องค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศทั่วไปในเมืองกรุงเทพมหานครบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นางสาวศิวรินทร์ ดวงแก้ว

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

CARBON COMPOSITIONS IN THE BANGKOK URBAN BACKGROUND AMBIENT AIR AT CHULALONGKORN UNIVERSITY

Miss Sivarin Duangkaew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	องค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศทั่วไปในเมืองกรุงเทพมหานครบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โดย	นางสาวศิวรินทร์ ดวงแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรรณวดี สุวัฒิกะ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิกะ)

....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล)

....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ)

ศิวรินทร์ ดวงแก้ว : องค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศทั่วไปในเมืองกรุงเทพมหานคร บริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (CARBON COMPOSITIONS IN THE BANGKOK URBAN BACKGROUND AMBIENT AIR AT CHULALONGKORN UNIVERSITY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ผศ. ดร.พรรณวดี สุวัฒิกะ, 109 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจวัดองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองในบรรยากาศ หาความสัมพันธ์และความแตกต่างขององค์ประกอบเพื่อใช้บ่งชี้แหล่งกำเนิดของ PM_{10} $PM_{2.5}$ และ BC ในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแยกขนาด Dichotomous sampler ตั้งเครื่องมือที่ดาดฟ้าตึก 5 ชั้น ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เก็บตัวอย่างฝุ่น เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ทุกๆ 6 วัน ทั้งในฤดูแล้ง และฤดูฝน ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2554 - กรกฎาคม 2555 วิเคราะห์ OC และ EC ด้วยวิธีความร้อนและแสง (thermal-optical methods) ตรวจวัด BC ด้วยเครื่อง micro Aethalometer อย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ทุกๆ 6 วันในฤดูฝน และฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2555 – มกราคม 2556

ผลการศึกษาพบว่า ในฤดูแล้งความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ย 80 มคก./ลบ.ม. และ 48 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ สัดส่วนความเข้มข้น $PM_{2.5}/PM_{10}$ มีค่าเฉลี่ย 0.60 ในฤดูฝนความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ย 45 มคก./ลบ.ม. และ 23 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ สัดส่วนความเข้มข้น $PM_{2.5}/PM_{10}$ มีค่าเฉลี่ย 0.51 ความเข้มข้น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าฤดูแล้งประมาณร้อยละ 40-50 ความเข้มข้นของ BC เฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูฝน และฤดูแล้งอยู่ในช่วง 1.91 ถึง 5.50 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ยในฤดูฝน 2.65 มคก./ลบ.ม. และค่าเฉลี่ยในฤดูแล้ง 3.64 มคก./ลบ.ม.ในฤดูแล้งความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าฤดูฝน 35% ในระหว่างวันความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนของทั้งสองฤดูเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดอยู่ในช่วง 5.00 – 9.00 น. และ 17.00 -22.00 น. เนื่องจากการจราจรเร่งด่วนในช่วงเช้าและเย็น สัดส่วนของคาร์บอนทั้งหมดส่วนใหญ่อยู่ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนซึ่งในฤดูแล้งในฝุ่น PM2.5 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 36% ในฤดูฝนในฝุ่น PM2.5 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 25% ในฤดูแล้งสัดส่วนระหว่าง OC/EC ใน PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ย 4.63 และ 4.53 ตามลำดับ สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 1.42 และ 1.70 ตามลำดับ ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท (OC1 OC2 OC3 OC4 EC1 EC2 EC3 และ OP) ที่พบเป็นส่วนใหญ่ได้แก่ EC1 และ OP บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้จากเชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนในฤดูฝนสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 1.77 และ1.56 สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 0.52 และ 0.49 ตามลำดับ ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท ที่พบเป็นส่วนใหญ่ได้แก่ EC1 และ EC2 บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากไอเสียยานพาหนะ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2555 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

\# \# 5370347021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : PM2.5/ PM10 / BLACK CARBON / ELEMENTAL CARBON / ORGANIC CARBON

SIVARIN DUANGKAEW : CARBON COMPOSITIONS IN THE BANGKOK URBAN BACKGROUND AMBIENT AIR AT CHULALONGKORN UNIVERSITY. ADVISOR : ASSOC. PROF. WONGPUN LIMPASENI. CO ADVISOR : ASST. PROF. PANWADEE SUWATTIGA, Ph.D., 109 pp.

The objective of this study is to measure carbon compositions of aerosols, find relationship among the different constituents which can be used to identify the emission sources of PM_{10}, $PM_{2.5}$ and BC in the ambient air of Bangkok. PM_{10} and $PM_{2.5}$ were collected with a Dichotomous air sampler located on the roof of a five-storey building at Chulalongkorn University. The samples were collected for 24 hours every 6 days in both dry and wet seasons from December 2011 to July 2012. OC and EC were analyzed with thermal-optical method. Concentrations of BC were measured with a micro Aethalometer continuously and 24 hours every 6 days in both wet and dry seasons from May 2012 to January 2013.

The results showed that in dry season, average PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations were 80 µg/m^3 and 48 ug/m^3, respectively. The average ratio of $PM_{2.5}$ to PM_{10} concentrations was 0.60. In wet season, PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations were less than dry season at 45 ug/m^3 and 23 µg/m^3, respectively. The average ratio of $PM_{2.5}$ to PM_{10} concentrations was 0.51. PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations in wet season were 40-50% less than in dry season. BC concentrations in both wet and dry seasons ranged from 1.91 to 5.50 µg/m^3, with means in wet season of 2.65 µg/m^{3}and dry season of 3.64 µg/m^3. A diurnal variation was observed showing highest values around 5–9 a.m. and 5-10 p.m. which corresponded to peak traffic in the morning and afternoon. The ratio of Total Carbon (TC) was mostly contained in PM2.5. In dry season, TC accouted for about 36% of $PM_{2.5}$ and in wet season, TC accouted for about 25% of $PM_{2.5}$. In dry season the average ratio of OC to EC concentration in PM10 and $PM_{2.5}$ were 4.63 and 4.53. The average ratio of Char-EC to Soot-EC concentration in PM10 and $PM_{2.5}$ were 1.42 and 1.70. Major fractions of eight carbon fractions (OC1, OC2, OC3, OC4, EC1, EC2, EC3 and Optically-detected pyrolyzed carbon (OP)) were EC1 and OP that are enriched in biomass burning. In wet season the average ratio of OC to EC concentration in PM10 and $PM_{2.5}$ were 1.77 and 1.56. The average ratio of Char-EC to Soot-EC concentration in PM10 and $PM_{2.5}$ were 0.52 and 0.49. Major fractions of eight carbon fractions were EC1 and EC2 that are enriched in motor-vehicle exhaust.

Department : Environmental Engineering Student's Signature ....

Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature ....

Academic Year : 2012 Co-advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยพระคุณของรองศาสตราจารย์วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิกะ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อแนะนำและถ่ายทอดวิชาความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณประธานการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพียรมนกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ ที่ได้ให้เกียรติและสละเวลาเพื่อสอบวิทยานิพนธ์นี้ รวมถึงให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และชี้แนะข้อผิดพลาดเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัฒิกะ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำในเรื่องต่างๆ รวมทั้งอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. มาซามิ ฟูรูอูชิ มหาวิทยาลัยคานาซาวา ประเทศญี่ปุ่น ที่กรุณาวิเคราะห์ตัวอย่างองค์ประกอบคาร์บอนในงานวิจัยนี้ และตลอดให้คำปรึกษาวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณสำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ สำหรับข้อมูลมลพิษทางอากาศในช่วงที่ทำการวิจัย ขอขอบคุณสำนักพัฒนาอุตุนิยมวิทยา กรมอุตุนิยมวิทยา สำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาย้อนหลัง

ขอขอบคุณ “ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย” ที่สนับสนุนทุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ช่วยสนับสนุน ส่งเสริม และเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดแก่ผู้วิจัย จนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ .... ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง .... ฎ

สารบัญภาพ .... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 .ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 .วัตถุประสงค์ 2

1.3 .ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 .ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ฝุ่นละอองทั่วไปในบรรยากาศ 4

2.1.1 ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulates, TSP) 5

2.1.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) 5

2.1.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) 6

2.2 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่สำคัญในกรุงเทพและปริมณฑล 6

2.2.1 ยานพาหนะทางบก 7

2.2.2 การก่อสร้างประเภทต่างๆ 7

2.2.3 โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และการพาณิชยกรรม 7

2.2.4 การเผาวัสดุในที่โล่งแจ้ง 8

2.3 แหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร 9

2.4 แหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร 9

2.5 ผลต่อสุขภาพของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 11

2.6 องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่น 13

2.6.1 คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon) 13

2.6.2 ธาตุคาร์บอน (Elemental carbon) 14

หน้า

2.6.3 แบล็กคาร์บอน (Black carbon) 14
2.6.4 ความเหมือนและความแตกต่างระหว่างแบล็กคาร์บอน (Black Carbon) และธาตุคาร์บอน (Elemental carbon) ในฝุ่น 14
2.7 แหล่งกำเนิดขององค์ประกอบคาร์บอน 15
2.7.1 การระบุแหล่งกำเนิดจากสัดส่วนของ OC/EC 17
2.7.2 การระบุแหล่งกำเนิดสารประกอบคาร์บอน 8 ประเภท 17
2.7.3 การระบุแหล่งกำเนิดจากสัดส่วนของ Char-EC/Soot-EC 20
2.8 ผลกระทบของแบล็กคาร์บอน 20
2.9 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นในประเทศไทย 21
2.10 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองในต่างประเทศ 21
2.11 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยเครื่อง Dichotomous air sampler รุ่น Partisol model 2000-D 22
2.11.1 หลักการของเครื่อง Dichotomous air sampler 22
2.11.2 การทำงานของเครื่อง Dichotomous air sampler 22
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
2.12.1 แหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็ก 24
2.12.2 ความเข้มข้นและแหล่งกำเนิดของคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กตามฤดู 25
2.12.3 ความเข้มข้นและแหล่งกำเนิดคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กตามช่วงเวลาของวัน . 26
2.12.4 การระบุแหล่งกำเนิดจากสัดส่วนคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน 28
2.12.5 การระบุแหล่งกำเนิดจากสารประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท 29
2.12.6 การระบุแหล่งกำเนิดจากสัดส่วน Char-EC ต่อ Soot-EC 29
2.12.7 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการศึกษา 32
3.1 แผนการวิจัย 32
3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย 33
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง 33
3.2.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 34
3.3 สถานที่เก็บตัวอย่าง 35
3.4 ระยะเวลาที่ทำการศึกษา 35

หน้า

3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย 36
3.5.1 การเตรียมการเก็บตัวอย่าง 36
3.5.2 การดำเนินการเก็บตัวอย่าง 37
3.5.2.1 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน 37
3.5.2.2 ฝุ่นละอองขนาด 10 – 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน 37
3.5.2.3 ฝุ่นจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ 37
3.5.2.4 แบล็กคาร์บอน 37
3.5.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง 38
3.5.3.1 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก 38
3.5.3.2 การวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนในฝุ่น 39
3.6 การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล 40
บทที่ 4 ผลการศึกษา 42
4.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศ 42
4.1.1 ข้อมูลสภาพอากาศ 42
4.1.2 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM10 โดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler และ Dichotomous air sampler ในฤดูแล้ง และฤดูฝน 44
4.1.3 ความสัมพันธ์ของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนโดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler และ Dichotomous air sampler 44
4.1.4 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM2.5 และสัดส่วนของPM2.5/PM10 โดยเครื่อง Dichotomous air sampler ในฤดูแล้ง และฤดูฝน 45
4.2 ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมง 47
4.3 องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองในบรรยากาศ 49
4.3.1 ความเข้มข้น และสัดส่วนขององค์ประกอบคาร์บอนใน PM10 และ PM2.5 .. 49
4.3.2 ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน และความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนในบรรยากาศ 51
4.4 องค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดในฝุ่นยานพาหนะ 52
4.4.1 ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทจากแหล่งกำเนิดในฝุ่นยานพาหนะ .. 52
4.4.2 สัดส่วนขององค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะ 53

หน้า

4.5 การจำแนกแหล่งกำเนิดจากองค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ .. 55
4.5.1 การจำแนกแหล่งกำเนิดจากคาร์บอน 8 ประเภทของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ 55
4.5.2 การจำแนกแหล่งกำเนิดจากสัดส่วนของ OC/EC และ Char-EC/Soot-EC ของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ 60
4.5.3 สรุปแหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศจากองค์ประกอบคาร์บอน .. 62
4.6 เปรียบเทียบความเข้มข้นองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นในบรรยากาศ กับประเทศต่างๆในทวีปเอเชีย 64
4.7 สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่น องค์ประกอบคาร์บอน มลพิษอากาศและสภาพภูมิอากาศ 66
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ 68
5.1 สรุปผลการวิจัย 68
5.2 ข้อเสนอแนะ 69
รายการอ้างอิง 70
ภาคผนวก 76
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ 77
ภาคผนวก ข ข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละอองและสารประกอบคาร์บอน 79
ภาคผนวก ค ข้อมูลมลพิษอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ (สถานีดินแดง)........ 105
ภาคผนวก ง ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา 107
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 109

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน 10
2.2 การปล่อยแบล็กคาร์บอนและคาร์บอนอินทรีย์ในฝุ่นจากแหล่งกำเนิดต่างๆ 16
2.3 แหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อสัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน 17
2.4 แหล่งกำเนิดของสารประกอบคาร์บอน 8 ประเภท 19
2.5 แหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC 20
2.6 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศในประเทศไทย 21
2.7 มาตรฐานฝุ่นของ United States Environmental Protection Agency และองค์การอนามัยโลก 22
2.8 ปัจจัยที่ส่งผลความเข้มข้นของฝุ่นและองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็ก 31
2.9 แหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อองค์ประกอบคาร์บอน....31
3.1 พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด 40
4.1 ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และทิศทางลมเฉลี่ยรายเดือนปี 2554 -2556 43
4.2 เปรียบเทียบการเกิดไฟไหม้ป่าทั่วประเทศรายเดือน ปี 2554 – 2555 43
4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM10 และPM2.5 และสัดส่วนของ PM2.5 ต่อ PM10 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน....46
4.4 ความเข้มข้น คาร์บอนทั้งหมด อินทรีย์คาร์บอน ธาตุคาร์บอน เฉลี่ยในฝุ่น PM10 และ PM2.5 50
4.5 สัดส่วนอินทรีย์คาร์บอนต่อธาตุคาร์บอน และสัดส่วน Char-EC ต่อ Soot-EC เฉลี่ยในฝุ่นยานพาหนะ 54
4.6 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่น PM10 PM10-2.5 และ PM2.5 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน 60
4.7 สัดส่วนอินทรีย์คาร์บอนต่อธาตุคาร์บอน และสัดส่วน Char-EC ต่อ Soot-EC เฉลี่ยใน PM10 และ PM2.5 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน....62
4.8 เปรียบเทียบองค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดกับองค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศในฤดูแล้ง และฤดูฝน 63
4.9 เปรียบเทียบความเข้มข้นองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นกับประเทศต่างๆในทวีปเอเชีย 65
4.10 สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่น องค์ประกอบคาร์บอน และสภาพภูมิอากาศ 67
ข-1 ความเข้มข้นของ PM10ในฤดูแล้งโดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler....80

ตารางที่		หน้า
ข-2	ความเข้มข้นของ PM10-2.5 และสารประกอบคาร์บอนใน PM10-2.5 ในฤดูแล้ง	81
ข-3	ความเข้มข้นของ PM2.5 และสารประกอบคาร์บอนใน PM2.5 ในฤดูแล้ง	82
ข-4	ความเข้มข้นของ PM10 และสารประกอบคาร์บอนใน PM10 ในฤดูแล้ง	83
ข-5	ความเข้มข้นของ PM10 ในฤดูฝน โดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler	84
ข-6	ความเข้มข้นของ PM10-2.5 และสารประกอบคาร์บอนใน PM10-2.5 ในฤดูฝน	85
ข-7	ความเข้มข้นของ PM2.5 และสารประกอบคาร์บอนใน PM2.5 ในฤดูฝน	86
ข-8	ความเข้มข้นของ PM10 และสารประกอบคาร์บอนใน PM10 ในฤดูฝน	87
ข-9	สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM10-2.5 ในฤดูแล้ง	88
ข-10	สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM 2.5 ในฤดูแล้ง	89
ข-11	สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM10 ในฤดูแล้ง	90
ข-12	สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM10-2.5 ในฤดูฝน	91
ข-13	สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM2.5 ในฤดูฝน	92
ข-14	สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM10 ในฤดูฝน	93
ข-15	องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10-2.5 ในฤดูแล้ง	94
ข-16	องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM 2.5 ในฤดูแล้ง	95
ข-17	องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10 ในฤดูแล้ง	96
ข-18	องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10-2.5 ในฤดูฝน	97
ข-19	องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM2.5 ในฤดูฝน	98
ข-20	องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10 ในฤดูฝน	99
ข-21	แบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงโดยเครื่อง micro Aethalometer ในฤดูฝน	100
ข-22	แบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงโดยเครื่อง micro Aethalometer ในฤดูแล้ง	101
ข-23	ความเข้มข้นฝุ่นละออง และองค์ประกอบคาร์บอนในไอเสียยานพาหนะ	102
ข-24	สัดส่วนคาร์บอนต่อฝุ่นละอองในไอเสียยานพาหนะ	103
ข-25	องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในไอเสียยานพาหนะ	104
ค-1	ข้อมูลมลพิษอากาศจากสถานีดินแดง	106
ง-1	ข้อมูลสภาพอากาศ	108

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2.1 วัฏจักรของฝุ่นละอองในบรรยากาศ 8

2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2540........ 9

2.3 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็กในกรุงเทพมหานคร........ 11

2.4 แหล่งกำเนิดแบล็กคาร์บอน และสัดส่วนของแบล็กคาร์บอนต่อคาร์บอนอินทรีย์........15

2.5 อุณหภูมิที่ใช้เผาไหม้คาร์บอนทั้ง 8 ประเภทด้วยเครื่องความร้อนและแสง 18

2.6 ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในเชื้อเพลิงประเภทดีเซล แก๊สโซลีน และ LPG..19

2.7 ระบบการแยกขนาดของอนุภาคของเครื่อง Dichotomous air sampler 23

2.8 กระบวนการแยกขนาดอนุภาคโดย Virtual Impactor........24

3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย........32

3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง 33

3.3 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 34

3.4 แผนผังบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง 35

3.5 เครื่อง Dichotomous air sampler 38

3.6 เครื่อง Handy sampler 38

4.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นฝุ่น PM10 โดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler และ Dichotomous air sampler 45

4.2 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM10 และPM2.5 และสัดส่วนของ PM2.5/ PM10 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน 47

4.3 ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูฝน 48

4.4 ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูแล้ง........48

4.5 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศ และความเข้มข้นธาตุคาร์บอนในฝุ่น PM2.5 และ PM10 51

4.6 ความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ และธาตุคาร์บอนใน PM10 และ PM2.5 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน 52

4.7 ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่นยานพาหนะ 53

4.8 สัดส่วน OCต่อ EC และสัดส่วน Char-EC ต่อ Soot-EC เฉลี่ยในฝุ่นยานพาหนะ 55

4.9 ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10........57

4.10 ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10-2.5 58

4.11 ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10-2.5 59

4.12 สัดส่วน OC ต่อ EC และ Char-EC ต่อ Soot-EC เฉลี่ยใน PM10 และ PM2.5 ใน
ฤดูแล้งและฤดูฝน 61

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน สามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ทั้งระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และยังลดประสิทธิภาพในการมองเห็น คาร์บอนเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของอนุภาคในฝุ่น คาร์บอนในบรรยากาศส่วนใหญ่พบอยู่ในความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Gu และคณะ, 2010) องค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศมักพบในรูปของ คาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon; OC) และธาตุคาร์บอน (Elemental Carbon; EC) คาร์บอนในฝุ่นแต่ละชนิดมีแหล่งกำเนิดแตกต่างกันดังนี้ คาร์บอนอินทรีย์ส่วนใหญ่ที่พบในบรรยากาศจะมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ และส่วนใหญ่เป็นสารก่อมะเร็ง เป็นตัวแทนที่สำคัญของสารประกอบอะลิฟาติก อะโรมาติก โพลีไซคลิก ไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon; PAHs) และโพลีคลอริเนเตต ไบฟีนิล (Polychlorinated Biphenyls; PCBs) ส่วนธาตุคาร์บอนเป็นเขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล และเชื้อเพลิงชีวมวล ธาตุคาร์บอนแขวนลอยในบรรยากาศในรูปของอนุภาคขนาดเล็ก ธาตุคาร์บอนสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 ชนิดได้แก่ Char-EC และ Soot-EC ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกันจึงสามารถนำมาบ่งชี้แหล่งกำเนิดได้และทำให้เข้าใจผลกระทบของธาตุคาร์บอนที่มีต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น (Han และคณะ, 2009)

ธาตุคาร์บอน มีคำที่ใช้แทนกันไปมาว่า แบล็กคาร์บอน (Black Carbon; BC) แบล็กคาร์บอนดูดซับแสงในช่วงที่มองเห็นได้ มีผลต่อการดูดซึมรังสีความร้อน และเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญลำดับสองในการทำให้โลกร้อนรองจากก๊าซเรือนกระจก กว่า 90% ของแบล็กคาร์บอนในฝุ่นทั้งหมดในบรรยากาศอยู่ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Viidanoja และคณะ, 2002) และในฝุ่น PM2.5 ในบริเวณเมืองพบแบล็กคาร์บอน เป็นองค์ประกอบประมาณ 5-15% ช่วงเวลาไม่กี่ปีที่ผ่านมา แบล็กคาร์บอนในบรรยากาศได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศทั่วโลก และผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพของมนุษย์ จึงมีแนวคิดว่า ถ้าหากลดแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศได้ ก็จะสามารถลดภาวะโลกร้อนและส่งผลดีต่อสุขภาพของมนุษย์ (พรรณวดี สุวัฒิกะ, 2011)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการตรวจวัดและหาสัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ และจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ ตรวจวัดแบล็กคาร์บอนอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยทุก 1 ชั่วโมงโดยตรงด้วยเครื่อง Aethalometer หาความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท หาสัดส่วนความ

เข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน (OC/EC) และสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ในฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ และจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นในบรรยากาศเขตเมืองบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อันเป็นแนวทางเพื่อควบคุมทั้งฝุ่นละอองขนาดเล็ก และแบล็กคาร์บอนซึ่งเป็นปัญหาหลักในการเกิดมลพิษอากาศและภาวะโลกร้อน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นทั้งสองขนาด และแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศในฤดูฝน และฤดูแล้ง
2. เพื่อตรวจวัดองค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ
3. เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นทั้งสองขนาด ในบรรยากาศในฤดูฝน และฤดูแล้ง
4. เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศเฉลี่ยรายชั่วโมง ในฤดูฝน และฤดูแล้ง
5. เพื่อหาสัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็ก (PM2.5/PM10) ในบรรยากาศ ความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท สัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน (OC/EC) และหาสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ในฝุ่นแต่ละขนาดเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นในบรรยากาศบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. พื้นที่ทำการตรวจวัดบริเวณดาดฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ทำการตรวจวัดฝุ่น เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ทุกๆ 6 วัน ในแต่ละฤดู คือ ฤดูแล้ง (ตั้งแต่ 5 ธันวาคม 2554 – 21 กุมภาพันธ์ 2555) และฤดูฝน (ตั้งแต่ 2 พฤษภาคม – 24 กรกฎาคม 2555) รวมทั้งหมด 29 วัน 87 ตัวอย่าง และทำการตรวจวัดแบล็กคาร์บอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมงและ 1 ชั่วโมง ทุกๆ 6 วัน ในฤดูฝน ทำการตรวจวัดแบล็กคาร์บอนวันเดียวกับที่

ตรวจวัดฝุ่น และฤดูแล้ง (ตั้งแต่ 1 พฤศจิกายน 2555 – 31 มกราคม 2556) รวมทั้งหมด 30 วัน 30 ตัวอย่าง

3. ตรวจวัดฝุ่นจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ (ดีเซล แก๊สโซลีน และ LPG) รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง
4. พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด
   - ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน
   - ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
   - แบล็กคาร์บอนในบรรยากาศ
   - ฝุ่นจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองขนาดเล็ก และองค์ประกอบคาร์บอนในฤดูที่แตกต่างกัน
2. ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการจัดการแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง เพื่อใช้ปรับปรุงคุณภาพอากาศในเขตเมืองต่อไป

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝุ่นละอองทั่วไปในบรรยากาศ

ฝุ่นละอองเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพและองค์ประกอบ โดยทั่วไปแล้วมีขนาดตั้งแต่ 200 ไมครอน ถึงต่ำกว่า 0.1 ไมครอน ซึ่งอยู่ในสภาพของแข็งหรือของเหลว ที่อุณหภูมิและความดันปกติ ทั้งนี้ยกเว้นไอน้ำ (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ, 2543) โดยนิยามและความหมายที่เกี่ยวข้องฝุ่นละอองทั่วไปในบรรยากาศ มีดังนี้

ฝุ่นละออง มีความหมายรวมถึง (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550) อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศนี้บางชนิดมีขนาดใหญ่ และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง นานาประเทศจึงได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศขึ้น สำหรับในประเทศสหรัฐอเมริกา U.S.EPA (United States Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate: TSP) และฝุ่น PM10 แต่เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยพบว่า ฝุ่นขนาดเล็กนั้นจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น U.S.EPA ได้มีการยกเลิกมาตรฐานฝุ่นรวม และกำหนดมาตรฐานฝุ่นเล็กเป็น 2 ชนิด คือ PM10 และ PM2.5

PM10 ตามคำจำกัดความของ U.S.EPA เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา มีแหล่งกำเนิดจากการจราจรบนถนนที่ไม่ได้ลาดยาง จากการขนส่งวัสดุรวมทั้งฝุ่นจากกิจกรรมบด ย่อย หิน

PM2.5 ตามคำจำกัดความของ U.S.EPA หมายถึง ฝุ่นละเอียด (Fine particle) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละเอียดมีแหล่งกำเนิดจากควันเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน

2.1.1 ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulates, TSP)

ฝุ่นละอองรวม คืออนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งที่พบในอากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.05 ไมโครเมตร ถึง 100 ไมโครเมตร แหล่งกำเนิดโดยธรรมชาติมักเกิดจากการฟุ้งกระจายของดิน ทรายที่พื้นถนน และสถานที่ก่อสร้าง โดยลมพัดจากพื้นดิน โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิกาจำนวนมาก ฝุ่นละอองทางชีวภาพ เช่น สปอร์ ละอองเกสรของพืชต่างๆฝุ่นละอองรวมที่พบบริเวณเขตเมือง โดยทั่วไปเป็นการแพร่กระจายแบบปฐมภูมิจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทั้งจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมอื่นๆ ฝุ่นละอองรวมที่มีขนาดใหญ่ถูกกำจัดโดยระบบทางเดินหายใจส่วนต้น เช่น ถูกดักหรือกรองไว้ในภายในช่องจมูก และถูกนำออกจากระบบทางเดินหายใจได้โดยการไอหรือจาม แต่ฝุ่นละอองรวมมักทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทความรู้สึกของร่างกายเนื่องจากในฝุ่นอาจมีสารพิษ เช่น แมงกานีส สารหนู เป็นต้น ซึ่งทำให้ ตา จมูก คอ เกิดการระคายเคือง และอักเสบได้ (วนิดา จีนศาสตร์, 2550)

2.1.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10)

เป็นสารมลพิษอากาศที่มีความสำคัญ ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น (dust) ควัน (smoke) ฟูม (Fume) เขม่า (soot) ประกอบด้วย มลพิษหลายชนิดผสมผสานกัน และมีองค์ประกอบเคมีที่มีความแตกต่างกัน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เกิดจากแหล่งกำเนิดหลายชนิด ฝุ่นที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองไอของทะเล ส่วนฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยเฉพาะจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซล การเผาไหม้แบบเปิด เช่นการเผาขยะ การเผาไหม้ของเสียจากเกษตรกรรม (หญ้า ฟาง) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายในอาคาร จากกระบวนการอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง เช่น โรงโม่หิน โรงปูนซีเมนต์ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มักเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ และรวมกับขี้เถ้าปลิวจากไฟฟ้า ควันดำจากรถยนต์หรือเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และเขม่าจากการเตาเผาไหม้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากแหล่งกำเนิดเหล่านี้มีปริมาณคาร์บอนในฝุ่นสูง ที่เป็นทั้งธาตุคาร์บอน และคาร์บอนอินทรีย์ในฝุ่น ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เมื่อมนุษย์ได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ และสามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนลึกได้ ทำให้เกิดผลกระทบสำคัญที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ (วนิดา จีนศาสตร์, 2550)

2.1.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5)

ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) หรือ Fine Particle เป็นอนุภาคของแข็งกึ่งแข็ง ที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) โดยส่วนใหญ่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน จะประกอบด้วย Secondary Particulate โดยอนุภาคละเอียดเกิดขึ้นในอากาศเมื่อก๊าซต่างๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound; VOC) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ถูกเปลี่ยนรูปในอากาศโดยปฏิกิริยาเคมีและฟิสิกส์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะก๊าซไปอยู่ในรูปอนุภาค (Gas to Particle Conversion) อนุภาคละเอียดถูกสร้างขึ้นโดยตรงจากกระบวนการเผาไหม้ หรือปฏิกิริยาทุติยภูมิในบรรยากาศ อนุภาคละเอียดปฐมภูมิ (Primary Fine Particulate) เกิดขึ้นโดยกระบวนการเผาไหม้ได้ 2 วิธี (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

1) การควบแน่นของก๊าซหรือไอระเหย บนอนุภาคในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง

2) Homogeneous Nucleation (ถ้าความเข้มข้นของก๊าซหรือไอระเหยสูงมากพอ) โดยอนุภาคจากแหล่งที่มีการเผาไหม้จะปล่อยอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิออกสู่บรรยากาศโดยตรง ต่อมาเกิดปฏิกิริยาต่างๆในบรรยากาศเกิดอนุภาคทุติยภูมิขึ้น

กระบวนการเกิดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเกิดจาก 3 กระบวนการ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

1) การเกิดปฏิกิริยากันระหว่างโมเลกุลก๊าซแล้วเปลี่ยนรูปเป็นอนุภาคชนิดใหม่

2) การรวมตัว (Coagulation) ของอนุภาคสองอนุภาคไปเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

3) อันตรกิริยา (Interreaction) ของอนุภาคก๊าซ (Gas Particle) กับก๊าซที่ถูกดูดซับ และดูดซึมลงบนผิวอนุภาค ปฏิกิริยานี้เกี่ยวข้องกับก๊าซเริ่มต้น เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds)

2.2 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่สำคัญในกรุงเทพและปริมณฑล

ฝุ่นที่อยู่ในอากาศในเขตกรุงเทพและปริมณฑล มีแหล่งกำเนิด 4 ประเภท ด้วยกัน คือ ยานพาหนะทางบก การก่อสร้างประเภทต่างๆ โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และการพาณิชยกรรม และการเผาวัสดุในที่แจ้ง มีรายละเอียดดังนี้ (พิทยา ว่องกุล, 2537)

2.2.1 ยานพาหนะทางบก

ยานพาหนะทางบก ได้แก่รถประเภทต่างๆ โดยฝุ่นเป็นสารมลพิษทางอากาศประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นและระบายออกมาทางท่อไอเสียทั้งในรูปควันดำและควันขาว แหล่งกำเนิดที่สำคัญคือ รถที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งระบายฝุ่นออกสู่บรรยากาศในรูปของควันดำที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ และจักรยานยนต์ 2 จังหวะ ซึ่งระบายฝุ่นออกสู่อากาศในรูปของควันขาว เป็น ละอองไอของน้ำมันหล่อลื่น

2.2.2 การก่อสร้างประเภทต่างๆ

การก่อสร้างประเภทต่างๆ เช่นการก่อสร้างอาคาร ถนน ระบบขนส่งมวลชน และระบบสาธารณูปโภคต่างๆ สามารถที่จะก่อให้เกิดฝุ่นดิน ทราย ปูนซีเมนต์ หินและฝุ่นที่เกิดขึ้นจากวัสดุก่อสร้างต่างๆ ฟุ้งกระจายไปในอากาศได้ โดยเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ของการก่อสร้างเช่น การขุด การเจาะ การเปิดหน้าดิน การผสมปูนซีเมนต์ การเก็บกวาด การบรรทุกขนส่งวัสดุก่อสร้าง การที่มีเศษดิน หินทราย ตกหล่น และสะสมอยู่บนพื้นในบริเวณก่อสร้าง

2.2.3 โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และการพาณิชยกรรม

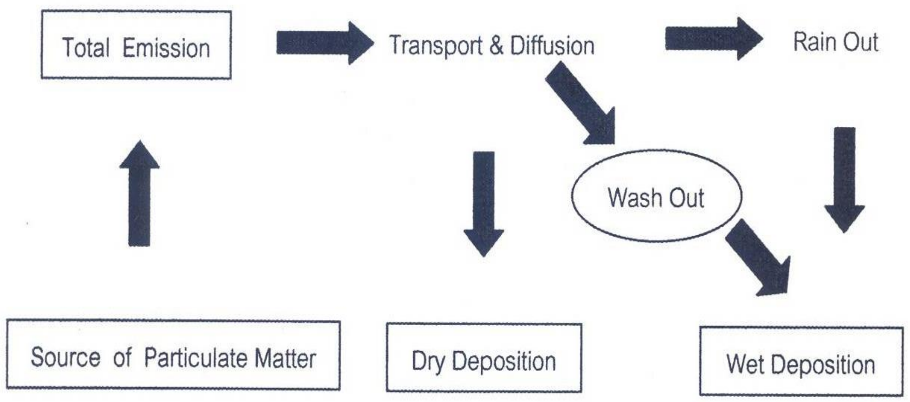
ฝุ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และการพาณิชยกรรม ซึ่งการเกิดฝุ่นละอองเกิดได้ใน 2 ขั้นตอนคือ

- การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ฟืน แกลบ เป็นต้นเพื่อนำพลังงานไปใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งหากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์หรือไม่มีการกำจัดอย่างถูกต้องจะก่อให้เกิดก๊าซและฝุ่นละอองลอยปะปนไปในบรรยากาศ ตัวอย่างเช่น เถ้าลอย (Fly ash) จากโรงไฟฟ้า เป็นต้น
- กระบวนการผลิต ได้แก่โรงงานที่ผลิตโลหะต่างๆ เช่นโรงงานผลิตตะกั่ว สังกะสี อะลูมิเนียม ทองแดง ซึ่งจะเกิดก๊าซ ไอควัน และฝุ่นละออง การผลิตปูนซีเมนต์จะทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และฝุ่นละออง รวมทั้งเหมืองแร่ที่มีการผลิต 5 ขั้นตอนใหญ่ ซึ่งได้แก่ การขุดเจาะหรือระเบิด การขนส่ง การเก็บการบดย่อย การแยกแร่ และการให้แห้ง โดยในแต่ละขั้นตอนล้วนทำให้เกิดฝุ่นละอองและอนุภาคขนาดเล็กของธาตุนั้นๆ เช่นการฟุ้งกระจายของฝุ่นตะกั่วในบรรยากาศขณะบดย่อย การทำให้แห้งหลังจากมีการแยกแร่ด้วยวิธีเปียกโดยใช้น้ำฉีดซึ่งจะทำให้เกิดก๊าซและฝุ่นละอองออกมา เป็นต้น

2.2.4 การเผาวัสดุในที่โล่งแจ้ง

การเผาวัสดุในที่โล่งแจ้ง ได้แก่ การเผาขยะมูลฝอย หรือวัสดุสิ่งต่างๆการเผาหญ้า การเผาเศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตร การเผาหญ้า และวัชพืชเพื่อปรับปรุงพื้นที่สำหรับการเพาะปลูก ในที่กลางแจ้ง ซึ่งจะเกิดเขม่าขี้เถ้าเป็นจำนวนมากฟุ้งกระจายไปในอากาศ และลอยไปตามกระแสลมแผ่ปกคลุมเป็นพื้นที่กว้าง

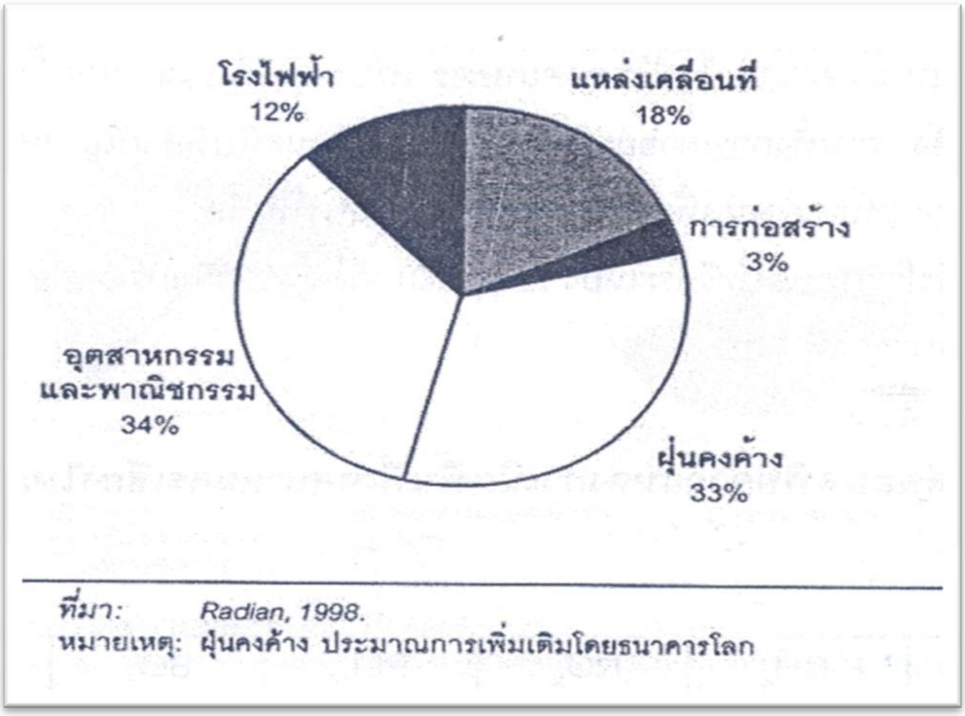
ฝุ่นละอองที่เกิดจากแหล่งกำเนิดชนิดต่างๆจะถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศ แล้วอาจจะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศหรือถูกพัดพาไปในอากาศโดยกระแสลม ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่น้ำหนักมากจะแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้ไม่นานก็ตกกลับลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เรียกว่า การตกแบบแห้ง (Dry Deposition) ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กหรือมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน จะแขวนลอยในบรรยากาศได้นานกว่า ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กนี้สามารถตกกลับแบบเปียก (Wet deposition) ได้ 2 รูปแบบ คือ อนุภาคฝุ่นจะเข้าไปแกนกลางให้ไอน้ำเกาะแล้วรวมอยู่ในเมฆ ตกลงมาเป็นฝน เรียกว่า Rain out และการตกกลับโดยฝนตกชะเอาอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศลงมา ที่เรียกกว่า Washout ตามภาพที่ 2.1 (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)



ภาพที่ 2.1 วัฏจักรของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

2.3 แหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร

แหล่งกำเนิดมลพิษของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร ในปี 2540 พบว่าฝุ่นส่วนใหญ่เกิดจากอุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม และฝุ่นคงค้าง คิดเป็นร้อยละ 34 และ 33 ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แหล่งกำเนิดมลพิษขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2540
(ที่มา: นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

2.4 แหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร

แหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน คือแหล่งกำเนิดที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม จากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซล เช่น รถบรรทุก กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากโรงไฟฟ้า การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่น การเผาของเสียจากการเกษตร (ฟาง หญ้า) การเผาถ่าน นอกจากนี้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

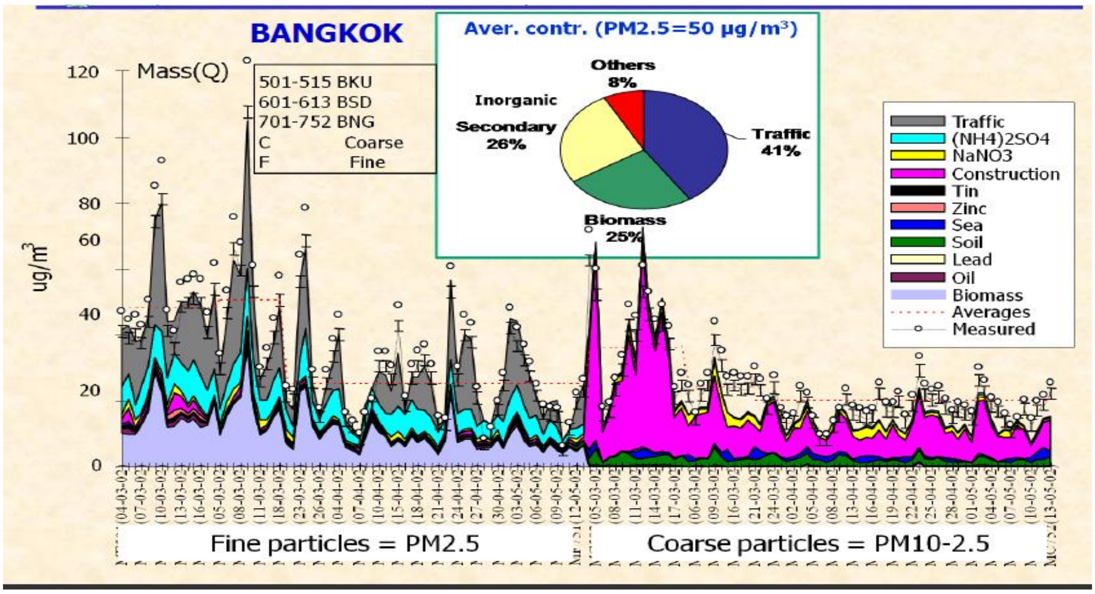
บางส่วนเกิดโดยธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองทางชีวภาพ (bioaerosol) เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และ endotoxic (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

แหล่งกำเนิดแต่ละชนิด ปลดปล่อยองค์ประกอบทางเคมีชนิดต่างๆ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญที่สุดของอนุภาคทุติยภูมิ คือ แอมโมเนียซัลเฟต แอมโมเนียมไนเตรท ดังนั้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ และแอมโมเนีย เป็นสารประกอบเริ่มต้น (precursor) ที่สำคัญของอนุภาคทุติยภูมิ (ได้แก่ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไนเตรท) การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิลจากโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ยานพาหนะ การเผาของเสียจากการเกษตร และการเผาไหม้อื่นๆ เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารประกอบซัลเฟต ไนเตรท กรด สารคาร์บอนอินทรีย์ (Organic Carbon) และธาตุคาร์บอน (Elemental Carbon) แอมโมเนียและน้ำ ซึ่งอนุภาคทุติยภูมิดังกล่าว เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

อนุภาคทุติยภูมิ	สารประกอบเริ่มต้น	แหล่งกำเนิดของสารประกอบเริ่มต้น
ซัลเฟต ไนเตรท คาร์บอนอินทรีย์	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน	โรงงานอุตสาหกรรม รถยนต์ดีเซล ยานพาหนะ กระบวนการเผาไหม้ ยานพาหนะ กระบวนการเผาไหม้ โรงงานอุตสาหกรรม

แหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในกรุงเทพมหานครจากงานวิจัยของ Kim Oanh (2012) แสดงในภาพที่ 2.3 ได้แก่ การจราจร 41 เปอร์เซ็นต์ อนุภาคทุติยภูมิ 26 เปอร์เซ็นต์ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวล 25 เปอร์เซ็นต์ และแหล่งกำเนิดอื่นๆอีก 8 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 2.3 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็กในกรุงเทพมหานคร

(ที่มา: Kim Oanh, 2012)

2.5 ผลต่อสุขภาพของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะมีผลกระทบต่อสุขภาพเป็นอย่างมาก เมื่อหายใจเข้าไปในปอดจะเข้าไปอยู่ในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง ในสหรัฐอเมริกาพบว่า ผู้ที่ได้รับฝุ่น PM10 ในระดับหนึ่งจะทำให้เกิดโรค Asthma และ ฝุ่น PM2.5 ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอด และเกี่ยวโยงกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคหืดหอบ และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนปกติด้วย (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

ฝุ่นขนาดเล็ก (PM10) หมายถึง ฝุ่นที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 10 ไมครอนลงมา ฝุ่นละอองที่เป็นปัญหามลพิษ สำคัญอันดับหนึ่งของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพอนามัยของคนในกรุงเทพมหานคร พบว่าฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานครมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยโดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่างๆทั่วโลก โดยระดับของฝุ่นขนาดเล็กอาจทำให้คนในกรุงเทพมหานครตายก่อนเวลาอันควร ถึง 4,000 – 5,500 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่าการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก และจากการ

ประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่า ถ้าสามารถลดปริมาณฝุ่น PM10 ในบรรยากาศลงได้ 10 ลูกบาศก์เมตร จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพ คิดเป็นจำนวนเงิน 35,000 – 88,000 ล้านบาทต่อปี

ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) มีความสำคัญมาก เพราะมีการศึกษาแล้วพบว่า มีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกสุดได้ ฝุ่นมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ 3 ทางด้วยกัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

1) ฝุ่นเป็นพิษเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมี หรือลักษณะทางกายภาพ

2) ฝุ่นเข้าไปรบกวนการระคายเคืองต่อระบบหายใจ

3) ฝุ่นเป็นตัวพาหรือดูดซับสารมลพิษและพาเข้าสู่ร่างกาย

จากการทบทวนข้อมูลทางวิทยาศาสตร์ พบว่าผลการศึกษาทางด้านระบาดวิทยาทั้งในประเทศและต่างประเทศ แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างการได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในบรรยากาศ กับผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย ได้แก่ การตายก่อนเวลาอันควร การเจ็บป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ และอาการระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน จะมีโอกาสเข้าสู่และค้างในระบบทางเดินหายใจส่วนปลายได้มากกว่าฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งการศึกษาทางระบาดวิทยาของประเทศไทยที่มีอยู่ในปัจจุบัน พบผลกระทบของ PM2.5 ต่อสุขภาพอนามัย ในระดับใกล้เคียงกับที่พบในการศึกษาที่เมืองต่างๆ ทั่วโลก โดยเฉพาะในประเทศแถบตะวันตกโดยการศึกษาทางด้านระบาดวิทยา 2 เรื่อง ภายใต้โครงการจัดทำ (ร่าง) มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ได้แก่ 1) การศึกษา Time series analyses ของการตายและการรับเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลในกรุงเทพมหานคร และ 2) การศึกษา Panel study: ผลกระทบแบบเฉียบพลันของ PM2.5 ต่อระบบทางเดินหายใจ ระบุว่าเมื่อปริมาณการได้รับ PM2.5 เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจะมีผลกระทบเฉียบพลัน (Short term effects) ต่อการตายต่อวันจากทุกสาเหตุ การตายต่อวันเนื่องจากโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular mortality) และการตายต่อวันเนื่องจากโรคระบบทางเดินหายใจ (Respiratory mortality) เพิ่มขึ้น 1.3 3.6 และ 1.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีความเสี่ยงต่ออาการระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และอาการระบบทางเดินหายใจส่วนบน เพิ่มขึ้น 9 และ 11 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ นอกจากนี้ การศึกษาทางระบาดวิทยาในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าเมื่อปริมาณการได้รับ PM2.5 เพิ่มขึ้นทุก 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะมีผลกระทบระยะยาว (Long term effects) ต่อการตายจากทุกสาเหตุ การตายด้วยโรคหัวใจและปอด การตายด้วยมะเร็งปอด เพิ่มขึ้นในช่วง 10 ถึง 39 เปอร์เซ็นต์ 16 ถึง 54 เปอร์เซ็นต์ และ 3 ถึง 61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลกระทบของฝุ่น PM2.5

ต่อสุขภาพอนามัยข้างต้น ส่งผลให้หลายประเทศได้กำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เพื่อให้สามารถป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก ที่สามารถแขวนลอยในอากาศได้นานเป็นเวลาหลายวันจนถึงหลายสัปดาห์ องค์ประกอบหลักของฝุ่นขนาดเล็ก ได้แก่ ซัลเฟตอิออน ไนเตรตอิออน แอมโมเนียม ธาตุคาร์บอน คาร์บอนอินทรีย์ โลหะ และละอองน้ำที่จับตัวกับฝุ่น โดยแหล่งที่มาที่สำคัญ คือ การเผาไหม้ถ่านหิน น้ำมัน เศษไม้ การเปลี่ยนสภาพของก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ในบรรยากาศ กระบวนการที่ใช้ความร้อนสูง เตาหลอม เป็นต้น ซึ่งมีแหล่งกำเนิดแตกต่างกันตามพื้นที่ เช่น กรุงเทพมหานคร พื้นที่ริมถนน ส่วนใหญ่มาจากรถยนต์ และพื้นที่ทั่วไป ส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ต่างๆ รองลงมาเป็นรถยนต์ เป็นต้น

2.6 องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่น

สารคาร์บอนในบรรยากาศ มักหมายถึง เขม่าควันซึ่งถูกปลดปล่อยมาจากกระบวนการเผาไหม้แหล่งกำเนิดที่เผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ ปิโตรเลียมและเครื่องยนต์ดีเซล ที่ปลดปล่อยอนุภาคฝุ่นละอองที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน ได้แก่ (U.S.EPA., 1996)

2.6.1 คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbon)

สารคาร์บอนอินทรีย์ที่พบในฝุ่นละอองเป็นการรวมตัวของสารประกอบนับพันชนิด โดยประกอบด้วยสารประกอบคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม จะมีความแตกต่างกันหลายประเภท ส่วนใหญ่ที่พบในบรรยากาศจะมาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบอินทรีย์ คาร์บอนอินทรีย์ส่วนใหญ่แล้วเป็นสารก่อมะเร็ง เป็นตัวแทนที่สำคัญของ สารประกอบอะลิฟาติค อะโรมาติค โพลีไซคลิคอะโรมาติคไฮโดรคาร์บอน (PAHs) โพลีคลอริเนเตดไฮโดรคาร์บอน (PCBs) และอื่นๆ ซึ่งแหล่งกำเนิดขั้นต้นของคาร์บอนอินทรีย์เกิดจาก การเผาไหม้ถ่านหิน การปลดปล่อยจากไอเสียรถยนต์ และการเผาไหม้ชีวมวล คาร์บอนอินทรีย์มีคุณสมบัติในการกระเจิงแสง (light-scattering) ทำให้ลดความร้อนที่ส่องมายังพื้นโลก (Dan และคณะ, 2004)

2.6.2 ธาตุคาร์บอน (Elemental carbon)

ธาตุคาร์บอน เกิดจากการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนของอนุภาคเล็กๆระหว่างที่มีการเผาไหม้ เช่น เตาผิงไฟ เตาหุงต้มประเภทฟืน และเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น (U.S. EPA., 1996) การปลดปล่อยของการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ก่อให้เกิดการดูดซับแสงในบรรยากาศ และผลที่ทำให้โลกร้อน (Heating effect)

2.6.3 แบล็กคาร์บอน (Black carbon)

แบล็กคาร์บอนหมายถึง เขม่าควันที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล เชื้อเพลิงชีวมวล แบล็กคาร์บอนแขวนลอยในบรรยากาศในรูปของอนุภาคขนาดเล็ก (Godish, 2004) โดยแบล็กคาร์บอนถูกปลดปล่อยจากกิจกรรมของมนุษย์และจากธรรมชาติในรูปของเขม่า ประกอบด้วยคาร์บอนบริสุทธิ์เกิดขึ้นในหลายรูปแบบ แบล็กคาร์บอนทำให้โลกร้อนเนื่องจากการดูดซับความร้อนในบรรยากาศ ทำการการสะท้อนแสงออกสู่ภายนอกลดลง ทำให้โลกร้อน แบล็กคาร์บอนสามารถคงอยู่ได้ภายในบรรยากาศหลายวันถึงหลายสัปดาห์ (Wikipedia, 2553: ออนไลน์)

2.6.4 ความเหมือนและความแตกต่างระหว่างแบล็กคาร์บอน (Black Carbon) และธาตุคาร์บอน (Elemental carbon) ในฝุ่น

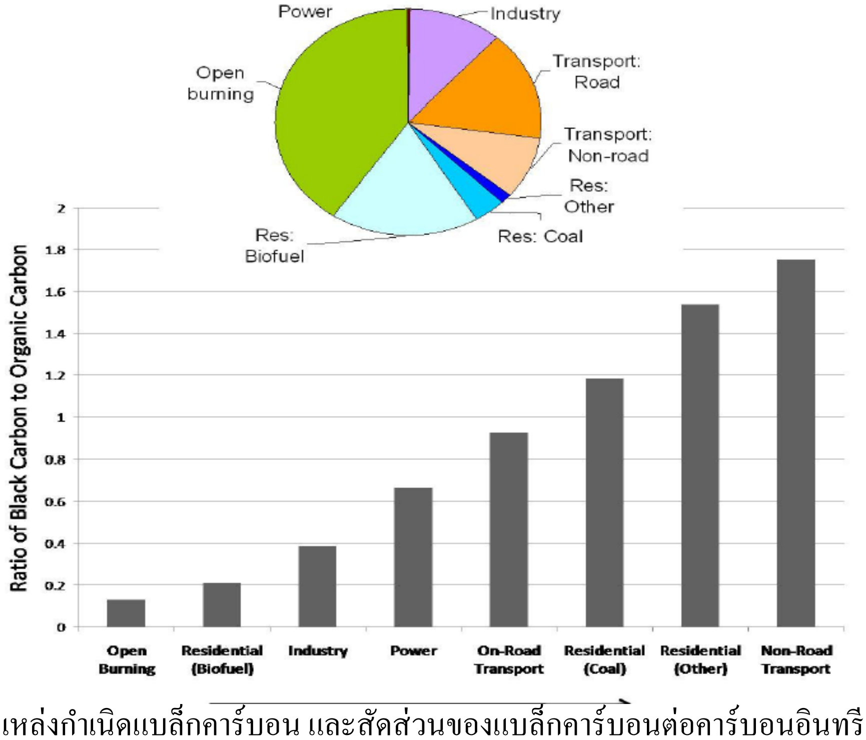
แบล็กคาร์บอนหรือธาตุคาร์บอนในฝุ่น มักเป็นคำที่ใช้แทนกันไปมา ซึ่งแบล็กคาร์บอน และธาตุคาร์บอนในฝุ่น สามารถดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรด ในการศึกษาความเข้มข้นอนุภาคแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศสามารถวัดได้โดยตรงจากในบรรยากาศ โดยใช้เครื่องมือที่ชื่อว่า Aethalometer ซึ่งใช้หลักการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร และแปลงเป็นความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน แต่ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนในฝุ่น วิเคราะห์จากการออกซิไดซ์ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากเผาอนุภาคคาร์บอน ซึ่งในการเผา มีอนุภาคแกรไฟท์เหลืออยู่และไม่ได้ถูกรีดิวซ์ให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เมื่อให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส (ความร้อนสูงสุดในการเผาธาตุคาร์บอน) เพราะแกรไฟท์มีโครงสร้างที่ซับซ้อนมาก จึงไม่สามารถเผาอนุภาคคาร์บอนได้ทั้งหมด จึงทำให้แบล็คคาร์บอนและธาตุคาร์บอนมีลักษณะทางกายภาพและทางเคมีแตกต่างกันตามวิธีตรวจวัด และแบล็กคาร์บอนจึงมีค่าสูงกว่าธาตุคาร์บอนใน

ฝุ่นเล็กน้อย จากหลักการที่กล่าวมาจึงสรุปได้ว่า ธาตุคาร์บอนทั้งหมดในฝุ่นเป็นส่วนหนึ่งของแบล็กคาร์บอนนั่นเอง (Dutkiewicz และคณะ, 2009)

2.7 แหล่งกำเนิดขององค์ประกอบคาร์บอน

ภาพรวมของการปล่อยแบล็กคาร์บอนของทั้งโลก มีประมาณ 8 ล้านตัน และคาร์บอนอินทรีย์มีประมาณ 37 ล้านตันต่อปี แหล่งกำเนิดหลักของการเกิดแบล็กคาร์บอน 40 เปอร์เซ็นต์มาจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของถ่านหินและน้ำมันในอุตสาหกรรม และยานพาหนะ 18 เปอร์เซ็นต์จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในบ้านเรือนโดยใช้ในการให้ความร้อน การทำอาหาร และอีก 42 เปอร์เซ็นต์มาจากการเผาไหม้วัสดุในที่โล่งแจ้งทางการเกษตรและไฟป่า

ส่วนใหญ่แล้วการคาดการประเภทของแหล่งกำเนิดขึ้นอยู่กับสัดส่วนของแบล็กคาร์บอนต่อคาร์บอนอินทรีย์ โดยทั่วไปน้ำมันดีเซลจะมีค่าสัดส่วนต่ำ โดยแหล่งกำเนิดทั้งหมดจะปล่อยทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซเรือนกระจก ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนเตรต และอนุภาคต่างๆ การประมาณค่าการเกิดแบล็กคาร์บอนและคาร์บอนอินทรีย์มีความไม่แน่นอน เมื่อเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์เนื่องจากอนุภาคคาร์บอนมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันในหลายรูปแบบ เช่น การเผาไหม้ของถ่านหิน การเผาไหม้ชีวมวล การผลิตกระแสไฟฟ้า การจราจร การเผาไหม้เชื้อเพลิงในบ้านเรือน และอุตสาหกรรม ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แหล่งกำเนิดแบล็กคาร์บอน และสัดส่วนของแบล็กคาร์บอนต่อคาร์บอนอินทรีย์

(ที่มา: Bachmann, 2009)

การจราจรที่ใช้น้ำมันดีเซลและแก๊สโซลีนเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองปฐมภูมิและทุติยภูมิ องค์ประกอบแรกที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันทั้ง 2 ประเภทนี้คือสารประกอบคาร์บอนอินทรีย์ และธาตุคาร์บอน (Watson และคณะ, 1994)

จากงานวิจัยที่ศึกษาในเขตเมืองในกรุงเทพมหานครพบว่า สัดส่วนของความเข้มข้นคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน(OC/EC) ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีค่าเฉลี่ย 0.52 และพบว่าไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนมีการปล่อยคาร์บอนอินทรีย์สูงกว่าธาตุคาร์บอน เป็นอัตราส่วนของความเข้มข้น OC/EC 1.0-4.3 แต่ในทางกลับกันไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีธาตุคาร์บอนสูงกว่าคาร์บอนอินทรีย์ เป็นสัดส่วนของความเข้มข้น OC/EC 0.2-0.3 ถ้าต้องการจะลดธาตุคาร์บอนหรือแบล็กคาร์บอนควรลดการใช้ยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซล (พรรณวดี สุวัฒิกะ, 2010) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การปล่อยแบล็กคาร์บอนและคาร์บอนอินทรีย์ในฝุ่นจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

	BC	OC
Transport		
Diesel on-road	1200	380
Diesel off-road	310	100
Gasoline	92	1000
Marine	120	225
Aviation	22	6
	1700	*1700*
Industry & Power		
Industrial coal	740	1,100
Other	190	990
	930	*2100*
Residential		
Coal	330	280
Wood	1200	5,800
Agricultural waste	260	1,700
Animal waste	37	140
	1800	*7900*
Open Burning		
Crop	330	1,600
Waste	45	59
Other (forest/savanna)	3,000	23,000
	3,400	*25,000*
Other	200	440
Total	8,100	37,000

ที่มา: Bachmann, 2009

2.7.1 การระบุแหล่งกำเนิดจากสัดส่วนของ OC/EC

การเปรียบเทียบแหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่มีสัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน (OC/EC) แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 2.3 ดังนั้นการหาสัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน (OC/EC) สามารถบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นในบรรยากาศได้

ตารางที่ 2.3 แหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อสัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน

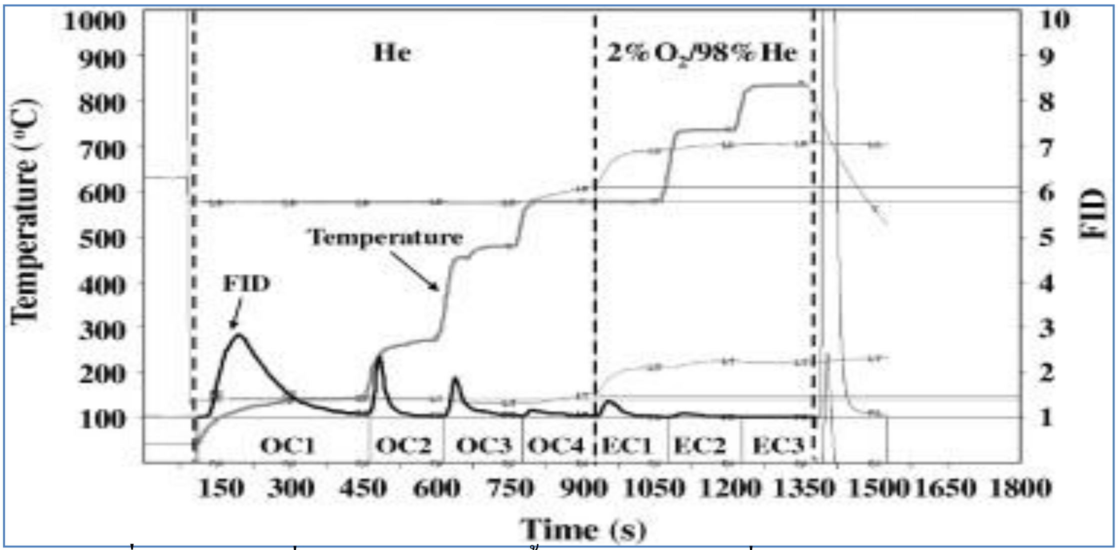
ประเภทของแหล่งกำเนิด	**OC/EC**	**Reference**
รถยนต์ที่ใช้ก๊าซโซลีน	1.0 – 4.0	Schauer และคณะ, 1999, 2002
รถยนต์ที่ใช้ดีเซล	น้อยกว่า 1	Schauer และคณะ, 1999, 2002
การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล	4.0 – 8.0	Zhang และคณะ, 2007
การเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทไม้	16.8 – 40.0	Schauer และคณะ, 2002
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน	2.5 – 10.5	Chen และคณะ, 2006
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจาก การทำอาหารในบ้านเรือน	32.9 – 81.9	He และคณะ, 2004

2.7.2 การระบุแหล่งกำเนิดสารประกอบคาร์บอน 8 ประเภท

ในการวิเคราะห์คาร์บอนด้วยเครื่องความร้อนและแสง (Thermal/Optical Carbon Analyzer) ตาม IMPROVE protocol (Interagency Monitoring of Protected Visual Environments) ด้วยวิธี thermal/optical reflectance (TOR) (Chow และคณะ 2007)ได้สารประกอบคาร์บอน 8 ประเภทจากการเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ OC1 OC2 OC3 OC4 EC1 EC2 EC3 และ OP แสดงในภาพที่ 2.5 มีวิธีวิเคราะห์ดังนี้ เผาในฮีเลียม 100% ได้แก่ OC1 เผาที่อุณหภูมิ 120ºC OC2 เผาที่อุณหภูมิ 250ºC OC3 เผาที่อุณหภูมิ 450ºC และ OC4 เผาที่อุณหภูมิ 550ºC หลังจากนั้นเติมออกซิเจน 2% ในฮีเลียม 98% นำไปเผาต่อที่อุณหภูมิ 550ºC ได้ EC1 เผาที่อุณหภูมิ 700ºC ได้ EC2 และ EC3 เผาที่อุณหภูมิ 800ºC ในขณะที่เติมออกซิเจนในระบบจะเกิดการสะท้อนของแสงเกิดเป็นค่าเศษของคาร์บอน (optically-detected pyrolyzed carbon (OP)) ขึ้น นำคาร์บอนทั้ง 8 ค่าไปออกซิไดซ์ให้เป็น

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หลังจากนั้นรีดิวซ์ให้เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) และนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องวิเคราะห์ไอออน (Flame ionization detector) ที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ 633 นาโนเมตร

เนื่องจากคาร์บอนอินทรีย์และธาตุคาร์บอนมีการเผาในอุณหภูมิที่แตกต่างกันทำให้มีลักษณะทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกันสามารถนำมาวิเคราะห์แหล่งกำเนิดได้ ซึ่งไอเสียจากยานพาหนะเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงภายในตัวเครื่องยนต์ที่มีการจุดระเบิดส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศ ให้เกิดพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิสูง แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานขับเคลื่อนลูกสูบ แล้วปล่อยไอเสียออกมา (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ, 2543) เนื่องจากต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในการเผาไหม้ ดังนั้นจึงมีการปลดปล่อยธาตุคาร์บอน (EC1, EC2, EC3) สูงในไอเสียจากยานพาหนะ ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลจะมีการอัดอากาศเข้ากระบอกสูบและน้ำมันดีเซลจะถูกฉีดเข้าสู่กระบอกสูบตอนปลายของจังหวะอัดอากาศ อัตราส่วนแรงอัดอาจสูงถึง 22.5 : 1 และให้ความดันสูงถึง 3.45 MPa ทำให้อากาศร้อนถึง 600 องศาเซลเซียส ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลจึงมีการปลดปล่อย EC2 สูง ส่วนไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนเครื่องยนต์มีการใช้แบตเตอรี่และขดลวดเหนี่ยวนำร่วมกันในการจุดระเบิดส่วนผสมเชื้อเพลิงกับอากาศในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ และให้ความดันประมาณ 1.28 MPa ซึ่งมีแรงอัดในการจุดระเบิดน้อยกว่าเครื่องยนต์ดีเซลประมาณ 2 เท่าจึงทำให้มีการสันดาปของเชื้อเพลิงในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ดีเซลดังนั้นจึงมีการปลดปล่อย OC3 สูง ส่วนการเผาชีวมวลในที่โล่งแจ้งเป็นการเผาไหม้แบบเปิดในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไอเสียจากยานพาหนะจึงทำให้พบอินทรีย์คาร์บอน (OC1, OC2)ในปริมาณที่สูงกว่าธาตุคาร์บอนซึ่งแหล่งกำเนิดของสารประกอบคาร์บอน 8 ประเภท แสดงในตารางที่ 2.4



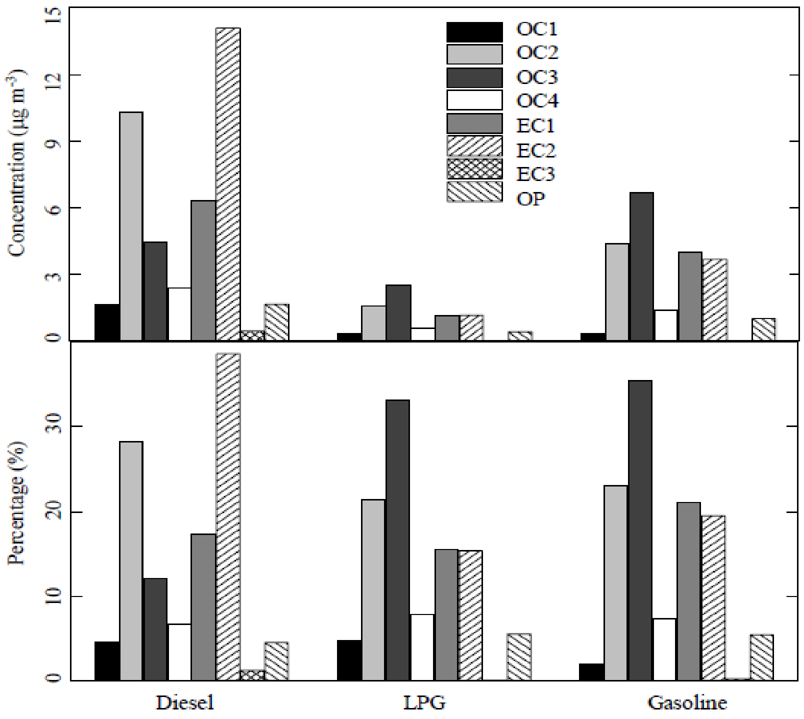
ภาพที่ 2.5 อุณหภูมิที่ใช้เผาไหม้คาร์บอนทั้ง 8 ประเภทด้วยเครื่องความร้อนและแสง

(Chow และคณะ 2007)

ตารางที่ 2.4 แหล่งกำเนิดของสารประกอบคาร์บอน 8 ประเภท

คาร์บอน 8 ประเภท	ประเภทของแหล่งกำเนิด	References
OC1	พบสูงในการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล	Chow และคณะ, 2004
OC2	พบสูงในการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน	Chow และคณะ, 2004.
OC3	พบสูงในไอเสียเครื่องยนต์แก๊สโซลีน	Cao และคณะ, 2006
OC4	พบสูงในฝุ่นดินริมถนน	Cao และคณะ, 2005
OP	พบสูงในการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิล และเชื้อเพลิงชีวมวล	Cao และคณะ, 2005
EC1	พบสูงในเชื้อเพลิงจากยานพาหนะทุกชนิด	Cao และคณะ, 2005
EC2	พบสูงในไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล	Cao และคณะ, 2006
EC3	พบสูงในเชื้อเพลิงจากถ่านหินและยานพาหนะ	Yu และคณะ, 2002

จากภาพที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่า น้ำมันดีเซลพบ EC2 สูงสุดคิดเป็น 38.2% และพบ OC2 รองลงมาคิดเป็น 26.7% ของคาร์บอนทั้งหมดในฝุ่น ส่วนแก๊สโซลีน และLPG พบ OC3 สูงสุด และพบ OC2 รองลงมา ในแก๊สโซลีน คิดเป็น 33.3% และ 21.5% ของคาร์บอนทั้งหมดตามลำดับ และใน LPG คิดเป็น 35.5% และ 23.1% ของคาร์บอนทั้งหมดในฝุ่น ตามลำดับ (Cao และคณะ, 2006)



ภาพที่ 2.6 ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในเชื้อเพลิงประเภทดีเซล แก๊สโซลีน และ LPG

(ที่มา: Cao และคณะ, 2006)

2.7.3 การระบุแหล่งกำเนิดจากสัดส่วนของ Char-EC/Soot-EC

ธาตุคาร์บอน (EC) เป็นสารประกอบเชิงเดี่ยวที่เกิดจากหลายแหล่งกำเนิด แต่สามารถบอกถึงแหล่งกำเนิดได้จากช่วงของการเผาไหม้ที่แตกต่างกัน ซึ่งจากการเผาธาตุคาร์บอน ได้ EC1 EC2 EC3 ซึ่งสามารถแบ่งย่อยอนุภาคได้อีก 2 ประเภท คือ Char-EC = EC1 – OP และ Soot-EC = EC2 + EC3 ให้คำนิยามได้ดังนี้

Char-EC เป็นอนุภาคของสารที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากการการเผาที่อุณหภูมิ 550ºC มีขนาดอยู่ในช่วง 1-100 ไมโครเมตร

Soot-EC เป็นสารประกอบของอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของไฮโดรคาร์บอน (HC) จากการเผาที่อุณหภูมิสูง (> 600 ºC)

เนื่องจากลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของ Char และ Soot ที่แตกต่างกันจึงทำให้คุณสมบัติการดูดกลืนแสงต่างกัน และบ่งชี้แหล่งกำเนิดได้จากสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ที่แตกต่างกัน แสดงในตารางที่ 2.5 (Han และคณะ, 2009)

ตารางที่ 2.5 แหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC

ประเภทของแหล่งกำเนิด	Char-EC/Soot-EC	Reference
ไอเสียจากยานพาหนะ	น้อยกว่า 1.0	Chow และคณะ, 2004
เชื้อเพลิงจากการเผาชีวมวล (ที่อุณหภูมิสูง)	1.0 – 5.0	Chen และคณะ, 2007
เชื้อเพลิงจากการเผาชีวมวล (ที่อุณหภูมิต่ำ)	20.0 - 30.0	Chen และคณะ, 2007
เชื้อเพลิงจากถ่านหิน(บีทูมินัส)	5.0 – 10.0	Cao และคณะ, 2005
เชื้อเพลิงจากการเผาถ่านหิน	1.5 – 3.0	Cao และคณะ, 2005
การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการทำอาหารในบ้านเรือน	2.0 - 6.0	Chow และคณะ, 2004

2.8 ผลกระทบของแบล็กคาร์บอน

แบล็กคาร์บอนเป็นปัจจัยสำคัญอับดับสอง ที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนรองจากก๊าซเรือนกระจก (Ramanathan 2009) พบว่าประเทศกำลังพัฒนา เช่น จีน และอินเดีย ปล่อยแบล็กคาร์บอนประมาณ 25-35 เปอร์เซ็นต์ของโลก ประชากรส่วนใหญ่ในสองประเทศนี้ใช้พลังงานจากการ เผาไม้ เผาถ่าน ก้อนขี้วัว ในการทำครัว และให้ความร้อนกับบ้านเรือน เนื่องจากอุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำ

ทำให้การเผาไหม้นั้นไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้เกิดเขม่าดำสูง อุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่ ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และมีการใช้ยานพาหนะเป็นจำนวนมากจึงทำให้มีการปล่อยแบล็กคาร์บอนสูง

แบล็กคาร์บอนให้รังสีความร้อนที่เป็นพลังงานภายใต้แสงอาทิตย์ 0.9 วัตต์ต่อตารางเมตร แบล็กคาร์บอนยังก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ เพราะหลายการศึกษาพบว่า แต่ละปีมีหญิงและเด็กราว 400,000 ราย เสียชีวิตจากปัญหาด้านระบบการหายใจ เพราะสูดดมควันไฟจากการทำอาหารเข้าไป เนื่องจากภายในบ้านมีการระบายอากาศที่ไม่ดี

2.9 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นในประเทศไทย

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองในประเทศไทย ตามประกาศสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป ได้กำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศในประเทศไทยไว้ในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศในประเทศไทย

สารมลพิษ	ระยะเวลาเฉลี่ย	ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.050
	1 ปี	0.025
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.12
	1 ปี	0.05
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.33
	1 ปี	0.10

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550

2.10 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นละอองในต่างประเทศ

United States Environmental Protection Agency และองค์การอนามัยโลก ได้กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานฝุ่นของ United States Environmental Protection Agency และองค์การอนามัยโลก

สารมลพิษ	ระยะเวลาเฉลี่ย	ค่ามาตรฐาน (มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	มาตรฐานอ้างอิง
ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.035	U.S.EPA (2009)
	24 ชั่วโมง	0.025	WHO (2005)
	1 ปี	0.01	WHO (2005)
ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	24 ชั่วโมง	0.15	U.S.EPA (2009)
	24 ชั่วโมง	0.05	WHO (2005)
	1 ปี	0.02	WHO (2005)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2550

2.11 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยเครื่อง Dichotomous air sampler รุ่น Partisol model 2000-D

2.11.1 หลักการของเครื่อง Dichotomous air sampler

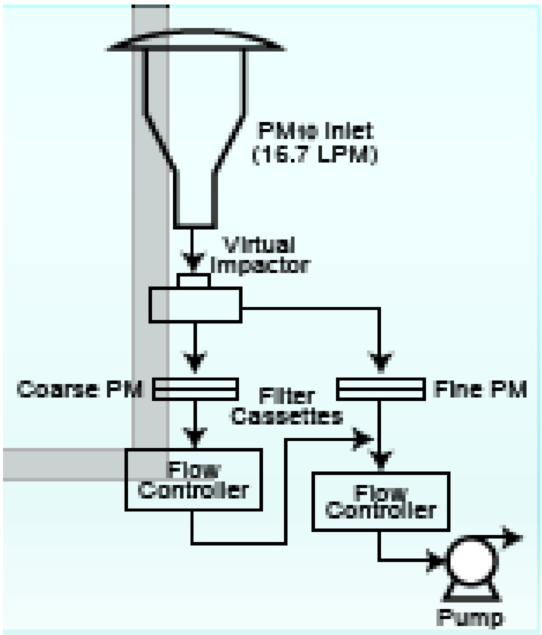
เครื่อง Dichotomous air sampler ใช้หลักการแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยอาศัยคุณสมบัติความแตกต่าง ในด้านมวล ขนาด และแรงเฉื่อยของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยมี virtual impactor ในการแบ่งแยกขนาดของฝุ่นละอองเป็น 2 ช่วงขนาด คือ ฝุ่นที่มีขนาดอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 10 ไมครอน ใช้อัตราการไหลของอากาศที่ 1.67 ลิตรต่อนาที และฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ใช้อัตราการไหลที่ 15 ลิตรต่อนาที สามารถควบคุมและเก็บข้อมูลอัตราการไหลของอากาศได้โดยอัตโนมัติ

2.11.2 การทำงานของเครื่อง Dichotomous air sampler

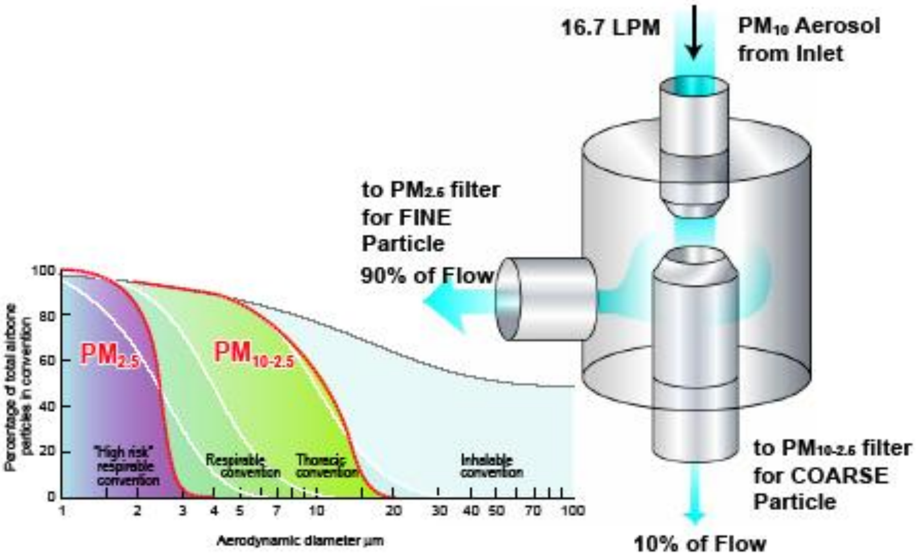
อากาศที่อยู่โดยรอบ (Ambient air flow) จะดูดผ่านเข้าไปในเครื่องโดยการทำงานของปั๊มดูดอากาศ อนุภาคที่ถูกดูดเข้ามาจะถูกนำพาลงใน Inlet head ดังภาพที่ 2.7 และบ่ายเบนไปลงใน acceleration jet เนื่องจากโมเมนตัมที่มีมากกว่าของฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะถูก

กำจัดในบริเวณนี้ ส่วนฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนลงไปจะผ่าน Vent tube และถูกนำพาไปยัง virtual impactor

ในบริเวณ virtual impactor นี้จะแยกฝุ่นละอองออกเป็น 2 ช่วงคือฝุ่นขนาดละเอียด (fine particulate) และฝุ่นขนาดหยาบ (coarse particulate) นั่นคือ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนถูกแยกออกด้วยโมเมนตัมของอนุภาค โดยใช้มวล และอัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกัน โดยฝุ่นขนาดละเอียดจะไหลไปตามกระแสอากาศที่มีอัตราเร็วการไหลที่สูงกว่า (15 ลิตร/นาที) และตกลงบนกระดาษที่รองรับอนุภาคฝุ่นละเอียด (fine particle filter) และด้วยโมเมนตัมอนุภาคฝุ่นหยาบที่มีมากกว่า virtual impactor จะบังคับให้อนุภาคหยาบจะไหลไปตามกระแสอากาศที่มีอัตราเร็วต่ำกว่า (1.67 ลิตร/นาที) และตกลงบนกระดาษที่รองรับอนุภาคฝุ่นหยาบ (coarse particle filter) และมีฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบางส่วนไหลไปตามกระแสอากาศลงสู่กระดาษที่รองรับอนุภาคส่วนหยาบ ดังภาพที่ 2.8 ซึ่งผลต่างของน้ำหนักกระดาษกรองภายหลัง และก่อนจะทำให้ทราบปริมาณของฝุ่นที่ผ่านเข้ามา ส่วนอากาศที่ไหลผ่านเข้าในเครื่องจะถูกบันทึกอัตราไหลได้ตลอดเวลาของการทำงานเพื่อนำมาคำนวณปริมาตร ทั้งหมดที่ผ่านเข้ามา และจากน้ำหนักฝุ่นและปริมาตรอากาศนี้ทำให้ทราบความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนทั้งในส่วนหยาบและส่วนละเอียด



ภาพที่ 2.7 ระบบการแยกขนาดของอนุภาคของเครื่อง Dichotomous air sampler



ภาพที่2.8 กระบวนการแยกขนาดอนุภาคโดย Virtual Impactor
(ที่มา: Kimoto, 2006)

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.12.1 แหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็ก

กัลยกร ตั้งอุไรวรรณ (2549) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในจังหวัดสมุทรปราการ พบว่าบริเวณที่มีการดำเนินกิจกรรมหลายประเภทจะมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงกว่าบริเวณที่ทำการเกษตร และพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองในฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในฤดูฝน และศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่า Na Si Fe S Cl K Zn OC EC SO_4^{2-} NO_3^- Cl^- Na^+ และ K^+ คาดว่าจะมีแนวโน้มมาจากแหล่งกำเนิดประเภทอุตสาหกรรม ยานพาหนะ การเผาขยะรวม การเผาไหม้ชีวมวล ฝุ่นดิน และฝุ่นถนน รวมทั้งฝุ่นจากละอองทะเล

Limpaseni และคณะ (2007) ทำการศึกษาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในจังหวัดสมุทรปราการในฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่าฤดูแล้งมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ระหว่าง 55.63 - 70.85 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร และฤดูฝนมีความ

เข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ระหว่าง 27.52 - 50.79 ไมโครกรัม / ลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน ถึง 35% และใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ EPA-CMB 8.2 ประเมินแหล่งกำเนิดของมลภาวะทางอากาศที่สำคัญในจังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในหม้อน้ำ 36.6% การเผาไหม้ขยะ 21.9% รถยนต์ดีเซล 20.4% หม้อน้ำที่ใช้ชีวมวล 6.0% การเผาไหม้ทางการเกษตร 4.8%, อุตสาหกรรมเกี่ยวกับเหล็ก 0.6% และแหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถระบุได้ 9.7%

2.12.2 ความเข้มข้นและแหล่งกำเนิดของคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กตามฤดู

Gu และคณะ (2010) ศึกษาความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์และธาตุคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ในเมืองเทียนจิน ประเทศจีน วิเคราะห์ความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์และธาตุคาร์บอนด้วยวิธีความร้อนและแสง (thermal/optical reflectance) พบว่าความเข้มข้นของ PM10 มีค่า 196.2 มคก./ลบ.ม. และPM2.5 มีค่า 109.8 มคก./ลบ.ม. สัดส่วน PM2.5/PM10 มีค่า 57.9% บ่งชี้ว่า PM2.5 เป็นอนุภาคหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพอากาศในเมืองเทียนจิน พบสัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอนมีค่าสูงในฤดูหนาวและฤดูใบไม้ร่วง (3.8 และ 3 ตามลำดับ) เนื่องจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ การเผาไหม้ถ่านหินสูง และมีค่าต่ำในฤดูร้อนและฤดูใบไม้ผลิ ผลการศึกษาองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นได้แก่ OC1, OC2, OC3, OC4, EC1, EC2, EC3 และ OP บ่งชี้ได้ว่ามีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ การเผาไหม้ถ่านหิน และการไอเสียยานพาหนะปนกันอยู่

Ye และคณะ (2007) ทำการศึกษาลักษณะของธาตุคาร์บอน และสารคาร์บอนอินทรีย์ในฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) ระหว่างช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วงในปี 2006 ในเมืองฉงชิ่ง ประเทศจีน ทำการเก็บตัวอย่าง PM10 ในเมือง 9 พื้นที่พร้อมกัน และพื้นที่อีก 1 พื้นที่ใช้อ้างอิงซึ่งเป็นพื้นที่อยู่ไกลจากการจราจรและโรงงานอุตสาหกรรม ใช้เครื่อง element analyzer ในการวิเคราะห์ ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอน (EC) และความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ (OC) พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ OC และ EC มีค่า 57.5±20.8 และ 8.3±3.9 มคก./ลบม. ตามลำดับ และความเข้มข้นของทั้งสองค่านี้มีค่าสูงกว่าพื้นที่อ้างอิง ในฤดูกาลที่แตกต่างกันความเข้มข้นของ EC ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ความเข้มเข้มของ OC ในฤดูใบไม้ร่วงจะมี

ค่าสูงกว่าฤดูใบไม้ผลิ พื้นที่ในเมืองพบลักษณะของสารคาร์บอนทั้งหมดใน PM10 ในฤดูใบไม้ผลิมีค่า 33.2% และในฤดูใบไม้ร่วงมีค่า 35.0% ซึ่งแหล่งกำเนิดของมลพิษที่สำคัญมาจากการเผาไหม้ของถ่านหิน ทำให้อัตราส่วน OC/EC มีค่าสูงถึง 2.0 เนื่องจากความเข้มข้นสารคาร์บอนอินทรีย์ขั้นทุติยภูมิ (SOC) ในฤดูใบผลิ และใบไม้ร่วงมีค่า 26.7 และ 39.4 มคก./ลบม. และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น SOC มีค่า 48.9% และ 61.9% ของความเข้มข้น OC ทั้งหมด ตามลำดับ

Schwarz และคณะ (2008) ศึกษาคาร์บอนอินทรีย์ และธาตุคาร์บอนใน PM10 เขตชานเมือง และย่านธุรกิจ ในเมืองปราก อินทรีย์คาร์บอนในชานเมืองพบว่ามีค่าเฉลี่ยสูงกว่าในย่านธุรกิจ ส่วนธาตุคาร์บอน และ PM10 ในย่านธุรกิจสูงกว่าในชานเมือง สิ่งที่แตกต่างกันในทั้ง 2 จุดเก็บระหว่างฤดูกาลและสภาพอุตุนิยมวิทยา คือ พบว่าค่าคาร์บอนอินทรีย์ ในฤดูหนาวสูงกว่าฤดูร้อน ในชานเมืองพบสัดส่วนในฤดูหนาว/ฤดูร้อน มีค่าสูงกว่าย่านธุรกิจ ระดับความเข้มข้นของ PM10 และ OC ในอากาศมีต้นกำเนิดหลักจากการหมุนเวียนของมวลอากาศเหนือยุโรปตอนกลาง และมาจากยุโรปตะวันออกเฉียงใต้ในฤดูหนาว

Sahu และคณะ (2011) ศึกษาความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน และคาร์บอนอินทรีย์ในกรุงเทพมหานครระหว่างปี 2007-2008 พบว่าแนวโน้มความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน และคาร์บอนอินทรีย์มีค่าความเข้มข้นสูงในฤดูแล้ง และต่ำในฤดูฝน เนื่องจากถูกขจัดด้วยฝน และมีการเผาไหม้ของชีวมวลเพียงเล็กน้อยในช่วงฤดูฝน ส่วนในฤดูแล้งมีการจราจรที่หนาแน่นและ การเผาไหม้ของชีวมวลสูงจึงทำให้ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน และคาร์บอนอินทรีย์มีค่าสูง ค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/BC ระหว่างวัน จะมีค่าต่ำในช่วงการจราจรเร่งด่วน แต่ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน และคาร์บอนอินทรีย์จะมีค่าต่ำช่วงบ่ายเนื่องจากชั้นบรรยากาศที่ปรับตัวสูงขึ้นและการจราจรลดลง และในช่วงวันหยุดความเข้มข้นของมลพิษลดลงทำให้ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน และคาร์บอนอินทรีย์มีค่าต่ำ ค่าสูงสุดของสัดส่วน OC/BC ในฤดูแล้งมีค่า 3 เนื่องจากการเผาไหม้ของชีวมวลสูง

2.12.3 ความเข้มข้นและแหล่งกำเนิดคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กตามช่วงเวลาของวัน

Salma และคณะ(2004) ศึกษาคาร์บอนอินทรีย์ และธาตุคาร์บอน ในเมืองและชานเมืองในเมืองบูดาเปส ประเทศฮังการี เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในช่วงกลางวันและกลางคืน และวัดฝุ่น

ละอองแบบออนไลน์ในเมือง และพื้นที่ชานเมือง พบว่า ฝุ่นจากริมถนนมีมวลธาตุคาร์บอนเฉลี่ยใน PM2.5 มากที่สุด รองลงมาคือใน PM10 และฝุ่นจากริมถนนมีมวลธาตุคาร์บอนเฉลี่ยใน TSP ต่ำที่สุด ความแปรผันของชีวิตประจำวันมีผลต่อมวลฝุ่นละออง คาร์บอนอินทรีย์ และธาตุคาร์บอน ได้แก่ การจราจรบนท้องถนน อุตุนิยมวิทยาท้องถิ่น และการขนถ่ายมวลอากาศระยะไกล สิ่งที่ปรากฏในเมืองคือระดับความเข้มข้นในบรรยากาศและการขนถ่ายมวลอากาศระยะไกล ซึ่งอุตุนิยมวิทยาท้องถิ่นและการขนถ่ายมวลอากาศระยะไกลมีผลต่อคุณภาพอากาศมากกว่าต้นกำเนิดจากการจราจรบนท้องถนน ซึ่งสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC และปริมาณของอนุภาคคาร์บอนทุติยภูมิในคาร์บอนอินทรีย์ในฝุ่น PM2.5 พบว่าริมถนนในช่วงเวลากลางคืนมีค่ามากกว่าช่วงเวลากลางวัน

Garivait และคณะ (2006) ทำการศึกษาแบล็กคาร์บอนในประเทศไทยโดยใช้เครื่อง Aethalometer ทำการวัดอย่างต่อเนื่อง และรายงานผลออกมาตลอดเวลา ทำการตรวจวัดสองพื้นที่ ได้แก่ ในเขตเมืองซึ่งตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานคร และอีกพื้นที่ที่ไกลจากเขตเมืองตั้งอยู่ในอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา พบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนในเขตเมืองสูงกว่านอกเมือง มีค่าระหว่าง 0.84-2.34 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 2.28-7.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ การวัดความเข้มข้นแบล็กคาร์บอนจากการเผาไหม้ทางการเกษตรเกิดจากสามแหล่งกำเนิดใหญ่ๆ ได้แก่ การเผาไหม้นาข้าวมีค่าความเข้มข้นสูงถึง 1,090 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การเผาอ้อยมีค่าความเข้มข้น 748ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การเผาไหม้ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มีค่าความเข้มข้น 2,481 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Husain และคณะ (2007) ทำการศึกษาลักษณะของละอองคาร์บอนในบริเวณเมือง ศึกษาความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน (BC) โดยใช้เครื่อง Aethalometer และศึกษาความเข้มข้นของธาตุคาร์บอน (EC) และความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ (OC) โดยใช้วิธีความร้อนและแสง (thermal-optical method) และทำการตรวจหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) และปริมาณคาร์บอนทั้งหมดใน PM2.5 ในบริเวณมหาวิทยาลัยปัญจาบ ประเทศปากีสถาน พบว่า ความเข้มข้น BC เฉลี่ย 5 นาที มีค่าระหว่าง 5-110 มคก./ลบม. เฉลี่ย 21.7 มคก./ลบม. และมีค่าสูงเมื่อเทียบกับเมืองต่างๆในภูมิภาคเอเชียใต้ ความเข้มข้น BC สูงสุด เกิดในเวลา 17.00-21.00 น. และความเข้มข้นต่ำสุดเวลา 10:00-16:00 น. สาเหตุความเข้มข้น BC สูงเนื่องจาก การจราจรสูงในช่วงเย็น ความเร็วลม และความสูงผสมต่ำในช่วงกลางคืน และในเวลากลางคืนที่มีหมอก ความเข้มข้น BC ต่ำลงประมาณ 35% จากวันที่ไม่มีหมอก การวัดเปรียบเทียบความเข้มข้น BCโดยเครื่อง

Aethalometer กับความเข้มข้น EC โดยวิธีความร้อนและแสง พบว่าความเข้มข้น BC และ EC มีความสัมพันธ์กันสูง (r^2 = 0.71) ความชัน = 1.25 คาร์บอนทั้งหมดที่พบใน PM2.5 มีความเข้มข้นเฉลี่ย 96 มคก./ลบม. ซึ่ง PM2.5 และความเข้มข้น TC มีความสัมพันธ์กันสูง (r^2 = 0.76) การศึกษาครั้งนี้พบ PM2.5 มีคาร์บอนทั้งหมดอยู่ 69% การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลส่งผลต่อสัดส่วนความเข้มข้น OC/ EC โดยพบอัตราส่วนอยู่ในช่วง 2.8-12.0 และมีค่าเฉลี่ยที่ 5.8 ซึ่งเป็นค่าที่สูง เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาเชื้อเพลิง การเผาไหม้วัสดุจากพื้นที่ทางการเกษตร และยานพาหนะในเมืองนี้เป็นเครื่องยนต์สองจังหวะ

2.12.4 การระบุแหล่งกำเนิดจากสัดส่วนคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน

พรรณวดี สุวัฒิกะ (2011) ทำการศึกษาแบล็กคาร์บอนในฝุ่นละอองในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร โดยดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบริเวณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้แก่ตัวอย่างฝุ่นรวม (TSP) และฝุ่นขนาดเล็ก (PM10) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ทุกๆ 6 วัน ตลอดทั้งปีบริเวณดาดฟ้าชั้น 3 ของตึกปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร วิเคราะห์แบล็กคาร์บอนในฝุ่นทั้งสองขนาดในหน่วยค่าความดำ (Darkness Index) และความเข้มข้นของธาตุคาร์บอน (EC) ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของ TSP และ PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยรายปี 82 มคก./ลบ.ม. และ 42 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง PM10 ต่อ TSP มีค่าเฉลี่ย 0.58 ค่าความดำของฝุ่นรวมมีค่าระหว่าง 8-24% เฉลี่ย 14.2% และความดำของฝุ่นขนาดเล็กมีค่าระหว่าง 5-26% เฉลี่ย 14.3% แสดงว่าค่าความดำทั้งหมดอยู่ในฝุ่นขนาดเล็ก ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนใน TSP มีค่าระหว่าง 4-41 มคก./ลบ.ม. เฉลี่ย 11 มคก./ลบ.ม. และความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนใน PM10 มีค่าระหว่าง 2-22 มคก./ลบ.ม. เฉลี่ย 9 มคก./ลบ.ม. สัดส่วนความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนในฝุ่น PM10 ต่อความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนในฝุ่น TSP มีค่าเท่ากับ 0.88 แสดงว่าประมาณ 90% ของธาตุคาร์บอนอยู่ในฝุ่น PM10 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นธาตุคาร์บอนในฝุ่น PM10 และความเข้มข้นฝุ่น PM10 มีค่า R^2 เท่ากับ 0.499 สัดส่วนความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนในฝุ่น PM10 ต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM10 มีค่า 0.2 จึงอาจประมาณความเข้มข้นของธาตุคาร์บอน หรือ BC เท่ากับ 20% ของความเข้มข้นของฝุ่น PM10 โดยสมการ EC = 0.2PM10 สัดส่วนโดยเฉลี่ยของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอนในฝุ่น PM10 มีค่า 0.52 สัดส่วนนี้แสดงว่าฝุ่น PM10 ส่วนใหญ่มาจากรถยนต์ดีเซล ศักยภาพในการทำให้โลกร้อนของอนุภาค BC เทียบเท่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (ช่วงชีวิต 20 ปี) มีค่า 15-24 มิลลิกรัม/ลบ.ม. เนื่องจากในประเทศไทยไม่มีการตรวจวัด BC หรือ PM2.5 อย่างต่อเนื่องและแพร่หลายเท่ากับการวัด PM10 เรา

สามารถประมาณความเข้มข้นของ BC ได้จากความเข้มข้นของ PM10 ซึ่งมีการตรวจวัดโดยปกติที่สถานีตรวจวัดอากาศของหน่วยงานต่างๆ

2.12.5 การระบุแหล่งกำเนิดจากสารประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท

สุวพร มณฑาสุวรรณ (2552) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของคาร์บอนและความเข้มข้นของฝุ่นละออง กับลักษณะของชั้นบรรยากาศ ในเขตเมืองโดยติดตั้งเครื่องไฮวอลุมเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองรวม ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร และอุปกรณ์ตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาพื้นผิว 3 ระดับความสูง ในเขตเมืองของ 3 จังหวัดในประเทศไทย คือ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา ที่ความสูง 30 60 และ 125 เมตร เขตราชเทวี กรุงเทพมหานครที่ความสูง 38 158 และ 328 เมตร และ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ที่ความสูง 12 52 และ 152 เมตร พร้อมกับตรวจวัดอุตุนิยมวิทยาชั้นบนเป็นเวลา 3 วันต่อเนื่อง โดยใช้วิทยุหยั่งอากาศติดกับบอลลูน และหาองค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร โดยวิเคราะห์สารไอออนิคด้วยเครื่อง Ion chromatography และองค์ประกอบคาร์บอน ด้วยเครื่อง Thermal/optical carbon analyzer ตามพิธีสาร IMPROVE ผลการศึกษา พบว่า กรุงเทพมหานคร และเชียงใหม่ มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร แปรผกผันกับความสูง และ สัดส่วนของ PM_{10}/TSP แปรผันกับระดับความสูง แต่หาดใหญ่ ไม่ได้ผลเช่นนั้น ซึ่งเกิดจากปัจจัยทางกายภาพของจุดตรวจวัดส่งผลให้เกิดความปั่นป่วนทางกายภาพ ทำให้เกิดการเจือจางมลสารสูงในชั้นกลาง เมื่อพิจารณาสัดส่วนของ PM_{10}/TSP กับอุตุนิยมวิทยาพบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลน่าจะมาจากแหล่งกำเนิดโดยตรง ผลการศึกษาองค์ประกอบของสารในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ในกรุงเทพมหานคร ได้แก่ OC EC Na^{+} NH_4^{+} K^{+} Ca^{2+} Cl^{-} NO_3^{-} SO_4^{2-} และองค์ประกอบอื่นๆ พบว่า องค์ประกอบอื่นๆ ที่อาจจะเกิดจากโลหะหนักมีค่าสูงสุด รองลงมาคือ OC SO_4^{2-} EC และ NO_3^{-} ซึ่งองค์ประกอบหลัก มีความเข้มข้นที่ความสูง 158 เมตร และ 328 เมตร ใกล้เคียงกัน อย่างมีนัยสำคัญ บ่งชี้ได้ว่าแหล่งกำเนิดมาจากไอเสียเครื่องยนต์ ผลการศึกษาองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ในกรุงเทพมหานคร ได้แก่ OC1 OC2 OC3 OC4 EC1 EC2 และ EC3 พบว่า มีความเข้มข้นของ OC3 EC1 OC2 เด่นที่สุด บ่งได้ว่าแหล่งกำเนิดคาร์บอนทั้งสามระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา มาจากไอเสียของเครื่องยนต์เบนซิน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว และดีเซล ความเข้มข้นของ OC และ EC แปรผันตรงกับ PM_{10} ในทุกระดับความสูง ส่งผลให้พบความเข้มข้นของ OC และ EC มีค่าสูงในช่วงเวลากลางคืนตาม PM_{10}

Cao และคณะ (2006) ศึกษาความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ ธาตุคาร์บอน และองค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ชนิดในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณริมถนนรอบเมืองฮ่องกง ด้วยวิธีความร้อนและแสง พบว่าความเข้มข้นของ PM2.5 มีค่า 64.4 มคก./ลบม. คาร์บอนอินทรีย์มีค่า 16.7 มคก./ลบม. และธาตุคาร์บอนมีค่า 17.1 มคก./ลบม.สัดส่วนของ OC/EC มีค่าเท่ากับ 1.0 และพบว่าความเข้มข้นของ PM2.5 OC และ EC ในเวลากลางวันมีค่ามากกว่าเวลากลางคืน 1.3-1.5 เท่า องค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดในไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล แอลพีจี และแก๊สโซลีน จากคาร์บอนทั้ง 8 ชนิด ได้แก่ OC1, OC2, OC3, OC4, EC1, EC2, EC3 และ OP พบว่า ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลพบ EC2 และ OC2 สูงสุด ส่วนไอเสียเครื่องยนต์ที่ใช้แอลพีจีและแก๊สโซลีนพบ OC3 และ OC2 สูงสุด

2.12.6 การระบุแหล่งกำเนิดจากสัดส่วน Char-EC ต่อ Soot-EC

Han และคณะ(2009) ศึกษาธาตุคาร์บอน ซึ่งสามารถแบ่งธาตุคาร์บอนได้ 2 ประเภททางกายภาพ และเคมีที่แตกต่างกัน ได้แก่ Char-EC และ Soot-EC พบว่า คาร์บอนทั้งหมด ธาตุคาร์บอน และ Char-EC มีความเข้มข้นในแต่ละฤดูเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือความเข้มข้นมีค่าสูงในฤดูหนาว และมีค่าต่ำในฤดูร้อน ขณะที่ Soot-EC มีความเข้มข้นใกล้เคียงกันในทุกฤดู ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่าง EC และ Char-EC มีค่า R^2=0.99 จึงบ่งชี้ได้ว่าความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนในฝุ่นมีความสัมพันธ์กับ Char-EC ในระดับสูง ขณะที่ Soot-EC สามารถนำมาบ่งชี้ได้ถึงช่วงอายุของ EC ได้ อย่างไรก็ตามในวันที่มีหิมะและฝนตกค่า Char-EC จะถูกชะออกทำให้มีค่าต่ำ แต่ Soot-EC มีค่าใกล้เคียงกันทุกฤดู ส่งผลไปถึงสัดส่วนของ Char-EC/Soot-EC ซึ่งสัดส่วนของ Char-EC/Soot-EC ที่พบในเมืองซีอาน ประเทศจีน มีค่าระหว่าง 1-3 บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ของถ่านหินซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญในประเทศจีน

2.12.7 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กเกิดจากอุตสาหกรรม ไอเสียจากยานพาหนะ การเผาขยะรวม การเผาไหม้ชีวมวล การเผาไหม้ทางการเกษตร พบความเข้มข้นของสารประกอบคาร์บอนในบริเวณเมืองมากกว่าชานเมือง Schwarz และคณะ (2008) พบตัวแปรที่ส่งผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นและองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่น แสดงในตารางที่ 2.8 และพบแหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อองค์ประกอบคาร์บอน แสดงในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.8 ปัจจัยที่ส่งผลความเข้มข้นของฝุ่นและองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็ก

ตัวแปร	ความเข้มข้นของฝุ่นและองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็ก		ผู้วิจัย
	ปัจจัยส่งผลให้มีค่าสูง	ปัจจัยส่งผลให้มีค่าต่ำ	
ฤดูกาล	ฤดูหนาว เนื่องจากการใช้ถ่านหินในการให้ความอบอุ่นสูงในฤดูหนาว	ฤดูฝน เนื่องจาก ถูกขจัดด้วยน้ำฝน	Sahu และคณะ (2011)
ช่วงเวลารายวัน	การจราจรหนาแน่นในช่วงเวลาเช้าและเย็น ความสูงผสมต่ำในช่วงกลางคืน	หมอกจะทำให้ความเข้มข้น BC ต่ำลงประมาณ 35%	Husain และคณะ (2007)

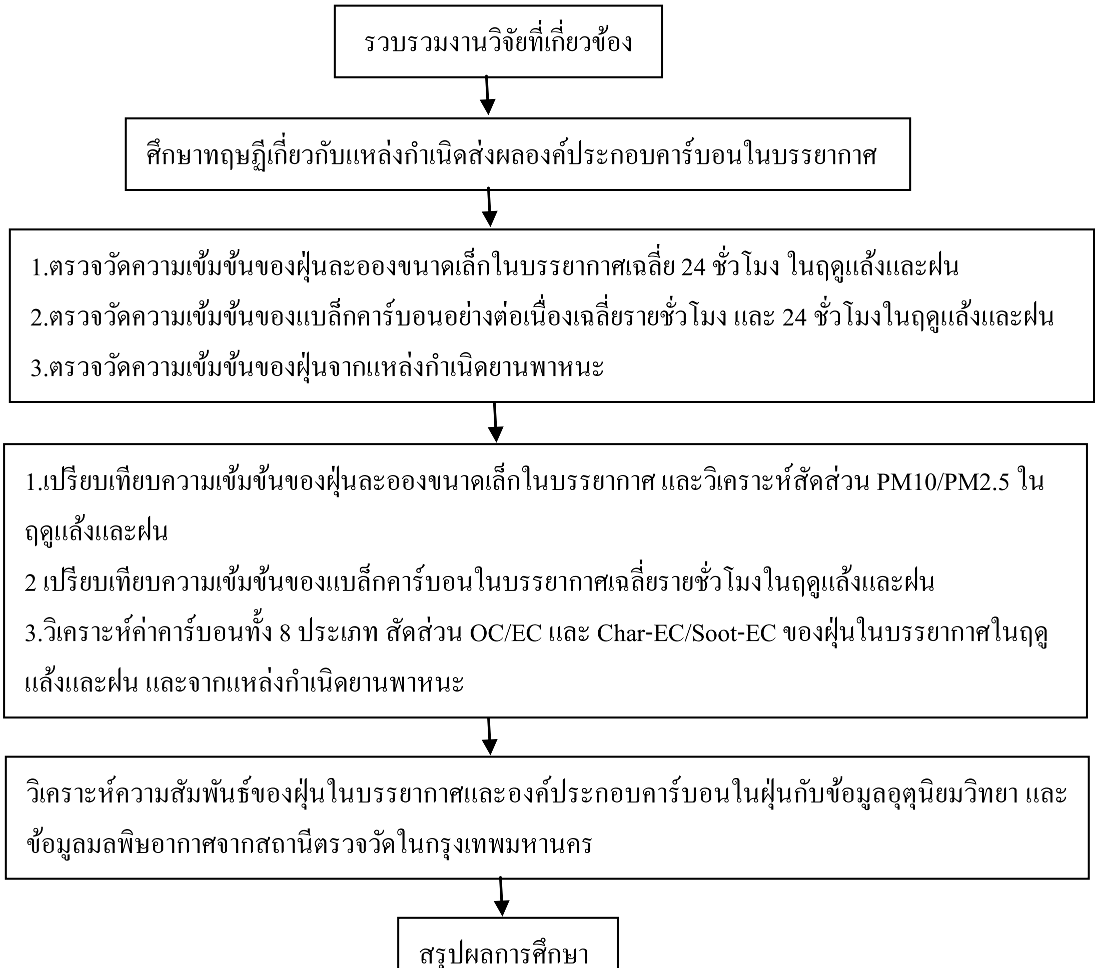
ตารางที่ 2.9 แหล่งกำเนิดที่ส่งผลต่อองค์ประกอบคาร์บอน

ตัวแปร	แหล่งกำเนิดที่ส่งผลให้มีค่าสูง	แหล่งกำเนิดที่ส่งผลให้มีค่าต่ำ	ผู้วิจัย
OC/EC	การเผาไหม้ถ่านหิน และการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล	ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนมีค่าประมาณ 1-3 และไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีค่าต่ำกว่า 1	Gu และคณะ (2010)
สารประกอบคาร์บอน 8 ประเภท	ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลพบ EC2 และ OC2 สูงสุด ส่วนไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แอลพีจีและแก๊สโซลีนพบ OC3 และ OC2 สูงสุด	-	Cao และคณะ (2006)
Char-EC/ Soot-EC	การเผาไหม้ถ่านหิน และไอเสียเชื้อเพลิงชีวมวล	ไอเสียจากยานพาหนะ	Han และคณะ (2009)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการศึกษา

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองที่บริเวณดาดฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เป็นพื้นที่ทั่วไป (Background site) ในเขตเมืองของกรุงเทพมหานคร โดยมีแผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1) เครื่อง PM10 Hi-volume Air sampler

2) เครื่อง Dichotomous air sampler รุ่น Partisol model 2000-D

3) เครื่อง Handy sampler

4) เครื่อง micro Aethalometer

5) กระดาษกรองควอตซ์ ขนาด 203 x 254 มิลลิเมตร

6) กระดาษกรองควอตซ์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร

7) ตลับพลาสติก

8) คีมคีบปากแบน (Forceps) ชนิดเคลือบด้วยเทฟลอน

1 2 3

4

1) เครื่อง PM10 Hi-volume Air sampler

2) เครื่อง Dichotomous air sampler

3) เครื่อง Handy Sampler

4) เครื่อง micro Aethalometer

ภาพที่ 3.2วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

3.2.2 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) เครื่อง Thermal/optical carbon analyzer

2) ตลับพลาสติก

3) คีมคีบปากแบน (Forceps) ชนิดเคลือบด้วยเทฟลอน

4) เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดทศนิยม 6 ตำแหน่ง รุ่น XP26 จากบริษัท Mettler toledo

5) โถดูดความชื้น (Dessicator) ที่บรรจุซิลิกาเจล

1	2
3	4

1) เครื่อง Thermal/optical carbon analyzer
2) ตลับพลาสติก
3) เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดทศนิยม 6 ตำแหน่ง
4) โถดูดความชื้น (Dessicator) ที่บรรจุซิลิกาเจล

ภาพที่ 3.3 วัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.3 สถานที่เก็บตัวอย่าง

สำหรับสถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในกรมควบคุมมลพิษแบ่งเป็นสองประเภท คือ

1) พื้นที่ทั่วไป (Background site) เป็นพื้นที่ที่บอกถึงผลกระทบภาพรวมโดยเฉลี่ยของคุณภาพอากาศ

2) พื้นที่ริมถนน (Road side) เป็นพื้นที่ที่บ่งชี้ถึงมลพิษทางอากาศบริเวณริมถนน

ซึ่งสถานที่เก็บตัวอย่างบริเวณดาดฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แสดงในภาพที่ 3.4 เป็นพื้นที่ทั่วไป (Background site) จะบอกถึงผลกระทบภาพรวมโดยเฉลี่ยของคุณภาพอากาศ ในเขตเมืองบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 3.4 แผนผังบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง

3.4 ระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการตรวจวัด 3 ช่วงเวลา ได้แก่

1) ครั้งที่ 1 ฤดูแล้ง ตั้งแต่ 5 ธันวาคม 2554 – 21 กุมภาพันธ์ 2555

2) ครั้งที่ 2 ฤดูฝน ตั้งแต่ 2 พฤษภาคม – 24 กรกฎาคม 2555

3) ครั้งที่ 3 ฤดูแล้ง ตั้งแต่ 1 พฤศจิกายน 2555 – 31 มกราคม 2556 (ตรวจวัดเฉพาะแบล็กคาร์บอน)

โดยทำการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ทุกๆ 6 วัน ในครั้งที่ 1 และ 2 รวมทั้งหมด 29 วัน 87 ตัวอย่าง และทำการตรวจวัดแบล็กคาร์บอนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทุกๆ 6 วัน ในครั้งที่ 2 และ 3 รวมทั้งหมด 30 วัน 30 ตัวอย่าง

3.5 วิธีการดำเนินการวิจัย

การทดลองนี้เป็นการศึกษาเพื่อตรวจวัดและหาสัดส่วนของฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ ตรวจวัดฝุ่นจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ ตรวจวัดแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศโดยตรง และนำไปวิเคราะห์หาสารประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่นละอองขนาดเล็ก หาสัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน (OC/EC) และสัดส่วน Char-EC/Soot-EC เพื่อบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดในบรรยากาศทั่วไป ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว งานวิจัยในประเทศไทยส่วนใหญ่มีการหาสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ต่อความเข้มข้นของฝุ่นรวม (PM10:TSP) ในบรรยากาศ ซึ่งสัดส่วนของ PM10:TSP มีค่าอยู่ระหว่าง 40-60% หมายความว่าในบรรยากาศโดยทั่วไปความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวมในบรรยากาศในกรุงเทพมหานคร ประมาณครึ่งหนึ่งเป็นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (พรรณวดี สุวัฒิกะ, 2010) แต่ในปีพุทธศักราช 2551 ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM 2.5) ในบรรยากาศโดยทั่วไป ในงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM2.5/PM10) ในบรรยากาศ และหาสัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน (OC/EC) ในฝุ่นละอองขนาดเล็ก เพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นในบรรยากาศโดยมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 การเตรียมการเก็บตัวอย่าง

1) การเตรียมกระดาษกรอง ก่อนการชั่งน้ำหนักกระดาษกรอง ที่นำไปเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาด 10 – 2.5 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เตรียมกระดาษกรองควอตซ์โดยการเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมงเพื่อขจัดคาร์บอนอินทรีย์ออก หลังจากนั้นนำไปใส่ในโถดูดความชื้นที่มีซิลิกาเจลบรรจุอยู่เพื่อดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง

2) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่างบนเครื่องชั่งที่มีความละเอียดทศนิยม 6 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองอย่างน้อย 3 ซ้ำ บันทึกค่า โดยเก็บกระดาษกรองไว้ในตลับพลาสติก โดยเก็บรักษากระดาษกรอง 1 แผ่นต่อ 1 กล่อง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนก่อนดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

3.5.2 การดำเนินการเก็บตัวอย่าง

3.5.2.1 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนด้วยเครื่อง PM10 Hi-volume Air sampler ด้วยอัตราการไหล 1.13 ± 10% ลูกบาศก์เมตรต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.5.2.2 ฝุ่นละอองขนาด 10 – 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

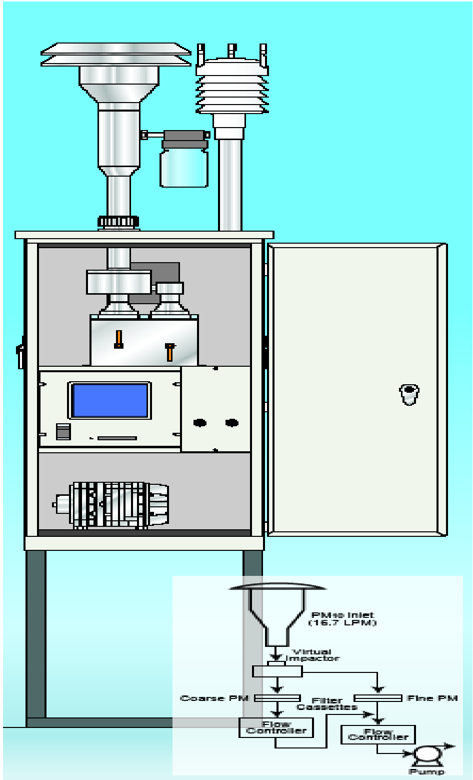
เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาด 10 – 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยเครื่อง Dichotomous air sampler รุ่น Partisol model 2000-D แสดงในภาพที่ 3.5 โดยเครื่องได้ออกแบบอัตราการไหลรวม 16.7± 10% ลิตรต่อนาที โดยแบ่งเป็นสองส่วน คือเก็บตัวอย่าง PM10 ที่อัตราการไหล 1.67± 10 % ลิตรต่อนาที และเก็บตัวอย่าง PM2.5 ที่อัตราการไหล 15± 10% ลิตรต่อนาที สามารถควบคุมและเก็บข้อมูลอัตราการไหลของอากาศได้โดยอัตโนมัติ

3.5.2.3 ฝุ่นจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ

เก็บตัวอย่างฝุ่นจากแหล่งกำเนิดด้วยเครื่อง Handy sampler โดยเก็บจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซล แก๊สโซลีน และ LPG ที่อัตราการไหล 2.5 ลิตรต่อนาที เก็บจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเวลา 15 นาทีและเก็บจากรถยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีน และ LPG 30 นาที ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ รวมทั้งหมด 9 ตัวอย่าง แสดงการเก็บตัวอย่างในภาพที่ 3.6

3.5.2.4 แบล็กคาร์บอน

เก็บตัวอย่างแบล็กคาร์บอนโดยเครื่อง micro Aethalometer ด้วยอัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อนาที โดยหลักการของเครื่อง micro Aethalometer เป็นเครื่องมือที่วัดการดูดกลืนแสงโดยส่งผ่านอนุภาคของแบล็กคาร์บอนจากบรรยากาศที่เก็บรวบรวมไว้ในกระดาษกรองอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแบล็กคาร์บอนจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร และเครื่องจะประมวลผลออกมาเป็นค่าความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน



ภาพที่ 3.5 เครื่อง Dichotomous air sampler

(ที่มา: Kimoto, 2006)

ภาพที่ 3.6 เครื่อง Handy sampler

3.5.3 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.5.3.1 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด 10 – 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

1) หลังการเก็บตัวอย่างฝุ่น ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่างบนเครื่องชั่งที่มีความละเอียดทศนิยม 6 ตำแหน่ง ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองอย่างน้อย 3 ซ้ำ บันทึกค่า อุณหภูมิ วันที่ และเวลา

2) การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองโดยเครื่อง Dichotomous air sampler

สำหรับความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

$$Cf = \frac{Mf}{Vf}$$

สำหรับความเข้มข้นฝุ่นขนาด 10-2.5 ไมครอน

$$Cc = \frac{Mc}{Vt} - \left(\frac{Vc}{Vt}\right) \times \mathrm{Cf}$$

สำหรับความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

$$Ct = Cf + Cc$$

เมื่อ C_t =ความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (มคก/ลบ.ม.)

C_c =ความเข้มข้นฝุ่นขนาด 10-2.5 ไมโครกรัม (ฝุ่นหยาบ) (มคก/ลบ.ม.)

C_f =ความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมโครกรัม (ฝุ่นละเอียด) (มคก/ลบ.ม.)

M_f =น้ำหนักฝุ่นละเอียด (ไมโครกรัม)

M_c =น้ำหนักฝุ่นหยาบ (ไมโครกรัม)

V_f =ปริมาตรอากาศที่ใช้เก็บฝุ่นละเอียด (ลูกบาศก์เมตร)

V_c= ปริมาตรอากาศที่ใช้เก็บฝุ่นหยาบ (ลูกบาศก์เมตร)

V_t =ปริมาตรอากาศที่ใช้เก็บฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (ลูกบาศก์เมตร)

ทั้งนี้การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศวิเคราะห์ได้จากอุณหภูมิและความดัน ณ สภาพแวดล้อมขณะนั้น สำหรับการนำมาคำนวณและประมวลผลด้วยระบบอัตโนมัติ ชุดควบคุมอัตราการไหลโดยมวลภายในเครื่องเก็บตัวอย่างจะมีการปรับเทียบ อุณหภูมิไว้ที่ 0 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 1 บรรยากาศ (1013.2 มิลลิบาร์ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท) เพื่อเป็นชุดข้อมูลเปรียบเทียบกับอัตราการไหลภายในตัวเครื่อง

ความเข้มข้นโดยมวลของฝุ่นละอองในบรรยากาศ อ้างอิงตามมาตรฐานของ U.S.EPA จะต้องมีหน่วยของปริมาตรเป็นลูกบาศก์เมตร หากอัตราการไหลของอากาศสูงกว่าระดับที่ตั้งเอาไว้ เครื่อง Dichotomous air sampler รุ่น Partisol model 2000-D จะมีการปรับอย่างรวดเร็ว โดยมีการคำนวณและปรับอัตราการไหลของอากาศโดยอัตโนมัติในหน่วยปริมาตรเป็นลูกบาศก์เมตร เก็บข้อมูลตัวอย่างและสามารถถกลับมาดูข้อมูลย้อนหลังได้

3.5.3.2 การวิเคราะห์สารประกอบคาร์บอนในฝุ่น

วิเคราะห์ด้วยเครื่องความร้อนและแสง (Thermal/Optical Carbon Analyzer) ตาม IMPROVE protocol (Interagency Monitoring of Protected Visual Environments) ด้วยวิธี thermal/optical reflectance (TOR) (Chow และคณะ 2007) โดยวิเคราะห์คาร์บอน 8 ค่าได้แก่ OC1 OC2 OC3 OC4 EC1 EC2 EC3 และ OP หลังจากวิเคราะห์คาร์บอนทั้ง 8 แล้ว สามารถนำมา

คำนวณหา OC ได้จากสูตร OC= OC1+OC2+OC3+OC4+OP และค่า EC ได้จากสูตร EC = EC1+EC2+EC3-OP (Gu et al., 2010) EC สามารถแบ่งย่อยสารได้ 2 ประเภท คือ Char –EC และ Soot –EC สามารถคำนวณหา Char-EC = EC1 – OP และ Soot-EC = EC2 + EC3 (Han และคณะ, 2007)

ตารางที่ 3.1พารามิเตอร์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด

พารามิเตอร์	**เครื่องมือ**
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน	PM10 Hi-volume Air sampler และ Dichotomous air sampler
ฝุ่นละอองขนาด 10 – 2.5 ไมครอน	Dichotomous air sampler รุ่น Partisol model 2000-D
ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน	Dichotomous air samplerรุ่น Partisol model 2000-D
ฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดจากยานพาหนะ	Handy sampler
แบล็กคาร์บอน	micro Aethalometer
ธาตุคาร์บอน	Thermal/Optical Carbon Analyzer
คาร์บอนอินทรีย์	Thermal/Optical Carbon Analyzer
Char –EC	Thermal/Optical Carbon Analyzer
Soot –EC	Thermal/Optical Carbon Analyzer
อุณหภูมิ	กรมอุตุนิยมวิทยา
ความเร็วลม	กรมอุตุนิยมวิทยา
ปริมาณน้ำฝน	กรมอุตุนิยมวิทยา

3.6 การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

1. เปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนและธาตุคาร์บอนในฝุ่นในฤดูฝน และฤดูแล้ง

2. ศึกษาสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM2.5/PM10) ในบรรยากาศ

3. ศึกษาความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงโดยตรงจากการวัดอย่างต่อเนื่องโดยเครื่อง micro Aethalometer ในฤดูแล้ง และฤดูฝน วิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ยรายชั่วโมง และนำมาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นกับธาตุคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็ก

4. เปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่น ได้แก่ คาร์บอนทั้งหมด คาร์บอนอินทรีย์ และธาตุคาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

5. ศึกษาค่าคาร์บอนในฝุ่นทั้ง 8 ประเภทเพื่อวิเคราะห์แหล่งกำเนิดของฝุ่นในบรรยากาศบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยนำไปเทียบในตารางที่ 2.4

6. ศึกษาสัดส่วนความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน (OC/EC) ในฝุ่นแต่ละขนาดเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นในบรรยากาศบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยนำสัดส่วนของ OC/EC ไปเทียบในตารางที่ 2.3 เพื่อวิเคราะห์แหล่งกำเนิด

7. ศึกษาสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ในฝุ่นเพื่อบ่งชี้แหล่งกำเนิดของฝุ่นในบรรยากาศโดยนำเทียบในตารางที่ 2.5

8. ศึกษาค่าคาร์บอนในฝุ่นทั้ง 8 ประเภท สัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC และสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ในฝุ่นจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะ

9. เปรียบสัดส่วนของความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ต่อธาตุคาร์บอน (OC/EC) ในฝุ่นกับประเทศอื่นๆในภูมิภาคเอเชีย

10.หาความสัมพันธ์ขององค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นในบรรยากาศบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลมลพิษอากาศจากสถานีดินแดงซึ่งเป็นพื้นที่ที่อยู่ใกล้จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมีการตรวจวัดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยวิเคราะห์จากสหสัมพันธ์ด้วยวิธีของเพียร์สัน (Pearson Correlation(r)) ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว

บทที่ 4
ผลการศึกษา

ในการศึกษาองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองในบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมง โดยเก็บฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler เก็บฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10-2.5 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนโดยเครื่อง Dichotomous air sampler จำนวน 87 ตัวอย่าง เก็บฝุ่นจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ (ดีเซล แก๊สแอลพีจี แก๊สโซลีน) โดยเครื่อง Handy sampler จำนวน 9 ตัวอย่าง ตรวจวัดแบล็คคาร์บอนด้วยเครื่อง micro Aethalometer จำนวน 30 ตัวอย่าง นำกระดาษกรองฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10-2.5 ไมครอน ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นจากแหล่งกำเนิดประเภทยานพาหนะ ไปวิเคราะห์องค์ประกอบคาร์บอนด้วยวิธีความร้อนและแสงเพื่อระบุแหล่งกำเนิดในเขตเมืองบริเวณกรุงเทพมหานคร ได้ผลดังนี้

4.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศ

4.1.1 ข้อมูลสภาพอากาศ

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองดำเนินการตั้งแต่วันที่ 5 ธันวาคม 2554 ถึง 27 กุมภาพันธ์ 2555 จัดเป็นช่วงฤดูแล้งเนื่องจากมีปริมาณน้ำฝนน้อยกว่า 100 มม. (ตารางที่ 4.1) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในช่วงนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.7-64.9 มม. และตั้งแต่วันที่ 2 พฤษภาคม ถึง 24 กรกฎาคม 2555 จัดเป็นช่วงฤดูฝน ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในช่วงนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 121.9-196.4 มม. ซึ่งในช่วงฤดูฝนของการเก็บนี้ตัวอย่างฝุ่นละอองนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างแบล็กคาร์บอนไปด้วย และทำการเก็บตัวอย่างแบล็กคาร์บอนในช่วงฤดูแล้งถัดมาตั้งแต่วันที่ 1 พฤศจิกายน 2555 – 31 มกราคม 2556 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนในช่วงนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 8.1-88.9 มม.

ในช่วงฤดูแล้งของช่วงเวลาที่ศึกษาทิศทางลมส่วนใหญ่ที่พัดผ่านกรุงเทพมหานครเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือ ตะวันออกและลมใต้ และในช่วงฤดูฝนทิศทางลมส่วนใหญ่ที่พัดผ่านกรุงเทพมหานครเป็นลมตะวันตกเฉียงใต้และลมใต้ ซึ่งลมตะวันออกเฉียงเหนือและลมตะวันออกพัดพามลพิษอากาศจากจังหวัดฉะเชิงเทรา ลมตะวันตกเฉียงใต้พัดพามลพิษอากาศจากจังหวัดสุมทรสาคร และลมใต้พัดพามลพิษอากาศจากจังหวัดสมุทรปราการซึ่งเป็นทั้งสามเมืองเป็นเมืองอุตสาหกรรม หลังจากนั้นกระแสลมพัดผ่านเข้าตัวเมืองกรุงเทพมหานครที่มีมลพิษอากาศจากการจราจรสูงมายังจุดเก็บตัวอย่าง และในช่วงเดือนธันวาคม ถึงเดือนเมษายนมีการตรวจพบการเกิด

ไฟไหม้ป่าและพื้นที่ทางการเกษตรเป็นจำนวนมากในประเทศไทยเนื่องจากสภาพอากาศที่แห้งแล้ง แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และทิศทางลมเฉลี่ยรายเดือนปี 2554 -2556

ปี	2554												
เดือน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ยรายปี
ปริมาณน้ำฝน, มม.	0.2	21.8	173.3	134.7	296.5	411.9	317.6	297.0	223.6	362	0	0.7	186.6
อุณหภูมิ, °C	27.1	28.6	27.1	29.2	29.7	29.2	28.6	28.4	28.3	28.2	29.3	26.8	28.37
ทิศทางลม	E	S,SW	NW	S	SW	S	SW	SW	SW	E	NW	NE	-
ปี	2555												
เดือน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ยรายปี
ปริมาณน้ำฝน, มม.	44.2	64.9	24.1	56.1	121.9	134.8	196.4	186.6	601.1	201.2	88.9	8.1	144.0
อุณหภูมิ, °C	28.2	28.9	30.46	31.2	30.4	29.4	28.6	28.5	27.7	28.7	28.6	28.9	29.1
ทิศทางลม	NE,E	S	S	S	SW	S,S	SW	SW	W	N	S	E	-
ปี	2556												
เดือน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	เฉลี่ยรายปี
ปริมาณน้ำฝน, มม.	41.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
อุณหภูมิ, °C	27.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ทิศทางลม	E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ: ช่วงที่แรเงาคือช่วงเวลาการศึกษา

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบการเกิดไฟไหม้ป่าและพื้นที่ทางการเกษตรทั่วประเทศรายเดือน ปี 2554 – 2555

พื้นที่ป่าถูกไฟไหม้และพื้นที่ทางการเกษตร, ไร่												
เดือน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ปี 2554	4,050.0	10,822.3	7,829.4	2,557.5	51	-	11.0	3.0	-	0.0	18.0	753.0
ปี 2555	2,308.3	16,100.0	12,759.0	3,090.1	264.3	326.4	1,748.5	7,502.0	91.7	-	-	-

หมายเหตุ: ช่วงที่แรเงาคือช่วงเวลาการศึกษา

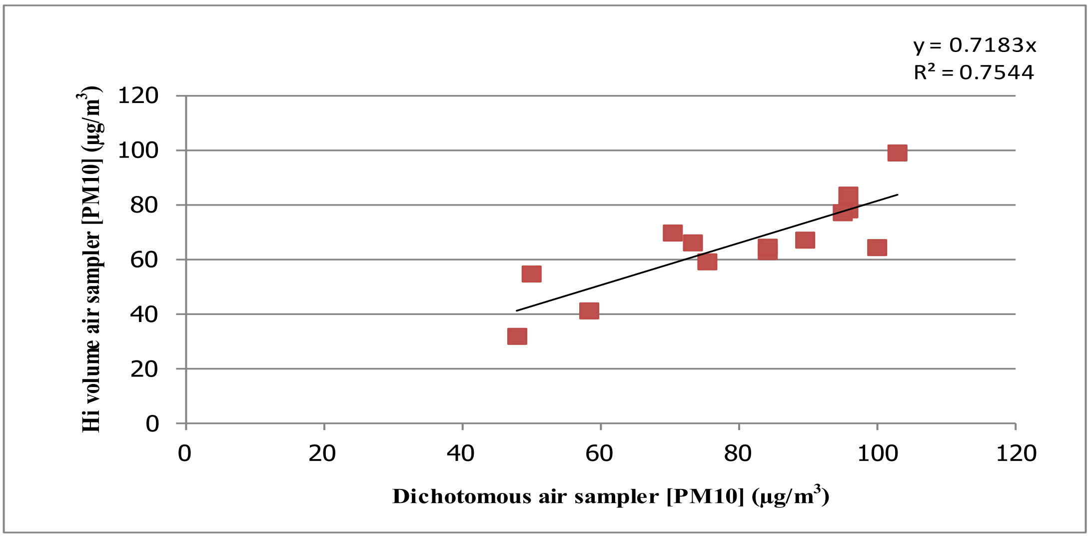
ที่มา: กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช, 2555

4.1.2 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM10 โดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler และ Dichotomous air sampler ในฤดูแล้ง และฤดูฝน

ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมงโดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler และความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมงโดยเครื่อง Dichotomous air sampler (หาค่าความเข้มข้นฝุ่น PM10 จากเครื่อง Dichotomous air samplerได้จากความเข้มข้นฝุ่น PM10-2.5 บวกความเข้มข้นฝุ่น PM2.5) แสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าในฤดูแล้ง ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมงโดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler มีค่าระหว่าง 32.02 - 99.26 มคก./ลบ.ม.มีค่าเฉลี่ย 65.85 มคก./ลบ.ม. ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมงโดยเครื่อง Dichotomous air sampler มีค่าระหว่าง 47.87-102.84 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 79.53 มคก./ลบ.ม. และในฤดูฝนความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมงโดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler มีค่าระหว่าง 23.63- 50.15 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 32.11 มคก./ลบ.ม.ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมงโดยเครื่อง Dichotomous air sampler มีค่าระหว่าง 26.22- 64.10 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 44.76 มคก./ลบ.ม. พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM10 ทั้งสองฤดูมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐานของ PM10 เท่ากับ NAAQS 120 ug/m^3)

4.1.3 ความสัมพันธ์ของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนโดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler และ Dichotomous air sampler

โดยส่วนใหญ่การเก็บฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในประเทศไทย มักใช้ในเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler การทดลองนี้จึงหาความสัมพันธ์ของเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler และเครื่อง Dichotomous air sampler โดยนำค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM10 ที่เก็บโดยเครื่อง Dichotomous air sampler และความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM10 ที่เก็บโดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง แสดงในภาพที่ 4.1 พบว่าอธิบายความสัมพันธ์ได้สูง R^2 มีค่า 0.754 แสดงว่าตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนที่เก็บทั้งสองเครื่องมือมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นฝุ่น PM10 โดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler และ Dichotomous air sampler

4.1.4 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM2.5 และสัดส่วนของPM2.5/PM10 โดยเครื่อง Dichotomous air sampler ในฤดูแล้ง และฤดูฝน

ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเก็บโดยเครื่อง Dichotomous air sampler เท่านั้น พบว่าในฤดูแล้งความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าระหว่าง 26.85 - 68.52 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 47.17 มคก./ลบ.ม. และในฤดูฝนความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าระหว่าง 12.04- 32.41 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 22.85 มคก./ลบ.ม. แสดงในตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ในฤดูแล้งเกินค่ามาตรฐาน 6 ตัวอย่าง (ค่ามาตรฐานของ PM2.5 เท่ากับ 50 ug/m^3)

ผลการศึกษาความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนทั้งสองฤดูโดยเครื่อง Dichotomous air sampler พบว่าในฤดูฝนความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) มีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของฤดูแล้ง แสดงในภาพที่ 4.2 ผลสืบเนื่องมาจากกระบวนการชะล้างของฝน ซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถช่วยลดระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศได้ เนื่องจากการชะล้างของฝนเป็นกระบวนการหลักที่ช่วยเพิ่มการตกสะสมของฝุ่นละออง ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศลดลงนอกจากนี้การตกของฝนยังทำให้ความชื้นของดินเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเป็นการลดการปลดปล่อยของฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดมาจากธรรมชาติได้อีกทางหนึ่ง เช่น การฟุ้งกระจายของฝุ่นดิน (Qin and Oduyemi, 2003)

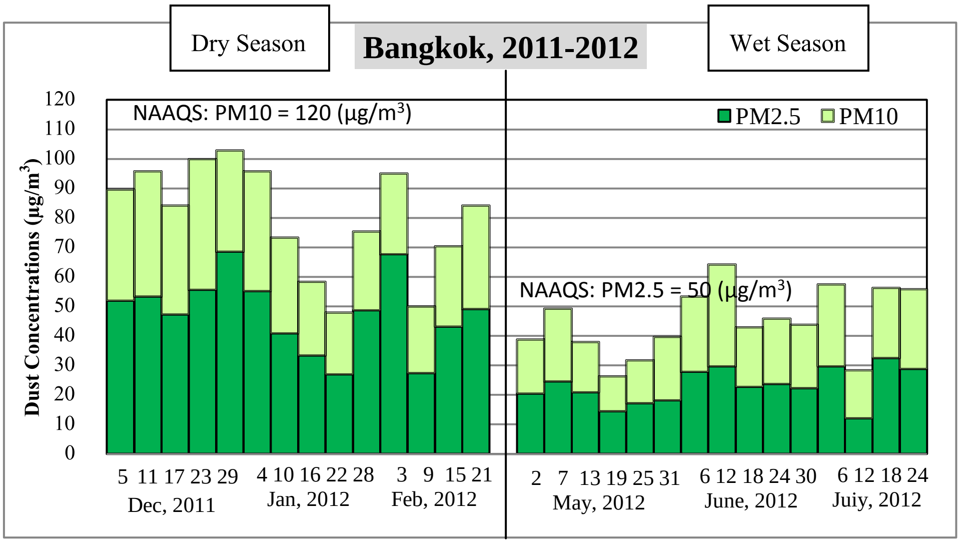
ในฤดูแล้งสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง PM2.5/PM10 มีค่าเฉลี่ย 0.60 และในฤดูฝนสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง PM2.5/PM10 มีค่าเฉลี่ย 0.51 พบสัดส่วนความเข้มข้น PM2.5/PM10 ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยของสัดส่วนต่ำกว่าในฤดูแล้ง เนื่องจากฝุ่น PM2.5 มีพื้นที่ผิวมากกว่าฝุ่น PM10 จึงถูกดักจับด้วยความชื้นและชะด้วยฝนได้สูงกว่า

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM10 และPM2.5 และสัดส่วนของ PM2.5 ต่อ PM10 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน

	จำนวนตัวอย่าง		ฤดูแล้ง 5 ธันวาคม 2554- 27 กุมภาพันธ์2555			ฤดูฝน 2 พฤษภาคม 2555- 24 กรกฎาคม 2555		
	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย
[1]ความเข้มข้น PM_{10} ($\mu g/m^3$)	14	15	32.02	99.26	65.85	23.63	50.15	32.11
[2]ความเข้มข้น PM_{10} ($\mu g/m^3$)	14	15	47.88	102.83	79.53	26.22	64.10	44.76
[2]ความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	14	15	26.85	68.52	47.72	12.04	32.41	22.85
[2]สัดส่วน $PM_{2.5}/PM_{10}$	14	15	0.55	0.71	0.60	0.43	0.58	0.51
มาตรฐาน	ความเข้มข้นฝุ่น PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 120 มคก./ลบ.ม.							
	ความเข้มข้นฝุ่น PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่เกิน 50 มคก./ลบ.ม.							

หมายเหตุ: [1] หมายถึง เก็บโดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler

[2] หมายถึง เก็บโดยเครื่อง Dichotomous air sampler



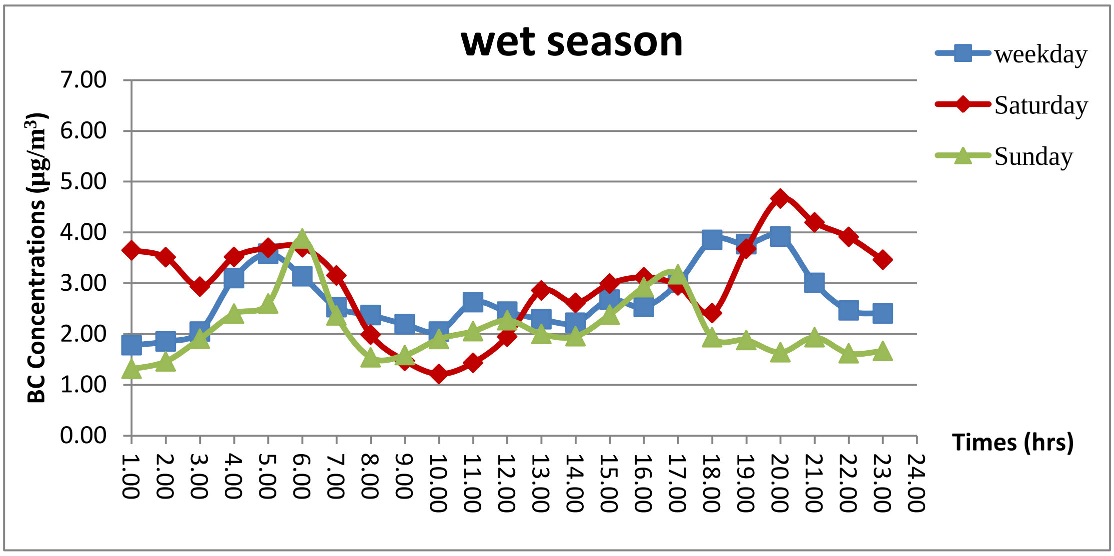
ภาพที่ 4.2 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM10 และPM2.5 และสัดส่วนของ PM2.5/ PM10 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน

4.2 ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมง

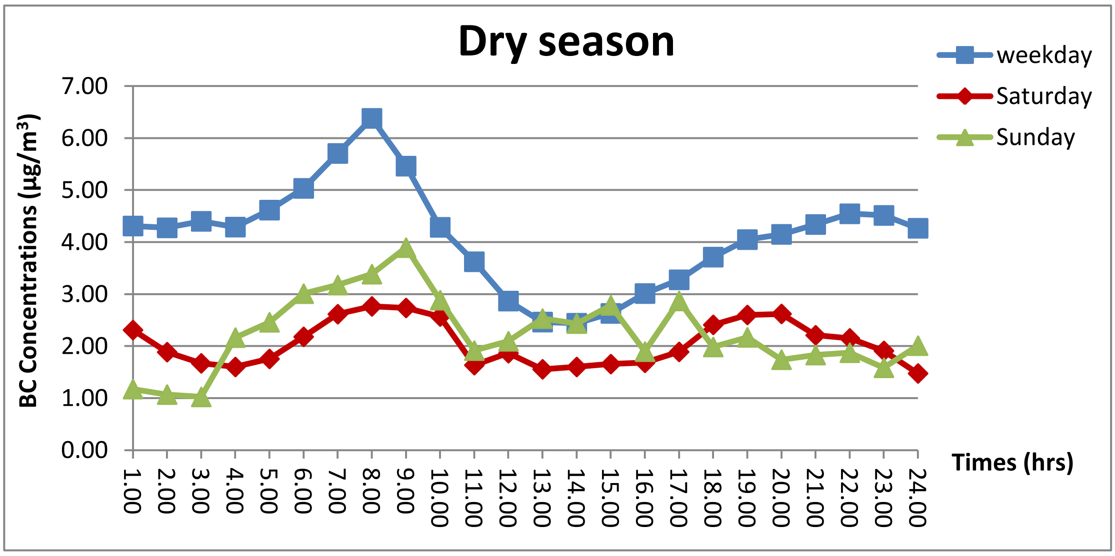
ผลการศึกษาความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมง แบ่งตัวอย่างการศึกษาความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงช่วงวันทำงาน (วันจันทร์ ถึงวันศุกร์) วันเสาร์ และวันอาทิตย์ พบว่าในฤดูฝนความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงมีค่าระหว่าง 1.91 ถึง 3.71 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 2.65 มคก./ลบ.ม. (ภาพที่ 4.3) ในฤดูแล้งความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงมีค่าระหว่าง 2.33 ถึง 5.50 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 3.64 มคก./ลบ.ม. (ภาพที่ 4.4) ในฤดูแล้งความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าฤดูฝน 35% ซึ่งสอดคล้องกับค่าของความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กในฤดูแล้ง มีค่าสูงกว่าความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กฤดูฝนเนื่องจากถูกชะล้างด้วยฝน (หัวข้อที่ 4.1.4)

ในฤดูฝนช่วงวันทำงานพบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 5.00-7.00 น. และ 18.00-22.00 น. และวันเสาร์พบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 5.00-7.00 น. และ 20.00-22.00 น. เนื่องจากการจราจรเร่งด่วนในช่วงเช้า เย็น และความสูงผสมต่ำ (Mixing Height)ในช่วงกลางคืน แต่ในวันอาทิตย์ พบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดแค่ช่วงเช้าเวลาประมาณ 5.00-8.00 น. ซึ่งสอดคล้องกับความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูแล้ง ที่พบช่วงวันทำงานพบ

ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดในช่วงเช้า เย็น และกลางคืนเวลาประมาณ 6.00-9.00 น. และ 19.00-23.00 น. และวันเสาร์พบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดในช่วง 6.00-9.00 น. และ 18.00-22.00 น. ส่วนในวันอาทิตย์พบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดแค่ช่วงเช้าเวลาประมาณ 5.00-9.00 น. ดังนั้นช่วงเวลาที่มีการจราจรเร่งด่วน และความสูงผสมต่ำในช่วงกลางคืนมีผลให้พบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงมีค่าสูงขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Husain และคณะ (2007) ที่พบว่าความเข้มข้นแบล็กคาร์บอนสูงเนื่องจาก การจราจรสูงในช่วงเย็น และความสูงผสมต่ำในช่วงกลางคืน



ภาพที่ 4.3 ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูฝน



ภาพที่ 4.4 ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูแล้ง

4.3 องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองในบรรยากาศ

องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองในบรรยากาศจะทำการศึกษาความเข้มข้นองค์ประกอบคาร์บอน ได้แก่ ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด (TC) คาร์บอนอินทรีย์ (OC) และธาตุคาร์บอน (EC) ศึกษาสัดส่วนขององค์ประกอบคาร์บอนใน PM10 และ PM2.5 และเปรียบเทียบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน และความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนในบรรยากาศ ได้ผลดังนี้

4.3.1 ความเข้มข้น และสัดส่วนขององค์ประกอบคาร์บอนใน PM10 และ PM2.5

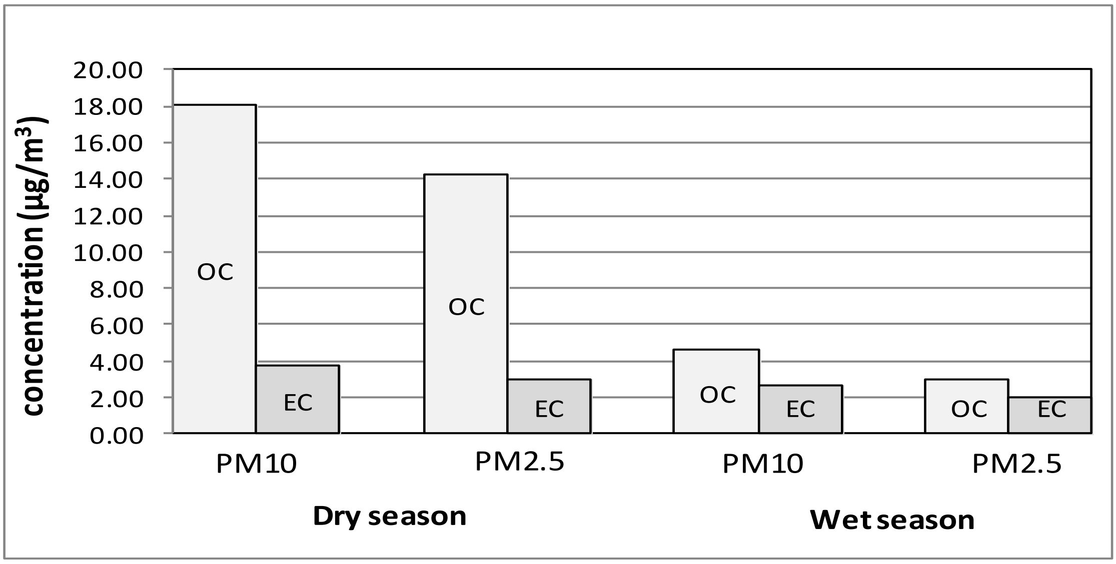
องค์ประกอบคาร์บอนใน PM10 และ PM2.5 ประกอบด้วย ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด (TC) คาร์บอนอินทรีย์ (OC) และธาตุคาร์บอน (EC) แสดงในตารางที่ 4.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ (OC) และธาตุคาร์บอน (EC) พบว่า ในฤดูแล้งค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ OC และ EC ใน PM10 เท่ากับ 18.09 และ 3.79 มคก./ลบ.ม. และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ OC และ EC ใน PM2.5 เท่ากับ 14.26 และ 3.03 มคก./ลบ.ม. ในฤดูฝนค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ OC และ EC ใน PM10 เท่ากับ 4.65 และ 2.69 มคก./ลบ.ม. และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ OC และ EC ใน PM2.5 เท่ากับ 3.03 และ 2.02 มคก./ลบ.ม. (ภาพที่ 4.6) ความเข้มข้นของ OC และ EC มีค่าต่ำในฤดูฝนเนื่องจากถูกขจัดด้วยฝน และมีการเผาไหม้ของชีวมวลเพียงเล็กน้อยในช่วงฤดูฝน ส่วนในฤดูแล้งความเข้มข้นของ OC และEC มีค่าสูงเนื่องจากมีการเผาไหม้ของชีวมวลสูงจึงทำให้ความเข้มข้นของ OC และEC มีค่าสูง (Sahu และคณะ, 2011)

ในฤดูแล้งสัดส่วนความเข้มข้นของ TC OC และ EC ของ PM10 ต่อความเข้มข้นของ PM10 มีค่าเท่ากับ 0.27 0.42 และ0.09 และสัดส่วนความเข้มข้นของ TC OC และ EC ใน PM2.5 ต่อความเข้มข้นของ PM2.5 มีค่าเท่ากับ 0.36 0.22 และ 0.05 ในฤดูฝนสัดส่วนความเข้มข้นของ TC OC และ EC ของ PM10 ต่อความเข้มข้นของ PM10 มีค่าเท่ากับ 0.18 0.07 และ0.11 และสัดส่วนความเข้มข้นของ TC OC และ EC ใน PM2.5 ต่อความเข้มข้นของ PM2.5 มีค่าเท่ากับ 0.25 0.15 และ 0.10 แสดงว่า พบว่า ในฤดูแล้งในฝุ่น PM10 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 27% และในฝุ่น PM2.5 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 36% ในฤดูฝนในฝุ่น PM10 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 18% และในฝุ่น PM2.5 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 25% ซึ่งสัดส่วนของคาร์บอนทั้งหมดใน PM2.5 มีค่ามากกว่าสัดส่วนของคาร์บอนทั้งหมดใน PM10 สรุปได้ว่าคาร์บอนทั้งหมดในบรรยากาศส่วนใหญ่อยู่ใน PM2.5 และความเข้มข้นคาร์บอนทั้งหมดในฤดูแล้งสูงกว่าความเข้มข้นคาร์บอนทั้งหมดในฤดูฝน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Gu และคณะ (2010) ที่พบสัดส่วนคาร์บอนในบรรยากาศ

ประมาณ 20-60% พบอยู่ในความเข้มข้นของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และปริมาณคาร์บอนทั้งหมดในฤดูแล้งมีปริมาณสูงกว่าฤดูฝน

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้น คาร์บอนทั้งหมด อินทรีย์คาร์บอน ธาตุคาร์บอน เฉลี่ยในฝุ่น PM10 และ PM2.5

ช่วงเวลา	ประเภทฝุ่น		ความเข้มข้น (μg/m ³)	TC (μg/m ³)	TC/PM	OC (μg/m³)	OC/PM	EC (μg/m ³)	EC/PM
ฤดูแล้ง 5 ธ.ค. 2554- 27 ก.พ. 2555 (n=14)	PM_{10}	ค่าต่ำสุด	47.87	8.64	0.17	6.93	0.14	1.71	0.03
		ค่าสูงสุด	102.84	37.65	0.45	32.25	0.38	5.40	0.06
		ค่าเฉลี่ย	79.54	21.88	0.27	18.09	0.22	3.79	0.05
	$PM_{10-2.5}$	ค่าต่ำสุด	21.02	2.15	0.10	1.81	0.08	0.35	0.02
		ค่าสูงสุด	44.34	6.01	0.17	5.14	0.15	1.14	0.03
		ค่าเฉลี่ย	32.42	4.58	0.14	3.83	0.12	0.77	0.02
	$PM_{2.5}$	ค่าต่ำสุด	26.85	6.49	0.23	5.13	0.19	1.36	0.05
		ค่าสูงสุด	68.52	31.64	0.64	27.17	0.55	4.52	0.09
		ค่าเฉลี่ย	47.72	17.29	0.36	14.26	0.30	3.03	0.06
ฤดูฝน 2 พ.ค. 2555- 24 ก.ค. 2555 (n=15)	PM_{10}	ค่าต่ำสุด	26.22	3.88	0.08	2.37	0.03	1.52	0.05
		ค่าสูงสุด	64.09	10.69	0.32	6.58	0.12	4.11	0.20
		ค่าเฉลี่ย	44.76	7.34	0.18	4.65	0.07	2.69	0.11
	$PM_{10-2.5}$	ค่าต่ำสุด	11.87	1.13	0.05	0.86	0.04	0.28	0.01
		ค่าสูงสุด	34.46	3.15	0.18	2.45	0.14	1.03	0.06
		ค่าเฉลี่ย	21.93	2.30	0.11	1.63	0.08	0.68	0.03
	$PM_{2.5}$	ค่าต่ำสุด	12.04	2.75	0.12	1.51	0.06	1.24	0.05
		ค่าสูงสุด	32.41	7.67	0.53	4.40	0.31	3.27	0.21
		ค่าเฉลี่ย	22.85	5.05	0.25	3.03	0.15	2.02	0.10

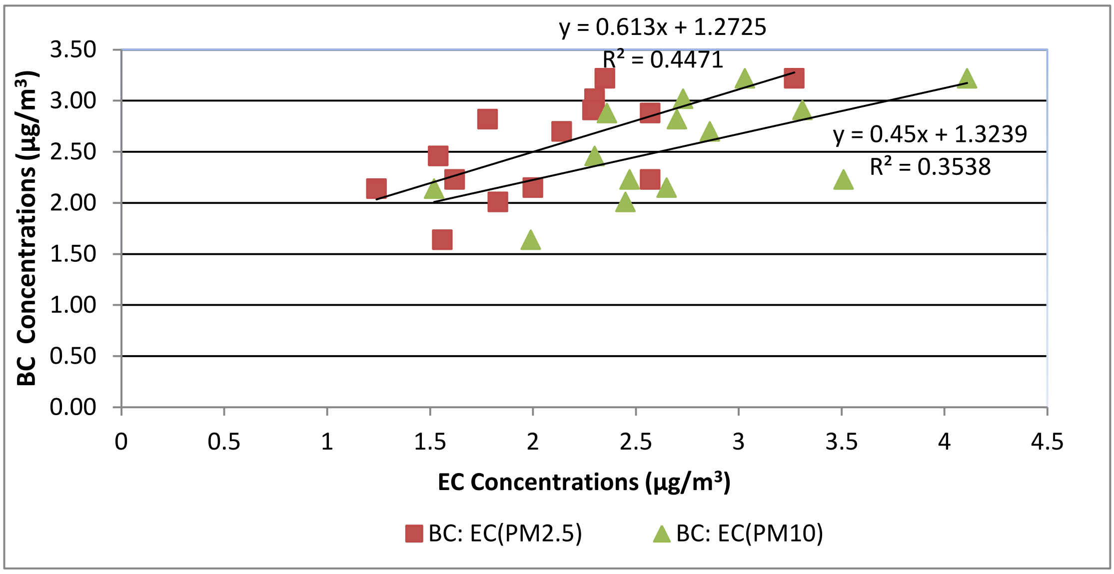


ภาพที่ 4.5 ความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ และธาตุคาร์บอนใน PM10 และ PM2.5 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน

4.3.2 ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอน และความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนในบรรยากาศ

ในฤดูฝนทำการเก็บฝุ่นในบรรยากาศเพื่อหาองค์ประกอบคาร์บอนพร้อมกับการเก็บแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศ เนื่องจากทางทฤษฎีกล่าวว่าธาตุคาร์บอนทั้งหมดในฝุ่นคือแบล็กคาร์บอน งานวิจัยนี้จึงหาความสัมพันธ์ของแบล็กคาร์บอน และธาตุคาร์บอนในฝุ่นในบรรยากาศ ซึ่งผลการศึกษาความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมงมีค่าระหว่าง 1.64-4.09 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 2.65 มคก./ลบ.ม. ความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนใน PM2.5 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงมีค่าระหว่าง 1.24-3.27 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 1.99 มคก./ลบ.ม. และความเข้มข้นของธาตุคาร์บอนใน PM10 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงมีค่าระหว่าง 1.52-4.11 มคก./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ย 2.67 มคก./ลบ.ม.

เมื่อนำความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศ และความเข้มข้นธาตุคาร์บอนในฝุ่น PM2.5 และ PM10 มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง พบว่าอธิบายความสัมพันธ์กันได้ต่ำ มีค่า R^2 0.3538 และ 0.4471 ตามลำดับ (ภาพที่ 4.5) เนื่องจากเทคนิคการวัดแบล็กคาร์บอนและธาตุคาร์บอนในฝุ่นมีคุณสมบัติพื้นฐานของลักษณะทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน อาจจะส่งผลถึงความสัมพันธ์แบล็กคาร์บอนและธาตุคาร์บอนในฝุ่นที่วิเคราะห์ (Han และคณะ, 2007)



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศ และความเข้มข้นธาตุคาร์บอนในฝุ่น PM2.5 และ PM10

4.4 องค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดในฝุ่นยานพาหนะ

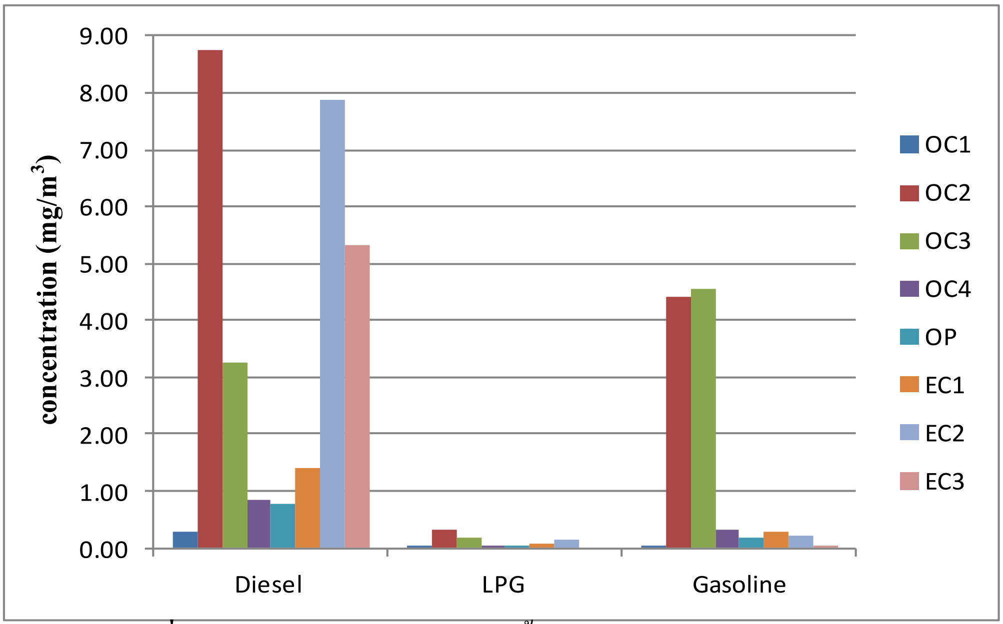
ศึกษาองค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดในฝุ่นยานพาหนะ (ดีเซล แก๊สแอลพีจี และแก๊สโซลีน) เพื่อนำมาเป็นข้อมูลเปรียบเทียบการจำแนกแหล่งกำเนิดจากองค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศได้ชัดเจนยิ่งขึ้น เนื่องจากมลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานครส่วนใหญ่มาจากการการจราจร โดยทำการศึกษาความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท และสัดส่วนขององค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะได้ผลดังนี้

4.4.1 ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทจากแหล่งกำเนิดในฝุ่นยานพาหนะ

ผลการศึกษาความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่นยานพาหนะ (ดีเซล แก๊สแอลพีจี และแก๊สโซลีน) แสดงในภาพที่ 4.7 ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลพบความเข้มข้น OC2 สูงสุดมีค่าเฉลี่ย 8.75 มก./ลบ.ม. รองลงมาคือความเข้มข้น EC2 มีค่าเฉลี่ย 7.87 มก./ลบ.ม. ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สแอลพีจีพบความเข้มข้น OC2 สูงสุดมีค่าเฉลี่ย 0.32 มก./ลบ.ม. รองลงมาคือความเข้มข้น OC3 มีค่าเฉลี่ย 0.18 มก./ลบ.ม. และไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีน พบความเข้มข้น OC3 สูงสุดมีค่าเฉลี่ย 4.54 มก./ลบ.ม. รองลงมาคือความเข้มข้น OC2 มีค่าเฉลี่ย 4.40 มก./ลบ.ม. ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cao และคณะ (2006) ที่พบ EC2 และ OC2 ในไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลเป็นส่วน

ใหญ่ และพบ OC3 และ OC2 ในไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สแอลพีจี และแก๊สโซลีนเป็นส่วนใหญ่

จากอุณหภูมิในการเผาไหม้ที่แตกต่างกันของสารประกอบคาร์บอนในแหล่งกำเนิดแต่ละชนิด (ภาพที่ 2.5) จึงทำให้สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดจากสารประกอบคาร์บอนได้ ซึ่งไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีการสันดาปของเชื้อเพลิงดีเซลที่ความร้อนถึง 600 องศาเซลเซียส จึงทำให้ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีการปลดปล่อย EC2 สูง แต่ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สแอลพีจีและแก๊สโซลีนมีการสันดาปของเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำกว่าไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลใช้อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียสจึงทำให้มีการปลดปล่อย OC3 สูง ส่วน OC2 พบสูงในไอเสียจากยานพาหนะทุกประเภท



ภาพที่ 4.7 ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่นยานพาหนะ

4.4.2 สัดส่วนขององค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะ

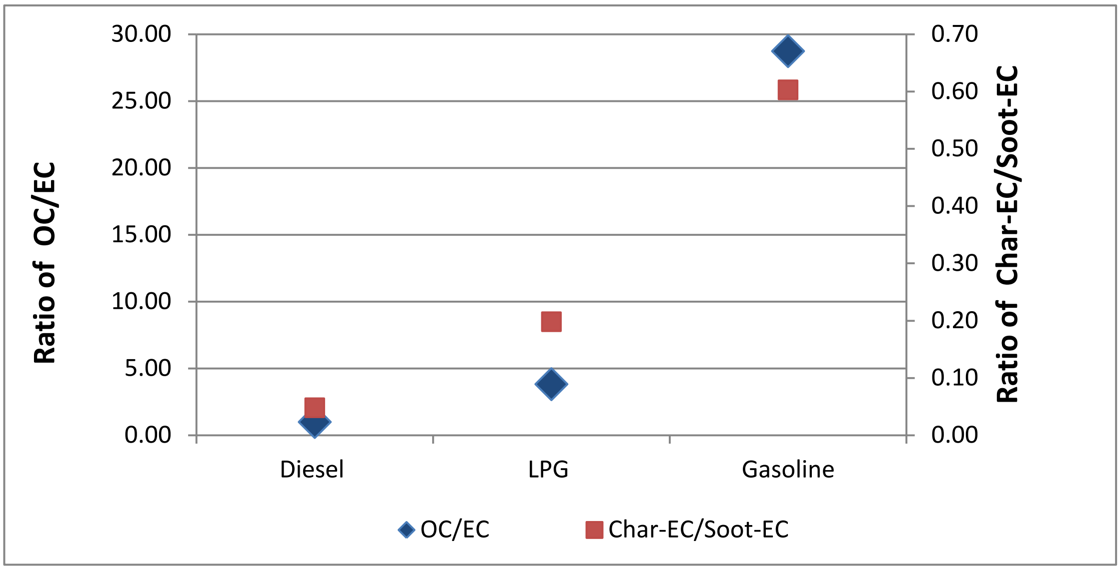
สัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC ในฝุ่นจากยานพาหนะแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.8 พบว่าไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC มีค่าเฉลี่ย 0.98 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schauer และคณะ (1999, 2002) ที่พบไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC มีค่าต่ำกว่า 1 ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สแอลพีจีพบสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC มีค่าเฉลี่ย 3.81 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Schauer และคณะ (1999, 2002) ที่พบไอเสียจากเครื่องยนต์ช้แก๊สแอลพีจีมีสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC อยู่ในช่วง 1.0–4.0 และไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนพบสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC มีค่าเฉลี่ย 28.73 ซึ่งเป็นสัดส่วน

สูงกว่างานวิจัยของ Schauer และคณะ (1999, 2002) ที่พบสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ของไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนอยู่ในช่วง 1.0–4.0

สัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ในฝุ่นจากยานพาหนะแสดงในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.8 พบว่าไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลพบสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC มีค่าเฉลี่ย 0.05 ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สแอลพีจีพบสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC มีค่าเฉลี่ย 0.20 และไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนพบสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC มีค่าเฉลี่ย 0.60 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chow และคณะ (2004) ที่พบไอเสียจากยานพาหนะมีสัดส่วนความเข้มข้น Char-EC/Soot-EC ต่ำกว่า 1

ตารางที่ 4.5 สัดส่วนอินทรีย์คาร์บอนต่อธาตุคาร์บอน และสัดส่วน Char-EC ต่อ Soot-EC เฉลี่ยในฝุ่นยานพาหนะ

ประเภทฝุ่น		[PM] (mg/m^3)	TC (mg/m^3)	OC (mg/m^3)	EC (mg/m^3)	OC/EC	Char-EC (mg/m^3)	Soot-EC (mg/m^3)	Char-EC/ Soot-EC
1	Diesel ค่าเฉลี่ย	44.05±5.24	27.77±0.72	13.63±0.24	13.94±0.53	0.98	0.63±0.07	13.29±0.51	0.05
2	LPG ค่าเฉลี่ย	1.29±0.20	0.76±0.02	0.60±0.02	0.16±0.01	3.81	0.03±0.01	0.13±0.00	0.20
3	Gasoline ค่าเฉลี่ย	10.77±3.28	9.63±3.41	9.31±3.36	0.34±0.09	28.73	0.13±0.03	0.21±0.06	0.60



ภาพที่ 4.8 สัดส่วน OC ต่อ EC และสัดส่วน Char-EC ต่อ Soot-EC เฉลี่ยในฝุ่นยานพาหนะ

4.5 การจำแนกแหล่งกำเนิดจากองค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ

การจำแนกแหล่งกำเนิดจากองค์ประกอบคาร์บอนของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ สามารถจำแนกได้จากความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท สัดส่วนของ OC/EC และ Char-EC/Soot-EC ของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ ได้ผลดังนี้

4.5.1 การจำแนกแหล่งกำเนิดจากคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ

ในแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันจะมีลักษณะของค่าคาร์บอนที่แตกต่างกันไป สามารถนำลักษณะนี้มาบ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดของคาร์บอนในบรรยากาศได้

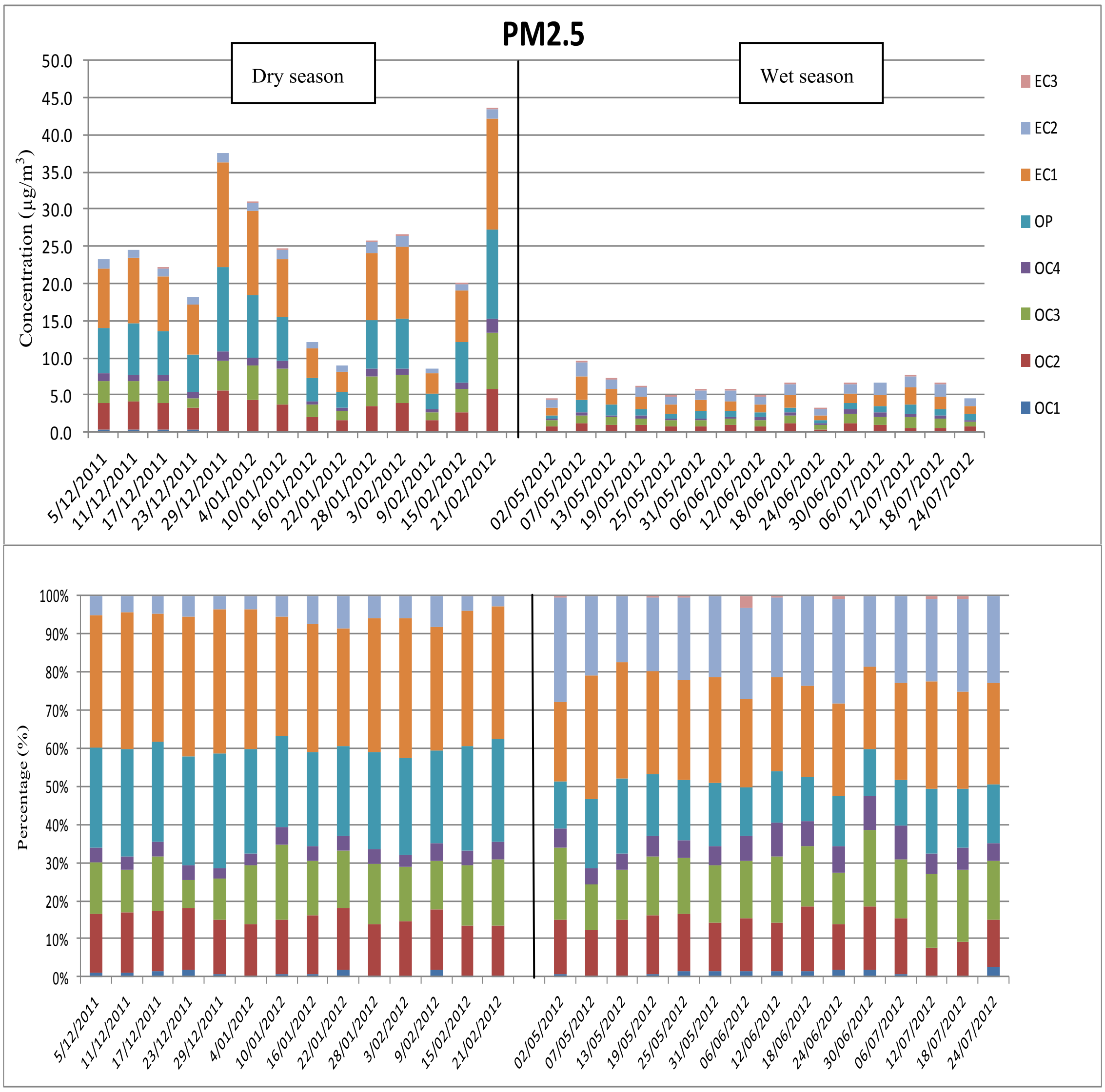
ผลการศึกษาความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่น PM10 และ PM2.5 ในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าฤดูฝนทุกประเภท ถึงแม้ว่าคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่น PM10 และ PM2.5 ทั้งสองฤดูพบความเข้มข้นของคาร์บอนมีความแปรปรวนสูงในแต่ละวัน แต่เปอร์เซ็นต์ของความเข้มข้นคาร์บอนแต่ละชนิดในแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าสัดส่วนแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบคาร์บอนในแต่ละวันมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงในภาพที่ 4.9 4.10 และ 4.11

เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่น PM10 PM10-2.5 และ PM2.5 ในฤดูแล้งและฤดูฝนแสดง (ตารางที่ 4.6) พบว่าในฤดูแล้งค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอน

แต่ละชนิดใน PM10 และ PM2.5 พบค่า EC1 สูงสุดคิดเป็น 32.94 และ 34.63 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ OP คิดเป็น 25.28 และ 26.39 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอน ถัดจากนั้น คือ OC3 (15.39 และ 14.31 เปอร์เซ็นต์) OC2 (14.74 และ 14.81 เปอร์เซ็นต์) EC2 (5.75 และ 5.37 เปอร์เซ็นต์) OC4 (4.70 และ 3.84 เปอร์เซ็นต์) OC1 (1.39 และ 0.93 เปอร์เซ็นต์) และ EC3 (0.04 และ 0.03 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ในฤดูฝนค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนแต่ละชนิดใน PM10 และ PM2.5 พบค่า EC1 สูงสุดคิดเป็น 25.83 และ 25.96 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ EC2 คิดเป็น 19.70 และ 22.27 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอน ถัดจากนั้น คือ OC3 (19.25 และ 16.09 เปอร์เซ็นต์) OP (15.37และ 14.94 เปอร์เซ็นต์) OC2 (9.66 และ 13.19 เปอร์เซ็นต์) OC4 (8.11 และ 6.08 เปอร์เซ็นต์) OC1 (1.34 และ 1.16 เปอร์เซ็นต์) และ EC3 (0.81 และ 0.61 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ซึ่งชนิดคาร์บอนที่พบสูงสุดในฤดูแล้ง และฤดูฝนได้แก่ EC1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cao และคณะ (2005) ได้บ่งชี้ว่าแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่ที่พบค่า EC1 สูงเกิดจากการเผาไหม้ของไอเสียจากยานพาหนะ ในฤดูแล้งชนิดคาร์บอนที่พบรองลงมา คือ OP บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงฟอสซิส และชีวมวล ในฤดูฝนชนิดคาร์บอนที่พบรองลงมา คือ EC2 บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดจากไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล (Cao และคณะ, 2006) เนื่องจากแหล่งกำเนิดหลักของมลพิษทางอากาศในบริเวณเขตเมืองของกรุงเทพมหานครคือการไอเสียจากยานพาหนะจึงพบค่า EC1 สูงที่สุด และไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลจะปล่อยควันดำที่มีความเข้มข้นสูงกว่าไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนหลายเท่าจึงทำให้พบค่า EC2 รองลงมา แต่ในฤดูแล้งจะมีการเผาวัสดุชีวมวลในที่โล่งแจ้งเป็นจำนวนมาก (หัวข้อที่ 4.1.1) จึงทำให้ค่า OP มีค่าสูงในฤดูแล้ง

ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10

ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10-2.5



ภาพที่ 4.11 ความเข้มข้น และเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM2.5

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่น PM10 PM10-2.5 และ PM2.5 ในฤดูแล้งและฤดูฝน

ช่วงเวลา	ประเภทฝุ่น		OC1 (%)	OC2 (%)	OC3 (%)	OC4 (%)	OP (%)	EC1 (%)	EC2 (%)	EC3 (%)
ฤดูแล้ง	PM_{10}	%เฉลี่ย	1.30	14.74	15.39	4.70	25.28	32.94	5.75	0.04
5 ธ.ค. 54-	$PM_{10-2.5}$	%เฉลี่ย	2.61	14.08	20.13	7.94	21.14	26.92	7.28	0.10
27 ก.พ. 55 (n=14)	$PM_{2.5}$	%เฉลี่ย	0.93	14.81	14.01	3.84	26.39	34.63	5.37	0.03
ฤดูฝน	PM_{10}	%เฉลี่ย	1.34	9.66	19.25	8.11	15.37	25.83	19.70	0.81
2 พ.ค. 55 -	$PM_{10-2.5}$	%เฉลี่ย	1.98	1.96	26.22	12.94	16.34	25.32	14.73	1.29
24 ก.ค. 55 (n=15)	$PM_{2.5}$	%เฉลี่ย	1.16	13.19	16.09	6.08	14.94	25.96	22.27	0.61

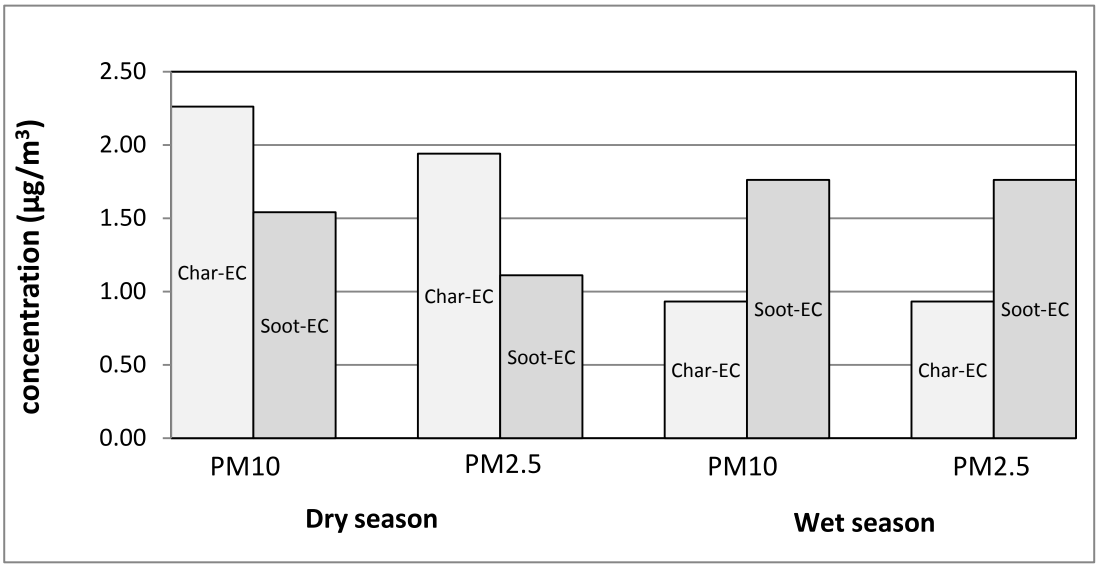
4.5.2 การจำแนกแหล่งกำเนิดจากสัดส่วนของ OC/EC และ Char-EC/Soot-EC ของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศ

สัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC ของฝุ่นในฤดูแล้ง และฤดูฝน แสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.12 พบว่าในฤดูแล้งสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ใน PM10 มีค่าเฉลี่ย 4.63 และสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC ใน PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 4.53 ซึ่งสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC ที่มีค่าระหว่าง 4.0–8.0 พบในแหล่งกำเนิดที่มาจากเชื้อเพลิงที่เผาจากชีวมวล (Zhang และคณะ, 2007) ส่วนในฤดูฝนสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ใน PM10 มีค่าเฉลี่ย 1.77 และสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC ใน PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 1.56 ซึ่งสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ที่มีค่าระหว่าง 1.0–4.0 พบในแหล่งกำเนิดที่มาจากไอเสียจากยานพาหนะ (Schauer และคณะ, 1999, 2002) และสอดคล้องกับการทดลองในหัวข้อที่ 4.4.2 สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ในฝุ่นจากยานพาหนะ พบสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ในฝุ่นจากไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล และแอลพีจีที่มีค่าเฉลี่ย 0.98 และ 3.8 ตามลำดับ

ผลการศึกษาความเข้มข้นของ Char-EC และ Soot-EC แสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.12 พบว่า ความเข้มข้นของ Char-EC และ Soot-EC ในฤดูแล้ง มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Char-EC และ Soot-EC ใน PM10 เท่ากับ 2.26 และ 1.54 มคก./ลบ.ม. และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Char-EC และ Soot-EC ใน PM2.5 เท่ากับ 1.94 และ 1.11 มคก./ลบ.ม. ในฤดูฝน มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Char-EC และ Soot-EC ใน PM10 เท่ากับ 0.93 และ 1.67 มคก./ลบ.ม. และค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ Char-EC และ Soot-EC ใน PM2.5 เท่ากับ 0.68 และ 1.34 มคก./ลบ.ม. ความเข้มข้นของ Char-EC มี

ค่าต่ำในฤดูฝน เนื่องจาก Char-EC สามารถถูกชะด้วยน้ำฝนได้ง่าย แต่ความเข้มข้นของ Char-EC มีค่าสูงในฤดูแล้ง เนื่องจากมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวมวลสูง ส่วนความเข้มข้นของ Soot-EC มีความคงตัวในบรรยากาศสูง จึงทำให้มีความเข้มข้นใกล้เคียงกันทั้งสองฤดู (Han และคณะ, 2009)

สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC แสดงในตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.12 พบว่าในฤดูแล้งสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM10 มีค่าเฉลี่ย 1.42 และสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 1.70 ซึ่งสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ที่มีค่าระหว่าง 1.0-5.0 พบในแหล่งกำเนิดที่มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล (ที่อุณหภูมิสูง) (Chen และคณะ, 2007) ส่วนในฤดูฝนสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM10 มีค่าเฉลี่ย 0.52 และสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 0.49 ซึ่งสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM10 และ PM2.5 ในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่า 1.0 พบในแหล่งกำเนิดที่มาจากไอเสียจากยานพาหนะ(Chow และคณะ, 2004) และสอดคล้องกับการทดลองในหัวข้อที่ 4.4.2 สัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ในฝุ่นจากยานพาหนะ พบสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ในฝุ่นจากยานพาหนะมีค่าต่ำกว่า 1.0 เช่นกัน



ภาพที่ 4.12 สัดส่วน OC ต่อ EC และ Char-EC ต่อ Soot-EC เฉลี่ยใน PM10 และ PM2.5 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน

ตารางที่ 4.7 สัดส่วนอินทรีย์คาร์บอนต่อธาตุคาร์บอน และสัดส่วน Char-EC ต่อ Soot-EC เฉลี่ยใน PM10 และ PM2.5 ในฤดูแล้ง และฤดูฝน

ช่วงเวลา	ประเภทฝุ่น		OC (μg/m³)	EC (μg/m³)	OC/EC	Char-EC (μg/m³)	Soot-EC (μg/m³)	Char-EC/ Soot-EC
ฤดูแล้ง 5 ธ.ค. 2554- 27 ก.พ. 2555 (n=14)	PM_{10}	ค่าต่ำสุด	6.93	1.71	3.59	0.82	0.83	0.79
		ค่าสูงสุด	32.25	5.40	5.98	3.60	1.98	2.01
		ค่าเฉลี่ย	18.09	3.79	4.63	2.26	1.54	1.42
	$PM_{10-2.5}$	ค่าต่ำสุด	1.81	0.35	4.17	0.14	0.13	0.48
		ค่าสูงสุด	5.14	1.14	6.78	0.44	0.70	1.71
		ค่าเฉลี่ย	3.83	0.77	5.13	0.32	0.44	0.85
	$PM_{2.5}$	ค่าต่ำสุด	5.13	1.36	3.36	0.66	0.70	0.90
		ค่าสูงสุด	27.17	4.52	6.07	3.23	1.56	2.62
		ค่าเฉลี่ย	14.26	3.03	4.53	1.94	1.11	1.70
ฤดูฝน 2 พ.ค. 2555 - 24 ก.ค. 2555 (n=15)	PM_{10}	ค่าต่ำสุด	2.37	1.52	1.51	0.46	1.05	0.35
		ค่าสูงสุด	6.58	4.11	2.31	1.69	2.42	0.70
		ค่าเฉลี่ย	4.65	2.69	1.77	0.93	1.76	0.52
	$PM_{10-2.5}$	ค่าต่ำสุด	0.86	0.28	1.67	0.12	0.16	0.40
		ค่าสูงสุด	2.45	1.03	3.76	0.38	0.73	0.82
		ค่าเฉลี่ย	1.63	0.68	2.49	0.25	0.44	0.59
	$PM_{2.5}$	ค่าต่ำสุด	1.51	1.24	1.21	0.35	0.90	0.31
		ค่าสูงสุด	4.40	3.27	2.14	1.31	1.96	0.67
		ค่าเฉลี่ย	3.03	2.02	1.56	0.68	1.34	0.49

4.5.3 สรุปแหล่งกำเนิดของฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศจากองค์ประกอบคาร์บอน

สรุปการเปรียบเทียบองค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดคาร์บอนกับองค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศในฤดูแล้ง และฤดูฝนแสดงในตารางที่ 4.8 โดยนำองค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิด(ข้อที่ 1) เปรียบเทียบกับองค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศในฤดูแล้ง (ข้อที่ 2) และองค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิด (ข้อที่ 3) เปรียบเทียบกับองค์ประกอบคาร์บอนใน

บรรยากาศในฤดูฝน (ข้อที่ 4) พบว่าในฤดูแล้งความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท (OC1 OC2 OC3 OC4 EC1 EC2 EC3 และ OP) ของฝุ่นในบรรยากาศที่พบเป็นส่วนใหญ่ได้แก่ EC1 และ OP สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 4.63 และ 4.53 สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 1.42 และ 1.70 บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้จากเชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนในฤดูฝนความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท ที่พบเป็นส่วนใหญ่ได้แก่ EC1 และ EC2 สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 1.77 และ1.56 สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 0.52 และ 0.49 บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากไอเสียจากยานพาหนะ

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบองค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดกับองค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศในฤดูแล้ง และฤดูฝน

ข้อที่	ประเภทของแหล่งกำเนิด	คาร์บอนทั้ง 8 ประเภท	OC/EC	Char-EC/Soot-EC
1	เชื้อเพลิงจากการเผาชีว-มวล	OP (Cao และคณะ, 2005)	4.0 – 8.0 (Zhang และคณะ, 2007)	1.0 – 5.0 (Chen และคณะ, 2007)
2	ฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศในฤดูแล้ง (จากการทดลองนี้)	พบสูงสุด คือ EC1 และรองลงมา คือ OP	[1]4.63 และ [2]4.53	[1]1.42 และ [2]1.70
3	ไอเสียจากยานพาหนะ	EC1 และ EC2 (Cao และคณะ, 2005) EC2 (การทดลองนี้)	1.0 – 4.0 (Schauer และคณะ, 1999, 2002)	น้อยกว่า 1.0 (Chow และคณะ, 2004) น้อยกว่า 1.0 (การทดลองนี้)
4	ฝุ่นขนาดเล็กในบรรยากาศในฤดูฝน (จากการทดลองนี้)	พบสูงสุด คือ EC1 และรองลงมา คือ EC2	[1]1.77 และ [2]1.56	[1,2]น้อยกว่า 1.0

หมายเหตุ: ช่วงที่แรเงาคือ ค่าองค์ประกอบคาร์บอนจากแหล่งกำเนิดที่ใช้เปรียบเทียบกับค่าองค์ประกอบคาร์บอนของทดลองนี้

[1] สัดส่วนคาร์บอนใน PM10 จากการทดลองนี้

[2] สัดส่วนคาร์บอนใน PM2.5 จากการทดลองนี้

4.6 เปรียบเทียบความเข้มข้นองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นในบรรยากาศ กับประเทศต่างๆในทวีปเอเชีย

ความเข้มข้นของ TC OC และ EC ในการศึกษาครั้งนี้เมื่อเทียบกับเมืองในประเทศต่างๆในทวีปเอเชีย (ตารางที่ 4.9) พบว่า ช่วงเดือนของการวิจัยนี้ในฤดูแล้งเมื่อเทียบกับประเทศในทวีปเอเชียที่มี 4 ฤดู (ฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง ฤดูหนาว) จะอยู่ในช่วงฤดูหนาว (ธันวาคม - กุมภาพันธ์) ส่วนช่วงเดือนของการวิจัยนี้ในฤดูฝน เมื่อเทียบกับประเทศในทวีปเอเชียจะอยู่ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ (พฤษภาคม -มิถุนายน)

ในฤดูแล้งความเข้มข้นของ OC ในฝุ่น PM10 และ PM2.5 จากการทดลองนี้ที่กรุงเทพมหานครมีค่าเฉลี่ย 14.26 และ 18.09 มคก./ลบ.ม. ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ OC ในฝุ่น PM2.5 ในฤดูหนาวของเมืองซูไห ฮ่องกง เซี่ยงไฮ้ มีค่าเฉลี่ย 16.3 17.0 และ 16.4 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ แหล่งกำเนิดของคาร์บอนอินทรีย์ในประเทศจีนในฤดูหนาวมีส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ของถ่านหินจึงทำให้ค่าคาร์บอนอินทรีย์ในประเทศจีนค่อนข้างสูง และในการทดลองนี้พบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ EC ในฝุ่น PM10 และ PM2.5 ในปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับเมืองอื่นในทวีปเอเชีย มีค่าเฉลี่ย 3.03 และ 3.79 มคก./ลบ.ม.ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ EC ในฝุ่น PM2.5 ในฤดูหนาวของเมืองไดไห่ ประเทศอินเดีย มีค่าเฉลี่ย 3.2 มคก./ลบ.ม. เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC ใน PM2.5 และPM10 ในฤดูแล้ง จากการทดลองนี้มีค่าเฉลี่ย 4.53 และ 4.63 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนความเข้มข้นในฤดูหนาวของ OC/EC ในPM10 ของเมืองไทจิน ประเทศจีนมีค่าเฉลี่ย 4.3 ซึ่งมีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ถ่านหินสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen และคณะ (2006) ที่พบการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากถ่านหินมีสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC 2.5 – 10.5 แต่แหล่งกำเนิดส่วนใหญ่ที่กรุงเทพมหานครในฤดูแล้งมาจากการเผาไหม้ชีวมวล

ในฤดูฝนความเข้มข้นของ OC ในฝุ่น PM10 และ PM2.5 จากการทดลองที่กรุงเทพมหานครมีค่าเฉลี่ย 3.03 และ 4.65 มคก./ลบ.ม. ซึ่งต่ำกว่าเมืองต่างๆในทวีปเอเชียมาก เนื่องจากในฤดูฝนในบริเวณกรุงเทพมหานคร มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในที่โล่งแจ้งในปริมาณน้อย จึงทำให้ความเข้มข้นของ OC มีค่าต่ำกว่าประเทศอื่นๆในภูมิภาคเอเชีย ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ OC ในฝุ่น PM2.5 ในฤดูใบไม้ผลิของเมืองชนจู ประเทศเกาหลีใต้ มีค่าเฉลี่ย 4.83 มคก./ลบ.ม. และในการทดลองนี้พบความเข้มข้นของ EC ในฝุ่น PM10 และ PM2.5 ในปริมาณต่ำเมื่อเทียบกับเมืองอื่นในทวีปเอเชีย มีค่าเฉลี่ย 2.02 และ 2.69 มคก./ลบ.ม. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นของ EC ในฝุ่น PM2.5 ในฤดูใบไม้ผลิของเมืองไดไห่ ประเทศอินเดียมี ค่าเฉลี่ย 1.8 มคก./ลบ.ม. เมื่อ

เปรียบเทียบสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC ใน PM2.5 และPM10 ในฤดูฝน จากการทดลองนี้มีค่า 1.56 และ 1.77 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC ในPM10 ในฤดูใบไม้ผลิ ของเมืองชนจู และเมืองโซล ประเทศเกาหลีใต้มีค่า 1.35 และ 1.32 ตามลำดับ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากไอเสียจากยานพาหนะ ซึ่งสอดคล้องกับแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่ที่กรุงเทพมหานครในฤดูฝนมาจากไอเสียจากยานพาหนะ

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบความเข้มข้นองค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นกับประเทศต่างๆในทวีปเอเชีย

เมือง	ช่วงเวลา	ประเภทฝุ่น	TC (μg/m³)	OC (μg/m³)	EC (μg/m³)	OC/EC	วิธีวัด	อ้างอิง
Bangkok, Thailand	Dry season 5 Dec 2011-27 Feb2012	$PM_{2.5}$	17.29	14.26	3.03	4.53	IMPROVE_TOR	This study
		PM_{10}	21.88	18.09	3.79	4.63	IMPROVE_TOR	This study
	Wet season 2 May -24 July 2012	$PM_{2.5}$	5.05	3.03	2.02	1.56	IMPROVE_TOR	This study
		PM_{10}	7.34	4.65	2.69	1.77	IMPROVE_TOR	This study
Tianjin, China	Spring 2008	$PM_{2.5}$	19.4	14.4	5	3	IMPROVE_TOR	Gu *et al.* (2010)
	Summer 2008	PM2.5	15.7	10.2	5.5	1.8	IMPROVE_TOR	Gu *et al.* (2010)
	Fall 2008	PM2.5	22.6	20.2	6.5	2.8	IMPROVE_TOR	Gu *et al.* (2010)
	Winter 2008	PM2.5	28.5	22.5	9.6	3.8	IMPROVE_TOR	Gu *et al.* (2010)
Beijing, China	Spring, 24 Sep. 1999 –28 Sep.2000	PM2.5	24.88	18.21	6.67	2.73	IMPROVE_TOR	He *et al.* (2001)
	Summer,24 Sep. 1999–28 Sep. 2000	PM2.5	19.69	13.42	6.27	2.14	IMPROVE_TOR	He *et al.* (2001)
	Fall,24 Sep.1999- 28 Sep. 2000	PM2.5	39.02	28.79	10.23	2.81	IMPROVE_TOR	He *et al.* (2001)
	Winter,24 Sep 1999 -28 Sep. 2000	PM2.5	42.57	31.49	11.08	2.84	IMPROVE_TOR	He *et al.* (2001)
Guangzhou, China	Jan.–Feb. 2002	PM2.5	17.3	12.2	5	2.4	IMPROVE_TOR	Cao *et al.* (2003)
Shenzhen, China	Jan.–Feb. 2002	PM2.5	14.4	9.6	4.7	2.3	IMPROVE_TOR	Cao *et al.* (2003)
Zhuhai, China	Jan.–Feb. 2002	PM2.5	23.2	16.3	6.9	2.4	IMPROVE_TOR	Cao *et al.* (2003)
Hong Kong	Jan.–Feb. 2002	PM2.5	25.1	17.0	8.1	2.1	IMPROVE_TOR	Cao *et al.* (2003)
Shanghai, China	Spring 1999	PM2.5	21.37	16.1	5.27	3.06	IMPROVE_TOR	Ye *et al.* (2003)
	Summer 1999	PM2.5	14.23	9.62	4.61	2.09	IMPROVE_TOR	Ye *et al.* (2003)
	Fall 1999	PM2.5	22.01	15.22	6.81	2.23	IMPROVE_TOR	Ye *et al.* (2003)
	Winter 1999	PM2.5	24.56	16.4	8.16	2.01	IMPROVE_TOR	Ye *et al.* (2003)

เมือง	ช่วงเวลา	ประเภทฝุ่น	TC ($\mu g/m^3$)	OC ($\mu g/m^3$)	EC ($\mu g/m^3$)	OC/EC	วิธีวัด	อ้างอิง
Xi'an,China	Fall 2003	PM2.5	45.4	34.1	11.3	3.3	IMPROVE_TOR	Cao *et al.* (2005)
	Winter 2003	PM2.5	74.2	61.9	12.3	5.1	IMPROVE_TOR	Cao *et al.* (2005)
Taiyuan, China	Winter, Dec. 2005, Jan.–Feb. 2006	PM2.5	33.5	28.9	4.8	7.0	IMPROVE_TOR	Meng *et al.* (2007)
Chonju, Korea	Spring 1995	PM2.5	8.42	4.83	3.59	1.35	IMPROVE_TOR	Lee and Kang (2001)
	Summer 1995	PM2.5	7.41	4.04	3.37	1.2	IMPROVE_TOR	Lee and Kang (2001)
	Fall 1995	PM2.5	12.35	6	6.35	0.94	IMPROVE_TOR	Lee and Kang (2001)
	Winter 1995	PM2.5	9.31	4.99	4.32	1.16	IMPROVE_TOR	Lee and Kang (2001)
Seoul, Korea	Jul. and Aug. 1994	PM2.5	17.54	9.97	7.57	1.3	Selective thermal oxidation	Kim *et al.* (1999)
Daihai, Inner Mongolia	Fall 2005	PM2.5	17.8	15.5	2.3	6.7	IMPROVE_TOR	Han *et al.* (2008)
	Winter 2006	PM2.5	31.8	28.6	3.2	8.9	IMPROVE_TOR	Han *et al.* (2008)
	Summer 2006	PM2.5	10.1	8.7	1.4	6.2	IMPROVE_TOR	Han *et al.* (2008)
	Spring 2007	PM2.5	9.9	8.1	1.8	5.2	IMPROVE_TOR	Han *et al.* (2008)
Tianjin, China	Spring 2008	PM10	42.5	32.9	9.6	3.8	IMPROVE_TOR	Gu *et al.* (2010)
	Summer 2008	PM10	17	11.2	5.7	1.9	IMPROVE_TOR	Gu *et al.* (2010)
	Fall 2008	PM10	40.5	33.2	7.4	3.7	IMPROVE_TOR	Gu *et al.* (2010)
	Winter 2008	PM10	58.7	46	12.7	4.3	IMPROVE_TOR	Gu *et al.* (2010)
Uji, Japan	Sep.–Oct. 1998	PM10	19.4	13.9	5.5	2.5	R&P 5400	Holler *et al.* (2002)
	Nov.–Dec. 1998	PM10	18	12.8	5.2	2.5	R&P 5400	Holler *et al.* (2002)
Seoul, Korea	Jul. and Aug. 1994	PM10	19.49	11.1	8.39	1.32	Selective thermal oxidation	Kim *et al.* (1999)
Beijing, China	Sept. 8–Nov. 30 2002	PM10	30.1	21.2	8.9	2.4	R&P 5400	Zhang *et al.* (2007)
Hangzhou, China	Sept. 2001–Aug.t 2002	PM10	25.47	21.41	4.06	5.27	TOT	Cao *et al.* (2009)

4.7 สหสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่น องค์ประกอบคาร์บอน มลพิษอากาศและสภาพภูมิอากาศ

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่น PM2.5 และ PM10 ความเข้มข้นของ EC และ OC ในฝุ่น PM2.5จากงานวิจัยนี้ ความเข้มข้นมลพิษอากาศจากสถานีดินแดง (ซึ่งเป็นสถานีที่ใกล้กับพื้นที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) ได้แก่ PM10 PM2.5 ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) โอโซน (O_3) และข้อมูลจากอุตุนิยมวิทยาจากสถานี

กรุงเทพมหานคร ได้แก่ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน โดยเลือกวิเคราะห์จากวันที่ทำการทดลองทั้งเก็บฝุ่นในงานวิจัยนี้ทั้งฤดูแล้ง และฤดูฝน โดยวิเคราะห์ข้อมูลจากสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation) แสดงในตารางที่ 4.10 พบว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ความเข้มข้นของ EC และ OC ในฝุ่น PM2.5 ในงานวิจัยนี้มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฝุ่น PM2.5 ที่สถานีดินแดงในระดับสูงที่ r=0.72 r=0.87 และ r=0.77 ตามลำดับ ความเข้มข้นของ EC ในฝุ่น PM2.5 ในงานวิจัยนี้มีความสัมพันธ์กับ CO และ NO_2 ที่สถานีดินแดงในระดับสูงที่ r=0.72 และ r=0.60 บ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ EC ในฝุ่น PM2.5 ในงานวิจัยนี้มาจากแหล่งกำเนิดคล้ายกันกับแหล่งกำเนิดของ CO และ NO_2 บริเวณสถานีดินแดงซึ่งส่วนใหญ่มาจากไอเสียจากยานพาหนะ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang และคณะ(2007) ที่พบความเข้มข้นของ EC และ PM10 มีความสัมพันธ์กับค่า CO มีความสัมพันธ์กันสูงเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดจากไอเสียเครื่องยนต์เหมือนกัน ส่วนข้อมูลสภาพอากาศไม่มีความสัมพันธ์ทางบวกในระดับสูงกับงานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.10 สหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่น องค์ประกอบคาร์บอน และสภาพภูมิอากาศ

		งานวิจัยนี้				สถานีดินแดง						ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา		
		PM2.5	PM10	OC	EC	PM10	PM2.5	CO	NO_2	SO_2	O_3	Wind speed	RH	Rain
งานวิจัยนี้	PM2.5	1.00												
	PM10	0.98	1.00											
	OC	0.86	0.83	1.00										
	EC	0.78	0.74	0.85	1.00									
สถานีดินแดง	PM10	0.67	0.59	0.84	0.74	1.00								
	PM2.5	0.72	0.68	0.87	0.77	0.93	1.00							
	CO	0.46	0.38	0.56	0.72	0.68	0.58	1.00						
	NO_2	0.32	0.24	0.41	0.60	0.68	0.62	0.61	1.00					
	SO_2	0.12	0.07	0.04	0.22	0.21	0.18	0.32	0.59	1.00				
	O_3	0.04	0.09	0.12	-0.04	0.02	0.12	-0.26	-0.12	-0.13	1.00			
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	WS	0.21	0.32	0.08	-0.10	-0.24	-0.03	-0.40	-0.52	-0.24	0.38	1.00		
	Temp	-0.69	-0.74	-0.61	-0.47	-0.29	-0.45	-0.15	-0.03	-0.10	0.00	-0.39	1.00	
	RH	-0.28	-0.35	-0.30	-0.15	-0.13	-0.30	0.20	0.06	0.13	-0.30	-0.64	0.19	1.00
	Rain	-0.28	-0.27	-0.20	0.00	-0.18	-0.21	0.03	0.07	0.10	-0.21	-0.26	0.02	0.39

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ความเข้มข้นของฝุ่นละอองในฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่า ในฤดูฝนความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10ไมครอน (PM10) และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) มีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของฤดูแล้ง ผลสืบเนื่องมาจากกระบวนการชะล้างของฝนซึ่งกระบวนการดังกล่าวสามารถช่วยลดระดับความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศได้ สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง PM2.5/PM10 ในฤดูแล้ง มีค่าเฉลี่ย 0.60 และสัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง PM2.5/PM10 ในฤดูฝน มีค่าเฉลี่ย 0.51 ซึ่งสัดส่วนความเข้มข้น PM2.5/PM10 ในฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยของสัดส่วนต่ำกว่าในฤดูแล้ง เนื่องจากฝุ่น PM2.5 มีพื้นที่ผิวมากกว่าฝุ่น PM10 จึงถูกดักจับด้วยความชื้นและชะด้วยฝนได้สูงกว่า

2. ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ช่วงวันทำงานและวันเสาร์ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูฝน และฤดูแล้งสูงสุดในช่วงเช้าเย็นเนื่องจากการจราจรเร่งด่วน และกลางคืนเนื่องจากความสูงผสมต่ำในช่วงกลางคืน แต่ในวันอาทิตย์ พบความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงสูงสุดแค่ช่วงเช้า ดังนั้นช่วงที่มีการจราจรเร่งด่วนมีผลทำให้ความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงมีค่าสูงขึ้นความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแบล็กคาร์บอนในบรรยากาศ และความเข้มธาตุคาร์บอนในฝุ่น PM2.5 และ PM10 มีความสัมพันธ์กันต่ำ เนื่องจากเทคนิคการวัดแบล็กคาร์บอนและธาตุคาร์บอนในฝุ่นมีคุณสมบัติพื้นฐานของลักษณะทางเคมีและกายภาพที่แตกต่างกัน อาจจะส่งผลถึงความสัมพันธ์แบล็กคาร์บอนและธาตุคาร์บอนในฝุ่นที่วิเคราะห์ออกมาได้

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองในฤดูแล้งและฤดูฝน พบว่า ในฤดูแล้งในฝุ่น PM10 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 27% และในฝุ่น PM2.5 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 36% ในฤดูฝนในฝุ่น PM10 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 18% และในฝุ่น PM2.5 พบคาร์บอนทั้งหมดประมาณ 25% สรุปได้ว่าคาร์บอนทั้งหมดส่วนใหญ่อยู่ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมากกว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และความเข้มข้นคาร์บอนทั้งหมดในฤดูแล้งสูงกว่าความเข้มข้นคาร์บอนทั้งหมดในฤดูฝน

4. ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่นจากยานพาหนะ (ดีเซล แก๊สแอลพีจี และแก๊สโซลีน) ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลพบ OC2 สูงสุด และรองลงมาคือ EC2 ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สแอลพีจีพบ OC2 สูงสุด และรองลงมาคือ OC3 และไอเสียจากเครื่องยนต์ใช้แก๊สโซลีนพบ

OC3 สูงสุด และรองลงมาคือ OC2 สัดส่วนความเข้มข้นในฝุ่นจากยานพาหนะ พบว่า ไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซลมีสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC มีค่าเฉลี่ย 0.98 ไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สแอลพีจีมีสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC มีค่าเฉลี่ย 3.81 และไอเสียจากเครื่องยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนมีสัดส่วนความเข้มข้นของ OC/EC มีค่าเฉลี่ย 28.73 และสัดส่วนความเข้มข้นของ Char-EC/Soot-EC ในไอเสียจากเครื่องยนต์ดีเซล แก๊สแอลพีจี และแก๊สโซลีนมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 1

5. ในฤดูแล้งความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท (OC1 OC2 OC3 OC4 EC1 EC2 EC3 และ OP) ของฝุ่นในบรรยากาศที่พบเป็นส่วนใหญ่ได้แก่ EC1 และ OP สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 4.63 และ 4.53 สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 1.42 และ 1.70 บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้จากเชื้อเพลิงชีวมวล ส่วนในฤดูฝนความเข้มข้นของคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท ที่พบเป็นส่วนใหญ่ได้แก่ EC1 และ EC2 สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง OC/EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 1.77 และ1.56 สัดส่วนความเข้มข้นระหว่าง Char-EC/Soot-EC ใน PM10 และ PM2.5 มีค่าเฉลี่ย 0.52 และ 0.49 บ่งชี้ถึงแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากไอเสียจากยานพาหนะ

6. ความเข้มข้นของ EC ในฝุ่น PM2.5 ในงานวิจัยนี้มีความสัมพันธ์กับ CO และ NO_2 ที่สถานีดินแดงในระดับสูง บ่งชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของ EC ในฝุ่น PM2.5 ในงานวิจัยนี้มาจากแหล่งกำเนิดคล้ายกันกับแหล่งกำเนิดของ CO และ NO_2 บริเวณสถานีดินแดงซึ่งส่วนใหญ่มาจากไอเสียจากยานพาหนะ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาถึงความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดเพิ่มเติม เช่นจากการเผาในที่โล่งแจ้ง การประกอบอาหาร โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลองสมดุลมวลเคมีที่เป็นไปตามสถานการณ์ปัจจุบันมากที่สุด และได้ผลการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดขององค์ประกอบคาร์บอนในฝุ่นละอองที่ครอบคลุมแหล่งกำเนิดที่มีนัยสำคัญและจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดในเขตเมืองกรุงเทพมหานครได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรมควบคุมมลพิษ. 2547. โครงการจัดทำ (ร่าง) มาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.aqnis.pcd.go.th/activity_event/PM2/fram1.htm [2554 มิถุนายน 18]

กรมควบคุมมลพิษ. 2550. มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.aqnis.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.htm [2554 มิถุนายน 20]

กรมควบคุมมลพิษ. 2555. เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_ serv/air_dust.htm [10 พฤษภาคม 2555]

กรมควบคุมมลพิษ. 2556. เอกสารถ่ายสำเนาข้อมูลการตรวจวัดมลพิษอากาศของกรมควบคุมมลพิษ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. กรุงเทพมหานคร.

กรมอุทยานแห่งชาติ สัตว์ป่า และพันธุ์พืช. 2555. รายงานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.th/forestfire/2556/Fire2555.pdf [10 มีนาคม 2556]

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2556. แฟ้มข้อมูลอิเล็คโทรนิคส์ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจอากาศกรุงเทพมหานคร.

กัลยกร ตั้งอุไรวรรณ. 2549. การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในจังหวัดสมุทรปราการ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นพภาพร พานิช, แสงสันติ์ พานิช, วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และวราวุธ เสือดี. 2550. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 2 (ฉบับปรับปรุง). โรงพิมพ์ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร. 874 หน้า.

พิทยา ว่องกุล. 2537. สถานการณ์สิ่งแวดล้อมไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อมรินทร์พริ้นติ้งแอนพิบลิชชิ่ง.

พรรณวดี สุวัฒิกะ. 2011. แบล็กคาร์บอนในฝุ่นละอองในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 10. 23 – 25 มีนาคม.

วนิดา จีนศาสตร์. 2550. มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต. 2543. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิกิพิเดีย. 2556. กรุงเทพมหานคร [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://th.wikipedia.org/wiki/กรุงเทพมหานคร [16 กุมภาพันธ์ 2556]

สุวพร มณฑาสุวรรณ. 2552. ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของคาร์บอน และความเข้มข้นของฝุ่นละอองกับลักษณะของชั้นบรรยากาศในเขตเมือง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Bachmann, J. 2009. Black carbon: A science/policy primer. [Online]. Available from : http://www.pewclimate.org/science/black-carbon-primer [2011 June 25]

Cao, J.J., Chow, J.C., Lee, S.C., Li, Y., Chen, S.W., An, Z.S., Fung, K., Watson, J.G., Zhu, C.S. and Liu, S.X. (2005). Characterization and Source Apportionment of Atmospheric Organic and Elemental Carbon during Fall and Winter of 2003 in Xi'an, China. Atmos. Chem. Phys. 5, 3127–3137.

Cao, G.L., Zhang, X.Y. and Zheng, F.C. 2006. Inventory of Black Carbon and Organic Carbon Emissions from China. Atmos. Environ 40: 6516–6527.

Chen, Y., Zhi, G., Feng, Y., Fu, J., Feng, J., Sheng, G., Simoneit, B.R.T. 2006. Measurements of emission factors for primary carbonaceous particles from residential raw-coal combustion in China. Geophysical Research Letters. 33.

Chen, L. W. A., Moosmuller, H., Arnott, W. P., Chow, J. C., Watson, J. G., Susott, R. A., Babbitt, R. E., Wold, C. E., Lincoln, E. N., and Hao, W. M. 2007. Emissions from laboratory combustion of wildland fuels: Emission factors and source profiles. Environ. Sci. Technol. 41: 4317–4325.

Chow, J.C., Watson, J.G., Chen, L.W.A., Arnott, W.P.,Moosm¨uller, H., and Fung, K.K. 2004. Equivalence of Elemental Carbon by Thermal/Optical Reflectance and Transmittance with Different Temperature Protocols. Environ. Sci. Techno. 38: 4414–4422.

Chow, J.C., Watson, J.G., Chen, L.-W.A., Chang, M.C.O., Robinson, N.F., Trimble, D. and Kohl, S. 2007. The IMPROVE_A temperature protocol for thermal/optical carbon analysis: maintaining consistency with a long-term database. Journal of the Air and Waste Management Association. 57: 1014–1023.

Dan, M., Zhuang, G., Li, X., Tao, H. and Zhuang, Y. 2004. The characteristics of carbonaceous species and their sources in PM2.5 in Beijing. Atmospheric Environment. 38: 3443–3452.

Dutkiewicz, V.A., Alvi S., Ghauri, B.M., Choudhary, M.I. and Husain, L. 2009. Black carbon aerosols in urban air in South Asia. Atmospheric Environment. 43: 1737–1744.

Garivait, S. and Chaiyo, U. 2006. Investigation of Particulate Black Carbon Concentration in Thailand Using an Aethalometer. The 2nd Joint International Conference on

"Sustainable Energy and Environment (SSE 2006). 21-23 November 2006, Bangkok, Thailand.

Gu, J., Bai, Z., Liu, A., Wu, L., Xie, Y., Li, W.,Dong, H. and Zhang, X. 2010. Characterization of Atmospheric Organic Carbon and Element Carbon of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at Tianjin, China. Aerosol and Air Quality Research. 10: 167-176.

Han, Y.M., Cao, J.J., Chow, J.C., Watson, J.G., Fung, K., Jin, Z.D., Liu, S.X. and An, Z.S. 2007. Evaluation of the thermal/optical reflectance method for discrimination between char and soot-EC. Chemosphere. 69: 526–533.

Han, Y.M., Cao, J.J., Lee, S.C., HO, K.F. and An, Z.S. 2009. Different characteristics of char and soot in the atmosphere and their ratio as an indicator for source identification in Xi'an, China. Atmos. Chem. Phys. 9: 13271-13298.

He, L.Y., Hu, M., Huang, X. F., Yu, B. D., Zhang, Y. H. and Liu, D. Q. 2004. Measurement of emissions of fine particulate organic matter from Chinese cooking. Atmospheric Environment, 38: 6557–6564.

Husain, L., Dutkiewicz, V.A., Khan and A.J., Ghauri, B.M. 2007. Characterization of carbonaceous aerosols in urban air. Atmospheric Environment. 41: 6872–6883.

Kim Oanh, N.T., 2012. Black Carbon and other SLCFs in Asia [Online]. Available from : http://www.baq2012.org/assets/Uploads/BAQ2012Nguyen-Kim-Oanh2.pdf [2012 December 25]

Kimoto, E. 2006. Air pollution monitoring equipment. [Online]. Available from : http://www.tisch-env.com/Kimoto-Dichotomous-Air-Sampler.asp [2011 June 23]

Limpaseni. W., Suwattiga, P., Osathaphan, K. and Bualert, S. 2007. Source Apportionment of PM10 in Samutprakan, Thailand, A&WMA 100th Annual Conference and Exhibition, Pittsburgh,USA, 26-29 June.

Qin, Y., and Oduyemi, K. 2003. Chemical composition of atmospheric aerosol in Dundee, UK. Atmospheic Environment. 37: 93-104.

Ramanathan V. 2009. Black carbon forcing and its climate effects. International Workshop on Black Carbon. London.

Sahu, L.K., Kondo, Y., Miyazaki, Y., Pongkiatkul, P. and Kim Oanh, N. T. 2011. Seasonal and diurnal variations of black carbon and organic carbon aerosols in Bangkok. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 116: D15.

Salma, I., Chi, X. and Maenhaut, W. 2004. Elemental and organic carbon in urban canyon and background environments in Budapest, Hungary. Atmospheric Environment. 38: 27–36.

Schauer, J.J., Kleeman, M.J., Cass, G.R. and Simoneit, B.R.T. 1999. Measurement of emissions from air pollution sources. 2. C1 through C30 organic compounds from medium duty diesel trucks. Environmental Science and Technology, 33: 1578–1587.

Schauer, J.J., Kleeman, M.J., Cass, G.R. and Simoneit, B.R.T. 2002. Measurement of emissions from air pollution sources. 3. C1–C29 organic compounds from fireplace combustion of wood. Environmental Science and Technology, 35: 1716–1728.

Schwarz, J., Chi, X., Maenhaut, W., Civis, M., Hocorka, J. and Smolik, J. 2008. Elemental and organic carbon in atmospheric aerosols at downtown and suburbs sites in Praque. Atmospheric Research. 90: 287-302.

United States Environmental Protection Agency. 1996. Air quality criteria for particulate matter. Volume 3. Triangle Park, North Carolina.

Viidanoja, J., Sillanpaa. M ., Laakia, J., Kerminen,V., Hillamo.R, Aarnio,P.and Koskentalo, T. 2002. Organic and black carbon in PM2.5 and PM10: 1 year of data from an urban site in Helsinki, Finland Atmospheric Environment. 36: 3183–3193.

Watson, J.G., Chow, J.C., Lowenthal, L.C., Pritchett, C.A., Frazier, C.A., Neuroth, G.R., and Robbins, R. 1994. Differences in the carbon composition of source profile for diesel and gasoline-powered vehicle. Atmospheric Environment 28: 2493-2505.

Wikipedia. 2553. Black Carbon. [Online]. Available from : http://en.wikipedia.org/wiki/Black_carbon [2011 June 13]

Ye, D., Zhao Q., Jiang C., Chen J. and Meng, X. 2007. Characteristics of elemental carbon and organic carbon in PM10 during spring and autumn in Chongqing. China Particuology. 5: 255–260.

Yu, J.Z., Xu, J.H. and Yang, H. 2002. Charring Characteristics of Atmospheric Organic Particulate Matter in Thermal Analysis. Environ. Sci. Techno. 36: 754–761.

Zhang, R.J., Cao, J.J., Lee, S.C., Shen, Z.X. and Ho, K.F. 2007. Carbonaceous Aerosols in PM10 and Pollution Gases in Winter in Beijing. J. Environ. Sci. 19: 564–571.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นองค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในฝุ่นละออง

ความเข้มข้นขององค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภท เช่น

ความเข้มข้น OC1 ในฝุ่น PM2.5 (µg/ m^3) = (ปริมาณ OC1 ต่อพื้นที่ที่วิเคราะห์ (ug/sqcm) x พื้นที่กระดาษกรอง (sqcm))/ปริมาตรอากาศ (m^3)

ปริมาณ OC1 ต่อพื้นที่ที่วิเคราะห์ = 0.482 ug/sqcm

พื้นที่กระดาษกรอง = ¶R^2 sqcm

(เส้นผ่านศูนย์กลางกระดาษกรอง = 4.7 cm ขอบกระดาษกรองที่ไม่ได้เก็บฝุ่น = 0.6 cm)

พื้นที่กระดาษกรอง = $((4.7-0.6)/2)^2$ ¶ = 13.20 sqcm

ปริมาตรอากาศ = 21.6 m^3

ความเข้มข้น OC1 ในฝุ่น PM2.5 = (0.482 ug/sqcm x 13.20 sqcm)/ 21.6 m^3

= 0.29 µg/ m^3

ความเข้มข้น OC1 ในฝุ่น PM10-2.5 (µg/ m^3) = (ปริมาณ OC1 ต่อพื้นที่ที่วิเคราะห์ (ug/sqcm) x พื้นที่กระดาษกรอง (sqcm))/ปริมาตรอากาศ (m^3)

ปริมาณ OC1 ต่อพื้นที่ที่วิเคราะห์ = 0.554 ug/sqcm

พื้นที่กระดาษกรอง = $((4.7-0.6)/2)^2$ ¶ = 13.20 sqcm

ปริมาตรอากาศ (m^3) = (น้ำหนักฝุ่น (mg) x1000) / ความเข้มข้นฝุ่น (µg/ m^3)

= (1.03x1000)/37.65

= 27.4 m^3

ความเข้มข้น OC1 ในฝุ่น PM10-2.5 = (0.554 ug/sqcm x 13.20 sqcm)/ 27.4 m^3

= 0.26 µg/ m^3

ความเข้มข้น OC1 ในฝุ่น PM10 (µg/ m^3) = ความเข้มข้น OC1 ในฝุ่น PM2.5 + ความเข้มข้น OC1 ในฝุ่น PM10-2.5

= 0.56 µg/ m^3

ภาคผนวก ข
ข้อมูลความเข้มข้นฝุ่นละอองและสารประกอบคาร์บอน

ตารางที่ ข-1 ความเข้มข้นของ PM10ในฤดูแล้งโดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	น้ำหนัก filter (g)		น้ำหนักฝุ่น (g)	ปริมาตร อากาศ (m^3)	[PM2.5] ($\mu g/m^3$)
			ก่อน	หลัง			
1	5/12/2011	H1	4.5075	4.3986	0.1089	1618	67.31
2	11/12/2011	H2	4.5401	4.4127	0.1274	1625	78.40
3	17/12/2011	H3	4.4933	4.3907	0.1026	1626	63.10
4	23/12/2011	H4	4.4996	4.3948	0.1048	1623	64.57
5	29/12/2011	H5	4.637	4.4758	0.1612	1624	99.26
6	4/01/2012	H6	4.5613	4.4251	0.1362	1625	83.82
7	10/01/2012	H7	4.5316	4.4238	0.1078	1626	66.30
8	16/01/2012	H8	4.547	4.4797	0.0673	1627	41.36
9	22/01/2012	H9	4.4584	4.4063	0.0521	1627	32.02
10	28/01/2012	H10	4.5681	4.4716	0.0965	1626	59.35
11	3/02/2012	H11	4.5488	4.4231	0.1257	1625	77.35
12	9/02/2012	H12	4.4792	4.39	0.0892	1625	54.89
13	15/02/2012	H13	4.4915	4.3779	0.1136	1625	69.91
14	21/02/2012	H14	4.6227	4.5174	0.1053	1627	64.72
MIN						1618	32.02
MAX						1627	99.26
AVG						1624.	65.85

ตารางที่ ข-2 ความเข้มข้นของ PM10-2.5 และสารประกอบคาร์บอนใน PM10-2.5 ในฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	น้ำหนัก filter (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ปริมาตรอากาศ (m^3)	[PM10-2.5] ($\mu g/m^3$)	TC ($\mu g/m^3$)	OC ($\mu g/m^3$)	EC ($\mu g/m^3$)	OC/EC	Char-EC ($\mu g/m^3$)	Soot-EC ($\mu g/m^3$)	Char-EC/ Soot-EC
			ก่อน	หลัง										
1	5/12/2011	C1	117.2	116.17	1.03	2.4	37.65	5.30	4.53	0.77	5.89	0.35	0.42	0.82
2	11/12/2011	C2	117.12	115.97	1.15	2.4	42.50	5.89	4.75	1.14	4.17	0.44	0.70	0.63
3	17/12/2011	C3	119.36	118.36	1.00	2.4	36.86	5.40	4.51	0.89	5.08	0.35	0.54	0.64
4	23/12/2011	C4	119.55	118.35	1.20	2.4	44.34	5.90	5.14	0.76	6.78	0.29	0.47	0.60
5	29/12/2011	C5	117.21	116.22	0.99	2.4	34.32	5.89	4.86	1.03	4.69	0.44	0.59	0.75
6	4/01/2012	C6	118.3	117.19	1.11	2.4	40.65	5.71	4.74	0.97	4.91	0.41	0.56	0.72
7	10/01/2012	C7	117.14	116.26	0.88	2.4	32.52	5.59	4.54	1.05	4.31	0.41	0.65	0.63
8	16/01/2012	C8	111.68	111.00	0.68	2.4	24.94	2.92	2.46	0.46	5.37	0.17	0.29	0.59
9	22/01/2012	C9	119.53	118.96	0.57	2.4	21.02	2.67	2.25	0.42	5.35	0.14	0.28	0.48
10	28/01/2012	C10	117.81	117.05	0.76	2.4	26.74	4.56	3.70	0.86	4.29	0.39	0.47	0.82
11	3/02/2012	C11	116.12	115.3	0.82	2.4	27.34	3.95	3.31	0.64	5.19	0.26	0.38	0.68
12	9/02/2012	C12	116.46	115.85	0.61	2.4	22.63	2.15	1.81	0.35	5.23	0.22	0.13	1.71
13	15/02/2012	C13	114.47	113.71	0.76	2.4	27.30	3.24	2.63	0.61	4.29	0.38	0.23	1.68
14	21/02/2012	C14	113.33	112.37	0.96	2.4	35.01	6.01	5.08	0.92	5.50	0.38	0.55	0.68
MIN						2.4	21.02	2.15	1.81	0.35	4.17	0.14	0.13	0.48
MAX						2.4	44.34	6.01	5.14	1.14	6.78	0.44	0.70	1.71
AVG						2.4	32.42	4.58	3.83	0.77	5.13	0.32	0.44	0.85

ตารางที่ ข-3 ความเข้มข้นของ PM2.5 และสารประกอบคาร์บอนใน PM2.5 ในฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	น้ำหนัก filter (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ปริมาตรอากาศ (m^3)	[PM2.5] ($\mu g/m^3$)	TC ($\mu g/m^3$)	OC ($\mu g/m^3$)	EC ($\mu g/m^3$)	OC/EC	Char-EC ($\mu g/m^3$)	Soot-EC ($\mu g/m^3$)	Char-EC/ Soot-EC
			ก่อน	หลัง										
1	5/12/2011	F1	119.54	118.42	1.12	21.6	51.85	17.13	14.02	3.11	4.50	1.89	1.22	1.55
2	11/12/2011	F2	117.83	116.68	1.15	21.6	53.24	17.56	14.61	2.95	4.95	1.89	1.06	1.78
3	17/12/2011	F3	115.7	114.68	1.02	21.6	47.22	16.21	13.54	2.67	5.07	1.62	1.05	1.55
4	23/12/2011	F4	119.55	118.35	1.20	21.6	55.56	13.01	10.50	2.51	4.18	1.50	1.01	1.49
5	29/12/2011	F5	117.9	116.42	1.48	21.6	68.52	26.28	22.11	4.17	5.30	2.83	1.34	2.11
6	4/01/2012	F6	111.8	110.61	1.19	21.6	55.09	22.33	18.45	3.88	4.75	2.81	1.07	2.62
7	10/01/2012	F7	117.76	116.88	0.88	21.6	40.74	18.69	15.49	3.20	4.84	1.87	1.33	1.41
8	16/01/2012	F8	115.86	115.14	0.72	21.6	33.33	9.21	7.19	2.02	3.56	1.14	0.88	1.29
9	22/01/2012	F9	119.88	119.3	0.58	21.6	26.85	6.79	5.35	1.44	3.73	0.68	0.76	0.90
10	28/01/2012	F10	119.15	118.1	1.05	21.6	48.61	19.07	15.09	3.98	3.80	2.51	1.47	1.71
11	3/02/2012	F11	117.43	115.97	1.46	21.6	67.59	19.70	15.18	4.52	3.36	2.96	1.56	1.90
12	9/02/2012	F12	117.65	117.06	0.59	21.6	27.31	6.49	5.13	1.36	3.77	0.66	0.70	0.95
13	15/02/2012	F13	116.73	115.8	0.93	21.6	43.06	14.44	12.11	2.33	5.20	1.53	0.80	1.90
14	21/02/2012	F14	114.26	113.2	1.06	21.6	49.07	31.64	27.17	4.47	6.07	3.23	1.25	2.59
MIN						21.6	26.85	6.49	5.13	1.36	3.36	0.66	0.70	0.90
MAX						21.6	68.52	31.64	27.17	4.52	6.07	3.23	1.56	2.62
AVG						21.6	47.72	17.29	14.26	3.03	4.53	1.94	1.11	1.70

ตารางที่ ข-4 ความเข้มข้นของ PM10 และสารประกอบคาร์บอนใน PM10 ในฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	ความเข้มข้น ($\mu g/m^3$)		ปริมาตรอากาศ (m^3)	[PM10] ($\mu g/m^3$)	TC ($\mu g/m^3$)	OC ($\mu g/m^3$)	EC ($\mu g/m^3$)	OC/EC	Char-EC ($\mu g/m^3$)	Soot-EC ($\mu g/m^3$)	Char-EC/ Soot-EC
			[PM10-2.5]	[PM2.5]									
1	5/12/2011	P1	37.65	51.85	24	89.50	22.43	18.55	3.88	4.78	2.24	1.64	1.37
2	11/12/2011	P2	42.50	53.24	24	95.74	23.45	19.36	4.09	4.73	2.33	1.76	1.32
3	17/12/2011	P3	36.86	47.22	24	84.08	21.61	18.05	3.56	5.07	1.97	1.59	1.24
4	23/12/2011	P4	44.34	55.56	24	99.90	18.91	15.64	3.27	4.79	1.79	1.48	1.21
5	29/12/2011	P5	34.32	68.52	24	102.84	32.18	26.97	5.21	5.18	3.27	1.93	1.69
6	4/01/2012	P6	40.65	55.09	24	95.74	28.04	23.19	4.85	4.78	3.22	1.63	1.97
7	10/01/2012	P7	32.52	40.74	24	73.26	24.28	20.02	4.25	4.71	2.28	1.98	1.15
8	16/01/2012	P8	24.94	33.33	24	58.27	12.13	9.65	2.48	3.89	1.31	1.17	1.12
9	22/01/2012	P9	21.02	26.85	24	47.87	9.46	7.60	1.86	4.09	0.82	1.04	0.79
10	28/01/2012	P10	26.74	48.61	24	75.35	23.63	18.80	4.84	3.89	2.90	1.94	1.49
11	3/02/2012	P11	27.34	67.59	24	94.93	23.65	18.49	5.15	3.59	3.22	1.94	1.66
12	9/02/2012	P12	22.63	27.31	24	49.94	8.64	6.93	1.71	4.06	0.88	0.83	1.06
13	15/02/2012	P13	27.30	43.06	24	70.36	17.69	14.74	2.94	5.01	1.91	1.03	1.85
14	21/02/2012	P14	35.01	49.07	24	84.08	37.65	32.25	5.40	5.98	3.60	1.80	2.01
MIN					24	47.87	8.64	6.93	1.71	3.59	0.82	0.83	0.79
MAX					24	102.84	37.65	32.25	5.40	5.98	3.60	1.98	2.01
AVG					24	79.54	21.88	18.09	3.79	4.63	2.26	1.54	1.42

ตารางที่ ข-5 ความเข้มข้นของ PM10 ในฤดูฝน โดยเครื่อง PM10 Hi-volume air sampler

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	น้ำหนัก filter (g)		น้ำหนักฝุ่น (g)	ปริมาตรอากาศ (m^3)	[PM10] ($\mu g/m^3$)
			ก่อน	หลัง			
1	02/05/2012	H16	4.576	4.5242	0.0518	1623	31.92
2	07/05/2012	H17	4.6353	4.5726	0.0627	1624	38.61
3	13/05/2012	H18	4.6568	4.5968	0.06	1625	36.92
4	19/05/2012	H19	4.6176	4.5786	0.039	1623	24.03
5	25/05/2012	H20	4.6245	4.5834	0.0411	1624	25.31
6	31/05/2012	H21	4.6499	4.5898	0.0601	1625	36.98
7	06/06/2012	H22	4.6487	4.5928	0.0559	1626	34.38
8	12/06/2012	H23	4.6182	4.5366	0.0816	1627	50.15
9	18/06/2012	H24	4.5819	4.5346	0.0473	1624	29.13
10	24/06/2012	H25	4.6515	4.599	0.0525	1625	32.31
11	30/06/2012	H26	4.6615	4.6219	0.0396	1626	24.35
12	06/07/2012	H27	4.6651	4.6141	0.051	1627	31.35
13	12/07/2012	H28	4.6609	4.6184	0.0425	1624	26.17
14	18/07/2012	H29	4.6172	4.5788	0.0384	1625	23.63
15	24/07/2012	H30	4.6533	4.6096	0.0437	1625	26.89
MIN						1623	23.63
MAX						1627	50.15
AVG						1624	32.11

ตารางที่ ข-6 ความเข้มข้นของ PM10-2.5 และสารประกอบคาร์บอนใน PM10-2.5 ในฤดูฝน

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	น้ำหนัก filter (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ปริมาตรอากาศ (m^3)	[PM10-2.5] ($\mu g/m^3$)	TC ($\mu g/m^3$)	OC ($\mu g/m^3$)	EC ($\mu g/m^3$)	OC/EC	Char-EC ($\mu g/m^3$)	Soot-EC ($\mu g/m^3$)	Char-EC/ Soot-EC
			ก่อน	หลัง										
1	02/05/2012	C16	117.45	116.96	0.49	2.4	18.34	2.48	1.63	0.85	1.91	0.26	0.60	0.43
2	07/05/2012	C17	119.51	118.86	0.65	2.4	24.58	3.02	2.18	0.84	2.60	0.38	0.46	0.82
3	13/05/2012	C18	113.68	113.22	0.46	2.4	17.05	3.10	2.45	0.65	3.76	0.26	0.39	0.68
4	19/05/2012	C19	115.54	115.22	0.32	2.4	11.87	2.04	1.42	0.62	2.28	0.22	0.40	0.54
5	25/05/2012	C20	113.07	112.68	0.39	2.4	14.50	1.79	1.36	0.43	3.14	0.18	0.26	0.69
6	31/05/2012	C21	114.87	114.31	0.56	2.4	21.48	3.15	2.23	0.92	2.43	0.36	0.56	0.64
7	06/06/2012	C22	115.87	115.19	0.68	2.4	25.50	1.67	1.16	0.52	2.23	0.18	0.34	0.52
8	12/06/2012	C23	115.7	114.80	0.9	2.4	34.46	2.47	1.72	0.75	2.28	0.29	0.47	0.62
9	18/06/2012	C24	117.9	117.36	0.54	2.4	20.19	1.69	1.26	0.43	2.93	0.17	0.26	0.67
10	24/06/2012	C25	115.15	114.56	0.59	2.4	22.17	1.13	0.86	0.28	3.13	0.12	0.16	0.73
11	30/06/2012	C26	116.44	115.87	0.57	2.4	21.48	1.78	1.19	0.59	2.00	0.19	0.41	0.46
12	06/07/2012	C27	117	116.26	0.74	2.4	27.81	2.48	1.80	0.68	2.63	0.23	0.45	0.51
13	12/07/2012	C28	114.64	114.22	0.42	2.4	16.26	2.79	1.84	0.94	1.95	0.33	0.61	0.54
14	18/07/2012	C29	112.95	112.3	0.65	2.4	23.79	3.04	2.01	1.03	1.96	0.30	0.73	0.40
15	24/07/2012	C30	110.24	109.52	0.72	2.4	27.07	2.11	1.32	0.79	1.67	0.29	0.50	0.58
MIN						2.4	11.87	1.13	0.86	0.28	1.67	0.12	0.16	0.40
MAX						2.4	34.46	3.15	2.45	1.03	3.76	0.38	0.73	0.82
AVG						2.4	21.93	2.30	1.63	0.68	2.49	0.25	0.44	0.59

ตารางที่ ข-7 ความเข้มข้นของ PM2.5 และสารประกอบคาร์บอนใน PM2.5 ในฤดูฝน

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	น้ำหนัก filter (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ปริมาตรอากาศ (m^3)	[PM2.5] ($\mu g/m^3$)	TC ($\mu g/m^3$)	OC ($\mu g/m^3$)	EC ($\mu g/m^3$)	OC/EC	Char-EC ($\mu g/m^3$)	Soot-EC ($\mu g/m^3$)	Char-EC/ Soot-EC
			ก่อน	หลัง										
1	02/05/2012	F16	115.95	115.51	0.44	21.6	20.37	3.89	2.27	1.62	1.40	0.38	1.24	0.31
2	07/05/2012	F17	116.89	116.36	0.53	21.6	24.54	7.67	4.40	3.27	1.35	1.31	1.96	0.67
3	13/05/2012	F18	118.15	117.7	0.45	21.6	20.83	5.66	3.66	2.00	1.83	0.77	1.23	0.62
4	19/05/2012	F19	116.35	116.04	0.31	21.6	14.35	5.00	3.17	1.83	1.74	0.65	1.17	0.56
5	25/05/2012	F20	114.37	114	0.37	21.6	17.13	4.05	2.49	1.56	1.60	0.50	1.06	0.47
6	31/05/2012	F21	113.97	113.58	0.39	21.6	18.06	4.60	2.82	1.78	1.59	0.60	1.18	0.51
7	06/06/2012	F22	114.85	114.25	0.6	21.6	27.78	4.99	2.86	2.14	1.33	0.60	1.54	0.39
8	12/06/2012	F23	115.22	114.58	0.64	21.6	29.63	4.13	2.58	1.54	1.67	0.52	1.02	0.51
9	18/06/2012	F24	117.03	116.54	0.49	21.6	22.69	5.68	3.38	2.30	1.47	0.79	1.51	0.52
10	24/06/2012	F25	113.52	113.01	0.51	21.6	23.61	2.75	1.51	1.24	1.21	0.35	0.90	0.39
11	30/06/2012	F26	115.42	114.94	0.48	21.6	22.22	5.63	3.83	1.79	2.14	0.59	1.20	0.50
12	06/07/2012	F27	108.82	108.18	0.64	21.6	29.63	5.76	3.40	2.35	1.45	0.84	1.51	0.56
13	12/07/2012	F28	115.31	115.05	0.26	21.6	12.04	6.36	3.79	2.57	1.48	0.85	1.71	0.50
14	18/07/2012	F29	110.74	110.04	0.7	21.6	32.41	5.45	3.16	2.29	1.38	0.68	1.61	0.42
15	24/07/2012	F30	110.31	109.69	0.62	21.6	28.70	3.91	2.34	1.57	1.49	0.52	1.06	0.49
MIN						21.6	12.04	2.75	1.51	1.24	1.21	0.35	0.90	0.31
MAX						21.6	32.41	7.67	4.40	3.27	2.14	1.31	1.96	0.67
AVG						21.6	22.85	5.05	3.03	2.02	1.56	0.68	1.34	0.49

ตารางที่ ข-8 ความเข้มข้นของ PM10 และสารประกอบคาร์บอนใน PM10 ในฤดูฝน

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	ความเข้มข้น ($\mu g/m^3$)		ปริมาตรอากาศ (m^3)	[PM10] ($\mu g/m^3$)	TC ($\mu g/m^3$)	OC ($\mu g/m^3$)	EC ($\mu g/m^3$)	OC/EC	Char-EC ($\mu g/m^3$)	Soot-EC ($\mu g/m^3$)	Char-EC/ Soot-EC
			[PM10-2.5]	[PM2.5]									
1	02/05/2012	P16	18.34	20.37	24	38.71	6.37	3.90	2.47	1.58	0.64	1.83	0.35
2	07/05/2012	P17	24.58	24.54	24	49.11	10.69	6.58	4.11	1.60	1.69	2.42	0.70
3	13/05/2012	P18	17.05	20.83	24	37.88	8.76	6.11	2.65	2.31	1.03	1.62	0.64
4	19/05/2012	P19	11.87	14.35	24	26.22	7.04	4.59	2.45	1.88	0.87	1.57	0.55
5	25/05/2012	P20	14.50	17.13	24	31.63	5.84	3.85	1.99	1.93	0.67	1.32	0.51
6	31/05/2012	P21	21.48	18.06	24	39.54	7.75	5.05	2.70	1.87	0.96	1.74	0.55
7	06/06/2012	P22	25.50	27.78	24	53.28	6.67	4.01	2.66	1.51	0.77	1.88	0.41
8	12/06/2012	P23	34.46	29.63	24	64.09	6.60	4.30	2.30	1.87	0.81	1.48	0.55
9	18/06/2012	P24	20.19	22.69	24	42.87	7.37	4.63	2.73	1.70	0.96	1.77	0.54
10	24/06/2012	P25	22.17	23.61	24	45.78	3.88	2.37	1.52	1.56	0.46	1.05	0.44
11	30/06/2012	P26	21.48	22.22	24	43.70	7.41	5.02	2.39	2.11	0.78	1.60	0.49
12	06/07/2012	P27	27.81	29.63	24	57.44	8.24	5.20	3.03	1.71	1.07	1.96	0.55
13	12/07/2012	P28	16.26	12.04	24	28.30	9.14	5.63	3.51	1.60	1.18	2.33	0.51
14	18/07/2012	P29	23.79	32.41	24	56.20	8.48	5.17	3.31	1.56	0.98	2.34	0.42
15	24/07/2012	P30	27.07	28.70	24	55.77	6.02	3.66	2.36	1.55	0.80	1.56	0.52
MIN					24	26.22	3.88	2.37	1.52	1.51	0.46	1.05	0.35
MAX					24	64.09	10.69	6.58	4.11	2.31	1.69	2.42	0.70
AVG					24	44.76	7.34	4.65	2.69	1.77	0.93	1.76	0.52

ตารางที่ ข-9 สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM10-2.5 ในฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	[PM10-2.5] (µg/m^3)	TC (µg/m ^{3})	TC/PM10-2.5	OC (µg/m^3)	OC/PM10-2.5	EC (µg/m ^{3})	EC/PM10-2.5
1	5/12/2011	C1	37.65	5.30	0.14	4.53	0.12	0.77	0.02
2	11/12/2011	C2	42.50	5.89	0.14	4.75	0.11	1.14	0.03
3	17/12/2011	C3	36.86	5.40	0.15	4.51	0.12	0.89	0.02
4	23/12/2011	C4	44.34	5.90	0.13	5.14	0.12	0.76	0.02
5	29/12/2011	C5	34.32	5.89	0.17	4.86	0.14	1.03	0.03
6	4/01/2012	C6	40.65	5.71	0.14	4.74	0.12	0.97	0.02
7	10/01/2012	C7	32.52	5.59	0.17	4.54	0.14	1.05	0.03
8	16/01/2012	C8	24.94	2.92	0.12	2.46	0.10	0.46	0.02
9	22/01/2012	C9	21.02	2.67	0.13	2.25	0.11	0.42	0.02
10	28/01/2012	C10	26.74	4.56	0.17	3.70	0.14	0.86	0.03
11	3/02/2012	C11	27.34	3.95	0.14	3.31	0.12	0.64	0.02
12	9/02/2012	C12	22.63	2.15	0.10	1.81	0.08	0.35	0.02
13	15/02/2012	C13	27.30	3.24	0.12	2.63	0.10	0.61	0.02
14	21/02/2012	C14	35.01	6.01	0.17	5.08	0.15	0.92	0.03
MIN			21.02	2.15	0.10	1.81	0.08	0.35	0.02
MAX			44.34	6.01	0.17	5.14	0.15	1.14	0.03
AVG			32.42	4.58	0.14	3.83	0.12	0.77	0.02

ตารางที่ ข-10 สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM 2.5 ในฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	[PM2.5] (µg/m³)	TC (µg/m³)	TC/PM2.5	OC (µg/m³)	OC/PM2.5	EC (µg/m³)	EC/PM2.5
1	5/12/2011	F1	51.85	17.13	0.33	14.02	0.27	3.11	0.06
2	11/12/2011	F2	53.24	17.56	0.33	14.61	0.27	2.95	0.06
3	17/12/2011	F3	47.22	16.21	0.34	13.54	0.29	2.67	0.06
4	23/12/2011	F4	55.56	13.01	0.23	10.50	0.19	2.51	0.05
5	29/12/2011	F5	68.52	26.28	0.38	22.11	0.32	4.17	0.06
6	4/01/2012	F6	55.09	22.33	0.41	18.45	0.33	3.88	0.07
7	10/01/2012	F7	40.74	18.69	0.46	15.49	0.38	3.20	0.08
8	16/01/2012	F8	33.33	9.21	0.28	7.19	0.22	2.02	0.06
9	22/01/2012	F9	26.85	6.79	0.25	5.35	0.20	1.44	0.05
10	28/01/2012	F10	48.61	19.07	0.39	15.09	0.31	3.98	0.08
11	3/02/2012	F11	67.59	19.70	0.29	15.18	0.22	4.52	0.07
12	9/02/2012	F12	27.31	6.49	0.24	5.13	0.19	1.36	0.05
13	15/02/2012	F13	43.06	14.44	0.34	12.11	0.28	2.33	0.05
14	21/02/2012	F14	49.07	31.64	0.64	27.17	0.55	4.47	0.09
MIN			26.85	6.49	0.23	5.13	0.19	1.36	0.05
MAX			68.52	31.64	0.64	27.17	0.55	4.52	0.09
AVG			47.72	17.29	0.36	14.26	0.30	3.03	0.06

ตารางที่ ข-11 สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM10 ในฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	[PM10] (µg/m^3)	TC (µg/m ^{3})	TC/PM10	OC (µg/m^3)	OC/PM10	EC (µg/m ^{3})	EC/PM10
1	5/12/2011	P1	89.50	22.43	0.25	18.55	0.21	3.88	0.04
2	11/12/2011	P2	95.74	23.45	0.24	19.36	0.20	4.09	0.04
3	17/12/2011	P3	84.08	21.61	0.26	18.05	0.21	3.56	0.04
4	23/12/2011	P4	99.90	18.91	0.19	15.64	0.16	3.27	0.03
5	29/12/2011	P5	102.84	32.18	0.31	26.97	0.26	5.21	0.05
6	4/01/2012	P6	95.74	28.04	0.29	23.19	0.24	4.85	0.05
7	10/01/2012	P7	73.26	24.28	0.33	20.02	0.27	4.25	0.06
8	16/01/2012	P8	58.27	12.13	0.21	9.65	0.17	2.48	0.04
9	22/01/2012	P9	47.87	9.46	0.20	7.60	0.16	1.86	0.04
10	28/01/2012	P10	75.35	23.63	0.31	18.80	0.25	4.84	0.06
11	3/02/2012	P11	94.93	23.65	0.25	18.49	0.19	5.15	0.05
12	9/02/2012	P12	49.94	8.64	0.17	6.93	0.14	1.71	0.03
13	15/02/2012	P13	70.36	17.69	0.25	14.74	0.21	2.94	0.04
14	21/02/2012	P14	84.08	37.65	0.45	32.25	0.38	5.40	0.06
MIN			47.87	8.64	0.17	6.93	0.14	1.71	0.03
MAX			102.84	37.65	0.45	32.25	0.38	5.40	0.06
AVG			79.54	21.88	0.27	18.09	0.22	3.79	0.05

ตารางที่ ข-12 สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM10-2.5 ในฤดูฝน

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	[PM10-2.5] (µg/m^3)	TC (µg/m^3)	TC/PM10-2.5	OC (µg/m^3)	OC/PM10-2.5	EC (µg/m^3)	EC/PM10-2.5
1	02/05/2012	C16	18.34	2.48	0.14	1.63	0.09	0.85	0.05
2	07/05/2012	C17	24.58	3.02	0.12	2.18	0.09	0.84	0.03
3	13/05/2012	C18	17.05	3.10	0.18	2.45	0.14	0.65	0.04
4	19/05/2012	C19	11.87	2.04	0.17	1.42	0.12	0.62	0.05
5	25/05/2012	C20	14.50	1.79	0.12	1.36	0.09	0.43	0.03
6	31/05/2012	C21	21.48	3.15	0.15	2.23	0.10	0.92	0.04
7	06/06/2012	C22	25.50	1.67	0.07	1.16	0.05	0.52	0.02
8	12/06/2012	C23	34.46	2.47	0.07	1.72	0.05	0.75	0.02
9	18/06/2012	C24	20.19	1.69	0.08	1.26	0.06	0.43	0.02
10	24/06/2012	C25	22.17	1.13	0.05	0.86	0.04	0.28	0.01
11	30/06/2012	C26	21.48	1.78	0.08	1.19	0.06	0.59	0.03
12	06/07/2012	C27	27.81	2.48	0.09	1.80	0.06	0.68	0.02
13	12/07/2012	C28	16.26	2.79	0.17	1.84	0.11	0.94	0.06
14	18/07/2012	C29	23.79	3.04	0.13	2.01	0.08	1.03	0.04
15	24/07/2012	C30	27.07	2.11	0.08	1.32	0.05	0.79	0.03
MIN			11.87	1.13	0.05	0.86	0.04	0.28	0.01
MAX			34.46	3.15	0.18	2.45	0.14	1.03	0.06
AVG			21.93	2.30	0.11	1.63	0.08	0.68	0.03

ตารางที่ ข-13 สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM2.5 ในฤดูฝน

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	[PM2.5] (µg/m³)	TC (µg/m ³)	TC/PM2.5	OC (µg/m³)	OC/PM2.5	EC (µg/m ³)	EC/PM2.5
1	02/05/2012	F16	20.37	3.89	0.19	2.27	0.11	1.62	0.08
2	07/05/2012	F17	24.54	7.67	0.31	4.40	0.18	3.27	0.13
3	13/05/2012	F18	20.83	5.66	0.27	3.66	0.18	2.00	0.10
4	19/05/2012	F19	14.35	5.00	0.35	3.17	0.22	1.83	0.13
5	25/05/2012	F20	17.13	4.05	0.24	2.49	0.15	1.56	0.09
6	31/05/2012	F21	18.06	4.60	0.25	2.82	0.16	1.78	0.10
7	06/06/2012	F22	27.78	4.99	0.18	2.86	0.10	2.14	0.08
8	12/06/2012	F23	29.63	4.13	0.14	2.58	0.09	1.54	0.05
9	18/06/2012	F24	22.69	5.68	0.25	3.38	0.15	2.30	0.10
10	24/06/2012	F25	23.61	2.75	0.12	1.51	0.06	1.24	0.05
11	30/06/2012	F26	22.22	5.63	0.25	3.83	0.17	1.79	0.08
12	06/07/2012	F27	29.63	5.76	0.19	3.40	0.11	2.35	0.08
13	12/07/2012	F28	12.04	6.36	0.53	3.79	0.31	2.57	0.21
14	18/07/2012	F29	32.41	5.45	0.17	3.16	0.10	2.29	0.07
15	24/07/2012	F30	28.70	3.91	0.14	2.34	0.08	1.57	0.05
MIN			12.04	2.75	0.12	1.51	0.06	1.24	0.05
MAX			32.41	7.67	0.53	4.40	0.31	3.27	0.21
AVG			22.85	5.05	0.25	3.03	0.15	2.02	0.10

ตารางที่ ข-14 สัดส่วนคาร์บอนต่อ PM10 ในฤดูฝน

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	[PM10] (µg/m^3)	TC (µg/m^3)	TC/PM10	OC (µg/m^3)	OC/PM10	EC (µg/m^3)	EC/PM10
1	02/05/2012	P16	38.71	6.37	0.16	3.90	0.06	2.47	0.10
2	07/05/2012	P17	49.11	10.69	0.22	6.58	0.08	4.11	0.13
3	13/05/2012	P18	37.88	8.76	0.23	6.11	0.07	2.65	0.16
4	19/05/2012	P19	26.22	7.04	0.27	4.59	0.09	2.45	0.18
5	25/05/2012	P20	31.63	5.84	0.18	3.85	0.06	1.99	0.12
6	31/05/2012	P21	39.54	7.75	0.20	5.05	0.07	2.70	0.13
7	06/06/2012	P22	53.28	6.67	0.13	4.01	0.05	2.66	0.08
8	12/06/2012	P23	64.09	6.60	0.10	4.30	0.04	2.30	0.07
9	18/06/2012	P24	42.87	7.37	0.17	4.63	0.06	2.73	0.11
10	24/06/2012	P25	45.78	3.88	0.08	2.37	0.03	1.52	0.05
11	30/06/2012	P26	43.70	7.41	0.17	5.02	0.05	2.39	0.11
12	06/07/2012	P27	57.44	8.24	0.14	5.20	0.05	3.03	0.09
13	12/07/2012	P28	28.30	9.14	0.32	5.63	0.12	3.51	0.20
14	18/07/2012	P29	56.20	8.48	0.15	5.17	0.06	3.31	0.09
15	24/07/2012	P30	55.77	6.02	0.11	3.66	0.04	2.36	0.07
MIN			26.22	3.88	0.08	2.37	0.03	1.52	0.05
MAX			64.09	10.69	0.32	6.58	0.12	4.11	0.20
AVG			44.76	7.34	0.18	4.65	0.07	2.69	0.11

ตารางที่ ข-15 องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10-2.5 ในฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	OC1 (μg/m³)	OC2 (μg/m³)	OC3 (μg/m³)	OC4 (μg/m³)	OP (μg/m³)	EC1 (μg/m³)	EC2 (μg/m³)	EC3 (μg/m³)
1	5/12/2011	C1	0.27	0.97	1.23	0.57	1.48	1.83	0.42	0.00
2	11/12/2011	C2	0.20	1.00	1.36	0.68	1.52	1.96	0.67	0.03
3	17/12/2011	C3	0.32	0.90	1.30	0.63	1.37	1.71	0.53	0.01
4	23/12/2011	C4	0.23	1.49	1.60	0.52	1.29	1.58	0.45	0.02
5	29/12/2011	C5	0.18	0.82	1.46	0.59	1.80	2.25	0.59	0.00
6	4/01/2012	C6	0.21	0.85	1.48	0.55	1.65	2.06	0.56	0.00
7	10/01/2012	C7	0.18	0.84	1.36	0.63	1.53	1.94	0.63	0.02
8	16/01/2012	C8	0.09	0.60	0.68	0.29	0.81	0.98	0.29	0.00
9	22/01/2012	C9	0.14	0.58	0.64	0.23	0.66	0.80	0.28	0.00
10	28/01/2012	C10	0.07	0.62	1.15	0.47	1.39	1.77	0.47	0.00
11	3/02/2012	C11	0.05	0.57	1.05	0.42	1.22	1.48	0.38	0.00
12	9/02/2012	C12	0.08	0.59	0.56	0.18	0.39	0.61	0.13	0.00
13	15/02/2012	C13	0.04	0.43	0.98	0.29	0.89	1.27	0.23	0.00
14	21/02/2012	C14	0.08	0.70	1.69	0.65	1.97	2.34	0.55	0.00
MIN			0.04	0.43	0.56	0.18	0.39	0.61	0.13	0.00
MAX			0.32	1.49	1.69	0.68	1.97	2.34	0.67	0.03
AVG			0.16	0.81	1.17	0.47	1.27	1.60	0.44	0.01

ตารางที่ ข-16 องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM 2.5 ในฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	OC1 (µg/m³)	OC2 (µg/m³)	OC3 (µg/m³)	OC4 (µg/m³)	OP (µg/m³)	EC1 (µg/m³)	EC2 (µg/m³)	EC3 (µg/m³)
1	5/12/2011	F1	0.29	3.60	3.07	0.90	6.15	8.05	1.22	0.00
2	11/12/2011	F2	0.31	3.82	2.76	0.83	6.89	8.78	1.06	0.00
3	17/12/2011	F3	0.29	3.52	3.12	0.87	5.74	7.36	1.04	0.01
4	23/12/2011	F4	0.35	2.95	1.35	0.67	5.19	6.69	1.01	0.00
5	29/12/2011	F5	0.22	5.45	3.98	1.13	11.32	14.15	1.34	0.00
6	4/01/2012	F6	0.08	4.22	4.73	0.99	8.43	11.25	1.05	0.02
7	10/01/2012	F7	0.22	3.42	4.85	1.17	5.83	7.70	1.32	0.01
8	16/01/2012	F8	0.10	1.87	1.74	0.50	2.99	4.13	0.88	0.00
9	22/01/2012	F9	0.17	1.45	1.32	0.34	2.08	2.76	0.76	0.00
10	28/01/2012	F10	0.11	3.42	4.04	1.03	6.50	9.01	1.43	0.04
11	3/02/2012	F11	0.00	3.90	3.76	0.82	6.71	9.66	1.55	0.01
12	9/02/2012	F12	0.15	1.38	1.10	0.37	2.12	2.79	0.70	0.00
13	15/02/2012	F13	0.09	2.60	3.15	0.76	5.51	7.04	0.80	0.00
14	21/02/2012	F14	0.10	5.72	7.57	1.98	11.80	15.03	1.25	0.00
MIN			0.00	1.38	1.10	0.34	2.08	2.76	0.70	0.00
MAX			0.35	5.72	7.57	1.98	11.80	15.03	1.55	0.04
AVG			0.18	3.40	3.45	0.92	6.32	8.26	1.10	0.01

ตารางที่ ข-17 องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10 ในฤดูแล้ง

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	OC1 (μg/m³)	OC2 (μg/m³)	OC3 (μg/m³)	OC4 (μg/m³)	OP (μg/m³)	EC1 (μg/m³)	EC2 (μg/m³)	EC3 (μg/m³)
1	5/12/2011	P1	0.56	4.57	4.30	1.48	7.63	9.88	1.64	0.00
2	11/12/2011	P2	0.51	4.82	4.12	1.51	8.41	10.74	1.73	0.03
3	17/12/2011	P3	0.61	4.42	4.41	1.50	7.10	9.08	1.57	0.02
4	23/12/2011	P4	0.58	4.44	2.94	1.19	6.48	8.27	1.46	0.02
5	29/12/2011	P5	0.40	6.27	5.45	1.72	13.12	16.40	1.93	0.00
6	4/01/2012	P6	0.29	5.07	6.21	1.54	10.09	13.31	1.61	0.02
7	10/01/2012	P7	0.39	4.26	6.21	1.80	7.36	9.64	1.95	0.02
8	16/01/2012	P8	0.18	2.46	2.41	0.79	3.80	5.11	1.17	0.00
9	22/01/2012	P9	0.31	2.03	1.95	0.57	2.74	3.56	1.04	0.00
10	28/01/2012	P10	0.18	4.04	5.19	1.50	7.88	10.78	1.90	0.04
11	3/02/2012	P11	0.05	4.47	4.81	1.24	7.92	11.14	1.93	0.01
12	9/02/2012	P12	0.23	1.97	1.66	0.55	2.52	3.40	0.83	0.00
13	15/02/2012	P13	0.13	3.03	4.13	1.05	6.40	8.31	1.03	0.00
14	21/02/2012	P14	0.17	6.42	9.26	2.63	13.77	17.37	1.79	0.00
MIN			0.05	1.97	1.66	0.55	2.52	3.40	0.83	0.00
MAX			0.61	6.42	9.26	2.63	13.77	17.37	1.95	0.04
AVG			0.33	4.17	4.62	1.39	7.60	9.86	1.52	0.01

ตารางที่ ข-18 องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10-2.5 ในฤดูฝน

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	OC1 (µg/m³)	OC2 (µg/m³)	OC3 (µg/m³)	OC4 (µg/m³)	OP (µg/m³)	EC1 (µg/m³)	EC2 (µg/m³)	EC3 (µg/m³)
1	02/05/2012	C16	0.07	0.18	0.69	0.25	0.44	0.69	0.49	0.10
2	07/05/2012	C17	0.04	0.20	0.79	0.28	0.88	1.26	0.46	0.00
3	13/05/2012	C18	0.05	0.22	1.12	0.29	0.77	1.03	0.39	0.00
4	19/05/2012	C19	0.03	0.03	0.72	0.26	0.37	0.59	0.40	0.01
5	25/05/2012	C20	0.05	0.09	0.58	0.20	0.43	0.61	0.26	0.00
6	31/05/2012	C21	0.05	0.07	1.08	0.45	0.58	0.94	0.43	0.13
7	06/06/2012	C22	0.07	0.00	0.51	0.26	0.31	0.49	0.34	0.00
8	12/06/2012	C23	0.03	0.00	0.63	0.52	0.54	0.83	0.45	0.01
9	18/06/2012	C24	0.08	0.00	0.56	0.34	0.28	0.45	0.26	0.00
10	24/06/2012	C25	0.04	0.00	0.34	0.31	0.17	0.28	0.16	0.00
11	30/06/2012	C26	0.07	0.00	0.56	0.31	0.24	0.43	0.41	0.00
12	06/07/2012	C27	0.08	0.04	0.87	0.49	0.32	0.55	0.45	0.00
13	12/07/2012	C28	0.01	0.00	0.89	0.32	0.62	0.95	0.58	0.04
14	18/07/2012	C29	0.02	0.04	1.10	0.31	0.54	0.84	0.62	0.11
15	24/07/2012	C30	0.02	0.00	0.52	0.30	0.48	0.77	0.37	0.13
MIN			0.01	0.00	0.34	0.20	0.17	0.28	0.16	0.00
MAX			0.08	0.22	1.12	0.52	0.88	1.26	0.62	0.13
AVG			0.05	0.06	0.73	0.33	0.47	0.72	0.40	0.04

ตารางที่ ข-19 องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM2.5 ในฤดูฝน

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	OC1 (µg/m³)	OC2 (µg/m³)	OC3 (µg/m³)	OC4 (µg/m³)	OP (µg/m³)	EC1 (µg/m³)	EC2 (µg/m³)	EC3 (µg/m³)
1	02/05/2012	F16	0.03	0.64	0.84	0.22	0.54	0.92	1.22	0.01
2	07/05/2012	F17	0.03	1.11	1.15	0.38	1.73	3.04	1.93	0.02
3	13/05/2012	F18	0.04	1.02	0.93	0.30	1.38	2.14	1.22	0.01
4	19/05/2012	F19	0.05	0.91	0.94	0.30	0.97	1.63	1.15	0.02
5	25/05/2012	F20	0.07	0.73	0.71	0.22	0.77	1.27	1.05	0.01
6	31/05/2012	F21	0.08	0.71	0.83	0.26	0.93	1.53	1.17	0.01
7	06/06/2012	F22	0.08	0.80	0.86	0.38	0.73	1.33	1.37	0.17
8	12/06/2012	F23	0.08	0.61	0.83	0.41	0.66	1.18	1.00	0.02
9	18/06/2012	F24	0.10	1.08	1.01	0.44	0.74	1.53	1.51	0.01
10	24/06/2012	F25	0.06	0.38	0.43	0.21	0.42	0.77	0.88	0.02
11	30/06/2012	F26	0.12	1.06	1.30	0.57	0.79	1.38	1.20	0.00
12	06/07/2012	F27	0.04	0.96	1.01	0.58	0.81	1.65	1.51	0.00
13	12/07/2012	F28	0.01	0.59	1.45	0.43	1.31	2.16	1.64	0.07
14	18/07/2012	F29	0.00	0.59	1.22	0.37	0.98	1.66	1.55	0.06
15	24/07/2012	F30	0.12	0.56	0.73	0.22	0.71	1.23	1.06	0.00
MIN			0.00	0.38	0.43	0.21	0.42	0.77	0.88	0.00
MAX			0.12	1.11	1.45	0.58	1.73	3.04	1.93	0.17
AVG			0.06	0.78	0.95	0.36	0.92	1.60	1.31	0.04

ตารางที่ ข-20 องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทใน PM10 ในฤดูฝน

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	OC1 (µg/m³)	OC2 (µg/m³)	OC3 (µg/m³)	OC4 (µg/m³)	OP (µg/m³)	EC1 (µg/m³)	EC2 (µg/m³)	EC3 (µg/m³)
1	02/05/2012	P16	0.10	0.82	1.53	0.48	0.98	1.62	1.72	0.12
2	07/05/2012	P17	0.08	1.31	1.94	0.65	2.61	4.30	2.39	0.02
3	13/05/2012	P18	0.08	1.24	2.05	0.59	2.14	3.17	1.61	0.01
4	19/05/2012	P19	0.08	0.94	1.66	0.56	1.35	2.22	1.55	0.03
5	25/05/2012	P20	0.12	0.82	1.29	0.42	1.20	1.88	1.30	0.01
6	31/05/2012	P21	0.13	0.78	1.91	0.71	1.51	2.47	1.60	0.14
7	06/06/2012	P22	0.15	0.80	1.38	0.64	1.05	1.82	1.71	0.17
8	12/06/2012	P23	0.11	0.61	1.46	0.93	1.20	2.01	1.45	0.03
9	18/06/2012	P24	0.18	1.08	1.58	0.77	1.02	1.98	1.76	0.01
10	24/06/2012	P25	0.10	0.38	0.77	0.52	0.59	1.05	1.03	0.02
11	30/06/2012	P26	0.19	1.06	1.86	0.88	1.03	1.81	1.60	0.00
12	06/07/2012	P27	0.12	1.00	1.88	1.08	1.13	2.20	1.96	0.00
13	12/07/2012	P28	0.01	0.59	2.34	0.76	1.93	3.11	2.22	0.11
14	18/07/2012	P29	0.02	0.62	2.33	0.68	1.52	2.49	2.17	0.17
15	24/07/2012	P30	0.15	0.56	1.24	0.52	1.19	1.99	1.43	0.13
MIN			0.01	0.38	0.77	0.42	0.59	1.05	1.03	0.00
MAX			0.19	1.31	2.34	1.08	2.61	4.30	2.39	0.17
AVG			0.11	0.84	1.67	0.69	1.39	2.32	1.70	0.07

ตารางที่ ข-21 แบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงโดยเครื่อง micro Aethalometer ในฤดูฝน

วันที่	Flow ml/min	[BC] (µg/m3)																								
		เฉลี่ย 24 ชม.	ช่วงเวลา (เฉลี่ยทุก 1 ชม.)																							
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
02/05/2012	93.00	2.23	0.88	0.74	0.76	1.24	1.50	2.98	2.58	1.86	2.68	3.48	3.38	1.90	1.66	2.14	1.98	3.02	1.92	1.90	3.60	3.41	3.04	2.60	1.98	1.33
07/05/2012	99.00	3.22	3.45	4.20	5.13	4.47	5.66	7.49	4.19	3.78	3.19	2.24	1.64	3.68	3.62	2.97	2.75	2.76	2.06	1.35	1.67	1.84	2.19	1.92	2.59	2.39
13/05/2012	93.00	2.15	1.25	1.06	1.21	1.75	2.46	2.7	3.5	2.14	1.77	2.04	1.68	2.48	2.91	2.15	1.93	2.45	3.21	4.55	1.83	1.88	1.71	2.09	1.73	1.39
19/05/2012	102.00	2.01	3.13	2.82	2.10	1.43	2.05	2.13	1.83	0.84	0.50	0.51	0.52	0.50	0.64	1.25	1.58	1.88	1.57	1.46	1.36	3.57	5.99	3.93	3.33	3.34
25/05/2012	97.00	1.64	0.85	0.72	0.64	0.71	1.07	1.61	1.54	1.31	1.46	2.50	1.58	1.93	1.95	2.40	2.39	2.36	1.33	1.35	1.59	2.31	2.40	2.04	1.42	0.92
31/05/2012	96.00	2.82	2.01	1.29	1.54	2.62	5.59	6.28	2.68	1.76	1.75	1.40	1.85	2.39	1.69	1.60	1.68	1.86	2.26	3.94	5.43	6.04	7.05	2.67	1.44	1.21
06/06/2012	102.00	2.70	4.91	2.69	2.34	2.04	2.43	2.48	2.07	1.78	1.85	3.08	2.60	2.73	2.38	1.69	2.04	2.64	3.54	3.20	2.98	2.66	3.21	2.00	3.16	4.72
12/06/2012	99.00	2.46	1.42	1.45	1.16	1.37	3.59	3.30	3.11	2.65	2.73	2.46	2.40	1.42	1.43	1.55	1.66	2.46	2.43	4.10	4.13	4.21	3.86	2.99	2.13	1.63
18/06/2012	95.00	3.02	2.55	2.06	1.91	2.40	4.76	3.49	4.39	1.93	1.63	1.52	1.74	3.41	2.97	3.45	1.96	2.62	3.03	2.95	2.58	3.48	4.96	4.13	4.07	4.93
24/06/2012	98.00	2.14	1.98	1.57	1.71	2.06	2.34	2.5	4.26	2.59	1.31	1.13	2.12	1.63	1.63	1.85	1.98	2.31	2.63	1.80	2.04	1.88	1.57	1.78	1.51	1.94
30/06/2012	97.00	4.07	4.21	4.47	4.92	4.43	4.98	5.26	5.58	5.46	3.47	2.43	1.90	2.36	3.25	4.46	3.64	4.10	4.66	4.45	3.46	3.78	3.34	4.46	4.49	3.58
06/07/2012	102.00	3.22	2.34	2.15	2.34	2.57	2.37	3.47	4.55	3.69	2.46	1.72	1.81	3.08	2.90	2.56	2.12	2.42	1.86	3.53	7.07	6.22	5.65	5.16	2.80	2.55
12/07/2012	97.00	2.23	0.95	0.88	0.95	1.23	1.98	2.45	2.94	2.82	666	1.92	1.84	1.89	1.66	1.87	1.95	2.45	2.73	3.44	3.95	3.54	3.46	2.54	1.95	1.70
18/07/2012	96.00	2.91	2.34	1.85	2.01	2.40	2.60	3.26	3.75	3.33	2.52	1.53	1.85	2.79	2.80	3.20	3.87	4.37	3.26	3.25	4.30	3.29	2.95	3.14	2.67	2.50
24/07/2012	99.00	2.88	2.33	1.53	1.59	1.44	2.54	2.55	2.69	2.88	3.29	2.25	1.80	3.66	3.75	1.75	2.01	2.46	3.43	4.03	5.05	4.44	4.32	3.85	2.90	2.55
MIN	93.00	1.64	0.85	0.72	0.64	0.71	1.07	1.61	1.54	0.84	0.50	0.51	0.52	0.50	0.64	1.25	1.58	1.86	1.33	1.35	1.36	1.84	1.57	1.78	1.42	0.92
MAX	102.00	4.07	4.91	4.47	5.13	4.47	5.66	7.49	5.58	5.46	3.47	3.48	3.38	3.68	3.75	4.46	3.87	4.37	4.66	4.55	7.07	6.22	7.05	5.16	4.49	4.93
AVG	97.67	2.65	2.31	1.97	2.02	2.14	3.06	3.46	3.31	2.59	2.21	2.01	1.91	2.39	2.35	2.33	2.24	2.68	2.66	3.02	3.40	3.50	3.71	3.02	2.54	2.45

ตารางที่ ข-22 แบล็กคาร์บอนเฉลี่ยรายชั่วโมงโดยเครื่อง micro Aethalometer ในฤดูแล้ง

No. Filter	Flow ml/min	[BC] (µg/m3)																								
		เฉลี่ย 24 ชม.	ช่วงเวลา (เฉลี่ยทุก 1 ชม.)																						
			1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00	23.00	24.00
1/11/2012	99.00	4.19	4.98	4.74	4.53	4.22	6.44	6.21	6.49	5.92	5.42	3.14	2.26	2.07	2.15	2.14	2.20	2.35	2.34	3.71	3.27	3.02	3.35	4.33	4.43	4.52
7/11/2012	100.00	4.02	2.61	1.43	0.95	1.17	1.43	2.16	2.98	5.54	3.14	2.91	3.18	3.58	2.61	5.95	7.07	7.04	5.85	6.64	6.16	4.97	3.80	4.88	5.17	4.19
13/11/2012	99.00	4.60	3.98	4.47	6.91	5.00	4.83	4.50	4.95	5.33	5.25	3.81	3.66	2.98	2.28	1.87	1.75	1.97	3.00	4.44	5.10	5.56	6.52	6.48	5.53	4.33
19/11/2012	99.00	3.57	3.89	4.05	3.05	3.18	3.47	4.19	4.62	4.65	4.95	4.76	4.26	2.97	2.28	1.86	1.44	1.58	2.07	2.13	2.54	3.10	3.33	3.33	3.63	4.81
25/11/2012	100.00	2.06	0.71	0.91	0.74	0.96	2.12	2.61	2.30	2.94	4.30	3.36	2.05	2.37	1.81	1.94	2.74	1.99	4.33	2.06	1.99	0.97	1.39	1.79	1.27	1.92
1/12/2012	99.00	2.27	2.21	1.89	1.63	1.59	1.79	2.33	2.70	2.67	3.01	3.12	1.89	2.37	1.86	1.96	1.98	2.16	2.52	2.84	2.98	2.56	2.26	2.21	2.24	1.82
7/12/2012	98.00	3.43	3.53	3.44	2.55	2.43	2.66	2.88	3.03	3.13	3.55	3.26	3.12	2.34	2.22	2.57	3.65	4.01	4.56	4.44	4.75	4.88	4.57	4.01	3.50	3.25
13/12/2012	100.00	4.25	5.62	5.74	5.95	6.02	5.93	6.39	6.41	5.79	5.69	5.10	3.61	2.76	2.23	1.56	1.41	1.47	1.62	2.1	2.29	3.48	5.14	4.89	5.49	5.29
19/12/2012	99.00	3.40	3.88	4.05	3.97	3.48	3.61	4.18	4.51	6.70	3.74	2.74	1.97	1.84	2.24	1.83	2.18	2.19	2.35	2.42	2.6	3.64	4.53	4.86	4.02	4.16
25/12/2012	99.00	4.35	4.90	5.65	5.83	6.16	6.33	6.94	7.75	7.77	5.41	4.35	4.91	3.49	1.96	1.35	1.49	1.45	1.59	2.17	3.22	3.25	3.94	4.44	5.15	4.88
7/1/2013	98.00	5.49	5.66	5.64	5.91	7.21	7.58	9.42	9.90	9.91	7.39	4.59	3.60	2.82	3.22	2.52	2.48	4.38	4.42	4.14	4.08	4.55	4.91	5.66	6.06	5.61
13/1/2013	98.00	2.43	1.64	1.23	1.31	3.37	2.80	3.41	4.05	3.83	3.49	2.41	1.78	1.82	3.25	2.93	2.83	1.80	1.41	1.91	2.35	2.51	2.27	1.96	1.9	2.1
19/1/2013	100.00	1.84	2.41	1.88	1.71	1.61	1.72	2.03	2.53	2.86	2.46	2.02	1.38	1.36	1.25	1.24	1.33	1.20	1.26	1.98	2.22	2.68	2.16	2.09	1.58	1.13
25/1/2013	99.00	4.48	4.83	4.37	4.93	4.46	4.17	3.57	6.38	8.89	8.13	6.11	4.38	3.44	3.15	2.85	2.77	3.14	3.65	3.88	5.31	4.45	4.11	3.87	3.51	3.22
31/1/2013	99.00	4.22	3.54	3.45	3.83	3.86	4.33	4.94	5.75	6.56	7.41	6.37	4.91	3.25	2.76	2.35	2.49	3.55	4.59	4.77	5.22	4.75	3.54	3.25	3.17	2.68
MIN	98.00	1.84	0.71	0.91	0.74	0.96	1.43	2.03	2.30	2.67	2.46	2.02	1.38	1.36	1.25	1.24	1.33	1.20	1.26	1.91	1.99	0.97	1.39	1.79	1.27	1.13
MAX	100.00	5.49	5.66	5.74	6.91	7.21	7.58	9.42	9.90	9.91	8.13	6.37	4.91	3.58	3.25	5.95	7.07	7.04	5.85	6.64	6.16	5.56	6.52	6.48	6.06	5.61
AVG	99.06	3.64	3.63	3.53	3.59	3.65	3.95	4.38	4.96	5.50	4.89	3.87	3.13	2.63	2.35	2.33	2.52	2.69	3.04	3.31	3.61	3.62	3.72	3.87	3.78	3.59

ตารางที่ ข-23 ความเข้มข้นฝุ่นละออง และองค์ประกอบคาร์บอนในไอเสียยานพาหนะ

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	น้ำหนัก filter (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ปริมาตรอากาศ (m^3)	[PM] (mg/m^3)	TC (mg/m^3)	OC (mg/m^3)	EC (mg/m^3)	OC/EC	Char-EC (mg/m^3)	Soot-EC (mg/m^3)	Char-EC/ Soot-EC
			ก่อน	หลัง										
1	29/7/2555	Diesel 1	97.92	96.43	1.49	0.0375	39.73	27.03	13.35	13.67	0.98	0.55	13.12	0.04
2	29/7/2555	Diesel 2	100.74	98.88	1.86	0.0375	49.60	28.28	13.77	13.51	1.01	0.68	12.83	0.05
3	29/7/2555	Diesel 3	96.2	94.64	1.56	0.0375	41.60	28.25	13.75	14.50	0.95	0.68	13.83	0.05
AVG						0.0375	44.05±5.24	27.77±0.72	13.63±0.24	13.94±0.53	0.98	0.63±0.07	13.29±0.51	0.05
4	29/7/2555	LPG 1	97.66	97.58	0.08	0.075	1.07	0.74	0.58	0.16	3.55	0.03	0.13	0.25
5	29/7/2555	LPG 2	98.46	98.36	0.1	0.075	1.33	0.75	0.60	0.15	3.97	0.02	0.13	0.16
6	29/7/2555	LPG 3	100.19	100.08	0.11	0.075	1.47	0.78	0.62	0.16	3.91	0.02	0.13	0.18
AVG						0.075	1.29±0.20	0.76±0.02	0.60±0.02	0.16±0.01	3.81	0.03±0.01	0.13±0.00	0.20
7	30/7/2555	Gassoline 1	97.97	96.98	0.99	0.075	13.20	12.73	12.39	0.34	36.95	0.11	0.23	0.47
8	30/7/2555	Gassoline 2	97.02	96.06	0.96	0.075	12.80	10.61	10.18	0.43	23.82	0.16	0.26	0.62
9	30/7/2555	Gassoline 3	99.31	98.76	0.55	0.075	7.33	6.05	5.80	0.25	22.96	0.11	0.15	0.73
AVG						0.075	10.77±3.28	9.63±3.41	9.31±3.36	0.34±0.09	28.73	0.13±0.03	0.21±0.06	0.60

ตารางที่ ข-24 สัดส่วนคาร์บอนต่อฝุ่นละอองในไอเสียยานพาหนะ

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	[PM] (mg/m^3)	TC (mg/m^3)	TC/PM	OC (mg/m^3)	OC/PM	EC (mg/m^3)	EC/PM
1	29/7/2555	Diesel 1	39.73	27.03	0.68	13.35	0.34	13.67	0.34
2	29/7/2555	Diesel 2	49.60	28.28	0.57	13.77	0.27	13.51	0.27
3	29/7/2555	Diesel 3	41.60	28.25	0.68	13.75	0.33	14.50	0.35
AVG			44.05±5.24	27.77±0.72	0.64	13.63±0.24	0.31	13.94±0.53	0.32
4	29/7/2555	LPG 1	1.07	0.74	0.69	0.58	0.54	0.16	0.15
5	29/7/2555	LPG 2	1.33	0.75	0.56	0.60	0.45	0.15	0.11
6	29/7/2555	LPG 3	1.47	0.78	0.53	0.62	0.42	0.16	0.11
AVG			1.29±0.20	0.76±0.02	0.60	0.60±0.02	0.47	0.16±0.01	0.12
7	30/7/2555	Gassoline 1	13.20	12.73	0.96	12.39	0.94	0.34	0.03
8	30/7/2555	Gassoline 2	12.80	10.61	0.83	10.18	0.80	0.43	0.03
9	30/7/2555	Gassoline 3	7.33	6.05	0.83	5.80	0.79	0.25	0.03
AVG			10.77±3.28	9.63±3.41	0.88	9.31±3.36	0.85	0.34±0.09	0.03

ตารางที่ ข-25 องค์ประกอบคาร์บอนทั้ง 8 ประเภทในไอเสียยานพาหนะ

ครั้งที่	วันที่	Filter No.	OC1 (mg/m^3)	OC2 (mg/m ^{3})	OC3 (mg/m^3)	OC4 (mg/m^3)	OP (mg/m^3)	EC1 (mg/m ^{3})	EC2 (mg/m^3)	EC3 (mg/m^3)
1	29/7/2555	Diesel 1	0.38	8.68	3.09	0.65	0.55	1.10	8.19	4.93
2	29/7/2555	Diesel 2	0.27	9.22	3.34	1.02	0.92	1.60	7.16	5.67
3	29/7/2555	Diesel 3	0.23	8.32	3.42	0.90	0.89	1.57	8.41	5.41
AVG			0.30	8.75	3.27	0.85	0.77	1.39	7.87	5.32
4	29/7/2555	LPG 1	0.03	0.30	0.18	0.02	0.04	0.08	0.13	0.00
5	29/7/2555	LPG 2	0.03	0.32	0.18	0.02	0.05	0.07	0.13	0.00
6	29/7/2555	LPG 3	0.03	0.34	0.18	0.02	0.05	0.08	0.13	0.00
AVG			0.03	0.32	0.18	0.02	0.05	0.07	0.13	0.00
7	30/7/2555	Gassoline 1	0.02	6.10	5.70	0.33	0.23	0.34	0.22	0.01
8	30/7/2555	Gassoline 2	0.00	3.29	6.28	0.50	0.11	0.27	0.25	0.02
9	30/7/2555	Gassoline 3	0.02	3.26	2.22	0.17	0.13	0.23	0.15	0.00
AVG			0.02	4.40	4.54	0.33	0.16	0.29	0.20	0.01

ภาคผนวก ค

ข้อมูลมลพิษอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ (สถานีดินแดง)

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลมลพิษอากาศจากสถานีดินแดง (กรมควบคุมมลพิษ, 2556)

วันที่	PM10 at 3 m (µg/m3)	PM2.5 at 3 m (µg/m3)	CO at 3 m (ppm)	NO2 at 3 m (ppb)	SO2 at 3 m (ppb)	O3 at 3 m (ppb)
5/12/2011	54.43	44.04	1.00	21.13	1.18	8.36
11/12/2011	41.21	37.50	0.52	20.96	1.96	7.91
17/12/2011	53.67	44.04	0.98	20.29	1.13	8.22
23/12/2011	41.21	37.50	0.52	29.12	1.96	7.91
29/12/2011	84.70	44.00	1.33	32.33	2.18	4.05
4/01/2012	56.00	32.63	1.49	25.79	1.39	4.87
10/01/2012	83.50	54.21	1.30	35.00	1.13	4.13
16/01/2012	50.92	30.08	1.12	27.70	1.39	4.91
22/01/2012	31.63	18.83	1.07	18.56	0.26	3.30
28/01/2012	96.63	57.88	1.86	51.60	3.87	2.11
3/02/2012	87.46	55.21	2.21	39.62	2.04	4.48
9/02/2012	43.21	27.75	0.62	22.91	0.83	7.17
15/02/2012	66.38	41.29	0.77	26.05	0.00	12.39
21/02/2012	108.58	78.50	1.64	40.21	0.26	8.70
27/02/2012	39.19	18.92	0.28	14.77	0.00	5.52
02/05/2012	28.88	18.50	0.72	29.23	0.50	5.64
07/05/2012	39.17	23.15	1.34	30.13	0.87	8.70
13/05/2012	43.21	29.63	0.42	28.96	1.65	5.48
19/05/2012	35.09	25.46	0.26	27.87	2.43	10.78
25/05/2012	48.54	29.17	1.18	31.77	3.09	6.35
31/05/2012	46.71	28.74	1.59	29.35	3.13	5.91
06/06/2012	42.09	29.70	0.77	41.27	3.14	6.52
12/06/2012	41.63	22.92	0.60	22.41	0.32	6.78
18/06/2012	26.21	18.90	1.13	24.35	1.43	6.52
24/06/2012	38.71	24.17	0.42	18.57	1.35	7.00
30/06/2012	37.21	26.29	0.63	29.83	1.35	4.13
06/07/2012	30.21	25.46	0.30	23.14	0.76	4.95
12/07/2012	33.00	20.21	1.09	23.13	0.91	2.43
18/07/2012	27.63	27.17	0.76	22.70	0.57	1.48
24/07/2012	39.71	26.54	0.83	22.25	1.42	2.63

ภาคผนวก ง

ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ตารางที่ ง-1 ข้อมูลสภาพอากาศ (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2556)

วันที่	Wind speed at 10 m (m/s)	Temp (ºC) at 2 m	RH at 2 m (%RH)	Rain at 3 m (mm)
5/12/2011	1.17	28.50	57.43	0.00
11/12/2011	0.98	24.43	58.17	0.00
17/12/2011	1.16	26.68	57.71	0.00
23/12/2011	0.98	24.43	58.17	0.00
29/12/2011	0.63	27.28	61.43	0.00
4/01/2012	0.57	28.05	78.71	4.50
10/01/2012	0.65	27.39	58.29	0.00
16/01/2012	0.44	29.46	70.71	2.00
22/01/2012	0.55	29.33	75.00	0.00
28/01/2012	0.38	28.23	80.38	0.80
3/02/2012	0.42	29.08	77.83	0.90
9/02/2012	0.64	29.39	78.75	1.10
15/02/2012	0.60	30.13	75.67	0.00
21/02/2012	0.53	28.64	56.54	0.00
27/02/2012	0.74	30.39	74.00	0.00
02/05/2012	0.70	32.4	61.25	0.00
07/05/2012	0.62	31.69	63.63	4.90
13/05/2012	0.73	33.08	56.50	0.00
19/05/2012	0.58	30.57	72.96	0.90
25/05/2012	0.54	31.29	71.58	0.00
31/05/2012	0.53	30.72	76.00	2.50
06/06/2012	0.49	30.13	73.17	37.01
12/06/2012	0.80	30.52	68.04	0.00
18/06/2012	0.79	29.31	70.83	0.90
24/06/2012	0.68	31.04	67.13	0.00
30/06/2012	0.53	29.89	70.00	2.10
06/07/2012	0.62	29.89	70.21	0.00
12/07/2012	0.50	28.82	84.13	60.60
18/07/2012	0.64	28.70	76.13	2.20
24/07/2012	0.65	31.08	63.42	0.30

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิวรินทร์ ดวงแก้ว เกิดเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาปริญญาศิลปศาสตรบัณฑิต สาขาสื่อสารมวลชน คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง เมื่อปีการศึกษา 2550 และสำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแผ่ในงานประชุม The 38th Congress on Science and Technology of Thailand จัดที่โรงแรมดิอิมเพรส จังหวัดเชียงใหม่ ในชื่อหัวข้อ CARBON COMPOSITIONS OF $PM_{2.5}$ AND PM_{10} IN BANGKOK วันที่ 17-19 ตุลาคม 2555 และงานประชุม The Better Air Quality 2012 จัดที่มหาวิทยาลัยฮ่องกงโพลีเทคนิค ประเทศฮ่องกง ในชื่อหัวข้อ CARBON COMPOSITIONS IN THE AMBIENT AIR OF BANGKOK วันที่ 5-7 ธันวาคม 2555