เตรียมก่อนฉีด GC/MS ( $\mu\text{l}$ )
  - $V_{inj}$  = ปริมาตรของตัวอย่างที่ฉีด GC/MS ( $\mu\text{l}$ )
  - $F_T$  = จำนวนกระดาษกรองทั้งแผ่นที่นำมาวิเคราะห์สารประกอบพีเอเอช (ส่วน)
  - $F_s$  = จำนวนกระดาษกรองที่แบ่งมาวิเคราะห์สารประกอบพีเอเอช (ส่วน)
  - $V_A$  = ปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง ( $\text{m}^3$ )

## 3.4 การรวบรวมและการวิเคราะห์ข้อมูล

### 3.4.1 การรวบรวมข้อมูลสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจาก

#### แหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ

ข้อมูลความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ จะเป็นข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองสมมูลมวลเคมีเพื่อคำนวณสัดส่วนแหล่งกำเนิด โดยสารพีเอเอชชนิดที่มีความเข้มข้นสูง และเมื่อเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดอื่นๆ จะมีความเข้มข้นที่สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด เป็นผลให้สารพีเอเอชชนิดนั้นชี้ถึงฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิดนั้นได้ค่อนข้างดี แต่ถ้าแหล่งกำเนิดใดที่มีค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชใกล้เคียงกัน ก็อาจทำให้ไม่สามารถจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นได้ เพราะฉะนั้นแหล่งกำเนิดแต่ละแห่งจำเป็นต้องมีสารพีเอเอชที่เป็นตัวชี้

ที่มาได้เป็นอย่างดีดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกข้อมูลสัดส่วนความเข้มข้นของสารพีเอเอชของแหล่งกำเนิดต่างๆ ที่สำคัญของกรุงเทพมหานครจากงานวิจัยของปาจริย์ ทองสนิท (2545) ดังภาคผนวก ก และภาคผนวก ข

### 3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แบบจำลองสมดุลมวลเคมี

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้แบบจำลองสมดุลมวลเคมีรุ่นที่ 8.2 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่คิดค้นและพัฒนาโดย U.S. EPA. โดยใช้ประมาณสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นในบรรยากาศ รายละเอียดของการวิเคราะห์เป็นดังนี้

1) ตรวจสอบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคขนาดนาโน (Nano-particle sampler) กับเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบคัสเคดขนาด 9 ชั้น (Cascade impactor) และเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (High volume air sampler) รวมทั้งเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

2) วิเคราะห์สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน โดยใช้แบบจำลองสมดุลมวลเคมีรุ่นที่ 8.2 และใช้ข้อมูลสัดส่วนสารพีเอเอชของแหล่งกำเนิดจากงานวิจัยของปาจริย์ ทองสนิท (2545) ซึ่งองค์ประกอบของข้อมูลที่เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองสมดุลมวลเคมีรุ่นที่ 8.2 ประกอบด้วย แฟ้มข้อมูลควบคุมการทำงาน (Control file) เป็นแฟ้มข้อมูล IN\*.in8 ซึ่งภายในมีแฟ้มหลัก 5 แฟ้ม คือ PR\*.sel, SP\*.sel, AD\*.sel, AD\*.cvs และ PR\*.cvs

(1) PR\*.sel คือ แฟ้มข้อมูลแจกแจงแหล่งกำเนิดที่ศึกษา ในแฟ้มนี้จะแสดงแหล่งกำเนิดที่นำมาศึกษาและแสดงรหัส ดังนี้

| รหัส   | แหล่งกำเนิด | คำอธิบาย                    |
|--------|-------------|-----------------------------|
| SAM001 | HDDV        | HEAVY DUTY DIESEL VEHICLE   |
| SAM002 | LDDV        | LIGHT DUTY DIESEL VEHICLE   |
| SAM003 | LDGV        | LIGHT DUTY Gasoline VEHICLE |
| SAM004 | TWOSMO      | TWO STROKE MOTORCYCLE       |
| SAM005 | FOUOSM      | FOUR STROKE MOTORCYCLE      |
| SAM006 | TTG         | TUKTUK (GASOLINE)           |
| SAM007 | TTC         | TUKTUK (CNG)                |
| SAM008 | BSHO        | BOILER STACK (HEAVY OIL)    |
| SAM009 | INS         | INCINERATOR STACK           |
| SAM010 | ROD         | ROAD DUST                   |

(2) SP\*.sel คือ เพิ่มข้อมูลแจกแจงองค์ประกอบทางเคมีที่ใช้ ในแฟ้มนี้จะแสดงชนิดขององค์ประกอบทางเคมีต่างๆทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในฝุ่นและนำมาใช้ในการคำนวณ โดยมีข้อกำหนดของแบบจำลองว่า คอลัมน์แรกของข้อมูลต้องเป็นน้ำหนักฝุ่นที่ตรวจวัดได้ที่แหล่งรับ

| รหัส | องค์ประกอบ | คำอธิบาย                 |
|------|------------|--------------------------|
| TMAC | TOT        | Total Mass Concentration |
| NAPC | NAP        | Naphthalene              |
| ACYC | ACY        | Acenaphthylene           |
| ACEC | ACE        | Acenaphthene             |
| FLUC | FLU        | Fluorene                 |
| PHEC | PHE        | Phenanthrene             |
| ANTC | ANT        | Anthracene               |
| FLTC | FLT        | Fluoranthene             |
| PYRC | PYR        | Pyrene                   |
| BAAC | BAA        | Benzo(a)anthracene       |
| CHRC | CHR        | Chrysene                 |
| BBFC | BBF        | Benzo(b)fluoranthene     |
| BKFC | BKF        | Benzo(k)fluoranthene     |
| BAPC | BAP        | Benzo(a)pyrene           |

(3) AD\*.sel คือ เพิ่มข้อมูลแสดงจุดเก็บตัวอย่าง วันที่เก็บตัวอย่าง ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง เวลาเริ่มเก็บตัวอย่าง และขนาดฝุ่นละออง เช่น

| ชื่อสถานี | เดือน/วัน/ปี | ระยะเวลา | เวลาเริ่ม | ขนาด |
|-----------|--------------|----------|-----------|------|
| DINS01    | 11/09/08     | 24       | 0         | FINE |
| DINS02    | 11/09/08     | 24       | 0         | FINE |
| DINS03    | 11/09/08     | 24       | 0         | FINE |
| DINS04    | 11/09/08     | 24       | 0         | FINE |

(4) AD\*.cvs คือ เพิ่มข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นที่แหล่งรับ (Ambient data input file) พร้อมค่า Uncertainty เป็นคู่ เช่น TMAC คือค่าความเข้มข้นของฝุ่น TMAU คือค่า Uncertainty ของความเข้มข้นของฝุ่น NAPC คือค่าความเข้มข้นของ Naphthalene ในฝุ่น และ NAPU คือค่า Uncertainty ของ Naphthalene ในฝุ่น เช่น

| รหัส   | เดือน/วันปี | ระยะเวลา | เวลาเริ่ม | ขนาด | TMAC       | TMAU      | NAPC   | NAPU ...   |
|--------|-------------|----------|-----------|------|------------|-----------|--------|------------|
| DINS01 | 11/09/08    | 24       | 0         | FINE | 661.0000   | 66.1000   | 0.1880 | 0.0188 ... |
| DINS02 | 11/09/08    | 24       | 0         | FINE | 21465.0000 | 2146.5000 | 0.1574 | 0.0157...  |

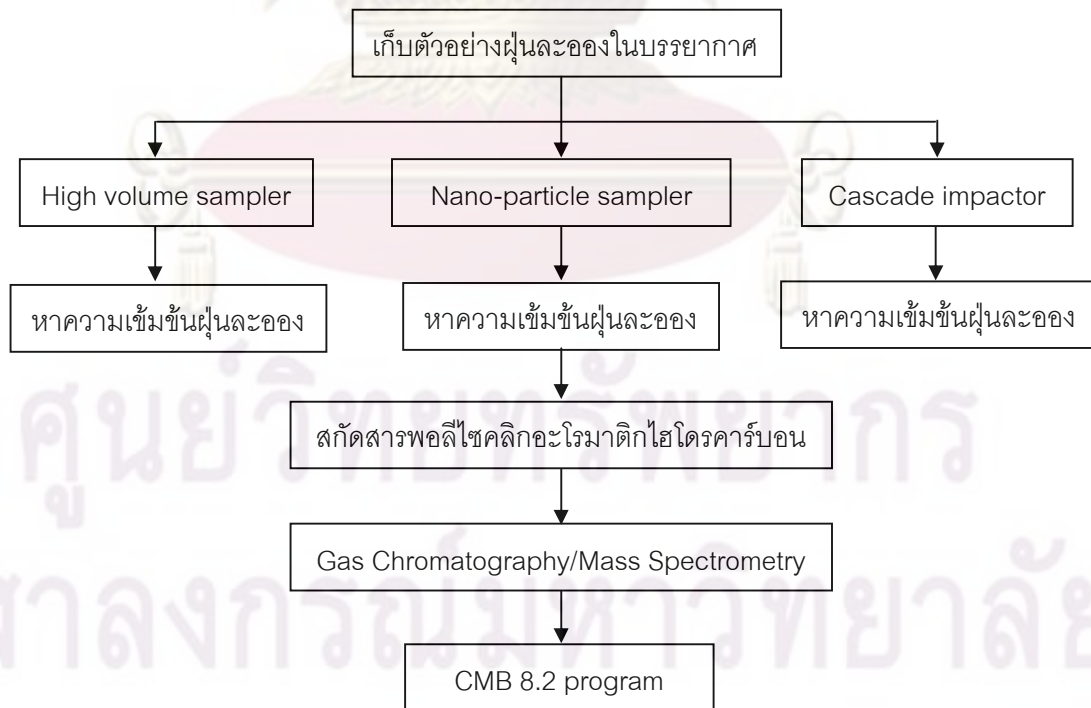
ค่า Uncertainty กำหนดค่าความไม่แน่นอนของผลการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศไว้ที่ 10% และความไม่แน่นอนของสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นจากแหล่งกำเนิด 20% เนื่องจากมีความแปรผันของสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดชนิดเดียวกัน ด้วย (Mukund, Kelly และ Spicer, 1996)

(5) PR\*.cvs คือ เพิ่มข้อมูลสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดต่างๆ พร้อมค่า Uncertainty เป็นคู่ เช่น NAPF คือ mass fraction ของ Naphthalene ในฝุ่น และ NAPU คือ ค่า Uncertainty ของ Naphthalene ในฝุ่น เช่น

| รหัส   | แหล่งกำเนิด | ขนาด | NAPF   | NAPU ...    |
|--------|-------------|------|--------|-------------|
| SAM001 | HDDV        | FINE | 0.0298 | 0.00596 ... |

3) เปรียบเทียบสัดส่วนการกระจายแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ระหว่าง 3 สถานี

การดำเนินการวิจัยสามารถสรุปขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 สรุปขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

### 3.5 ตัวแปรการศึกษา

ในการวิจัยนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น และวิเคราะห์สารพีเอเอช รวมทั้งหาสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง ซึ่งมีตัวแปรดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่าตัวแปรต่างๆ ในการวิจัย

| ตัวแปรควบคุม  | ค่าที่ใช้ในการวิจัย   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- เครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่น</li> <li>- อัตราการไหลของอากาศ               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nano-particle sampler</li> <li>- Cascade impactor</li> <li>- High volume sampler</li> </ul> </li> <li>- ระยะเวลาเก็บตัวอย่าง</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nano-particle sampler</li> <li>- Cascade impactor</li> <li>- High volume sampler</li> <li>- 40 ลิตรต่อนาที</li> <li>- 28.3 ลิตรต่อนาที</li> <li>- 1.1-1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที</li> <li>- 24 ชั่วโมง</li> </ul> |
| ตัวแปรอิสระ   | ค่าที่ใช้ในการวิจัย   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- ลักษณะพื้นที่</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- บริเวณพื้นที่ทั่วไป 2 สถานี</li> <li>- บริเวณริมถนน 1 สถานี</li> </ul>   |
| ตัวแปรตาม   | เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเข้มข้นของสารพีเอเอช 16 ชนิด</li> <li>- สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่น</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gas Chromatography/Mass Spectrometry</li> <li>- Chemical Mass Balance Model</li> </ul>   |

## บทที่ 4 ผลการศึกษา

### 4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาด

ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่เก็บด้วยเครื่อง Nano-particle sampler ซึ่งมีการคัดขนาดฝุ่น 5 ช่วงขนาด ได้แก่  $> 10 \mu\text{m}$   $2.5-10 \mu\text{m}$   $1.0-2.5 \mu\text{m}$   $0.1-1.0 \mu\text{m}$  และ  $< 0.1 \mu\text{m}$  ในพื้นที่ริมถนน 1 สถานี คือ การเคหะชุมชนดินแดง และพื้นที่ทั่วไป 2 สถานี คือ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สามารถแสดงผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองได้ดังนี้

#### 4.1.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Nano-particle sampler เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง ซึ่งเป็นพื้นที่ริมถนน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2551 ถึงเดือนมกราคม 2552 สามารถแสดงผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละขนาด ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งพบว่าช่วงขนาดฝุ่นละอองที่มีความเข้มข้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับฝุ่นละอองขนาดอื่น คือ ฝุ่นละอองขนาด  $2.5-10$  และ  $0.1-1$  ไมครอน โดยฝุ่นละอองขนาด  $2.5-10$  ไมครอน มีความเข้มข้นสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 35.979 และ 19.460 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และฝุ่นละอองขนาด  $0.1-1$  ไมครอน มีความเข้มข้นสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 39.288 และ 16.174 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในขณะที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า  $0.1$  ไมครอน มีแนวโน้มความเข้มข้นต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับฝุ่นละอองขนาดอื่น โดยมีความเข้มข้นสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 13.492 และ 4.311 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้จะเห็นว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีผลต่ออัตราการไหลของอากาศ โดยเมื่อฝุ่นละอองรวมมีความเข้มข้นสูง อัตราการไหลของอากาศจะมีแนวโน้มลดลง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

| วันที่     | อัตราไหล      |         | ความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |                   |                      |                     |                     |                    |
|------------|---------------|---------|--|-------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
|            | อากาศ (L/min) |         | รวม  | >10 $\mu\text{m}$ | 2.5-10 $\mu\text{m}$ | 1-2.5 $\mu\text{m}$ | 0.1-1 $\mu\text{m}$ | <0.1 $\mu\text{m}$ |
|            | เริ่มต้น      | สิ้นสุด |  |                   |                      |                     |                     |                    |
| 9 พ.ย. 51  | 40            | 37      | 50.986   | 0.661             | 21.465               | 8.057               | 16.174              | 4.630              |
| 15 พ.ย. 51 | 40            | 33      | 84.982   | 13.508            | 23.656               | 13.064              | 25.558              | 9.196              |
| 21 พ.ย. 51 | 40            | 35      | 89.198   | 15.370            | 21.852               | 13.827              | 25.679              | 12.469             |
| 27 พ.ย. 51 | 40            | 32      | 95.422   | 13.117            | 30.864               | 13.567              | 28.035              | 9.838              |
| 3 ธ.ค. 51  | 40            | 32      | 115.162  | 16.718            | 35.815               | 15.625              | 39.288              | 7.716              |
| 9 ธ.ค. 51  | 40            | 30      | 136.706  | 27.579            | 35.979               | 23.810              | 35.847              | 13.492             |
| 15 ธ.ค. 51 | 40            | 30      | 141.590  | 14.596            | 33.115               | 42.953              | 38.580              | 12.346             |
| 28 ธ.ค. 51 | 40            | 35      | 86.654   | 11.750            | 22.031               | 15.198              | 30.268              | 7.407              |
| 3 ม.ค. 52  | 40            | 31      | 79.030   | 13.628            | 21.844               | 7.629               | 27.778              | 8.151              |
| 9 ม.ค. 52  | 40            | 36      | 76.762   | 14.670            | 19.460               | 16.706              | 21.616              | 4.311              |
| ค่าเฉลี่ย  | 40            | 33.1    | 95.650   | 14.160            | 26.608               | 17.044              | 28.882              | 8.956              |

4.1.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Nano-particle sampler เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ซึ่งเป็นพื้นที่ทั่วไป ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม 2552 สามารถแสดงผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละขนาด ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่า ช่วงขนาดฝุ่นละอองที่มีความเข้มข้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับฝุ่นละอองขนาดอื่น คือ ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน โดยมีความเข้มข้นสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 39.827 และ 13.484 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ส่วนช่วงขนาดฝุ่นละอองที่มีความเข้มข้นต่ำ คือ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน โดยมีความเข้มข้นสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 18.578 และ 0.058 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

| วันที่      | อัตราไหล<br>อากาศ (L/min) |         | ความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |                   |                      |                     |                     |                    |
|-------------|---------------------------|---------|--|-------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
|             | เริ่มต้น                  | สิ้นสุด | รวม  | >10 $\mu\text{m}$ | 2.5-10 $\mu\text{m}$ | 1-2.5 $\mu\text{m}$ | 0.1-1 $\mu\text{m}$ | <0.1 $\mu\text{m}$ |
| 15 ม.ค. 52  | 40                        | 35      | 120.556  | 15.803            | 31.790               | 26.420              | 39.691              | 6.852              |
| 21 ม.ค. 52  | 40                        | 36      | 104.098  | 15.581            | 28.279               | 23.801              | 31.346              | 5.091              |
| 27 ม.ค. 52  | 40                        | 38      | 100.902  | 24.513            | 31.813               | 17.688              | 14.898              | 11.990             |
| 2 ก.พ. 52   | 40                        | 38      | 105.176  | 21.605            | 29.915               | 18.459              | 16.619              | 18.578             |
| 8 ก.พ. 52   | 40                        | 37      | 116.041  | 12.446            | 28.259               | 30.002              | 36.736              | 8.598              |
| 14 ก.พ. 52  | 40                        | 38      | 132.241  | 13.058            | 39.827               | 25.997              | 45.228              | 8.132              |
| 20 ก.พ. 52  | 40                        | 39      | 66.163   | 18.870            | 20.335               | 12.893              | 7.677               | 6.388              |
| 26 ก.พ. 52  | 40                        | 39      | 57.203   | 19.540            | 15.688               | 9.062               | 7.419               | 5.494              |
| 4 มี.ค. 52  | 40                        | 40      | 35.012   | 10.301            | 13.484               | 5.613               | 5.556               | 0.058              |
| 10 มี.ค. 52 | 40                        | 40      | 42.303   | 14.931            | 16.609               | 5.035               | 5.614               | 0.116              |
| ค่าเฉลี่ย   | 40                        | 38      | 87.970   | 16.665            | 25.600               | 17.497              | 21.078              | 7.130              |

#### 4.1.3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Nano-particle sampler เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นพื้นที่ทั่วไป ตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม 2552 สามารถแสดงผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละขนาด ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งพบว่า ช่วงขนาดฝุ่นละอองที่มีความเข้มข้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับฝุ่นละอองขนาดอื่น คือ ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน โดยมีความเข้มข้นสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 13.652 และ 2.968 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในขณะที่ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน มีแนวโน้มความเข้มข้นต่ำ โดยมีความเข้มข้นสูงสุดและต่ำสุดเท่ากับ 6.564 และ 0.950 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และพบว่าความสูงของจุดเก็บตัวอย่างมีผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองเนื่องจากบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยมีความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา โดยมีความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมสูงสุด 57.396 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่บริเวณการเคหะชุมชน



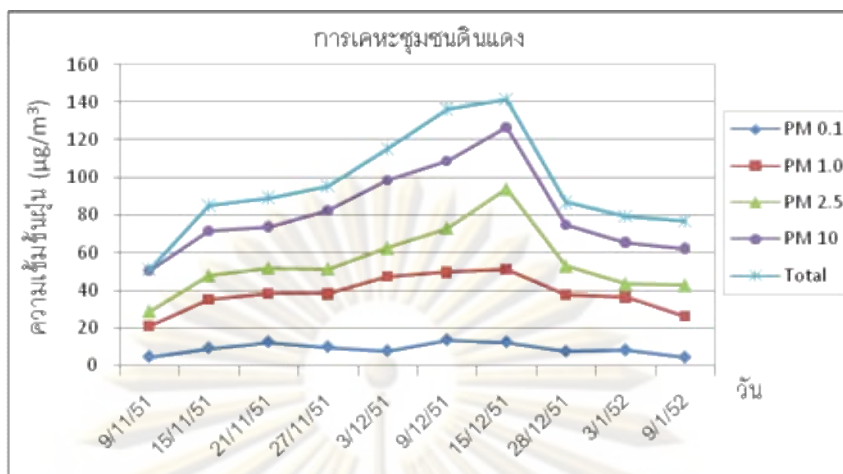
ดินแดงและบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมสูงสุด เท่ากับ 141.590 และ 132.241 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

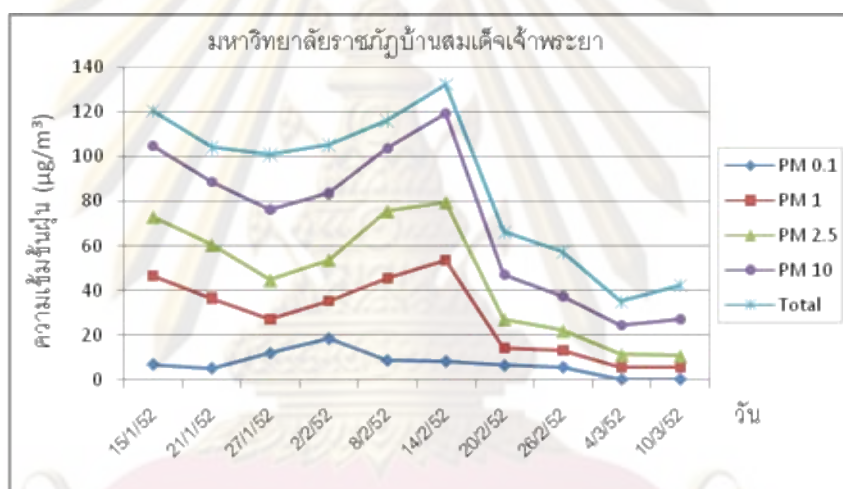
| วันที่      | อัตราไหล<br>อากาศ (L/min) |         | ความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |                   |                      |                     |                     |                    |
|-------------|---------------------------|---------|--|-------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
|             | เริ่มต้น                  | สิ้นสุด | รวม  | >10 $\mu\text{m}$ | 2.5-10 $\mu\text{m}$ | 1-2.5 $\mu\text{m}$ | 0.1-1 $\mu\text{m}$ | <0.1 $\mu\text{m}$ |
| 16 มี.ค. 52 | 40                        | 38      | 57.396   | 10.684            | 2.968                | 13.711              | 24.691              | 5.342              |
| 22 มี.ค. 52 | 40                        | 39      | 39.530   | 10.446            | 13.652               | 11.099              | 3.383               | 0.950              |
| 28 มี.ค. 52 | 40                        | 39      | 22.093   | 1.993             | 8.087                | 5.509               | 4.278               | 2.227              |
| 3 เม.ย. 52  | 40                        | 39      | 37.154   | 0.234             | 9.318                | 6.622               | 14.416              | 6.564              |
| 9 เม.ย. 52  | 40                        | 40      | 33.796   | 4.919             | 10.532               | 3.993               | 8.449               | 5.903              |
| 15 เม.ย. 52 | 40                        | 40      | 26.852   | 7.292             | 11.227               | 2.083               | 4.745               | 1.505              |
| 21 เม.ย. 52 | 40                        | 39      | 28.129   | 4.981             | 9.259                | 3.575               | 6.974               | 3.340              |
| 27 เม.ย. 52 | 40                        | 40      | 32.581   | 0.232             | 8.854                | 6.944               | 15.220              | 1.331              |
| 3 พ.ค. 52   | 40                        | 38      | 37.868   | 1.959             | 8.191                | 10.803              | 12.643              | 4.274              |
| 9 พ.ค. 52   | 40                        | 39      | 24.320   | 0.234             | 11.428               | 2.101               | 8.849               | 1.700              |
| ค่าเฉลี่ย   | 40                        | 39.1    | 33.972   | 4.297             | 9.352                | 6.644               | 10.365              | 3.314              |

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สามารถแสดงเป็นกราฟความเข้มข้นฝุ่นละอองได้ดังรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

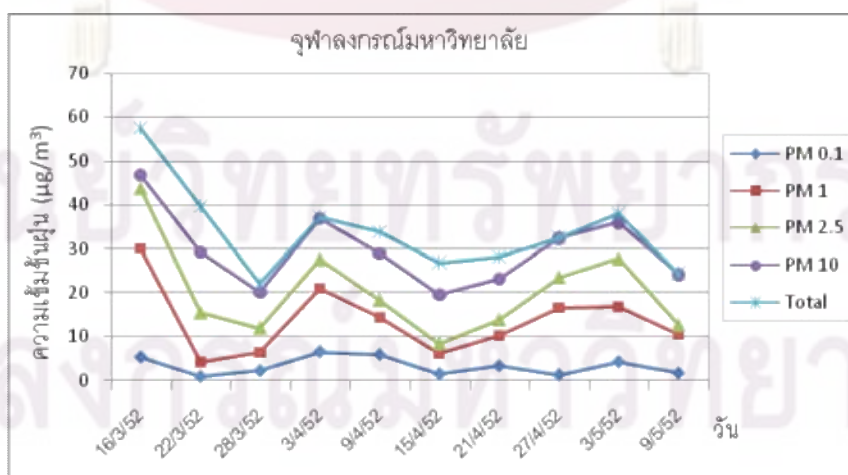
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และค่าสูงสุดในพื้นที่ศึกษา

| ฝุ่นละอองขนาด<br>ต่างๆ | ความเข้มข้นของฝุ่นละออง ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |                     |            |           |                     |            |           |                     |            |
|------------------------|--|---------------------|------------|-----------|---------------------|------------|-----------|---------------------|------------|
|                        | ดินแดง   | บ้านสมเด็จเจ้าพระยา | จุฬาลงกรณ์ | ดินแดง    | บ้านสมเด็จเจ้าพระยา | จุฬาลงกรณ์ | ดินแดง    | บ้านสมเด็จเจ้าพระยา | จุฬาลงกรณ์ |
|                        | ค่าต่ำสุด  |                     |            | ค่าเฉลี่ย |                     |            | ค่าสูงสุด |                     |            |
| PM <sub>0.1</sub>      | 4.31   | 0.06                | 0.95       | 8.96      | 7.13                | 3.31       | 13.49     | 18.58               | 6.56       |
| PM <sub>1</sub>        | 20.80  | 5.61                | 4.33       | 37.84     | 28.21               | 13.68      | 50.93     | 53.36               | 30.03      |
| PM <sub>2.5</sub>      | 28.86  | 10.76               | 8.33       | 54.88     | 45.70               | 20.32      | 93.88     | 79.36               | 43.74      |
| PM <sub>10</sub>       | 50.32  | 24.71               | 19.56      | 81.49     | 71.30               | 29.67      | 126.99    | 119.18              | 46.71      |

ตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่ศึกษา 3 บริเวณ พบว่า บริเวณที่มีค่าความเข้มข้นของ PM<sub>0.1</sub> และ PM<sub>1</sub> สูงสุด คือ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ซึ่งมีค่าเท่ากับ 18.58 และ 53.36 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> สูงสุด คือ การเคหะชุมชนดินแดง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 93.88 และ 126.99 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาที่ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยจะพบว่า บริเวณที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดของฝุ่นทั้ง 4 ขนาด ได้แก่ PM<sub>0.1</sub> PM<sub>1</sub> PM<sub>2.5</sub> และ PM<sub>10</sub> คือ การเคหะชุมชนดินแดง

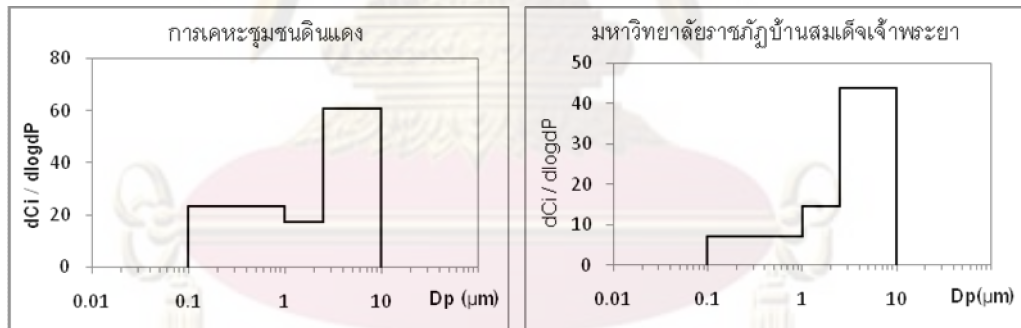
ตารางที่ 4.5 สัดส่วนความเข้มข้นฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่ศึกษา

| ฝุ่นละอองแต่ละช่วงขนาด                  | ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละออง (เปอร์เซ็นต์) |                    |                                      |           |
|---|--|--------------------|--------------------------------------|-----------|
|   | บริเวณริมถนน                                   | พื้นที่ทั่วไป      |                                      | ค่าเฉลี่ย |
|   |  | การเคหะชุมชนดินแดง | มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา |           |
| ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 0.1 $\mu\text{m}$ | 10.99  | 10.00              | 11.17                                | 10.72     |
| ฝุ่นละอองขนาด 0.1 - 1.0 $\mu\text{m}$   | 35.44  | 29.56              | 34.93                                | 33.31     |
| ฝุ่นละอองขนาด 1.0-2.5 $\mu\text{m}$     | 20.92  | 24.54              | 22.39                                | 22.62     |
| ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10.0 $\mu\text{m}$    | 32.65  | 35.90              | 31.51                                | 33.35     |
| รวม                                     | 100.00   | 100.00             | 100.00                               | 100.00    |
| PM <sub>2.5</sub> : PM <sub>10</sub>    | 0.67   | 0.64               | 0.68                                 | 0.66      |

ตารางที่ 4.5 พบว่าค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาด ในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีสัดส่วนเฉลี่ยของ  $PM_{2.5-10}$   $PM_{1.0-2.5}$   $PM_{0.1-1.0}$  และ  $PM_{0.1}$  ต่อความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  เท่ากับ 33.35 22.62 33.31 และ 10.72 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อหาสัดส่วนความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  ต่อ  $PM_{10}$  ในบริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไป พบว่ามีค่าเท่ากับ 0.67 และ 0.66 ตามลำดับ แสดงว่าฝุ่นในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 แห่งเป็นฝุ่นขนาดเล็กมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่

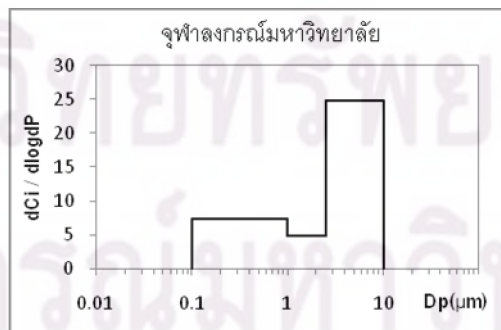
#### 4.2 การกระจายตัวของฝุ่นละอองแต่ละขนาด

การวัดการกระจายตัวของฝุ่นละออง (Size Distribution, SD) โดยการวัดการสะสมของฝุ่นละออง (cumulative weight) เพื่ออธิบายลักษณะพฤติกรรมของฝุ่นละอองในแต่ละขนาด ว่าฝุ่นละอองมีแนวโน้มอยู่ในขนาดใดเป็นส่วนใหญ่ และมีการกระจายตัวเป็นกี่ช่วง เช่น มีฝุ่นละอองกระจายตัว 1 ช่วง (unimodal) หรือ มีฝุ่นละอองกระจายตัว 2 ช่วง (bimodal) เป็นต้น โดยตัวอย่างฝุ่นละอองเก็บด้วย Nano-particle sampler แบ่งออกเป็น 5 ช่วงขนาด คือ  $> 10 \mu m$   $2.5-10 \mu m$   $1.0-2.5 \mu m$   $0.1-1.0 \mu m$  และ  $< 0.1 \mu m$  ซึ่งสามารถแสดงเป็นกราฟลักษณะการกระจายตัวของฝุ่นละอองได้ดังรูปที่ 4.4



(ก) บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

(ข) บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา



(ค) บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.4 การกระจายตัวของฝุ่นละอองในพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 4.4 พบว่า ฝุ่นละอองในบริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีการกระจายตัว 2 ช่วง (bimodal) คือ ช่วงขนาด 0.1-1 ไมครอน และ 2.5-10 ไมครอน ส่วนฝุ่นละอองในบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีการกระจายตัวไม่ชัดเจน ซึ่งฝุ่นละอองในพื้นที่ทั้ง 3 แห่ง มีการกระจายตัวสูงสุดในช่วงขนาดเดียวกัน คือ 2.5-10 ไมครอน

#### 4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler กับเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดอื่นๆ

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วย Nano-particle sampler ซึ่งมีการคัดขนาดฝุ่น 5 ช่วงขนาด ได้แก่  $> 10 \mu\text{m}$   $2.5-10 \mu\text{m}$   $1.0-2.5 \mu\text{m}$   $0.1-1.0 \mu\text{m}$  และ  $< 0.1 \mu\text{m}$  ที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษบริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $\text{PM}_{10}$ ) และความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) จาก Nano-particle sampler เปรียบเทียบกับความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $\text{PM}_{10}$ ) ที่เก็บตัวอย่างด้วย Taper Element Oscillating Microbalance (TEOM) ในบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง Beta Ray ในบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม (TSP) ที่เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (High volume sampler) ของกรมควบคุมมลพิษในวันและบริเวณเดียวกัน สามารถแสดงถึงประสิทธิภาพในการคัดแยกขนาดฝุ่นละอองของ Nano-particle sampler ได้ โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) จากการทดสอบแบบ Linear Regression ที่ได้จากการทดสอบทางสถิติของโปรแกรม SPSS (Statistical Package for The Social Science) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler กับเครื่องเก็บตัวอย่างอื่นๆ ของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งได้แก่

- 1) ความเข้มข้นของ  $\text{PM}_{10}$  จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นของ  $\text{PM}_{10}$  จาก Taper Element Oscillating Microbalance (TEOM) บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง
- 2) ความเข้มข้นของ  $\text{PM}_{10}$  จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นของ  $\text{PM}_{10}$  จาก Beta Ray บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
- 3) ความเข้มข้นของ TSP จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นของ TSP จาก High volume sampler บริเวณการเคหะชุมชนดินแดงมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

พบว่า ความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  และ TSP จาก Nano-particle sampler มีความแตกต่าง กับ ความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  จาก Taper Element Oscillating Microbalance และ Beta Ray และ TSP จาก High volume sampler ของกรมควบคุมมลพิษ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  จาก Taper Element Oscillating Microbalance และ Beta Ray และ TSP จาก High volume sampler มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  และ TSP จาก Nano-particle sampler ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler, TEOM, Beta Ray และ High volume sampler บริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและมหาวิทยาลัยราชภัฏ บ้านสมเด็จเจ้าพระยา

| ความเข้มข้นเฉลี่ย ( $\mu g/m^3$ ) | การเคหะชุมชนดินแดง    |       | มหาวิทยาลัยราชภัฏ บ้านสมเด็จเจ้าพระยา |          |                     |
|-----------------------------------|-----------------------|-------|---------------------------------------|----------|---------------------|
|                                   | Nano-particle sampler | TEOM  | Nano-particle sampler                 | Beta Ray | High volume sampler |
| $PM_{10}$                         | 81.49                 | 99.35 | 71.30                                 | 101.56   | NA                  |
| TSP                               | 95.65                 | NA    | 98.43                                 | NA       | 133.09              |

หมายเหตุ 1) NA (Not Applicable) หมายถึง ไม่มีสามารถเปรียบเทียบได้ เนื่องจาก TEOM และ Beta Ray ใช้ตรวจวัดความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  และ High volume sampler ใช้ตรวจวัดความเข้มข้นของ TSP

2) ความเข้มข้นของ TSP จาก Nano-particle sampler คือ ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมทุกชั้นขนาด

จากการทดสอบทางสถิติแบบ Linear Regression ระหว่างความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  และ TSP จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  จาก TEOM และ Beta Ray และ TSP จาก High volume sampler ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ดังตารางที่ 4.7 ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  และ TSP จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  และ TSP จาก TEOM Beta Ray และ High volume sampler มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรง และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูง ( $R^2$ ) เข้าใกล้ 1 แสดงว่า ความ

เข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  และ TSP จาก Nano-particle sampler กับเครื่องเก็บตัวอย่างอื่นๆ มีความสัมพันธ์กันมาก และสามารถให้ Nano-particle sampler เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแทนการใช้ TEOM, Beta Ray และ High volume sampler เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองได้ โดยแสดงสมการแสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler กับเครื่องเก็บตัวอย่างอื่นๆ บริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

| การเปรียบเทียบ   | บริเวณ | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) | สมการแสดงความสัมพันธ์ |
|--|--------|-------------------------------------|-----------------------|
| $PM_{10}$ จาก Nano-particle sampler กับ $PM_{10}$ จาก TEOM     | ดินแดง | $R^2 = 0.913$                       | $Y = 1.267X$          |
| $PM_{10}$ จาก Nano-particle sampler กับ $PM_{10}$ จาก Beta Ray | มบส.   | $R^2 = 0.865$                       | $Y = 1.251X$          |
| TSP จาก Nano-particle sampler กับ TSP จาก High volume sampler  | มบส.   | $R^2 = 0.662$                       | $Y = 0.787X$          |

หมายเหตุ X = ความเข้มข้นฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler

Y = ความเข้มข้นฝุ่นละอองจากเครื่องเก็บตัวอย่างอื่นๆ

มบส. = มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วย Nano-particle sampler บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler เปรียบเทียบกับความเข้มข้นของ TSP จาก High volume sampler และความเข้มข้นของ  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  และ  $PM_1$  จาก Cascade impactor ที่เก็บตัวอย่างบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในวันเดียวกัน โดยการทดสอบทางสถิติแบบ Linear Regression ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งได้แก่

- 1) ความเข้มข้นของ TSP จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นของ TSP จาก High volume sampler
- 2) ความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  จาก Cascade impactor

- 3) ความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  จาก Cascade impactor
- 4) ความเข้มข้นของ  $PM_1$  จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นของ  $PM_1$  จาก Cascade impactor

พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler มีความแตกต่างกับความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Cascade impactor และ High volume sampler ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_1$  และ  $PM_{2.5}$  จาก Nano-particle sampler มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_1$  และ  $PM_{2.5}$  จาก Cascade impactor ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  และ TSP จาก Nano-particle sampler มีค่าต่ำกว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  จาก Cascade impactor และ TSP จาก High volume sampler ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler, Cascade impactor และ High volume sampler ในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| ความเข้มข้นเฉลี่ย<br>( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | Nano-particle<br>sampler | Cascade<br>impactor | High volume<br>sampler |
|---|--------------------------|---------------------|------------------------|
| $PM_1$  | 11.73                    | 10.32               | NA                     |
| $PM_{2.5}$  | 17.50                    | 14.92               | NA                     |
| $PM_{10}$   | 28.40                    | 31.99               | NA                     |
| TSP   | 32.09                    | NA                  | 32.37                  |

หมายเหตุ 1) NA (Not Applicable) หมายถึง ไม่มีสามารถเปรียบเทียบได้ เนื่องจากเครื่อง Cascade impactor ใช้ตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 0.4 ไมครอน ถึง 10 ไมครอน และ High volume sampler ใช้ตรวจวัดความเข้มข้นของ TSP

2) ความเข้มข้นของ TSP จาก Nano-particle sampler คือ ความเข้มข้นฝุ่นละอองรวมทุกชั้นขนาด

การทดสอบทางสถิติแบบ Linear Regression ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นฝุ่นละอองจาก Cascade impactor และ High volume



sampler ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งพบว่า ความเข้มข้นของ  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$  และ TSP จาก Nano-particle sampler กับความเข้มข้นของ  $PM_1$ ,  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  จาก Cascade impactor และ TSP จาก High volume sampler มีความสัมพันธ์กันในเชิงเส้นตรงสูง เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หรือ  $R^2$  เข้าใกล้ 1 แสดงว่าสามารถใช้ Nano-particle sampler เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแทนการใช้ Cascade impactor และ High volume sampler เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองได้ โดยแสดงสมการแสดงความสัมพันธ์ ดังนี้

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler กับเครื่องเก็บตัวอย่างอื่นๆ ในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| การเปรียบเทียบ   | ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) | สมการแสดงความสัมพันธ์ |
|--|-------------------------------------|-----------------------|
| $PM_1$ จาก Nano-particle sampler กับ $PM_1$ จาก Cascade impactor         | $R^2 = 0.784$                       | $Y = 2.243X$          |
| $PM_{2.5}$ จาก Nano-particle sampler กับ $PM_{2.5}$ จาก Cascade impactor | $R^2 = 0.887$                       | $Y = 2.289X$          |
| $PM_{10}$ จาก Nano-particle sampler กับ $PM_{10}$ จาก Cascade impactor   | $R^2 = 0.783$                       | $Y = 1.368X$          |
| TSP จาก Nano-particle sampler กับ TSP จาก High volume sampler            | $R^2 = 0.790$                       | $Y = 0.754X$          |

หมายเหตุ X = ความเข้มข้นฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler

Y = ความเข้มข้นฝุ่นละอองจากเครื่องเก็บตัวอย่างอื่นๆ

#### 4.4 ความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละออง

การวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (สารพีเอเอช) ในฝุ่นละอองใช้เครื่อง Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อพิจารณาถึงขีดจำกัดการทำงานของเครื่อง GC/MS หรือค่า Limit of detection (LOD) สามารถแสดงค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง GC/MS สามารถวิเคราะห์ได้

### 1) กราฟมาตรฐาน (Standard Curve)

กราฟมาตรฐาน (Standard Curve) ของสารพีเอเอช 16 ชนิด ได้แก่ Acenaphthene Acenaphthylene Anthracene Benzo(a)anthracene Benzo(a)pyrene Benzo(b)fluoranthene Benzo(g,h,i)perylene Benzo(k)fluoranthene Chrysene Dibenzo(a,h)anthracene Fluoranthene Fluorene Indeno(1,2,3-cd)pyrene Naphthalene Phenanthrene และ Pyrene แสดงได้ดังกราฟในภาคผนวก ค โดยแกน X แสดงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานพีเอเอช แต่ละชนิด และแกน Y คือ Peak ratio ของสารละลายมาตรฐานพีเอเอชต่อ Internal PAH Standard มีค่า coefficient of determination ( $R^2$ ) 0.856-0.999 ดังแสดงดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่า coefficient of determination ( $R^2$ ) ของสารละลายมาตรฐานพีเอเอช 16 ชนิด

| สารพีเอเอช     | $R^2$ | สารพีเอเอช             | $R^2$ |
|----------------|-------|------------------------|-------|
| Naphthalene    | 0.989 | Benzo(a)anthracene     | 0.937 |
| Acenaphthylene | 0.999 | Chrysene               | 0.915 |
| Acenaphthene   | 0.999 | Benzo(b)fluoranthene   | 0.960 |
| Fluorene       | 0.986 | Benzo(k)fluoranthene   | 0.995 |
| Phenanthrene   | 0.967 | Benzo(a)pyrene         | 0.974 |
| Anthracene     | 0.989 | Indeno(1,2,3-cd)pyrene | 0.973 |
| Fluoranthene   | 0.989 | Dibenzo(a,h)anthracene | 0.972 |
| Pyrene         | 0.993 | Benzo(g,h,i)perylene   | 0.856 |

### 2) Limit of detection (LOD)

การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารพีเอเอช 16 ชนิด พบว่า ค่าความเข้มข้นต่ำสุดของพีเอเอชที่เครื่อง GC/MS สามารถวิเคราะห์ได้ จากสารพีเอเอชในสารละลายก่อนฉีดเข้าเครื่อง GC/MS โดยมี signal:noise มากกว่า 3:1 มีค่า 2-500 ng/ml และค่า LOD ที่ศึกษา เมื่อเทียบเป็นความเข้มข้นในหน่วย ng/m<sup>3</sup> มีค่า 0.0129-0.9820 ng/m<sup>3</sup> ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค่า Limit of detection ของสารพีเอเอช 16 ชนิด

| สารพีเอเอช     | ความเข้มข้น<br>ต่ำสุด (ng/ml) | LOD<br>(ng/m <sup>3</sup> ) | สารพีเอเอช             | ความเข้มข้น<br>ต่ำสุด (ng/ml) | LOD<br>(ng/m <sup>3</sup> ) |
|----------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Naphthalene    | 2                             | 0.0129                      | Benzo(a)anthracene     | 125                           | 0.1257                      |
| Acenaphthylene | 5                             | 0.0215                      | Chrysene               | 125                           | 0.1865                      |
| Acenaphthene   | 10                            | 0.0162                      | Benzo(b)fluoranthene   | 125                           | 0.2371                      |
| Fluorene       | 10                            | 0.0258                      | Benzo(k)fluoranthene   | 125                           | 0.1551                      |
| Phenanthrene   | 10                            | 0.0256                      | Benzo(a)pyrene         | 125                           | 0.2242                      |
| Anthracene     | 40                            | 0.1553                      | Indeno(1,2,3-cd)pyrene | 500                           | 0.7318                      |
| Fluoranthene   | 20                            | 0.0559                      | Dibenzo(a,h)anthracene | 500                           | 0.8207                      |
| Pyrene         | 20                            | 0.0785                      | Benzo(g,h,i)perylene   | 500                           | 0.9820                      |

#### 4.4.1 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารพีเอเอช 16 ชนิด ในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง สามารถวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่มีในตัวอย่างฝุ่นละอองได้ 13 ชนิด และไม่พบสารพีเอเอช 3 ชนิด ได้แก่ Indeno(1,2,3-cd)pyrene Dibenzo(a,h)anthracene และ Benzo(g,h,i)perylene ซึ่งเป็นกลุ่มสารพีเอเอชที่มีมวลโมเลกุลสูง เนื่องจากสารพีเอเอชดังกล่าวมีความเข้มข้นในฝุ่นละอองต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง GC/MS สามารถวิเคราะห์ได้ ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.12

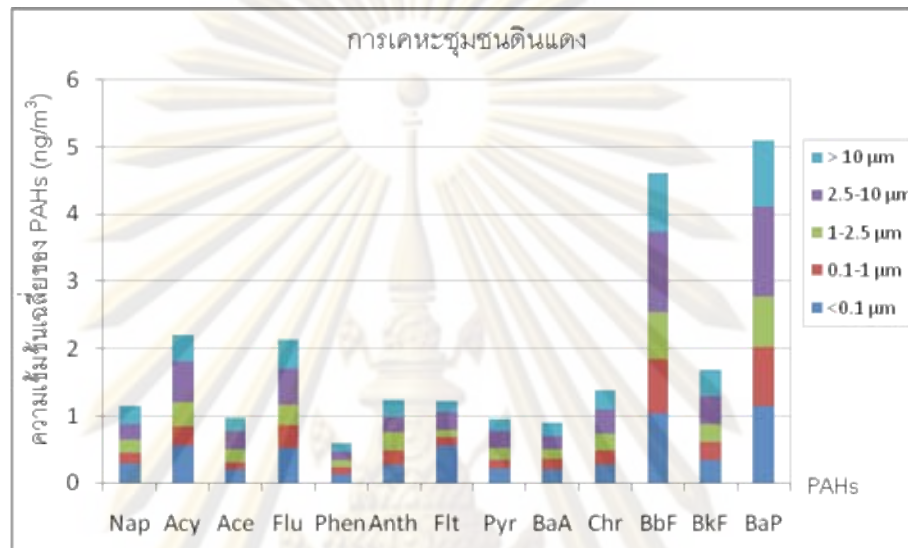
ตารางที่ 4.12 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

| สารพีเอเอช    | ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นขนาดต่างๆ (ng/m <sup>3</sup> ) |          |          |           |         |        |
|---------------|---|----------|----------|-----------|---------|--------|
|               | <0.1 µm   | 0.1-1 µm | 1-2.5 µm | 2.5-10 µm | > 10 µm | รวม    |
| Nap           | 0.286   | 0.169    | 0.183    | 0.235     | 0.275   | 1.148  |
| Acy           | 0.561   | 0.288    | 0.361    | 0.598     | 0.404   | 2.213  |
| Ace           | 0.196   | 0.111    | 0.188    | 0.284     | 0.200   | 0.979  |
| Flu           | 0.518   | 0.336    | 0.315    | 0.536     | 0.433   | 2.137  |
| Phen          | 0.127   | 0.105    | 0.107    | 0.132     | 0.120   | 0.591  |
| Anth          | 0.273   | 0.212    | 0.268    | 0.232     | 0.248   | 1.234  |
| Flt           | 0.553   | 0.124    | 0.119    | 0.273     | 0.162   | 1.230  |
| Pyr           | 0.214   | 0.131    | 0.174    | 0.257     | 0.174   | 0.949  |
| BaA           | 0.201   | 0.152    | 0.151    | 0.197     | 0.193   | 0.895  |
| Chr           | 0.271   | 0.221    | 0.246    | 0.353     | 0.283   | 1.375  |
| BbF           | 1.043   | 0.805    | 0.708    | 1.174     | 0.887   | 4.616  |
| BkF           | 0.335   | 0.274    | 0.264    | 0.422     | 0.395   | 1.690  |
| BaP           | 1.147   | 0.889    | 0.748    | 1.327     | 0.999   | 5.110  |
| Ind           | nd  | nd       | nd       | nd        | nd      | nd     |
| DBahA         | nd  | nd       | nd       | nd        | nd      | nd     |
| BghiP         | nd  | nd       | nd       | nd        | nd      | nd     |
| สารพีเอเอชรวม | 5.725   | 3.818    | 3.831    | 6.021     | 4.771   | 24.166 |

หมายเหตุ Not Detected (ND) หมายถึง เครื่อง GC/MS ไม่สามารถวิเคราะห์สารพีเอเอชในฝุ่นละอองได้ เนื่องจากสารพีเอเอชในฝุ่นละอองมีความเข้มข้นต่ำกว่าขีดจำกัดของเครื่อง GC/MS

ตารางที่ 4.12 พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวม บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง มีค่า 24.166 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในช่วงขนาด <0.1 0.1-1 1-2.5 และ >10 ไมครอน คือ Benzo(a)pyrene โดยมีค่าเท่ากับ 1.147 0.889 0.748 และ 0.999 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งกลุ่มสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่

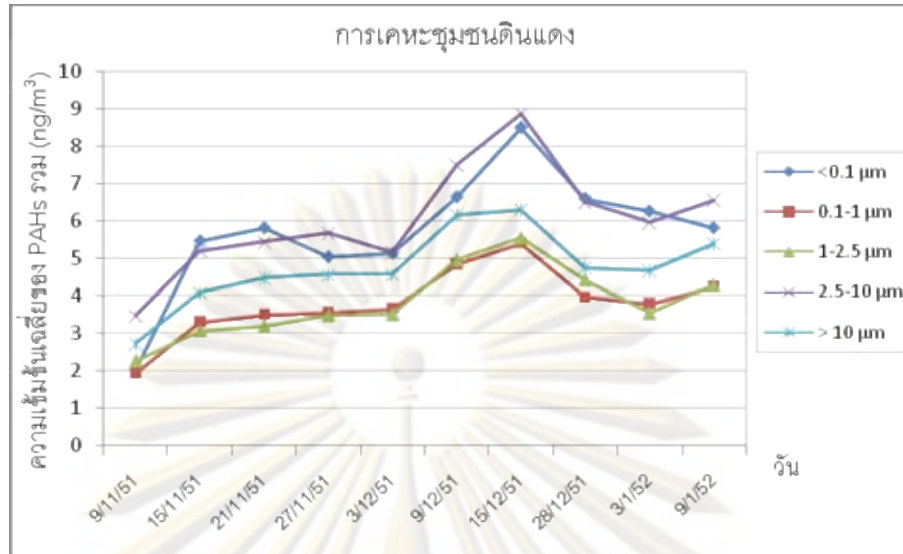
Benzo(a)pyrene Benzo(b)fluoranthene Acenaphthylene และ Fluorene โดยช่วงขนาดของฝุ่นละอองที่พบสารพีเอเอชสูงสุด คือ 2.5-10 ไมครอน รองลงมาคือ ฝุ่นละอองขนาด <0.1 ไมครอน >10 ไมครอน 1-2.5 ไมครอน และ 0.1-1 ไมครอน ตามลำดับ สามารถเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองได้ดังรูปที่ 4.5



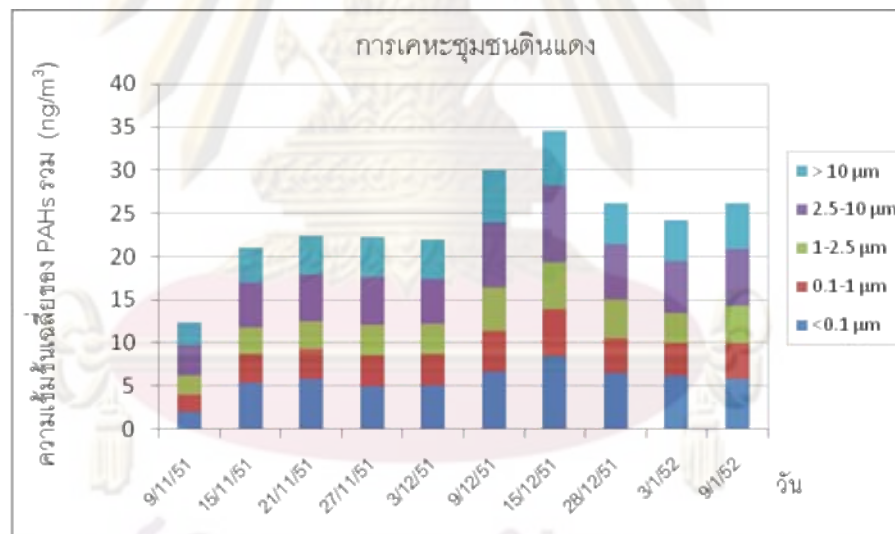
รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละออง บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง 10 ตัวอย่าง บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง ตั้งแต่วันที่ 3 พฤศจิกายน 2551 ถึงวันที่ 9 มกราคม 2552 และวิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองแต่ละขนาด พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรายวันอยู่ในช่วง 12.4499-34.5608 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสามารถจำแนกความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาดเป็นรายวัน ได้ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7

เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง พบว่า ค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ คือ มีค่าความเข้มข้นของพีเอเอชต่ำสุดในวันที่ 9 พฤศจิกายน 2551 และสารพีเอเอชในฝุ่นละอองจะมีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงเดือนธันวาคม โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 15 ธันวาคม 2551 จากนั้นสารพีเอเอชในฝุ่นละอองจะมีค่าลดลงในช่วงเดือนมกราคม ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นรวมของฝุ่นละอองที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดวันที่ 15 ธันวาคม 2551 และ 9 พฤศจิกายน 2551 ตามลำดับ



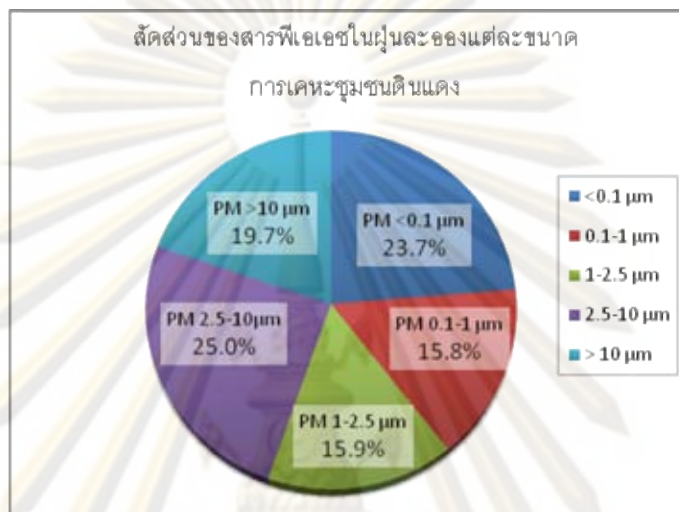
รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองแต่ละขนาดจำแนกรายวัน บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองจำแนกรายวัน บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

รูปที่ 4.6 พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมรายวันในฝุ่นละอองขนาด <0.1 และ 2.5-10 ไมครอน มีความเข้มข้นใกล้เคียงกัน จากการพบสารพีเอเอชในฝุ่นขนาด<0.1 ไมครอน แสดงว่าสารพีเอเอชมักพบในฝุ่นละอองขนาดเล็ก เนื่องจากมีพื้นที่ผิวมากกว่าฝุ่นละอองขนาด

ใหญ่ จึงมีโอกาสที่สารพีเอเอชจะเกาะติดได้มาก ส่วนฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน เป็นช่วงขนาดที่กว้าง เมื่อเทียบกับฝุ่นละอองช่วงขนาดอื่นๆ ดังนั้นพื้นที่ผิวรวมของฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 ไมครอน จึงมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จึงมีโอกาสพบความเข้มข้นของสารพีเอเอชได้มากกว่าช่วงขนาดอื่น โดยจำแนกสัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาดได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 สัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาด บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

รูปที่ 4.8 พบว่า สัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาดมีสัดส่วนแตกต่างกัน โดยสารพีเอเอชในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอน มีสัดส่วนมากที่สุดเท่ากับ 25.0 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สารพีเอเอชในฝุ่นละอองขนาด <0.1 >10 1-2.5 และ 0.1-1 ไมครอน มีสัดส่วน 23.7 และ 19.7 15.9 และ 15.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

#### 4.4.2 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ตั้งแต่วันที่ 15 มกราคม 2552 ถึงวันที่ 10 มีนาคม 2552 และวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารพีเอเอช 16 ชนิด ในฝุ่นละอองแต่ละขนาด พบว่าสามารถวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่มีในตัวอย่างฝุ่นละอองได้ 13 ชนิด และไม่พบสารพีเอเอช 3 ชนิด ได้แก่ Indeno(1,2,3-cd)pyrene Dibenzo(a,h)anthracene และ Benzo(g,h,i)perylene ซึ่งเป็นกลุ่มสารพีเอเอชที่มีมวลโมเลกุลสูง เนื่องจากสารพีเอเอชดังกล่าวมีความเข้มข้นในฝุ่นละอองต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่เครื่อง

GC/MS สามารถวิเคราะห์ได้ ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.13

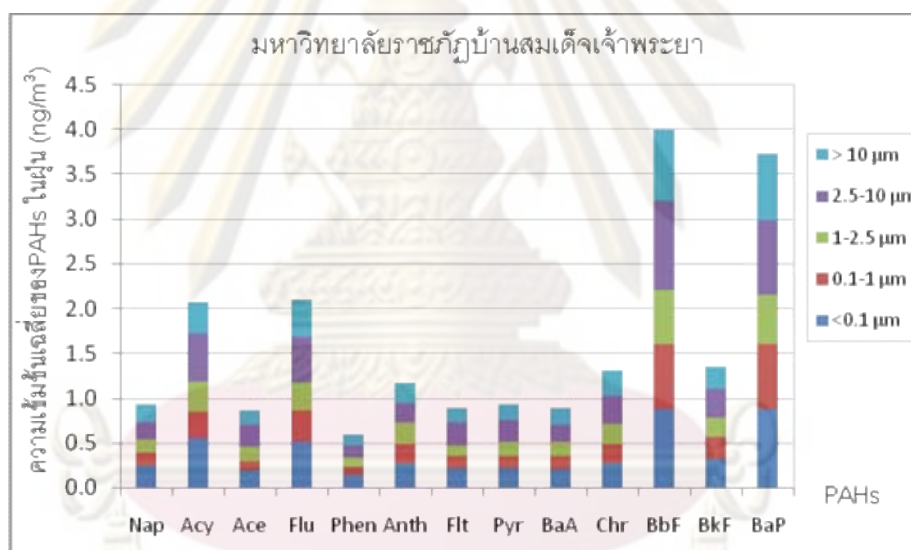
ตารางที่ 4.13 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

| สารพีเอเอช    | ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นขนาดต่างๆ (ng/m <sup>3</sup> ) |          |          |           |         |        |
|---------------|---|----------|----------|-----------|---------|--------|
|               | <0.1 µm   | 0.1-1 µm | 1-2.5 µm | 2.5-10 µm | > 10 µm | รวม    |
| Nap           | 0.241   | 0.150    | 0.151    | 0.186     | 0.205   | 0.933  |
| Acy           | 0.557   | 0.292    | 0.333    | 0.540     | 0.358   | 2.080  |
| Ace           | 0.186   | 0.109    | 0.163    | 0.240     | 0.160   | 0.859  |
| Flu           | 0.516   | 0.345    | 0.307    | 0.520     | 0.412   | 2.100  |
| Phen          | 0.130   | 0.105    | 0.108    | 0.133     | 0.118   | 0.595  |
| Anth          | 0.275   | 0.207    | 0.244    | 0.220     | 0.227   | 1.173  |
| Flt           | 0.212   | 0.132    | 0.122    | 0.263     | 0.160   | 0.890  |
| Pyr           | 0.214   | 0.134    | 0.169    | 0.243     | 0.166   | 0.924  |
| BaA           | 0.200   | 0.156    | 0.152    | 0.191     | 0.194   | 0.893  |
| Chr           | 0.267   | 0.213    | 0.228    | 0.322     | 0.277   | 1.308  |
| BbF           | 0.877   | 0.722    | 0.607    | 1.001     | 0.794   | 4.001  |
| BkF           | 0.322   | 0.243    | 0.220    | 0.314     | 0.253   | 1.352  |
| BaP           | 0.879   | 0.725    | 0.551    | 0.833     | 0.739   | 3.728  |
| Ind           | nd  | nd       | nd       | nd        | nd      | nd     |
| DBahA         | nd  | nd       | nd       | nd        | nd      | nd     |
| BghiP         | nd  | nd       | nd       | nd        | nd      | nd     |
| สารพีเอเอชรวม | 4.877   | 3.533    | 3.356    | 5.006     | 4.064   | 20.836 |

หมายเหตุ Not Detected (ND) หมายถึง เครื่อง GC/MS ไม่สามารถวิเคราะห์สารพีเอเอชในฝุ่นละอองได้ เนื่องจากสารพีเอเอชในฝุ่นละอองมีความเข้มข้นต่ำกว่าขีดจำกัดของเครื่อง GC/MS



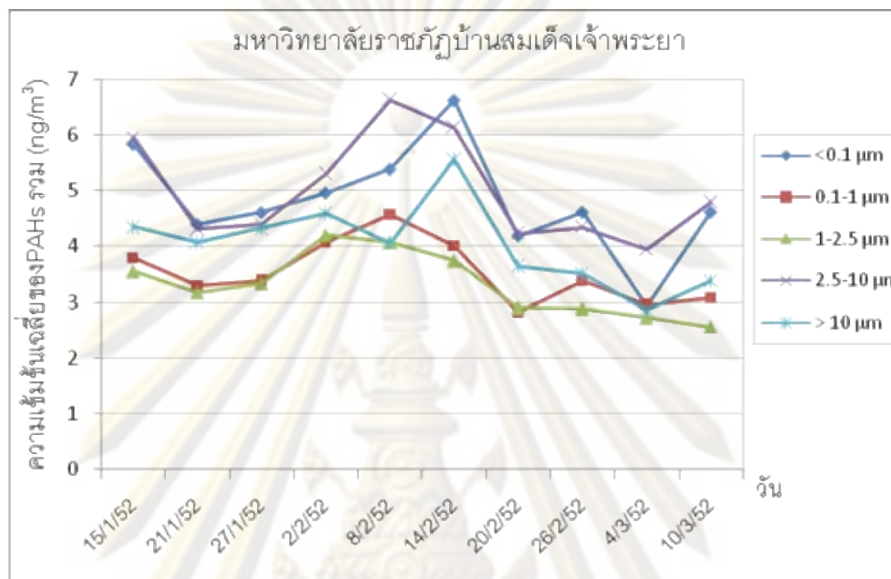
ตารางที่ 4.13 พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวม บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีค่า 20.836 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในช่วงขนาด <0.1 และ 0.1-1 ไมครอน คือ Benzo(a)pyrene โดยมีค่าเท่ากับ 0.879 และ 0.725 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในช่วงขนาด 1-2.5 2.5-10 และ >10 ไมครอน คือ Benzo(k)fluoranthene โดยมีค่าเท่ากับ 0.607 1.001 และ 0.794 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาสารพีเอเอชในฝุ่นละอองรวมที่มีค่าสูงสุด คือ Benzo(k)fluoranthene มีค่าเท่ากับ 4.001 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งกลุ่มสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่ Benzo(a)pyrene Benzo(b)fluoranthene Acenaphthylene และ Fluorene โดยช่วงขนาดของฝุ่นละอองที่พบสารพีเอเอชสูงสุด คือ 2.5-10 ไมครอน รองลงมาคือ ฝุ่นละอองขนาด <0.1 ไมครอน >10 ไมครอน 1-2.5 ไมครอน และ 0.1-1 ไมครอน ตามลำดับ สามารถเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองได้ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละออง บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

การวิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองแต่ละขนาด สามารถจำแนกความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาดจำแนกเป็นรายวัน ได้ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรายวันอยู่ในช่วง 15.4128-26.0839 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง พบว่า ค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับความเข้มข้นของฝุ่น

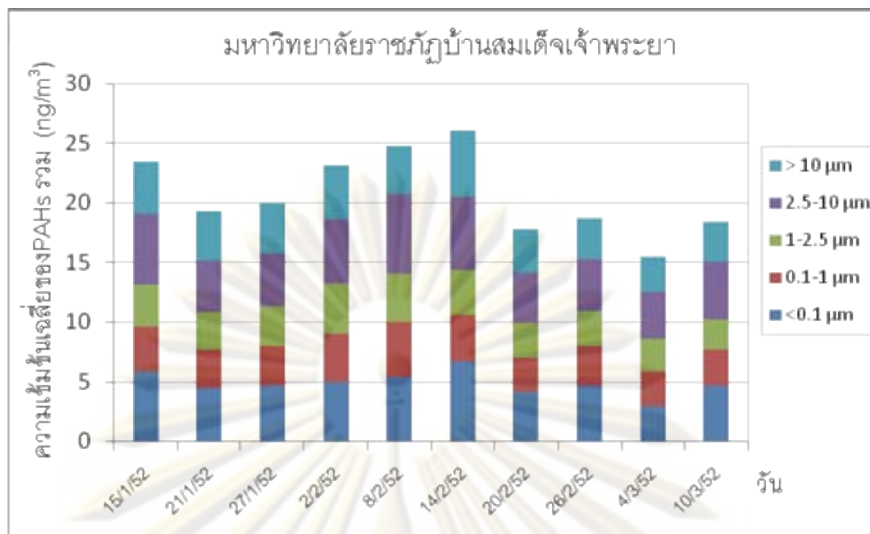
ละอองในบรรยากาศ คือ มีค่าความเข้มข้นของพีเอเอชรวมสูงสุดในวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2552 และมีค่าความเข้มข้นพีเอเอชรวมต่ำสุด ในวันที่ 4 มีนาคม 2552 ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นรวมของฝุ่นละอองที่มีความเข้มข้นรวมสูงสุดและต่ำสุดวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2552 และ 4 มีนาคม 2552 ตามลำดับ



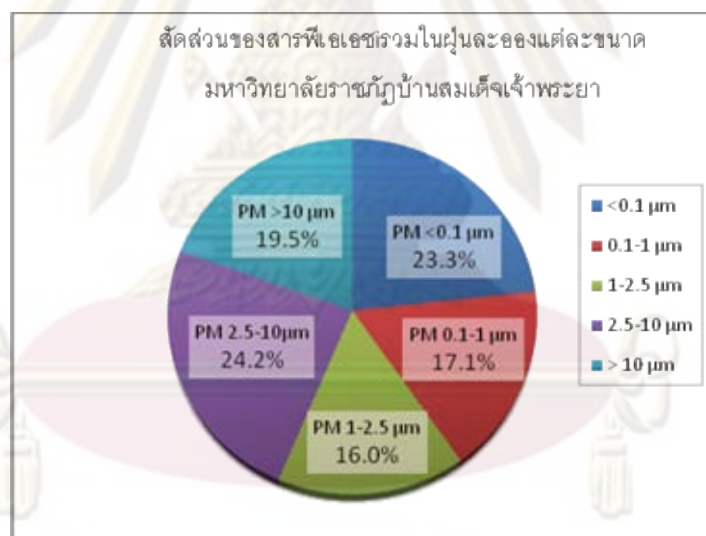
รูปที่ 4.10 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองแต่ละขนาดจำแนกรายวัน บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

รูปที่ 4.10 พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมรายวันในฝุ่นละอองขนาด 0.1-1.0 และ 1.0-2.5 ไมครอน มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความเข้มข้นของสารพีเอเอชต่ำกว่าฝุ่นขนาดอื่น และฝุ่นละอองขนาด <0.1 และ 2.5-10 ไมครอน มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกัน โดยมีค่าสูงกว่าฝุ่นขนาดอื่น ซึ่งสามารถจำแนกสัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาดได้ดังรูปที่ 4.12

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองจำแนกรายวัน บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา



รูปที่ 4.12 สัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาด บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

รูปที่ 4.12 พบว่า สัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาดมีสัดส่วนแตกต่างกัน โดยสารพีเอเอชในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอน มีสัดส่วนมากที่สุดเท่ากับ 24.2 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ สารพีเอเอชในฝุ่นละอองขนาด < 0.1 > 10 1-2.5 และ 0.1-1 ไมครอน มีสัดส่วน 23.3 19.5 17.1 และ 16.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

#### 4.4.3 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

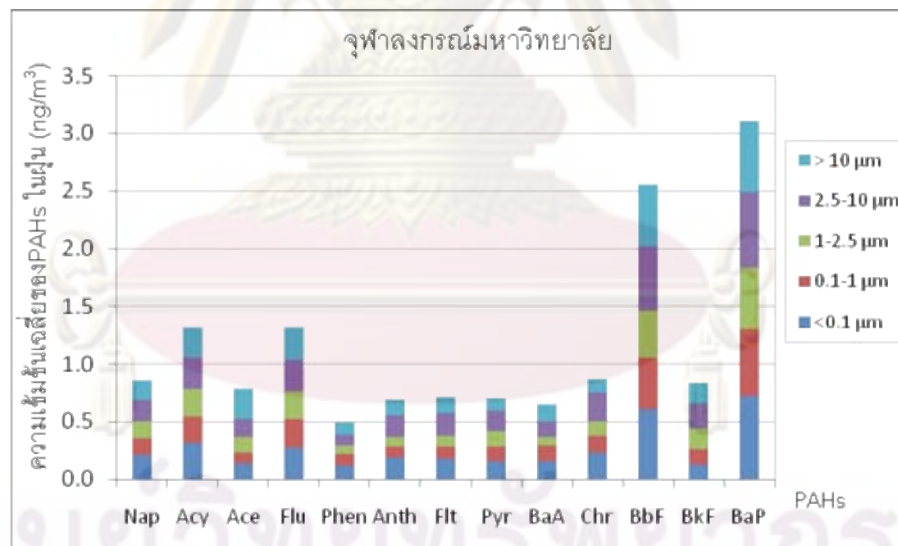
การวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารพีเอเอช 16 ชนิด ในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สามารถวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่มีในตัวอย่างฝุ่นละอองได้ 13 ชนิด และไม่พบสารพีเอเอช 3 ชนิด เช่นเดียวกับในบริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่พบชนิดต่างๆ ในฝุ่นละอองแต่ละขนาด แสดงได้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองขนาดต่างๆ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| สารพีเอเอช    | ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นขนาดต่างๆ (ng/m <sup>3</sup> ) |          |          |           |         | รวม    |
|---------------|---|----------|----------|-----------|---------|--------|
|               | <0.1 µm   | 0.1-1 µm | 1-2.5 µm | 2.5-10 µm | > 10 µm |        |
| Nap           | 0.207   | 0.151    | 0.144    | 0.189     | 0.166   | 0.857  |
| Acy           | 0.311   | 0.230    | 0.238    | 0.276     | 0.257   | 1.311  |
| Ace           | 0.134   | 0.099    | 0.135    | 0.157     | 0.261   | 0.787  |
| Flu           | 0.271   | 0.255    | 0.234    | 0.277     | 0.279   | 1.316  |
| Phen          | 0.116   | 0.098    | 0.080    | 0.095     | 0.099   | 0.488  |
| Anth          | 0.184   | 0.096    | 0.090    | 0.187     | 0.136   | 0.693  |
| Flt           | 0.173   | 0.106    | 0.097    | 0.196     | 0.135   | 0.707  |
| Pyr           | 0.155   | 0.124    | 0.143    | 0.171     | 0.107   | 0.700  |
| BaA           | 0.153   | 0.135    | 0.083    | 0.135     | 0.143   | 0.648  |
| Chr           | 0.233   | 0.141    | 0.132    | 0.246     | 0.121   | 0.872  |
| BbF           | 0.605   | 0.447    | 0.407    | 0.558     | 0.526   | 2.544  |
| BkF           | 0.121   | 0.144    | 0.171    | 0.223     | 0.180   | 0.839  |
| BaP           | 0.726   | 0.582    | 0.522    | 0.654     | 0.622   | 3.106  |
| Ind           | nd  | nd       | nd       | nd        | nd      | nd     |
| DBahA         | nd  | nd       | nd       | nd        | nd      | nd     |
| BghiP         | nd  | nd       | nd       | nd        | nd      | nd     |
| สารพีเอเอชรวม | 3.389   | 2.607    | 2.475    | 3.365     | 3.033   | 14.869 |

หมายเหตุ Not Detected (ND) หมายถึง เครื่อง GC/MS ไม่สามารถวิเคราะห์สารพีเอเอชในฝุ่นละอองได้ เนื่องจากสารพีเอเอชในฝุ่นละอองมีความเข้มข้นต่ำกว่าขีดจำกัดของเครื่อง GC/MS

ตารางที่ 4.14 พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวม บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีค่า 14.869 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นบริเวณที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา สารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดในช่วงขนาด <0.1 0.1-1 1-2.5 2.5-10 และ >10 ไมครอน คือ Benzo(a)pyrene โดยมีค่าเท่ากับ 0.726 0.582 0.522 0.654 และ 0.622 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อพิจารณาถึงสารพีเอเอชในฝุ่นละอองที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่ Benzo(a)pyrene Benzo(b)fluoranthene Acenaphthylene และ Fluorene โดยช่วงขนาดของฝุ่นละอองที่พบสารพีเอเอชสูงสุด คือ <0.1 ไมครอน รองลงมาคือ ฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 >10 <0.1 0.1-1 และ 1-2.5 ไมครอน ตามลำดับ สามารถเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองได้ดังรูปที่ 4.13

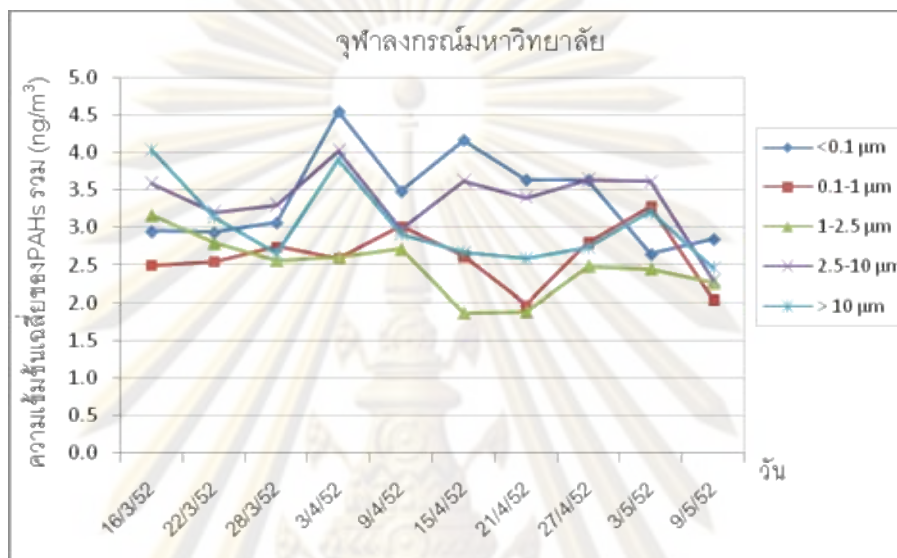


รูปที่ 4.13 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละออง

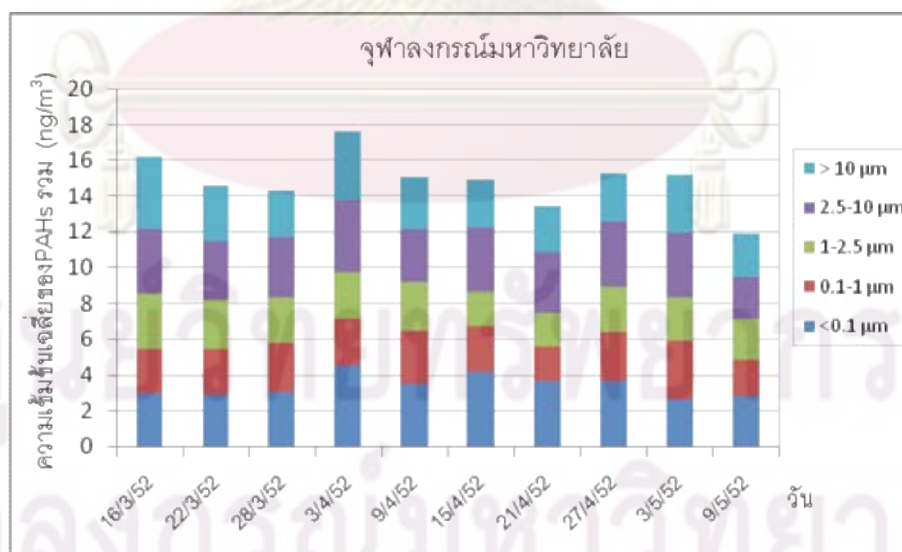
บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง 10 ตัวอย่าง และวิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองแต่ละขนาด ตั้งแต่วันที่ 16 มีนาคม 2552 ถึงวันที่ 9 พฤษภาคม 2552

สามารถจำแนกความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาดเป็นรายวัน ได้ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15 พบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองรายวันแตกต่างกันอย่างไม่ชัดเจน โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรายวันอยู่ในช่วง 11.9170-17.6486 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

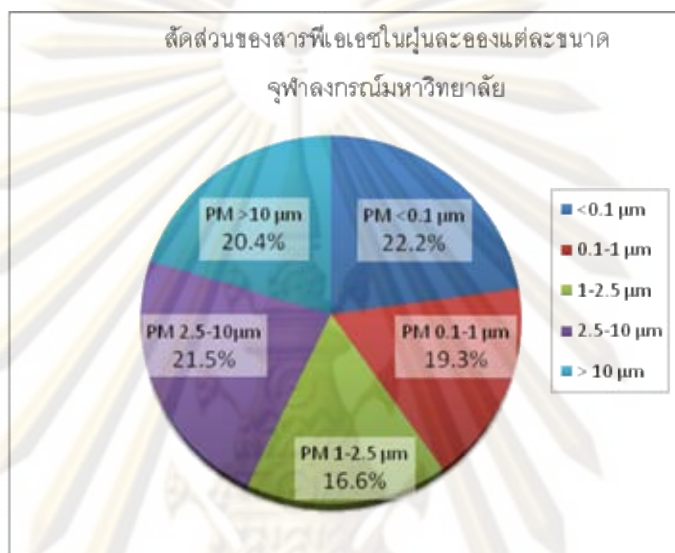


รูปที่ 4.14 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองแต่ละขนาดจำแนกรายวัน บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.15 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองจำแนกรายวัน บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.10 พบว่า บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในฝุ่นละอองขนาด 0.1-1.0 และ 1.0-2.5 ไมครอน ต่ำกว่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นขนาดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับผลความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมในบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และเมื่อจำแนกสัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาดจะไดดังรูปที่ 4.16

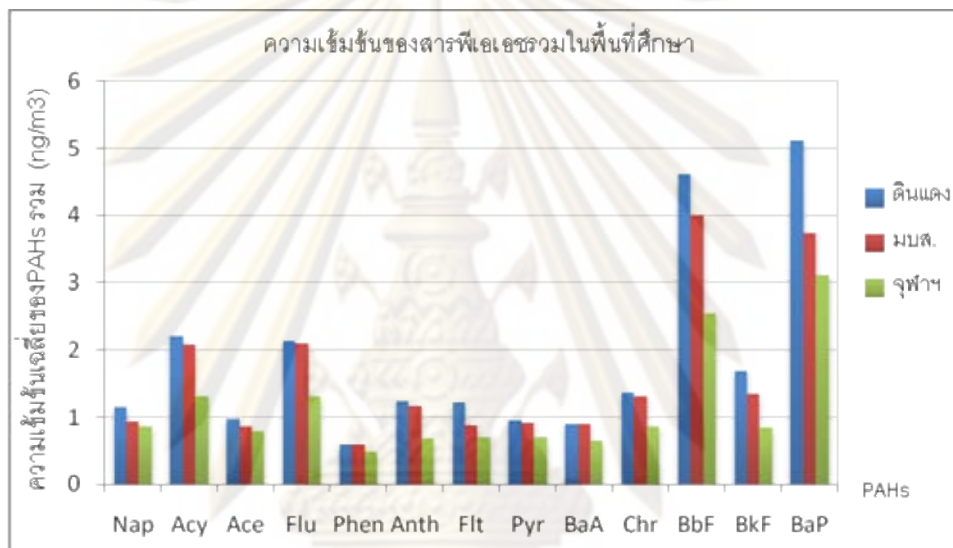


รูปที่ 4.16 สัดส่วนของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองแต่ละขนาด บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.16 พบว่า สารพีเอเอชในฝุ่นละอองขนาด <0.1 ไมครอน มีสัดส่วนมากที่สุด เท่ากับ 22.2 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ สารพีเอเอชในฝุ่นละอองขนาด 2.5-10 >10 และ 0.1-1 ไมครอน มีสัดส่วน 21.5 20.4 และ 19.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และฝุ่นละอองที่มีสารพีเอเอชที่มีสัดส่วนน้อยที่สุด คือ ฝุ่นละอองขนาด 1-2.5 ไมครอน มีสัดส่วน 19.3 เปอร์เซ็นต์

การวิเคราะห์สารพีเอเอช 16 ชนิด ในฝุ่นละอองบริเวณพื้นที่ริมถนน 1 แห่ง คือ การเคหะชุมชนดินแดง และพื้นที่ทั่วไป 2 แห่ง ได้แก่ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา(มบส.) และจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบสารพีเอเอชในฝุ่นละอองจำนวน 13 ชนิด ได้แก่ Naphthalene Acenaphthylene Acenaphthene Fluorene Phenanthrene Anthracene Fluoranthene Pyrene Benzo(a)anthracene Chrysene Benzo(b)fluoranthene Benzo(k)fluoranthene และ Benzo(a)pyrene ไม่พบสารพีเอเอช 3 ชนิด ได้แก่ Indeno(1,2,3-cd)pyrene Dibenzo(a,h)anthracene และ Benzo(g,h,i)perylene เนื่องจากค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองต่ำกว่าขีดจำกัดของเครื่อง GC/MS ที่สามารถวิเคราะห์ได้ จากการเปรียบเทียบความ

เข้มข้นของสารพีเอเอชในพื้นที่ศึกษา พบว่า บริเวณที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมสูงสุด คือ การเคหะชุมชนดินแดง รองลงมา คือ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตามลำดับ ซึ่งระดับความสูงของจุดเก็บตัวอย่าง และความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีผลกับความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง คือ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ระดับความสูงของจุดเก็บตัวอย่างสูงกว่าจุดเก็บตัวอย่างบริเวณอื่นและเป็นบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองต่ำที่สุด ค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่พบในฝุ่นละอองจึงมีความเข้มข้นต่ำกว่าบริเวณอื่น



รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในพื้นที่ศึกษา

รูปที่ 4.17 พบว่า ในพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดไปในทิศทางเดียวกัน บริเวณการเคหะชุมชนดินแดงซึ่งเป็นพื้นที่ริมถนน มีความเข้มข้นของสารพีเอเอชทุกชนิดสูงกว่าพื้นที่ทั่วไป และในพื้นที่ทั่วไป บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยามีค่าความเข้มข้นของพีเอเอชทุกชนิดสูงกว่าบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งกลุ่มสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารพีเอเอชชนิดอื่น มีจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Benzo(a)pyrene Benzo(b)fluoranthene Acenaphthylene และ Fluorene

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



#### 4.5 ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด

การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด โดยใช้แบบจำลองแหล่งรับสมมูลมวลเคมีรุ่นที่ 8.2 โดยการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง 5 ช่วงขนาด ได้แก่  $> 10 \mu\text{m}$   $2.5-10 \mu\text{m}$   $1.0-2.5 \mu\text{m}$   $0.1-1.0 \mu\text{m}$  และ  $< 0.1\mu\text{m}$  พบสารพีเอเอชจำนวน 13 ชนิด ซึ่งนำมาเป็นข้อมูลสารพีเอเอชในฝุ่นบริเวณแหล่งรับ ประกอบกับข้อมูลความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นบริเวณแหล่งกำเนิด 10 ประเภท ดังแสดงข้อมูลในภาคผนวก ค. ได้แก่

- 1) รถยนต์ขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำมันดีเซล (Heavy Duty Diesel Vehicle, HDDV)
- 2) รถยนต์ขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซล (Light Duty Diesel Vehicle, LDDV)
- 3) รถยนต์ขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันเบนซิน (Light Duty Gasoline Vehicle, LDGV)
- 4) รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ (Two Stroke Motorcycle, TSM)
- 5) รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ (Four Stroke Motorcycle, FSM)
- 6) รถสามล้อที่ใช้น้ำมันเบนซิน (Tuktuk (Gasoline), TTG)
- 7) รถสามล้อที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด (Tuktuk (Compressed Natural Gas), TTC)
- 8) ไอเสียจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม (Boiler Stack(Heavy Oil), BSHO)
- 9) ไอเสียจากการเผาขยะ (Incinerator Stack, INS)
- 10) ฝุ่นถนน (Road Dust, ROD)

##### 4.5.1 ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณการเคหะชุมชนดินแดงทั้งหมด 50 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ตัวอย่างฝุ่นละออง 5 ช่วงขนาด คือ  $> 10 \mu\text{m}$   $2.5-10 \mu\text{m}$   $1.0-2.5 \mu\text{m}$   $0.1-1.0 \mu\text{m}$  และ  $< 0.1\mu\text{m}$  อย่างละ 10 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดที่ได้จากแบบจำลองสมมูลมวลเคมีที่ได้ผลเป็นไปตามกำหนดของแบบจำลอง คือ มีค่า R-square 0.8-1 Chi-square  $< 4$  และ Percent mass 80-100% และนำผลสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นแต่ละขนาดมาหาค่าเฉลี่ย สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.15

ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองทุกช่วงขนาด พบว่า แนวโน้มสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีแหล่งกำเนิดหลักจาก รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ รถสามล้อที่ใช้น้ำมันเบนซิน และรถสามล้อที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด

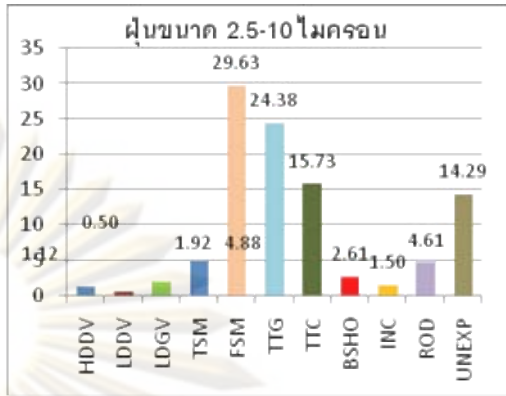
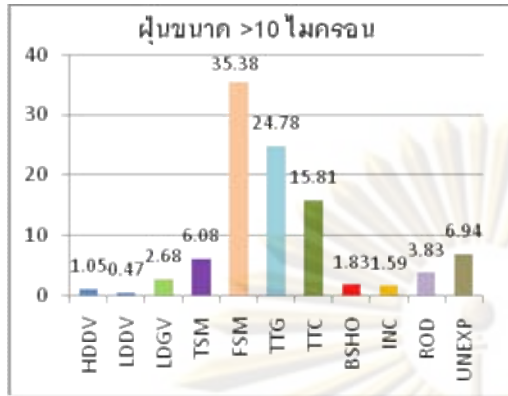
โดยมีสัดส่วนแหล่งกำเนิดจากรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ สูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 29.63-51.70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ รถสามล้อที่ใช้ น้ำมันเบนซิน มีค่าอยู่ในช่วง 12.83-24.78 เปอร์เซ็นต์ และรถสามล้อที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด มีค่าอยู่ในช่วง 2.85-9.03 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.15 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาดบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

| แหล่งกำเนิด | สัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดต่างๆ (เปอร์เซ็นต์) |                      |                       |                       |                     |
|-------------|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
|             | > 10 $\mu\text{m}$                               | 2.5-10 $\mu\text{m}$ | 1.0-2.5 $\mu\text{m}$ | 0.1-1.0 $\mu\text{m}$ | < 0.1 $\mu\text{m}$ |
| HDDV        | 1.05   | 1.12                 | 1.64                  | 0.71                  | 1.91                |
| LDDV        | 0.47   | 0.50                 | 0.28                  | 0.76                  | 8.75                |
| LDGV        | 2.68   | 1.92                 | 2.38                  | 2.09                  | 7.49                |
| TSM         | 6.08   | 4.88                 | 9.03                  | 8.38                  | 2.85                |
| FSM         | 35.38  | 29.63                | 42.52                 | 39.04                 | 51.70               |
| TTG         | 24.78  | 24.38                | 16.86                 | 19.45                 | 12.83               |
| TTC         | 15.81  | 15.73                | 7.83                  | 10.33                 | 3.66                |
| BSHO        | 1.83   | 2.61                 | 2.56                  | 1.58                  | 0.91                |
| INC         | 1.59   | 1.50                 | 2.12                  | 0.88                  | 1.51                |
| ROD         | 3.83   | 4.61                 | 2.12                  | 3.37                  | 1.52                |
| UNEXP       | 6.94   | 14.29                | 12.66                 | 13.40                 | 6.87                |

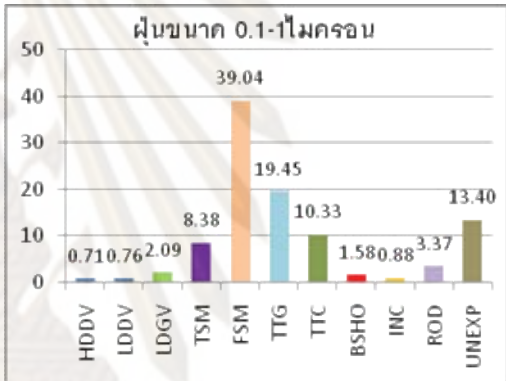
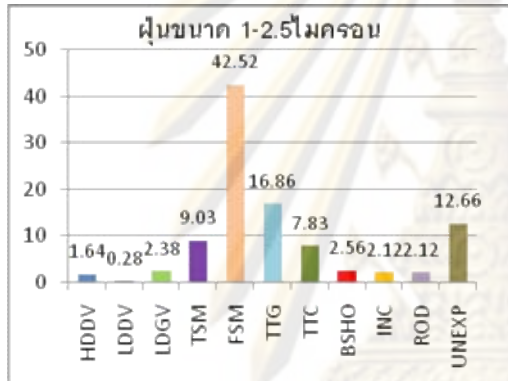
หมายเหตุ Unexplainable (UNEXP) หมายถึง แหล่งกำเนิดที่จำแนกไม่ได้

ผลสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาดในรูปแบบแผนภูมิวงกลมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.18 เมื่อพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดโดยรวม คือ การจราจร ซึ่งประกอบด้วยรถยนต์ขนาดใหญ่ที่ใช้น้ำมันดีเซล รถยนต์ขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันดีเซล รถยนต์ขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันเบนซิน รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ รถสามล้อที่ใช้น้ำมันเบนซิน และรถสามล้อที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด แหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรม คือ ไอเสียจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม และแหล่งกำเนิดมาจากไอเสียจากการเผาขยะ และฝุ่นถนน พบว่า สารพีเอเอชในฝุ่นละอองมาจากการจราจรเป็นหลัก ส่วนแหล่งกำเนิดจากไอเสียจากปล่องโรงงานอุตสาหกรรม ไอเสียจากการเผาขยะ และฝุ่นถนน มีสัดส่วนใกล้เคียงกัน เนื่องจากพื้นที่เก็บตัวอย่างเป็นพื้นที่ริมถนน สารพีเอเอชในฝุ่นละอองจึงมีแหล่งกำเนิดจากการจราจรเป็นหลัก



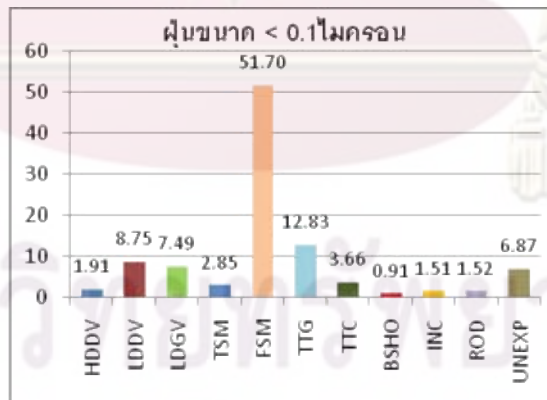
(ก)

(ข)



(ค)

(ง)



(จ)

รูปที่ 4.18 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอชไอในฝุ่นแต่ละขนาด บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

#### 4.5.2 ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาทั้งหมด 50 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ตัวอย่างฝุ่นละออง 5 ช่วงขนาด คือ  $> 10 \mu\text{m}$   $2.5-10 \mu\text{m}$   $1.0-2.5 \mu\text{m}$   $0.1-1.0 \mu\text{m}$  และ  $< 0.1 \mu\text{m}$  อย่างละ 10 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดที่ได้จากแบบจำลองสมดุลมวลเคมีที่ได้ผลเป็นไปตามกำหนดของแบบจำลอง คือ มีค่า R-square 0.8-1 Chi-square  $< 4$  และ Percent mass 80-100% และนำผลสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นแต่ละขนาดมาหาค่าเฉลี่ย สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.19

ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองทุกช่วงขนาด พบว่า แนวโน้มสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีแหล่งกำเนิดหลักจาก รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ รถสามล้อที่ใช้น้ำมันเบนซิน และรถสามล้อที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ โดยมีสัดส่วนแหล่งกำเนิดจากรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ สูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 40.57-51.70 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ รถสามล้อที่ใช้น้ำมันเบนซิน มีค่าอยู่ในช่วง 11.62-19.05 เปอร์เซ็นต์ และรถสามล้อที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด มีค่าอยู่ในช่วง 3.66-12.13 เปอร์เซ็นต์ และรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะมีค่าอยู่ในช่วง 2.44-9.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจากการเปรียบเทียบ สัดส่วนแหล่งกำเนิดกับบริเวณการเคหะชุมชนดินแดง พบว่าสารพีเอเอชในฝุ่นละอองบริเวณ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีสัดส่วนมาจากรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ สูงกว่า บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง เนื่องจากบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา เป็นพื้นที่เก็บตัวอย่างในพื้นที่ที่ห่างจากถนนสายหลักมากกว่า 50 เมตร ซึ่งสถานีเก็บตัวอย่างตั้งอยู่ริมถนนภายในมหาวิทยาลัย ซึ่งมีรถจักรยานยนต์ผ่านจำนวนมาก อีกทั้งยังใกล้กับลานจอดรถ จึงได้รับผลจากรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะและ 2 จังหวะ มากกว่าแหล่งกำเนิดประเภทอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาดบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏ  
บ้านสมเด็จเจ้าพระยา

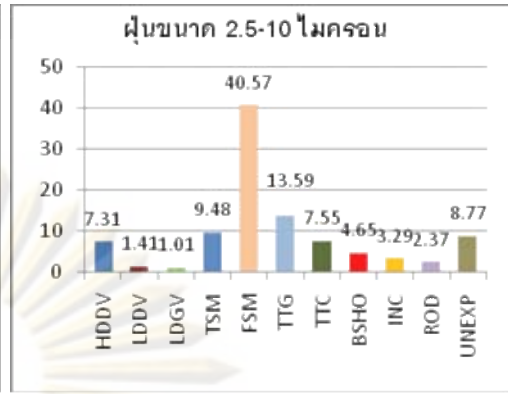
| แหล่งกำเนิด | สัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดต่างๆ (เปอร์เซ็นต์) |                      |                       |                       |                     |
|-------------|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
|             | > 10 $\mu\text{m}$                               | 2.5-10 $\mu\text{m}$ | 1.0-2.5 $\mu\text{m}$ | 0.1-1.0 $\mu\text{m}$ | < 0.1 $\mu\text{m}$ |
| HDDV        | 1.20   | 7.31                 | 2.16                  | 1.33                  | 1.91                |
| LDDV        | 8.84   | 1.41                 | 0.41                  | 6.17                  | 8.75                |
| LDGV        | 2.73   | 1.01                 | 3.67                  | 2.58                  | 7.49                |
| TSM         | 2.44   | 9.48                 | 9.87                  | 6.13                  | 2.85                |
| FSM         | 50.48  | 40.57                | 46.66                 | 37.60                 | 51.70               |
| TTG         | 14.29  | 13.59                | 11.62                 | 19.05                 | 12.83               |
| TTC         | 4.76   | 7.55                 | 6.45                  | 12.13                 | 3.66                |
| BSHO        | 1.73   | 4.65                 | 3.64                  | 3.28                  | 0.91                |
| INC         | 2.04   | 3.29                 | 3.07                  | 1.46                  | 1.51                |
| ROD         | 3.85   | 2.37                 | 1.58                  | 5.68                  | 1.52                |
| UNEXP       | 7.63   | 8.77                 | 10.87                 | 4.59                  | 6.87                |

หมายเหตุ Unexplainable (UNEXP) หมายถึง แหล่งกำเนิดที่จำแนกไม่ได้

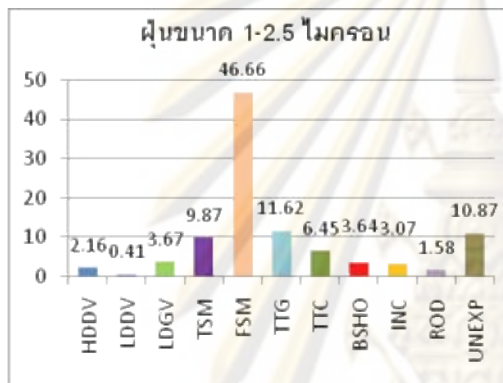
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



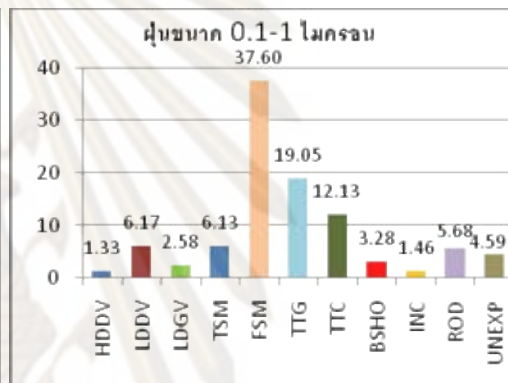
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.19 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอชในฝุ่นแต่ละขนาด บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

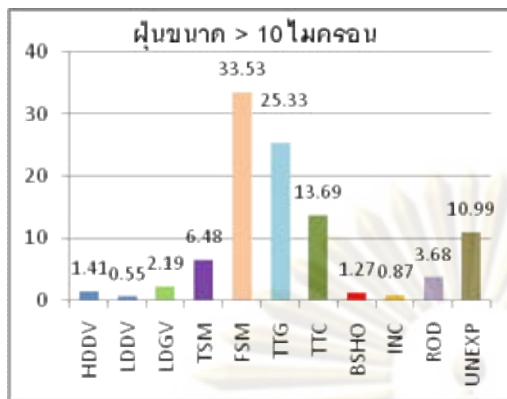
#### 4.5.3 ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทั้งหมด 50 ตัวอย่าง ประกอบด้วย ตัวอย่างฝุ่นละออง 5 ช่วงขนาด คือ > 10  $\mu\text{m}$  2.5-10  $\mu\text{m}$  1.0-2.5  $\mu\text{m}$  0.1-1.0  $\mu\text{m}$  และ < 0.1 $\mu\text{m}$  อย่างละ 10 ตัวอย่าง เมื่อพิจารณาผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดที่ได้จากแบบจำลองสมดุลมวลเคมีที่ได้ผลเป็นไปตามกำหนดของแบบจำลอง คือ มีค่า R-square 0.8-1 Chi-square <4 และ Percent mass 80-100% และนำผลสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นแต่ละขนาดมาหาค่าเฉลี่ย สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.20

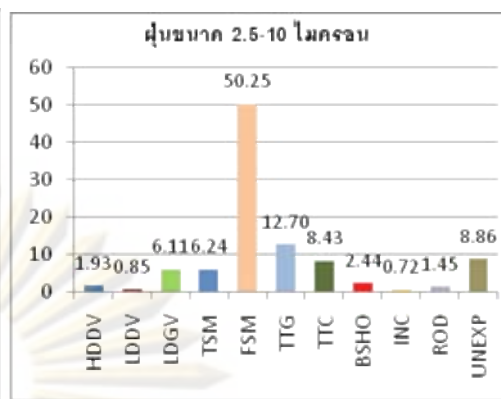
ตารางที่ 4.17 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| แหล่งกำเนิด | สัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดต่างๆ (เปอร์เซ็นต์) |                      |                       |                       |                     |
|-------------|--|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|
|             | > 10 $\mu\text{m}$                               | 2.5-10 $\mu\text{m}$ | 1.0-2.5 $\mu\text{m}$ | 0.1-1.0 $\mu\text{m}$ | < 0.1 $\mu\text{m}$ |
| HDDV        | 1.41   | 1.93                 | 0.80                  | 1.99                  | 0.19                |
| LDDV        | 0.55   | 0.85                 | 7.24                  | 1.54                  | 4.62                |
| LDGV        | 2.19   | 6.11                 | 2.66                  | 2.41                  | 8.94                |
| TSM         | 6.48   | 6.24                 | 12.02                 | 2.98                  | 4.69                |
| FSM         | 33.53  | 50.25                | 32.41                 | 37.49                 | 32.67               |
| TTG         | 25.33  | 12.70                | 20.23                 | 22.97                 | 13.76               |
| TTC         | 13.69  | 8.43                 | 3.76                  | 3.89                  | 13.95               |
| BSHO        | 1.27   | 2.44                 | 2.99                  | 2.90                  | 3.98                |
| INC         | 0.87   | 0.72                 | 0.33                  | 0.48                  | 1.90                |
| ROD         | 3.68   | 1.45                 | 9.70                  | 6.12                  | 3.20                |
| UNEXP       | 10.99  | 8.86                 | 7.86                  | 17.25                 | 12.08               |

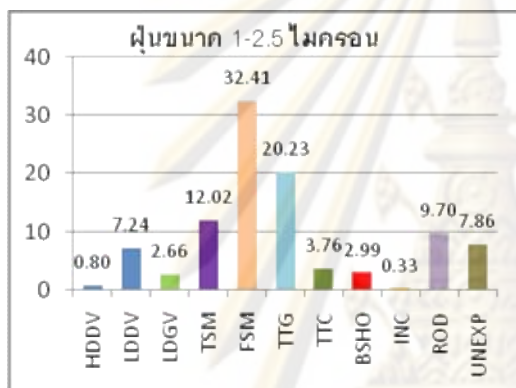
หมายเหตุ Unexplainable (UNEXP) หมายถึง แหล่งกำเนิดที่จำแนกไม่ได้



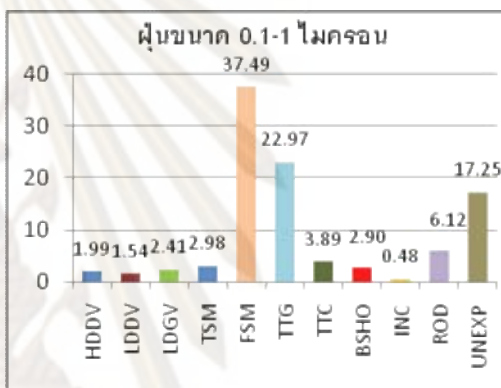
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.20 สัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นแต่ละขนาด บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองทุกช่วงขนาด บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า แนวโน้มสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นไปในทิศทางเดียวกัน คือ มีแหล่งกำเนิดหลักจาก รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ รถสามล้อที่ใช้น้ำมันเบนซิน และรถสามล้อที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ โดยมีสัดส่วนแหล่งกำเนิดจากรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ สูงสุด มีค่าอยู่ในช่วง 32.41-50.25 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ รถสามล้อที่ใช้น้ำมันเบนซิน มีค่าอยู่ในช่วง 12.70-25.33 เปอร์เซ็นต์ และรถสามล้อที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด มีค่าอยู่ในช่วง 3.76-13.95 เปอร์เซ็นต์ และรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะมีค่าอยู่ในช่วง 2.44-9.87 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

การเปรียบเทียบสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง พบว่า สารพีเอเอชในฝุ่นละอองมาจากการจราจรเป็นหลัก โดยมีสัดส่วนสูงสุดมาจาก รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ รองลงมาคือ รถสามล้อเครื่องที่ใช้น้ำมันเบนซิน และรถสามล้อเครื่องที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด ตามลำดับ ทั้งนี้ในปัจจุบันมีรถยนต์ส่วนบุคคลและรถบริการติดตั้งระบบก๊าซธรรมชาติอัดแทนการใช้เชื้อเพลิงเบนซินหรือดีเซล เนื่องจากราคาน้ำมันมีราคาสูงขึ้น ดังนั้นสัดส่วนแหล่งกำเนิดจากรถสามล้อที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดที่มีค่าสูง อาจได้รับผลมาจากรถยนต์ประเภทอื่นที่ติดตั้งระบบก๊าซธรรมชาติอัดร่วมด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่ศึกษา 3 บริเวณ พบว่า บริเวณที่มีค่าความเข้มข้นของ  $PM_{0.1}$  และ  $PM_{10}$  สูงสุด คือ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  สูงสุด คือ การเคหะชุมชนดินแดง เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นเฉลี่ยพบว่า บริเวณที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{0.1}$   $PM_{10}$   $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  สูงสุด คือ การเคหะชุมชนดินแดงและค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองแต่ละขนาด ในพื้นที่ศึกษา 3 แห่ง มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีสัดส่วนเฉลี่ยของ  $PM_{10-2.5}$   $PM_{2.5-1.0}$   $PM_{1.0-0.1}$  และ  $PM_{0.1}$  ต่อความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  เท่ากับ 33.35 22.62 33.31 และ 10.72 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ โดยสัดส่วนความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  ต่อ  $PM_{10}$  ในบริเวณริมถนนและบริเวณพื้นที่ทั่วไปมีค่าเท่ากับ 0.67 และ 0.66 ตามลำดับ และการกระจายตัวของฝุ่นละอองในบริเวณการเคหะชุมชนดินแดงและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีการกระจายตัว 2 ช่วง คือ ช่วงขนาด 0.1-1 ไมครอน และ 2.5-10 ไมครอน ส่วนฝุ่นละอองในบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มีการกระจายตัวไม่ชัดเจน

2. การวิเคราะห์สารพีเอเอชในฝุ่นละอองในพื้นที่ศึกษา พบว่า บริเวณที่มีความเข้มข้นเฉลี่ยของสารพีเอเอชรวมสูงสุด คือ การเคหะชุมชนดินแดง รองลงมา คือ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาและจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตามลำดับ ซึ่งระดับความสูงของจุดเก็บตัวอย่างและความเข้มข้นของฝุ่นละอองมีผลกับความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง คือ บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยซึ่งเป็นบริเวณที่มีระดับความสูงของจุดเก็บตัวอย่างสูงกว่าจุดเก็บตัวอย่างบริเวณอื่นและเป็นบริเวณที่มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองต่ำที่สุด ค่าความเข้มข้นของสารพีเอเอชที่พบในฝุ่นละอองจึงมีความเข้มข้นต่ำกว่าบริเวณอื่น และในพื้นที่ศึกษาพบกลุ่มสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสารพีเอเอชชนิดอื่น จำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Benzo(a)pyrene Benzo(b)fluoranthene Acenaphthylene และ Fluorene

3. สารพีเอเอชในฝุ่นขนาด  $>10 \mu m$   $2.5-10 \mu m$   $1.0-2.5 \mu m$   $0.1-1.0 \mu m$  และ  $<0.1 \mu m$  มีแนวโน้มสัดส่วนแหล่งกำเนิดสอดคล้องกัน คือ มีการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดหลัก ซึ่งมาจากแหล่งกำเนิด 4 ประเภท คือ รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ มีสัดส่วนสูงสุด โดยในพื้นที่ทั่วไปจะมี

สัดส่วนมากกว่าพื้นที่ริมถนน รองลงมาคือ รถสามล้อเครื่อง รถที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด และ รถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาถึงความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดเพิ่มเติม เช่น การเผาในที่โล่งแจ้ง การประกอบอาหาร รถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ รถยนต์ที่ใช้ก๊าซปิโตรเลียมเหลว และรถยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองสมมูลมวลเคมีที่เป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุด และได้ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชที่ครอบคลุมทุกแหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญและจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. 2543. พีเอเอช (โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน). กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2542. เบนโซเอแอนทราซีน. กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2548. โครงการจัดทำ(ร่าง)มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2550. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2549. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศในบรรยากาศ. กรมควบคุมมลพิษ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://aqnis.pcd.go.th/air/air\\_main.htm](http://aqnis.pcd.go.th/air/air_main.htm). [เข้าถึงวันที่ 2 กันยายน 2551].
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง. กรมควบคุมมลพิษ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://www.pcd.go.th/Info\\_serv/air\\_dust.htm](http://www.pcd.go.th/Info_serv/air_dust.htm). [เข้าถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2551].
- จินตนา สายวรรณ. 2541. การศึกษาโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากอนุภาคไอเสียรถยนต์ที่อยู่ในอากาศในกทม.. รายงานฉบับสมบูรณ์. วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นันทิรา สรรพณี. 2541. เคมีสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- นภาพร พานิช, แสงสันต์ พานิช, วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และวราวุธ เสือดี. 2547. ตำราระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- บริษัท เจริญอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด. 2541. การจัดทำกลยุทธ์ในการแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานคร. รายงานเสนอต่อกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร.
- ปาจารย์ ทองสนิท. 2545. สารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในอากาศกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- พงษ์เศวต สุวรรณธานี. 2545. การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของอนุภาคมลสารรวมทั้งหมดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไพลิน ไบผกา. 2546. การเคลื่อนที่และการกระจายตัวของสารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอยภายในอาคารพาณิชย์ บริเวณรถไฟฟ้าพระโขนง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เมทินี วรรณวิจิตร. 2548. การกระจายตัวตามแนวนอนของสารประกอบพอลิไซคลิกเอโรแมติกไฮโดรคาร์บอนที่ดูดซับบนอนุภาคแขวนลอย (pPAHs) บริเวณพื้นที่ริมถนนในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอด. 2543. มลภาวะอากาศ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, สุรัตน์ บัวเลิศ, เขมรัฐ โอสถาพันธุ์ และพรรณวดี สุวัฒน์กะ. 2549. การศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบ และแหล่งที่มาของฝุ่นขนาดเล็ก ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ. รายงานหลักเสนอต่อสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม.
- ศิริวรรณ แก้วงาม. 2543. สัดส่วนและองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมานชัย เลิศกมลวิทย์. 2543. การหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10-2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศภายในอาคารและฝุ่นที่บุคคลได้รับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สิทธิพร ปริกัมศีล. 2547. อนุภาคนาโน ฝุ่นพิษยุคไฮเทค. นิตยสารอัปเดต. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : [http://update.se-ed.com/199/w199\\_04.htm](http://update.se-ed.com/199/w199_04.htm). [เข้าถึงวันที่ 27 มิถุนายน 2551].
- สุทธิชาน์ นิลฤทธิ์. 2548. ตัวคูณการปลดปล่อยสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนจากรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กและขนาดใหญ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. 2551. 17 Air quality monitoring stations in Bangkok. กรมควบคุมมลพิษ. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.aqnis.pcd.go.th/station/allstation.htm>. [เข้าถึงวันที่ 1 กรกฎาคม 2551].
- สำนักอนามัยกรุงเทพมหานคร. 2551. ความรู้เกี่ยวกับฝุ่นละออง. กองอนามัยสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา : <http://www.school.net.th/library/snet6/envi4/fun/fun.htm>. [เข้าถึงวันที่ 3 กรกฎาคม 2551].

### ภาษาอังกฤษ

- Behymer, T.D. and Hites, R.A. 1988. Photolysis of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed on fly ash. Environmental Science and Technology. 22 : 1311-1319.
- Bi, X., Sheng, G., Peng, P., Chen, Y., Zhang, Z., and Fu, J., 2003. Distribution of particulate- and vapor-phase n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban atmospheres of Guangzhou, China. Atmospheric Environment 37 : 289-298.
- Bi, X., Sheng, G., Peng, P., Chen, Y., and Fu, J. 2005. Size distribution of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban and rural atmospheres of Guangzhou, China. Atmospheric Environment 39: 477-487.
- Culea, M., Cozai, O., and Culea, E., 2005. PAHs in cigarette smoke by gas chromatography-mass spectrometry. Indoor and Built Environment 14 (3-4), 289-292.
- Clayton, P., Davis, B.J., Jones, K., and Jones, P. 1992. Toxic organic micropollutants in urban air . Stevenage, Hertfordshire, Warrenspring Laboratory: 122.
- De Nevers, N. 1995. Air Pollution Control Engineering. McGraw-Hill. Singapore.
- Devies, I.W., Harrison, R.M., Perry, R., Ratnayaka, R., and Wellings, R.A. 1976. Municipal incinerator as source of polynuclear aromatic hydrocarbons in environment. Environment Science and Technology 10: 451-453.
- Garivait, H. 1999. A study on air pollution by airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Bangkok urban atmosphere. Dissertlation. Asian Institute of Technology.

- Ghoshal, S., Weber, W.J. Rummel, A.M. Trosko, J.E. and Upham, B.L. 1999. Epigenetic toxicity of a mixture of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons on gap junctional intercellular communication before and after biodegradation. Environmental Science and Technology. 33 : 1044-1050.
- Guo, H., Lee, S.C., Ho, K.F., Wang, X.M., and Zou, S.C. 2003. Particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in urban air of Hong Kong. Atmospheric Environment 37 : 5307-5317.
- Howard P.H., Boethling R.S., Jarvis W.F., Meylan W.M., and Michaelenko E.M. 1991. Handbook of Environmental Degradation Rates. Michigan : Lewis.
- International Agency for Research on Cancer (IARC). 1983. Polynuclear aromatic hydrocarbons, Part 1. Chemical, Environmental and Experimental Data 32.
- IPCS. 1998. Environmental Health Criteria 202 : selected non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft World Health Organization.
- Kanaly, R.A. and Harayama, S. 2000. Biodegradation of high-molecular-weight polycyclic aromatic hydrocarbons by bacteria. Journal of Bacteriology. 182(8): 2059-2067.
- Khesina, A.Y. 1994. Urban air pollution by carcinogenic and genotoxic polyaromatic hydrocarbons in former USSR. Environmental Health Perspective, 102:49-53.
- Lee, J.Y., and Kim, Y.P. 2007. Source apportionment of the particulate PAHs at Seoul, Korea: impact of long range transport to a megacity. Atmospheric chemistry and physics 7 : 3587-3596
- Lee, W.J., Wang, Y.F., Lin T.C. and Chen, Y.Y. 1995. PAH characteristics in the ambient air of traffic-source. The science of the Total Environment 159: 185-200.
- Liu, D.M., Gao, S.P., and An, X.H. 2008. Distribution and source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons from atmospheric particulate matter PM<sub>2.5</sub> in Beijing. Advances in atmospheric science 25 : 297-305.
- Macnaughton, S.J., Stephen, J.R., Venosa, A.D., Davis, G.A., Chang, Y.J. and White, D.C. 1999. Microbial population changes during bioremediation of an experimental oil spill. Applied and Environmental Microbiology. 65: 3566 – 3574.

- Masclet, P., and Mouvier, G., 1988. La Chimie Atmospherique des Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques. Pollution Atmospherique. 1: 25-31.
- Miguel, A.H., Kirchstetter, T.W. and Harley, R.A. 1998 On-road emissions of particulate polycyclic aromatic hydrocarbons and black carbon from diesel vehicles. Environment Science and Technology 32: 3091-3099.
- Monterio, P.P.R., Reis-Henriques, M.A. and Coimbra, J. 2000. Plasma steroid levels in female flounder (*Platichthys flesus*) after chronic dietary exposure to single Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Marine Environmental Research. 49 : 453-467.
- Mukund, R., Kelly, T.J. and Spicer, C.W. 1996. Source attribution of ambient air toxic and other VOCs in Columbus. Atmospheric Environment 30 : 3457-3470.
- Oanh, K., Reutergardh, B.L., Dung, N.Tr., Yu, M.H, Yao, W.X., and Co, H.X. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in the airborne particulate matter at a location 40 km north of Bangkok, Thailand. Atmospheric Environment 34 : 4557-4563.
- Oberdoerster, E., Cottam, D.M., Wilmot, F.A., Milner, M.J. and Mclachlan, J.A. 1999. Interaction of PAHs and PCBs with ecdysone-dependent gene expression and cell proliferation. Toxicology and Applied Phamacology. 160(1):101-108.
- Ravindra, K., Sokhi, R., and Grieken, R.V. 2008. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: source attribution, emission factors and regulation. Atmospheric Environment 42 : 2895-2921.
- Schnelle, J., Jansch, T., Wolf, K., Gebefugi, I., and Kettrup, A. 1995. Particule size dependent concentrations polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the outdoor air. Atmospheric Environment 95: 3119-3127.
- Seinfeld, J.H. 1975. Air pollution: physical and chemical fundamentals. McGraw-Hill. United States of America.
- The working group on polycyclic aromatic hydrocarbons. 2001. Ambient air pollution by polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH). Office for Official Publications of the European Communities. [Online]. Available: [http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/annex\\_pah.pdf](http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/annex_pah.pdf). [Access date : July 1, 2008].
- Thrane, K.E. 1987. Deposition of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in the surrounding of primary aluminium industry. Water Air Soil Pollute 33: 385-3393.



- U.S. Environmental Protection Agency. 1999. Health Assessment Document For Diesel Engine Exhaust. United States Environmental Protection Agency. United State.
- U.S. EPA. 2004. EPA-CMB8.2 User Manual. United States Environmental Protection Agency. United State.
- Vasconcellos, R.C., Zacaria, D., Pires, M.A.F., Pool, C.S., and Carvalho, L.R.F. 2003. Measurements of polycyclic aromatic hydrocarbons in airborne particles from the metropolitan area of Sao Paulo City, Brazil. Atmospheric Environment 37 : 3009-3018.
- Wan, X., Chen, J., Tain, F., Sun, W., Yang, F., and Saiki, K. 2006. Source apportionment of PAHs in atmospheric particulates of Dalian: Factor analysis with nonnegative constraints and emission inventory analysis. Atmospheric Environment 40 : 6666-6675.
- Wu, S.P., Tao, S., and Liu, W.X. 2006. Particle size distributions of polycyclic aromatic hydrocarbons in rural and urban atmosphere of Tianjin, China. Chemosphere 62 : 357-367.
- Yamasaki, H., Kuwata, K., and Miyamoto, H. 1982 Effects of Ambient Temperature on Aspects of Airborne Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Environmental Science and Technology. 16: 189-194.
- Yang, H.H., and Chen, C.M. 2004. Emission inventory and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere at a suburban area in Taiwan. Chemosphere 56 : 879-887.
- Zhou, J., Wang, T., Huang, Y., Mao, T., and Zhong, N. 2005. Size distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban and suburban sites of Beijing, China. Chemosphere 61 : 792-799.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก  
ข้อมูลความเข้มข้นของผู้ทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละอองจาก Nano-particle sampler ประกอบด้วย

1. ความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  จาก Taper Element Oscillating Microbalance (TEOM) บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง
2. ความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  จาก Beta Ray บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
3. ความเข้มข้นของ TSP จาก High volume sampler บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
4. ความเข้มข้นของ  $PM_1$   $PM_{2.5}$   $PM_{10}$  จาก Cascade Impactor บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ความเข้มข้นของ TSP จาก High Volume Sampler บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นของ  $PM_{10}$  จาก Taper Element Oscillating Microbalance (TEOM) บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

| ตัวอย่าง | วันที่          | ความเข้มข้นของ $PM_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |
|----------|-----------------|---|
| 1        | 9 พฤศจิกายน 51  | 49.167  |
| 2        | 15 พฤศจิกายน 51 | 90.292  |
| 3        | 21 พฤศจิกายน 51 | 93.208  |
| 4        | 27 พฤศจิกายน 51 | 90.750  |
| 5        | 3 ธันวาคม 51    | 138.250   |
| 6        | 9 ธันวาคม 51    | 136.174   |
| 7        | 15 ธันวาคม 51   | 145.917   |
| 8        | 28 ธันวาคม 51   | 88.375  |
| 9        | 3 มกราคม 52     | 88.167  |
| 10       | 9 มกราคม 52     | 73.250  |

ตารางที่ ก.2 ความเข้มข้นของ TSP จาก High volume sampler บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏ  
บ้านสมเด็จเจ้าพระยา

| ตัวอย่าง | วันที่           | ความเข้มข้นของ TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |
|----------|------------------|---|
| 1        | 15 มกราคม 52     | 143.20  |
| 2        | 21 มกราคม 52     | 165.10  |
| 3        | 27 มกราคม 52     | 142.40  |
| 4        | 2 กุมภาพันธ์ 52  | 107.80  |
| 5        | 8 กุมภาพันธ์ 52  | 151.30  |
| 6        | 14 กุมภาพันธ์ 52 | 162.80  |
| 7        | 20 กุมภาพันธ์ 52 | 97.60   |
| 8        | 10 มีนาคม 52     | 94.50   |

ตารางที่ ก.3 ความเข้มข้นของ  $\text{PM}_{10}$  จาก Beta Ray บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จ  
เจ้าพระยา

| ตัวอย่าง | วันที่             | ความเข้มข้นของ TSP ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |
|----------|--------------------|---|
| 1        | 15 มกราคม 2552     | 132.80  |
| 2        | 21 มกราคม 2552     | 147.21  |
| 3        | 27 มกราคม 2552     | 90.96   |
| 4        | 2 กุมภาพันธ์ 2552  | 99.87   |
| 5        | 8 กุมภาพันธ์ 2552  | 172.29  |
| 6        | 14 กุมภาพันธ์ 2552 | 151.71  |
| 7        | 20 กุมภาพันธ์ 2552 | 58.25   |
| 8        | 26 กุมภาพันธ์ 2552 | 58.75   |
| 9        | 4 มีนาคม 2552      | 44.42   |
| 10       | 10 มีนาคม 2552     | 59.46   |

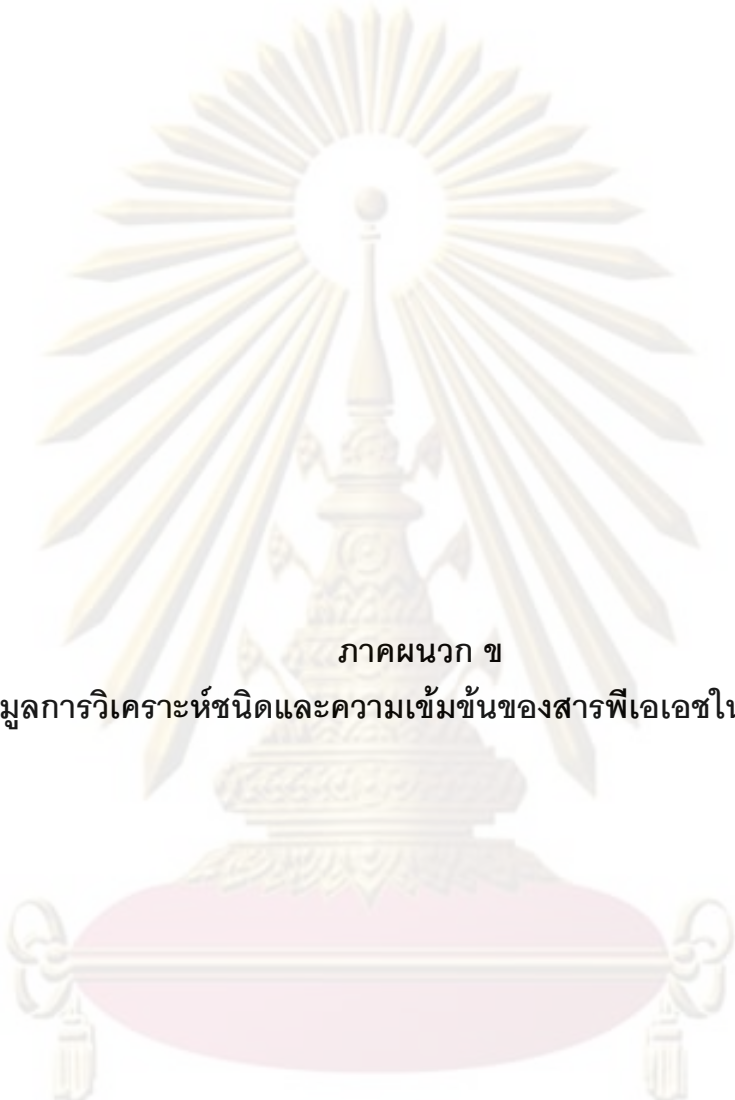
ตารางที่ ก.4 ความเข้มข้นของ PM<sub>1</sub> PM<sub>2.5</sub> PM<sub>10</sub> จาก Cascade Impactor บริเวณจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย

| ตัวอย่าง | วันที่         | ความเข้มข้นของฝุ่นละออง (µg/m <sup>3</sup> ) |                   |                  |
|----------|----------------|--|-------------------|------------------|
|          |                | PM <sub>1</sub>                              | PM <sub>2.5</sub> | PM <sub>10</sub> |
| 1        | 22 มีนาคม 2552 | 8.340  | 13.646            | 34.982           |
| 2        | 3 เมษายน 2552  | 13.437                                       | 18.942            | 36.160           |
| 3        | 15 เมษายน 2552 | 8.880  | 12.746            | 29.446           |
| 4        | 27 เมษายน 2552 | 13.172                                       | 17.765            | 30.153           |
| 5        | 9 พฤษภาคม 2552 | 7.764  | 11.507            | 26.855           |

ตารางที่ ก.5 ความเข้มข้นของ TSP จาก High Volume Sampler บริเวณจุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย

| ตัวอย่าง | วันที่         | ความเข้มข้นของ TSP (µg/m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------------|---|
| 1        | 22 มีนาคม 2552 | 34.523                                  |
| 2        | 3 เมษายน 2552  | 39.456                                  |
| 3        | 15 เมษายน 2552 | 16.839                                  |
| 4        | 27 เมษายน 2552 | 46.424                                  |
| 5        | 9 พฤษภาคม 2552 | 31.169                                  |

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข  
ข้อมูลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง

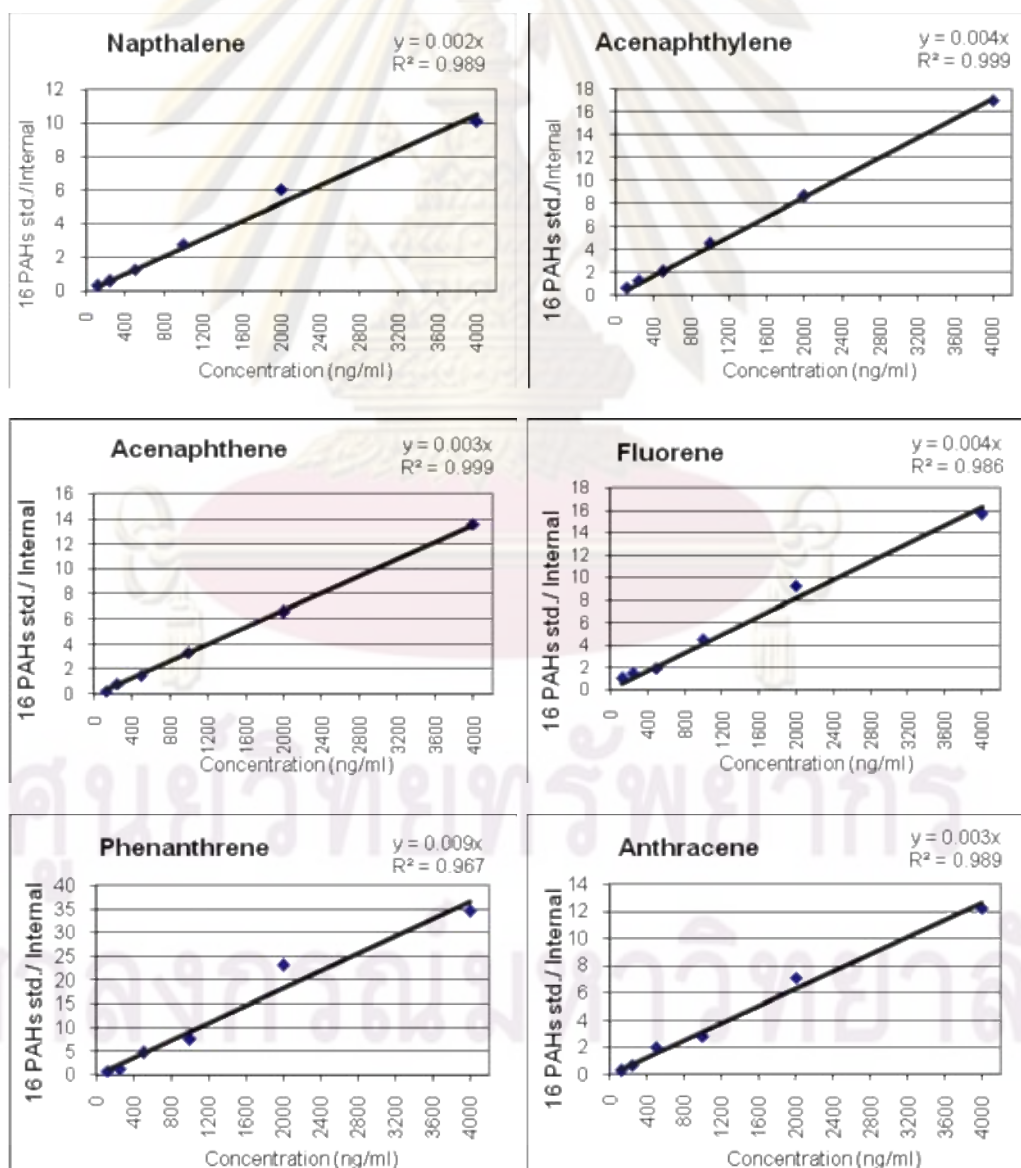
ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ข้อมูลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง

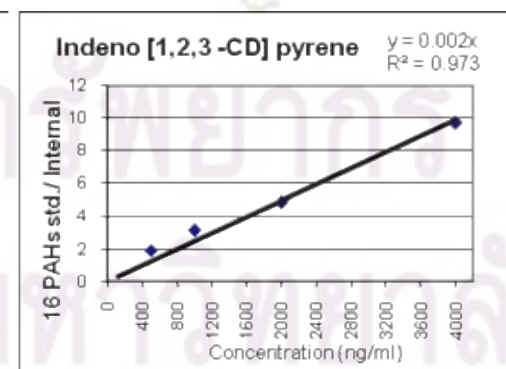
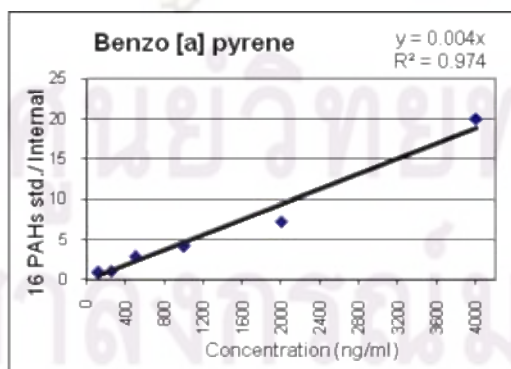
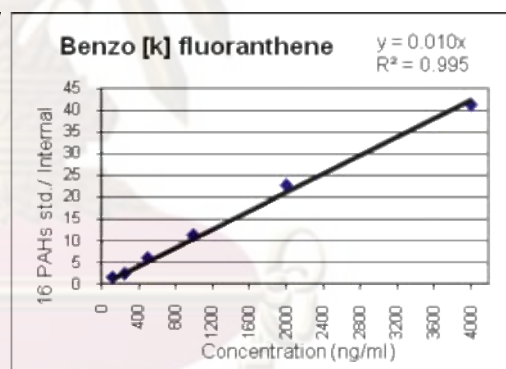
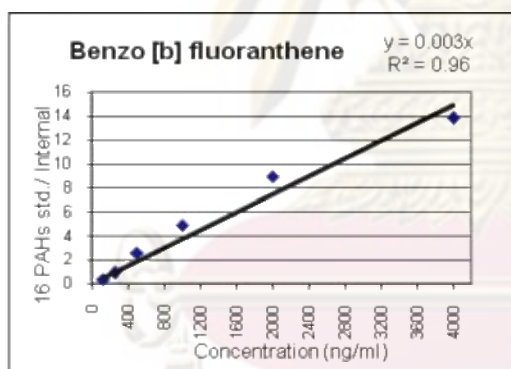
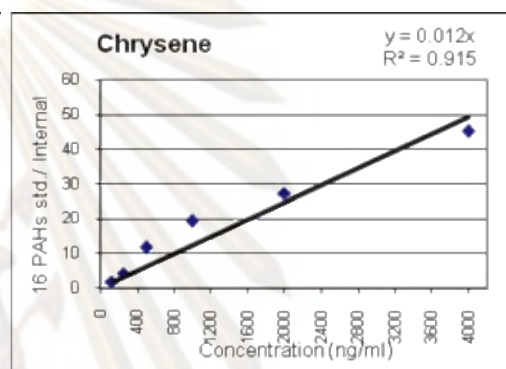
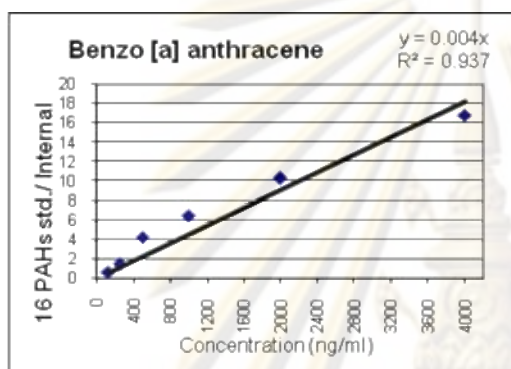
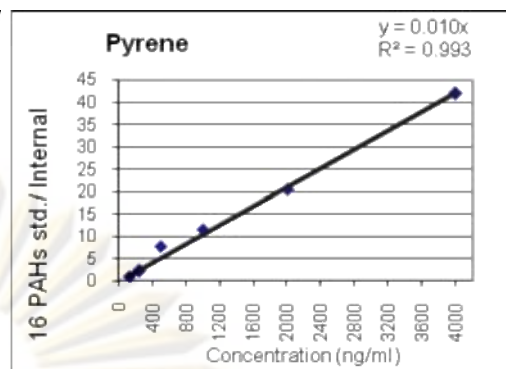
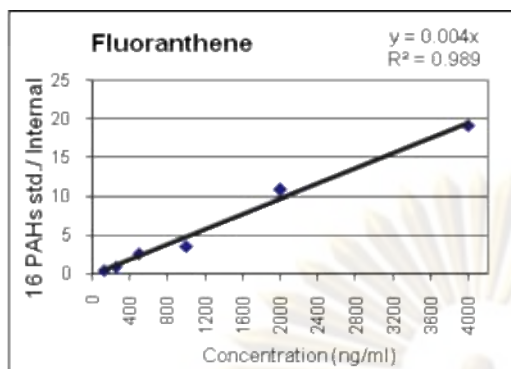
ข้อมูลการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง จากเครื่อง GC/MS ประกอบด้วย

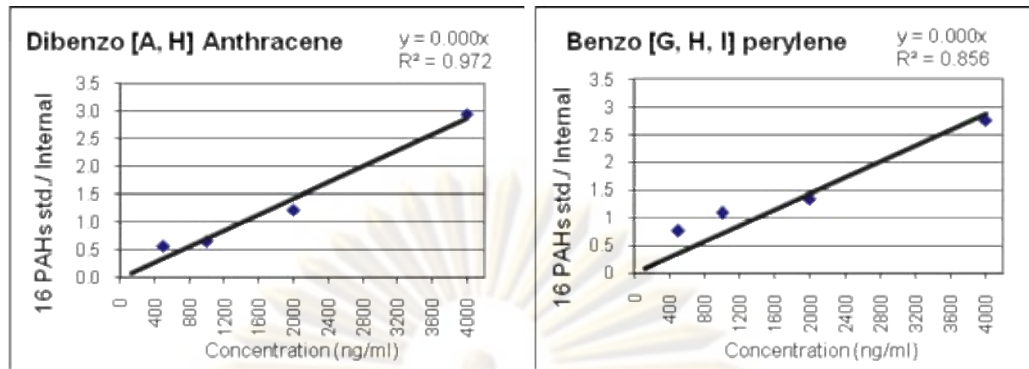
1. กราฟมาตรฐานของสารพีเอเอช 16 ชนิด
2. ตัวอย่างการคำนวณ Limit of detection (LOD) ของสารพีเอเอช
3. ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง
4. ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง

### กราฟมาตรฐานของสารพีเอเอช 16 ชนิด









ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตัวอย่างการคำนวณ Limit of detection (LOD) ของสารพีเอเอช

Limit of detection (LOD)

$$\text{LOD} = \frac{3 \times \text{ความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ (ng/ml)} \times \delta}{\bar{X}} ; \text{หน่วย ng/ml}$$

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)}$$

$X$  = พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบพีเอเอชเป้าหมายที่ตรวจวัดครั้งที่  $i$

$\bar{X}$  = พื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของสารประกอบพีเอเอชเป้าหมายที่ตรวจวัดครั้งที่  $i$ - $n$

$N$  = จำนวนครั้งในการตรวจวัด = 3

Naphthalene:

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n - 1)}$$

$X_1$  = พื้นที่ใต้กราฟของ Naphthalene ที่ตรวจวัดครั้งที่ 1 = 123

$X_2$  = พื้นที่ใต้กราฟของ Naphthalene ที่ตรวจวัดครั้งที่ 2 = 157

$X_3$  = พื้นที่ใต้กราฟของ Naphthalene ที่ตรวจวัดครั้งที่ 3 = 149

$X$  = พื้นที่ใต้กราฟเฉลี่ยของสารประกอบพีเอเอชเป้าหมายที่ตรวจวัดครั้งที่  $i$ - $n$

$$= (123 + 157 + 149) / 3 = 143$$

$X_1 - X$  = 123 - 143 = -20  $\rightarrow (X_1 - X)^2 = 400$

$X_2 - X$  = 157 - 143 = 14  $\rightarrow (X_2 - X)^2 = 196$

$X_3 - X$  = 149 - 143 = 6  $\rightarrow (X_3 - X)^2 = 36$

$$\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 = 632$$

$$\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 / (n - 1) = 632 / (3 - 1) = 316$$

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X)^2 / (n - 1)} = \sqrt{316} = 17.776$$

$$\text{LOD} = \frac{3 \times \text{ความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ (ng/ml)} \times \delta}{\bar{X}} ; \text{หน่วย ng/ml}$$

ความเข้มข้นต่ำสุดที่ใช้ = 2 ng/ml

$$\delta = 17.776$$

$$\bar{X} = 143$$

$$\text{LOD} = \frac{3 \times 2 \times 5}{143} = 0.7458 \text{ ng/ml}$$

$$\text{LOD} = 0.7458 \text{ ng/ml}$$

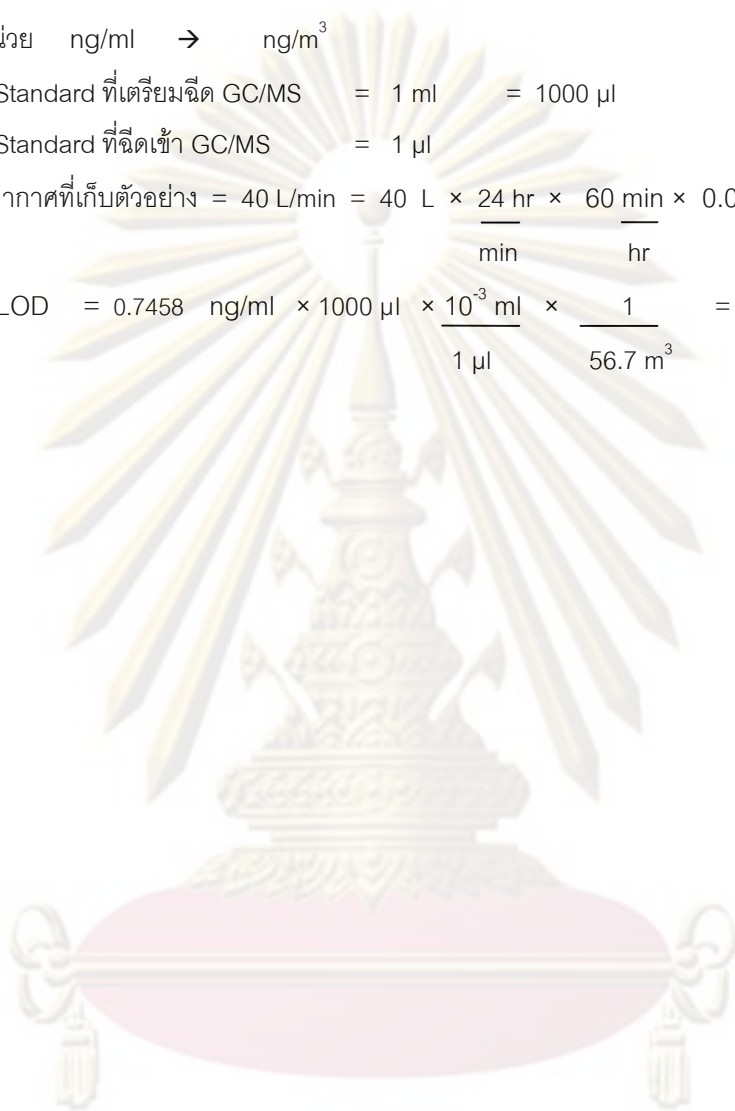
เปลี่ยนหน่วย ng/ml → ng/m<sup>3</sup>

ปริมาตร Standard ที่เตรียมฉีด GC/MS = 1 ml = 1000 μl

ปริมาตร Standard ที่ฉีดเข้า GC/MS = 1 μl

ปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง = 40 L/min = 40 L ×  $\frac{24 \text{ hr}}{\text{min}}$  ×  $\frac{60 \text{ min}}{\text{hr}}$  ×  $\frac{0.001 \text{ m}^3}{\text{L}}$  = 57.6 m<sup>3</sup>

ดังนั้น LOD = 0.7458 ng/ml × 1000 μl ×  $\frac{10^{-3} \text{ ml}}{1 \mu\text{l}}$  ×  $\frac{1}{56.7 \text{ m}^3}$  = 0.01294



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง

### PAH Concentration

$$\text{PAH Concentration (ng/m}^3\text{)} = (C_x)(D)(10^3) \text{ ng/ml} \times \frac{A/B}{E/F} \times \frac{(V_s)(10^{-3}) \text{ ml}}{V_{inj}} \times \frac{F_T}{F_s} \times \frac{1}{V_A}$$

$$C_x = \text{ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายมาตรฐานสารประกอบพีเอเอช (\mu\text{g/ml})} = 2000 \mu\text{g/ml}$$

$$D = \text{dilution factor จำนวนเท่าที่เจือจางจากสารละลายมาตรฐาน} = 1/2000$$

$$A = \text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบพีเอเอชเป้าหมายในตัวอย่าง} = 1524$$

$$B = \text{พื้นที่ใต้กราฟของ Internal PAH Standard ในตัวอย่าง} = 2608$$

$$E = \text{พื้นที่ใต้กราฟของสารประกอบพีเอเอชเป้าหมายใน Standard} = 8515$$

$$F = \text{พื้นที่ใต้กราฟของ Internal PAH Standard(Naphthalene-d8) ในตัวอย่าง} = 2608$$

$$V_s = \text{ปริมาตรของตัวอย่างที่เตรียมก่อนฉีด GC/MS (\mu\text{l})} = 50 \mu\text{l}$$

$$V_{inj} = \text{ปริมาตรของตัวอย่างที่ฉีด GC/MS (\mu\text{l})} = 1 \mu\text{l}$$

$$F_T = \text{จำนวนกระดาษกรองทั้งหมดที่นำมาวิเคราะห์สารประกอบพีเอเอช (ส่วน)} = 1 \text{ ส่วน}$$

$$F_s = \text{จำนวนกระดาษกรองที่แบ่งมาวิเคราะห์สารประกอบพีเอเอช (ส่วน)} = 1 \text{ ส่วน}$$

$$V_A = \text{ปริมาตรอากาศที่เก็บตัวอย่าง} = (37 + 40) \frac{\text{L}}{\text{min}} \times 24 \frac{\text{hr}}{\text{hr}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{min}} \times 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{L}} = 55.44 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Naphthalene Concentration} &= (C_x)(D)(10^3) \text{ ng/ml} \times \frac{A/B}{E/F} \times \frac{(V_s)(10^{-3}) \text{ ml}}{V_{inj}} \times \frac{F_T}{F_s} \times \frac{1}{V_A} \\ &= (2000)(1/2000)(10^3) \times \frac{1524/2608}{8515/3038} \times \frac{(50)(10^{-3})}{50} \times \frac{1}{1} \times \frac{1}{55.44} \\ &= 0.18803 \text{ ng/m}^3 \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง

ตารางที่ ข.1 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

| ตัวอย่าง | วันที่     | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1        | 9 พ.ย. 51  | > 10 µm       | 0.1880 | 0.2190 | 0.1335 | 0.2478 | 0.1229 | 0.1850 | 0.1621 | 0.0814 | 0.1637 | 0.1930 | 0.2684 | 0.2369 | 0.5329 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.1574 | 0.3400 | 0.2106 | 0.3583 | 0.0810 | 0.1783 | 0.2018 | 0.1190 | 0.1568 | 0.2089 | 0.3255 | 0.2632 | 0.8715 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1250 | 0.2163 | 0.1287 | 0.1972 | 0.0596 | 0.1608 | 0.1026 | 0.0847 | 0.1344 | 0.1930 | 0.2422 | 0.1817 | 0.4417 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.0952 | 0.0878 | 0.0990 | 0.1581 | 0.0818 | 0.1226 | 0.0677 | 0.0789 | 0.1256 | 0.1927 | 0.1949 | 0.2022 | 0.4237 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.1244 | 0.1197 | 0.0933 | 0.2490 | 0.0579 | 0.1064 | 0.1010 | 0.0801 | 0.1595 | 0.1881 | 0.2377 | 0.1591 | 0.3690 |
|          |            | รวม           | 0.6901 | 0.9827 | 0.6651 | 1.2104 | 0.4031 | 0.7529 | 0.6352 | 0.4441 | 0.7399 | 0.9756 | 1.2687 | 1.0431 | 2.6388 |
| 2        | 15 พ.ย. 51 | > 10 µm       | 0.2470 | 0.3625 | 0.1741 | 0.3552 | 0.1253 | 0.2184 | 0.1702 | 0.1229 | 0.1660 | 0.2017 | 0.7468 | 0.3242 | 0.8642 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.2390 | 0.5126 | 0.2242 | 0.5190 | 0.1229 | 0.2188 | 0.2415 | 0.1865 | 0.1931 | 0.2945 | 0.9848 | 0.3478 | 1.1054 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1766 | 0.2834 | 0.1205 | 0.2577 | 0.0906 | 0.1742 | 0.1177 | 0.1194 | 0.1389 | 0.2041 | 0.5883 | 0.1875 | 0.6208 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1368 | 0.2676 | 0.0916 | 0.3093 | 0.0906 | 0.1767 | 0.1301 | 0.1115 | 0.1432 | 0.2039 | 0.6722 | 0.1982 | 0.7712 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.3005 | 0.5262 | 0.1754 | 0.4725 | 0.1313 | 0.2571 | 0.2041 | 0.2009 | 0.2051 | 0.2682 | 1.1355 | 0.3709 | 1.2130 |
|          |            | รวม           | 1.1001 | 1.9523 | 0.7858 | 1.9138 | 0.5607 | 1.0451 | 0.8635 | 0.7412 | 0.8463 | 1.1725 | 4.1277 | 1.4287 | 4.5747 |

ตารางที่ ข.1(ต่อ) ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

| ตัวอย่าง | วันที่     | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 3        | 21 พ.ย. 51 | > 10 µm       | 0.2713 | 0.3740 | 0.1819 | 0.3785 | 0.1296 | 0.2300 | 0.1792 | 0.1348 | 0.1780 | 0.2680 | 0.8645 | 0.3163 | 0.9706 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.2501 | 0.5297 | 0.2317 | 0.5363 | 0.1254 | 0.2232 | 0.2464 | 0.1968 | 0.2038 | 0.3108 | 1.0365 | 0.3661 | 1.1634 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1833 | 0.2916 | 0.1240 | 0.2651 | 0.0923 | 0.1774 | 0.1198 | 0.1145 | 0.1332 | 0.1957 | 0.6342 | 0.2022 | 0.6692 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1415 | 0.2819 | 0.0930 | 0.3291 | 0.0919 | 0.1793 | 0.1320 | 0.1187 | 0.1524 | 0.2169 | 0.7218 | 0.2128 | 0.8281 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.3133 | 0.5423 | 0.1807 | 0.4870 | 0.1358 | 0.2660 | 0.2111 | 0.2114 | 0.2159 | 0.2823 | 1.2370 | 0.4040 | 1.3214 |
|          |            | รวม           | 1.1594 | 2.0195 | 0.8113 | 1.9959 | 0.5750 | 1.0759 | 0.8886 | 0.7762 | 0.8832 | 1.2737 | 4.4940 | 1.5014 | 4.9527 |
| 4        | 27 พ.ย. 51 | > 10 µm       | 0.2955 | 0.3855 | 0.1741 | 0.4018 | 0.1276 | 0.2097 | 0.1751 | 0.1527 | 0.1820 | 0.3078 | 0.8943 | 0.2800 | 0.9816 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.2651 | 0.4852 | 0.2231 | 0.5060 | 0.1278 | 0.2265 | 0.2565 | 0.2346 | 0.1793 | 0.3441 | 1.2454 | 0.3773 | 1.1936 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1925 | 0.3338 | 0.1961 | 0.2803 | 0.1020 | 0.2237 | 0.1092 | 0.1676 | 0.1456 | 0.2160 | 0.6459 | 0.2331 | 0.6441 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1945 | 0.2566 | 0.0940 | 0.3358 | 0.1092 | 0.1828 | 0.1165 | 0.1051 | 0.1592 | 0.2195 | 0.7139 | 0.2289 | 0.8509 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.3272 | 0.5594 | 0.1864 | 0.5023 | 0.1403 | 0.2748 | 0.2181 | 0.2202 | 0.2248 | 0.2940 | 0.8730 | 0.2851 | 0.9326 |
|          |            | รวม           | 1.2748 | 2.0204 | 0.8738 | 2.0261 | 0.6070 | 1.1175 | 0.8755 | 0.8801 | 0.8909 | 1.3813 | 4.3726 | 1.4045 | 4.6028 |
| 5        | 3 ธ.ค. 51  | > 10 µm       | 0.2955 | 0.3855 | 0.1741 | 0.4018 | 0.1276 | 0.2097 | 0.1751 | 0.1527 | 0.1820 | 0.3078 | 0.8943 | 0.2800 | 0.9816 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.1403 | 0.4702 | 0.1664 | 0.4904 | 0.1351 | 0.2006 | 0.2565 | 0.3033 | 0.1793 | 0.3017 | 1.2649 | 0.2699 | 0.9652 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1992 | 0.3536 | 0.2078 | 0.2970 | 0.0979 | 0.2293 | 0.1135 | 0.1733 | 0.1440 | 0.2224 | 0.6429 | 0.1849 | 0.6495 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1470 | 0.2583 | 0.0962 | 0.3395 | 0.1094 | 0.2020 | 0.1207 | 0.1130 | 0.1457 | 0.2125 | 0.7637 | 0.2432 | 0.9069 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.3027 | 0.5313 | 0.1962 | 0.5116 | 0.1385 | 0.2632 | 0.2338 | 0.2278 | 0.2201 | 0.2928 | 0.9170 | 0.2910 | 1.0005 |
|          |            | รวม           | 1.0846 | 1.9989 | 0.8406 | 2.0402 | 0.6085 | 1.1047 | 0.8997 | 0.9702 | 0.8712 | 1.3371 | 4.4827 | 1.2690 | 4.5037 |

ตารางที่ ข.1(ต่อ) ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

| ตัวอย่าง | วันที่     | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 6        | 9 ธ.ค. 51  | > 10 µm       | 0.3750 | 0.5587 | 0.2288 | 0.5655 | 0.1253 | 0.3176 | 0.1742 | 0.2367 | 0.2279 | 0.4297 | 1.2365 | 0.4644 | 1.2297 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.2943 | 0.8641 | 0.4037 | 0.6554 | 0.1470 | 0.3034 | 0.3204 | 0.3412 | 0.2095 | 0.4339 | 1.5065 | 0.5493 | 1.4534 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.2197 | 0.4754 | 0.2904 | 0.4113 | 0.1352 | 0.4357 | 0.1249 | 0.2229 | 0.1656 | 0.3794 | 0.8062 | 0.2977 | 0.9888 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1879 | 0.3733 | 0.1226 | 0.4054 | 0.1230 | 0.3047 | 0.1315 | 0.1348 | 0.1524 | 0.3040 | 1.0694 | 0.3567 | 1.1719 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.3357 | 0.7157 | 0.2504 | 0.6108 | 0.1415 | 0.3607 | 0.2313 | 0.2227 | 0.1887 | 0.3433 | 1.3827 | 0.4595 | 1.3921 |
|          |            | รวม           | 1.4126 | 2.9873 | 1.2958 | 2.6484 | 0.6720 | 1.7220 | 0.9823 | 1.1583 | 0.9440 | 1.8903 | 6.0013 | 2.1277 | 6.2360 |
| 7        | 15 ธ.ค. 51 | > 10 µm       | 0.2429 | 0.4789 | 0.2901 | 0.5726 | 0.1007 | 0.3468 | 0.1244 | 0.2834 | 0.2301 | 0.3219 | 1.1957 | 0.7635 | 1.3387 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.2719 | 0.8385 | 0.4364 | 0.6173 | 0.1663 | 0.2687 | 0.3399 | 0.3627 | 0.2241 | 0.5291 | 1.7632 | 0.7180 | 2.3096 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1800 | 0.5146 | 0.2302 | 0.4143 | 0.1400 | 0.4357 | 0.1345 | 0.2794 | 0.1739 | 0.2843 | 1.2181 | 0.5086 | 1.0263 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.2681 | 0.4159 | 0.1722 | 0.4158 | 0.1254 | 0.2960 | 0.1462 | 0.2134 | 0.1733 | 0.2088 | 1.3262 | 0.4652 | 1.1719 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.3036 | 0.8008 | 0.2613 | 0.6947 | 0.1343 | 0.3520 | 2.0387 | 0.2942 | 0.2013 | 0.2481 | 1.2843 | 0.3390 | 1.5349 |
|          |            | รวม           | 1.2666 | 3.0488 | 1.3902 | 2.7147 | 0.6666 | 1.6991 | 2.7836 | 1.4332 | 1.0028 | 1.5920 | 6.7874 | 2.7942 | 7.3814 |
| 8        | 28 ธ.ค. 51 | > 10 µm       | 0.2147 | 0.3733 | 0.2387 | 0.5036 | 0.0871 | 0.2236 | 0.1111 | 0.2270 | 0.2102 | 0.2150 | 0.8309 | 0.5066 | 1.0081 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.1980 | 0.6128 | 0.3366 | 0.5089 | 0.1466 | 0.1766 | 0.3094 | 0.3164 | 0.2230 | 0.3849 | 1.1697 | 0.4548 | 1.6605 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1591 | 0.4086 | 0.1929 | 0.3712 | 0.1257 | 0.2917 | 0.1247 | 0.2437 | 0.1731 | 0.2068 | 0.9233 | 0.3681 | 0.8431 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1952 | 0.3039 | 0.1341 | 0.3624 | 0.1105 | 0.1945 | 0.1330 | 0.1862 | 0.1724 | 0.1519 | 0.8798 | 0.2947 | 0.8425 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.2211 | 0.5852 | 0.2015 | 0.5728 | 0.1184 | 0.2313 | 1.8554 | 0.2567 | 0.2003 | 0.1805 | 0.8520 | 0.2148 | 1.1034 |
|          |            | รวม           | 0.9882 | 2.2838 | 1.1038 | 2.3189 | 0.5882 | 1.1178 | 2.5335 | 1.2300 | 0.9790 | 1.1391 | 4.6557 | 1.8389 | 5.4576 |



ตารางที่ ข.1(ต่อ) ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณการเคหะชุมชนดินแดง

| ตัวอย่าง | วันที่    | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|-----------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 9        | 3 ม.ค. 52 | > 10 µm       | 0.2592 | 0.4651 | 0.2116 | 0.4039 | 0.1345 | 0.3144 | 0.1769 | 0.1396 | 0.1654 | 0.2748 | 0.8447 | 0.3840 | 0.9020 |
|          |           | 2.5-10 µm     | 0.2508 | 0.6577 | 0.2726 | 0.5902 | 0.1319 | 0.3150 | 0.2510 | 0.2119 | 0.1923 | 0.4012 | 1.1139 | 0.4120 | 1.1537 |
|          |           | 1.0-2.5 µm    | 0.1854 | 0.3636 | 0.1465 | 0.2930 | 0.0973 | 0.2507 | 0.1223 | 0.1356 | 0.1383 | 0.2780 | 0.6654 | 0.2221 | 0.6480 |
|          |           | 0.1-1.0 µm    | 0.1436 | 0.3433 | 0.1114 | 0.3517 | 0.0972 | 0.2544 | 0.1353 | 0.1267 | 0.1427 | 0.2777 | 0.7603 | 0.2348 | 0.8049 |
|          |           | < 0.1 µm      | 0.3154 | 0.6750 | 0.2132 | 0.5373 | 0.1409 | 0.3701 | 0.2121 | 0.2282 | 0.2043 | 0.3653 | 1.2844 | 0.4393 | 1.2660 |
|          |           | รวม           | 1.1543 | 2.5047 | 0.9552 | 2.1761 | 0.6018 | 1.5046 | 0.8977 | 0.8420 | 0.8430 | 1.5969 | 4.6688 | 1.6923 | 4.7747 |
| 10       | 9 ม.ค. 52 | > 10 µm       | 0.3574 | 0.4355 | 0.1882 | 0.4973 | 0.1167 | 0.2206 | 0.1676 | 0.2084 | 0.2288 | 0.3155 | 1.0932 | 0.3921 | 1.1782 |
|          |           | 2.5-10 µm     | 0.2805 | 0.6735 | 0.3321 | 0.5764 | 0.1369 | 0.2107 | 0.3082 | 0.3004 | 0.2103 | 0.3186 | 1.3319 | 0.4637 | 1.3925 |
|          |           | 1.0-2.5 µm    | 0.2094 | 0.3706 | 0.2389 | 0.3617 | 0.1260 | 0.3026 | 0.1201 | 0.1962 | 0.1662 | 0.2786 | 0.7127 | 0.2513 | 0.9474 |
|          |           | 0.1-1.0 µm    | 0.1791 | 0.2910 | 0.1008 | 0.3565 | 0.1146 | 0.2116 | 0.1265 | 0.1187 | 0.1530 | 0.2232 | 0.9455 | 0.3012 | 1.1229 |
|          |           | < 0.1 µm      | 0.3199 | 0.5579 | 0.2060 | 0.5371 | 0.1318 | 0.2505 | 0.2225 | 0.1961 | 0.1895 | 0.2520 | 1.2225 | 0.3879 | 1.3338 |
|          |           | รวม           | 1.3463 | 2.3284 | 1.0661 | 2.3291 | 0.6260 | 1.1961 | 0.9449 | 1.0197 | 0.9478 | 1.3878 | 5.3058 | 1.7962 | 5.9747 |

ตารางที่ ข.2 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

| ตัวอย่าง | วันที่     | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1        | 15 ม.ค. 52 | > 10 µm       | 0.2483 | 0.4183 | 0.1750 | 0.3764 | 0.1331 | 0.3149 | 0.1786 | 0.1246 | 0.1609 | 0.2775 | 0.7663 | 0.3510 | 0.8209 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.2508 | 0.6577 | 0.2726 | 0.5902 | 0.1319 | 0.3150 | 0.2510 | 0.2119 | 0.1923 | 0.4012 | 1.1139 | 0.4120 | 1.1537 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1854 | 0.3636 | 0.1465 | 0.2930 | 0.0973 | 0.2507 | 0.1223 | 0.1356 | 0.1383 | 0.2780 | 0.6654 | 0.2221 | 0.6480 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1436 | 0.3433 | 0.1114 | 0.3517 | 0.0972 | 0.2544 | 0.1353 | 0.1267 | 0.1427 | 0.2777 | 0.7603 | 0.2348 | 0.8049 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.3154 | 0.6750 | 0.2132 | 0.5373 | 0.1409 | 0.3701 | 0.2121 | 0.2282 | 0.2043 | 0.3653 | 0.8743 | 0.4393 | 1.2660 |
|          |            | รวม           | 1.1434 | 2.4580 | 0.9186 | 2.1486 | 0.6005 | 1.5051 | 0.8993 | 0.8269 | 0.8385 | 1.5997 | 4.1803 | 1.6593 | 4.6935 |
| 2        | 21 ม.ค. 52 | > 10 µm       | 0.0277 | 0.3405 | 0.1535 | 0.3746 | 0.1337 | 0.2233 | 0.1672 | 0.1632 | 0.1792 | 0.2728 | 0.8655 | 0.2283 | 0.9500 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.0118 | 0.3888 | 0.1373 | 0.4280 | 0.1269 | 0.1915 | 0.2195 | 0.2533 | 0.1380 | 0.2090 | 1.1340 | 0.2038 | 0.8653 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.0183 | 0.3033 | 0.1780 | 0.2689 | 0.1069 | 0.2546 | 0.1130 | 0.1924 | 0.1473 | 0.2048 | 0.6132 | 0.1486 | 0.6195 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.0133 | 0.2229 | 0.0867 | 0.3202 | 0.1157 | 0.2171 | 0.1163 | 0.1202 | 0.1428 | 0.1876 | 0.7120 | 0.1911 | 0.8456 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.0238 | 0.4273 | 0.1575 | 0.4343 | 0.1331 | 0.2571 | 0.2046 | 0.1986 | 0.1769 | 0.2119 | 0.9206 | 0.2461 | 1.0044 |
|          |            | รวม           | 0.0949 | 1.6828 | 0.7130 | 1.8260 | 0.6163 | 1.1436 | 0.8206 | 0.9276 | 0.7843 | 1.0861 | 4.2453 | 1.0179 | 4.2848 |
| 3        | 27 ม.ค. 52 | > 10 µm       | 0.2748 | 0.3716 | 0.1678 | 0.3872 | 0.1251 | 0.2055 | 0.1717 | 0.1446 | 0.1723 | 0.2914 | 0.8356 | 0.2616 | 0.9171 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.1167 | 0.4242 | 0.1501 | 0.4424 | 0.1187 | 0.1762 | 0.2254 | 0.2245 | 0.1327 | 0.2233 | 1.0948 | 0.2336 | 0.8354 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1817 | 0.3310 | 0.1945 | 0.2780 | 0.1000 | 0.2343 | 0.1160 | 0.1705 | 0.1417 | 0.2187 | 0.5921 | 0.1703 | 0.5981 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1320 | 0.2432 | 0.0952 | 0.3201 | 0.1082 | 0.1999 | 0.1195 | 0.1065 | 0.1374 | 0.2004 | 0.6874 | 0.2190 | 0.8163 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.2359 | 0.4662 | 0.1721 | 0.4489 | 0.1245 | 0.2366 | 0.2102 | 0.1760 | 0.1701 | 0.2263 | 0.8888 | 0.2820 | 0.9697 |
|          |            | รวม           | 0.9412 | 1.8362 | 0.7797 | 1.8766 | 0.5766 | 1.0526 | 0.8427 | 0.8222 | 0.7542 | 1.1601 | 4.0986 | 1.1665 | 4.1368 |

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

| ตัวอย่าง | วันที่     | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4        | 2 ก.พ. 52  | > 10 µm       | 0.1965 | 0.3025 | 0.0813 | 0.5326 | 0.0941 | 0.2302 | 0.1237 | 0.2448 | 0.2527 | 0.2366 | 1.0209 | 0.3360 | 0.9418 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.2468 | 0.6357 | 0.3344 | 0.5741 | 0.1554 | 0.1784 | 0.3379 | 0.3133 | 0.2461 | 0.3890 | 0.7748 | 0.2863 | 0.8420 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1634 | 0.3901 | 0.1764 | 0.3853 | 0.1308 | 0.2893 | 0.1337 | 0.2413 | 0.1910 | 0.2090 | 0.7203 | 0.4084 | 0.7636 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.2433 | 0.3153 | 0.1320 | 0.3868 | 0.1172 | 0.1965 | 0.1453 | 0.1844 | 0.1903 | 0.1535 | 0.7305 | 0.3736 | 0.9024 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.2756 | 0.6071 | 0.2002 | 0.6461 | 0.1255 | 0.2337 | 0.2299 | 0.2542 | 0.2210 | 0.1824 | 0.8043 | 0.2723 | 0.9105 |
|          |            | รวม           | 1.1256 | 2.2507 | 0.9243 | 2.5248 | 0.6232 | 1.1281 | 0.9704 | 1.2380 | 1.1012 | 1.1705 | 4.0508 | 1.6766 | 4.3603 |
| 5        | 8 ก.พ. 52  | 0.738282973   | 0.2205 | 0.3630 | 0.2223 | 0.5326 | 0.0941 | 0.2302 | 0.1237 | 0.2448 | 0.2527 | 0.2366 | 0.8024 | 0.1915 | 0.5378 |
|          |            | 1.510489528   | 0.2468 | 0.6357 | 0.3344 | 0.5741 | 0.1554 | 0.1784 | 0.3379 | 0.3133 | 0.2461 | 0.3890 | 1.5055 | 0.5766 | 1.1418 |
|          |            | 0.631014372   | 0.1634 | 0.3901 | 0.1764 | 0.3853 | 0.1308 | 0.2893 | 0.1337 | 0.2413 | 0.1910 | 0.2090 | 0.8609 | 0.2680 | 0.6321 |
|          |            | 1.326021583   | 0.2433 | 0.3153 | 0.1320 | 0.3868 | 0.1172 | 0.1965 | 0.1453 | 0.1844 | 0.1903 | 0.1535 | 1.1323 | 0.3736 | 0.9923 |
|          |            | 0.578418862   | 0.2756 | 0.6071 | 0.2002 | 0.6461 | 0.1255 | 0.2337 | 0.2299 | 0.2542 | 0.2210 | 0.1824 | 1.0966 | 0.2723 | 1.0454 |
|          |            | รวม           | 1.1495 | 2.3112 | 1.0653 | 2.5248 | 0.6232 | 1.1281 | 0.9704 | 1.2380 | 1.1012 | 1.1705 | 5.3977 | 1.6819 | 4.3494 |
| 6        | 14 ก.พ. 52 | > 10 µm       | 0.3017 | 0.5031 | 0.2318 | 0.4512 | 0.1430 | 0.3404 | 0.1916 | 0.1759 | 0.2037 | 0.4193 | 1.0500 | 0.3890 | 1.1672 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.2625 | 0.5970 | 0.2817 | 0.6098 | 0.1346 | 0.3214 | 0.2142 | 0.2236 | 0.2030 | 0.4234 | 1.2197 | 0.4337 | 1.2143 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1923 | 0.3741 | 0.1507 | 0.3015 | 0.1203 | 0.2554 | 0.1246 | 0.1171 | 0.1326 | 0.2666 | 0.7524 | 0.2395 | 0.7102 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1484 | 0.3616 | 0.1130 | 0.3742 | 0.0987 | 0.2581 | 0.1373 | 0.1348 | 0.1517 | 0.2954 | 0.8164 | 0.2521 | 0.8643 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.3287 | 0.6957 | 0.2097 | 0.5537 | 0.1458 | 0.3829 | 0.2195 | 0.2401 | 0.2150 | 0.3845 | 1.4304 | 0.4786 | 1.3493 |
|          |            | รวม           | 1.2336 | 2.5315 | 0.9868 | 2.2904 | 0.6424 | 1.5582 | 0.8871 | 0.8916 | 0.9060 | 1.7892 | 5.2688 | 1.7928 | 5.3053 |

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

| ตัวอย่าง | วันที่     | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 7        | 20 ก.พ. 52 | > 10 µm       | 0.2814 | 0.3749 | 0.1622 | 0.4249 | 0.1281 | 0.2004 | 0.1810 | 0.1499 | 0.1991 | 0.3082 | 0.8637 | 0.2664 | 0.1076 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.1336 | 0.4573 | 0.1549 | 0.5186 | 0.1355 | 0.1917 | 0.2650 | 0.2976 | 0.1961 | 0.3021 | 1.2215 | 0.2567 | 0.1058 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1897 | 0.3439 | 0.1935 | 0.3141 | 0.0982 | 0.2192 | 0.1173 | 0.1701 | 0.1575 | 0.2227 | 0.6209 | 0.1759 | 0.0712 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1400 | 0.2512 | 0.0896 | 0.3591 | 0.1097 | 0.1930 | 0.1247 | 0.1109 | 0.1593 | 0.2128 | 0.7375 | 0.2314 | 0.0994 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.2883 | 0.5167 | 0.1827 | 0.5410 | 0.1390 | 0.2516 | 0.2416 | 0.2235 | 0.2408 | 0.2932 | 0.8855 | 0.2768 | 0.1097 |
|          |            | รวม           | 1.0329 | 1.9441 | 0.7830 | 2.1576 | 0.6105 | 1.0559 | 0.9297 | 0.9520 | 0.9528 | 1.3390 | 4.3291 | 1.2072 | 0.4936 |
| 8        | 26 ก.พ. 52 | > 10 µm       | 0.1684 | 0.3669 | 0.1958 | 0.3787 | 0.1295 | 0.1579 | 0.1704 | 0.1270 | 0.1504 | 0.2500 | 0.5745 | 0.1744 | 0.6699 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.1834 | 0.5524 | 0.2289 | 0.4957 | 0.1162 | 0.2774 | 0.2211 | 0.1586 | 0.1440 | 0.3004 | 0.6993 | 0.2428 | 0.7242 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1327 | 0.2124 | 0.1413 | 0.2827 | 0.0943 | 0.2429 | 0.1185 | 0.1244 | 0.1269 | 0.2550 | 0.4351 | 0.1923 | 0.5233 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1282 | 0.3312 | 0.1079 | 0.3227 | 0.0942 | 0.2223 | 0.1311 | 0.1163 | 0.1309 | 0.2548 | 0.6582 | 0.1794 | 0.6968 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.2510 | 0.6165 | 0.1947 | 0.4907 | 0.1335 | 0.3507 | 0.2010 | 0.1798 | 0.1610 | 0.2879 | 0.6008 | 0.2781 | 0.8701 |
|          |            | รวม           | 0.8637 | 2.0794 | 0.8686 | 1.9706 | 0.5677 | 1.2514 | 0.8421 | 0.7061 | 0.7132 | 1.3481 | 2.9679 | 1.0671 | 3.4843 |
| 9        | 4 มี.ค. 52 | > 10 µm       | 0.1093 | 0.2240 | 0.0781 | 0.3095 | 0.0794 | 0.1591 | 0.1122 | 0.1765 | 0.1886 | 0.0000 | 0.6190 | 0.1765 | 0.6301 |
|          |            | 2.5-10 µm     | 0.1784 | 0.5515 | 0.3013 | 0.4170 | 0.1337 | 0.1627 | 0.3126 | 0.2460 | 0.2000 | 0.2909 | 0.4485 | 0.1636 | 0.5378 |
|          |            | 1.0-2.5 µm    | 0.1347 | 0.3489 | 0.1638 | 0.2885 | 0.1108 | 0.2368 | 0.1217 | 0.1757 | 0.1439 | 0.0000 | 0.4592 | 0.0000 | 0.5371 |
|          |            | 0.1-1.0 µm    | 0.1759 | 0.2735 | 0.1357 | 0.2980 | 0.1009 | 0.1634 | 0.1344 | 0.1448 | 0.1547 | 0.1881 | 0.4228 | 0.1873 | 0.5764 |
|          |            | < 0.1 µm      | 0.1278 | 0.4465 | 0.1711 | 0.3669 | 0.1043 | 0.1878 | 0.1621 | 0.1850 | 0.1666 | 0.0000 | 0.4487 | 0.0000 | 0.5605 |
|          |            | รวม           | 0.7261 | 1.8444 | 0.8500 | 1.6798 | 0.5292 | 0.9098 | 0.8430 | 0.9280 | 0.8537 | 0.4790 | 2.3983 | 0.5274 | 2.8420 |

ตารางที่ ข.2 (ต่อ) ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

| ตัวอย่าง | วันที่      | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|-------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10       | 10 มี.ค. 52 | > 10 µm       | 0.2254 | 0.3171 | 0.1341 | 0.3501 | 0.1244 | 0.2091 | 0.1775 | 0.1076 | 0.1767 | 0.2040 | 0.5451 | 0.1561 | 0.6463 |
|          |             | 2.5-10 µm     | 0.2277 | 0.4986 | 0.2089 | 0.5489 | 0.1233 | 0.2091 | 0.2495 | 0.1830 | 0.2112 | 0.2950 | 0.7978 | 0.3309 | 0.9075 |
|          |             | 1.0-2.5 µm    | 0.1460 | 0.2757 | 0.1123 | 0.2725 | 0.0910 | 0.1665 | 0.1216 | 0.1171 | 0.1519 | 0.1903 | 0.3458 | 0.1563 | 0.4102 |
|          |             | 0.1-1.0 µm    | 0.1303 | 0.2603 | 0.0853 | 0.3271 | 0.0909 | 0.1689 | 0.1345 | 0.1095 | 0.1566 | 0.2042 | 0.5658 | 0.1886 | 0.6547 |
|          |             | < 0.1 µm      | 0.2862 | 0.5117 | 0.1634 | 0.4997 | 0.1317 | 0.2457 | 0.2109 | 0.1971 | 0.2243 | 0.2686 | 0.8165 | 0.3528 | 0.7076 |
|          |             | รวม           | 1.0155 | 1.8633 | 0.7039 | 1.9983 | 0.5613 | 0.9993 | 0.8939 | 0.7143 | 0.9207 | 1.1621 | 3.0709 | 1.1846 | 3.3263 |

ตารางที่ ข.3 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| ตัวอย่าง | วันที่      | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|-------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1        | 16 มี.ค. 52 | > 10          | 0.2497 | 0.2908 | 0.2448 | 0.3339 | 0.1504 | 0.2344 | 0.1691 | 0.1218 | 0.1646 | 0.2085 | 0.7594 | 0.2475 | 0.8559 |
|          |             | 2.5-10        | 0.1480 | 0.3110 | 0.1391 | 0.2428 | 0.0741 | 0.1958 | 0.2416 | 0.2425 | 0.1808 | 0.2984 | 0.6209 | 0.2510 | 0.6398 |
|          |             | 1.0-2.5       | 0.1883 | 0.2879 | 0.0842 | 0.2797 | 0.0756 | 0.0000 | 0.0902 | 0.1785 | 0.1764 | 0.1971 | 0.6286 | 0.2030 | 0.6312 |
|          |             | 0.1-1.0       | 0.1692 | 0.2280 | 0.0884 | 0.1508 | 0.1165 | 0.0000 | 0.0869 | 0.1028 | 0.1458 | 0.1818 | 0.4121 | 0.1581 | 0.5542 |
|          |             | < 0.1         | 0.2211 | 0.1850 | 0.1139 | 0.2155 | 0.1263 | 0.2053 | 0.1816 | 0.1243 | 0.0000 | 0.2041 | 0.5272 | 0.0000 | 0.7028 |
|          |             | รวม           | 0.9765 | 1.3027 | 0.6704 | 1.2227 | 0.5427 | 0.6355 | 0.7695 | 0.7699 | 0.6676 | 1.0898 | 2.9483 | 0.8597 | 3.3839 |
| 2        | 22 มี.ค. 52 | > 10          | 0.2147 | 0.3025 | 0.1541 | 0.3339 | 0.0728 | 0.1767 | 0.1354 | 0.0863 | 0.1448 | 0.0000 | 0.5982 | 0.2382 | 0.6863 |
|          |             | 2.5-10        | 0.1480 | 0.2867 | 0.1282 | 0.2237 | 0.0732 | 0.1936 | 0.2388 | 0.1676 | 0.1344 | 0.2062 | 0.5760 | 0.2329 | 0.5935 |
|          |             | 1.0-2.5       | 0.1229 | 0.2158 | 0.2029 | 0.2592 | 0.0217 | 0.0000 | 0.0767 | 0.1608 | 0.1782 | 0.0000 | 0.4847 | 0.2262 | 0.8393 |
|          |             | 0.1-1.0       | 0.1675 | 0.3116 | 0.1828 | 0.2300 | 0.1684 | 0.0000 | 0.0609 | 0.1453 | 0.1500 | 0.1878 | 0.4121 | 0.0000 | 0.5271 |
|          |             | < 0.1         | 0.1546 | 0.1626 | 0.1592 | 0.1815 | 0.0703 | 0.0000 | 0.2653 | 0.1900 | 0.1623 | 0.2698 | 0.3604 | 0.2248 | 0.7340 |
|          |             | รวม           | 0.8077 | 1.2791 | 0.8273 | 1.2284 | 0.4065 | 0.3703 | 0.7771 | 0.7500 | 0.7697 | 0.6638 | 2.4314 | 0.9221 | 3.3802 |
| 3        | 28 มี.ค. 52 | > 10          | 0.1378 | 0.1978 | 0.1617 | 0.3227 | 0.0801 | 0.0000 | 0.1390 | 0.0000 | 0.1676 | 0.0000 | 0.4541 | 0.2931 | 0.7100 |
|          |             | 2.5-10        | 0.1782 | 0.3059 | 0.1196 | 0.2822 | 0.1117 | 0.2139 | 0.1970 | 0.1463 | 0.1536 | 0.2601 | 0.4551 | 0.1748 | 0.6975 |
|          |             | 1.0-2.5       | 0.1650 | 0.2275 | 0.1508 | 0.2633 | 0.0784 | 0.0000 | 0.1312 | 0.1489 | 0.0000 | 0.2763 | 0.3292 | 0.1643 | 0.4138 |
|          |             | 0.1-1.0       | 0.1252 | 0.2648 | 0.0574 | 0.3050 | 0.1035 | 0.0000 | 0.0919 | 0.1027 | 0.1462 | 0.1972 | 0.3878 | 0.2330 | 0.5459 |
|          |             | < 0.1         | 0.1370 | 0.2755 | 0.1464 | 0.2246 | 0.1375 | 0.1852 | 0.1387 | 0.1215 | 0.1385 | 0.1932 | 0.5369 | 0.0000 | 0.6733 |
|          |             | รวม           | 0.7431 | 1.2716 | 0.6358 | 1.3979 | 0.5112 | 0.3991 | 0.6978 | 0.5194 | 0.6059 | 0.9267 | 2.1631 | 0.8653 | 3.0405 |

ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| ตัวอย่าง | วันที่      | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|-------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 4        | 3 เม.ย. 52  | > 10          | 0.1222 | 0.2705 | 0.1741 | 0.3436 | 0.1276 | 0.0000 | 0.1412 | 0.1229 | 0.1820 | 0.3078 | 0.8649 | 0.2800 | 0.9603 |
|          |             | 2.5-10        | 0.2501 | 0.0730 | 0.2231 | 0.3777 | 0.0964 | 0.2006 | 0.2060 | 0.2193 | 0.1538 | 0.3593 | 0.7441 | 0.2268 | 0.8916 |
|          |             | 1.0-2.5       | 0.1197 | 0.1996 | 0.1508 | 0.2181 | 0.0667 | 0.0000 | 0.0871 | 0.1618 | 0.1513 | 0.1809 | 0.3473 | 0.1689 | 0.5362 |
|          |             | 0.1-1.0       | 0.1782 | 0.2452 | 0.0896 | 0.2481 | 0.0876 | 0.0000 | 0.0937 | 0.0990 | 0.1612 | 0.2054 | 0.3866 | 0.1649 | 0.6251 |
|          |             | < 0.1         | 0.3129 | 0.3647 | 0.1015 | 0.2483 | 0.1187 | 0.2615 | 0.2363 | 0.2428 | 0.2299 | 0.3183 | 0.9037 | 0.0000 | 0.9729 |
|          |             | รวม           | 0.9832 | 1.1529 | 0.7390 | 1.4358 | 0.4970 | 0.4621 | 0.7643 | 0.8459 | 0.8782 | 1.3718 | 3.2466 | 0.8406 | 3.9860 |
| 5        | 9 เม.ย. 52  | > 10          | 0.0902 | 0.1552 | 0.0756 | 0.2031 | 0.0856 | 0.2178 | 0.0972 | 0.1610 | 0.1980 | 0.2139 | 0.5575 | 0.2287 | 0.6339 |
|          |             | 2.5-10        | 0.1824 | 0.1701 | 0.0802 | 0.2074 | 0.1441 | 0.2232 | 0.1579 | 0.2183 | 0.2101 | 0.2989 | 0.3633 | 0.2120 | 0.5036 |
|          |             | 1.0-2.5       | 0.1466 | 0.3920 | 0.1671 | 0.2485 | 0.1236 | 0.0000 | 0.1091 | 0.2069 | 0.1630 | 0.0000 | 0.3720 | 0.1775 | 0.6039 |
|          |             | 0.1-1.0       | 0.1798 | 0.2915 | 0.1337 | 0.2866 | 0.1087 | 0.0000 | 0.1164 | 0.2054 | 0.1624 | 0.1910 | 0.4399 | 0.2427 | 0.4092 |
|          |             | < 0.1         | 0.1392 | 0.5017 | 0.1745 | 0.3805 | 0.1164 | 0.2276 | 0.1181 | 0.2075 | 0.1887 | 0.1920 | 0.4680 | 0.0000 | 0.5901 |
|          |             | รวม           | 0.7383 | 1.5105 | 0.6310 | 1.3260 | 0.5784 | 0.6687 | 0.5987 | 0.9991 | 0.9222 | 0.8958 | 2.2007 | 0.8609 | 2.7407 |
| 6        | 15 เม.ย. 52 | > 10          | 0.2084 | 0.3175 | 0.1171 | 0.3179 | 0.0647 | 0.2559 | 0.1157 | 0.1008 | 0.1257 | 0.2522 | 0.4454 | 0.0000 | 0.3470 |
|          |             | 2.5-10        | 0.1610 | 0.4929 | 0.1670 | 0.2947 | 0.1274 | 0.2848 | 0.1481 | 0.1295 | 0.1706 | 0.2915 | 0.5752 | 0.1592 | 0.6139 |
|          |             | 1.0-2.5       | 0.1609 | 0.0724 | 0.1005 | 0.2062 | 0.0927 | 0.0000 | 0.0943 | 0.1262 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3724 | 0.1946 | 0.4417 |
|          |             | 0.1-1.0       | 0.1203 | 0.1425 | 0.1114 | 0.2146 | 0.0972 | 0.0000 | 0.1353 | 0.1267 | 0.1427 | 0.0000 | 0.4999 | 0.2348 | 0.6963 |
|          |             | < 0.1         | 0.2466 | 0.4477 | 0.2035 | 0.4082 | 0.1196 | 0.2003 | 0.1165 | 0.1577 | 0.1355 | 0.3132 | 0.7102 | 0.0000 | 0.8283 |
|          |             | รวม           | 0.8972 | 1.4729 | 0.6994 | 1.4416 | 0.5016 | 0.7410 | 0.6099 | 0.6409 | 0.5744 | 0.8569 | 2.6030 | 0.5886 | 2.9271 |



ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| ตัวอย่าง | วันที่      | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|-------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 7        | 21 เม.ย. 52 | > 10          | 0.1188 | 0.2799 | 0.1598 | 0.2192 | 0.1201 | 0.1538 | 0.1632 | 0.1122 | 0.1516 | 0.0000 | 0.3475 | 0.2861 | 0.4811 |
|          |             | 2.5-10        | 0.1936 | 0.2722 | 0.1947 | 0.2927 | 0.0886 | 0.1954 | 0.2156 | 0.1590 | 0.1646 | 0.2511 | 0.5503 | 0.2434 | 0.5828 |
|          |             | 1.0-2.5       | 0.1650 | 0.2778 | 0.1281 | 0.2633 | 0.0691 | 0.0000 | 0.0952 | 0.1075 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3580 | 0.0000 | 0.4127 |
|          |             | 0.1-1.0       | 0.1041 | 0.1110 | 0.0623 | 0.1801 | 0.0475 | 0.0000 | 0.1166 | 0.1175 | 0.1472 | 0.2104 | 0.3844 | 0.0000 | 0.4903 |
|          |             | < 0.1         | 0.2211 | 0.3192 | 0.1207 | 0.2777 | 0.1263 | 0.1938 | 0.1771 | 0.1252 | 0.1663 | 0.2041 | 0.8439 | 0.0000 | 0.8589 |
|          |             | รวม           | 0.8026 | 1.2601 | 0.6654 | 1.2330 | 0.4516 | 0.5429 | 0.7677 | 0.6214 | 0.6297 | 0.6656 | 2.4841 | 0.5296 | 2.8258 |
| 8        | 27 เม.ย. 52 | > 10          | 0.1096 | 0.2645 | 0.1322 | 0.2730 | 0.0809 | 0.1585 | 0.1282 | 0.1121 | 0.1646 | 0.0000 | 0.4874 | 0.2289 | 0.5953 |
|          |             | 2.5-10        | 0.2637 | 0.2690 | 0.1996 | 0.3332 | 0.0965 | 0.1646 | 0.1755 | 0.1462 | 0.0000 | 0.2151 | 0.6930 | 0.2782 | 0.8001 |
|          |             | 1.0-2.5       | 0.0949 | 0.2195 | 0.1317 | 0.1976 | 0.1039 | 0.0000 | 0.0882 | 0.1275 | 0.0000 | 0.1942 | 0.4744 | 0.2283 | 0.4563 |
|          |             | 0.1-1.0       | 0.1180 | 0.2023 | 0.0904 | 0.3149 | 0.0739 | 0.0000 | 0.1195 | 0.1223 | 0.1282 | 0.0000 | 0.5634 | 0.2206 | 0.6649 |
|          |             | < 0.1         | 0.2211 | 0.3192 | 0.1207 | 0.2777 | 0.1263 | 0.1938 | 0.1771 | 0.1252 | 0.1663 | 0.2041 | 0.8439 | 0.0000 | 0.8589 |
|          |             | รวม           | 0.8074 | 1.2744 | 0.6746 | 1.3964 | 0.4815 | 0.5169 | 0.6885 | 0.6332 | 0.4591 | 0.6134 | 3.0621 | 0.9559 | 3.3755 |
| 9        | 3 พ.ค. 52   | > 10          | 0.1959 | 0.2277 | 1.2561 | 0.1662 | 0.1223 | 0.0000 | 0.1661 | 0.1398 | 0.0000 | 0.2295 | 0.3056 | 0.0000 | 0.4003 |
|          |             | 2.5-10        | 0.1888 | 0.3061 | 0.1848 | 0.3047 | 0.0886 | 0.1954 | 0.2156 | 0.1746 | 0.1808 | 0.2757 | 0.6123 | 0.2352 | 0.6505 |
|          |             | 1.0-2.5       | 0.1705 | 0.2684 | 0.0855 | 0.2440 | 0.0890 | 0.0000 | 0.1156 | 0.1369 | 0.1593 | 0.2341 | 0.3070 | 0.1749 | 0.4625 |
|          |             | 0.1-1.0       | 0.1320 | 0.2534 | 0.0900 | 0.3549 | 0.0890 | 0.0000 | 0.1278 | 0.1280 | 0.1643 | 0.2339 | 0.6269 | 0.1848 | 0.7192 |
|          |             | < 0.1         | 0.2134 | 0.3022 | 0.1142 | 0.2629 | 0.1240 | 0.1903 | 0.1739 | 0.1436 | 0.1908 | 0.2341 | 0.3038 | 0.0000 | 0.3934 |
|          |             | รวม           | 0.9006 | 1.3577 | 1.7307 | 1.3327 | 0.5129 | 0.3857 | 0.7991 | 0.7229 | 0.6951 | 1.2074 | 2.1555 | 0.5949 | 2.6259 |



ตารางที่ ข.3 (ต่อ) ความเข้มข้นของสารพีเอเอชในฝุ่นละออง บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| ตัวอย่าง | วันที่    | ขนาดฝุ่น (µm) | Nap    | Acy    | Ace    | Flu    | Phen   | Anth   | Flt    | Pyr    | BaA    | Chr    | BbF    | BkF    | BaP    |
|----------|-----------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 10       | 9 พ.ค. 52 | > 10          | 0.2156 | 0.2644 | 0.1391 | 0.2755 | 0.0831 | 0.1644 | 0.0983 | 0.1093 | 0.1264 | 0.0000 | 0.4428 | 0.0000 | 0.5486 |
|          |           | 2.5-10        | 0.1797 | 0.2699 | 0.1322 | 0.2099 | 0.0522 | 0.0000 | 0.1676 | 0.1092 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3936 | 0.2203 | 0.5704 |
|          |           | 1.0-2.5       | 0.1040 | 0.2151 | 0.1472 | 0.1611 | 0.0806 | 0.1642 | 0.0831 | 0.0758 | 0.0000 | 0.2372 | 0.4009 | 0.1698 | 0.4191 |
|          |           | 0.1-1.0       | 0.2119 | 0.2473 | 0.0825 | 0.2686 | 0.0862 | 0.0000 | 0.1093 | 0.0915 | 0.0000 | 0.0000 | 0.3544 | 0.0000 | 0.5905 |
|          |           | < 0.1         | 0.2037 | 0.2343 | 0.0903 | 0.2346 | 0.0993 | 0.1808 | 0.1432 | 0.1147 | 0.1476 | 0.1937 | 0.5569 | 0.0000 | 0.6450 |
|          |           | รวม           | 0.9150 | 1.2310 | 0.5913 | 1.1497 | 0.4015 | 0.5093 | 0.6015 | 0.5005 | 0.2740 | 0.4309 | 2.1486 | 0.3901 | 2.7736 |



ภาคผนวก ค

ข้อมูลสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 เปอร์เซ็นต์ของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจาก แหล่งกำเนิดต่างๆ

|       | HDDV  | LDDV  | LDGV  | Two-stroke<br>Motorcycle | Four-stroke<br>Motorcycle | Tuktuk<br>(Gasoline) | Tuktuk<br>(CNG) | Boiler Stack<br>(Heavy Oil) | Incinerator<br>Stack | Road<br>Dust |
|-------|-------|-------|-------|--------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|--------------|
| Nap   | 2.98  | 1.09  | 0.68  | 3.29                     | 0.88                      | 2.79                 | 2.49            | 4.88                        | 1.12                 | 3.06         |
| Acy   | 22.55 | 15.80 | 2.05  | 30.58                    | 2.70                      | 18.86                | 0.00            | 0.00                        | 16.82                | 35.84        |
| Ace   | 22.97 | 2.49  | 0.93  | 0.68                     | 0.06                      | 0.80                 | 0.42            | 1.32                        | 1.74                 | 1.58         |
| Flu   | 13.72 | 16.60 | 6.55  | 5.13                     | 1.06                      | 4.62                 | 4.65            | 7.89                        | 8.28                 | 2.38         |
| Phen  | 4.63  | 1.44  | 2.94  | 9.42                     | 1.18                      | 4.64                 | 4.52            | 17.27                       | 15.91                | 2.22         |
| Anth  | 8.89  | 0.84  | 3.39  | 2.04                     | 1.47                      | 0.49                 | 1.08            | 1.11                        | 0.23                 | 3.20         |
| Flt   | 3.25  | 2.50  | 5.08  | 11.41                    | 0.78                      | 11.54                | 13.17           | 15.76                       | 24.95                | 9.75         |
| Pyr   | 4.95  | 3.50  | 4.06  | 4.54                     | 1.00                      | 3.08                 | 3.46            | 18.70                       | 23.28                | 4.19         |
| BaA   | 1.57  | 0.86  | 6.67  | 2.31                     | 0.76                      | 0.72                 | 0.89            | 2.80                        | 0.45                 | 1.29         |
| Chr   | 0.57  | 1.55  | 6.98  | 0.39                     | 0.61                      | 2.41                 | 2.36            | 1.27                        | 0.35                 | 1.75         |
| BeP   | 10.23 | 17.61 | 6.93  | 13.19                    | 11.46                     | 12.57                | 9.40            | 24.05                       | 5.27                 | 14.65        |
| BbF   | 0.78  | 3.79  | 7.90  | 1.22                     | 2.31                      | 7.17                 | 8.90            | 0.00                        | 0.39                 | 1.62         |
| Per   | 0.00  | 0.45  | 0.28  | 0.41                     | 0.58                      | 0.94                 | 0.82            | 0.00                        | 0.00                 | 0.94         |
| BkF   | 0.08  | 0.41  | 7.70  | 0.27                     | 1.01                      | 0.09                 | 0.10            | 0.11                        | 0.03                 | 0.15         |
| BaP   | 0.37  | 2.94  | 6.95  | 3.57                     | 4.77                      | 0.45                 | 0.80            | 0.32                        | 0.13                 | 0.94         |
| DBahA | 0.76  | 0.37  | 6.27  | 0.37                     | 1.05                      | 0.25                 | 1.03            | 0.75                        | 0.17                 | 0.75         |
| BghiP | 0.62  | 14.68 | 16.47 | 6.76                     | 24.97                     | 8.11                 | 16.33           | 1.73                        | 0.48                 | 6.09         |
| Ind   | 0.00  | 9.44  | 0.99  | 2.44                     | 21.54                     | 7.35                 | 11.07           | 0.00                        | 0.00                 | 3.84         |
| Ant   | 0.17  | 1.32  | 0.57  | 0.36                     | 2.92                      | 2.00                 | 1.47            | 0.73                        | 0.20                 | 2.22         |
| Cor   | 0.82  | 2.34  | 6.60  | 1.64                     | 18.91                     | 11.12                | 17.03           | 1.37                        | 0.19                 | 3.53         |
| Total | 100   | 100   | 100   | 100                      | 100                       | 100                  | 100             | 100                         | 100                  | 100          |

ที่มา: ปาจารย์, 2545

หมายเหตุ: HDDV = Heavy Duty Diesel Vehicle

LDDV = Light Duty Diesel Vehicle

LDGV = Light Duty Gasoline Vehicle

ตารางที่ ค.2 เปอร์เซ็นต์ของสารพีเอเอช 13 ชนิด ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจากแหล่งกำเนิด  
ที่ใช้เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองสมดุลมวลเคมี

|       | HDDV  | LDDV  | LDGV  | Two-stroke<br>Motorcycle | Four-stroke<br>Motorcycle | Tuktuk<br>(Gasoline) | Tuktuk<br>(CNG) | Boiler Stack<br>(Heavy Oil) | Incinerator<br>Stack | Road<br>Dust |
|-------|-------|-------|-------|--------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------|--------------|
| Nap   | 3.41  | 2.03  | 1.10  | 4.40                     | 4.73                      | 4.84                 | 5.81            | 6.83                        | 1.20                 | 4.50         |
| Acy   | 25.83 | 29.36 | 3.31  | 40.86                    | 14.52                     | 32.71                | 0.00            | 0.00                        | 17.95                | 52.73        |
| Ace   | 26.31 | 4.63  | 1.50  | 0.91                     | 0.32                      | 1.39                 | 0.98            | 1.85                        | 1.86                 | 2.32         |
| Flu   | 15.71 | 30.85 | 10.59 | 6.85                     | 5.70                      | 8.01                 | 10.85           | 11.05                       | 8.84                 | 3.50         |
| Phen  | 5.30  | 2.68  | 4.75  | 12.59                    | 6.35                      | 8.05                 | 10.55           | 24.18                       | 16.98                | 3.27         |
| Anth  | 10.18 | 1.56  | 5.48  | 2.73                     | 7.91                      | 0.85                 | 2.52            | 1.55                        | 0.25                 | 4.71         |
| Flt   | 3.72  | 4.65  | 8.21  | 15.24                    | 4.20                      | 20.01                | 30.74           | 22.06                       | 26.63                | 14.34        |
| Pyr   | 5.67  | 6.50  | 6.56  | 6.07                     | 5.38                      | 5.34                 | 8.08            | 26.18                       | 24.85                | 6.16         |
| BaA   | 1.80  | 1.60  | 10.78 | 3.09                     | 4.09                      | 1.25                 | 2.08            | 3.92                        | 0.48                 | 1.90         |
| Chr   | 0.65  | 2.88  | 11.28 | 0.52                     | 3.28                      | 4.18                 | 5.51            | 1.78                        | 0.37                 | 2.57         |
| BbF   | 0.89  | 7.04  | 12.77 | 1.63                     | 12.43                     | 12.43                | 20.77           | 0.00                        | 0.42                 | 2.38         |
| BkF   | 0.09  | 0.76  | 12.44 | 0.36                     | 5.43                      | 0.16                 | 0.23            | 0.15                        | 0.03                 | 0.22         |
| BaP   | 0.42  | 5.46  | 11.23 | 4.77                     | 25.66                     | 0.78                 | 1.87            | 0.45                        | 0.14                 | 1.38         |
| Total | 100   | 100   | 100   | 100                      | 100                       | 100                  | 100             | 100                         | 100                  | 100          |

ที่มา: ปาจารย์, 2545

หมายเหตุ: HDDV = Heavy Duty Diesel Vehicle

LDDV = Light Duty Diesel Vehicle

LDGV = Light Duty Gasoline Vehicle

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3 ความเข้มข้นของสารพีเอเอชแต่ละชนิดในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจาก  
ยานพาหนะประเภทต่างๆ (ng PAHs/mg PM)

|       | HDDV   | LDDV   | LDGV   | Tuktuk | Two-stroke<br>Motorcycle | Four-stroke<br>Motorcycle |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|---------------------------|
| Nap   | 3.63   | 6.91   | 0.96   | 3.94   | 16.08                    | 1.69                      |
| Acy   | 40.81  | 100.53 | 2.89   | 15.45  | 149.30                   | 5.20                      |
| Ace   | 41.56  | 15.83  | 1.31   | 0.93   | 3.32                     | 0.11                      |
| Flu   | 24.82  | 105.58 | 9.24   | 6.87   | 25.05                    | 2.05                      |
| Phen  | 8.38   | 9.17   | 4.14   | 6.80   | 45.98                    | 2.27                      |
| Anth  | 16.25  | 5.34   | 4.78   | 1.12   | 9.94                     | 2.82                      |
| Flt   | 5.87   | 15.89  | 7.17   | 18.21  | 55.69                    | 1.49                      |
| Pyr   | 8.95   | 22.30  | 5.73   | 4.82   | 22.15                    | 1.92                      |
| BaA   | 2.84   | 5.44   | 9.40   | 1.18   | 11.29                    | 1.46                      |
| Chr   | 1.04   | 9.84   | 9.85   | 3.45   | 1.89                     | 1.17                      |
| BeP   | 18.51  | 112.01 | 9.77   | 16.55  | 64.39                    | 22.03                     |
| BbF   | 1.41   | 24.12  | 11.14  | 11.79  | 5.95                     | 4.43                      |
| Per   | 0.00   | 2.89   | 0.39   | 1.31   | 2.00                     | 1.11                      |
| BkF   | 0.15   | 2.61   | 10.85  | 0.14   | 1.31                     | 1.94                      |
| BaP   | 0.68   | 18.68  | 9.80   | 0.90   | 17.45                    | 9.16                      |
| DBahA | 1.37   | 2.33   | 8.84   | 0.89   | 1.79                     | 2.01                      |
| BghiP | 1.13   | 2.33   | 8.84   | 0.89   | 1.79                     | 2.01                      |
| Ind   | 0.00   | 60.02  | 1.40   | 13.38  | 11.90                    | 41.41                     |
| Ant   | 0.30   | 8.40   | 0.80   | 2.61   | 1.75                     | 5.62                      |
| Cor   | 1.48   | 14.68  | 9.30   | 20.43  | 7.99                     | 36.35                     |
| Total | 179.16 | 636.17 | 140.97 | 148.36 | 488.21                   | 192.24                    |

ที่มา: ปาจรีย์, 2545

หมายเหตุ: HDDV = Heavy Duty Diesel Vehicle

LDDV = Light Duty Diesel Vehicle

LDGV = Light Duty Gasoline Vehicle

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธัญภัสสร ทองเย็น เกิดเมื่อวันที่ 25 มีนาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปี พ.ศ. 2550 และจากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทวารมศาสตร์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีเดียวกัน จนกระทั่งสำเร็จการศึกษาในปี พ.ศ. 2552



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย