

การหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศ
ภายในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับ



นายสมานชัย เลิศกมลวิทย์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-665-825-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SIZE SELECTED PARTICULATE ($PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}) MONITORING AND RELATIONSHIP
AMONG AMBIENT, INDOOR AND EXPOSURE CONCENTRATION

MR. SAMARNCHAI LOETKAMONWIT

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science
Inter-departmental Program in Environmental Science

Graduate School
Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-665-825-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}) และความสัมพันธ์
ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศ ภายในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับ

โดย

นายสมานชัย เลิศกมลวิทย์

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

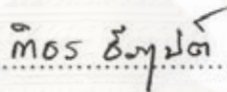
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จินศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

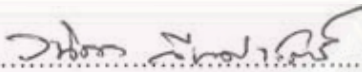


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนันท์)

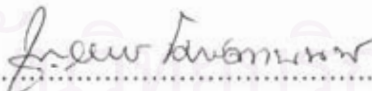
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



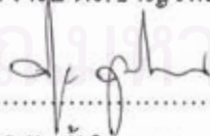
..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กัทธนา ธีรคุปต์)



..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จินศาสตร์)



..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาณวิทย์ ไชษิตานนท์)



..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศุภิชัย ตั้งใจตรง)

สมานชัย เลิศกมลวิทย์ : การหาปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}) และความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศ ภายในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับ. (SIZE SELECTED PARTICULATE MONITORING ($PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}) AND RELATIONSHIP AMONG AMBIENT, INDOOR AND PERSONAL EXPOSURE CONCENTRATION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. วนิตา จินศาสตร์, 119 หน้า. ISBN 974-665-825-5

ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$ และ PM_{10} ภายนอกป้อมตำรวจริมถนน ภายในป้อมตำรวจ และที่ตำรวจจราจรได้รับสัมผัส ในเขตกรุงเทพฯ: ดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง และงามวงศ์วาน ในเขตชานเมือง: ตลาดคู และประชาสำราญ และในเขตอยุธยา ถูกเก็บด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศเฉพาะบุคคล ติดหัวแยกฝุ่นอิมแพคเตอร์ หาปริมาณด้วยเครื่องชั่งหกตำแหน่ง เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้กับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบเทปใช้รังสีเบต้าที่สถานเฝ้าระวังดินแดงของกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญ ($r = 0.948$, $p = 0.004$) PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ภายนอกป้อมในเขตกรุงเทพฯมีค่ามากกว่า $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยเฉพาะที่ดินแดง และงามวงศ์วานมีค่าเกินมาตรฐานฝุ่นในบรรยากาศ ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ในขณะที่ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพฯทั้งหมดมีค่าเกินมาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ US EPA กำหนด ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ภายในป้อมมีค่าน้อยกว่าภายนอกป้อม ในขณะที่ฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่าอยู่ระหว่างฝุ่นละอองภายนอกป้อม และภายในป้อม การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุยืนยันว่าการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดสำคัญสำหรับการศึกษานี้ สำหรับสัดส่วนของฝุ่น $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} พบว่าไม่ขึ้นกับความเข้มข้นฝุ่นละออง แต่ความเป็นเมืองมีแนวโน้มทำให้สัดส่วนนี้มีค่าสูงกว่าในต่างจังหวัด ซึ่งกรุงเทพฯ ค่าเฉลี่ยสัดส่วนนี้มีค่า 0.74 ส่วนหนองจอกเป็นชานเมืองกรุงเทพฯมีค่า 0.65 ในเขตอยุธยา มีค่า 0.60 จากการวิเคราะห์หาสหสัมพันธ์พบความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นภายนอกป้อม ฝุ่นภายในป้อม และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส ($p < 0.05$) สามารถหาสมการถดถอยเพื่อใช้ประมาณฝุ่นละอองภายในป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัสได้ โดยใช้ปริมาณฝุ่น PM_{10} ภายนอกป้อมเป็นตัวทำนายที่ดีที่สุด นอกจากนี้พบว่าปริมาณฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ในบรรยากาศ แปรผันตามความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ แต่แปรผกผันกับความเร็วลมสูงสุด

ภาควิชาสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพแคว้นลุ่ม ลายมือชื่ออนิสิต.....
 สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพแคว้นลุ่ม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา 2543

4172473223 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD : PM_{2.5}/PM₁₀

SAMARNCHAI LOETKAMONWIT : SIZE SELECTED PARTICULATE
(PM_{2.5}, PM_{10-2.5}, PM₁₀) MONITORING AND RELATIONSHIP AMONG
AMBIENT, INDOOR AND PERSONAL EXPOSURE CONCENTRATION.
THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.WANIDA JINSART. 119 pp. ISBN 974-
665-825-5.

The outside, inside traffic police booth and personal exposure particulate matters: PM₁₀, PM_{10-2.5} and PM_{2.5} in Bangkok sites: Dindaeng, Patumwan, Ramkumhaeng and Ngamwonawan, Suburban sites: Talad ku and Prachasamran and Ayutthaya sites were sampling with personal sampler attached impactor cascade heads and particulate concentrations were measured by gravimetric method using a microbalance. PM₁₀ from co-located operation of the personal sample with β -attenuation PM₁₀ from PCD showed significantly correlation with $r = 0.948$, $p = 0.004$. The 24-hr. average PM₁₀ of Bangkok sites was over $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, (Dindaeng and Ngamwongwan's PM₁₀ were exceeded the National Air Quality standard ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$)), while PM_{2.5} from all sites in Bangkok was exceeded the US EPA standard ($65 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The inside booth PM₁₀ and PM_{2.5} was less than outside's. The personal exposure PM₁₀ and PM_{2.5} was between outside and inside booth concentration. The elemental analysis confirmed that mobile source and road dust was dominant sources in this study. Ratio between PM_{2.5} and PM₁₀ was considerable vary among sites, the mean PM_{2.5} to PM₁₀ ratio in Bangkok was 0.74, suburban was 0.65 and Ayutthaya was 0.60, which indicated that PM_{2.5} was dominated in urban area. The outside, inside booth and personal exposure PM concentration showed significantly correlation to each other ($p < 0.05$). The outside booth PM₁₀ was the most suitable predictor in estimating the inside booth and personal exposure PM₁₀ and PM_{2.5} concentration.

Department Interdepartment of Environmental Science

Field of study Environmental Science

Academic year 2000

Student's signature.....

Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีของผู้ช่วย
ศาสตราจารย์ ดร.วนิดา จีนศาสตร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และ
ข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดในการวิจัยครั้งนี้ด้วยดีมาตลอด
งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนมอมนุโข รัฐบาลญี่ปุ่น

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ อิจิ ยาโน และ ดร.เคนจิ ทามูระ จาก
มหาวิทยาลัยแพทยศาสตร์เทเคียว ประเทศญี่ปุ่น ในความอนุเคราะห์อุปการณ์ และเครื่องมือที่ใช้ใน
การหาปริมาณฝุ่นละออง ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ตำรวจจราจรที่ปฏิบัติหน้าที่ในป้อมตำรวจจราจรแยก
ดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง งามวงศ์วาน ตลาดคู่ ประชาสำราญ และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา
ทุกท่านในความเสียสละ อนุญาตให้ผู้วิจัยติดเครื่องมือเก็บตัวอย่างระหว่างปฏิบัติหน้าที่ และ
เจ้าหน้าที่ภายในป้อมตำรวจที่ช่วยดูแลเครื่องมือเก็บตัวอย่างให้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสรารุช เทพพานนท์ เจ้าหน้าที่ฝ่ายติดตามตรวจวัด
คุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ ที่ให้ความช่วยเหลือ และแนะนำด้านข้อมูลเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนการวิจัยส่วนหนึ่ง

ขอบใจ ตุ่มเม้ง ดอลลี่ ปูเป่ และเด็ก ๆ ที่อยู่เป็นเพื่อน

ท้ายที่สุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา พี่ น้อง และญาติๆ ที่ให้
กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ณ
สารบัญตาราง.....	ญ
รายการสัญลักษณ์ และคำย่อ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แนวคิด และทฤษฎี	
2.1.1 การแสดงลักษณะของอนุภาคในอากาศ.....	4
2.1.2 คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับรูปร่าง และขนาดของอนุภาคเดี่ยว.....	5
2.1.3 การแสดงลักษณะสมบัติเกี่ยวกับขนาด พื้นที่ และมวล ของการแจกแจงอนุภาค.....	7
2.1.4 พลวัตศาสตร์ของอนุภาคในบรรยากาศ.....	12
2.1.5 กลไกเชิงเฉื่อย.....	14
2.1.6 คุณสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงเคมีของอนุภาคในอากาศ.....	15
2.1.7 การแจกแจงตามขนาด.....	18
2.2 หลักการในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า10 ไมครอน แบบคัตขนาด.....	21
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนศึกษาภาคสนาม	
3.1.1 การกำหนดพื้นที่เป้าหมาย.....	26
3.1.2 การเลือกจุดเก็บตัวอย่าง.....	29
3.1.3 การเลือกกลุ่มเป้าหมาย.....	29
3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง	
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ และการเตรียมการก่อนเก็บตัวอย่าง.....	29
3.2.2 ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง.....	30
3.2.3 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่าง.....	31
3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละออง	
3.3.1 การหาปริมาณฝุ่นละออง.....	35
3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ เพื่อยืนยันแหล่งกำเนิด.....	35
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	36
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 การเปรียบเทียบวิธี cascade impactor กับวิธีของกรมควบคุมมลพิษ.....	39
4.2 การทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือ cascade impactor.....	42
4.3 ปริมาณ PM ₁₀ PM _{10-2.5} และ PM _{2.5} ภายนอกป้อม ภายในป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส.....	44
4.4 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง.....	53
4.5 สัดส่วนฝุ่นละออง PM _{2.5} ต่อ PM ₁₀	61
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองภายนอกป้อม ภายในป้อม และฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส.....	68
4.7 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนเพื่อประเมินปริมาณฝุ่นละออง ที่บุคคลได้รับสัมผัสจากข้อมูลฝุ่นละอองภายนอก และภายในอาคาร.....	74
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ตรวจวัดได้ กับสภาพอากาศรายวัน.....	77
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 ปริมาณฝุ่นละออง PM ₁₀ PM _{10-2.5} PM _{2.5} ในกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา.....	79
5.2 สัดส่วน PM _{2.5} ต่อ PM ₁₀	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง.....	85
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองภายนอกอาคาร ภายในอาคาร และที่บุคคลได้รับสัมผัส.....	86
5.5 การประเมินค่าจากความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง และ สภาพอากาศรายวัน.....	88
5.6 อภิปรายผล.....	89
5.7 ข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก สภาพอากาศรายวัน.....	96
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	104
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	119

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 การแจกแจงตามขนาดอนุภาคที่พล็อตแบบปกติเชิงล็อก.....	5
รูปที่ 2.2 ขนาดของอนุภาคและความสามารถในการเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ.....	20
รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงการทำงานของ cascade impactor.....	21
รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในกรุงเทพฯ และชานเมือง.....	28
รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา.....	28
รูปที่ 3.3 หัวแยกฝุ่น cascade impactor.....	30
รูปที่ 3.4 บั้มดูดอากาศที่ติดหัวแยกฝุ่น cascade impactor ที่พร้อมใช้งาน.....	30
รูปที่ 3.5 การติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองควบคู่กับสถานีฝ้าระวัง ของกรมควบคุมมลพิษ บริเวณ ถนนดินแดง.....	34
รูปที่ 4.1 แผนภาพกระจายแสดงปริมาณฝุ่นละออง PM ₁₀ เปรียบเทียบระหว่าง วิธี cascade impactor และ β - attenuation ของกรมควบคุมมลพิษ.....	41
รูปที่ 4.2 (A-C) แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณฝุ่นละอองในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....	45
รูปที่ 4.2 (E-G) แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณฝุ่นละอองในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....	46
รูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองภายนอกป้อม ของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....	49
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองภายในป้อม ของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....	50
รูปที่ 4.5 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส ของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....	50
รูปที่ 4.6 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เก็บตัวอย่างจาก สถานีฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษ.....	53
รูปที่ 4.7 แผนภูมิแท่งแสดงเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง PM _{10-2.5} และ PM _{2.5}	54
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมเอ็กเรย์ของกระดาศกรงที่ยังไม่สัมผัสฝุ่น.....	55
รูปที่ 4.9 สเปกตรัมเอ็กเรย์ของฝุ่นละอองภายนอกป้อมตำรวจ จังหวัดอยุธยา.....	56
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมเอ็กเรย์ของฝุ่นละอองภายในบุคคลได้รับสัมผัสในจังหวัดอยุธยา.....	57
รูปที่ 4.11 สเปกตรัมเอ็กเรย์ของฝุ่นละอองภายนอกป้อมตำรวจ ในกรุงเทพฯ.....	58
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมเอ็กเรย์ของฝุ่นละอองภายในป้อมตำรวจ ในกรุงเทพฯ.....	59
รูปที่ 4.13 สเปกตรัมเอ็กเรย์ของฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส ในกรุงเทพฯ.....	60
รูปที่ 4.14 การกระจายของสัดส่วน PM _{2.5} ต่อ PM ₁₀ ในแต่ละสถานีตรวจวัด.....	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีดินแดง	64
รูปที่ 4.16 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีปทุมวัน	64
รูปที่ 4.17 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีรามคำแหง	65
รูปที่ 4.18 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีงามวงศ์วาน	65
รูปที่ 4.19 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีตลาดคู	66
รูปที่ 4.20 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีประชาสำราญ	66
รูปที่ 4.21 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีอยุธยา	67
รูปที่ 5.1 แผนภูมิแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองจากการศึกษาแบ่งตามพื้นที่	82
รูปที่ 5.2 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในกรุงเทพฯ	82
รูปที่ 5.3 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในเขตชานเมือง	83
รูปที่ 5.4 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในเขตอยุธยา	83
รูปที่ 5.5 สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ภายนอกป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส	85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	รูปร่างของอนุภาคฝุ่นที่ปลิวลอยในอากาศ.....6
ตารางที่ 2.2	ความเร็วของกระแสลมที่จำเป็นสำหรับการหลุดปลิวของอนุภาคฝุ่น.....10
ตารางที่ 2.3	เวลาที่ใช้ระเหยหยดน้ำในอากาศนี้.....11
ตารางที่ 2.4	ความเข้มข้นของนิวเคลียสแบบ Aitken ในสถานที่ต่างๆ.....17
ตารางที่ 2.5	ร้อยละขององค์ประกอบของอนุภาคที่ผ่านจาก Elutriator.....19
ตารางที่ 3.1	ความเข้มข้นฝุ่นของ PM ₁₀ ในบรรยากาศเฉลี่ย 1 ปี และปริมาณการจราจร ในบริเวณสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษในเขตกรุงเทพฯ.....27
ตารางที่ 3.2	สถานี วัน และจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในการศึกษาครั้งนี้.....31
ตารางที่ 4.1	ผลความเข้มข้นฝุ่นละออง ที่เก็บโดยวิธี cascade impactor และเครื่องเก็บ ตัวอย่างอากาศแบบเทปใช้รังสีเบต้าของกรมควบคุมมลพิษ.....39
ตารางที่ 4.2	ผลความเข้มข้นฝุ่นละอองจากเครื่องมือ cascade impactor 2 ชุด ในสถานที่ และช่วงเวลาเดียวกัน.....42
ตารางที่ 4.3	ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของผลต่างความเข้มข้นฝุ่นละออง 2 ชุด.....43
ตารางที่ 4.4	ปริมาณฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....44
ตารางที่ 4.5	เปอร์เซ็นต์องค์ประกอบธาตุที่มาจากการจราจร ที่พบในฝุ่นละออง PM _{10-2.5} และ PM _{2.5}53
ตารางที่ 4.6	สัดส่วน PM _{2.5} ต่อ PM ₁₀ ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง.....61
ตารางที่ 4.7	สัดส่วน PM _{2.5} ต่อ PM ₁₀ ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ของแต่ละสถานี.....63
ตารางที่ 4.8	สหสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM _{2.5} และ PM ₁₀ ในบรรยากาศ ภายในอาคาร และที่บุคคลได้รับสัมผัส.....68
ตารางที่ 4.9	ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างฝุ่นละออง PM _{2.5} และ PM ₁₀ ภายนอกป้อม ภายในป้อมตำรวจ และที่บุคคลได้รับสัมผัส.....70
ตารางที่ 4.10	สมการเชิงเส้นที่ใช้ในการประมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง.....71
ตารางที่ 4.11	การใช้วิธี backward เพื่อตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากสมการ.....75
ตารางที่ 4.12	ผลการทดสอบการถดถอยเชิงซ้อนโดยวิธี backward ระหว่างปริมาณ PM _{2.5} และ PM ₁₀ ที่ตรวจวัดได้ กับปัจจัยสภาพอากาศรายวัน.....77

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 5.1 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง PM_{10} $PM_{10-2.5}$ และ $PM_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพมหานคร ชานเมือง และอยุธยา.....	79
ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยในช่วงความเชื่อมั่น 95%ของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} $PM_{10-2.5}$ และ $PM_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพมหานคร ชานเมือง และอยุธยา.....	80
ตารางที่ 5.3 ค่าเฉลี่ยในช่วงความเชื่อมั่น 95%ของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} $PM_{10-2.5}$ และ $PM_{2.5}$ แบ่งตามจุดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง ในเขตกรุงเทพมหานคร ชานเมือง และอยุธยา.....	81



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์ และคำย่อ

คพ.	กรมควบคุมมลพิษ
EDX	Energy Dispersive-X-ray Fluorescence
One-way ANOVA	การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว
PCD	Pollution Control Department
PM ₁₀	ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน
PM _{10-2.5}	ฝุ่นละอองที่มีขนาดระหว่าง 10 และ 2.5 ไมครอน
PM _{2.5}	ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
SD	Standard deviation
Sig	Significance
SPSS	Statistical Package for the Social Science
US EPA	United States Environmental Protection Agency
µg/m ³	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
µm	ไมโครเมตร (ไมครอน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันกรุงเทพมหานครกำลังประสบปัญหาหมอกควันทางอากาศที่เลวร้ายลงทุกขณะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอนุภาคมลสารที่แขวนลอยในบรรยากาศหรือฝุ่นในบรรยากาศ ในหลาย ๆ จุดตรวจวัดเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษตรวจพบปริมาณความเข้มข้นฝุ่นแขวนลอยรวม (TSP) และฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ในบรรยากาศเกินมาตรฐานเป็นอย่างมากในหลายบริเวณ ซึ่งกำหนดโดยกรมควบคุมมลพิษมีค่าไม่เกิน $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับฝุ่นแขวนลอยรวม และ $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

กรุงเทพมหานครเป็นเมืองใหญ่ที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว การขยายตัวของเมืองทำให้เกิดการก่อสร้างเป็นอย่างมากทั้งอาคารและสาธารณูปโภค การเพิ่มขึ้นของปริมาณรถจักรยานยนต์ที่มีอยู่ไม่สามารถรองรับได้ทันจนเกิดปัญหาจราจร ทำให้ปัญหาฝุ่นในบรรยากาศเลวร้ายลง เพราะฝุ่นแขวนลอยในบรรยากาศกรุงเทพฯ มีแหล่งกำเนิดจากการจราจร ได้แก่การเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งเบนซินและดีเซล และจากถนนที่พาหนะต่างๆ สัญจร จากการก่อสร้าง และอุตสาหกรรม

ฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) ในบรรยากาศเหล่านี้ก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพแก่ประชากรในกรุงเทพฯ ทั้งผลระยะสั้น และเรื้อรัง เนื่องจากสามารถหายใจเข้าไปได้ (respirable particulate matter) ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเฉพาะฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) เท่านั้นที่สามารถผ่านถึงถุงลมในปอดได้ แต่ในปัจจุบันยังไม่เคยมีรายงานถึงระดับของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของกรุงเทพฯ มาก่อนเลย ดังนั้นการเฝ้าระวังติดตามตรวจสอบข้อมูลฝุ่นที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพเช่นนี้ นับว่ามีความสำคัญมากในการวางแผน ป้องกัน แก้ไข และควบคุมมลภาวะทางอากาศให้ประสบผลสำเร็จในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาปริมาณของฝุ่นขนาดต่างๆ (PM_{10} , $PM_{10-2.5}$, $PM_{2.5}$) ในเขตกรุงเทพฯ ชานเมือง และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

1.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณฝุ่นขนาดต่างๆ ในบรรยากาศ ภายในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส

1.2.3 เพื่อหาสัดส่วนของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในเขตกรุงเทพฯ ชานเมือง และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา

1.2.4 ประมาณปริมาณฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส จากปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ และภายในอาคาร

1.3 สมมติฐาน

ปริมาณ และขนาดของฝุ่นที่ตรวจวัดได้ ในบรรยากาศ ภายในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสในเขตกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา มีความสัมพันธ์กัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

จากวัตถุประสงค์และสมมติฐานข้างต้น สามารถนำมากำหนดขอบเขตการศึกษาได้คือ

1. หาปริมาณฝุ่น PM_{10} $PM_{10-2.5}$ และ $PM_{2.5}$ ใน

- เขตกรุงเทพฯ
- ชานเมือง
- จังหวัดอยุธยา

2. ระยะเวลาที่ทำการศึกษา แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ

- ช่วงที่ 1 ตั้งแต่ ธันวาคม 2541 – เมษายน 2542
- ช่วงที่ 2 ตั้งแต่ พฤศจิกายน 2542 – มกราคม 2543

3. การศึกษาครั้งนี้อาศัยข้อมูลทุติยภูมิในวันและเวลาที่ดำเนินการเก็บตัวอย่างคือ

- จากกรมควบคุมมลพิษ : ปริมาณฝุ่นละออง PM_{10} ณ สถานีเฝ้าระวัง
- จากกรมอุตุนิยมวิทยา : ความเร็วลม ชั่วโมงแสงแดด ความชื้น ปริมาณน้ำฝน และ อุณหภูมิ

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

อนุภาคมลสาร (particulate matter) เกิดจากการไม่ หรือการระดมไม่เซชัน (atomization = ทำให้เป็นผงหรือหยดจิ๋ว) ของของแข็งและของเหลว และจากการเปลี่ยนผง ละอองให้อยู่ในสภาวะแขวนลอยโดยการกระทำของกระแสลมหรือการสั่นสะเทือน แอโรโซลควบแน่น (condensation aerosol) เกิดขึ้นเมื่อไอน้ำหรือไออิมตัวควบแน่นขึ้น หรือเมื่อก๊าซต่าง ๆ ทำปฏิกิริยาเคมีแล้วให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ระเหยง่าย (volatile) หรือไม่ระเหย (nonvolatile) แอโรโซลควบแน่นและแอโรโซลปลิวกระจาย ที่เป็นอนุภาคของเหลว จะเรียกว่า หมอกน้ำค้าง (mist) ไม่ว่าขนาดของอนุภาคจะเป็นเท่าไรแอโรโซลปลิวกระจายที่เป็นอนุภาคของแข็งจะเรียกว่าฝุ่น (dust) ไม่ว่าขนาดของอนุภาคจะเป็นเท่าไรแอโรโซลควบแน่นที่แข็งอยู่ในสถานะกระจาย (disperse phase) หรือที่ของแข็งและของเหลวอยู่สถานะกระจายมีชื่อเรียกว่า คิว (smoke) การแพร่กระจายเกิดจากการสันดาป (เผาไหม้) อย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง หรือวัสดุสันดาปได้อื่น ๆ หมอก (fog) หมายถึง หยดน้ำเล็ก ๆ ที่มีจำนวนมากในอากาศ คำว่า “ฟุ้ง (fume)” จะใช้บ่งการเกิดของแอโรโซลควบแน่น ซึ่งมีก๊าซหรือไออยู่

ด้วย (ยกตัวอย่างเช่น พุ่มจากการเชื่อมโลหะ) ชื่อเรียกพิเศษได้ถูกตั้งขึ้นเพื่อเรียกสถานการณ์มลภาวะอากาศต่าง ๆ เช่น “เฮซ (haze)” ซึ่งใช้ในกรณีที่เกิดควันในบรรยากาศเลวลง และอาจขึ้นบอกรณีมีฝุ่น หมอกน้ำค้าง และก๊าซมลสาร “สมีอก (smog = smoke + fog)” และ “สเมซ (smaze = smoke + haze)”

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการควบคุม ป้องกัน มลภาวะทางอากาศจากฝุ่นละอองในบรรยากาศ PM₁₀ PM_{10-2.5} และ PM_{2.5} ในกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา
2. ทราบความสัมพันธ์กันของฝุ่นขนาดต่างๆ ในเขตกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา
3. ทราบถึงธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในฝุ่นละออง และสามารถยืนยันแหล่งกำเนิดได้
4. ทราบสัดส่วนของฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในเขตกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา
5. สามารถประมาณปริมาณฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส จากข้อมูลฝุ่นในบรรยากาศ และภายในอาคาร



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

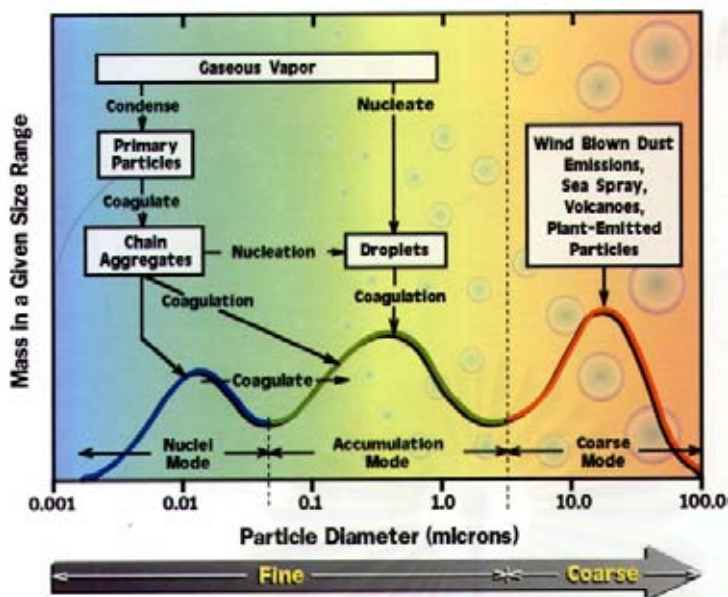
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี

2.1.1 การแสดงลักษณะสมบัติของอนุภาคในอากาศ

แอโรโซลปลิวกระจาย (dispersion Aerosol) เกิดจากการไม่ หรือการอะตอมไม่ เซชัน (atomization = ทำให้เป็นผงหรือหยดจิ๋ว) ของของแข็งและของเหลว และจากการเปลี่ยนผง ละอองให้อยู่ในสถานะแขวนลอยโดยการกระทำของกระแสลมหรือการสั่นสะเทือน แอโรโซล ควบแน่น (condensation aerosol) เกิดขึ้นเมื่อไอน้ำหรือไออินทรีย์ควบแน่นขึ้น หรือเมื่อก๊าซ ต่างๆ ทำปฏิกิริยาเคมีแล้วให้ผลิตภัณฑ์ของแข็งที่ระเหยง่าย (volatile) หรือไม่ระเหย (nonvolatile) แอโรโซลควบแน่นและแอโรโซลปลิวกระจาย ที่เป็นอนุภาคของเหลว จะเรียกว่า หมอกน้ำค้าง (mist) ไม่ว่าขนาดของอนุภาคจะเป็นเท่าไรแอโรโซลปลิวกระจายที่เป็นอนุภาค ของแข็งจะเรียกว่าฝุ่น (dust) ไม่ว่าขนาดของอนุภาคจะเป็นเท่าไรแอโรโซลควบแน่นที่แข็งอยู่ใน สถานะกระจัดกระจาย (disperse phase) หรือที่ของแข็งและของเหลวอยู่สถานะกระจัดกระจายมี ชื่อเรียกว่า ควีน (smoke) โดยทั่วไป ฝุ่นจะมีองค์ประกอบที่มีเนื้อต่างกัน (heterogeneous in composition) และมีขนาดของอนุภาคในช่วงกว้าง (wide spectrum) โดยประเพณีคำว่า “ควีน” จะใช้เรียกการแพร่กระจายที่เกิดจากการสันดาป (เผาไหม้) อย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง หรือวัสดุ สันดาปได้อื่นๆ คำว่า “หมอก (fog)” จะหมายถึงหยดน้ำเล็กๆ ที่มีจำนวนมากในอากาศ คำว่า “ฟุ้ง (fume)” จะใช้ป้องกันการเกิดของแอโรโซลควบแน่น ซึ่งมีก๊าซหรือไออยู่ด้วย (ยกตัวอย่างเช่น ฟุ้ง จากการเชื่อมโลหะ) ชื่อเรียกพิเศษได้ถูกตั้งขึ้นเพื่อเรียกสถานการณ์มลภาวะอากาศต่าง ๆ เช่น “เฮซ (haze)” ซึ่งใช้ในกรณีที่เกิดควันในบรรยากาศเลวลง และอาจชี้บอกการมีฝุ่น หมอกน้ำค้าง และก๊าซมลสาร “สมีอก (smog = smoke + fog)” และ “สเมซ (smaze = smoke + haze)”

อนุภาคมลสารในอากาศ (airborne particulate matter) เป็นของผสมระหว่าง อนุภาคของแข็ง และของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางที่เป็นก๊าซ โดยทั่วไปแล้วการแจกแจงความถี่ ของขนาดอนุภาคมลสารในบรรยากาศพบสูงสุดที่ขนาด 0.02 ไมครอน 0.2 ไมครอน และที่ 10 ไมครอน (รูปที่ 2.1) เราพอจะแบ่งขนาดของอนุภาคมลสารตามแหล่งกำเนิดได้คือ อนุภาคที่มี ขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน ซึ่งมาจากขบวนการเผาไหม้เป็นหลัก ในขณะที่อนุภาคมลสารที่มีขนาด ใหญ่กว่า 2 ไมครอนเกือบทั้งหมดมาจากขบวนการเชิงกล (mechanical processes) เช่นการกัด กร่อนหน้าดิน หรือมาจากขบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์



รูปที่ 2.1 การแจกแจงตามขนาดอนุภาค พลัสโตแบบปกติเชิงล็อก (Log-Normal distribution)
ที่มา : William C.M. Introduction to Visibility, 2000.

2.1.2 คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับรูปร่าง และขนาดของอนุภาคเดี่ยว

แอโรโซลมีการกระจายตัวของอนุภาคขนาดต่างๆ ตั้งแต่ขนาดประมาณ 6×10^{-4} ถึง 10^3 ไมครอน (รูป 2.1) คุณสมบัติของอนุภาคจะขึ้นกับขนาดของอนุภาค ในแต่ละช่วงอนุภาค ลักษณะสมบัติบางอย่างจะเปลี่ยนแปลงมากขึ้นหรือน้อยลงตามขนาดอนุภาค อนุภาคช่วง Nuclei mode ลักษณะสมบัติสัมพันธ์กับระยะทางอิสระเฉลี่ย (mean free path, λ) ของโมเลกุลอากาศ (อากาศมี $\lambda = 0.0653$ ไมครอนเมตร ที่ 20°C และ 760 mm.Hg) ส่วนลักษณะสมบัติของช่วง Accumulation mode จะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นเฉลี่ยของแสงที่เห็นได้ (visible light) (โดยเฉลี่ย 0.55 ไมครอนเมตร) การเปลี่ยนแปลงระหว่างลักษณะสมบัติ 2 กลุ่มนี้ เกิดขึ้นในช่วงขนาดอนุภาคประมาณ 0.5 ถึง 1.0 ไมครอนเมตร สำหรับลักษณะสมบัติอื่นๆ ที่เหลือ ความสัมพันธ์นั้นเกิดขึ้นโดยบังเอิญ

อนุภาคแอโรโซลในบรรยากาศโดยปกติจะไม่กลม และรูปร่างของอนุภาคโดยส่วนใหญ่จะขึ้นกับแหล่งปล่อยออกของอนุภาคในท้องถิ่นนั้น อนุภาคทรงกลมมีทั้งเกสรดอกไม้ และของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น เถ้าลอย (fly ash) อนุภาคทรงกระบอกลูกได้แก่ เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์ต่างๆ สิ้นแว่โดยปกติอาจจะมีรูปร่างไม่เป็นระเบียบ เป็นปุยหรือสะเก็ด (flakelike) ก้อนรวม (agglomerates) สามารถเกิดจากอนุภาคที่รวมตัวกันในขณะลอยอยู่ในอากาศหรืออาจเกิดจากการเย็นตัวของก๊าซร้อน ในกรณีหลังรูปร่างที่เห็นจะเหมือนลูกโซ่ (chainlike) และเป็นฟล็อก (flocs = กลุ่มรวมตัวหลวม ๆ ของอนุภาค) และ

มักเกิดขึ้นในระหว่างการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งผลิตอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของผลการวัดรูปทรงของอนุภาคฝุ่นที่ลอยในอากาศ

ตารางที่ 2.1 รูปร่างของอนุภาคฝุ่นที่ปลิวลอยในอากาศ

รูปร่าง	ร้อยละของมวลในตัวอย่าง		อนุภาค
	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	
ทรงกลม	0 – 20	10	ควัน เกสร ฝ้ายลอย
ไม่มีระเบียบ (irregular)	10 – 90	40	แร่
ลูกบาศก์			ถ่านไฟ
สะเก็ด (ปุย)	0 – 10	5	แร่ หนังกำพรั้า (epidermis)
เส้นใย	3 – 35	10	ผ้าสำลี เส้นใยพืช
ฟล็อก (flocs) จากการควบแน่น	0 – 40	15	คาร์บอน ควัน ฟุ้ง (fume)

* ขนาดโตกว่า 0.1 ไมโครเมตร

ที่มา: ศิริกัลยา และคณะ, มลภาวะอากาศ, 2542

สรุปแล้ว มีความจำเป็นที่จะนิยามปริมาณบางอย่างเพื่อบ่งขนาดของอนุภาค ปริมาณที่พวคนี้ควรเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมเชิงแอโรไดนามิก (aerodynamic) ของอนุภาคนั้น

ความเร็วของการตกของอนุภาคในอากาศจะขึ้นกับน้ำหนักของอนุภาคและแรงเสียดลาก (drag) เชิงแอโรไดนามิก รัศมีสโตกส์ (Stokes radius) r_s ของอนุภาค คือรัศมีของทรงกลมที่มีความเร็วของการตก u_t เท่ากับอนุภาคนั้นและมีความหนาแน่นเท่ากับความหนาแน่นแท้จริงของวัสดุที่ประกอบขึ้นเป็นอนุภาคนั้น

$$u_t = 4\rho r_s^2 g / (18\mu) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ในที่นี้ ρ คือความหนาแน่นของอนุภาค g คืออัตราความเร่งบนผิวโลก และ μ คือความหนืดของอากาศ

เนื่องจากอนุภาคในบรรยากาศไม่ใช่สารบริสุทธิ์ แต่เกิดจากวัสดุต่างๆ ที่มีความหนาแน่นต่างกัน ดังนั้น การหาค่า r_s โดยใช้สมการ (1) จึงกระทำไม่ได้ลำบาก ด้วยเหตุนี้ จึงสะดวกมากกว่าที่จะนิยามรัศมีสมมูลเชิงแอโรไดนามิก (equivalent aerodynamic radius) r_e ให้เป็นรัศมีของทรงกลมที่มีความเร็วบั้นปลายของการตกเท่ากับอนุภาคนั้น แต่มีความหนาแน่นของทรงกลมเท่ากับ 1 g/cm^3 นั่นคือ

$$u_t = 4 r_e^2 g / (18\mu) \quad \dots\dots\dots(2)$$

2.1.3 การแสดงลักษณะสมบัติเกี่ยวกับขนาด พื้นที่และมวลของการแจกแจงของอนุภาค

ในการกล่าวถึงแอโรโซลในบรรยากาศ เรามีความจำเป็นต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะสมบัติของอนุภาคกับขนาดอนุภาค ถ้าปรากฏการณ์ที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับลักษณะสมบัติการกระจายแสงของอนุภาคที่แขวนลอยในบรรยากาศ สิ่งที่จะต้องรู้คือการแจกแจง (distribution) ตามขนาดอนุภาคในรูปของการแจกแจงตาม r^2 นั่นคือ จะต้องทราบเส้นความถี่ของโมเมนต์กำลังสอง (second moment) ในทำนองเดียวกัน ถ้าลักษณะสมบัติแอโรโซลที่สนใจนั้นเกี่ยวข้องกับมวล สิ่งที่ต้องทราบคือ เส้นความถี่ของโมเมนต์กำลังสาม (third moment) ความแตกต่างระหว่างพารามิเตอร์สองอย่างนี้ของอนุภาคมีความสำคัญ เพราะพื้นที่ของอนุภาคจะสัมพันธ์กับการตกค้างในปอดของอนุภาคที่มนุษย์สูดหายใจ และพิษที่เกิดขึ้น ส่วนมวลของอนุภาคจะสัมพันธ์กับการเกาะจับของอนุภาคบนพื้นผิว

ถ้าเป็นไปได้การแสดงลักษณะสมบัติของแอโรโซลในตัวเมือง โดยฟังก์ชันการแจกแจง (distribution function) ควรจะอาศัยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องโดยตรงที่สุดกับปรากฏการณ์ที่สนใจไม่ว่าจะเป็นปรากฏการณ์ของการกระจายแสง การตกของฝุ่น หรือศักยภาพด้านพิษวิทยา

วิธีง่ายที่สุดสำหรับแสดงลักษณะการแจกแจงตามขนาดอนุภาคของตัวอย่างที่มีอนุภาคขนาดต่างๆ กัน คือ การแบ่งขนาดอนุภาคเป็นช่วงๆ (intervals) ตามลำดับของขนาด แล้วแสดงข้อมูลที่ได้ในรูปของตารางหรือกราฟฮิสโตแกรม (histogram) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของขนาดอนุภาค (size interval) และความถี่ของการเกิด (จำนวนหรือมวลของอนุภาค) ในช่วงนั้นๆ ความกว้างของแต่ละช่วงขนาดอนุภาคที่ใช้ควรเท่ากัน และความสูงของสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือแท่ง (bar) ของฮิสโตแกรม ควรบอกความถี่ของการเกิด (frequency of occurrence) จากข้อมูลดังกล่าวนี้ เราสามารถคำนวณขนาดเฉลี่ยเชิงเลขคณิตและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) จากขนาดเฉลี่ยนั้น การแจกแจงตามขนาดอนุภาคในอากาศมีน้อยครั้งที่มีความสมมาตร (symmetry) รอบค่าเฉลี่ย (mean) หรือเป็นการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) ส่วนใหญ่ รูปร่างจะเบ้ (skewed) โดยมีหางยาวเรียวแสดงจำนวนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าค่าเฉลี่ย

แบบจำลองทางสถิติสองอย่างที่นิยมใช้แสดงการแจกแจงตามขนาดอนุภาค (particle size distribution) ของแอโรโซลในบรรยากาศคือ การแจกแจงแบบปกติเชิงล็อก (Logarithmic Normal distribution) และการแจกแจงตามล็อกของรัศมี (Log Radius distribution) ในกรณีหลังจะพล็อตความถี่ของการเกิดกับค่า ล็อกของรัศมีอนุภาค ส่วนในกรณีแรกจะใช้ตัวแปรปกติเชิงล็อก (Log-Normal variable) แทนค่าล็อกของรัศมีอนุภาค ถ้าให้ r เป็นรัศมีของอนุภาคตัวแปรปกติเชิงล็อก z จะหาได้จาก

$$z = \frac{\ln r - \ln M_g}{\ln \sigma_g} \quad \dots\dots\dots(3)$$

โดยที่ M_g คือ ค่ารัศมีเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (geometric mean radius) และ σ_g คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเชิงเรขาคณิต (geometric standard deviation) ของการแจกแจงตามขนาดอนุภาคนั้น ทั้งสองแบบจำลองคณิตศาสตร์ข้างต้น อาจเลือกใช้ฟังก์ชันการแจกแจงเป็นจำนวนนับของอนุภาค พื้นที่ของอนุภาค หรือมวลของอนุภาคก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีฟังก์ชันการแจกแจงเป็นจำนวนนับของอนุภาค และการแจกแจงเป็นแบบปกติเชิงล็อก (นั่นคือ Log-Normal particle count distribution) จะได้

$$f(\ln r) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \ln \sigma_g} \cdot \exp \left\{ -\frac{(\ln r - \ln M_g)^2}{2 \ln^2 \sigma_g} \right\} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ในที่นี้ $f(\ln r)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงของจำนวนนับของอนุภาค นั่นคือ จำนวนนับของอนุภาคที่มีรัศมีเท่ากับ $\ln r$ ในกรณีค่ารัศมีเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต M_g จะเท่ากับค่ารัศมีมัธยฐาน (median radius) M_m ซึ่งได้จากการเรียงอนุภาคตามขนาดเล็กสุดไปหาขนาดใหญ่ที่สุด แล้วหาค่ารัศมีที่มีจำนวนอนุภาคที่เล็กกว่าค่านี้ และที่โตกว่าค่านี้ พอดีเท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนอนุภาคทั้งหมดของการแจกแจงนั้น

ในภาคปฏิบัติ การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับขนาดอนุภาคเพื่อหาค่า M_g และ σ_g สามารถกระทำได้โดยง่าย ถ้าใช้กระดาษความน่าจะเป็นเชิงลอการิทึม (logarithmic probability paper) สามารถพล็อตค่าระหว่างเปอร์เซ็นต์ของจำนวนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า (หรือโตกว่า) ขนาดที่สนใจ กับค่าล็อกของขนาดที่สนใจนั้น เมื่อทำเช่นนี้แล้ว จะสามารถลากเส้นตรงได้ ถ้าการแจกแจงของขนาดอนุภาคนั้นเป็นแบบปกติเชิงล็อก ในกรณีนั้น ค่าของ M_g (หรือ $\ln M_g$) คือค่าของ r (หรือ $\ln r$) ที่อ่านได้ที่ความน่าจะเป็นเท่ากับ 50% ส่วนค่า σ_g คำนวณได้จาก

$$\sigma_g = \frac{\text{ค่าของ } r \text{ ที่ความน่าจะเป็นที่ } 84.13\%}{\text{ค่าของ } r \text{ ที่ความน่าจะเป็นที่ } 50\%} \quad \dots\dots\dots(5)$$

อนึ่ง สามารถคำนวณค่ารัศมีมัธยฐานเชิงเรขาคณิตในกรณีของพื้นที่ของอนุภาค M_a ได้จาก ค่าของ M_g และ σ_g ในกรณีของจำนวนนับของอนุภาค ดังนี้

$$\log M_a = \log M_g + 2.303 \log^2 \sigma_g \quad \dots\dots\dots(6)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่ารัศมีมาตรฐานเชิงเรขาคณิตเชิงกรณีนของน้ำหนักของอนุภาค M_g หาได้จาก

$$\log M_g = \log M_g + 3.454 \log^2 \sigma_g \dots\dots\dots(7)$$

นอกจากข้อมูลเกี่ยวกับการแจกแจงขนาดอนุภาคของแอโรโซลในบรรยากาศแล้ว ฝุ่นที่ตกออกจากบรรยากาศ (atmospheric dustfall) และความเข้มข้นของมลสารในสถานะก๊าซที่วัดได้จากเก็บตัวอย่างที่แหล่งเกิด ก็มักจะมีการแจกแจงแบบปกติเชิงล็อกด้วย

คุณสมบัติการเกาะติด

อนุภาคเกาะติด (adhere) กับผิวของแข็งซึ่งกันและกันโดยไม่เล็อกอนุภาค หลักการทำงานของอุปกรณ์ทำความสะอาดอากาศในอุตสาหกรรม ซึ่งใช้กับกระแสก๊าซที่เต็มไปด้วยสารอนุภาค คือการตกตะกอน (precipitation) อนุภาคบนผิววัตถุหรือบนอนุภาคอื่นๆ เพื่อจับอนุภาคเหล่านั้นไว้ ในขณะที่ก๊าซสะอาดไหลออกจากเครื่องเก็บฝุ่น

ลักษณะสมบัติของอนุภาคและผิวเกาะติดซึ่งมีผลต่อความแรงของพันธะเกาะติด (adhesive bond) มีหลายอย่าง เช่นองค์ประกอบเชิงเคมีของอนุภาคและของผิวเกาะติด และความหยาบของผิว แรงเกาะติดของอนุภาคบนผิววัตถุ หรือบนอนุภาคด้วยกัน และยังไม่สามารถทำนายอย่างเชื่อถือได้ในปัจจุบันนี้ ดังนั้นโดยทั่วไปจะสมมุติว่าอนุภาคที่ลอยในอากาศ เมื่อสัมผัสกันเองจะเกาะติดกันเสมอ นั่นคือ “ประสิทธิภาพการชน (collision efficiency)” เท่ากับ 100% ในขณะเดียวกัน อนุภาคที่เกาะตัวบนพื้นดินสามารถหลุดลอยขึ้นใหม่ โดยการจลาจลบนท้องถนน หรือโดยลม อนุภาคที่เก็บได้บนไส้กรองในอุตสาหกรรมอาจถูกสลัด (เขย่า) ออกเชิงกล หรืออาจหลุดลอยตามกระแสก๊าซ ดังตารางที่ 2.2 แสดงประสิทธิภาพในการทำให้อนุภาคที่เกาะตัวบนพื้นดินถูกทำให้หลุดลอยขึ้นใหม่ด้วยความเร็วลมที่ 30 90 และ 150 เมตร/วินาที ตามลำดับ

สถาบันนวัตกรรมการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ความเร็วของกระแสลมที่จำเป็นสำหรับการหลุดปลิวของอนุภาค

ความเร็วของ กระแสลม* (เมตร/วินาที)	เส้นผ่านศูนย์กลางของ พื้นที่ภาพฉาย (ไมโครเมตร)	ประสิทธิภาพในการหลุดลอยขึ้นใหม่ (เปอร์เซ็นต์)		
		ลูกแก้ว	แก้วลอย	ฝุ่นในบรรยากาศ
30	1.3		0.0	0.4
90	1.3		6.0	2.5
150	1.3		21.3	4.9
30	3.8		0.0	0.0
90	3.8		20.1	4.6
150	3.8		57.4	7.9
30	6.4		4.0	5.9
90	6.4		68.0	15.7
150	6.4		100.0	31.6
30	8.9		30.8	6.7
90	8.9		76.9	20.0
150	8.9		100.0	40.0
30	11.5		0.0	0.0
90	11.5		83.3	25.0
150	11.5		100.0	50.0
30	15.9	0		
90	15.9	0		
150	15.9	32		

* ความชื้นสัมพัทธ์ 35% , P = 760 mm.Hg ที่ 20° C

ที่มา: ศิริกัลยา และคณะ, มลภาวะอากาศ, 2542

ตารางที่ 2.2 แสดงความเร็วของอากาศ ซึ่งจำเป็นสำหรับการไล่อนุภาคฝุ่นที่ตกจากบรรยากาศสู่พื้นดินให้หลุดลอยขึ้นใหม่ ทดลองในอุโมงค์ลม (wind tunnel) ขนาดเล็ก

คุณสมบัติการระเหยและการควบแน่น

อนุภาคในอากาศจะรับหรือสูญเสียความชื้นโดยการถ่ายเทเชิงโมเลกุล (molecular transfer) ไปยังหรือออกจากผิวของอนุภาค เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ของอากาศเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับ ในกรณีของหยดน้ำทรงกลมที่อยู่นิ่งในอากาศ อัตราการระเหยของน้ำจากหยดจะแปรผันโดยตรงกับพื้นที่ผิวของหยด ดังนี้

$$t = \frac{\rho_w r_d^2 RT}{32MD_w (P_s - P_o)} \dots\dots\dots(8)$$

ในที่นี้ t คือเวลาที่หยดน้ำรัศมีแรกเริ่ม r_d ระเหยจนหมดหายไปที่อุณหภูมิ T

ρ_w คือความหนาแน่นของน้ำ

R คือค่าคงที่ของก๊าซ (gas constant)

T คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ของหยดน้ำ

M คือน้ำหนักโมเลกุลของน้ำ ($M=18$)

D_w คือสัมประสิทธิ์การแพร่ของน้ำในอากาศ

P_s คือความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิ T

P_o คือความดันย่อย (partial pressure) ของไอน้ำ (ความชื้น) ในอากาศรอบ ๆ หยดน้ำ

ตารางที่ 2.3 เวลาที่ใช้ระเหยหยดน้ำในอากาศหนึ่ง (20°C และ $P = 760 \text{ mm.Hg}$) ให้หมดไป

รัศมีของหยด (ไมโครเมตร)	เวลาที่ใช้ระเหย (วินาที)	
	0 % RH ^a	50 % RH ^a
25	7.06×10^{-1}	1.41×10^0
10	1.13×10^{-1}	2.26×10^{-1}
5	2.82×10^{-2}	5.64×10^{-2}
1	1.13×10^{-3}	2.26×10^{-3}
0.5	2.82×10^{-4}	5.64×10^{-4}
0.1	1.13×10^{-5}	2.26×10^{-5}

RH^a : ความชื้นสัมพัทธ์บรรยากาศ ที่มา: ศิริกัลยา และคณะ, มลภาวะอากาศ, 2542

ตารางที่ 2.3 ชี้ให้เห็นความรวดเร็วของการระเหยของหยดน้ำในอากาศ ซึ่งคำนวณจากสมการข้างต้น ในความจริงแล้วอนุภาคในอากาศจะมีองค์ประกอบหลายอย่าง อนุภาคเหล่านี้จะรวมตัวกับไอของน้ำแล้วกลายเป็นสารละลายที่มีตัวถูกละลาย (solutes) หลายชนิด หยดเล็กๆ ของน้ำบริสุทธิ์หาได้ยากมากในอากาศกลางแจ้ง การใส่สารต่างๆ เข้าไปในหยดน้ำสามารถไปเหนี่ยวนำอัตราการระเหยโดยกลไกที่ตัวถูกละลายไปรบกวนโมเลกุลของน้ำที่ผิวของหยด ด้วยเหตุนี้สมการข้างต้นจึงเป็นเพียงบรรทัดฐานคร่าวๆ สำหรับพฤติกรรมของหยดเล็กๆ ในบรรยากาศ

2.1.4 พลวัตศาสตร์ (dynamics) ของอนุภาคในบรรยากาศ

อนุภาคในอากาศมีขนาดตั้งแต่โตมากๆ กว่า จนถึงเล็กกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ย (mean free path) ของโมเลกุลก๊าซ อนุภาคที่มีขนาดโตมากกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ยจะเข้าสู่ความเร็วการตกตัวที่คงที่ (constant settling velocity) อย่างรวดเร็ว ซึ่งค่าความเร็วนี้จะกำหนดโดยสมดุลระหว่างแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงต้านทานซึ่งเกิดจากแรงเสียดลากเชิงแอโรไดนามิก (aerodynamic drag) ในทางตรงข้าม อนุภาคที่มีขนาดพอๆ กับหรือเล็กกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ยจะมีน้ำหนักน้อยมาก และมีความเร็วการตกตัวปั่นป่วน (terminal settling velocity) ที่ช้า ในขณะที่โมเลกุลของอากาศที่อยู่รอบอนุภาคจะกระหน่ำชนอนุภาคนี้อย่างไม่มีกฎเกณฑ์ (randomly) และทำให้ความเร็วการตกตัวปั่นป่วนของอนุภาคเปลี่ยนแปลงไป นั่นคืออนุภาคจะเกิดการเคลื่อนไหวที่ไม่มีกฎเกณฑ์ (random motion) หรือการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียน (Brownian motion) ซ้ำกับการเคลื่อนตกลงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก กลไกหลักของการกำจัดอนุภาคโตจากบรรยากาศคือ การตกตะกอน (sedimentation) ส่วนอนุภาคเล็กจะถูกกำจัดโดยการแพร่ไปยังพื้นผิวและโดยการรวมตัว (coagulation) กับอนุภาคเล็ก และโตอื่นๆ ทำให้ได้อนุภาคที่ใหญ่ขึ้นและมีค่าความเร็วการตกตัวปั่นป่วนที่สูงพอ

แรงต้านทานของไหลและการตกตะกอน

แรงต้านทานของของไหล (fluid resistance) ซึ่งเกิดขึ้นกับอนุภาคทรงกลมขนาดโตกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ยที่กำลังตกตัวในของไหลด้วยความเร็วปั่นป่วน u_t สามารถคำนวณได้จากกฎของสโตกส์ (Stokes law) ดังนี้

$$F_r = 6\pi\mu u_t r \dots\dots\dots(9)$$

ในที่นี้ F_r คือแรงต้านทานของของไหล μ คือความหนืดของไหล และ r คือรัศมีของอนุภาคกลม เนื่องจากอนุภาคกำลังตกตัวด้วยความเร็วที่เปลี่ยนแปลงที่ (ไม่มีการเร่ง) แรงทั้งหมดที่กระทำต่ออนุภาคอยู่ในสมดุลเชิงพลวัต (dynamic equilibrium) นั่นคือผลต่างของแรงโน้มถ่วง และแรงลอยตัว (Buoyant force) ที่กระทำต่ออนุภาคจะมีขนาดเท่ากับแรงต้านทานของของไหล ดังนั้น

$$\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_p - \rho_f)g = 6\pi\mu u_t r$$

หรือ $u_t = 2(\rho_p - \rho_f)gr^2 / (9\mu)$ (10)

ในที่นี้ ρ_p คือความหนาแน่นของอนุภาค ρ_f คือความหนาแน่นของของไหล และ g คืออัตราความเร่งภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก

สามารถเขียนรูปใหม่เป็น

$$u_t = \tau g$$
(11)

โดยที่ $\tau = 2r^2(\rho_p - \rho_f)/(9\mu)$ ซึ่ง τ มีหน่วยเป็นเวลา และมีชื่อเรียกว่า เวลาผ่อนคลาย (relaxation time) ของอนุภาคนั้น เหตุที่เรียกเช่นนี้เพราะถ้าอนุภาคชิ้นหนึ่งถูกปล่อยให้ตกลงด้วยความเร็วแรกเริ่ม u ภายในเวลา τ ความเร็วของอนุภาคจะลดเหลือ u/e (e คือค่าคงที่ของออยเลอร์ (Euler' s constant ซึ่งเท่ากับ 2,718) เวลาผ่อนคลายเป็นตัววัดบอกว่าเวลาที่จำเป็นสำหรับให้อนุภาคปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงเคลื่อนไหวของอากาศรอบๆ ว่านานหรือสั้นเพียงไร

กฎของสโตกส์จะใช้ได้แม่นยำกับอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วงที่โตกว่าระยะทางอิสระเฉลี่ยของโมเลกุลก๊าซแต่มีค่าตัวเลขเรย์โนลด์ของอนุภาค (particle Reynolds number) น้อยกว่าประมาณ 1.0 (นั่นคือ $Re_p = 2rup_f / \mu < 1.0$) ในอากาศ กฎของสโตกส์จะมีความผิดพลาด 1% สำหรับอนุภาคทรงกลมที่มีความหนาแน่น 1 g/cm^3 และรัศมี 17 ไมโครเมตร และมีความผิดพลาด 5% สำหรับอนุภาคทรงกลมที่มีความหนาแน่น 1 g/cm^3 และรัศมี 29 ไมโครเมตร

เมื่ออนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกับระยะทางอิสระเฉลี่ยของโมเลกุลอากาศ แรงต้านทานของอากาศจะกระทำต่ออนุภาคอย่าง “ไม่ต่อเนื่อง (discontinuous)” และ อนุภาคจะ “ลื่นไถล (slips)” ระหว่างโมเลกุลของอากาศ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความจำเป็นต้องใช้ตัวชดเชย (correction factor) กับสมการข้างต้นเพื่ออธิบายความเร็วที่อนุภาคตกเร็วขึ้น ตัวชดเชยนี้ มีชื่อเรียกว่า ตัวชดเชยของคันทิงแฮม (Cunningham' s correction factor) และคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$C = 1 + A_1(\lambda/r) + B(\lambda/r)\exp(-br/\lambda)$$
(12)

ในที่นี้ C คือ ตัวชดเชยของค่านึงแฮม λ คือระยะทางอิสระเฉลี่ย (mean free path) r คือรัศมีของทรงกลม ส่วน A_1 , B และ b คือ ตัวคงที่ของระบบ ในกรณีของอากาศที่ 1 บรรยากาศ และ 20°C ค่าของ λ จะเท่ากับ 0.0653 ไมโครเมตร และค่าของ A_1 , B และ b จะเท่ากับ 1.25, 0.42 และ 0.87 ตามลำดับ

ความเร็วของอนุภาคมักจะแปรผันโดยตรงกับแรงที่กระทำต่ออนุภาค ตัวคงที่ที่ทำให้ความสัมพันธ์เท่ากันมีชื่อเรียกว่าความสามารถในการเคลื่อนที่ (mobility) Z ของอนุภาค ดังนั้นในเขตใช้งานของกฎสโตกส์และการลื่นไถล (slip) จะได้

$$Z = C/(6\pi\mu r) \dots\dots\dots(13)$$

อนุภาคทรงไม่กลม (nonspherical) จะตกตัวด้วยความเร็วช้ากว่าอนุภาคทรงกลมเพราะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักหนึ่งหน่วยมากกว่า ยกตัวอย่างเช่น อนุภาคทรงกลมจะตกตัวในอากาศหนึ่งประมาณ 28% เร็วกว่าอนุภาคทรงรี (ellipsoid) ที่มีความหนาแน่นเท่ากัน และอัตราส่วนของแกนเท่ากับ 4 : 1

2.1.5 กลไกเชิงเฉื่อย

การไหลโค้งของกระแสแอโรไดนามิก สามารถปล่อยให้อนุภาคแขวนลอยไหลไปตามเส้นทางที่ผิดแผกจากเส้นทางไหลของก๊าซรอบๆ ได้ เหตุที่เป็นเช่นนี้เพราะอนุภาคแขวนลอยมีความเฉื่อย (inertia) มากกว่าจึงไม่อาจเลี้ยวโค้งได้ทันที ดังนั้น วัตถุที่วางขวางกั้นเส้นทางไหลของกระแสแอโรไดนามิกจะเก็บอนุภาคเหล่านี้ได้

ในการวิเคราะห์การเกาะจับของอนุภาคจากกระแสการไหลลงบนสิ่งกีดขวาง ถ้าทำการวิเคราะห์โดยถือว่าอนุภาคเป็นเสมือนจุด (มีขนาดเล็กมากๆ) ในกระแสก๊าซ แต่มีมวลมากกว่ามวลของก๊าซ กลไกการกำจัดอนุภาคนี้จะเรียกว่า อิมแพคชัน (impaction) ในกรณีที่คำนึงขนาดอนุภาคและถือว่าเส้นโคจร (trajectory) ของอนุภาครอบๆ สิ่งกีดขวางนั้นเป็นเสมือนเส้นทางการไหลของก๊าซ เพื่อดูว่าเกิดการสัมผัสระหว่างอนุภาคกับผิวของสิ่งกีดขวางหรือไม่ กลไกการกำจัดอนุภาคนี้จะเรียกว่า การสกัดกั้น (interception) ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องคำนึงถึงกลไกอิมแพคชัน และกลไกการสกัดกั้นพร้อมๆ กัน ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเก็บฝุ่นของอุปกรณ์ประสิทธิภาพที่อนุภาคถูกกำจัดออกจากกระแสแอโรไดนามิกโดยอิมแพคชันจะเป็นฟังก์ชันของตัวเลขสโตกส์ (Stokes number) Stk สูตรคำนวณ Stk คือ

$$Stk = 2u\rho_p r^2 / (9\mu h) = S/h \quad \dots\dots\dots(18)$$

ในที่นี้ h คือความยาวลักษณะเฉพาะ (characteristic length) ของสิ่งกีดขวางและ S คือ ระยะหยุดของอนุภาค (stop distance of particle = ระยะที่จำเป็นในการลดความเร็วของอนุภาคจาก u ให้เหลือความเร็วช้ามาก) เป็นที่แน่นอนว่า อนุภาคที่หนักและโต จะมีความเฉื่อยมาก และค่า S มาก กรณีของเจ็ต (jet) ของแอโรโซลที่พุ่งชนตั้งฉากกับแผ่นราบ h คือความกว้างครึ่งหนึ่งของเจ็ต ส่วนในกรณีของการเก็บอนุภาคโดยทรงกระบอกที่วางขวางกระแสดำเนินการไหล h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกระบอก ประสิทธิภาพการเก็บอนุภาค โดยอิมแพคชันที่วัดได้จากการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกับค่าคำนวณจากทฤษฎี ไม่น่าสงสัยเลยว่าอนุภาครัศมีโตกว่า 15 ไมโครเมตร ที่อยู่ในบรรยากาศจะถูกกำจัดโดยอิมแพคชันเชิงเฉื่อย (inertial impaction) และ/หรือ โดยการสกัดกั้น (interception) ของอาคาร ต้นไม้ รถยนต์ เป็นต้น แต่วาระดับมากน้อยที่แน่นอนของการกำจัดนี้ยังไม่เป็นที่ทราบกัน

2.1.6 คุณสมบัติเชิงกายภาพและเชิงเคมีของอนุภาคในอากาศ

การแจกแจงตามขนาด (กรณีทั่วไป)

พิสัยของขนาดอนุภาคในบรรยากาศมีตั้งแต่ประมาณ 6×10^{-4} ไมโครเมตร ถึง 2×10^1 ไมโครเมตร ถ้าไม่คิดถึงเมฆ หมอก และหยดน้ำฝน อนุภาคโตมากๆ จะอยู่ในอากาศได้ไม่นานเพราะมีมวลมาก และอัตราการตกตัวสูง อนุภาคเล็กมากๆ มีประจุไฟฟ้าสถิตและมีความสามารถในการเคลื่อนที่ (mobility) สูงซึ่งช่วยให้เกาะติดกับอนุภาคอื่นๆ ได้ง่าย อนุภาคที่มีช่วงของขนาดต่างๆ กัน ภายในพิสัยข้างต้นจะมีบทบาทสำคัญในปรากฏการณ์ต่างๆ ในบรรยากาศ

เนื่องจากผลกระทบของแอโรโซลจะขึ้นกับความเข้มข้นของอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในเฉพาะบางช่วงของพิสัยข้างต้น ความรู้เกี่ยวกับการแจกแจงตามขนาดอนุภาค (particle size distribution) ในบรรยากาศที่มีมลภาวะและไร้มลภาวะจึงจำเป็นสำหรับการทำความเข้าใจปรากฏการณ์ของแอโรโซลในบรรยากาศเหล่านี้ ด้วยเหตุนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของอนุภาคในช่วงย่อยบางช่วงของช่วงกว้างรวมของอนุภาคก่อนที่จะศึกษาช่วงกว้างรวมของแอโรโซลในบรรยากาศ

1) นิวเคลียสแบบ Aitken

นิวเคลียสแบบ Aitken (Aitken nuclei : $r < 0.1 \mu\text{m}$) เกิดขึ้นในธรรมชาติโดยการระเหยของละอองฝอยของน้ำทะเล (sea spray) พายุฝุ่น (dust storm) กิจกรรมของภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่า และการหลุดลอยขึ้นใหม่ในอากาศของฝุ่นบนพื้นผิว นิวเคลียสแบบ Aitken ยังสามารถเกิดจากรังสี α (อัลฟา), β (เบต้า), γ (แกมมา) หรือเหนือม่วง (อุลตราไวโอเล็ต) ด้วย เปรอร์เซ็นต์เกิด (yield) ของนิวเคลียสจะเพิ่มขึ้น เมื่ออากาศมีกำมะถันออกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือ แอมโมเนีย

อยู่บ้างเล็กน้อย นิวเคลียสแบบ Aitken ยังเกิดขึ้นได้จากการทำปฏิกิริยาในสถานะก๊าซระหว่าง ออกไซด์ของไนโตรเจน และไฮโดรคาร์บอน ในสภาพที่มีรังสีแสงอาทิตย์และรังสีแตกไอออน (ionizing radiation) หรือโอโซน (ozone) นิวเคลียสแบบ Aitken อาจเกิดจากปฏิกิริยาแบบ ออกซิเดชัน ไฮเดรชัน กรด-เบส และปฏิกิริยาแบบแอดดิชัน (addition) และรีคอมบิเนชัน (recombination) ระหว่างคลอรีน ออกไซด์ของไนโตรเจนและกำมะถันออกไซด์ ร่วมกับไอน้ำ ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบให้เห็นความสำคัญของแหล่งธรรมชาติ และแหล่งมนุษย์สร้างของ นิวเคลียสแบบ Aitken โดยการพิจารณาการแจกแจงของอนุภาค Aitken ตามภูมิประเทศ

ความเข้มข้นของนิวเคลียสแบบ Aitken ในธรรมชาติจะเปลี่ยนแปลงตามเวลาและมีค่า ต่ำสุดในช่วงโมงดึกของกลางคืน โดยจะเพิ่มขึ้นประมาณ 20% อย่างกะทันหันในเวลากลางวัน และลดลงอีกหลังพระอาทิตย์ตก จำนวนนับของนิวเคลียสในเมืองจะสัมพันธ์ใกล้ชิดที่สุดกับการจราจรของรถยนต์ ส่วนในชนบทจำนวนนับของนิวเคลียสจะแปรผันตามปริมาณการผลิตไอ ของสารอินทรีย์โดยทุกชาติ จำนวนนับที่ได้ในเมืองเซนต์หลุยส์ ของสหรัฐอเมริกาเป็น $15,000 - 50,000/\text{cm}^3$ ที่เวลาก่อนพระอาทิตย์ขึ้น จำนวนนับจะเพิ่มอย่างรวดเร็วเป็น $100,000/\text{cm}^3$ หรือ มากกว่า ในช่วงเวลาที่มีการจราจรหนาแน่น ในวันที่มีหมอก จำนวนนับอาจขึ้นสูงถึง $200,000/\text{cm}^3$ ความเข้มข้นสูงสุดของนิวเคลียสแบบ Aitken ที่เคยวัดได้คือประมาณ $1,500,000/\text{cm}^3$ ในสม็อก ของเมืองลอสแอนเจลิสรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา

ความยากลำบากของการตรวจแยกองค์ประกอบเชิงเคมีของนิวเคลียสแบบ Aitken รู้ซึ่งได้ง่ายเมื่อนึกถึงว่า มวลของนิวเคลียสทรงกลมรัศมี 0.05 ไมโครเมตรและความหนาแน่น 1 g/cm^3 มีเพียง $5.24 \times 10^{-16} \text{ g}$ เท่านั้น นิวเคลียสแบบ Aitken ทั้งหมดจะมีน้ำหนักเพียง ส่วนน้อยของน้ำหนักรวมของแอโรโซลในบรรยากาศ ดังนั้น การแยกนิวเคลียสเหล่านี้ ออกจากอนุภาคอื่นๆ ที่ลอยอยู่ในอากาศจึงเป็นเรื่องยาก ด้วยเหตุนี้ จึงยังไม่มีรายงานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ โดยตรงที่ครบถ้วนขององค์ประกอบเชิงเคมีของนิวเคลียสแบบ Aitken อย่างไรก็ตาม เป็นที่เชื่อกันว่า ส่วนใหญ่ของนิวเคลียสเหล่านี้จะเป็นสารอินทรีย์

ตัวอย่างอากาศที่มีมลภาวะ สามารถประมาณการแจกแจงตามขนาดอนุภาคได้ ค่อนข้างดีด้วยการแจกแจงแบบปกติเชิงล็อก (Log-Normal distribution) ส่วนตัวอย่างอากาศที่ สะอาดจะแตกต่างกันขึ้นจากการแจกแจงแบบปกติเชิงล็อกเหตุที่เป็นเช่นนั้นอาจเกิดจากการ รวมกลุ่มของอนุภาค (aggregation) ซึ่งทำให้รูปร่างการแจกแจงเปลี่ยนไปจากเดิม

ตารางที่ 2.4 ความเข้มข้นของนิวเคลียสแบบ Aitken ในสถานที่ต่าง ๆ

สถานที่	จำนวนสถานที่	จำนวนของนิวเคลียส/cm ³			
		จำนวนของการวัด	ค่าเฉลี่ย	สูงสุด	ต่ำสุด
กรุงใหญ่	28	2,500	147,000	379,000	49,100
เมือง	15	4,700	34,300	114,000	5,900
ชนบท (ไกลทะเล)	25	3,500	9,500	66,500	1,050
ชนบท (ฝั่งทะเล)	21	7,700	9,500	33,400	1,560
ภูเขา :					
500-1000 m	13	870	6,000	36,000	1,390
1,000-2,000 m	16	1,000	2,130	9,830	450
2,000 m	25	190	950	5,300	160
มหาสมุทร	21	600	940	4,680	840

ที่มา: ศิริกัลยา และคณะ, มลภาวะอากาศ, 2542

2) อนุภาคมีโตกว่า 0.1 ไมโครเมตร

มวลของสารแขวนลอยในบรรยากาศ เมฆ และเฮซ (haze) เกือบทั้งหมดจะมาจากน้ำหนักของอนุภาคมีโตกว่า 0.1 ไมโครเมตร ลักษณะและต้นเหตุของการเกิดนิวเคลียสที่เกี่ยวข้องกับการก่อตัวของเมฆ (cloud formation) เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกันมานานหลายปี อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน มีหลักฐานที่น่าเชื่อว่าจำนวนทั้งหมดของอนุภาคเกิดจากทะเล ซึ่งเป็นผลจากการกระทำของคลื่นและลม มีน้อยเกินกว่าที่จะมีความสำคัญต่อการเกิดของหยดละอองในเมฆ ความเข้มข้นของอนุภาคคลอไรด์ทั้งหมดที่มีรัศมีโตกว่า 0.1 ไมครอน คือ ประมาณ 1-10/cm³เหนือมหาสมุทรหรือพื้นแผ่นดิน ในปัจจุบันเป็นที่เชื่อกันว่า แหล่งใหญ่ของนิวเคลียสขนาดใหญ่และขนาดยักษ์ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของการเกิดเมฆและฝน คือผลผลิตของการสันดาป (เผาไหม้) อนุภาคดินที่ลอยอยู่ในอากาศ และอนุภาคมลภาวะจากอุตสาหกรรม

มีหลักฐานชี้แนะว่าอนุภาคไม่ละลายน้ำที่มีขนาดรัศมีในช่วงใหญ่กว่า 0.1

ไมโครเมตร สามารถสร้างเปลือกนอกที่ละลายน้ำได้ อาศัยการรวมตัว (agglomeration) กับอนุภาคเล็กกว่าที่มีคุณสมบัติดูดความชื้น หรือโดยการดูดซับ (adsorption) ก๊าซหรือไอต่างๆ ผลที่ได้รับคือ นิวเคลียสผสม (mixed nucleus) ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นนิวเคลียสสำหรับการควบแน่น (condensation nucleus) ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) ที่ก่อให้เกิดทัศนวิสัยน้อยกว่าครึ่งไมล์ในเมืองต่างๆ ของสหรัฐอเมริกา มีค่าตั้งแต่ 96-100% ในเมือง Atlanta รัฐ Georgia จนถึง 85-100% ในเมือง Denver รัฐ Colorado การเปลี่ยนแปลงของทัศนวิสัยจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนสถานะ

(phase transition) ซึ่งเกิดขึ้นกับอนุภาคที่ชอบดูดความชื้นในอากาศ ส่วนใหญ่ของอนุภาครวมมีโตกว่าประมาณ 1 ไมโครเมตรที่เก็บได้จากตัวอย่างอากาศตัวอย่างหนึ่งๆ จะเปลี่ยนสถานะ (phase) ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 73-76% ในจำนวนอนุภาคที่เหลือ บางอนุภาคจะเปลี่ยนสถานะที่ 80-82% RH, และ 91-93% RH อนุภาคทั้งหมดเหล่านี้ ดูเหมือนจะเป็นนิวเคลียสผสมของโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต และแอมโมเนียซัลเฟต

เนื่องจากการละลายโดยการดูดความชื้น (deliquescence) ของอนุภาคแอโรโซล จะขึ้นกับองค์ประกอบเชิงเคมีของอนุภาค การเปลี่ยนแปลงของความขุ่น (turbidity) ของบรรยากาศสามารถใช้เป็นเครื่องชี้บอกองค์ประกอบเชิงเคมีของอนุภาคเหล่านั้น ถ้าพิจารณาเพียงสารประกอบที่รู้แน่ว่ามีอยู่ในแอโรโซลในบรรยากาศ การละลายโดยการดูดความชื้นควรเกิดขึ้นที่ความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่า 70% เท่านั้น ตัวเลขนี้เป็นค่าขีดจำกัดด้านบน (upper limit) ซึ่งใช้กำหนดสำหรับการประยุกต์มาตรฐานทัศนวิสัย (visibility standard) การศึกษาลักษณะช่วงของขนาดอนุภาคแอโรโซลในเมือง Pasadena รัฐแคลิฟอร์เนีย ได้พบสหสัมพันธ์ (correlation) ที่ชัดเจนระหว่างการโตของอนุภาคแอโรโซลกับความชื้นและรังสีแสงอาทิตย์เมื่อความชื้นมีน้อยกว่า 40% หนึ่งสหสัมพันธ์ที่ได้จะไม่ชัดเจน ถ้าคำนึงถึงความชื้น หรือรังสีแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่งโดยแยกกัน

2.1.7 การแจกแจงตามขนาด (กรณีอนุภาคทั้งหมด)

จากผลการวัดโดยใช้คาสเคดอิมแพคเตอร์ (cascade impactor = เครื่องเก็บอนุภาคโดยหลักการอิมแพคชันที่ประกอบด้วยหลายชั้น โดยแต่ละชั้นจะเก็บอนุภาคที่มีช่วงขนาดต่างๆ กัน) อนุภาคตั้งแต่ขนาดรัศมีประมาณ 5×10^{-3} ไมโครเมตร จนถึง 2.1×10^1 ไมโครเมตร และในช่วงรัศมี $r = 8 \times 10^{-2}$ ถึง 10 ไมโครเมตร ความเข้มข้นเชิงจำนวน N ($-/cm^3$) ของแอโรโซลในบรรยากาศสามารถแสดงเป็นฟังก์ชันของรัศมีอนุภาค r อย่างคร่าวๆ ในรูปของ “กฎยกกำลัง (Power Law)” ดังนี้

$$dN/dr = Cr^{-\beta} \dots\dots\dots(17)$$

ในที่นี้ C เป็นตัวคงที่ซึ่งไม่ขึ้นกับ r แต่เปลี่ยนค่าได้ตามท้องถิ่น ส่วน β มีค่าประมาณ 4 สำหรับอากาศบนพื้นผิวของทวีป (continental surface air) และ 5 สำหรับอากาศชั้น upper troposphere (troposphere คือชั้นของบรรยากาศที่อยู่ใต้ชั้น stratosphere และเหนือชั้นจากผิวโลกไปประมาณ 7 ถึง 10 ไมล์) ผลของการวัดที่ความสูง 3,000 ฟุต จากระดับน้ำทะเลก็ได้สาธิตให้เห็นว่ามีลักษณะการแจกแจงตามขนาดอนุภาคที่เหมือนกัน แต่มีความเข้มข้นเชิงจำนวน

ประมาณ 1/10 เท่าของผลการวัดของ Junge การแจกแจงตามขนาดของแอโรโซลในบรรยากาศบนพื้นผิวทวีปข้างต้น จะให้การแจกแจงที่มี $dV/d(\ln r) = \text{คงที่}$ หรือ $dW/d(\ln r) = \text{คงที่}$ ถ้าใช้สมมุติฐานว่าความหนาแน่นเฉลี่ยของอนุภาคมีค่าเท่ากันตลอดช่วงรัศมีอนุภาค 0.1 ถึง 10 ไมโครเมตร ในที่นี้ V คือความเข้มข้นเชิงปริมาตรของแอโรโซล ($\mu\text{m}^3\text{-aerosol}/\text{cm}^3\text{-air}$) และ W คือความเข้มข้นเชิงมวลของแอโรโซล ($\mu\text{g-aerosol}/\text{cm}^3\text{-air}$) สรุปแล้ว แอโรโซลในบรรยากาศบนพื้นทวีป จะมีการแจกแจงของมวลของอนุภาคขนาดใหญ่ (รัศมี 0.1-1 ไมโครเมตร) และของอนุภาคขนาดยักษ์ (รัศมี 1-100 ไมโครเมตร) ตาม $\ln r$ ประมาณเท่ากัน ส่วนอนุภาคแบบ Aitken จะมีมวลเพียง 10-20% ของมวลทั้งหมดของแอโรโซล

การแจกแจงตามขนาด (สารประกอบเคมีบางตัว)

ตารางที่ 2.5 แสดงร้อยละขององค์ประกอบของสารเคมีในตัวอย่างอากาศที่เก็บได้ที่เมือง Pittsburgh รัฐ Pennsylvania โดยใช้เครื่อง Elutriator แนวนระดับซึ่งสามารถจับอนุภาคทรงกลมความหนาแน่น $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ ซึ่งมีรัศมี 3.55 ไมโครเมตรได้ด้วยประสิทธิภาพ 100% และอนุภาคทรงกลมรัศมี 2.5 ไมโครเมตร ได้ด้วยประสิทธิภาพ 50% อนุภาคทั้งหมดที่ผ่านออกจาก Elutriator จะถูกเก็บบนแผ่นกรองที่วางหนุนหลังซึ่งทำหน้าที่เก็บอนุภาคแอโรโซลที่มนุษย์หายใจเข้า

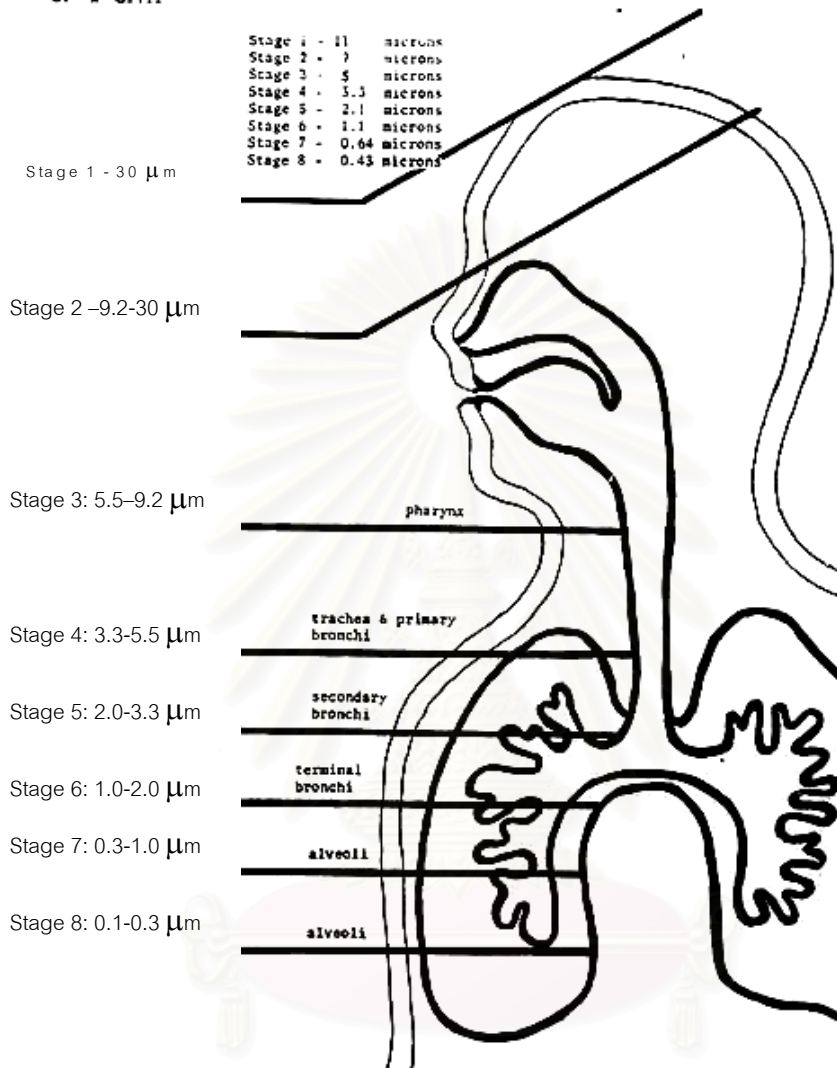
ตารางที่ 2.5 ค่าร้อยละขององค์ประกอบของอนุภาคที่ผ่านหน้าจาก Elutriator และอนุภาคทั้งหมดที่ลอยในบรรยากาศ

องค์ประกอบ	อนุภาคที่ผ่านหน้า Elutriator ^a		อนุภาคทั้งหมด		อัตราส่วน A/B
	ช่วง (ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย A	ช่วง	ค่าเฉลี่ย B	
สารอินทรีย์ที่ละลายได้					
ในเบนซิน	3.1-11.9	7.7	2.2-5.0	3.5	2.2
ซัลเฟตทั้งหมด	14.1-17.3	15.3	6.7-11.4	9.2	1.7
ไนเตรตทั้งหมด	0.8-1.8	1.2	0.8-1.2	1.1	1.1
ตะกั่ว	0.3-1.5	0.9	0.3-0.6	0.4	2.3
เหล็ก	3.3-10.4	5.8	11.8-23.7	17.3	0.3

^a ถูกจับโดยแผ่นกรองหลังจากผ่านหน้าออกจาก Elutriator แนวนระดับ

ที่มา: ศิริกัลยา และคณะ, มลภาวะอากาศ, 2542

AERODYNAMIC DIAMETERS FOR AN IMPACTION EFFICIENCY OF 50 PER CENT FOR A FLOW RATE OF 1 CFM.

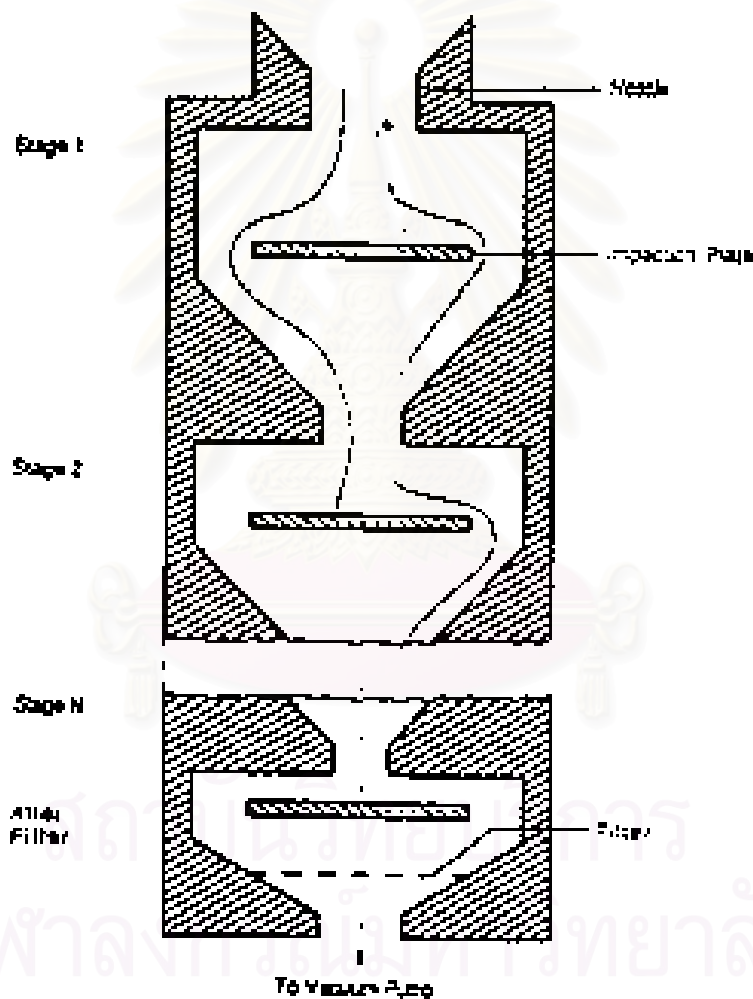


รูปที่ 2.2 ขนาดของอนุภาคและความสามารถในการเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ
ที่มา : วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ, มลภาวะทางอากาศ

รูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าเฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.0 ไมครอนเท่านั้นที่สามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้ (ถึงส่วน terminal bronchi ของปอด) อนุภาคที่เข้าสู่ปอดอาจถูกขับออกพร้อมเสมหะ หรือยังคงตกค้างอยู่ในปอดสร้างความระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อปอด ถ้าองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคเป็นสารที่ละลายในน้ำได้ อาจถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด การได้รับสัมผัสฝุ่นละอองเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานานๆ ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้เกิดโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง มีการหายใจติดขัด ฯลฯ

2.2 หลักการในการเก็บฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน แบบคัตขนาด

ในการเก็บตัวอย่างอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เพื่อทำการศึกษาคั้งนี้ หลักการในการแยกขนาดคือสร้างแนวปะทะ (impactor) อนุภาคที่เคลื่อนที่ไปกับอากาศจะปะทะกับแนวปะทะด้วยแรงเฉื่อยแล้วถูกจับไว้ในชั้นแรก หรือจะเคลื่อนที่ไปกับอากาศต่อไปในชั้นต่อไป ไปแล้วจึงถูกเก็บ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ซึ่งอนุภาคขนาดใหญ่จะมีแรงเฉื่อยมากกว่าอนุภาคขนาดเล็ก อนุภาคขนาดใหญ่จึงถูกเก็บในชั้นแรกๆ อัตราการไหลของอากาศมีความสำคัญสำหรับวิธีการนี้ ถ้ามีอัตราที่เหมาะสมจะทำให้การแยกขนาดของอนุภาคที่ต้องการเป็นไปได้ถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงการการทำงานของเครื่อง Cascade Impactor

ที่มา : Aerosal measurment, 1993.

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Keywood M.D. และคณะ (2000) ศึกษาฝุ่นละอองในบรรยากาศตอนเหนือของเกาะทาสมาเนีย ประเทศออสเตรเลีย โดยใช้เครื่องมือ MOUDI ศึกษาการกระจายโดยมวลของฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 0.05 ถึง 20 ไมครอน และเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ แบบต่อเนื่องโดยใช้เครื่องมือ TEOM พบว่าการกระจายโดยมวลของขนาดอนุภาคมีแนวโน้มเป็นแบบฐานนิยมคู่ (bimodal) ซึ่งฐานนิยมที่โดดเด่นมีแนวโน้มเป็นฝุ่นขนาดเล็ก และเป็นส่วนสำคัญของน้ำหนักรวมที่เพิ่มขึ้น และพบว่าในขณะที่ภาวะมลพิษทางอากาศต่ำ ฝุ่นหยาบ ($PM_{10-2.5}$) จะมีอิทธิพลต่อฝุ่น PM_{10} ในขณะที่วันที่ภาวะมลพิษทางอากาศสูง ฝุ่นละเอียด ($PM_{2.5}$) จะมีอิทธิพลต่อฝุ่น PM_{10} จึงเสนอให้มีการตรวจวัดฝุ่น $PM_{2.5}$ อย่างเป็นกิจวัตร ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการติดตามผลกระทบของฝุ่นที่มีต่อสุขภาพได้ดีกว่า

Hitchins J. และคณะ (1999) ประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสฝุ่นขนาดเล็ก (fine และ submicron particle) ภายนอกอาคาร ที่มาจากการปลดปล่อยของยานพาหนะบริเวณริมถนนสายหลัก โดยศึกษาเป็นระยะห่างจากริมถนน 15 ถึง 375 เมตร พบว่าถ้ามีลมพัดจากถนนสู่จุดเก็บตัวอย่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กจะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่ออยู่ห่างจากถนนเป็นระยะ 100-150 เมตร และถ้ามีลมพัดขนานกับถนนความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กจะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่ออยู่ห่างจากถนน 50-100 เมตร

Wei F. และคณะ (1999) ตรวจวัดวัดฝุ่นละออง PM_{10} $PM_{10-2.5}$ และ $PM_{2.5}$ ในโรงเรียนประถมในหัวเมือง 4 เมืองของประเทศจีน เก็บตัวอย่างโดย dichotomous samplers ใช้กระดาศกรองชนิดเทฟลอน วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค XRF พบว่า PM_{10} เฉลี่ยรายปีมี $PM_{2.5}$ เป็นองค์ประกอบอยู่ 52-75% $PM_{2.5}$ มีพิสัย 68-273 $\mu g/m^3$ เขตเมืองจะมีสัดส่วนนี้สูงกว่า นอกจากนี้องค์ประกอบธาตุที่พบใน $PM_{2.5}$ มีปริมาณมากกว่า และมีชนิดหลากหลายกว่าที่พบใน PM_{10} ซึ่งองค์ประกอบธาตุที่พบนี้มีความเกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศในเขตเมืองชี้ให้เห็นว่ามลภาวะในเขตเมืองส่งผลให้ฝุ่น $PM_{2.5}$ เกิดผลกระทบที่สูงขึ้น

วนิดา จินศาสตร์, สมานชัย เลิศกมลวิทย์ และคณะ (2542) ตรวจวัดฝุ่นละออง PM_{10} $PM_{10-2.5}$ และ $PM_{2.5}$ ของบรรยากาศริมถนน ในกรุงเทพฯ นนทบุรี และอยุธยา และเก็บตัวอย่างภายในป้อมตำรวจ และฝุ่นละอองที่ตำรวจจราจรได้รับสัมผัส ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศส่วนบุคคล พบว่าฝุ่นละอองริมถนนในกรุงเทพฯ และนนทบุรีมีค่า $168.86 \pm 51.21 \mu g/m^3$ และ $155.90 \pm 18.0 \mu g/m^3$ ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดให้ไม่เกิน $120 \mu g/m^3$ ในขณะที่อยุธยา มีค่า $85.88 \pm 15.98 \mu g/m^3$ สำหรับสัดส่วน $PM_{2.5}/PM_{10}$ มีค่าผันแปรไปแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง โดยในเขตเมืองจะมีค่ามากกว่า 65 เปอร์เซ็นต์ และนอกจากนี้พบว่าฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีความสัมพันธ์กับฝุ่นละอองภายนอกอาคาร

วนิดา จินตศาสตร์, ดวงฤทัย บัวด้วง และคณะ (2542) ศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพที่ต่อสุขภาพตำรวจจราจรที่อยู่ในเขตการจราจรหนาแน่นในกรุงเทพฯ และกลุ่มควบคุมในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา โดยใช้แบบสอบถาม ATS-DLD และการตรวจสอบการทำงานของปอด ผลการตรวจวัดฝุ่น PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในบรรยากาศ มีค่า $124.8 \mu g/m^3$ และ $44.68 \mu g/m^3$ ในกรุงเทพฯ และอยุธยาตามลำดับ การศึกษาพบความสัมพันธ์ของปัญหาระบบทางเดินหายใจกับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปริมาณฝุ่น PM_{10}

Kishan S., วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ และคณะ(1998) ร่วมกำหนดกลยุทธ์ในการลดความรุนแรงของอนุภาคมลสารในกรุงเทพมหานคร ทำการติดตามตรวจสอบระดับของอนุภาคมลสารที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) และอนุภาคแขวนลอย (TSP) รวมถึงจำแนกแหล่งกำเนิดในเขตกรุงเทพฯ ผลจากแบบจำลอง chemical mass balance ณ จุดตรวจประตูน้ำ พบอนุภาคแขวนลอยในบรรยากาศ 905 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร โดยมีแหล่งกำเนิดมาจาก เครื่องยนต์ดีเซล 4.5% รถจักรยานยนต์ 22.8% เครื่องยนต์เบนซิน 2.6% ฝุ่นจากถนน 15.1% โรงงานเหล็ก 1.5% กลุ่มเกลือ 1.4% และ ที่อธิบายไม่ได้ 52.1%

Gary A. (1998) ศึกษาองค์ประกอบและระดับความเข้มข้นของอนุภาคในอากาศที่มีส่วนร่วมให้อาการหอบหืดรุนแรงในเมือง Spokane วอชิงตัน ทำการหาปริมาณอนุภาคในแต่ละแหล่งกำเนิดโดยใช้ effective variance weighted partial least squares regression พบว่าในอนุภาคที่มีขนาดเชิงพลศาสตร์น้อยกว่า 2.5 ไมครอน มาจากการเผาไหม้พืช 26% ยานพาหนะ 51% resuspended soil 15% และ ละอองซัลเฟตชนิดทุติยภูมิ 9 % นอกจากนี้มีการศึกษาถึงการมีส่วนร่วมของมลพิษทางอากาศต่างๆ คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ โอโซน ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เก๊อนไซสภาพอากาศ และอนุภาคที่มาจากแหล่งต่างๆ ที่ทำให้อัตราการพบแพทย์เนื่องจากอาการหอบหืดเพิ่มขึ้น พบว่า อนุภาคในอากาศชนิด resuspended soil ไม่มีนัยสำคัญต่อการเป็นสาเหตุให้อาการหอบหืดรุนแรงขึ้น

Askar H. C. และคณะ (1997) ศึกษาถึงการมีส่วนร่วมกันระหว่างอัตราการป่วยกับฝุ่น PM_{10} ในเมืองแองคอรแจ รัฐอะลาสกา เก็บตัวอย่างฝุ่นโดยใช้ Andersen head sampler (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง) ใช้ระยะเวลาในการศึกษานาน 3 ปี ส่วนอัตราการป่วยใช้ข้อมูลประกันสุขภาพ และ ICD-9 เพื่อจำแนกอาการของโรค เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยการถดถอยเชิงเส้นพบว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} มีส่วนร่วมทำให้เกิดความเจ็บป่วยในระบบทางเดินหายใจอย่างมีนัยสำคัญ และยังพบว่าความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} สามารถใช้เป็นตัวทำนายอัตราการพบแพทย์เนื่องจากหอบหืดล่วงหน้า 1-2 วัน ได้เป็นอย่างดี

Brook J. R. และคณะ (1997) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง อนุภาคแขวนลอยรวม (TSP) อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

(PM_{2.5}) และสารอินทรีย์ ในบรรยากาศของเมืองต่างๆ 19 แห่ง ในประเทศแคนาดา ทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้ dichotomous samplers เป็นระยะเวลา 10 ปี (1983-1994) พบว่าอนุภาคทั้งสามชนิดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน คืออนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน จะมีสัดส่วนเป็น 49% ของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจะมีสัดส่วนเป็น 44% ของอนุภาคแขวนลอยรวม

Janssen N. A. H. และคณะ (1997) ศึกษาการได้รับฝุ่น PM₁₀ ในเด็กนักเรียนอายุระหว่าง 10 – 12 ปี จำนวน 45 คน และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่น PM₁₀ ที่บุคคลได้รับสัมผัส ในห้องเรียน และในบรรยากาศ ในโรงเรียน 3 แห่งประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่าความเข้มข้นฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่า 105.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ในบรรยากาศมีค่า 38.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ปริมาณฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสในครอบครัวที่สมาชิกสูบบุหรี่มากกว่าไม่สูบบุหรี่ จากการศึกษพบว่าปริมาณฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีสหสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นในบรรยากาศเป็นอย่างดี ($r = 0.63$) แต่เมื่อหาสหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสกับความเข้มข้นแบบถ่วงน้ำหนัก (time weighted concentration) ซึ่งหาได้จาก ปริมาณฝุ่นเฉลี่ยในห้องเรียน/ชม. * 6 ชม. + ปริมาณฝุ่นเฉลี่ยในบรรยากาศ/ชม. * 18 ชม พบว่าให้ค่าที่ดีกว่า ($r = 0.67$)

Tamura K. และคณะ (1996) ประเมินฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ ในบ้าน และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส ในเมืองโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น แล้วทำการศึกษาโดยใช้การถดถอยเชิงเส้น พบว่าความเข้มข้นฝุ่นภายในอาคาร และในบรรยากาศมีความสัมพันธ์กันสูง ($r = 0.887$) ความเข้มข้นฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสที่ได้จากเครื่องเก็บฝุ่นส่วนบุคคลมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสจากการประมาณโดยสมการถดถอยเชิงเส้น ($a = 6.8, b = 0.618$) โดยที่ตัวแปรต้นคือความเข้มข้นฝุ่นในบรรยากาศ และภายในอาคาร ($r = 0.878$)

Falchi M., Biondo L., Conti C. และคณะ (1996) ศึกษาอนุภาคสารอินทรีย์ที่อยู่ในปอดของผู้ป่วยมะเร็งปอด 30 คนซึ่งไม่มีความเสี่ยงเนื่องจากอาชีพ โดยการเก็บน้ำชะล้างหลอดดงลม (bronchoalveolar lavage fluids) นำมาวิเคราะห์โดย energy dispersive spectrum for X-ray และ Granulometric spectra พบอนุภาค 2 กลุ่มคือ ซิลิเกต (42%) มี phyllosilicate crystalline silica เป็นองค์ประกอบหลัก และ ฝุ่นโลหะ (58%) เมื่อตรวจสอบขนาดของอนุภาคพบว่าในกลุ่มโลหะอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอน มีมากกว่า 97% ในกลุ่มซิลิเกตอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอนมีอยู่ 60% ขนาดระหว่าง 3-10 ไมครอนมีอยู่ 30%

Wagner E. (1994) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลสารในอากาศ กิจกรรมทางเศรษฐกิจ และสภาพทางอุตุนิยมวิทยา ในเมืองอินน์สบวร์ค ประเทศออสเตรีย ข้อมูลที่ถูกเก็บระหว่างปี 1989 ถึง 1990 ถูกนำมาวิเคราะห์ด้วย Granger Causality test พบว่า มีความสัมพันธ์

กันระหว่าง ไนโตรเจนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนไดออกไซด์ โอโซน และ คาร์บอนมอนอกไซด์ อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อระดับ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ผุ่น และ ไนโตรเจนมอนอกไซด์อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ระดับไนโตรเจนไดออกไซด์ขึ้นกับระดับการจราจรเท่านั้น อุณหภูมิ และแสงแดดเป็นตัวกำหนดระดับของโอโซน ลมลดระดับมลสารโดยพัดพาออกไปจากเมือง ฝนลดระดับผุ่น ในขณะที่ความชื้นไม่มีผลแต่อย่างใดกับมลสารทุกตัว

วศิน มหัตนรินทร์กุล (1993) ศึกษาปัจจัยที่ผลต่อความเข้มข้นของผุ่น SPM และ ตะกั่วในบรรยากาศกรุงเทพมหานคร โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดผุ่นและตะกั่วจากกรมควบคุมมลพิษ และข้อมูลปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาจากกรมอุตุนิยมวิทยา มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติหาแนวโน้มความสัมพันธ์กัน พบว่าความเข้มข้นผุ่นและตะกั่วในบรรยากาศริมถนน และบรรยากาศทั่วไป มีสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เท่ากับ 0.6858 และ 0.2103 ตามลำดับ ความเข้มข้นผุ่น ปริมาณการใช้น้ำมัน ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ และวันทำงาน มีผลต่อความเข้มข้นตะกั่วในบรรยากาศริมถนน และบรรยากาศทั่วไป โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์เท่ากับ 0.708 และ 0.353 ตามลำดับ

Glenn T. (1992) ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเคมีของอนุภาคในอากาศ ในเมืองโตรอนโต โดยทำการเก็บตัวอย่างด้วย high-volume and cascade impactor แล้วนำตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์ทางกายภาพด้วย electron microscopy ทำการวิเคราะห์ทางเคมีโดยเทคนิค thermal neutron activation และ photonuclear activation วิเคราะห์ธาตุได้ 34 ชนิด แล้วทำการประยุกต์ด้วย chemical mass balance receptor model จำแนกแหล่งกำเนิดของอนุภาคในอากาศ พบว่ามาจาก crustal dust 69% road salt 13% ไอเสียยานพาหนะ 8% เต้าเผาขยะ 6% อุตสาหกรรมแก้ว 3% และการเผาไหม้น้ำมัน 1%

Cornille P. และ Maenhaut W. (1990) ศึกษาแหล่งกำเนิด และคุณลักษณะของอนุภาคมลสารที่มีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมครอน และเล็กกว่า 2 ไมครอน ซึ่งถูกเก็บโดย stacked filter units ในแอ่งเขาซาบาตานี ใกล้เมืองดามาสคัส ประเทศซีเรีย วิเคราะห์คุณลักษณะโดยเทคนิค X-ray emission, Neutron activation และ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่าส่วนมากของอนุภาคอยู่ในกลุ่มที่มีธาตุอลูมิเนียม และธาตุแคลเซียมสูง (32% และ 37% ตามลำดับ) เมื่อนำผลการวิเคราะห์ธาตุทุกชนิดวิเคราะห์ด้วย chemical mass balance receptor model เพื่อหาแหล่งกำเนิด พบว่ามาจากผุ่นทะเลทรายมากกว่า 90% คือจากชั้นหินผา 53% และหินปูน 43% ซึ่งผุ่นทั้งสองชนิดเป็นกลุ่มที่มีธาตุอลูมิเนียม และแคลเซียมสูง ในแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์ มาจากการปลดปล่อยของเครื่องยนต์ 3.1% การเผาไหม้น้ำมัน 0.04% และการเผาขยะ 0.54%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการหาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}) ที่อยู่ในบรรยากาศ ภายในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส และการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในแต่ละสถานที่ มีขั้นตอน และเก็บข้อมูลดังนี้

3.1 การศึกษาภาคสนาม

3.1.1 การกำหนดพื้นที่เป้าหมาย

กำหนดพื้นที่ศึกษา พิจารณาการตั้งจุดเก็บตัวอย่าง และกำหนดกลุ่มเป้าหมายที่มีการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองในบรรยากาศทั้งภายนอกและภายในอาคาร โดยพิจารณาในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่อมลพิษในระดับสูง พื้นที่มลพิษต่ำ และพื้นที่เขตเมืองในต่างจังหวัด เพื่อที่จะนำผลมาเปรียบเทียบซึ่งกันและกันในแต่ละพื้นที่ศึกษา

- 1) กรุงเทพฯ เป็นเขตมลพิษสูง
- 2) ชานเมือง เป็นเขตมลพิษต่ำ
- 3) ออยุธยา เป็นเขตเมืองในต่างจังหวัด

จากการศึกษาข้อมูลปริมาณฝุ่น PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี (พ.ศ. 2541) ที่ตรวจวัดโดยกรมควบคุมมลพิษจากสถานีฝ้าระวัง และ ปริมาณรถยนต์ที่แล่นผ่านบริเวณจุดฝ้าระวัง ที่รวบรวมโดยกรมขนส่งทางบกปี 2539-2542 ในเขตกรุงเทพฯ(ตารางที่ 3.1) ซึ่งให้เห็นว่าความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี ในเขตกรุงเทพฯทุกสถานี (ยกเว้นกระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ) มีค่าสูงกว่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 ปี พ.ศ.2538 ที่กำหนดให้ PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี ไม่เกิน $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และนอกจากนี้ยังมีปริมาณการจราจรที่หนาแน่น ดังนั้นจึงถือว่าพื้นที่ในเขตกรุงเทพฯ เป็นเขตที่มีมลพิษสูง

สำหรับการกำหนดสถานีเพื่อเก็บตัวอย่างในพื้นที่มลพิษสูงนี้ จะเลือกบริเวณที่มีปริมาณรถยนต์ผ่านมากกว่า 75,000 คัน/วัน และมีความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} เฉลี่ย 1 ปี สูงกว่า $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ได้แก่ ดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง บริเวณถนนงามวงศ์วาน จ.นนทบุรี

เขตมลพิษต่ำสำหรับการศึกษาคั้งนี้ เป็นบริเวณชานเมืองกรุงเทพฯ ซึ่งมีปริมาณการจราจรเบาบาง ไม่มีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่ในพื้นที่ ได้รับผลกระทบจากฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมมนุษย์น้อยที่สุด ซึ่งเขตหนองจอกเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมตามเหตุผลดังกล่าว สำหรับสถานีเก็บตัวอย่างในพื้นที่นี้คือบริเวณถนนประชาร่วมใจ (ตลาดคู่) และถนนคลองสิบสี่ (ประชาสำราญ)

ซึ่งมีชุมชนกระจายอยู่บนถนนสองสายนี้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเกษตรกรและอาศัยเส้นทางดังกล่าวเข้าออกระหว่างถนนสายหลัก กับชุมชน

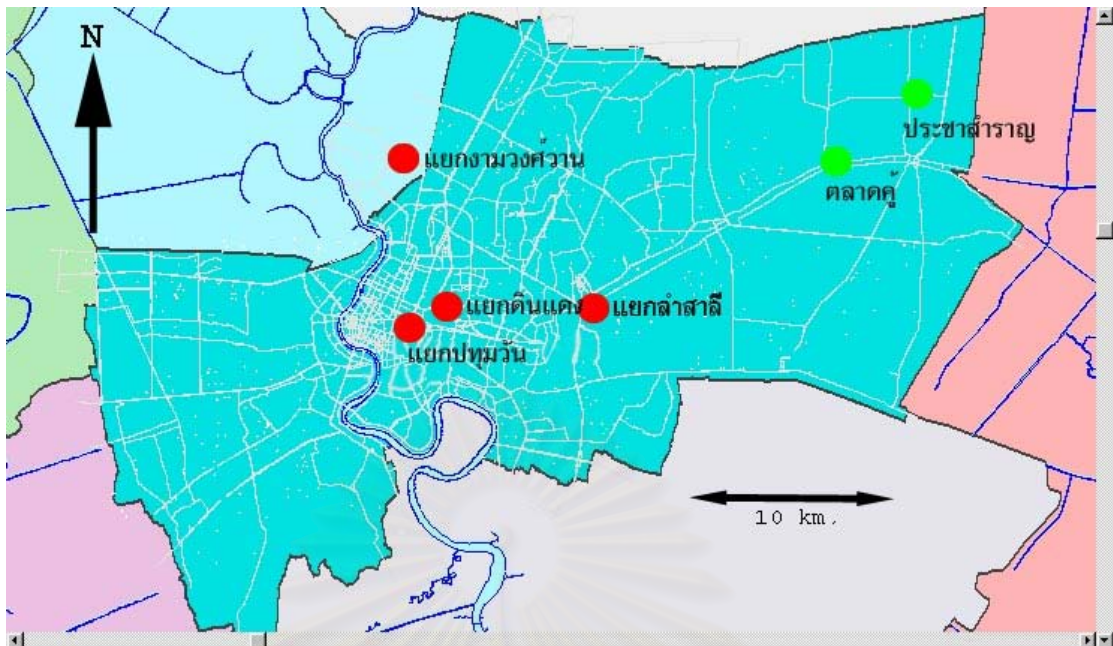
จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นเขตเมืองในต่างจังหวัดสำหรับการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากเป็นเมืองที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง ภายหลังจากมีนิคมอุตสาหกรรมเกิดขึ้น สภาพถนนในตัวจังหวัดมีสภาพคล้ายถนนในกรุงเทพฯ และอยุธยาไม่ใช่เส้นทางหลักเพื่อผ่านเข้าสู่กรุงเทพฯ ดังเช่นสระบุรี พื้นที่ส่วนใหญ่ยังเป็นพื้นที่เกษตรกรรม จึงมีการจราจรที่เบาบาง

ตารางที่ 3.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 1 ปี และปริมาณการจราจรบริเวณสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษในเขตกรุงเทพฯ

จุดเฝ้าระวัง	PM ₁₀ ¹ (µg/m ³)	ปริมาณรถยนต์ ² (คัน/วัน)			
		2539	2540	2541	2542
รามคำแหง	59.6	110,306	109,848	109,212	65,310
การเคหะฯ บางกะปิ	58.7	56,944	51,096	50,344	46,342
ห้วยขวาง	80	45,387	46,893	45,922	52,170
ร.สิงหราชพิทยา	69.3	125,260	111,575	86,611	95,340
กระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ	49	71,663	78,997	72,673	64,555
กรมขนส่งทางบก	51	115,462	65,747	74,498	66,457
โรงพยาบาลจุฬาฯ	86	77,785	64,493	66,468	71,857
สถานีไฟฟ้าอโยธยาบุรี	89.7	30,158	36,339	34,074	33,881
ซอยโชคชัย 4	79.9	94,482	94,164	64,579	80,907
ดินแดง	99.8	139,310	171,695	174,864	159,979

ที่มา : ¹ กรมควบคุมมลพิษ 2541

² สำนักงานกรมการจราจรทางบก 2539 - 2542



รูปที่ 3.1 แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในกรุงเทพฯ และชานเมือง (ที่มา : SmartMAP Viewer 2.0)



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงสถานีเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา (ที่มา Globetrotter Travel Map)

3.1.2 เลือกจุดเก็บตัวอย่าง

การศึกษานี้เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ป้อมตำรวจจราจรริมถนน (ห่างจากถนนประมาณ 1 เมตร) โดยที่ตัวอย่างฝุ่นภายนอกป้อมตำรวจเป็นตัวแทนของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ตัวอย่างฝุ่นภายในป้อมซึ่งเป็นป้อมตำรวจปิดกระจกทั้งสี่ด้านติดเครื่องปรับอากาศเป็นตัวแทนของฝุ่นละอองภายในอาคาร

สำหรับป้อมตำรวจที่อยู่ใกล้กับสถานีไฟระวังของกรมควบคุมมลพิษซึ่งรายงานค่าฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในบรรยากาศทุกวัน (PM_{10}) ไม่เกิน 200 เมตร จะมีการติดตั้งเครื่องมือ cascade impactor ที่ใช้ในการศึกษานี้บนสถานีไฟระวังของกรมควบคุมมลพิษ ใกล้ๆ กับเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศแบบเทปที่ใช้สีเบต้า (β - attenuation) เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศควบคู่กันไปเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้ในระหว่าง 2 วิธี

3.1.3 การเลือกกลุ่มเป้าหมาย

ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส จะเลือกกลุ่มเก็บตัวอย่างเป็นบุคคลที่มีความเสี่ยงจากการได้รับฝุ่น และมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับอากาศในบรรยากาศ และภายในอาคารของบริเวณที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งตำรวจจราจรเป็นกลุ่มบุคคลที่มีความเสี่ยงสูง เนื่องจากการประกอบอาชีพที่ได้รับสัมผัสฝุ่นมาก และ การปฏิบัติหน้าที่บริเวณริมถนน และภายในป้อมตำรวจ

3.2 วิธีการเก็บตัวอย่าง

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์ และการเตรียมการก่อนเก็บตัวอย่าง

อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$, $PM_{10-2.5}$, PM_{10}) ในบรรยากาศ ภายในอาคาร ฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสในแต่ละพื้นที่ศึกษา และบนสถานีไฟระวังกรมควบคุมมลพิษ คือหัวแยกฝุ่น cascade impactor (50% cut-off level of 10 μm and 2.5 μm at the flow rate of 2.5 l/min) ต่อกับปั๊มที่ดูดอากาศแบบ 2 single nozzle personal samplers (Sibata Scientific Technology, Ltd., Tokyo) กำหนดอัตราการไหลของปั๊มดูดอากาศที่ 2.5 ลิตร/นาที่ โดยใช้ Flow meter ต่อบริเวณทางเข้าของอากาศของ cascade impactor ที่อัตราการไหลนี้ จะเกิดการคัดฝุ่นขนาดต่างๆ สู่กระดาศกรงในภายใน กระดาศกรงเป็นชนิด PTFE binding glass fiber filters (Pallflex T60A20) โดยอาศัยความเฉื่อยของอนุภาค

ในการหาน้ำหนักกระดาศกรง ด้วยเครื่องชั่งหกตำแหน่ง (Mettler UM3 with 0.1 μg sensitivity) การหีบกระดาศกรงใช้ปากคีบ เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

การควบคุมความชื้นบนกระดาศกรง ใช้ตู้ที่ควบคุมความชื้น ใส่กระดาศกรงทั้งก่อนและหลังสัมผัสฝุ่นละอองไว้ในตลับพลาสติก ก่อนใส่เข้าตู้ควบคุมความชื้น เพื่อป้องกันการปนเปื้อน เมื่อจะชั่งน้ำหนักจึงคีบออกมาจากตลับ

นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์เบ็ดเตล็ดอีก คือ เทปกาว กรรไกร แบตเตอรี่ และรางบรรจุ แบตเตอรี่พร้อมสายไฟ ถุงพลาสติกป้องกันปัมจากฝน



รูปที่ 3.3 หัวแยกฝุ่น cascade impactor



รูปที่ 3.4 ปัมดูดอากาศที่ติดหัวแยก cascade impactor ที่พร้อมใช้งาน

3.2.2 ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างใน 7 สถานี สถานีละ 3 จุดในเขตกรุงเทพฯ และสถานีละ 2 จุดในชานเมือง และอยุธยา ทำการเก็บตัวอย่าง 3 วัน เฉพาะดินแดงมีอีก 1 จุด คือบนสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษ ดังสรุปไว้ในตารางที่ 3.2 เก็บตัวอย่างในช่วงฤดูหนาว (พฤศจิกายน – มีนาคม) ซึ่งเป็นช่วงที่อากาศแห้ง และไม่มีฝนตก เนื่องจากข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองจากมีการแปรผันสูง ถ้าข้อมูลฝุ่นละอองในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างประกอบด้วยข้อมูลของวันที่มีฝนตกด้วย

ตารางที่ 3.2 สถานี วัน และจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในการศึกษาครั้งนี้

พื้นที่	สถานี	จำนวน	วันที่เก็บตัวอย่าง	จุดเก็บตัวอย่าง
กรุงเทพฯ	ดินแดง**	36	15-17 กุมภาพันธ์ 2542	<ul style="list-style-type: none"> - ฝุ่นภายนอกบ่อ - ฝุ่นภายในบ่อ - ฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส
	ปทุมวัน	12	23-25 กุมภาพันธ์ 2542	
	รามคำแหง	12	16-18 มีนาคม 2542	
	นนทบุรี	12	22-25 ธันวาคม 2541	
ชานเมือง*	ตลาดคู	15	28 พ.ย. - 2 ธ.ค. 2542	<ul style="list-style-type: none"> - ฝุ่นภายนอกบ่อ - ฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส
	ประชาสำราญ	15	28 พ.ย. - 2 ธ.ค. 2542	
อยุธยา*	อยุธยา	18	24-26 มีนาคม 2542	

* บ่อสำรวจจราจรในพื้นที่ชานเมือง และอยุธยาเป็นแบบเปิด (ไม่มีเครื่องปรับอากาศ) จึงไม่มีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายในบ่อ

** สถานีดินแดงมีอีก 1 จุดเก็บตัวอย่างคือการเก็บตัวอย่างควบคุมบนสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษ

ฝุ่นละอองภายนอกบ่อซึ่งเป็นตัวแทนฝุ่นละอองบรรยากาศ และฝุ่นละอองที่เก็บควบคุมบนสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ จะเก็บเป็น 2 ช่วงคือ

- 1) 12 ชั่วโมงในช่วงกลางวัน เวลาประมาณ 7.00 – 19.00 น.
- 2) 12 ชั่วโมงในช่วงกลางคืน เวลาประมาณ 19.00 – 7.00 น.

สำหรับฝุ่นละอองภายในอาคาร และฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส เก็บเฉพาะ 12 ชั่วโมงในช่วงกลางวันซึ่งเป็นชั่วโมงทำงานเท่านั้น คือตั้งแต่ 7.00 – 19.00 น.

3.2.3 ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่าง

3.2.3.1 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองควบคุมบนสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ เก็บตลอด 24 ชั่วโมง นาน 3 วัน มีขั้นตอนดังนี้

— ประกอบอุปกรณ์ ได้แก่ปั๊ม แบตเตอรี่ สายยาง และหัว cascade เข้าด้วยกัน ติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างบนหลังคาสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษ

— ผูกเครื่องมือโดยเฉพาะหัว cascade ให้แน่นด้วยเทปกาว ให้หัว cascade ลอยอยู่สูงจากพื้น อยู่ในตำแหน่งคว่ำลง และต้องไม่มีสิ่งใดกีดขวางทางเข้าของอากาศสู่ cascade

— เดินเครื่องปั๊ม แล้วปรับอัตราการไหลให้อยู่ที่ 2.5 ลิตร/นาที

— บันทึกอัตราการไหล และเวลาที่เริ่มเดินเครื่อง

- ดำเนินการเก็บตัวอย่างจนครบ 12 ชั่วโมง
- วัดอัตราการไหลของเครื่องมือ แล้วหยุดเครื่องปั๊ม เปลี่ยนหัว cascade เพื่อเก็บตัวอย่าง 12 ชั่วโมงถัดไป
- cascade หลังสัมผัสฝุ่นแล้ว ต้องนำเทปกาวมาปิดช่องทางเข้าอากาศ เพื่อป้องกันการปนเปื้อน

3.2.3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายนอกบ่อมตำรวจ เพื่อเป็นตัวแทนฝุ่นละอองในบรรยากาศ จะเก็บตลอด 24 ชั่วโมง กลางวัน 12 ชั่วโมง และกลางคืน 12 ชั่วโมง นาน 3 วัน มีขั้นตอนดังนี้

- ติดตั้งเครื่องมือในบ่อมตำรวจจรรยา ผูกด้วยเทปกาวให้แน่น
- หาช่องสอดสายยางออกสู่ภายนอกบ่อม แล้วติดหัว cascade (อยู่นอกบ่อม) โดยหัว cascade ต้องอยู่เหนือพื้นประมาณ 1.5 เมตร และไม่มีอะไรกีดขวางทางเข้าของอากาศ
- เดินเครื่องปรับอัตราการไหลให้อยู่ที่ 2.5 ลิตร/นาที บันทึกอัตราการไหล และเวลาที่เริ่ม
- เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองจนครบ 12 ชั่วโมง บันทึกอัตราการไหล และเวลาก่อนหยุดเครื่อง เปลี่ยนหัว cascade เพื่อเก็บตัวอย่าง 12 ชั่วโมงถัดไป
- สำหรับ 2 สถานีในเขตชานเมือง คือสถานีตลาดคู่ และประชาสำราญ จะมีการเก็บคู่ (duplication) โดยตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศ 2 ชุด ในจุดเดียวกัน เปิดและปิดเครื่องพร้อมๆ กัน เพื่อทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือ

3.2.3.3 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายในบ่อมตำรวจ เพื่อเป็นตัวแทนฝุ่นละอองภายในอาคาร เก็บเฉพาะ 12 ชั่วโมงตอนกลางวัน นาน 3 วัน มีขั้นตอนดังนี้

- ติดตั้งเช่นเดียวกับการเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ (ภายนอกบ่อม) ต่างกันที่หัว cascade อยู่ภายในบ่อม

3.2.3.4 การเก็บฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส เก็บ 12 ชั่วโมง เฉพาะตอนกลางวัน นาน 3 วัน มีขั้นตอนดังนี้

- ใช้ปั๊มชนิดติดตัวบุคคล (personal pump)
- ประกอบอุปกรณ์ ได้แก่ ปั๊ม แบตเตอรี่ สายยาง และหัว cascade impactor เข้าด้วยกัน กำหนดระยะสายยางให้พอดีระหว่างช่วงเอวถึงหัวไหลของตำรวจจรรยา

- เดินเครื่องแล้วปรับอัตราการไหลให้อยู่ที่ 2.5 ลิตร/นาที บันทึกอัตราการไหล และเวลาที่เริ่ม
- นำบีมไปผูกที่เข็มขัดของตำรวจจราจรซึ่งเป็นผู้ได้รับสัมผัสนละออง นำหัว cascade impactor หีนีไปไว้บริเวณคอปกเสื้อให้แน่น (บริเวณ breathing zone)
- ให้ตำรวจจราจรที่มีเครื่องมือเก็บตัวอย่างปฏิบัติงานตามปกติ
- ช่วงการส่งมอบกะ (14.00 น) เครื่องมือเก็บตัวอย่างต้องเปลี่ยนสู่ตำรวจจราจรอีกนายหนึ่ง ต้องบันทึกอัตราการไหลก่อนเปลี่ยนกะ แล้วปรับมาที่ 2.5 ลิตร/นาที บันทึกเวลา แล้วส่งมอบให้กะต่อไป
- เมื่อครบ 12 ชั่วโมง บันทึกอัตราการไหล แล้วปิดบีม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.5 การติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองควบคู่บนสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 3.6 การติดตั้งเครื่องมือเก็บฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส

3.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละออง

3.3.1 หาปริมาณฝุ่นขนาดต่างๆ ในบรรยากาศ ภายในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส โดย Gravimetric technique มีขั้นตอนดังนี้

— เตรียมกระดาศกรองก่อนนำมาสัมผัสฝุ่น โดยเก็บกระดาศกรองไว้ในตู้ที่ควบคุมความชื้นนาน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 6 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักก่อนสัมผัสฝุ่น

— นำกระดาศกรองที่บันทึกน้ำหนักแล้วบรรจุลงใน cascade impactor รมั้ดระวังการปนเปื้อน อย่าให้กระดาศกรองสัมผัสมือ หรือวัตถุอื่นนอกจากปากคืบที่สะอาด

— กระดาศกรองหลังจากสัมผัสฝุ่นแล้ว นำมาเก็บภายใต้เงื่อนไขเดียวกับก่อนสัมผัสฝุ่นละออง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 6 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนัก

— ปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ ในอาคาร และฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส คำนวณโดย

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักฝุ่น (ไมโครกรัม)} &= \text{น้ำหนักกระดาศกรองหลัง - ก่อนสัมผัสฝุ่น} \\ \text{ปริมาณฝุ่น (มค.ก./ลบ.ม.)} &= \frac{\text{น้ำหนักฝุ่น (ไมโครกรัม)}}{\text{ปริมาตรอากาศ (ลบ.ม.)}} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณฝุ่น PM}_{10} = \text{ปริมาณฝุ่น PM}_{10-2.5} + \text{ปริมาณฝุ่น PM}_{2.5}$$

3.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ เพื่อยืนยันแหล่งกำเนิด โดยวิธี EDX

— อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์ธาตุคือ เครื่องมือวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองแบบ ECX รุ่น JSM-6400 ของบริษัท JEOL ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

— สุ่มตัวอย่างกระดาศกรองที่สัมผัสฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM_{10-2.5} ภายนอกป้อม ภายในป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส จากสถานีรามคำแหง (หมายเลขตัวอย่าง 3047, 3042 และ 3038 ตามลำดับ) กระดาศกรองที่สัมผัสฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM_{10-2.5} ภายนอกป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส จากสถานีอยุธยา (หมายเลขตัวอย่าง 3041 และ 3036 ตามลำดับ) และ blank คือกระดาศกรองที่ยังไม่สัมผัสฝุ่น

— นำตัวอย่าง และ blank วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุโดยใช้ EDX แล้วบันทึกสเปกตรัมของธาตุต่างๆ ที่พบบนกระดาศกรอง

3.4 วิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 การเปรียบเทียบวิธี cascade impactor กับวิธีของกรมควบคุมมลพิษ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศที่ได้จากการศึกษา กับข้อมูลสถานีตรวจอากาศของกรมควบคุมมลพิษ โดยหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และหาสมการถดถอยเชิงเส้น และการทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือโดยการทดสอบ paired t test

- นำข้อมูลปริมาณฝุ่น PM_{10} ที่เก็บได้ในบรรยากาศโดยใช้ปั๊มติดหัวแยก cascade impactor กับข้อมูลปริมาณฝุ่น PM_{10} จากกรมควบคุมมลพิษที่เก็บโดยเครื่องเก็บตัวอย่างแบบเทปใช้รังสีเบต้า (β -attenuation) ที่เก็บในจุดเดียวกัน ในวัน และเวลาเดียวกันมาพล็อตบน scattering diagram

- วิเคราะห์ความสัมพันธ์กันของทั้งสองค่าโดยหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) โดยกำหนด $p \leq 0.05$

- ประเมินความสอดคล้องระหว่างวิธีทั้งสอง

3.4.2 หาความเที่ยงของเครื่องมือ cascade impactor จากข้อมูลฝุ่นละอองที่เก็บซ้ำกันเป็นสองชุด ที่จุดเดียวกัน ในวัน และเวลาเดียวกัน ในเขตชานเมืองคือ ตลาดคู่ และประชาสำราญ นำมาเปรียบเทียบโดยใช้ paired t-test เพื่อทดสอบหาค่าเฉลี่ยของผลต่างของระหว่างมูลทั้งสองชุด กำหนด $p = 0.05$ สำหรับการทดสอบ

3.4.3 หาความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ $PM_{10-2.5}$ PM_{10} ที่ตรวจวัดได้จากภายนอกป้อม ภายในป้อม และที่บุคคลได้รับ ในแต่ละเขตพื้นที่ และสถานีตรวจวัด รายงานค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ค่าสูงสุด ต่ำสุด และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.4.4 การยืนยันแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในเขตกรุงเทพฯ และอยุธยา โดยการเปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุที่พบ จากสัดส่วนขององค์ประกอบธาตุที่พบในฝุ่นละออง พิจารณาสัดส่วนของธาตุที่เป็นตัวชี้บอกที่ระบุถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองก็จะยืนยันแหล่งกำเนิดได้

ฝุ่นจากการจราจร มีสัดส่วน Al Si S Cl Fe Zn Br Pb C สูง

ฝุ่นจากดิน มีสัดส่วน AL Si K Ca Ti Mn Fe สูง

ฝุ่น sea spray มีสัดส่วน Na S C K Ca สูง

ฝุ่นจากการเผาไหม้ถ่านหิน มีสัดส่วน Na Al Si P S K Ca Fe C สูง

3.4.5 วิเคราะห์การกระจายตัวของฝุ่นขนาดต่างๆ แต่ละสถานที่ โดยหาสัดส่วนระหว่าง $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ($PM_{2.5}$ to PM_{10} ratio) พร้อมพิจารณาความแตกต่างที่ได้ในแต่ละเขตพื้นที่ศึกษา (กรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา) และพิจารณาความแตกต่างในแต่ละสถานที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง (สถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ ภายในบ่อม ภายนอกบ่อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส)

3.4.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นในบรรยากาศ ฝุ่นในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส

– นำค่าฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่ตรวจได้ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่าง มาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์กันในแต่ละคู่ โดยพิจารณาจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยกำหนด $p \leq 0.05$ สำหรับการทดสอบ

– คู่ที่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญจะถูกลำมาทดสอบหาสมการถดถอยเชิงเส้น

3.4.7 การประเมินปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส

– พิจารณาปัจจัยที่น่าจะมีอิทธิพลต่อระดับ $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส กำหนดให้เป็นตัวแปรอิสระ นำเข้าทดสอบในสมการถดถอยเชิงเส้น กำหนดระดับนัยสำคัญของการเลือกตัวแปรเข้าเมื่อ $p < 0.05$ และตัดตัวแปรออกเมื่อ $p > 0.1$ ตามวิธีการ backward method

– ให้นำตัวแปรอิสระทั้งหมดเข้าสมการถดถอยเชิงซ้อน แล้วพิจารณาตัดตัวแปรที่มีระดับนัยสำคัญมากกว่าที่กำหนดออกทีละตัวตาม backward method จนไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระได้ออก จนได้สมการถดถอยเชิงเส้น

– หาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และระดับนัยสำคัญ ของสมการเชิงเส้นที่ได้

– ทดสอบสมการที่ได้โดยนำค่า $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัสที่ตรวจวัดได้จริง กับที่ได้จากการประเมินโดยใช้สมการมาเปรียบเทียบกัน

3.4.8 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของสภาพอากาศรายวันที่มีผลต่อระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ศึกษา สภาพอากาศในวันที่เก็บตัวอย่าง ได้แก่ความเร็วลมสูงสุด ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณน้ำฝน อุณหภูมิ และชั่วโมงแสงแดด มีขั้นตอนดังนี้

– กำหนดให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นตัวแปรตาม และสภาพอากาศรายวันเป็นตัวแปรอิสระ (5 ตัว)

- นำตัวแปรมาวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน พิจารณาการนำตัวแปรเข้า และตัดออกจากสมการโดย backward method
- สรุปถึงปัจจัยของสภาพอากาศรายวันที่มีผล หรือความสัมพันธ์ต่อระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การเปรียบเทียบวิธี cascade impactor กับวิธีการของกรมควบคุมมลพิษ

ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ได้จากเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น cascade impactor ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างแบบกรองโดยใช้ปริมาตรต่ำในการศึกษาครั้งนี้เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองควบคู่ไปกับสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษ (PCD station) ที่ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบเทปที่ใช้รังสีเบต้า ซึ่งเป็นเครื่องวัดฝุ่นละอองแบบต่อเนื่อง ในช่วงเวลาเดียวกัน แล้วเปรียบเทียบระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ได้จากวิธีการทั้งสองแบบ โดยเปรียบเทียบในสองสถานีที่มีสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษในบริเวณใกล้ๆ คือ ดินแดง และอโยธยา ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลความเข้มข้นฝุ่นละออง PM₁₀ ที่เก็บโดยวิธี cascade impactor และ เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบเทปใช้รังสีเบต้าบนสถานีตรวจอากาศของกรมควบคุมมลพิษ

สถานี	วัน	เวลา	PM ₁₀ (µg/m ³)	
			Cascade	β attenuation*
ดินแดง	16 ก.พ. 42	กลางวัน	133.9	122.4
	17 ก.พ. 42	กลางวัน	143.2	117.5
	18 ก.พ. 42	กลางวัน	97.2	80.1
	15 ก.พ. 42	กลางคืน	316.6	176.3
	16 ก.พ. 42	กลางคืน	175.5	137.7
	17 ก.พ. 42	กลางคืน	101.3	92.0
อโยธยา	24 มี.ค. 42	กลางวัน	68.7	39.6
	25 มี.ค. 42	กลางวัน	135.9	37.6
	26 มี.ค. 42	กลางวัน	87.1	48.3
	25 มี.ค. 42	กลางคืน	94.9	47.2
	26 มี.ค. 42	กลางคืน	83.6	59.9

* จากกรมควบคุมมลพิษ

ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ในบรรยากาศที่ได้จากวิธีทั้งสองนั้นเป็นอิสระต่อกันและเป็นข้อมูลสุ่มทั้งคู่ เราจะพิจารณาความสัมพันธ์กันของความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} จากวิธีการทั้งสองโดยการทดสอบหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient) การทดสอบนั้นจะกำหนดระดับนัยสำคัญของการทดสอบที่ $p \leq 0.01$ (2-tailed) ผลการวิเคราะห์พบว่า เฉพาะที่สถานีดินแดงเท่านั้น ที่มีความสัมพันธ์กันระหว่างวิธี cascade impactor และ β -Attenuation ด้วยสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.948 ($r = 0.948, p = 0.004$) (ผลการวิเคราะห์ด้วย SPSS ในภาคผนวก) ระดับนัยสำคัญจากการทดสอบมีค่าไม่มากไปกว่าระดับที่ใช้ทดสอบ ($p \leq 0.01$) ในขณะที่สถานีอยุธยา มีระดับนัยสำคัญจากการทดสอบที่ $p = 0.513$ ซึ่งมากกว่าระดับที่ใช้ทดสอบ แสดงว่าไม่พบความสัมพันธ์กันระหว่างวิธีทั้งสองในสถานีอยุธยา

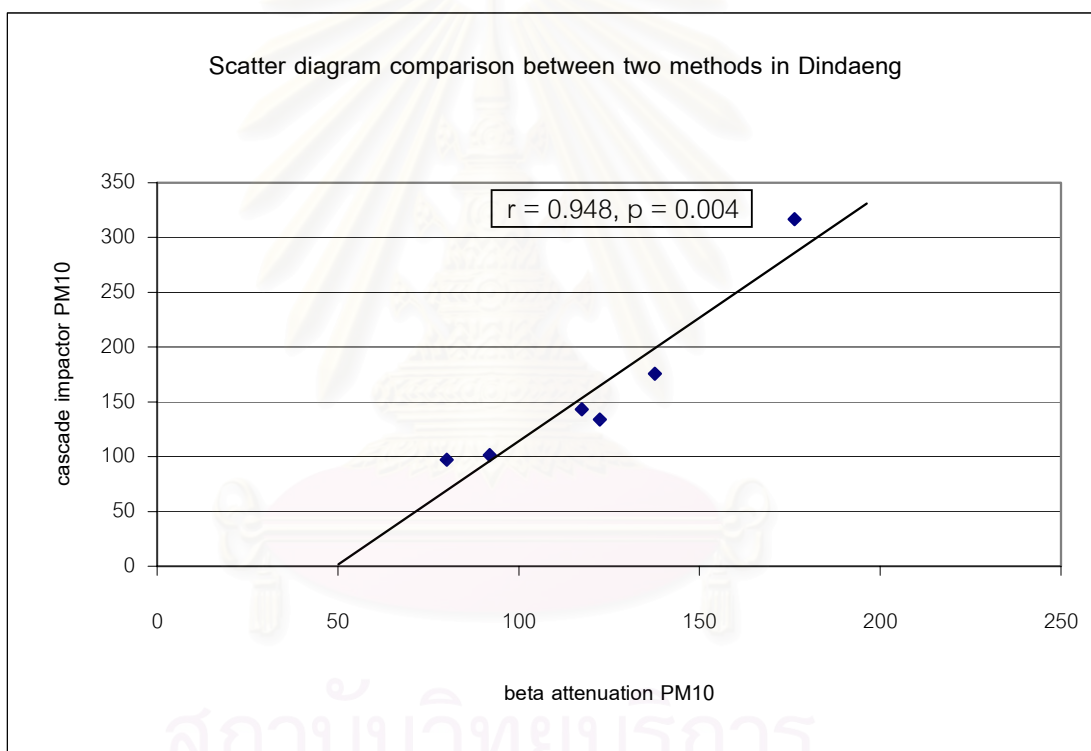
เนื่องจากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบเทปใช้รังสีเบต้าของกรมควบคุมมลพิษเป็นการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศอย่างต่อเนื่องมีการรายงานค่าแบบออนไลน์สู่เครือข่ายของกรมควบคุมมลพิษทุกๆ ชั่วโมง ทำให้การเฝ้าระวังฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นไปอย่างใกล้ชิด โดยเฉพาะที่ดินแดงเป็นบริเวณที่มีระดับภาวะมลพิษในอากาศสูง วิธีการนี้ของกรมควบคุมมลพิษพบว่ามีความสัมพันธ์สูงกับวิธี cascade impactor ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ใช้ cascade impactor หาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองภายนอกป้อม ภายในป้อมตำรวจ และที่บุคคลได้รับสัมผัส ดังนั้นถ้าเราสามารถหาสมการความสัมพันธ์ของทั้งสองวิธีแล้ว แปลงค่าการเฝ้าระวังฝุ่นละอองในบรรยากาศของกรมควบคุมมลพิษเป็นค่าฝุ่นละอองที่บุคคลที่อยู่บริเวณริมถนนได้รับสัมผัส จะทำให้การเฝ้าระวังครอบคลุมถึงอันตรายต่อสุขภาพจากฝุ่นละอองในบรรยากาศที่บุคคลจะได้รับสัมผัส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากการทดสอบพบความสัมพันธ์ระหว่างวิธีการทั้งสองซึ่งมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $r = 0.948$ เมื่อใช้ linear regression เพื่อหาสมการในการประมาณค่า PM_{10} ที่ได้จาก cascade impactor ด้วย PM_{10} ที่ได้จากกรมควบคุมมลพิษ ได้สมการเชิงเส้นคือ

$$[PM_{10}]_{\text{cascade}} = -111.29 + 2.253[PM_{10}]_{\beta\text{-attenuation}} \quad (p = 0.004)$$

ในขณะที่ค่าคงที่ของสมการนี้ ($B = -111.29$, $p = 0.078$) ซึ่งเป็นจุดตัดของแกน $[PM_{10}]_{\text{cascade}}$ อาจเป็นค่าปรับ (correction factor) ในการเปลี่ยนค่า PM_{10} ระหว่างเครื่องมือทั้งสอง



รูปที่ 4.1 แผนภาพกระจายแสดงปริมาณฝุ่นละออง PM_{10} เปรียบเทียบระหว่างวิธี cascade impactor และ β -Attenuation ของกรมควบคุมมลพิษ

4.2 การทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือ cascade impactor

นอกจากการเปรียบเทียบวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่องมือ cascade impactor กับ เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบเทปใช้รังสีเบต้า ของกรมควบคุมมลพิษแล้ว พบว่าวิธีการทั้งสองมีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเป็นการยืนยันความน่าเชื่อถือของเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้แล้ว การทดสอบความเที่ยงของเครื่องมือก็เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ยืนยันความน่าเชื่อถือของวิธีการนี้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เราทดสอบความเที่ยงของวิธีการโดยการติดตั้งเครื่องมือ cascade impactor 2 จุด เพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายนอกป้อม (เป็นตัวแทนฝุ่นในบรรยากาศ) 2 ชุด ติดตั้งเครื่องมือทั้งสองอยู่ในบริเวณใกล้ๆ กัน เปิดและปิดเครื่องพร้อมๆ กัน แล้ว หาปริมาณฝุ่นละอองเพื่อเปรียบเทียบกัน ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลความเข้มข้นฝุ่นละอองเปรียบเทียบจาก cascade impactor 2 ชุด ในสถานที่ และช่วงเวลาเดียวกัน

วันที่เก็บตัวอย่าง	สถานีเก็บตัวอย่าง	ช่วงเวลา	PM _{2.5} ภายนอกป้อม (ug/m ³)			PM ₁₀ ภายนอกป้อม (ug/m ³)		
			A	B	d*	A	B	d*
29 พ.ย. 42	ตลาดคู	กลางวัน	22.6	26.6	-4	34.0	38.1	-4.1
30 พ.ย. 42	ตลาดคู	กลางวัน	35.3	33.0	2.3	50.8	49.1	1.7
29 พ.ย. 42	ตลาดคู	กลางคืน	18.2	16.4	1.8	31.8	29.8	2
30 พ.ย. 42	ตลาดคู	กลางคืน	54.8	56.4	-1.6	87.0	86.0	1
1 ธ.ค. 42	ตลาดคู	กลางคืน	34.3	36.4	-2.1	57.9	57.1	0.8
30 พ.ย. 42	ประชาสำราญ	กลางวัน	23.0	20.5	2.5	31.1	29.8	1.3
1 ธ.ค. 42	ประชาสำราญ	กลางวัน	26.1	25.6	0.5	37.1	38.5	-1.4
30 พ.ย. 42	ประชาสำราญ	กลางคืน	32.4	30.8	1.6	53.2	50.8	2.4
1 ธ.ค. 42	ประชาสำราญ	กลางคืน	37.0	35.2	1.8	57.1	56.7	0.4
		\bar{x}	31.52	31.21	0.31	48.89	48.43	0.46

* d = ผลต่าง

ค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองภายนอกป้อมที่ได้จากเครื่องมือ cascade impactor ทั้งสองชุด (A และ B) ที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองพร้อมๆ กันในแต่ละวัน นั้นมีลักษณะหรือปัจจัยที่จะมีอิทธิพลต่อค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองภายนอกป้อมเหมือนกัน หรือคล้ายกันเนื่องจากเปิดและปิดเครื่องพร้อมๆ กัน ดังนั้นความแตกต่างกันของข้อมูลทั้งสองชุดจึงถูกทดสอบด้วย Paired Samples test สรุปผลได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ 2 ชุด

	Paired differences				t	Sig. (2-tailed)
	Mean	sd	95% CI of the Difference =			
			Lower	Upper		
Pair 1 : (n=9) PM _{2.5} จากชุดที่ A – PM _{2.5} จากชุดที่ B	0.3111	2.3165	-1.4695	2.0919	0.403	0.698
Pair 2 : (n=9) PM ₁₀ จากชุดที่ A – PM ₁₀ จากชุดที่ B	0.4556	2.0323	-1.1066	2.0177	0.672	0.520

= ช่วงความเชื่อมั่น 95% = mean \pm {t_{0.975,8} * SE}

สำหรับการทดสอบนี้มีสมมติฐานหลักคือ ความแตกต่างของค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองภายนอก
ป้อมของเครื่องมือทั้งสองชุดมีค่าเป็นศูนย์ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญการทดสอบที่ 0.05

ทั้งจากการทดสอบผลต่างระหว่าง Pair ที่ 1 และ 2 ซึ่ง ใช้เครื่อง cascade impactor เก็บฝุ่น
ละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ ภายนอกป้อม ให้ค่า significant (2-tailed) ของสถิติทดสอบ t = 0.698
และ 0.520 ตามลำดับ ซึ่งทำให้ p > 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก นั่นคือไม่มีความแตกต่างกัน
ของข้อมูลฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ จากข้อมูลทั้งสองชุด หรือถ้าพิจารณาผลลัพธ์จากการ
ประมาณค่าความเชื่อมั่น 95% ซึ่งให้ค่าต่ำสุดเป็นลบ และค่าสูงสุดเป็นบวก นั่นคือผลต่างมีค่าเป็น
ศูนย์ ทำให้สรุปได้เช่นกันว่า ไม่มีความแตกต่างกันของข้อมูลฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ จาก
ข้อมูลทั้งสองชุด

กล่าวได้ว่าวิธีการ cascade impactor มีความเที่ยงในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง
PM_{2.5} และ PM₁₀ หมายความว่าถึงจะมีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่ซ้ำก็ตาม ด้วยวิธีการ cascade
impactor ค่าที่ได้ในแต่ละซ้ำของการเก็บตัวอย่างจะไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
ดังนั้นการใช้เครื่องมือ cascade impactor วัดปริมาณฝุ่นละอองในสถานที่ต่างกัน ความแตกต่าง
ของผลที่พบเป็นเพราะปัจจัยของเวลา ไม่ใช่เพราะเครื่องมือ

4.3 PM₁₀, PM_{10-2.5} และ PM_{2.5} ภายนอกป้อม ภายในป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส

ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM₁₀, PM_{10-2.5} และ PM_{2.5} ภายนอกป้อม และฝุ่นละอองจากการเก็บตัวอย่างควบคู่ไปกับสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษซึ่งเป็นความเข้มข้นฝุ่นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ฝุ่นละอองภายในป้อม และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสซึ่งเป็นความเข้มข้นฝุ่นเฉลี่ย 12 ชั่วโมงในช่วงกลางวัน ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างคือ ในเขตกรุงเทพฯ จำนวน 4 สถานี ชานเมืองในเขตหนองจอก 2 สถานี และจังหวัดอยุธยา 1 สถานี ได้ผลดังตารางที่ 4.4 และในรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.4 ปริมาณฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง

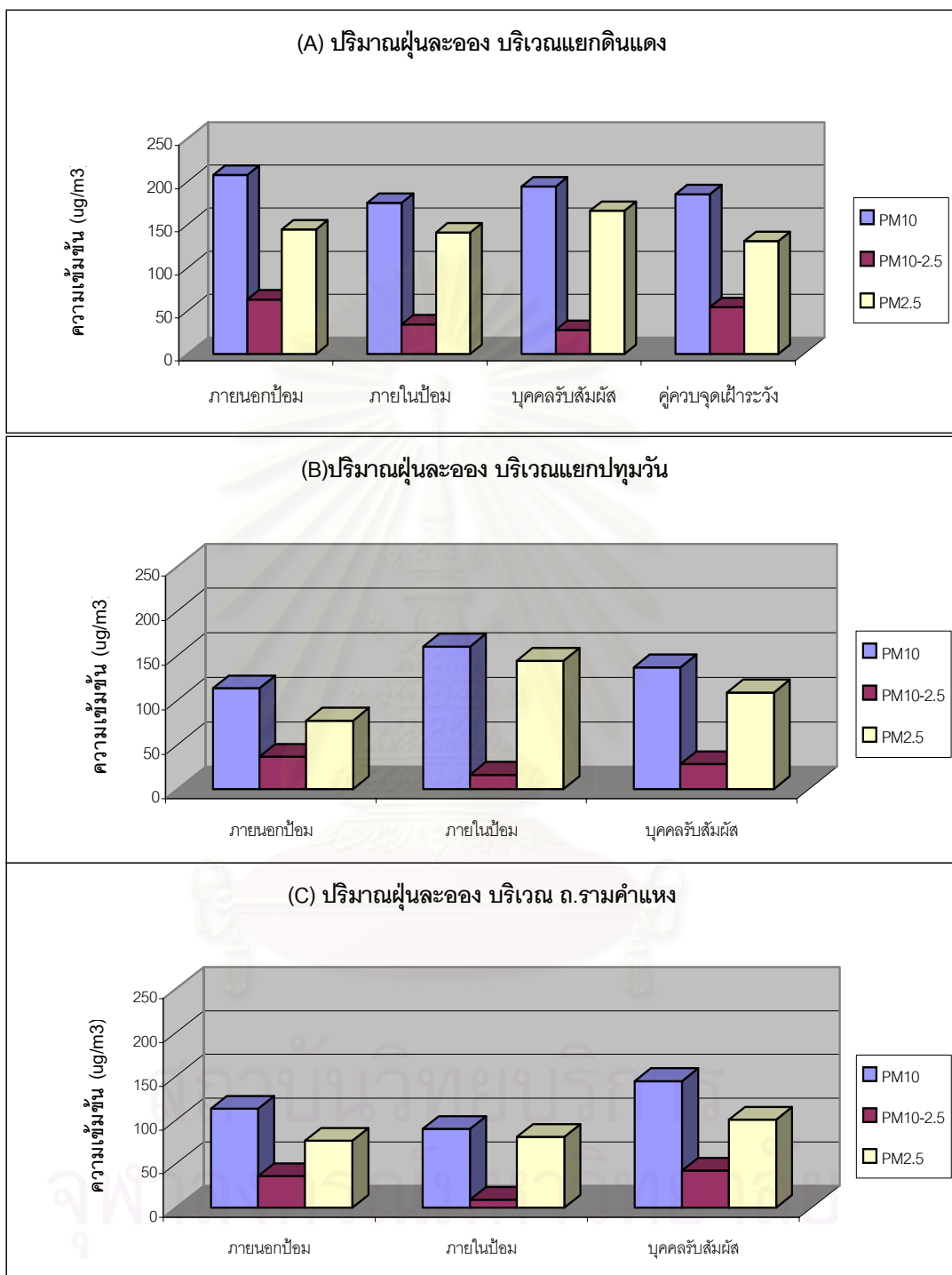
สถานี	สถานที่เก็บตัวอย่าง	n	Mean ± sd (µg/m ³)		
			PM ₁₀	PM _{10-2.5}	PM _{2.5}
ดินแดง	ภายนอกป้อม [*]	12	207.78 ± 22.81	63.18 ± 9.25	144.60 ± 13.96
	ภายในป้อม ^{**}	6	175.47 ± 26.72	34.38 ± 28.46	141.08 ± 21.93
	บุคคลได้รับสัมผัส ^{**}	5	194.00 ± 44.26	27.92 ± 8.05	166.08 ± 38.69
	ควบคู่สถานีเฝ้าระวัง [*]	12	185.38 ± 48.59	54.43 ± 11.05	130.96 ± 38.36
ปทุมวัน	ภายนอกป้อม [*]	6	113.12 ± 20.67	36.30 ± 6.02	76.15 ± 15.48
	ภายในป้อม ^{**}	3	160.10 ± 29.55	16.30 ± 2.55	143.80 ± 27.19
	บุคคลได้รับสัมผัส ^{**}	3	136.60 ± 26.16	28.00 ± 8.74	108.63 ± 17.41
รวมคำแหง	ภายนอกป้อม [*]	6	113.50 ± 5.75	36.52 ± 1.01	77.00 ± 6.03
	ภายในป้อม ^{**}	3	90.23 ± 39.92	9.17 ± 2.54	81.07 ± 37.44
	บุคคลได้รับสัมผัส ^{**}	3	145.03 ± 84.31	42.77 ± 50.44	102.03 ± 35.24
งามวงศ์วาน	ภายนอกป้อม [*]	6	155.88 ± 18.03	54.98 ± 8.41	100.85 ± 9.57
	ภายในป้อม ^{**}	3	90.27 ± 17.60	15.97 ± 3.89	74.37 ± 13.68
	บุคคลได้รับสัมผัส ^{**}	2	155.55 ± 15.91	42.30 ± 3.25	113.25 ± 12.66
หนองจอก: ตลาดคู	ภายนอกป้อม [*]	10	50.83 ± 20.10	17.93 ± 6.25	32.91 ± 13.82
	บุคคลได้รับสัมผัส ^{**}	1	47.90	13.50	34.40
หนองจอก: ประชาสำราญ	ภายนอกป้อม [*]	8	44.29 ± 3.62	15.46 ± 1.25	28.83 ± 2.66
	ภายในป้อม ^{**}	2	35.30 ± 1.41	12.35 ± 0.64	23.00 ± 0.71
อยุธยา	ภายนอกป้อม [*]	8	104.82 ± 32.12	39.24 ± 11.43	65.58 ± 22.01
	บุคคลได้รับสัมผัส ^{**}	2	71.05 ± 8.70	26.85 ± 1.06	44.25 ± 7.57
	ควบคู่สถานีเฝ้าระวัง [*]	5	100.25 ± 21.07	39.35 ± 8.56	60.88 ± 12.55

* ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

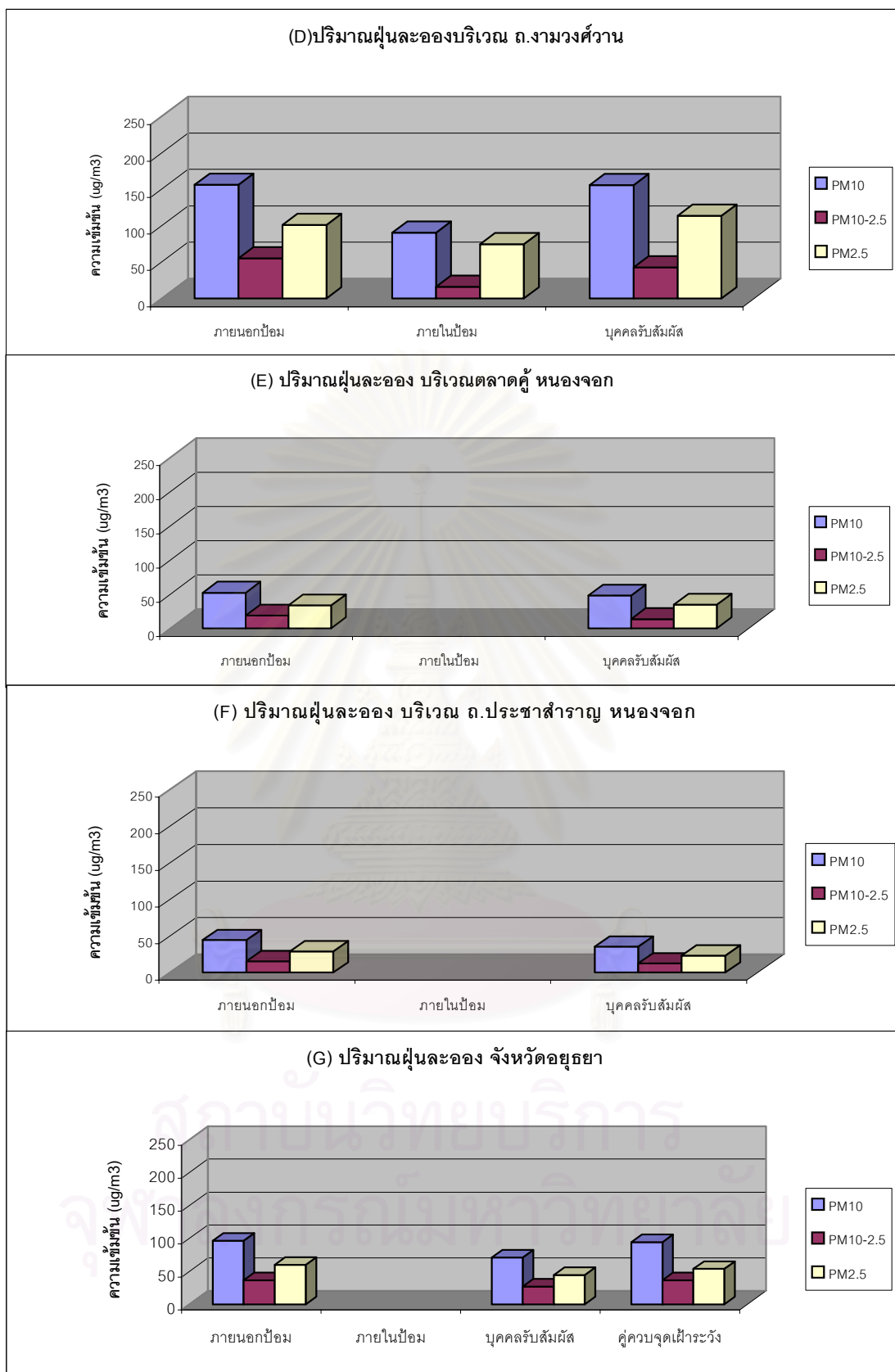
** ความเข้มข้นเฉลี่ย 12 ชั่วโมงกลางวัน

มาตรฐาน PM₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในบรรยากาศ = 120 µg/m³ (กรมควบคุมมลพิษ)

มาตรฐาน PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในบรรยากาศ = 65 µg/m³ (US EPA)



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณฝุ่นละอองในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง A: ดินแดง B: ปทุมวัน และ C: รามคำแหง



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณฝุ่นละอองในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง D: งามวงศ์วาน,

E: ตลาดคู้, F: ประชาสำราญ และ G: อยุธยา

จากรูปที่ 4.2 ในแต่ละสถานีซึ่งจะประกอบด้วยข้อมูลฝุ่นละออง 2-4 ชุดคือ ฝุ่นละอองภายนอกป้อม ภายในป้อม ที่บุคคลได้รับสัมผัส และที่เก็บจากสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ ในสถานีดินแดงซึ่งมีข้อมูลฝุ่นละอองทั้ง 4 ชุด พบว่าข้อมูลทั้ง 4 ชุดมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ฝุ่นละอองภายนอกป้อม และฝุ่นละอองที่เก็บตัวอย่างควบคู่ไปกับจุดเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษมีค่าใกล้เคียงกันคือ $[PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = 207.78 \pm 22.81 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = 63.18 \pm 9.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = 144.60 \pm 13.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $[PM_{10}]_{\text{ควบคู่คพ.}} = 185.38 \pm 48.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ควบคู่คพ.}} = 54.43 \pm 11.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ควบคู่คพ.}} = 130.96 \pm 38.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าฝุ่นละอองภายนอกป้อมจะสูงกว่าฝุ่นที่เก็บควบคู่ไปกับจุดเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างภายนอกป้อมที่ดินแดงอยู่บนเกาะกลางถนนบริเวณสามเหลี่ยมดินแดง และอยู่ใกล้ถนนมากกว่าสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ สำหรับฝุ่นละอองเฉลี่ย 12 ชั่วโมงกลางวัน ฝุ่นละอองภายในป้อม และฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสที่สถานีดินแดงก็มีค่าใกล้เคียงกัน $[PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}} = 175.47 \pm 26.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} = 34.38 \pm 28.46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} = 141.08 \pm 21.93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $[PM_{10}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 194.00 \pm 44.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 27.92 \pm 8.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 166.08 \pm 38.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สังเกตได้ว่าฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสจะมีค่าสูงกว่าฝุ่นละอองภายนอกป้อม อาจเนื่องมาจากในช่วงเวลาเช้า (6.00-8.00 น.) ตำรวจจะออกมาปฏิบัติหน้าที่บนถนน จากนั้นจึงประจำอยู่ในป้อม ดังนั้นฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสจึงสูงกว่า ฝุ่นละอองภายในป้อม

สถานีปทุมวันมีข้อมูลฝุ่นละอองภายนอกป้อม ภายในป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส ฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงภายนอกป้อม $[PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = 113.12 \pm 20.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = 36.30 \pm 6.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = 76.15 \pm 15.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับฝุ่นละอองเฉลี่ย 12 ชั่วโมงกลางวัน ฝุ่นละอองภายในป้อมมีค่ามากกว่าฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส โดยที่ $[PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}} = 160.10 \pm 29.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} = 16.30 \pm 2.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} = 143.80 \pm 27.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $[PM_{10}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 136.60 \pm 26.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 28.00 \pm 8.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 108.63 \pm 17.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็นที่สังเกตว่าภายในป้อมตำรวจบริเวณแยกปทุมวันมีฝุ่นละอองสูงกว่าภายนอก เนื่องจากมีเจ้าหน้าที่ตำรวจบางนายสูบบุหรี่ภายในป้อมตำรวจ ซึ่งควันบุหรี่เป็นแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$

สถานีรามคำแหง เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณแยกลำสาลี มีข้อมูลฝุ่นละอองภายนอกป้อม ภายในป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส ฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงภายนอกป้อม $[PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = 113.50 \pm 5.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = 36.52 \pm 1.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$,

$[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 77.00 \pm 6.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับฝุ่นละอองเฉลี่ย 12 ชั่วโมงกลางวัน ฝุ่นละอองภายในห้องมีค่าน้อยกว่าฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส โดยที่ $[PM_{10}]_{\text{ภายในห้อง}} = 90.23 \pm 39.92 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายในห้อง}} = 9.17 \pm 2.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายในห้อง}} = 81.07 \pm 37.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $[PM_{10}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 145.03 \pm 84.31 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 42.77 \pm 50.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 102.03 \pm 35.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$

สถานีงามวงศ์วาน มีข้อมูลฝุ่นละอองภายนอกห้อง ภายในห้อง และที่บุคคลได้รับสัมผัส ฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงภายนอกห้อง $[PM_{10}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 155.88 \pm 18.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 54.98 \pm 8.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 100.85 \pm 9.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับฝุ่นละอองเฉลี่ย 12 ชั่วโมงกลางวัน พบว่าฝุ่นละอองภายในห้องมีค่าน้อยกว่าฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส โดยที่ $[PM_{10}]_{\text{ภายในห้อง}} = 90.27 \pm 17.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายในห้อง}} = 15.97 \pm 3.89 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายในห้อง}} = 74.37 \pm 13.68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $[PM_{10}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 155.55 \pm 15.91 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 42.30 \pm 3.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 113.25 \pm 12.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$

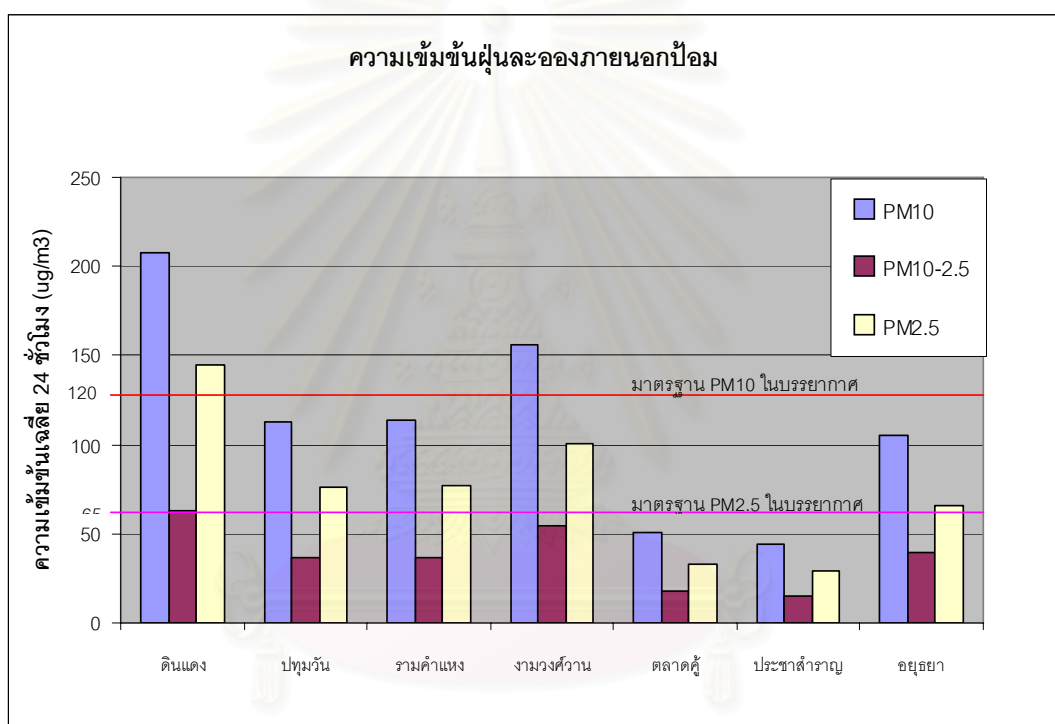
สถานีหนองจอกบริเวณจุดตรวจตลาดคู่ มีเฉพาะข้อมูลฝุ่นละอองภายนอกห้อง และที่บุคคลได้รับสัมผัส เนื่องจากเป็นห้องตำรวจแบบเปิด ฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงภายนอกห้อง $[PM_{10}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 50.83 \pm 20.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 17.93 \pm 6.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 32.91 \pm 13.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสเฉลี่ย 24 ชั่วโมง $[PM_{10}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 47.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 13.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 34.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ไม่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเนื่องจากมีข้อมูลเพียงค่าเดียว อีกสองข้อมูลที่ตัดออกเนื่องจากมีค่าเป็นลบ และอีกค่ามีค่าสูงผิดปกติ

สถานีหนองจอกบริเวณจุดตรวจประชาสำราญ มีเฉพาะข้อมูลฝุ่นละอองภายนอกห้อง และที่บุคคลได้รับสัมผัส เนื่องจากเป็นห้องตำรวจแบบเปิด ฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงภายนอกห้อง $[PM_{10}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 44.29 \pm 3.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 15.46 \pm 1.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 28.83 \pm 2.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสเฉลี่ย 24 ชั่วโมง $[PM_{10}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 35.30 \pm 1.41 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 12.35 \pm 0.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 23.07 \pm 0.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$

สถานีอยุธยา เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองบริเวณโรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย ถนนโรจนะ มีเฉพาะข้อมูลฝุ่นละอองภายนอกห้อง ฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส และฝุ่นจากสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ สำหรับฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ฝุ่นละอองภายนอกห้อง และฝุ่นละอองที่เก็บควบคุมคู่ไปกับจุดเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษมีค่าใกล้เคียงกันคือ $[PM_{10}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 104.82 \pm 32.12 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{10-2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 39.24 \pm 11.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} = 65.58 \pm 22.01$

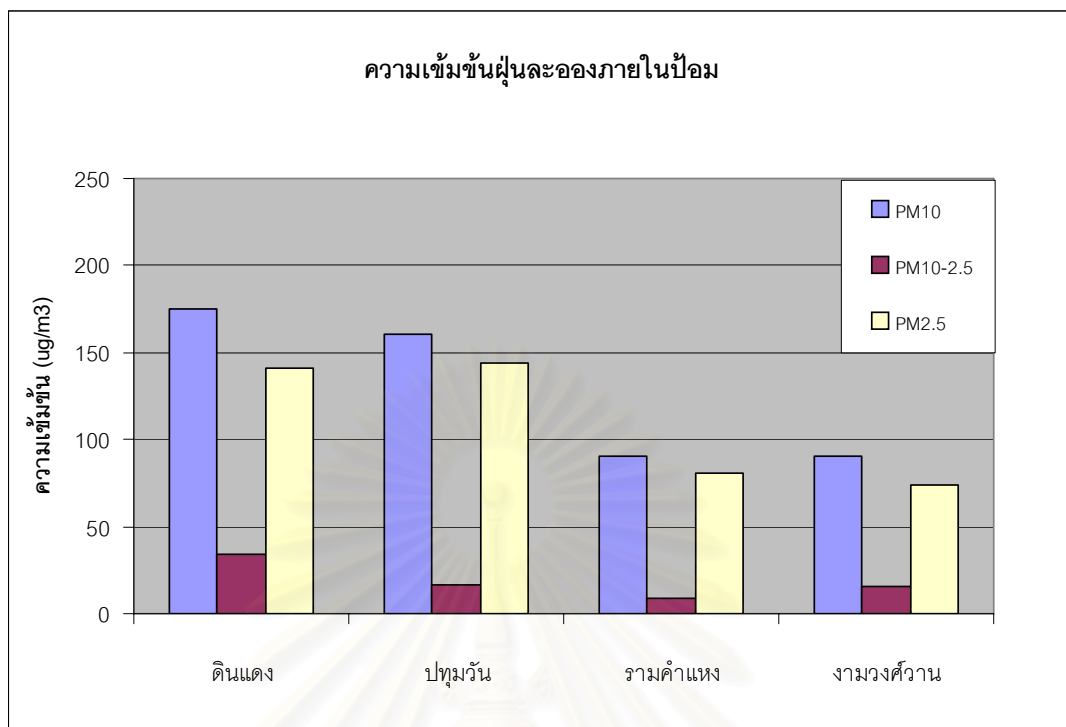
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $[\text{PM}_{10}]_{\text{ควบคุมคุณภาพ}} = 100.25 \pm 21.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[\text{PM}_{10-2.5}]_{\text{ควบคุมคุณภาพ}} = 39.35 \pm 8.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[\text{PM}_{2.5}]_{\text{ควบคุมคุณภาพ}} = 60.88 \pm 12.55 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ สำหรับฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสเฉลี่ย 12 ชั่วโมง $[\text{PM}_{10}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 71.05 \pm 8.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[\text{PM}_{10-2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 26.58 \pm 1.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $[\text{PM}_{2.5}]_{\text{บุคคลรับสัมผัส}} = 44.25 \pm 7.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งน้อยกว่าฝุ่นละอองภายนอกป้อม

เมื่อนำผลข้อมูลฝุ่นละอองในทุกๆ สถานี ที่เก็บได้ในแต่ละจุดตรวจวัด คือภายนอกป้อม ภายในป้อม ที่บุคคลได้รับสัมผัส และการเก็บควบคุมไปกับสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ มาพล็อตบนแผนภูมิโดยแยกแต่ละจุดตรวจวัด เพื่อเปรียบเทียบดูความแตกต่างในแต่ละสถานี ได้ผลดังรูปที่ 4.3 ถึง รูปที่ 4.6

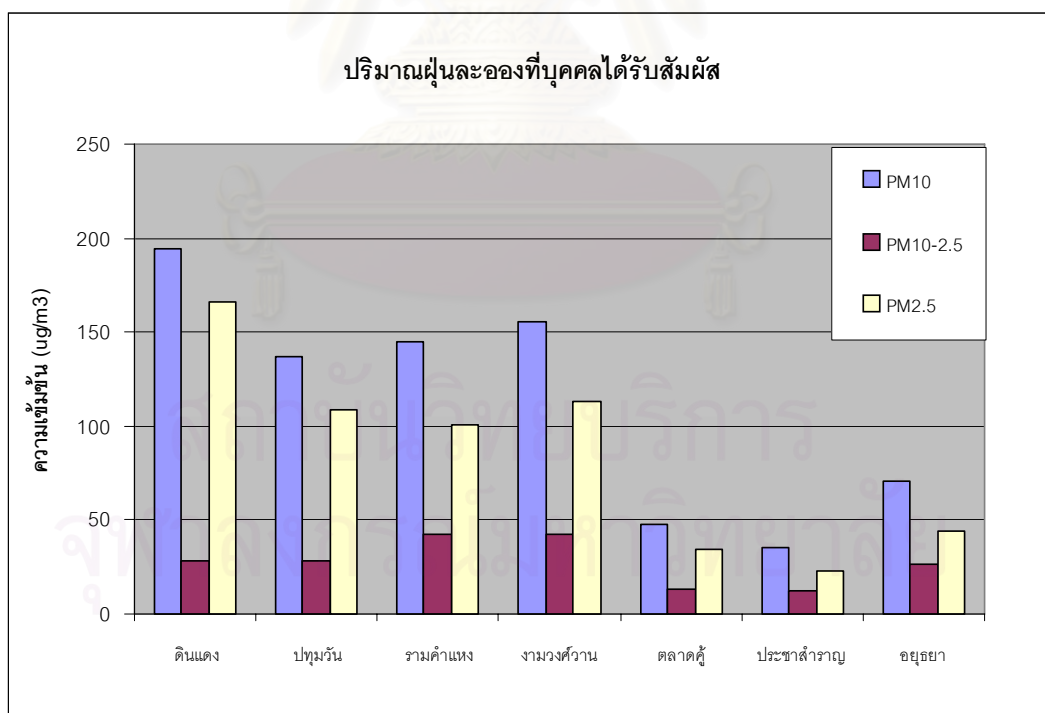


รูปที่ 4.3 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองภายนอกป้อม ของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง

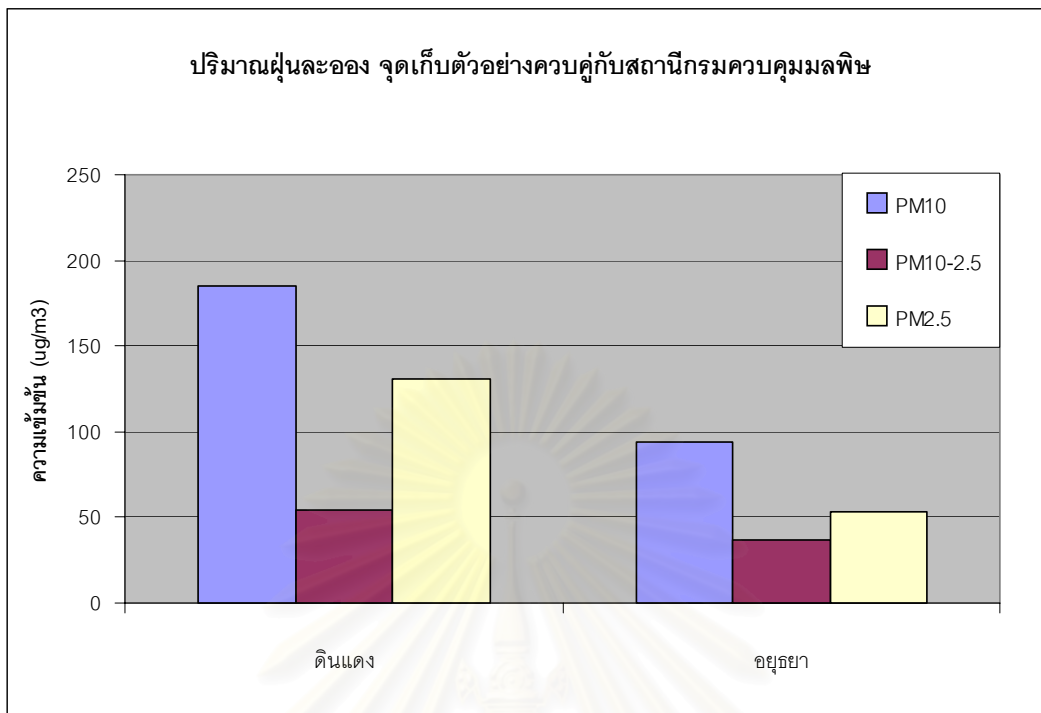
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองภายในป้อม ของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส ของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 4.6 แผนภูมิแท่งแสดงค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เก็บตัวอย่างจากจุดเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษ

จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงภายนอกป้อมตำรวจ ซึ่งเป็นตัวแทนของฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงในบรรยากาศ พบว่าสามารถแบ่งข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่ามากกว่า $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับฝุ่น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในบรรยากาศที่กำหนดโดย US EPA กลุ่มนี้ได้แก่ดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง งามวงศ์วาน และอุษุธรยา ซึ่งเป็นสถานีในเขตเมืองทั้งสิ้น ภายในกลุ่มนี้จะพบว่า ในสถานีดินแดง และงามวงศ์วาน มีค่าฝุ่น PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงในบรรยากาศ มีค่ามากกว่า $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษกำหนดให้ไม่เกิน $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ในขณะที่สถานีปทุมวัน รามคำแหง และอุษุธรยา มีค่าฝุ่น PM_{10} มากกว่า $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ แต่ยังไม่มากกว่าค่ามาตรฐาน อีกกลุ่มหนึ่งคือกลุ่มที่ $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง มีค่าต่ำกว่า $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ คือเขตชานเมืองกรุงเทพมหานครในเขตหนองจอก ได้แก่สถานีตลาดคู่ และประชาสำราญ เป็นพื้นที่ที่อยู่อาศัย และเกษตรกรรม มีคนอาศัยอยู่เบาบาง

ฝุ่นละอองภายในป้อม เก็บเฉพาะตอนกลางวันตลอด 12 ชั่วโมง ในป้อมตำรวจจราจรที่ติดเครื่องปรับอากาศปิดกระจกทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ป้อมตำรวจจราจรในสถานีดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง และงามวงศ์วาน พบว่า ที่สถานีดินแดง มีค่าฝุ่นละออง PM_{10} ที่สูงที่สุด รองลงมาคือ สถานีรามคำแหง แต่สถานีรามคำแหงมีค่าฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ มากกว่าที่ดินแดง ทั้งนี้เนื่องจาก

ภายในป้อมตำรวจจราจรปทุมวัน มีเจ้าหน้าที่ตำรวจบางนายสูบบุหรี่ภายในป้อม จึงอาจเป็นสาเหตุให้ฝุ่นละอองภายในป้อมของสถานีนี้มีค่าสูงกว่าปกติ สำหรับฝุ่นละอองภายในป้อมที่สถานีรามคำแหงและงามวงศ์วานมีค่าน้อยกว่าในดินแดง และปทุมวัน เป็นที่น่าสังเกตว่าป้อมตำรวจจราจรดินแดงตั้งอยู่บนเกาะกลางถนนบริเวณสามเหลี่ยมดินแดง ในขณะที่ป้อมตำรวจจราจรในปทุมวัน รามคำแหง และงามวงศ์วานตั้งอยู่บนมุมใดมุมหนึ่งของแยก ถ้าไม่พิจารณาภายในป้อมปทุมวันที่มีการสูบบุหรี่ภายใน ตำแหน่งที่ตั้งของป้อมตำรวจจราจรน่าจะมีผลต่อปริมาณฝุ่นละอองภายในป้อม

ฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส พบการแบ่งเป็น 3 กลุ่มอย่างเห็นได้ชัด คือ กลุ่มแรก ฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ที่มีค่าสูงกว่า $100 \mu g/m^3$ เป็นสถานีในเขตกรุงเทพฯ ได้แก่ เจ้าหน้าที่ตำรวจที่ปฏิบัติหน้าที่ ณ ป้อมตำรวจจราจรดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง และงามวงศ์วาน ในกลุ่มนี้ดินแดงมีค่าสูงที่สุด รองลงมาตามลำดับคืองามวงศ์วาน รามคำแหง และปทุมวัน กลุ่มที่สองฝุ่นละออง PM_{10} มีค่าน้อยกว่า $100 \mu g/m^3$ เป็นเจ้าหน้าที่ตำรวจที่ปฏิบัติหน้าที่ ณ ป้อมตำรวจจราจรในจังหวัดอยุธยา ส่วนกลุ่มที่สาม ฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ มีค่าน้อยกว่า $50 \mu g/m^3$ เป็นสถานีในเขตชานเมือง ได้แก่ เจ้าหน้าที่ตำรวจที่ปฏิบัติหน้าที่ ณ ป้อมตำรวจจราจรตลาดคู่ และประชาสำราญ ในแต่สามกลุ่มที่กล่าวมาคือ ตำรวจจราจรในกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา จะเห็นความแตกต่างของลักษณะการปฏิบัติหน้าที่ของเจ้าหน้าที่ตำรวจจราจรดังนี้ สถานีดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง และงามวงศ์วาน เป็นบริเวณที่มีการจราจรคับคั่งเกือบตลอดช่วงวัน ตำรวจจราจรอาจต้องลงมาโบกรถบนถนน สถานีอยุธยาเป็นป้อมตำรวจจราจรในเขตเมือง การจราจรไม่หนาแน่น และเจ้าหน้าที่ตำรวจไม่ต้องลงมาโบกรถกลางถนน ส่วนหนองจอก บริเวณตลาดคู่ และประชาสำราญมีปริมาณการจราจรเบาบาง เจ้าหน้าที่ตำรวจประจำอยู่ภายในป้อมตำรวจ ไม่ต้องออกมาโบกรถ

ฝุ่นละอองที่เก็บตัวอย่างควบคู่ไปกับจุดเฝ้าระวังกรมควบคุมพิษ เก็บเฉพาะสถานีดินแดง และอยุธยา เนื่องจากมีสถานีตรวจเฝ้าระวังของกรมควบคุมพิษอยู่ภายในรัศมี 200 เมตร ในสถานีดินแดงซึ่งอยู่ในเขตกรุงเทพฯ มีฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ สูงกว่า ในสถานีอยุธยาซึ่งเป็นเขตเมืองของต่างจังหวัด

4.4 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุที่มีอยู่ในฝุ่นละอองในเขตกรุงเทพฯ และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ Energy Dispersive X-ray Fluorescence: EDX ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์แบบกึ่งคุณภาพวิเคราะห์ (semi quantitative) ซึ่งทราบผลทั้งปริมาณ และชนิดของธาตุ ดังรูปที่ 4.7 ถึง 4.13 ซึ่งแสดงสเปกตรัมของธาตุที่พบ

องค์ประกอบธาตุที่พบในฝุ่นละอองสามารถบอกถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองนั้นได้ แต่ละแหล่งกำเนิดจะให้ฝุ่นละอองที่มีองค์ประกอบธาตุที่แตกต่างกันไปเหมือนหลายนิ้วมือของแหล่งกำเนิด ฝุ่นละอองที่มาจากจราจรจะมีองค์ประกอบธาตุ คือ Na, Al Si S Cl Fe Zn Br Pb และ elemental carbon อยู่ด้วย จากการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยเทคนิค EDX พบองค์ประกอบธาตุเหล่านี้ในฝุ่นละอองทั้งสองขนาด (PM_{10} และ $PM_{2.5}$) ที่เก็บจากกรุงเทพฯ และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา แสดงในตารางที่ 4.5 ผลที่ได้เป็นการยืนยันว่าการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดแหล่งหนึ่งของฝุ่นละอองที่เก็บจากภายนอกป้อม ภายในป้อมตำรวจที่อยู่ริมถนน และจากตำรวจจราจรที่ปฏิบัติหน้าที่บนถนน และภายในป้อมตำรวจในการศึกษารั้งนี้

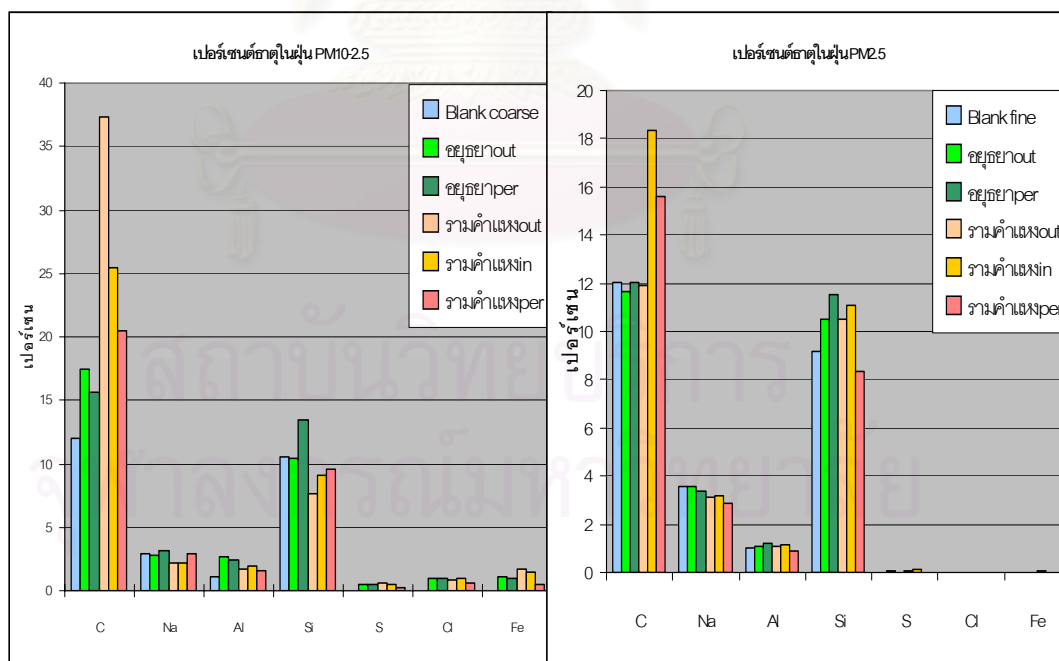
ตารางที่ 4.5 เปอร์เซนต์ขององค์ประกอบธาตุที่มาจากจราจรในฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{10-2.5}$

	สถานี/จุดตั้งเครื่อง	เปอร์เซนต์ของธาตุที่พบ						
		C	Na	Al	Si	S	Cl	Fe
$PM_{10-2.5}$	Blank	12.00	2.92	1.11	10.53	-	-	-
	อยุธยา ภายนอกป้อม	17.42	2.80	2.71	10.40	0.50	1.00	1.08
	อยุธยา ที่บุคคลได้รับสัมผัส	15.58	3.20	2.48	13.43	0.43	0.98	0.97
	รวมค่าแห่ง ภายนอกป้อม	37.34	2.17	1.75	7.69	0.60	0.86	1.72
	รวมค่าแห่ง ภายในป้อม	25.49	2.22	1.97	9.04	0.54	0.91	1.44
	รวมค่าแห่ง ที่บุคคลได้รับสัมผัส	20.48	2.92	1.57	9.62	0.24	0.55	0.53
PM_{10}	Blank	12.02	3.54	1.02	9.16	-	-	-
	อยุธยา ภายนอกป้อม	11.66	3.55	1.11	10.51	0.04	0.02	0.02
	อยุธยา ที่บุคคลได้รับสัมผัส	12.05	3.37	1.24	11.52	-	-	-
	รวมค่าแห่ง ภายนอกป้อม	11.91	3.12	1.09	10.49	0.04	-	0.04
	รวมค่าแห่ง ภายในป้อม	18.35	3.18	1.16	11.11	0.11	0.01	0.02
	รวมค่าแห่ง ที่บุคคลได้รับสัมผัส	15.63	2.87	0.89	8.33	0.03	-	0.01

เนื่องจากกระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง เป็นชนิด PTFE binding glass fiber filter (Pallf.ex T60A20) ซึ่งมีธาตุ C, O, Na, F, Al, Si เป็นองค์ประกอบหลัก

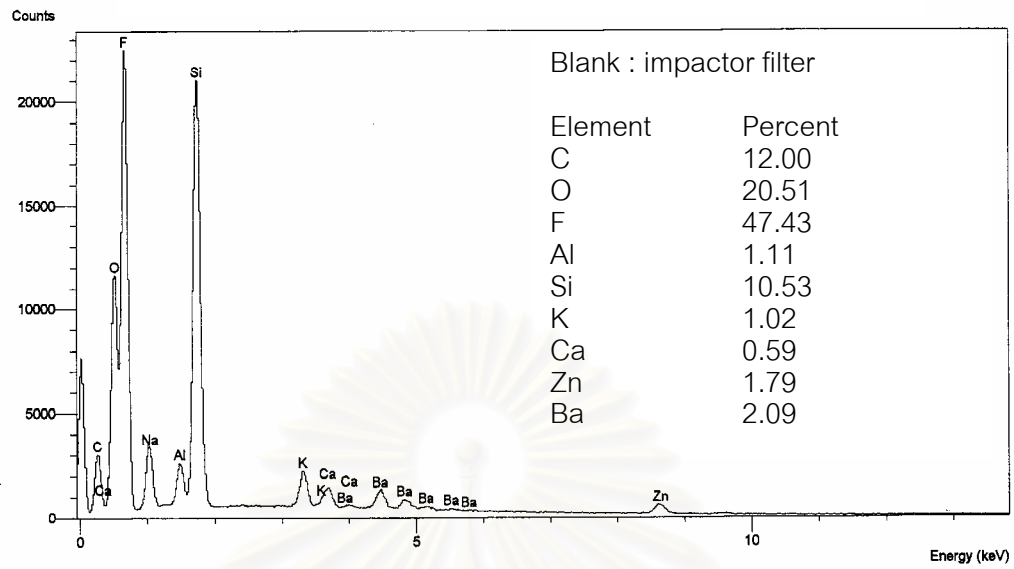
ในกระดาศกรองดูได้จาก blank ซึ่งกระดาศกรองที่สัมผัสฝุ่นแล้วจะไม่เหมาะสมในการนำมาทำคุณภาพวิเคราะห์ เพราะองค์ประกอบธาตุในกระดาศกรองจะรบกวนการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง

อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณาซัลเฟอร์ คลอรีน และเหล็ก (S, Cl และ Fe) ที่ไม่พบในกระดาศกรอง blank แต่พบในกระดาศกรองที่สัมผัสฝุ่นแล้ว โดยเฉพาะฝุ่น $PM_{10-2.5}$ สำหรับคาร์บอน (C) ซึ่งมีอยู่ในกระดาศกรอง blank ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อสัมผัสฝุ่นแล้ว มีเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะที่รามคำแหง ซึ่งเป็นบริเวณหนึ่งในกรุงเทพฯ ที่มีการจราจรหนาแน่น แหล่งกำเนิดของธาตุคาร์บอนในฝุ่นละอองคือ การเผาไหม้เชื้อเพลิง และจากการจราจร สำหรับโซเดียม อลูมิเนียม และ ซิลิกอน (Na, Al และ Si) พบในฝุ่นละอองที่ศึกษาครั้งนี้ ถึงแม้สังเกตความแตกต่างได้น้อยระหว่างกระดาศกรอง blank กับกระดาศกรองที่สัมผัสฝุ่นแล้ว แต่เมื่อสังเกตความแตกต่างระหว่างร้อยละของคาร์บอน ซิลิกอน และอลูมิเนียม (C, Si, Al) ในอยุธยา และกรุงเทพฯ พบว่า ที่อยุธยา ซิลิกอน และอลูมิเนียม เป็นองค์ประกอบที่สูงกว่า แสดงว่าฝุ่นจากขบวนการเชิงกล คือการวิ่งของรถทำให้ฝุ่นดินฟุ้งกระจายมีความเด่นในอยุธยา แต่ฝุ่นละอองจากกรุงเทพฯ มีร้อยละของ elemental carbon เป็นองค์ประกอบสูงกว่าในฝุ่นละอองจากอยุธยา แสดงว่าฝุ่นละอองที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ มีความเด่นในกรุงเทพฯ มากกว่า

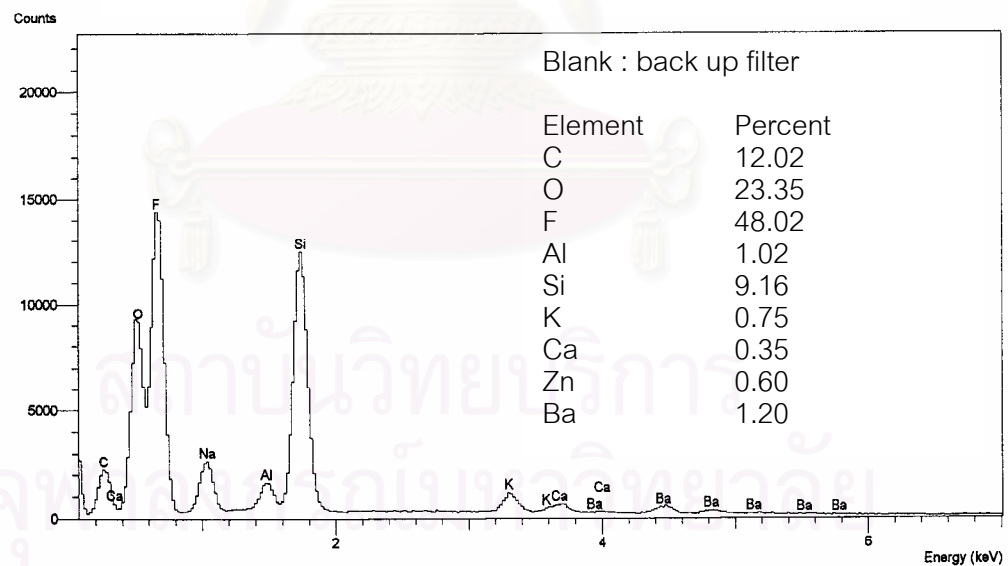


รูปที่ 4.7 แผนภูมิแท่งแสดงเปอร์เซ็นต์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง $PM_{10-2.5}$ และ $PM_{2.5}$

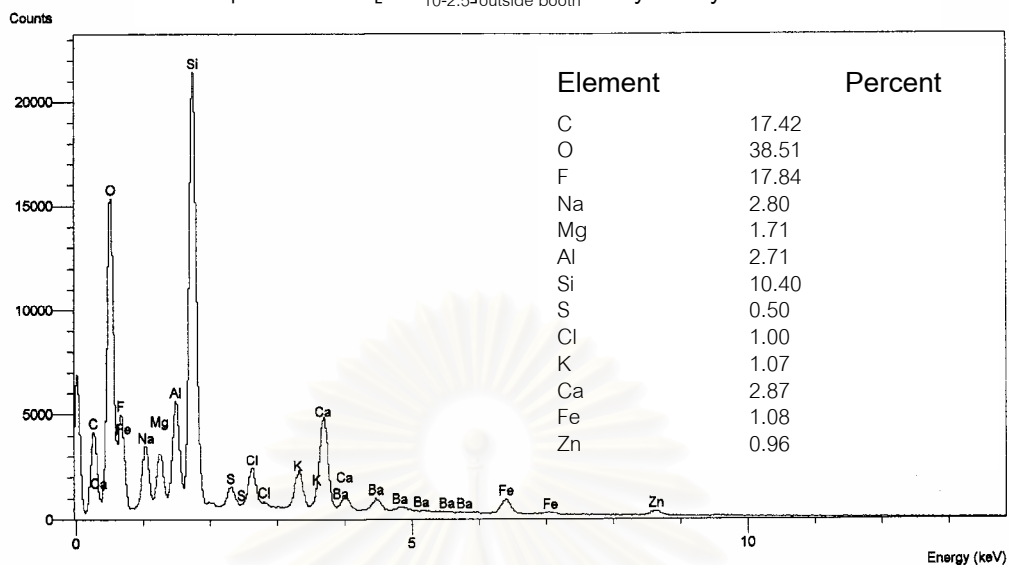
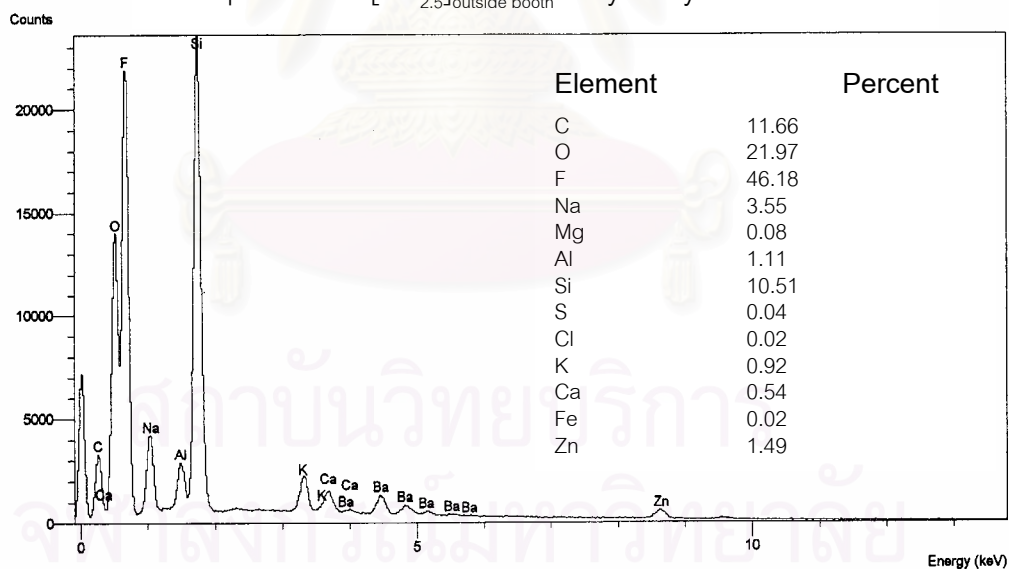
EDX spectrum of unexposed impactor filter



EDX spectrum of unexposed back up filter

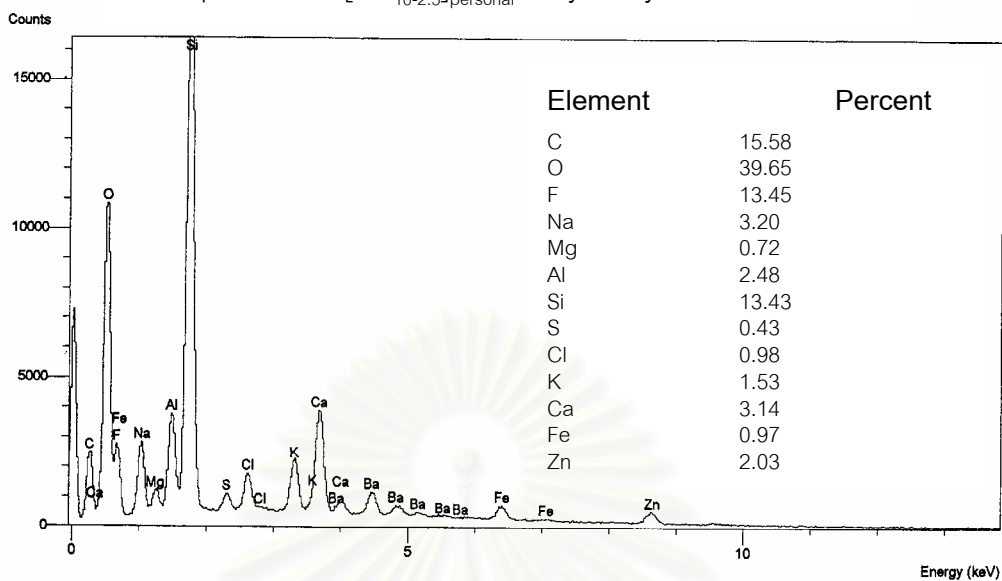


รูปที่ 4.8 สเปกตรัมเอ็กซ์เรย์ของกระดาษกรองที่ยังไม่สัมผัสฝุ่น

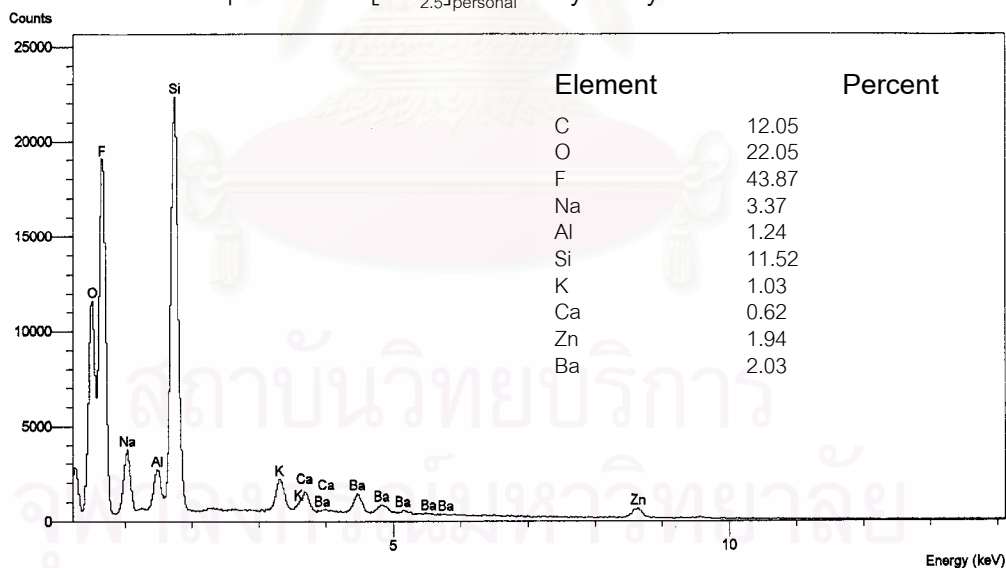
EDX spectrum of $[PM_{10-2.5}]_{\text{outside booth}}$ in AyutthayaEDX spectrum of $[PM_{2.5}]_{\text{outside booth}}$ in Ayutthaya

รูปที่ 4.9 สเปกตรัมเอ็กซ์เรย์ของฝุ่นละอองภายนอกป้อมตำรวจจังหวัดอยุธยา

EDX spectrum of [PM_{10-2.5}]_{personal} in Ayutthaya

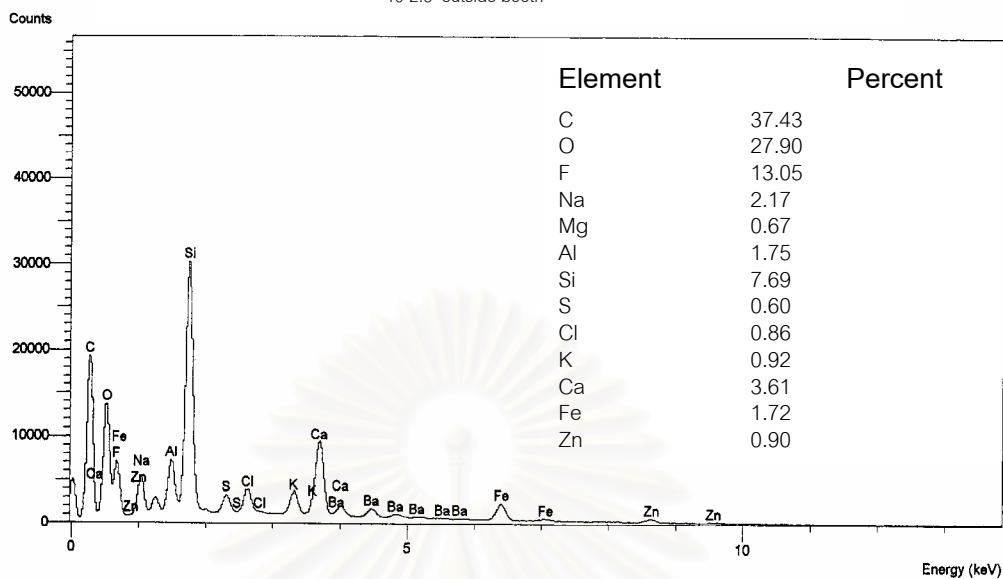


EDX spectrum of [PM_{2.5}]_{personal} in Ayutthaya

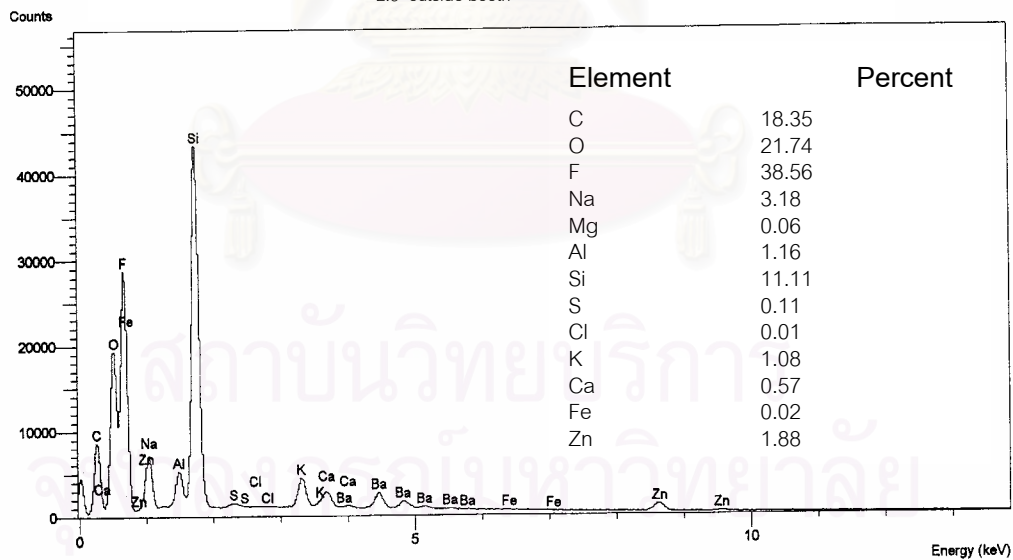


รูปที่ 4.10 สเปกตรัมเอ็กซ์เรย์ของฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสในจังหวัดอยุธยา

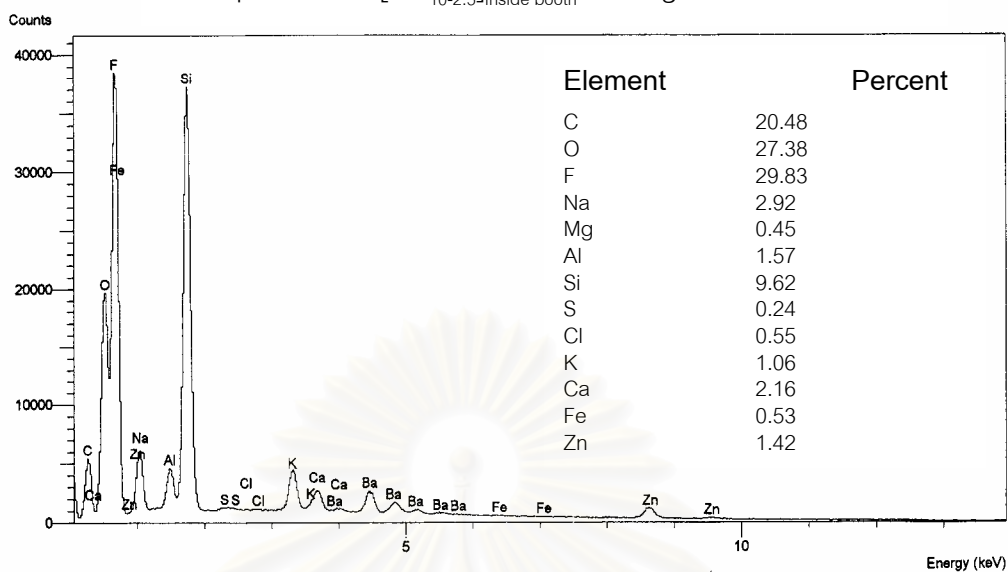
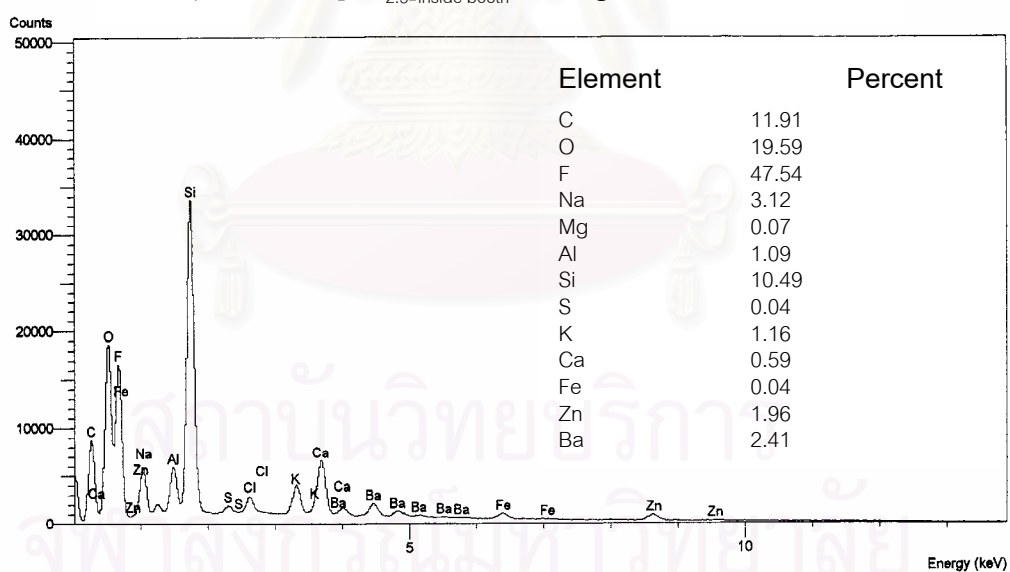
EDX spectrum of [PM_{10-2.5}]_{outside booth} in Bangkok



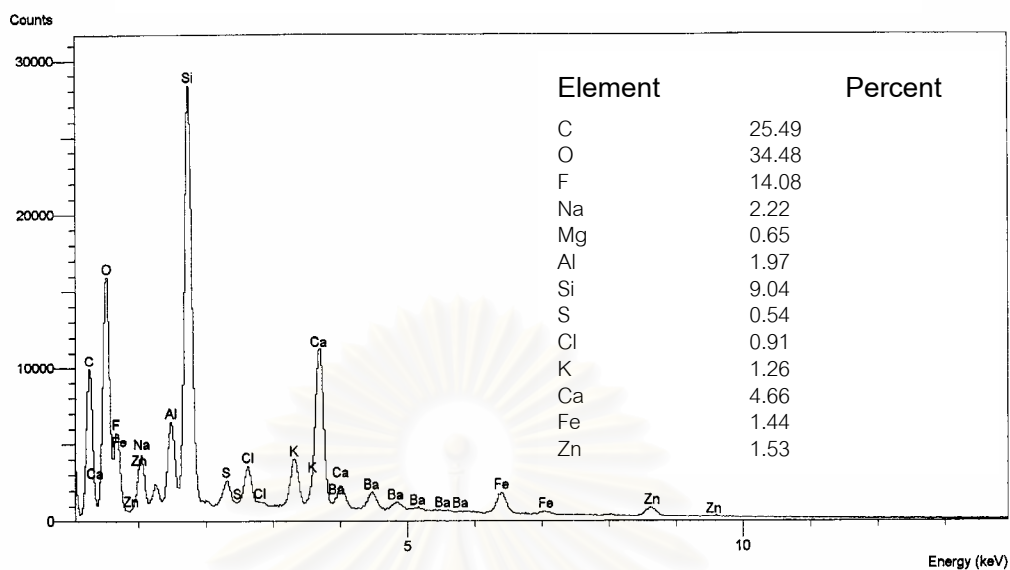
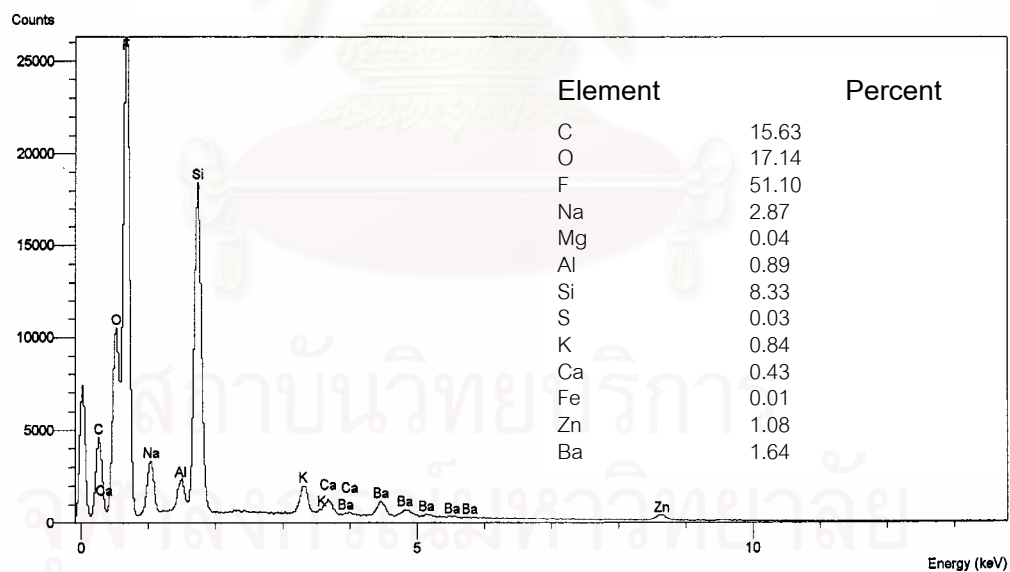
EDX spectrum of [PM_{2.5}]_{outside booth} in Bangkok



รูปที่ 4.11 สเปกตรัมเอ็กซ์เรย์ของฝุ่นละอองภายนอกป้อมในกรุงเทพฯ

EDX spectrum of $[PM_{10-2.5}]_{\text{inside booth}}$ in BangkokEDX spectrum of $[PM_{2.5}]_{\text{inside booth}}$ in Bangkok

รูปที่ 4.12 สเปกตรัมเอ็กซ์เรย์ของฝุ่นละอองภายในปั๊มในกรุงเทพฯ

EDX spectrum of $[PM_{10-2.5}]_{\text{personal}}$ in BangkokEDX spectrum of $[PM_{2.5}]_{\text{personal}}$ in Bangkok

รูปที่ 4.13 สเปกตรัมเอ็กซ์เรย์ของฝุ่นละอองอากาศที่บุคคลได้รับสัมผัสในกรุงเทพฯ

4.5 สัดส่วนฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่อ PM₁₀

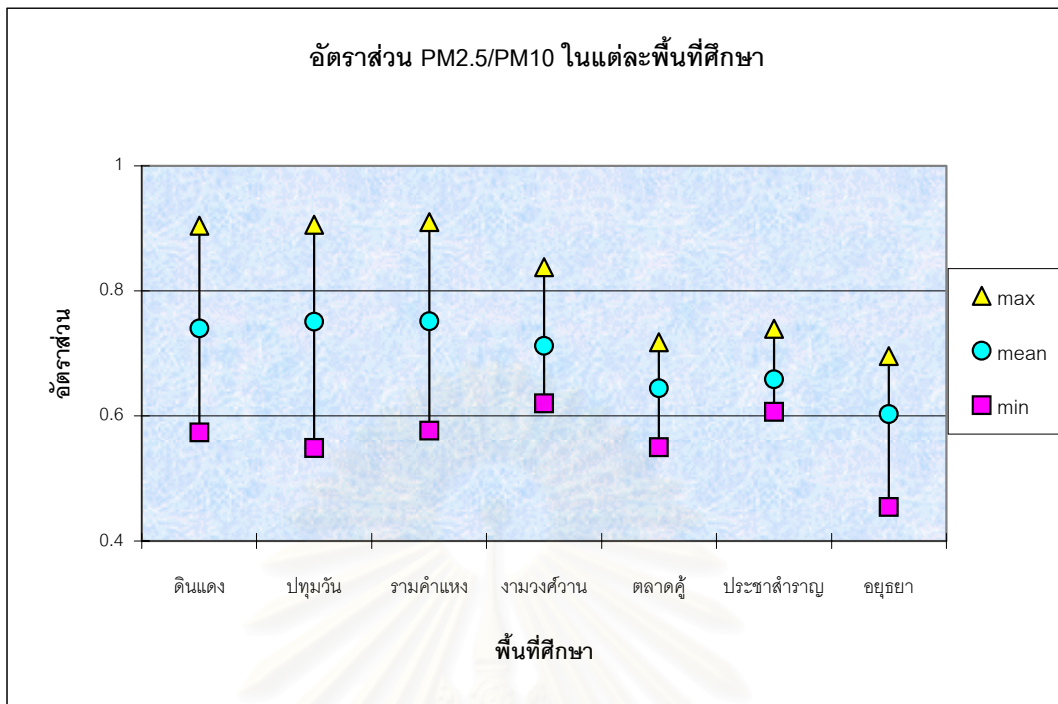
สัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ เป็นค่าที่บอกความสำคัญ หรือความเด่นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่มีอยู่ในฝุ่นละออง PM₁₀ ที่มีการตรวจวัดได้ในแต่ละสถานที่ ซึ่งสัดส่วนนี้จะแปรผันไปตามแต่ละพื้นที่ และจุดตรวจวัด ในการศึกษาครั้งนี้มีการหาสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ แยกพิจารณาในแต่ละสถานี จำนวน 7 แห่ง และแต่ละสถานีแยกพิจารณาสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในแต่ละจุดติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่าง

4.5.1 สัดส่วนฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในแต่ละสถานี

จากการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในเขตกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา เมื่อนำมาหาสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ได้ผลดังตารางที่ 4.6 (ดูผลทั้งหมดที่ภาคผนวก ข) เมื่อนำค่าเฉลี่ยสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ที่ได้ในแต่ละพื้นที่ตรวจวัดนี้มาพล็อตบนแผนภูมิและประมาณช่วงความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ดังรูปที่ 4.20 จะพบว่าสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มอย่างเห็นได้ชัด คือในเขตเมืองประกอบด้วยจุดตรวจวัด ดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง และนนทบุรี ซึ่งมีสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ สูงที่สุดที่ 0.74, 0.75, 0.75 และ 0.71 ตามลำดับ เขตชานเมืองประกอบด้วยจุดตรวจวัด ประชาสำราญ และ ตลาดคู มีสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ รองลงมาที่ 0.66 และ 0.64 ตามลำดับ ส่วนอยุธยามีสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ต่ำที่สุดที่ 0.60 เป็นที่น่าสังเกตว่าสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ไม่ขึ้นกับระดับความเข้มข้นของฝุ่นละออง แต่จะขึ้นกับพื้นที่ตรวจวัดว่าเป็นที่ใด ถึงแม้ที่จุดตรวจวัดในเขตชานเมืองมีระดับฝุ่นละอองต่ำกว่าในอยุธยา แต่สัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ กลับสูงกว่า แสดงว่าฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตชานเมืองมีความสำคัญต่อระดับ PM₁₀ ที่ตรวจวัดได้ในเขตนี้นี้มากกว่าในอยุธยา หรือกล่าวได้ว่า PM_{2.5} มีความเด่นในเขตเมือง

ตารางที่ 4.6 สัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในแต่ละสถานีเก็บตัวอย่าง

สถานีตรวจวัด	จำนวนตัวอย่าง	สัดส่วน PM _{2.5} /PM ₁₀	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ดินแดง	35	0.74	0.08
ปทุมวัน	12	0.75	0.12
รามคำแหง	12	0.75	0.12
นนทบุรี	11	0.71	0.08
ตลาดคู	12	0.64	0.05
ประชาสำราญ	10	0.66	0.04
อยุธยา	15	0.60	0.07



รูปที่ 4.14 การกระจายของสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในแต่ละสถานีตรวจวัด

4.5.2 สัดส่วนฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในแต่ละจุดที่ตั้งเครื่องมือตรวจวัด สำหรับสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ แยกตามแต่ละจุดที่ตั้งเครื่องมือตรวจวัด ได้แก่ จุดตั้งเครื่องมือตรวจวัดควบคุมไปกัับสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ ภายนอกป้อม ภายในป้อมตำรวจจราจร และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสที่ตัวตำรวจจราจร ในสถานีดินแดง และอยุธยาเท่านั้นที่มีการตั้งเครื่องมือตรวจวัดควบคุมไปกัับสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษ สถานีในเขตกรุงเทพฯ 4 สถานี คือ ดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง และงามวงศ์วาน มีข้อมูลฝุ่นภายในป้อม (เป็นป้อมติดเครื่องปรับอากาศ) เมื่อนำมาหาสัดส่วนปริมาณ PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ได้ผลดังตารางที่ 4.7 และแสดงด้วยแผนภูมิในรูปที่ 4.15 ถึง 4-21

ที่สถานีดินแดง (รูปที่ 4.15) พบว่า ภายในป้อมตำรวจจราจรซึ่งเป็นตัวแทนฝุ่นละอองภายในอาคารมีสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ สูงที่สุดที่ 0.85 รองลงมาคือที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่า 0.80 ส่วนภายนอกป้อมตำรวจจราจร และที่สถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษซึ่งเป็นตัวแทนฝุ่นละอองในบรรยากาศมีค่าสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ น้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.70 และ 0.67 ตามลำดับ แสดงว่าฝุ่นละออง PM_{2.5} มีความเด่นมากที่สุดภายในอาคาร แต่มีความเด่นน้อยลงในบรรยากาศ ส่วนฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ อยู่ระหว่างค่าสัดส่วนของภายในอาคาร และในบรรยากาศ ทั้งนี้เนื่องจากตัวอย่างที่ได้จากบุคคลที่ได้รับสัมผัสจะไม่อยู่กับที่ แต่จะเคลื่อนที่ไปมาระหว่างภายใน และภายนอกป้อมตำรวจจราจร

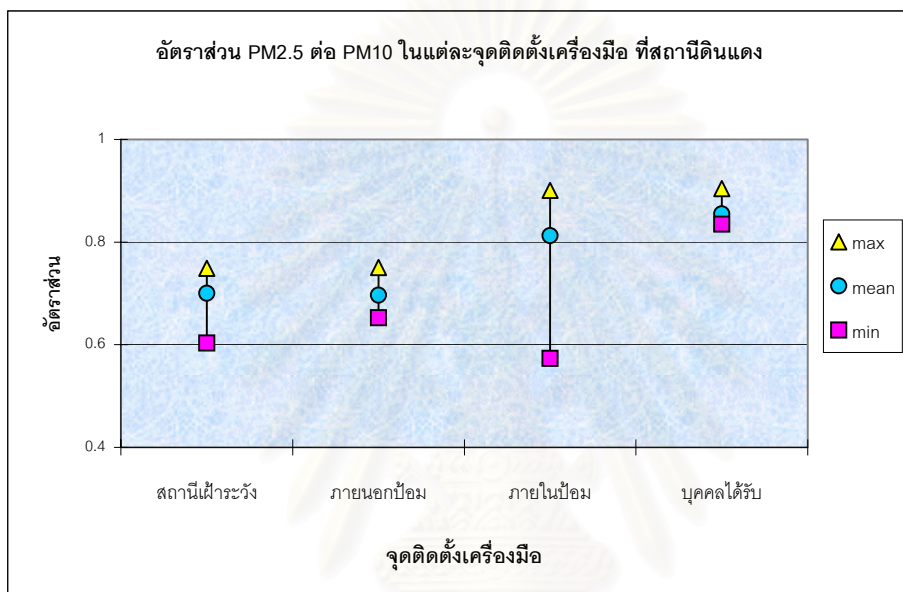
ตารางที่ 4.7 สัดส่วนฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ตามจุดตั้งเครื่องมือตรวจวัด ในแต่ละสถานี

สถานี	จุดติดตั้งเครื่องมือ	n	สัดส่วน $PM_{2.5}/PM_{10}$	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ดินแดง	สถานีเฝ้าระวัง ค.พ.	12	0.70	0.04
	ภายนอกป้อมตำรวจ	12	0.67	0.05
	ภายในป้อมตำรวจ	6	0.85	0.08
	ที่บุคคลได้รับสัมผัส	5	0.80	0.08
ปทุมวัน	ภายนอกป้อมตำรวจ	6	0.65	0.09
	ภายในป้อมตำรวจ	3	0.90	0.01
	ที่บุคคลได้รับสัมผัส	3	0.80	0.02
รามคำแหง	ภายนอกป้อมตำรวจ	6	0.68	0.04
	ภายในป้อมตำรวจ	3	0.89	0.03
	ที่บุคคลได้รับสัมผัส	3	0.76	0.16
งามวงศ์วาน	ภายนอกป้อมตำรวจ	6	0.65	0.03
	ภายในป้อมตำรวจ	3	0.83	0.01
	ที่บุคคลได้รับสัมผัส	2	0.73	0.01
ตลาดคู	ภายนอกป้อมตำรวจ	10	0.64	0.05
	ที่บุคคลได้รับสัมผัส	1	0.72	-
ประชาสำราญ	ภายนอกป้อมตำรวจ	8	0.66	0.05
	ที่บุคคลได้รับสัมผัส	2	0.65	0.01
อยุธยา	สถานีเฝ้าระวัง ค.พ.	8	0.58	0.08
	ภายนอกป้อมตำรวจ	5	0.62	0.07
	ที่บุคคลได้รับสัมผัส	2	0.62	0.03

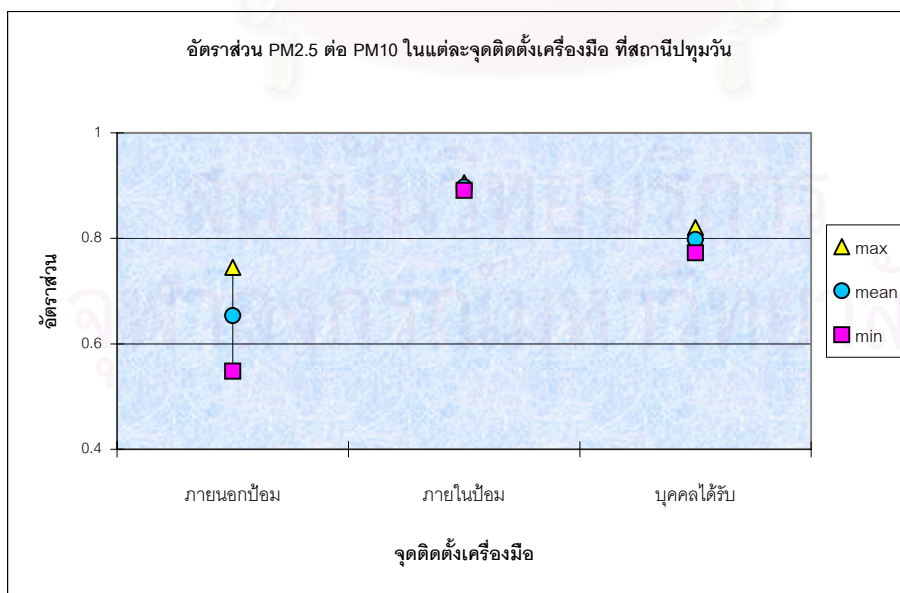
ที่สถานีปทุมวัน รามคำแหง และงามวงศ์วาน (รูปที่ 4.16 ถึง 4.18) มีสัดส่วนของ $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งตรวจวัดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือภายในป้อมตำรวจมีสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} สูงที่สุดคือ 0.90, 0.89 และ 0.83 ตามลำดับ รองลงมาคือที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่า 0.80, 0.76 และ 0.73 ตามลำดับ ส่วนภายนอกป้อมตำรวจจากรามีค่าสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} น้อยที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกันคือ 0.65, 0.68 และ 0.65 ตามลำดับ ผลเป็นไปเช่นเดียวกันกับ สถานีดินแดง ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ มีความเด่นที่สุดในบรรยากาศภายในอาคาร แต่เด่นน้อยลงในบรรยากาศภายนอกป้อมตำรวจ ส่วนฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} อยู่ระหว่างค่าสัดส่วนของภายในอาคาร และในบรรยากาศ

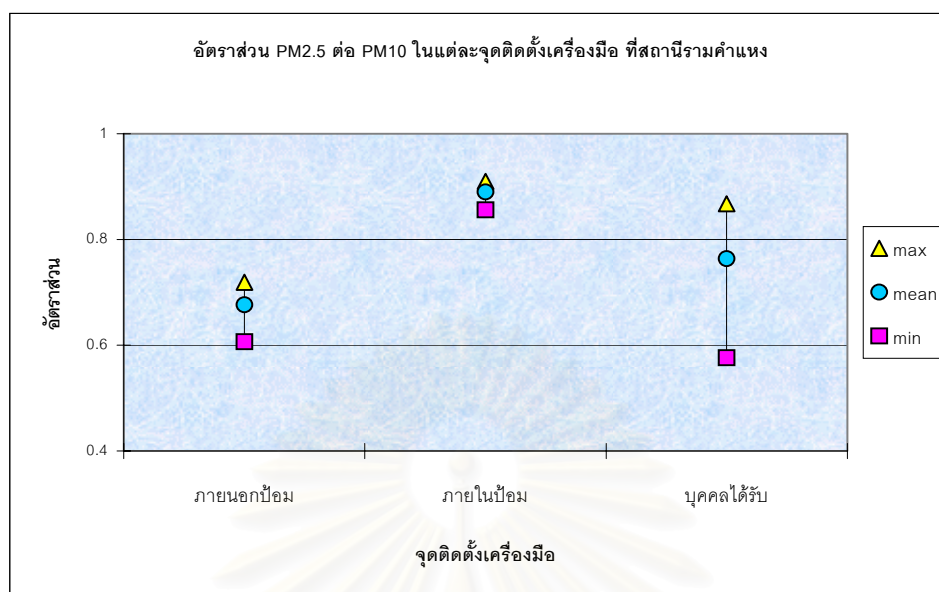
สำหรับสถานีตลาดคู่ ประชาสำราญ และอยุธยา (รูปที่ 4.19 ถึง 4.20) พบว่า สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดมีค่าใกล้เคียงกัน ภายนอกป้อมตำรวจ มีค่าสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} 0.64, 0.66 และ 0.62 ตามลำดับ สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ที่บุคคล ได้รับสัมผัสมีค่า 0.72, 0.65 และ 0.62 ตามลำดับ ทั้งสามสถานีนี้ไม่มีข้อมูลฝุ่นละอองภายในป้อม เพราะเป็นป้อมเปิดโล่ง อยู่ในบริเวณการจราจรไม่หนาแน่น และตำรวจจราจรไม่ต้องไปโบกรถ ส่วนใหญ่ช่วงเวลาในการปฏิบัติหน้าที่จะประจำอยู่ในป้อมตำรวจเป็นส่วนใหญ่

รูปที่ 4.15 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีดินแดง

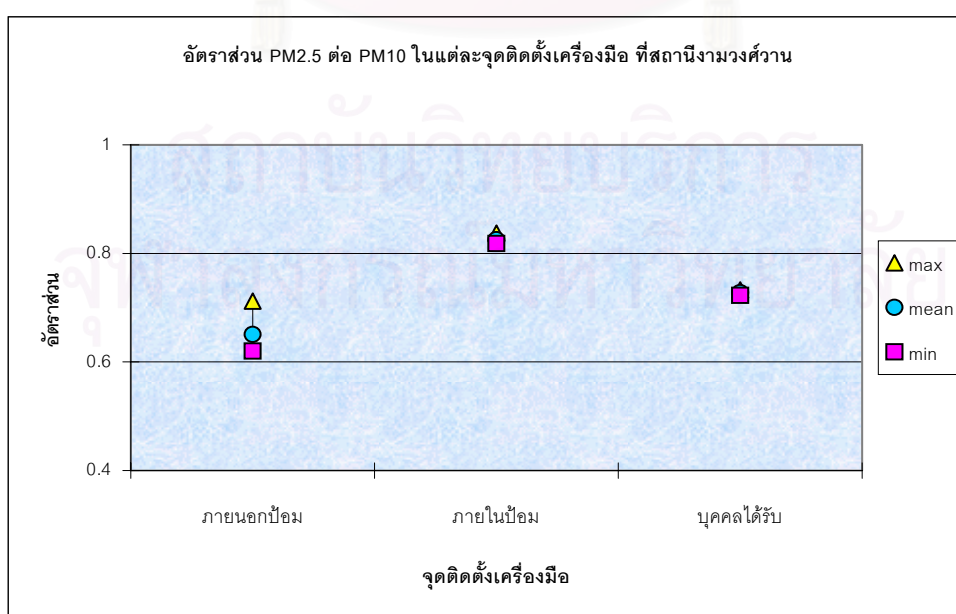


รูปที่ 4.16 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีปทุมวัน

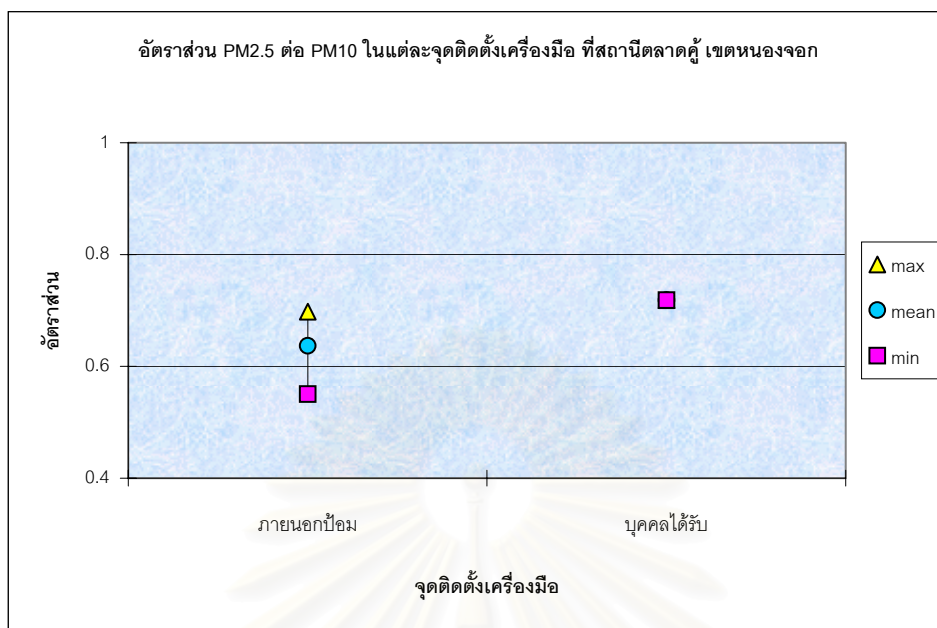




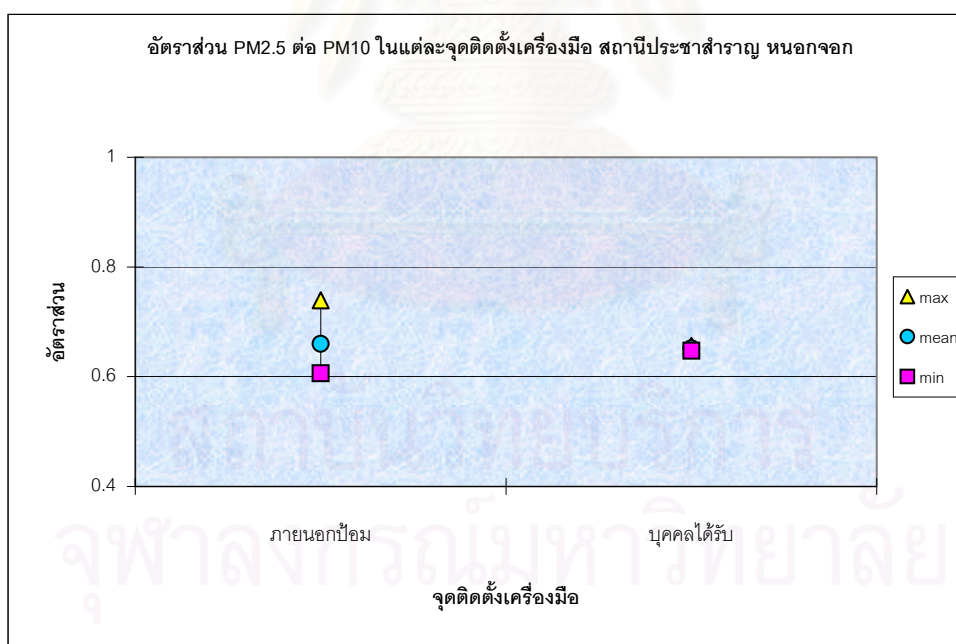
รูปที่ 4.17 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีรามคำแหง



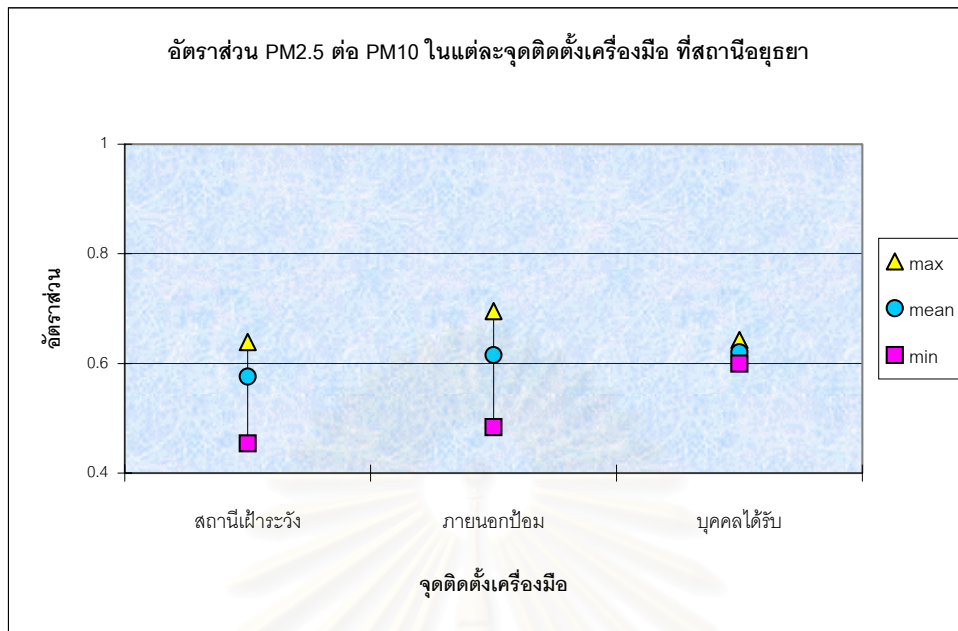
รูปที่ 4.18 การกระจายของสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีงามวงศ์วาน



รูปที่ 4.19 การกระจายของสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีตลาดคู้



รูปที่ 4.20 การกระจายของสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีประชาสำราญ



รูปที่ 4.21 การกระจายของสัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในแต่ละจุดตั้งเครื่องมือ ที่สถานีอยุธยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ ฝุ่นในอาคาร และฝุ่นบุคคลที่ได้รับสัมผัส

การดำเนินการเก็บตัวอย่างในการศึกษาคั้งนี้ ในหนึ่งวันของแต่ละสถานีเก็บตัวอย่างจะมีข้อมูล 3 ชุด ซึ่งดำเนินการเก็บตัวอย่างไปพร้อมๆ กัน ในวันและเวลาเดียวกันใน 3 สถานีที่เก็บตัวอย่างซึ่งคือ ข้อมูลฝุ่นละอองภายนอกบ่อมตำรวจจราจร (เป็นตัวแทนของฝุ่นละอองในบรรยากาศ) ฝุ่นละอองภายในบ่อมตำรวจจราจร (เป็นตัวแทนของฝุ่นละอองภายในอาคาร) และฝุ่นที่เก็บจากเครื่องเก็บตัวอย่างส่วนบุคคลที่ติดตัวตำรวจ (เป็นตัวแทนฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส) ซึ่งข้อมูลจากทั้ง 3 สถานีที่เก็บตัวอย่างนี้ น่าจะมีความสัมพันธ์กัน เพื่อหาความสัมพันธ์กันในแต่ละคู่ของข้อมูลฝุ่นละออง PM_{10} และฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่อยู่ในบรรยากาศ ภายในอาคาร และที่บุคคลได้รับสัมผัส จะใช้การทดสอบหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (r) (ดูผลการวิเคราะห์โดย SPSS ที่ภาคผนวก ข) ได้แสดงผลโดยเรียงลำดับค่า r จากมากไปน้อยได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สหสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในบรรยากาศ ภายในอาคาร และที่บุคคลได้รับสัมผัส

คู่ความสัมพันธ์	Correlation (r)	Sig. (2-tailed)	n
$PM_{2.5}$ ภายนอกบ่อม PM_{10} ภายนอกบ่อม	0.994**	<0.001	20
$PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส PM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัส	0.961**	<0.001	18
$PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส PM_{10} ภายนอกบ่อม	0.911**	<0.001	18
$PM_{2.5}$ ภายในบ่อม PM_{10} ภายในบ่อม	0.899**	<0.001	14
$PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ภายนอกบ่อม	0.894**	<0.001	18
PM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัส PM_{10} ภายนอกบ่อม	0.826**	<0.001	18
PM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ภายนอกบ่อม	0.801**	<0.001	18
PM_{10} ภายในบ่อม $PM_{2.5}$ ภายนอกบ่อม	0.785**	0.001	14
PM_{10} ภายในบ่อม PM_{10} ภายนอกบ่อม	0.759**	0.002	14
$PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส PM_{10} ภายในบ่อม	0.687**	0.011	13
$PM_{2.5}$ ภายในบ่อม $PM_{2.5}$ ภายนอกบ่อม	0.685**	0.007	14
$PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ภายในบ่อม	0.676**	0.010	13
$PM_{2.5}$ ภายในบ่อม PM_{10} ภายนอกบ่อม	0.624*	0.017	14
PM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัส PM_{10} ภายในบ่อม	0.527	0.064	13
PM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ภายในบ่อม	0.526	0.065	13

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

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

ทุกคู่ของความสัมพันธ์ในตารางที่ 4.8 พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ยกเว้นคู่ของ $\{PM_{10}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส | PM_{10} ภายในป้อม} และ $\{PM_{10}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส | $PM_{2.5}$ ภายในป้อม} ที่ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนคู่ของ $\{PM_{2.5}$ ภายในป้อม | PM_{10} ภายนอกป้อม} พบว่ามีความสัมพันธ์กันด้วยระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $0.01 < p < 0.05$

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) บอกระดับความสัมพันธ์กันของตัวแปรทั้งสองตัว ซึ่งค่าที่สูงจะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์กันที่สูง ($|r| \leq 1$) จากตารางที่ 4.8 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์กันของฝุ่นทั้งสองขนาด ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ที่เก็บได้จากสถานที่เก็บตัวอย่างเดียวกัน (จากทั้ง 6 สถานีเก็บตัวอย่าง) คือ $\{PM_{2.5}$ ภายนอกป้อม | PM_{10} ภายนอกป้อม}, $\{PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส | PM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัส} และ $\{PM_{2.5}$ ภายในป้อม | PM_{10} ภายในป้อม} ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุด มีค่า 0.994, 0.961 และ 0.899 ตามลำดับ ($p < 0.001$) ด้วยความสัมพันธ์กันที่สูงนี้ การทำนายค่าตัวแปรตัวหนึ่งด้วยตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีความแม่นยำสูง นั่นคือเราอาจทำนายระดับความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ได้จากข้อมูลฝุ่นละออง PM_{10} ในสถานที่เก็บตัวอย่างเดียวกันได้

ส่วนความสัมพันธ์กันของฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสกับฝุ่นภายในป้อม เป็นกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงถัดมา ($r > 0.800$; $p < 0.001$) แสดงว่าฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสกับฝุ่นภายนอกป้อมซึ่งเป็นตัวแทนของฝุ่นในบรรยากาศมีความสัมพันธ์กันสูง โดยเฉพาะคู่ $\{PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส | PM_{10} ภายนอกป้อม} มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงที่สุดในกลุ่มเดียวกัน

สำหรับคู่ความสัมพันธ์ของฝุ่นในสถานที่ใดก็ตามที่จับคู่กับฝุ่นภายในป้อม เป็นกลุ่มที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ต่ำที่สุด ($0.624 < r < 0.785$; $p < 0.017$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากความแปรผันของปัจจัยอื่นๆ แต่ก็ยังถือว่ามีสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นคู่ของ $\{PM_{10}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส | PM_{10} ภายในป้อม} และ $\{PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส | PM_{10} ภายนอกป้อม} ที่ไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เนื่องจากแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองในบรรยากาศริมถนนกรุงเทพฯ คือฝุ่นละอองจากการจราจร ซึ่งน่าจะเป็นตัวแปรอิสระที่จะมีผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส ดังนั้นเราอาจประมาณระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในอาคาร จากฝุ่นละอองภายนอกป้อมได้ และประมาณระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสจากฝุ่นละอองภายนอกป้อม และฝุ่นละอองภายในป้อมได้ เช่นเราอาจทำนายความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส ได้ จากฝุ่นละออง PM_{10} ภายนอกป้อม โดยนำชุดข้อมูลของแต่ละคู่ความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติมาประยุกต์ด้วยสมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย เพื่อหาสมการประมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองของสถานที่หนึ่งจาก อีกสถานที่หนึ่งในเวลาเดียวกัน (ดูผลการวิเคราะห์โดย SPSS ที่ภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างสถานที่เก็บตัวอย่าง และฝุ่นละออง

ตัวแปรตาม	ตัวแปรอิสระ (predictor)	n	[PM] _{ตัวแปรตาม} = a + b [PM] _{ตัวแปรอิสระ}		
			a	b	r [†]
PM _{2.5} ภายนอกห้อง	PM ₁₀ ภายนอกห้อง	20	-1.484 [*]	0.715	0.994
PM _{2.5} ที่บุคคลได้รับสัมผัส	PM ₁₀ ที่บุคคลได้รับสัมผัส	18	-2.765 [*]	0.800	0.961
PM _{2.5} ที่บุคคลได้รับสัมผัส	PM ₁₀ ภายนอกห้อง	18	-4.970 [*]	0.852	0.911
PM _{2.5} ภายในห้อง	PM ₁₀ ภายในห้อง	14	13.105 [*]	0.756	0.899
PM _{2.5} ที่บุคคลได้รับสัมผัส	PM _{2.5} ภายนอกห้อง	18	-0.642 [*]	1.156	0.894
PM ₁₀ ที่บุคคลได้รับสัมผัส	PM ₁₀ ภายนอกห้อง	18	14.852 [*]	0.930	0.826
PM ₁₀ ที่บุคคลได้รับสัมผัส	PM _{2.5} ภายนอกห้อง	18	20.707 [*]	1.245	0.801
PM ₁₀ ภายในห้อง	PM _{2.5} ภายนอกห้อง	14	-26.392 [*]	1.462	0.785
PM ₁₀ ภายในห้อง	PM ₁₀ ภายนอกห้อง	14	-25.820 [*]	1.028	0.759
PM _{2.5} ที่บุคคลได้รับสัมผัส	PM ₁₀ ภายในห้อง	13	50.814 [*]	0.570	0.687
PM _{2.5} ภายในห้อง	PM _{2.5} ภายนอกห้อง	14	-3.272 [*]	1.073	0.685
PM _{2.5} ที่บุคคลได้รับสัมผัส	PM _{2.5} ภายในห้อง	13	50.191 [*]	0.672	0.676
PM _{2.5} ภายในห้อง	PM ₁₀ ภายนอกห้อง	14	4.114 [*]	0.710	0.624

^{*} มีระดับนัยสำคัญมากกว่า 0.05 (p > 0.05)

[†] Pearson's correlation significant at p < 0.05

ในการหาสมการถดถอยเชิงเส้นเพื่อประมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองในสถานที่หนึ่ง [PM]_{ตัวแปรตาม} จากความเข้มข้นฝุ่นละอองอีกสถานที่หนึ่ง [PM]_{ตัวแปรอิสระ, predictor} จะใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression Analysis) โดยให้ตัวแปรทั้งสองซึ่งเป็นตัวแปรอิสระแสดงความสัมพันธ์กันในรูปสมการเชิงเส้นดังนี้

$$[PM]_{\text{dependent}} = \beta_0 + \beta_1 [PM]_{\text{predictor}} + e$$

โดยที่: β_0 = ส่วนตัดแกน y

β_1 = ความชันของเส้นตรง แสดงถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามเมื่อตัวแปรต้นเปลี่ยนแปลง หรือเรียกว่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย

e = ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

แต่จะประมาณค่า β_0 และ β_1 ด้วย a และ b ตามลำดับ ด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดทำให้ค่าเฉลี่ยของ e = 0 ดังนั้นได้รูปแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นเป็น

$$[PM]_{\text{dependent}} = a + b [PM]_{\text{predictor}}$$

- a = ค่าคงที่ หรือจุดตัดแกน y บอกให้ทราบว่าเมื่อปริมาณฝุ่นละอองในสถานที่ที่เป็น predictor เป็นศูนย์แล้ว ในสถานที่ที่ต้องการประมาณค่า จะมีปริมาณฝุ่นเท่าใด
- b = ค่าความชัน บอกให้ทราบว่าเมื่อเมื่อปริมาณฝุ่นละอองในสถานที่ที่เป็น predictor เปลี่ยนแปลงไป 1 หน่วย ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) แล้วจะทำให้ปริมาณฝุ่นในสถานที่ที่ต้องการประมาณค่าเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด

จากผลการวิเคราะห์ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.9 ที่นำเฉพาะคู่ที่ความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มาประยุกต์ด้วยสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย พบว่าถึงแม้ว่าค่า a หรือจุดตัดแกน Y (ตัวแปรตาม) ของทุกๆ คู่ความสัมพันธ์มีระดับนัยสำคัญ $p > 0.05$ ซึ่งทำให้ $\beta_0 = 0$ ($\beta_0 \neq 0$ เมื่อ $p < 0.05$; ดูการทดสอบในภาคผนวก ข) แต่ในทางสิ่งแวดล้อมจะไม่ตัดค่าคงที่เหล่านี้ออกจากสมการ เนื่องจากค่าคงที่เหล่านี้อาจสะท้อนให้เห็นถึงปรากฏการณ์บางอย่างที่ซ่อนเร้นอยู่ในแต่ละคู่ความสัมพันธ์ที่ศึกษา ซึ่งจะเห็นได้ว่าในทุกๆ ค่าคงที่หรือจุดตัดแกน Y เมื่อนำมาจัดเป็นกลุ่มดังตารางที่ 4.10 จะมีค่าแตกต่างกันไปในแต่ละกลุ่ม

ตารางที่ 4.10 สมการเชิงเส้นที่ใช้ในการประมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง

การประมาณ	สมการเชิงเส้น*	r
[PM _{2.5}] จาก [PM ₁₀]	[PM _{2.5}]ภายนอกห้อง = - 1.484 + 0.715 * [PM ₁₀]ภายนอกห้อง.....1	0.994
	[PM _{2.5}]ที่บุคคลได้รับสัมผัส = - 2.765 + 0.800 * [PM ₁₀]ที่บุคคลได้รับสัมผัส...2	0.961
	[PM _{2.5}]ภายในห้อง = 13.105 + 0.756 * [PM ₁₀]ภายในห้อง.....3	0.899
[PM] _{indoor} จาก [PM] _{outdoor}	[PM ₁₀]ภายในห้อง = -25.820 + 1.028 * [PM ₁₀]ภายนอกห้อง.....4	0.759
	[PM ₁₀]ภายในห้อง = -26.392 + 1.462 * [PM _{2.5}]ภายนอกห้อง.....5	0.785
	[PM _{2.5}]ภายในห้อง = 4.114 + 0.710 * [PM ₁₀]ภายนอกห้อง.....6	0.624
	[PM _{2.5}]ภายในห้อง = - 3.272 + 1.073 * [PM _{2.5}]ภายนอกห้อง.....7	0.685
[PM] _{personal} จาก [PM] _{outdoor, indoor}	[PM ₁₀]ที่บุคคลได้รับสัมผัส = 14.852 + 0.930 * [PM ₁₀]ภายนอกห้อง.....8	0.826
	[PM ₁₀]ที่บุคคลได้รับสัมผัส = 20.707 + 1.245 * [PM _{2.5}]ภายนอกห้อง.....9	0.801
	[PM _{2.5}]ที่บุคคลได้รับสัมผัส = - 4.970 + 0.852 * [PM ₁₀]ภายนอกห้อง.....10	0.911
	[PM _{2.5}]ที่บุคคลได้รับสัมผัส = - 0.462 + 1.156 * [PM _{2.5}]ภายนอกห้อง.....11	0.894
	[PM _{2.5}]ที่บุคคลได้รับสัมผัส = 50.814 + 0.570 * [PM ₁₀]ภายในห้อง.....12	0.687
	[PM _{2.5}]ที่บุคคลได้รับสัมผัส = 50.191 + 0.672 * [PM _{2.5}]ภายในห้อง.....13	0.676

* ที่ระดับนัยสำคัญ $p < 0.05$

เมื่อพิจารณาค่าคงที่ในแต่ละกลุ่มของตารางที่ 4.10 กลุ่มที่ 1 คือการประมาณ $[PM_{2.5}]$ จาก $[PM_{10}]$ พบว่าการประมาณ $[PM_{2.5}]$ ภายนอกห้อง จาก $[PM_{10}]$ ภายนอกห้อง และการประมาณ $[PM_{2.5}]$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส จาก $[PM_{10}]$ ที่บุคคลรับสัมผัส ค่าคงที่มีค่าน้อย ($|a| < 5$) แสดงว่าตัวแปรตาม ($PM_{2.5}$) ได้รับอิทธิพลจากตัวแปรต้น คือ PM_{10} เกือบทั้งหมด โดยมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลน้อย ซึ่งอาจจะเป็น technical error อันเนื่องมาจาก เครื่องมือ หรือผู้วิเคราะห์ก็ได้ ในขณะที่การประมาณ $[PM_{2.5}]$ ภายในห้อง จาก $[PM_{10}]$ ภายในห้อง มีค่าคงที่สูง ($|a| > 10$) แสดงว่านอกจาก PM_{10} ภายในห้องแล้ว ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ภายในห้อง ยกตัวอย่างเช่น การสูบบุหรี่ (ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$) ของคนหนึ่งคนภายในห้องทำให้ต้องบวกค่าคงที่ ($a = 13.105$) เป็นค่าแก้ไขลงในสมการ

กลุ่มที่ 2 คือการประมาณ $[PM]_{\text{indoor}}$ จาก $[PM]_{\text{outdoor}}$ พบว่าการประมาณ PM_{10} ภายในห้อง ด้วยฝุ่นละอองภายนอกห้อง มีค่าคงที่สูง และเป็นลบ (-25.820 และ -26.392) อาจสันนิษฐานว่าการแพร่ของฝุ่นจากภายนอกห้องเข้าสู่ภายในห้องมีขบวนการกรองฝุ่น PM_{10} ก่อนเข้าสู่ภายในห้อง ในขณะที่การประมาณค่าฝุ่นละเอียด ($PM_{2.5}$) ภายในห้องจากฝุ่นภายนอกห้อง มีค่าคงที่ต่ำ ($|a| < 5$) แสดงว่าขบวนการกรองอาจไม่สามารถกรองฝุ่นละเอียดก่อนเข้าสู่ห้องได้ เช่น ใ้กรองภายในเครื่องปรับอากาศภายในห้องตำรวจไม่สามารถกรองฝุ่น $PM_{2.5}$ ได้

สำหรับกลุ่มที่ 3 คือการประมาณ $[PM]_{\text{personal}}$ จาก $[PM]_{\text{outdoor, indoor}}$ พบว่าในการประมาณ PM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัส จากฝุ่นภายนอกห้อง มีค่าคงที่สูง และเป็นบวก (14.852 และ 20.707) ซึ่งอาจเป็นค่าคงที่ของฝุ่น PM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัสที่มาจากแหล่งอื่นๆ ไม่อาจอธิบายที่มาได้ การประมาณ $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัสจาก ฝุ่นภายนอกห้อง มีค่าคงที่ต่ำ ($|a| < 5$) แสดงว่า $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส ได้รับอิทธิพลมาจากฝุ่นภายนอกห้องเกือบทั้งหมด ส่วนการประมาณ $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัสจาก ฝุ่นภายในห้องพบว่ามีค่าคงที่สูง (50.814 และ 50.191) ซึ่งค่าคงที่นี้อาจเนื่องมาจากปฏิบัติหน้าที่ภายนอกห้อง เพราะขณะตำรวจปฏิบัติหน้าที่ภายนอกห้อง อยู่ริมถนนมีการได้รับสัมผัสฝุ่นละออง ซึ่งค่าคงที่นี้น่าจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละห้องตำรวจ ปริมาณการจราจร ลักษณะการปฏิบัติหน้าที่ จำนวนชั่วโมงที่อยู่นอกห้อง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ทุกคู่ในตารางที่ 4.10 พบว่าในการประมาณค่าความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ด้วยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} สำหรับในสถานที่เดียวกัน สมการเชิงเส้น 1 – 3 ใช้ได้ดีเพราะมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) สูง สำหรับการประมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองภายในห้อง (ฝุ่นภายในอาคาร) ด้วยความเข้มข้นฝุ่นละอองจากภายนอกห้อง (ฝุ่นในบรรยากาศ) พบว่าฝุ่นละออง $[PM_{10}]_{\text{ภายในห้อง}}$ และ $[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}}$ ควรประมาณด้วย $[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}}$ (สมการที่ 5 และ 7 ตามลำดับ) นั่นคือฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศจะเป็นตัวอธิบายฝุ่นละอองภายในอาคารได้ดีกว่าฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน และจากที่อื่นๆ

สำหรับฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส ทั้ง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ การประมาณด้วยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ภายนอกป้อมจะให้ผลที่ดีที่สุด (ดังสมการที่ 8 และ 10 ตามลำดับ) กล่าวคือฝุ่นละออง PM_{10} ในบรรยากาศจะเป็นตัวอธิบายการได้รับสัมผัสฝุ่นของบุคคลได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม ความสัมพันธ์เชิงเส้นในแต่ละคู่ที่แสดงในตารางที่ 4.10 นั้น ถูกสร้างขึ้นบนสมมติฐานที่ว่านอกจากตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามแล้ว ปัจจัยอื่นๆ ถือว่าไม่มีผลต่อตัวแปรตามเลย ในขณะที่ความเป็นจริงตัวแปรอิสระทั้งหมดที่นำมาหาสมการเชิงเส้นนี้ต่างมีความสัมพันธ์กันเองอย่างซับซ้อน และอาจมีตัวแปรอิสระอื่นๆ อีกที่มีผลต่อตัวแปรตามซึ่งคือปริมาณฝุ่นละอองขนาดหนึ่งในสถานที่หนึ่ง ดังนั้นการประมาณค่าจึงต้องนำตัวแปรอิสระที่คาดว่าจะมีผลต่อการทำนายปริมาณฝุ่นละอองเข้าในสมการให้มากที่สุดแล้วพิจารณาระดับนัยสำคัญว่าตัวแปรใดที่มีนัยสำคัญให้สมการเชิงเส้นมีความสัมพันธ์จริง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.7 การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนเพื่อประมาณฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสจาก ข้อมูลฝุ่นละอองในบรรยากาศ และภายในอาคาร

การตรวจวัดปริมาณฝุ่นในบรรยากาศ และฝุ่นภายในอาคารเป็นการเก็บตัวอย่าง ที่ติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศอยู่กับที่ตลอดเวลา ในขณะที่ฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสเป็นการ ติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างส่วนบุคคลที่ติดไปกับผู้รับตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างตาม กิจกรรมของบุคคลนั้น ในการประเมินความอันตรายของฝุ่นละอองในสิ่งแวดล้อมที่มีต่อสุขภาพ มนุษย์นั้น ปริมาณฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสเป็นข้อมูลที่ดีที่สุด และแม่นยำที่สุดในการ ประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากฝุ่นละออง เป็นข้อมูลที่แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่ผู้รับ(มนุษย์) ได้รับเข้าสู่ร่างกายจริงๆ

ในทางปฏิบัติแล้ว สำหรับการเฝ้าระวัง การติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างส่วนบุคคลเป็นสิ่งที่ไม่สะดวกแก่ผู้ถูกติด และผู้วิเคราะห์ ดังนั้นการประมาณฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับ สัมผัสจากข้อมูลฝุ่นละอองในบรรยากาศ และภายในอาคารน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีในการประเมิน ความอันตรายของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพมนุษย์

ในการวิเคราะห์หาสมการเชิงเส้นในการประมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองใน ตารางที่ 4.12 เราพบว่าความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส สามารถถูกประมาณโดย สมการใดสมการหนึ่งจาก 4 สมการ โดยตัวแปรอิสระแตกต่างกันไป 4 ตัว เป็นตัวแปรต้นคือ

$$[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = -4.970 + 0.852 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} \quad 10$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = -0.462 + 1.156 * [PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}} \quad 11$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = 50.191 + 0.570 * [PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}} \quad 12$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = 50.191 + 0.672 * [PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} \quad 13$$

ดังนั้นปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส (ตัวแปร ต้น) ได้แก่ PM_{10} ภายนอกป้อม $PM_{2.5}$ ภายในป้อม PM_{10} ภายในป้อม และ $PM_{2.5}$ ภายในป้อม จึงนำตัวแปรอิสระเหล่านี้ (เป็นตัวแปรที่อยู่ในสถานีกรุงเทพ เท่านั้น เนื่องจากมีข้อมูลฝุ่นภายในป้อม) เข้าสมการความ ถดถอยเชิงซ้อน แล้วเลือกตัดตัวแปรที่ไม่มีความสัมพันธ์ออกจากสมการความถดถอยทีละตัว โดย ใช้วิธี Backward สมการความถดถอยเชิงซ้อนจะอยู่ในรูป

$$[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = \beta_0 + \beta_1[PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} + \beta_2[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}} + \beta_3[PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}} + \beta_4[PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} + e$$

โดยที่ ; β_0 = ค่าคงที่ (ส่วนตัดแกน $[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}}$)

β_1 = สัมประสิทธิ์ความถดถอยเชิงซ้อน แสดงการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร ตามเมื่อตัวแปรอิสระเปลี่ยนแปลงไป

e = ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม

แต่จะประมาณค่า β_0 ด้วยค่า a และ β_1 ด้วยค่า b₁ โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด เพื่อให้ผลบวกของความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่มน้อยที่สุด (ดูผลการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข) สรุปได้ดังตารางที่ 4.11

เมื่อนำตัวแปรอิสระทั้งหมดที่คาดว่าจะมีผลต่อ $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส เข้าวิเคราะห์ด้วยการถดถอยเชิงเส้น จะได้สมการความสัมพันธ์ (Model ที่ 1) เพื่อใช้ประมาณความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส ดังนี้

$$[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = -17.346 + 3.030[PM_{10}]_{\text{ภายนอกห้อง}} - 3.267[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}} - 0.433[PM_{10}]_{\text{ภายในห้อง}} + 0.814[PM_{2.5}]_{\text{ภายในห้อง}}$$

สมการที่ได้นี้ยังต้องมีการพิจารณาอีกว่าตัวแปรอิสระใดไม่มีความสัมพันธ์ในสมการถดถอย โดยดูที่ระดับนัยสำคัญของตัวแปรแต่ละตัวเพื่อตัดออกจากสมการ ตัวอย่างเช่น ใน model 1 จะพบว่า $[PM_{10}]_{\text{ภายในห้อง}}$ ไม่มีความสัมพันธ์ในสมการเชิงเส้นอย่างมีนัยสำคัญ จึงถูกตัดออกจากสมการ

ตารางที่ 4.11 วิธี Backward เพื่อตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีนัยสำคัญออกจากสมการถดถอย

Model [*]	β	Std Error	t	Sig.	r
1. Constant	-17.346	31.689	-0.547	0.599	0.879
$[PM_{10}]_{\text{ภายนอกห้อง}}$	3.030	1.196	2.533	0.035	
$[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}}$	-3.267	1.644	-1.987	0.082	
$[PM_{10}]_{\text{ภายในห้อง}}$	-0.433	0.399	-1.086	0.309	
$[PM_{2.5}]_{\text{ภายในห้อง}}$	0.814	0.413	1.973	0.084	
2. Constant	-5.069	29.900	-0.170	0.869	0.860
$[PM_{10}]_{\text{ภายนอกห้อง}}$	2.504	1.105	2.267	0.050	
$[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกห้อง}}$	-2.784	1.598	-1.742	0.116	
$[PM_{2.5}]_{\text{ภายในห้อง}}$	0.444	0.236	1.886	0.092	
3. Constant	-4.520	32.798	-0.138	0.893	0.807
$[PM_{10}]_{\text{ภายนอกห้อง}}$	0.627	0.266	2.360	0.040	
$[PM_{2.5}]_{\text{ภายในห้อง}}$	0.303	0.234	1.250	0.240	
4. Constant	-2.157	33.570	-0.064	0.950	0.773
$[PM_{10}]_{\text{ภายนอกห้อง}}$	0.841	0.208	4.038	0.002	

* Backward (criterion: Probability of F-to-remove ≥ 0.100)

ตั้งแต่ model ที่ 1 – 4 มีการตัดตัวแปรอิสระที่ไม่มีความสัมพันธ์กับสมการเชิงเส้น หรือมีความสัมพันธ์กับ $[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}}$ น้อยที่สุดออกทีละตัว โดยพิจารณาจากระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ใน การทดสอบต้องไม่มากกว่า 0.1000 ซึ่งตัวแปรอิสระใดที่มีระดับนัยสำคัญมากกว่า 0.1000 นี้จะทำให้ $\beta = 0$ นั่นคือไม่มีผลในสมการเชิงเส้น จึงตัดออกได้ แล้วคำนวณค่าระดับนัยสำคัญใหม่ แล้วพิจารณาใหม่เช่นนี้จนไม่สามารถตัดตัวแปรอิสระออกอีก ซึ่งเราพบว่า มีตัวแปรอิสระถึง 3 ตัวที่ไม่มีความสัมพันธ์กับ $[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}}$ ในสมการเชิงเส้นที่ถูกตัดออกตามลำดับ คือ $[PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}}$ $[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$ และ $[PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}}$ จนได้ model ที่ 4 ซึ่งตัวแปรอิสระมีระดับนัยสำคัญไม่มากกว่า 0.05 ดังนั้นจึงใช้ model ที่ 4 เป็นสมการเชิงเส้นในการประมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส มีสมการเป็น

$$[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = -2.157 + 0.841[PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} \dots\dots\dots 14$$

ซึ่งสมการนี้ได้มีการนำเอาปัจจัยอิสระอื่นๆ เข้ามาช่วยคำนวณด้วยแล้วตัดออกทีละตัวจนได้สมการนี้ในที่สุด ในขณะที่สมการ 10 พิจารณาตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียวเท่านั้น เพื่อประมาณค่า $[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}}$ สมการที่สมการเชิงเส้นที่ได้ในขั้นสุดท้ายซึ่งบอกว่าปริมาณ PM_{10} ภายนอกป้อม เท่านั้นที่มีอิทธิพลต่อฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส อาจเนื่องมาจากตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันเอง (collinearity) เช่น PM_{10} ภายนอกป้อม อาจมีความสัมพันธ์หรือมีอิทธิพลต่อความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ภายในป้อม หรือ $PM_{2.5}$ ภายในป้อม เป็นต้น เมื่อวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นจึงตัด collinearity คือความเข้มข้นฝุ่นละออง PM_{10} ภายในป้อม หรือ $PM_{2.5}$ ภายในป้อม ที่มีอิทธิพลจากฝุ่นละออง PM_{10} ภายนอกป้อม ออก จนเหลือ PM_{10} ภายนอกป้อม ตัวเดียวที่เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อ $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส ซึ่งจะเห็นได้ว่าความชันของสมการนี้ ($B = 0.841$) มากกว่าในสมการที่ 10 ($B = 0.661$)

ถึงแม้ว่าระดับนัยสำคัญของค่าคงที่ในสมการมีค่า $p = 0.950$ ซึ่งมากกว่า 0.05 แต่เราจะไม่ตัดค่าคงที่นี้ออกจากสมการ เนื่องจากค่านี้อาจบ่งบอกถึงปรากฏการณ์ธรรมชาติที่ทำให้ ฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่าน้อยลงอีก $2.157 \mu\text{g}/\text{m}^3$ นอกเหนือจากอิทธิพล PM_{10} ภายนอกป้อม

สมการที่ 14 นี้มีความแตกต่างจากสมการที่ 10 ในตาราง 4-9 เนื่องจากจำนวนตัวอย่างไม่เท่ากัน สมการที่ 10 พิจารณาในทุกๆ สถานี ($n = 20$) ในขณะที่สมการที่ 14 หาความสัมพันธ์เฉพาะสถานีในกรุงเทพฯ เท่านั้น ($n = 13$) อย่างไรก็ตามสมการทั้งสองมีค่าความชันและจุดตัดแกนใกล้เคียงกัน แสดงว่าการประมาณค่า $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส ให้ผลไม่ต่างกันในแต่ละพื้นที่ เนื่องจากการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ เป็นอิทธิพลโดยตรงจาก PM_{10} ภายนอกป้อม

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับฝุ่นในบรรยากาศที่ตรวจวัดได้ และสภาพอากาศรายวัน

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อระดับความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ทั้งภายในอาคาร และที่บุคคลได้รับสัมผัสคือระดับปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศริมถนน มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการจราจร ซึ่งในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ (เก็บภายนอกป้อม) ด้วยเครื่องมือ cascade impactor ตลอด 24 ชั่วโมงใน 1 วัน จะมีการนำข้อมูลสภาพอากาศรายวันมาพิจารณาด้วย ได้แก่ ชั่วโมงแสงแดด อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณฝนและความเร็วลมสูงสุด (ดูในภาคผนวก ก) เพื่อทดสอบว่าปัจจัยของสภาพอากาศรายวันใดบ้างที่มีผลต่อระดับความเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ตรวจวัดได้ ในการเก็บตัวอย่างไม่มีวันใดที่ฝนตกเลย ปริมาณน้ำฝนเป็นศูนย์ จึงตัดปัจจัยของปริมาณน้ำฝนจากการทดสอบ

จากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน โดย Backward methods เพื่อทดสอบปัจจัยของสภาพอากาศรายวันที่มีผลต่อระดับฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ (ดังแสดงในตารางที่ 4.12 ดูผลจาก SPSS ในภาคผนวก ข) พบว่ามีเพียงความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลมสูงสุดเท่านั้นที่ผลต่อระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในบรรยากาศที่ตรวจวัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.001$) โดยมีความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ $r = 0.627$ และ 0.631 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบการถดถอยเชิงซ้อนโดยวิธี backward ระหว่างระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่ตรวจวัดได้กับปัจจัยสภาพอากาศรายวัน

Model	Dependent variable							
	[$PM_{2.5}$]ในบรรยากาศ				[PM_{10}]ในบรรยากาศ			
	B	t	Sig.	r	B	t	Sig.	r
1. Constant	-191.320	-1.851	0.070	0.645	-248.849	-1.979	0.053	0.654
ชั่วโมงแสงแดด	0.974	0.204	0.839		1.622	0.244	0.808	
อุณหภูมิ	5.579	1.414	0.164		8.812	1.604	0.115	
ความชื้นสัมพัทธ์	2.227	2.788	0.007		3.038	2.732	0.009	
ความเร็วลมสูงสุด	-5.452	-3.812	0.000		-7.757	-3.895	0.000	
2. Constant	-182.694	-1.955	0.056	0.645	-270.478	-2.079	0.043	0.653
อุณหภูมิ	5.578	1.427	0.160		8.812	1.618	0.112	
ความชื้นสัมพัทธ์	2.228	2.816	0.007		3.041	2.759	0.008	
ความเร็วลมสูงสุด	-5.508	-3.960	0.000		-7.850	-4.053	0.000	
3. Constant	-68.167	-1.412	0.164	0.627	-89.569	-1.325	0.191	0.631
ความชื้นสัมพัทธ์	2.857	4.303	0.000		4.033	4.339	0.000	
ความเร็วลมสูงสุด	-5.277	-3.783	0.000		-7.484	-3.832	0.000	

ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศที่ตรวจวัดได้จะแปรผันตามความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ($B = 2.857$) และแปรผกผันกับความเร็วลมสูงสุด ($B = -5.277$) เช่นเดียวกับระดับฝุ่นละออง PM_{10} ในบรรยากาศที่ตรวจวัดได้แปรผันตามความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ($B = 4.033$) และแปรผกผันกับความเร็วลมสูงสุด ($B = -7.484$) เป็นที่สังเกตว่าค่าสัมบูรณ์ของพารามิเตอร์ B (standardized coefficients) ของ PM_{10} มากกว่าของ $PM_{2.5}$ ทั้งนี้เนื่องจากขนาดที่ใหญ่กว่าของ PM_{10} เมื่อเทียบกับ $PM_{2.5}$ นั่นเอง ยกตัวอย่างเช่น เมื่อความชื้นในบรรยากาศสูงจะมีผลทำให้ระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ตรวจวัดได้มีค่ามากตามไปด้วย แต่จะมีผลสำหรับ PM_{10} มากกว่า $PM_{2.5}$ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ PM_{10} ดูดซับความชื้นได้ดีกว่า ในขณะที่เดียวกันถ้าวันใดความเร็วลมสูงสุดมีค่ามาก ระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศที่ตรวจวัดกลับมีค่าต่ำ และจะมีผลต่อ PM_{10} มากกว่า $PM_{2.5}$ ทั้งนี้อาจเนื่องจาก PM_{10} มีขนาดใหญ่ถูกพัดไปได้ดีกว่า $PM_{2.5}$ (Klaus Willek, Aerosol Measurement, 1993)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 ปริมาณฝุ่นละออง PM₁₀, PM_{10-2.5} และ PM_{2.5} ในกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา

ความเข้มข้นฝุ่นละออง PM₁₀, PM_{10-2.5} และ PM_{2.5} ในบรรยากาศ ภายในอาคาร และฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส ในเขตกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา จากการเก็บตัวอย่างในแต่ละสถานี มีค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นฝุ่นละอองในเขตกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา

เขตพื้นที่ศึกษา	ฝุ่นละออง	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
กรุงเทพฯ	PM ₁₀	70	160.19	54.55	44.5	316.6
	PM _{10-2.5}		42.07	22.19	6.4	101.0
	PM _{2.5}		118.09	41.01	38.1	218.2
ชานเมือง	PM ₁₀	21	47.35	16.40	29.8	87.0
	PM _{10-2.5}		16.65	6.44	8.1	32.1
	PM _{2.5}		30.71	10.40	16.4	56.4
อยุธยา	PM ₁₀	15	92.15	26.68	51.4	147.3
	PM _{10-2.5}		35.11	9.81	22.7	51.3
	PM _{2.5}		55.72	17.97	28.7	96.2

ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95% ในพื้นที่กรุงเทพฯ มีความเข้มข้นฝุ่นละอองทั้ง 3 ขนาดสูงสุด โดย PM₁₀ มีค่า $160.19 \pm 13.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10-2.5} มีค่า $42.07 \pm 5.29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM_{2.5} มีค่า $118.09 \pm 41.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ รองลงมาคืออยุธยา PM₁₀ มีค่า $92.15 \pm 14.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10-2.5} มีค่า $35.11 \pm 5.43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM_{2.5} มีค่า $55.72 \pm 9.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนเขตชานเมือง(หนองจอก) มีค่าต่ำที่สุด PM₁₀ มีค่า $47.35 \pm 16.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10-2.5} มีค่า $16.65 \pm 6.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ PM_{2.5} มีค่า $30.71 \pm 10.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ศึกษากรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา

เขตพื้นที่ศึกษา	N	ความเข้มข้นเฉลี่ยที่ช่วงความเชื่อมั่น 95 % ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁼		
		PM ₁₀	PM _{10-2.5}	PM _{2.5}
กรุงเทพฯ	70	160.19 ± 13.01	42.07 ± 5.29	118.09 ± 9.78
ชานเมือง	21	47.35 ± 7.46	16.64 ± 2.93	30.71 ± 4.73
อยุธยา	15	92.15 ± 14.78	35.11 ± 5.43	55.72 ± 9.95

⁼ ช่วงความเชื่อมั่น 95% = mean ± {t_{0.975,N-1} * SE}

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 กรุงเทพฯ มีความเข้มข้นของฝุ่นทุกขนาดสูงที่สุด เพราะกรุงเทพฯ เป็นเขตพื้นที่ศึกษาที่มีการจราจรหนาแน่น โดยเฉพาะจุดตรวจวัดทุกจุด อยู่บริเวณสี่แยกบนถนนที่มีการจราจรหนาแน่นเกือบตลอดทั้งวัน ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นจากการจราจรก็จะมีความเข้มข้นตามไปด้วย ส่วนอยุธยามีความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงรองจากกรุงเทพฯ เนื่องจากจุดเก็บตัวอย่างในจังหวัดอยุธยาอยู่บนถนนโรจนะ ในเขตอำเภอพระนครศรีอยุธยา เป็นถนน 4 เลน มีโรงเรียน และโรงพยาบาลตั้งอยู่บนถนนสายนั้น ซึ่งเป็นเส้นทางหลักในการคมนาคมเข้าออกตัวจังหวัด ในขณะที่เขตชานเมืองซึ่งมีปริมาณฝุ่นละอองทุกขนาดต่ำที่สุด จุดเก็บตัวอย่างอยู่บนถนนคลองสิบสามบริเวณป้อมตำรวจตลาดคู่ และประชาสำราญ เขตหนองจอก ซึ่งเป็นพื้นที่สีเขียวจึงเป็นเขตบ้านพักอาศัย และพื้นที่เกษตรกรรมในบริเวณนั้น ถนนเป็นถนน 2 เลน ปริมาณการจราจรค่อนข้างเบาบาง

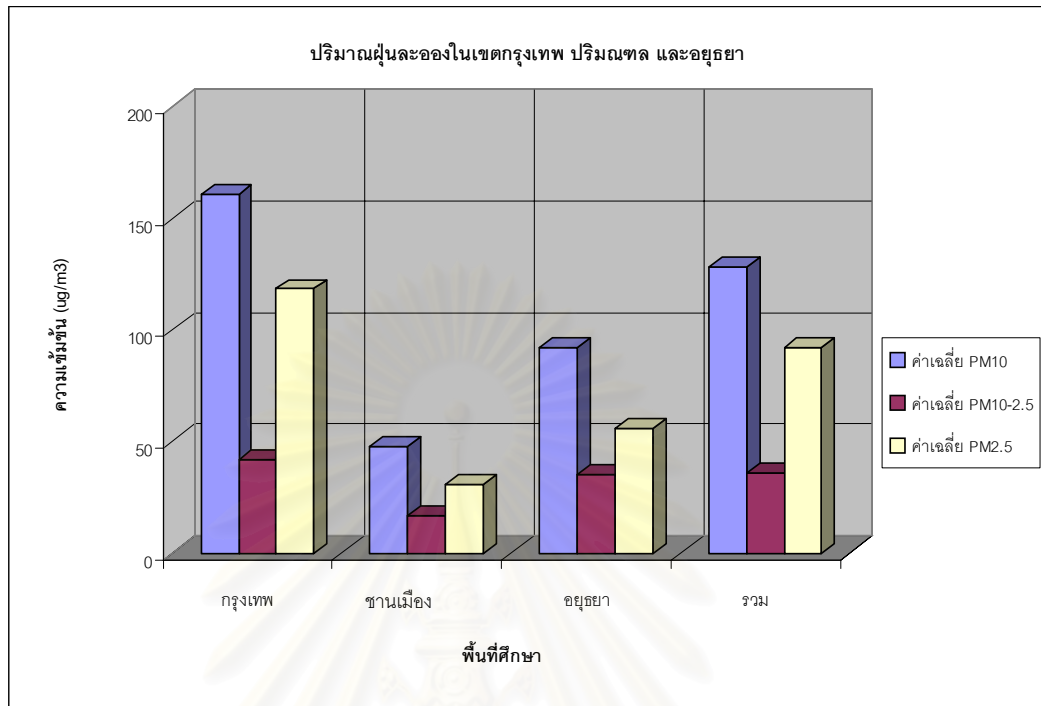
ในตารางที่ 5.3 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่นละออง PM₁₀, PM_{10-2.5} และ PM_{2.5} ที่ช่วงความมั่นใจ 95% จากการศึกษานี้ในเขตกรุงเทพฯ ชานเมือง และจังหวัดอยุธยา ซึ่งแยกตามสถานที่ตรวจวัด พบว่าในเขตกรุงเทพฯ ปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} (ฝุ่นละเอียด) ที่บุคคลได้รับสัมผัส มีค่าสูงกว่าฝุ่นละอองภายนอกป้อม และภายในป้อม ในขณะที่ปริมาณฝุ่นละออง PM_{10-2.5} (ฝุ่นหยาบ) ที่บุคคลได้รับสัมผัส มีค่าสูงกว่าภายในป้อม แต่น้อยกว่าภายนอกป้อม แต่ในเขตชานเมือง (หนองจอก) และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปริมาณฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส มีค่าน้อยกว่าฝุ่นละอองภายนอกป้อม ความแตกต่างระหว่างกรุงเทพฯ ชานเมือง และอยุธยา เนื่องมาจากปริมาณการจราจรในแต่ละพื้นที่ซึ่งในกรุงเทพฯ มีปริมาณการจราจรหนาแน่นเกือบตลอดทั้งวัน แต่ในชานเมือง และอยุธยามีปริมาณการจราจรเบาบาง และนอกจากนี้กิจกรรมของตำรวจจราจรก็มีความแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ตำรวจจราจรในกรุงเทพฯ ต้องออกปฏิบัติหน้าที่บริเวณริมถนนในช่วงเวลาเร่งด่วนมีการจราจรหนาแน่นและได้รับสัมผัสฝุ่นละอองโดยตรง ในขณะที่ตำรวจจราจรในเขตชานเมือง และอยุธยาไม่ต้องออกไปโบกรถบนถนน

ตารางที่ 5.3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ แบ่งตามพื้นที่ศึกษา และจุดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง ที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95% ที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ศึกษา

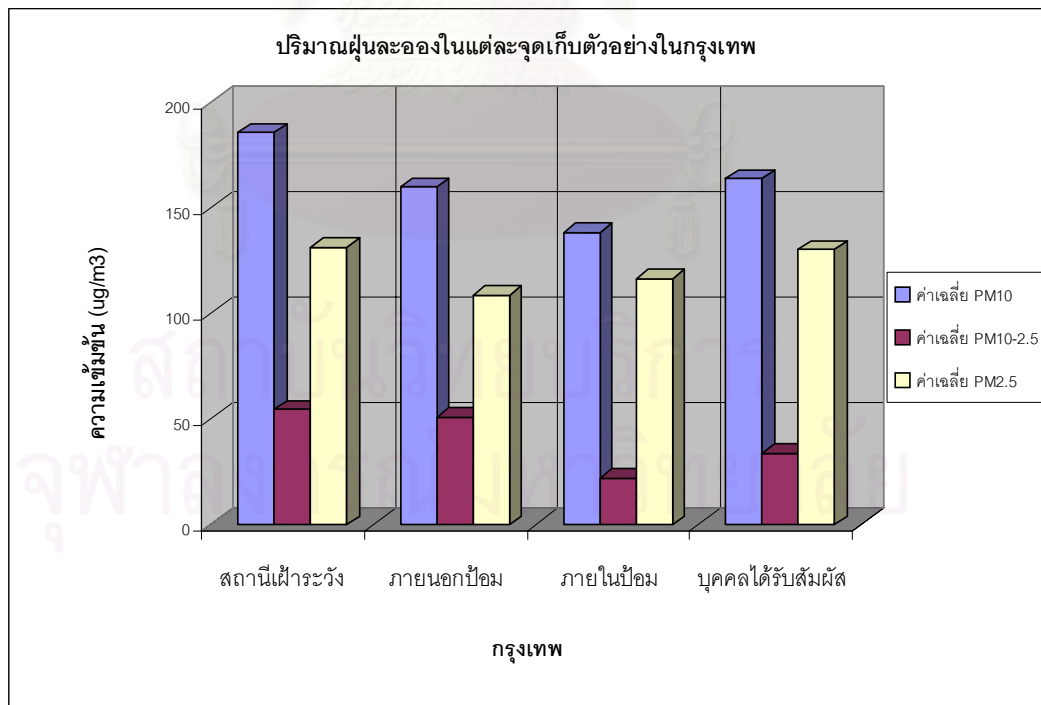
เขตพื้นที่ศึกษา	จุดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง	n	ความเข้มข้นเฉลี่ยในช่วงความเชื่อมั่น 95% ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁼		
			PM ₁₀	PM _{10-2.5}	PM _{2.5}
กรุงเทพฯ	สถานีเฝ้าระวัง	12	185.37 ± 41.81	54.43 ± 11.79	130.96 ± 30.76
	ภายนอกป้อม	30	159.61 ± 19.42	50.83 ± 5.88	108.75 ± 14.18
	ภายในป้อม	15	138.31 ± 26.76	22.04 ± 11.20	116.28 ± 21.96
	บุคคลได้รับสัมผัส	13	163.54 ± 31.03	33.58 ± 13.70	129.88 ± 24.65
ชานเมือง	ภายนอกป้อม	18	48.66 ± 8.57	17.30 ± 3.36	31.37 ± 5.42
	บุคคลได้รับสัมผัส	3	39.50 ± 18.24	12.73 ± 1.99	26.80 ± 16.40
อยุธยา	สถานีเฝ้าระวัง	5	94.04 ± 31.36	36.46 ± 12.27	53.64 ± 17.48
	ภายนอกป้อม	8	96.25 ± 25.07	36.34 ± 8.93	59.89 ± 18.01
	บุคคลได้รับสัมผัส*	2	71.05 ± 8.70	26.85 ± 1.06	44.25 ± 7.57

⁼ ช่วงความเชื่อมั่น 95% = mean ± {t_{0.975,N-1} * SE}

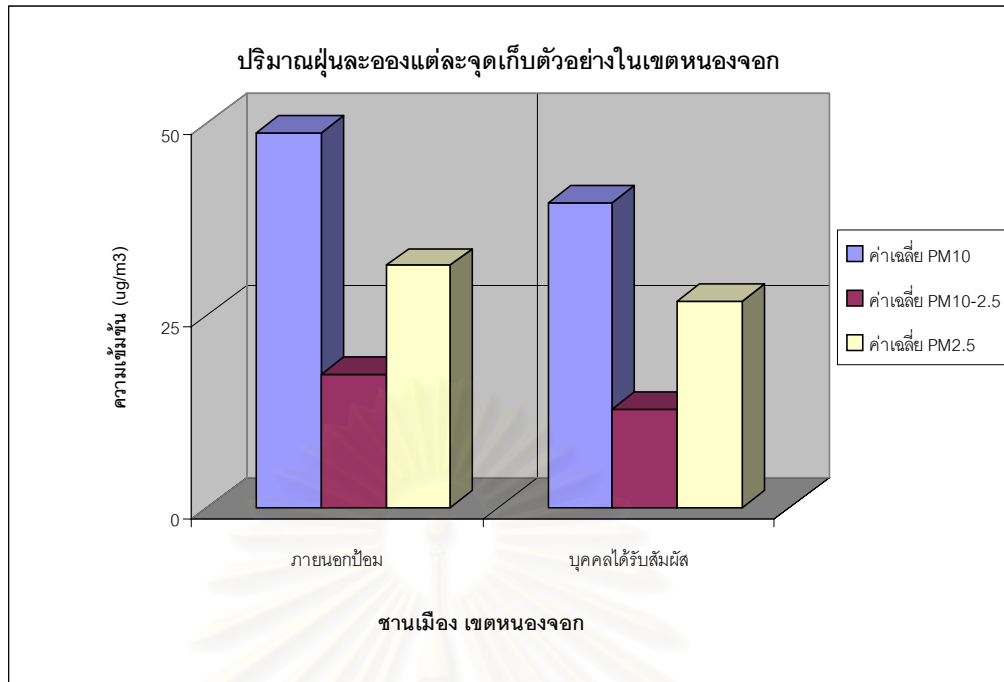
* เป็นค่า mean ± sd เนื่องจากฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสในอยุธยามี n น้อยกว่า 3 จึงไม่สามารถประมาณค่าแบบช่วงได้



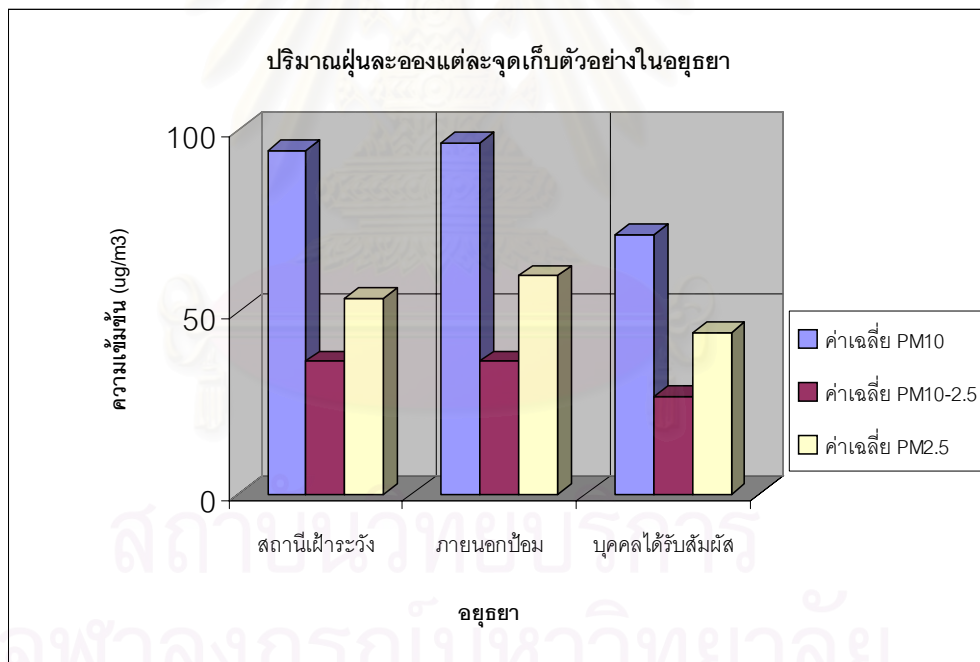
รูปที่ 5.1 แผนภูมิแสดง ค่าเฉลี่ยฝุ่นละอองจากการศึกษาแบ่งตามพื้นที่



รูปที่ 5.2 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในกรุงเทพฯ



รูปที่ 5.3 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในเขตชานเมือง



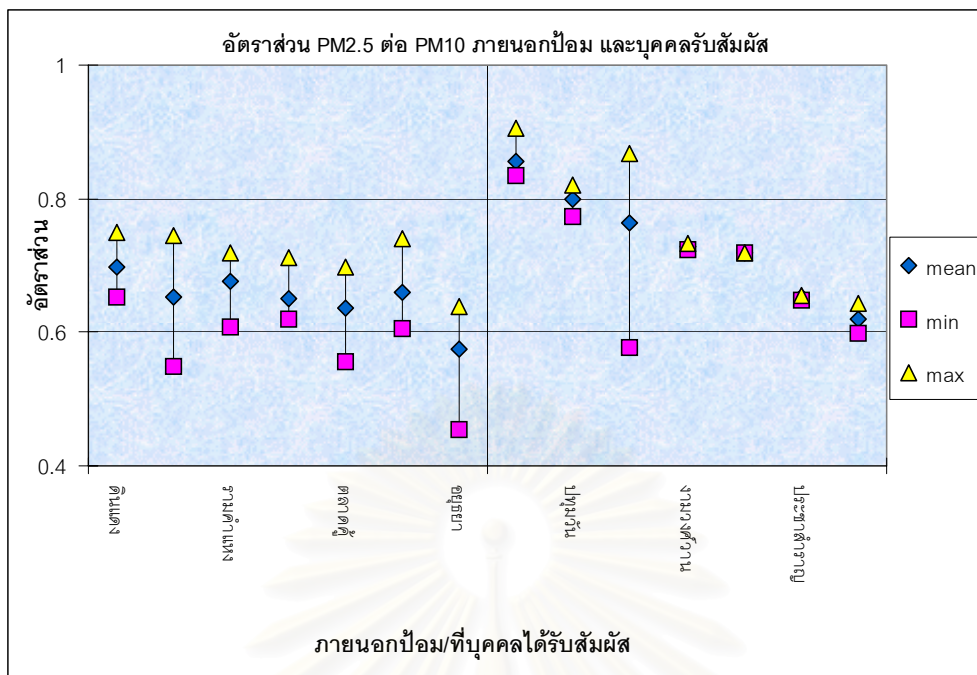
รูปที่ 5.4 แผนภูมิแสดงความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดต่างๆ ในเขตอยุธยา

5.2 สัดส่วน $PM_{2.5}/PM_{10}$

สัดส่วนนี้ไม่ขึ้นจะไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของฝุ่นละออง แต่จะแปรผันไปตามแต่ละพื้นที่ และจุดตรวจวัด เมื่อไม่นับผลกระทบจากการก่อสร้าง และอุตสาหกรรมแล้ว อิทธิพลของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่มีต่อความเข้มข้น PM_{10} ในเขตเมืองจะมีมากกว่าในเขตชานเมือง และในเขตชนบท หรือกล่าวได้ว่า $PM_{2.5}$ จะมีความเด่นในเขตเมือง ซึ่งสถานีตรวจวัดในเขตกรุงเทพฯ ได้แก่ ดินแดง ปทุมวัน รามคำแหง และงามวงศ์วาน เป็นกลุ่มที่มีสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} สูงที่สุด ในขณะที่เดียวกันจะพบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองก็สูงที่สุดด้วยเช่นกัน ในชานเมืองเขตหนองจอกซึ่งมีความเข้มข้นฝุ่นละอองต่ำที่สุดกลับพบว่ามีส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} สูงเป็นอันดับสอง ซึ่งสูงกว่าสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา แสดงว่าในเขตหนองจอกถึงแม้เป็นชานเมืองที่มีปริมาณฝุ่นละอองต่ำ แต่ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ กลับมีความเด่นมากกว่าในอำเภอเมืองจังหวัดพระนครศรีอยุธยาที่มีปริมาณฝุ่นละอองสูงกว่า

สำหรับสัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ในแต่ละสถานที่ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัด คือ จุดเก็บตัวอย่างควบคู่ไปกับสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมพิษ ภายนอกอาคาร ภายในอาคาร และที่บุคคลได้รับสัมผัสนั้น สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ของฝุ่นละอองภายในอาคารมีค่าสูงที่สุด (มากกว่า 0.8) อาจกล่าวได้ว่า ฝุ่นละอองภายในป้อมตำรวจนั้นเป็น $PM_{2.5}$ มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ภายนอกป้อมตำรวจ และ จุดเก็บตัวอย่างควบคู่ไปกับสถานีเฝ้าระวังกรมควบคุมมลพิษมีค่าใกล้เคียงกัน (ที่ดินแดงมีค่าประมาณ 0.7 อยุธยามีค่าประมาณ 0.6) เพราะเป็นการเก็บตัวอย่างบริเวณริมถนนเหมือนกัน สำหรับฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} มีค่าอยู่ระหว่างสัดส่วนภายในป้อม และภายนอกป้อม เนื่องจากบุคคลเคลื่อนที่เข้าออกระหว่างภายในและภายนอกป้อม สำหรับพื้นที่ในชานเมืองเขตหนองจอก และจังหวัดพระนครศรีอยุธยาซึ่งเป็นป้อมตำรวจแบบเปิดนั้น สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ภายนอกป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่าใกล้เคียงกันมาก เพราะป้อมตำรวจในพื้นที่นี้เป็นป้อมแบบเปิด ถึงแม้ตำรวจจราจรมีการเคลื่อนที่เข้าออกป้อมระหว่างปฏิบัติหน้าที่ก็ไม่เกิดความแตกต่างของฝุ่นละอองภายในป้อม และภายนอกป้อม

จากผลสรุปนี้ทำให้ทราบว่าป้อมตำรวจจราจรในกรุงเทพฯ ที่เป็นป้อมปิดกระจก ติดเครื่องปรับอากาศนั้นไม่ได้ช่วยลดความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ของตำรวจจราจรได้ ถึงแม้ปริมาณฝุ่นละอองภายในป้อมจะน้อยกว่าภายนอกป้อม แต่ฝุ่นละอองภายในป้อมกลับมีส่วนของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่า ตำรวจจราจรในกรุงเทพฯ จึงเป็นบุคคลที่มีความเสี่ยงสูงมากจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละออง



รูปที่ 5.5 สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ภายนอกป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส

5.3 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง

องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ $PM_{10-2.5}$ ที่เก็บได้จาก ถนนรามคำแหง บริเวณแยกลำสาลี และจังหวัดพระนครศรีอยุธยา บริเวณโรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย พบ C Na Al Si S Cl และ Fe เป็นองค์ประกอบหลัก กลุ่มธาตุที่พบนี้บ่งชี้ว่าฝุ่นละอองจากการจราจรเป็นแหล่งกำเนิดหนึ่งของฝุ่นละอองที่เก็บได้ในการศึกษาครั้งนี้

องค์ประกอบธาตุในฝุ่นทั้งสองขนาด ($PM_{10-2.5}$ และ $PM_{2.5}$) พบคาร์บอน เป็นเปอร์เซ็นต์ที่สูงมากเมื่อเทียบกับ blank ซึ่งคาร์บอนเป็นธาตุที่เกิดจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ ยานพาหนะ เปอร์เซ็นต์คาร์บอนที่พบในฝุ่นละอองที่เก็บจากถนนรามคำแหงมีมากกว่าที่พบในอยุธยา แสดงว่าฝุ่นละอองจากการเผาไหม้เครื่องยนต์มีความเด่นในกรุงเทพฯ มากกว่าในอยุธยา ในขณะที่ ซิลิกอน และ อลูมิเนียม ซึ่งเป็นธาตุที่อยู่ในดิน เกิดจากขบวนการเชิงกล หรือการวิ่งของรถบนถนน ในอยุธยาจะมีเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าในกรุงเทพฯ แสดงว่าฝุ่นละอองจากขบวนการเชิงกลมีความเด่นในอยุธยามากกว่าในกรุงเทพฯ

5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองภายนอกอาคาร ภายในอาคาร และที่บุคคลได้รับสัมผัส

การศึกษานี้พบความสัมพันธ์กันของฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ในจุดติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างเดียวกัน และต่างจุดกันดังนี้

จากการทดสอบหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ของความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) พบความสัมพันธ์กันสูง โดยที่ฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) จากภายนอกป้อมมีความสัมพันธ์กันสูงที่สุด ($r = 0.994$, $p < 0.001$) รองลงมาคือฝุ่นละอองจากบุคคลได้รับสัมผัส ($r = 0.961$, $p < 0.001$) และฝุ่นละอองจากภายในป้อม ($r = 0.899$, $p < 0.001$) โดยสามารถหาสมการถดถอยเชิงเส้นได้คือ

$$[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = -1.484 + 0.715 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = -2.765 + 0.800 * [PM_{10}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}}$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} = 13.105 + 0.756 * [PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}}$$

ความสัมพันธ์กันระหว่างฝุ่นละออง ทั้งสองขนาด ที่เก็บได้จากภายในป้อม และภายนอกป้อมที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่าง

PM_{10} ภายในป้อม และ $PM_{2.5}$ ภายนอกป้อม ($r=0.785$, $p=0.001$)

PM_{10} ภายในป้อม และ PM_{10} ภายในป้อม ($r=0.759$, $p=0.002$)

$PM_{2.5}$ ภายในป้อม และ $PM_{2.5}$ ภายนอกป้อม ($r=0.685$, $p=0.007$)

$PM_{2.5}$ ภายในป้อม และ PM_{10} ภายในป้อม ($r=0.624$, $p=0.017$)

โดยสามารถหาสมการถดถอยเชิงเส้นได้คือ

$$[PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}} = -25.820 + 1.028 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

$$[PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}} = -26.392 + 1.462 * [PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} = 4.114 + 0.710 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} = -3.272 + 1.073 * [PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

ความสัมพันธ์กันระหว่างฝุ่นละออง ทั้งสองขนาด ที่เก็บได้จากที่บุคคลได้รับสัมผัส กับฝุ่นจากภายในป้อม และภายนอกป้อมที่มีนัยสำคัญ ได้แก่ ความสัมพันธ์ระหว่าง

$PM_{2.5}$ บุคคลได้รับสัมผัส และ PM_{10} ภายนอกป้อม ($r=0.911$, $p < 0.001$)

$PM_{2.5}$ บุคคลได้รับสัมผัส และ $PM_{2.5}$ ภายนอกป้อม ($r=0.894$, $p < 0.001$)

PM ₁₀ บุคคลได้รับสัมผัส และ	PM ₁₀ ภายนอกป้อม	(r =0.826, p <0.001)
PM ₁₀ บุคคลได้รับสัมผัส และ	PM _{2.5} ภายนอกป้อม	(r =0.801, p <0.001)
PM _{2.5} บุคคลได้รับสัมผัส และ	PM ₁₀ ภายในป้อม	(r =0.687, p =0.011)
PM _{2.5} บุคคลได้รับสัมผัส และ	PM _{2.5} ภายในป้อม	(r =0.676, p =0.010)

โดยสามารถหาสมการถดถอยเชิงเส้นได้คือ

$$[PM_{10}]_{\text{บุคคลได้รับสัมผัส}} = 14.852 + 0.930 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

$$[PM_{10}]_{\text{บุคคลได้รับสัมผัส}} = 20.707 + 1.245 * [PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลได้รับสัมผัส}} = -4.970 + 0.852 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลได้รับสัมผัส}} = -0.462 + 1.156 * [PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลได้รับสัมผัส}} = 50.814 + 0.570 * [PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}}$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลได้รับสัมผัส}} = 50.191 + 0.672 * [PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}}$$

ค่าคงที่ของสมการเชิงเส้นที่หาได้ทั้งหมดถึงแม้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ในสมการเชิงเส้น แต่ไม่ควรตัดออกจากสมการเพราะเป็นที่น่าสังเกตว่าค่าคงที่เหล่านี้ อาจสามารถบอกรากฏการณ์บางอย่างระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตามจากการศึกษาได้

จากความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญ ระหว่างฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสกับฝุ่นภายนอกป้อม และภายในป้อม ที่แสดงด้านบนนี้ชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับน่าจะ ได้รับอิทธิพลมาจากฝุ่นละอองทั้งสองขนาดจากภายนอกป้อม และภายในป้อม เมื่อนำตัวแปรที่ คาดว่ามีอิทธิพลต่อฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสเฉพาะสถานีเก็บตัวอย่างในกรุงเทพฯ วิเคราะห์ โดยสมการถดถอยเชิงซ้อน พบว่ามีเฉพาะ PM₁₀ ภายนอกป้อมเท่าที่มีอิทธิพลต่อฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่บุคคลได้รับสัมผัส อย่างที่มีนัยสำคัญ ($r = 0.773, p = 0.02$) ดังนั้นการประมาณปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่บุคคลได้รับสัมผัสควรใช้ปริมาณฝุ่นละออง PM₁₀ ภายนอกป้อมเป็นตัวทำนายได้ดี ที่สุด โดยสมการที่ใช้ประเมินคือ

$$[PM_{2.5}]_{\text{บุคคลได้รับสัมผัส}} = -2.157 + 0.841[PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$$

สมการนี้แสดงให้เห็นว่าบุคคลได้รับผลกระทบจากฝุ่นละออง PM₁₀ ในบรรยากาศเป็นหลัก ดังนั้นการติดตามตรวจสอบ PM₁₀ ในบรรยากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเฝ้าระวังในพื้นที่ชุมชน เพื่อป้องกันอันตรายจากการได้รับสัมผัสฝุ่น

5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง และสภาพอากาศรายวัน

จากการศึกษาครั้งนี้พบความสัมพันธ์กันของฝุ่นละอองทั้งสองขนาด ($PM_{2.5}$ และ PM_{10}) ที่ตรวจวัดได้จากภายนอกป้อม ซึ่งเป็นตัวแทนของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ฝุ่นละอองภายในป้อม ซึ่งเป็นตัวแทนของฝุ่นละอองภายในอาคาร และฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส และพบว่าวิธี cascade impactor มีสหสัมพันธ์กับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบเทปใช้รังสีเบต้า ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศแบบต่อเนื่อง สามารถรายงานค่าออนไลน์สู่เครือข่ายของกรมควบคุมมลพิษ ($r = 0.948, p = 0.004$)

เราสามารถให้ความสัมพันธ์เหล่านี้ประมาณค่าฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ของบรรยากาศริมถนน ภายในอาคาร และฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส จากค่าของฝุ่นละออง PM_{10} ในบรรยากาศของสถานีเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษที่รายงานค่าทุกๆ ชั่วโมง โดยใช้สมการ ก เพื่อประมาณค่าฝุ่นละออง PM_{10} ในบรรยากาศริมถนนด้วยวิธี cascade impactor ($[PM_{10}]_{\text{cascade}}$ หรือ $[PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}}$) จากข้อมูลฝุ่นละออง PM_{10} ในบรรยากาศริมถนนนี้สามารถนำไปประมาณค่าฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศริมถนน (ใช้สมการที่ 1) ประมาณค่าฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ภายในอาคาร (ใช้สมการที่ 4 และ 6 ตามลำดับ) ประมาณค่าฝุ่นละออง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ที่บุคคลได้รับสัมผัส (ใช้สมการที่ 8 และ 14 ตามลำดับ)

สมการที่ใช้ในการประมาณค่า (ในช่วงความเชื่อมั่น 95%)

$$[PM_{10}]_{\text{cascade}} = -111.29 + 2.253 * [PM_{10}]_{\beta\text{-attenuation}} \quad (r = 0.948)$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ภายนอกป้อม}} = -1.484 + 0.715 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} \quad (r = 0.994)$$

$$[PM_{10}]_{\text{ภายในป้อม}} = -25.820 + 1.028 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} \quad (r = 0.759)$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ภายในป้อม}} = 4.114 + 0.710 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} \quad (r = 0.759)$$

$$[PM_{10}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = 14.852 + 0.930 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} \quad (r = 0.759)$$

$$[PM_{2.5}]_{\text{ที่บุคคลได้รับสัมผัส}} = -2.157 + 0.841 * [PM_{10}]_{\text{ภายนอกป้อม}} \quad (r = 0.773)$$

นอกจากนี้ยังพบว่าเข้มข้นฝุ่นละอองในบรรยากาศ (ทั้ง $PM_{2.5}$ และ PM_{10}) แปรผันตามความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ แต่แปรผกผันกับความเร็วลมสูงสุด โดยที่ PM_{10} จะได้รับอิทธิพลจากสภาพอากาศรายวันสองค่านี้มากกว่า $PM_{2.5}$ เนื่องจากขนาดของอนุภาคที่ใหญ่กว่าทำให้

การที่สามารถประมาณค่าฝุ่นละอองในบรรยากาศริมถนน ภายในอาคาร และที่บุคคลสัมผัส จากข้อมูล PM_{10} ของกรมควบคุมมลพิษที่มีการรายงานผลเป็นรายชั่วโมง ร่วมกับข้อมูลสภาพอากาศรายวัน จึงมีประโยชน์มากทำให้การเฝ้าระวังอันตรายจากฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ เป็นไปด้วยความแม่นยำ และรวดเร็ว

5.6 อภิปรายผล

จากการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นละอองที่เก็บโดยวิธี cascade impactor และ เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบเทปใช้รังสีเบต้าของกรมควบคุมมลพิษ พบว่ามีสหสัมพันธ์กันสูง โดยเครื่อง cascade impactor จะให้ค่าสูงกว่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วเครื่องมือ cascade impactor มีข้อได้เปรียบกว่าเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบเทปใช้รังสีเบต้า เนื่องจากเครื่องมือ cascade impactor สามารถเก็บฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนได้ ตัวอย่างฝุ่นละอองมีการเก็บอย่างต่อเนื่องตลอด 12 ชั่วโมง สามารถนำตัวอย่างที่เก็บได้ไปหาล่องค์ประกอบธาตุ และสารอนินทรีย์ที่อยู่ในฝุ่นละอองได้ เพื่อประเมินอันตรายจากฝุ่นละอองได้ เช่นจากแอสเบสทอส สารก่อมะเร็ง โลหะหนักได้ นอกจากนี้เครื่องมือ cascade impactor ยังมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา มีความคล่องตัวสูง สามารถนำไปใช้วัดปริมาณฝุ่นละอองในบริเวณที่เครื่องมือขนาดใหญ่เข้าไม่ถึง และสามารถวัดฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัส (personal exposure) เพื่อประเมินความเป็นอันตรายจากการได้รับสัมผัสฝุ่นจากกิจกรรมของบุคคลนั้นๆ นอกจากนี้ผลทดสอบความเที่ยงของวิธี cascade impactor ที่ทำในเขตหนองจอกซึ่งเป็นบริเวณที่มีปริมาณฝุ่นละอองต่ำ พบว่าความแตกต่างกันระหว่างข้อมูลทั้งสองชุดโดยเครื่องมือ cascade impactor คนละตัว ที่เก็บในบริเวณ และเวลาเดียวกัน ไม่ได้มาจากเครื่องมือ cascade impactor

ปริมาณฝุ่นละออง PM₁₀ ภายนอกป้อมเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในกรุงเทพฯมีค่าเกิน 100 µg/m³ ทุกสถานี และสถานีดินแดง และงามวงศ์งามมีค่าเกินมาตรฐานฝุ่นละออง PM₁₀ ในบรรยากาศ (120 µg/m³) ถ้าประเทศไทยกำหนดมาตรฐานระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} เท่ากับที่ US.EPA กำหนด ที่ 65 µg/m³ จะพบว่าสถานีในกรุงเทพฯ ทั้งหมดมีค่าเกินมาตรฐาน และอยุธยา มีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อย ในขณะที่ชานเมืองเขตหนองจอกซึ่งเป็นพื้นที่เกษตรกรรมมีการจราจรเบาบาง มีปริมาณฝุ่นละอองทั้งสองขนาดต่ำ และไม่เกินค่ามาตรฐาน แสดงให้เห็นว่าความเติบโตของเมือง และการจราจรที่เพิ่มมีแนวโน้มให้ระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศเพิ่มมากขึ้น ฝุ่นละอองภายในป้อมตำรวจมีค่าน้อยกว่าฝุ่นละอองภายนอกป้อม ยกเว้นที่ปทุมวันที่ฝุ่นละอองภายในป้อมมีค่ามากกว่าภายนอกป้อมอาจเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดฝุ่นภายในป้อม ฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับสัมผัสนั้นจะมีค่าระหว่างฝุ่นละอองภายนอกป้อม และภายในป้อมตำรวจ ทั้งนี้เพราะตำรวจใช้เวลาในแต่ละวันปฏิบัติหน้าที่ ภายนอกป้อมในช่วงเวลาเร่งด่วน และภายในป้อมในเวลาปกติ สำหรับชานเมืองและอยุธยาซึ่งเป็นป้อมตำรวจแบบเปิดพบว่าฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่าใกล้เคียงกับฝุ่นละอองภายนอกป้อม

สัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในเขตกรุงเทพฯ มีค่าสูงที่สุด แสดงว่ากรุงเทพฯ มีความเด่นของ PM_{2.5} ซึ่งฝุ่นละอองขนาดนี้ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมากจากการเผาไหม้เครื่องยนต์ นอกเขตกรุงเทพฯ กลับพบว่า สัดส่วน PM_{2.5} ต่อ PM₁₀ ในชานเมืองหนองจอก มีค่ามากกว่าที่อยุธยา

ทั้งๆ ที่ซานเมืองหนองจอกมีปริมาณฝุ่นละอองที่ต่ำ แสดงว่าที่หนองจอกมีความเด่นของ $PM_{2.5}$ มากกว่าที่อยู่ชานเมืองที่มีฝุ่นหนาแน่นเป็นสัดส่วนมากกว่า

สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ภายในป้อมตำรวจมีค่าสูงที่สุด เมื่อเทียบกับภายนอกป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัส แสดงว่าภายในป้อมมีสัดส่วนฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในปริมาณที่สูง ถ้าในความเข้มข้นที่เท่ากันกับฝุ่นภายนอกป้อมแล้ว สภาพอากาศภายในป้อมเป็นอันตรายมากกว่าอากาศภายนอกป้อม สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ที่บุคคลได้รับสัมผัสมีค่าอยู่ระหว่าง สัดส่วนภายในป้อม และภายนอกป้อม ทั้งนี้เนื่องจากตำรวจจราจรมีการปฏิบัติหน้าที่ทั้งภายในป้อม และภายนอกป้อม

ค่าคงที่ หรือจุดตัดแกน y ในสมการถดถอยที่พบ ถึงแม้ไม่มีนัยสำคัญในสมการ แต่จะไม่ถูกตัดออกจากสมการ เพราะค่าคงที่เหล่านี้บอกปรากฏการณ์บางอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างตัวแปรต้น และตัวแปรตามของสมการซึ่งอาจมีผลในทางบวกหรือลบต่อสมการก็ได้ และผลนี้อาจมีค่าต่างๆ กันตั้งแต่มากถึงน้อย เพราะภายนอกป้อม ภายในป้อม และบุคคลเป็นสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน ซึ่งความสัมพันธ์กันของฝุ่นละอองจากสิ่งแวดล้อมหนึ่งที่มีอิทธิพลต่ออีกสิ่งแวดล้อมหนึ่งอาจมีปรากฏการณ์หรือปัจจัยบางอย่างที่ทำให้ผลกระทบของฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิด (ทั้ง point และ non-point source) มีมากขึ้นหรือลดลงได้ เช่นกรณีของฝุ่นละอองในบรรยากาศ และภายในอาคาร ซึ่งระดับฝุ่นละอองภายในอาคารได้รับอิทธิพลจากฝุ่นละอองในบรรยากาศก็จริง แต่อาจมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อระดับฝุ่นละออง และชนิดของอนุภาคฝุ่นละอองด้วย เช่น ลักษณะของอาคาร ที่ตั้ง การมีแหล่งกำเนิดอื่น เช่นการสูบบุหรี่ การสูบบุหรี่ 1 มวน อาจมีผลให้ฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงภายในอาคารมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นค่าคงตัวค่าหนึ่ง การมีเครื่องปรับอากาศ มีเครื่องกรองอากาศอาจมีผลให้ฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงภายในอาคารมีค่าลดลงไม่มากไปกว่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ หรือเครื่องกรองอากาศจะให้ได้ใน 1 วัน เป็นต้น หรือแม้แต่กิจกรรมบางอย่างของบุคคลภายในอาคารก็อาจส่งผลกระทบต่อระดับฝุ่นละอองภายในอาคารได้ ซึ่งควรมีการศึกษาอย่างละเอียดต่อไปถึงค่าคงตัวของแต่ละสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อปริมาณฝุ่นละออง

สำหรับสมการถดถอยที่ใช้ประมาณค่าฝุ่นละอองภายในป้อม และที่บุคคลได้รับสัมผัสนั้น จะพบว่าฝุ่นละออง PM_{10} ในบรรยากาศ เป็นข้อมูลที่ดีที่สุดในการนำมาประมาณ เนื่องจาก PM_{10} มีการเฝ้าระวัง และตรวจวัดโดยทั่วไปอยู่แล้ว สำหรับการประมาณฝุ่นที่บุคคลได้รับสัมผัส ถึงแม้ว่าบุคคลจะได้รับฝุ่นละอองจากทั้งภายนอกป้อม และภายในป้อมตำรวจ แต่สมการถดถอยที่ใช้ประมาณกลับใช้ PM_{10} ในบรรยากาศ เพียงอย่างเดียวในการประมาณ ทั้งนี้เนื่องจากระดับฝุ่นละอองภายในป้อมนั้นได้รับอิทธิพลจาก ฝุ่นละอองภายนอกป้อม (PM_{10} ในบรรยากาศ) เมื่อวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยเชิงซ้อน จะตัดฝุ่นละอองภายในป้อมออกเนื่องจากไม่ใช่ตัวแปรอิสระที่แท้จริง เพราะได้รับอิทธิพลของฝุ่นภายนอกป้อมดังที่กล่าวมาแล้ว

5.7 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ให้มากกว่านี้ และมีการเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดอื่นๆ ด้วย เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์กันของฝุ่นแต่ละขนาด
- ควรมีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายในป้อม ภายในบ้าน และที่บุคคลได้รับสัมผัสตลอด 24 ชั่วโมง แล้วหาความสัมพันธ์กัน โดยมีการถ่วงน้ำหนักเวลาที่บุคคลอยู่ในป้อม และที่บ้าน
- ควรมีการศึกษาในกลุ่มบุคคลอื่นๆ ที่มีความเสี่ยง ไม่น่ามีความเสี่ยงจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละออง นอกจากตำรวจเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองที่บุคคลได้รับ กับปริมาณฝุ่นในบรรยากาศ
- กระดาษกรองชนิด PTFE binding glass fiber filter (Pallflex™ T60A20) ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นในการศึกษาครั้งนี้ ไม่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง เนื่องจากในกระดาษกรองประกอบด้วยธาตุ Si Al O C Ca F ซึ่งรบกวนการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองได้ จึงควรใช้กระดาษกรองที่ไม่มีองค์ประกอบเหล่านี้ เช่นชนิด polycarbonate, teflon
- ควรมีการวิเคราะห์หาชนิดสารอินทรีย์ที่เป็นสารอันตราย หรือสารก่อมะเร็งที่มีอยู่ในฝุ่นละอองในการศึกษาครั้งนี้
- เนื่องจากวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้ personal pump ติดหัวแยก cascade impactor ซึ่งเป็นวิธี low flow ทำให้ได้ตัวอย่างฝุ่นในปริมาณน้อย นำไปวิเคราะห์ทางเคมีได้ยาก อาจมีการเพิ่มระยะเวลาการสัมผัสฝุ่นของกระดาษกรอง หรือใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูงเพื่อเก็บตัวอย่างฝุ่น
- ควรมีการศึกษาลักษณะสถานะพื้นฐานของฝุ่นละอองด้วย
- ควรมีการศึกษาปัจจัย (ที่ไม่ใช่ปัจจัยของแหล่งกำเนิด) ที่อาจมีผลต่อค่าคงที่ระหว่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ ภายในป้อม และบุคคลได้รับสัมผัส เพื่อเป็นแนวทางลดฝุ่นละออง หรือหลีกเลี่ยงปัจจัยที่มีผลทางบวกต่อปริมาณฝุ่นภายในอาคาร หรือที่บุคคลได้รับสัมผัส
- เนื่องจากปัจจัยสภาพอากาศรายวันที่ผลต่อระดับฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้คือความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วลมสูงสุด จึงน่าจะมีการติดตั้งเครื่องมือวัดวัดลม และวัดความชื้นสัมพัทธ์ไปพร้อมๆ กับการเก็บตัวอย่าง
- ป้อมตำรวจจราจรริมถนนที่ปิดกระจกติดเครื่องปรับอากาศควรมีเครื่องฟอกอากาศภายในป้อมด้วยเพื่อลดอันตรายของบุคคลที่อยู่ภายในป้อมจากการได้รับสัมผัสฝุ่นละออง PM_{2.5}

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กัลยา วานิชย์บัญชา. 2540. การวิเคราะห์สถิติ: สถิติเพื่อการตัดสินใจ. กรุงเทพมหานคร:

สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดวงฤทัย บัวดวง. 2542. ผลของฝุ่นขนาดเล็กที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจที่มีต่อสมรรถภาพปอดของตำรวจจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รพีพัฒน์ เกริกไควล์. 2544. องค์ประกอบของธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต. 2536. มลภาวะอากาศ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วนิดา จีนศาสตร์, สมานชัย เลิศกมลวิทย์, สราวุธ เทพานนท์, คานาเอะ คาริตะ, เคนจิ ทามูระ และ อิจิ ยาโน. 2542. การวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก : พีเอ็ม₁₀ พีเอ็ม_{10-2.5} และ พีเอ็ม_{2.5} ใน กรุงเทพมหานคร : การศึกษาเบื้องต้น. ในการประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, หน้า 108. 26 พฤษภาคม 2541 ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก.

วศิน มหัตนรินทร์กุล. 2536. ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นและตะกั่วในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, วิวัฒน์ ตันทะพานิชกุล, ชีคาโอะ คานาโอเกะ และจุฑามาศ เกตุทัต.

2542. มลภาวะทางอากาศ. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

Brook, J. R., Dann, T. F., and Burnett, R. T. 1997. The relationship among TSP, PM₁₀, PM_{2.5}, and inorganic constituents of atmospheric particulate matter at multiple Canadian locations. Journal of the Air & Waste Management Association 47: 2-19.

Christopher, S., Limpaseni, W., Panich, N., and Fujita, E. 1998. PM Abatement strategy for the Bangkok metropolitan area.

- Choudhury, A. H., Gordian, M. E., and Morris, S. S. 1997. Associations between respiratory illness and PM₁₀ air pollution. Archives of Environmental Health 52: 113-117.
- Cornille, P., and Maenhaut, W. 1990. Sources and characteristics of the atmospheric aerosol near Damascus, Syria. Atmospheric Environment 24A: 1083-1093.
- Falchi, M., et al. 1996. Inorganic particles in bronchoalveolar lavage fluids from nonoccupationally exposed subjects. Archives of Environmental Health 51:157-161.
- Hitchins J., Morawska, L., Wolff, R., and Glibert, D. 2000. Concentrations of submicrometre particles from vehicle emissions near a major road. Atmospheric Environment 34: 51-59.
- Freifer, J. I., and Bloemen, H. J. Th. 2000. Modeling relationships between indoor and outdoor air quality. Journal of the Air & Waste Management Association 50: 290-300.
- Jinsart, W., Tamura, K., Loetkamonwit, S., Thepanondh, S., Karita, K., and Yano, E. 1999. Measurement of Respirable Fine Particulate Matters: PM₁₀, PM_{10-2.5} and PM_{2.5} in Bangkok. Princess congress 4 (1999): 235.
- Kerker, M. 1972. Aerosols and atmospheric chemistry. New York: Academic.
- Keywood, M. D., Ayers, G. P., Gras, J. L., and Gillett, R. W. 2000. Size distribution and sources of aerosol in Launceston, Australia, during winter 1997. Journal of the Air & Waste Management Association 50: 418-427.
- Nicole, A. H. J., Hoek, G., Harssenma, H., and Brunekreef, B. 1997. Childhood exposure to PM₁₀: relation between personal, classroom, and outdoor concentrations. Occupational and Environmental Medicine 54: 888-894.
- Nicole, A. H. J., Hoek, G., Harssenma, H., and Brunekreef, B. 1999. Personal exposure to fine particles in children correlates closely with ambient fine particles. Archives of Environmental Health 54: 95-101.
- Tamura, K., Ando, M., Sagai, M., and Matsumoto, Y. 1996. Estimation of levels of personal exposure to suspended particulate matter and nitrogen dioxide in Tokyo. Environmental Sciences 4: 37-51.

- Wagner, E. 1994. Impacts on air pollution in urban areas. Environmental Management 8: 759-768.
- Wei, F., et al. 1999. Ambient concentrations and elemental compositions of PM₁₀ and PM_{2.5} in four chinese cities. Environmental Science & Technology 33: 4188-4193.
- Wight, G. D. 1994. Fundamentals of Air Sampling. Florida: CRC.
- Willeke, K. and Baron, P. A., ed. 1993. Aerosol measurement : Principles Techniques and applications. New York: Vannostrand reinhold.
- Yakovleva, E., and Philip, K.1999. Receptor modeling assessment of particle total exposure assessment methodology data. Environmental Science & Technology 33: 3645-3652.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลสภาพอากาศรายวัน

Daily maximum wind direction & speed (Degree & Knots)

STATION : 455201

BANGKOK METROPOLIS

YEAR : 1998

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp
1.	130 10	180 07	180 10	180 10	180 09	180 08	270 16	220 16	220 18	310 14	360 15	180 12
2.	090 04	180 08	190 08	210 08	180 10	270 10	180 08	270 20	180 10	040 08	090 22	270 06
3.	230 07	190 09	180 08	120 08	180 12	240 15	220 07	260 15	180 08	090 08	040 12	090 08
4.	180 04	180 06	200 10	010 08	190 07	180 08	290 14	270 16	180 08	050 08	010 08	020 08
5.	090 06	180 08	180 10	190 06	180 08	210 08	180 06	270 20	270 22	090 06	090 10	010 08
6.	090 08	180 08	180 08	190 08	040 20	270 18	180 08	260 10	220 12	090 10	070 10	360 10
7.	040 04	180 06	220 10	190 06	010 09	190 06	260 15	180 15	310 15	040 05	080 10	090 06
8.	030 05	180 07	180 09	190 08	180 08	220 16	200 15	270 22	180 12	100 15	060 06	040 08
9.	220 06	180 10	270 07	190 10	180 10	250 08	270 22	220 14	270 16	180 12	090 05	310 06
10.	180 05	210 08	300 10	180 08	180 06	190 10	180 10	270 16	270 10	270 10	040 15	360 18
11.	270 12	180 10	270 08	180 07	180 08	270 12	180 06	270 05	280 20	220 15	040 08	360 10
12.	180 05	180 07	180 07	180 07	220 12	220 12	270 20	260 20	270 16	090 10	090 04	030 06
13.	180 08	180 10	180 10	200 10	180 07	180 12	240 22	270 12	180 08	060 06	040 12	010 15
14.	200 08	190 06	190 08	210 08	040 06	180 08	310 16	180 06	270 30	090 16	310 05	360 08
15.	220 08	190 08	190 06	180 12	180 15	270 15	180 07	180 08	270 08	220 10	010 08	360 08
16.	270 09	190 12	210 07	180 07	180 07	260 12	040 08	180 08	340 22	180 14	040 20	040 16
17.	220 08	180 08	190 08	170 10	170 08	220 08	180 10	180 06	360 15	220 15	090 10	340 08
18.	170 08	190 08	180 10	180 05	150 06	200 07	180 05	090 10	270 15	180 10	130 09	360 04
19.	180 06	180 06	180 08	180 06	180 12	180 12	260 08	090 06	140 25	180 07	270 15	310 08
20.	180 05	190 10	190 07	110 10	260 12	270 08	270 06	270 04	090 18	100 25	340 05	090 08
21.	180 06	190 07	190 08	180 10	180 12	260 20	270 06	090 08	180 10	090 10	010 15	060 04
22.	180 06	190 10	190 08	180 12	180 09	220 07	180 08	180 10	180 04	090 05	360 15	080 08
23.	180 06	180 08	220 08	180 10	260 08	270 08	180 08	180 04	180 08	040 15	040 08	090 08
24.	180 05	180 09	190 10	180 12	200 08	220 08	220 12	180 12	280 08	150 07	330 07	130 04
25.	120 06	180 08	180 12	180 07	180 07	290 12	220 12	190 05	090 07	090 08	360 12	090 05
26.	030 08	190 10	190 09	180 08	180 16	270 15	180 08	270 10	220 12	260 08	320 07	090 08
27.	130 05	180 08	170 06	180 10	180 08	180 07	270 19	260 15	310 14	090 08	010 12	040 05
28.	090 08	180 08	090 12	180 07	290 15	180 15	220 10	270 10	010 08	040 08	090 12	090 10
29.	040 08		190 08	180 08	260 20	180 08	200 10	220 15	180 08	090 12	270 06	090 08
30.	180 05		360 10	190 10	260 10	270 07	080 07	180 22	090 12	010 12	310 05	090 08
31.	180 05		170 12		270 15		090 12	070 18		150 06		360 04
N	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
MEAN	6.6	8.2	8.8	8.5	10.3	10.7	11.0	12.2	13.3	10.4	10.3	*****
MAX.	12	12	12	12	20	20	22	22	30	25	22	*****
DAY	11	16	(3)	(3)	6,29	21	9,13	8,30	14	20	2	31

Daily maximum wind direction & speed (Degree & Knots)

STATION : 455201		BANGKOK METROPOLIS										YEAR : 1999	
DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	Dir Sp	
1.	030 08	180 08	110 08	180 10	120 05	220 15	300 12	220 10	290 08	130 08	270 08	330 10	
2.	070 07	180 10	200 15	180 05	220 16	180 14	270 15	210 10	270 15	010 08	360 08	340 08	
3.	220 10	360 07	180 05	180 10	180 08	210 12	180 12	240 20	270 15	120 15	040 06	030 10	
4.	220 08	090 08	180 15	180 05	120 11	210 12	190 13	240 10	270 15	040 08	330 06	030 07	
5.	040 08	090 12	220 16	180 10	140 05	240 12	220 10	180 10	120 06	100 07	030 12	010 08	
6.	360 05	360 08	180 08	010 12	270 12	220 18	270 12	210 12	290 08	290 08	300 10	030 08	
7.	090 10	040 08	270 16	090 16	270 12	190 07	210 08	270 18	180 15	090 06	350 06	360 08	
8.	090 10	070 14	270 17	180 08	180 12	180 10	180 10	180 08	180 08	180 10	010 08	050 07	
9.	090 06	090 06	180 13	180 06	170 10	180 10	250 24	280 18	180 08	180 07	120 08	060 10	
10.	360 06	180 04	180 08	180 10	360 14	180 09	300 12	240 12	210 08	180 08	090 08	050 08	
11.	310 07	090 12	180 18	140 08	150 07	180 10	180 10	190 10	130 10	180 10	270 07	300 07	
12.	040 15	090 10	180 08	180 10	160 08	270 23	270 15	210 08	270 08	280 05	120 10	020 08	
13.	310 08	090 06	180 12	180 16	150 06	190 12	240 10	220 12	240 08	090 16	080 06	360 08	
14.	310 07	090 15	180 05	180 05	210 06	220 10	290 28	210 12	240 12	060 10	360 08	010 08	
15.	080 15	040 10	180 10	220 07	250 12	240 13	240 12	240 10	250 17	130 07	030 06	060 08	
16.	090 06	090 07	220 18	180 10	180 09	230 12	170 08	270 17	220 13	180 16	090 10	010 10	
17.	340 08	180 12	180 10	310 10	180 06	270 10	180 12	180 10	180 15	270 14	060 12	300 08	
18.	040 08	180 10	180 06	180 16	190 10	260 12	180 12	220 12	270 22	060 12	080 08	090 14	
19.	040 10	220 07	180 15	220 08	120 17	180 12	180 08	200 07	270 12	020 10	040 06	060 10	
20.	090 06	090 18	180 12	200 05	270 12	180 10	220 12	320 04	240 10	120 07	360 08	030 12	
21.	090 12	090 10	180 05	220 12	180 10	240 08	180 12	180 08	120 22	030 09	330 10	330 07	
22.	040 06	090 07	090 22	270 28	210 25	210 10	210 15	180 07	180 10	300 10	060 09	360 07	
23.	360 05	220 10	220 12	180 15	270 12	260 08	290 12	180 16	280 12	030 10	020 10	340 10	
24.	180 15	180 10	180 10	260 15	210 12	270 12	240 15	120 12	120 04	020 14	120 12	360 09	
25.	150 09	180 07	180 15	270 19	170 10	180 10	180 08	240 10	030 16	010 10	120 10	030 07	
26.	180 08	220 12	180 13	290 16	180 08	360 15	260 12	180 08	180 10	120 12	090 08	010 12	
27.	180 15	160 08	090 08	090 12	220 16	180 10	180 14	210 07	130 07	180 10	090 12	030 07	
28.	240 08	270 12	180 12	020 08	180 10	070 18	280 19	180 10	360 14	140 08	050 08	270 07	
29.	090 15		270 10	110 10	270 12	120 08	270 10	270 08	100 06	120 08	350 13	300 09	
30.	180 16		090 25	090 06	180 10	290 12	280 23	280 06	130 08	180 08	030 12	010 08	
31.	270 10		220 10		180 22		210 09	210 10		090 10		030 08	
N	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
MEAN	9.3	9.6	12.2	10.9	11.1	11.8	13.0	10.7	11.4	9.7	8.8	*****	
MAX.	16	18	25	28	25	23	28	20	22	16	13	*****	
DAY	30	20	30	22	22	12	14	3	18,21	13,16	29	31	

Daily Mean Relative Humidity (%)

STATION : 455201 BANGKOK METROPOLIS YEAR : 1998

DATE JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC

1.	75	76	77	69	66	75	76	90	84	83	80	81
2.	74	79	79	69	69	71	90	76	89	85	81	81
3.	75	76	72	71	71	76	81	84	89	76	80	80
4.	76	75	76	78	69	69	87	72	82	67	77	74
5.	69	77	76	76	68	72	84	71	82	71	73	71
6.	59	75	76	72	74	76	83	72	80	72	67	72
7.	57	79	70	70	68	82	80	69	79	79	65	71
8.	60	82	76	72	69	80	81	73	79	86	65	68
9.	74	76	57	73	71	78	83	82	75	92	67	65
10.	73	76	64	72	69	71	80	81	71	84	64	63
11.	83	77	65	70	70	73	76	78	79	88	59	62
12.	79	82	72	73	71	77	71	74	82	90	61	60
13.	74	78	75	72	76	73	80	75	80	86	66	58
14.	73	78	74	75	72	79	81	79	72	83	68	55
15.	66	78	72	76	68	72	73	73	74	85	63	65
16.	53	79	75	77	68	67	78	70	77	82	76	69
17.	62	71	75	71	68	66	79	74	86	78	73	74
18.	66	69	76	73	76	69	72	78	93	78	80	74
19.	77	68	76	75	82	67	68	80	91	83	81	76
20.	77	72	75	77	84	74	66	92	92	79	76	76
21.	77	76	73	76	74	67	68	89	84	72	82	72
22.	83	76	74	72	75	68	71	90	88	73	82	71
23.	75	78	77	72	73	67	72	84	91	68	77	69
24.	77	78	71	69	68	66	72	74	93	70	72	65
25.	71	75	67	75	71	68	76	75	85	68	65	64
26.	65	79	71	76	81	80	72	79	83	81	70	64
27.	65	78	70	75	78	74	69	73	92	73	85	67
28.	61	78	68	75	74	85	67	67	80	66	89	67
29.	61	62	72	75	82	72	68	72	70	83	68	
30.	60	71	70	71	74	78	71	86	83	83	67	
31.	67	71	89	83	85	83	66					

MEAN 707672737373767783797469

Daily Mean Relative Humidity (%)

STATION : 455201 BANGKOK METROPOLIS YEAR : 1999

DATE JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC

1.	64	83	72	71	92	83	66	75	77	89	87	61
2.	71	81	77	71	92	80	66	80	74	79	92	60
3.	67	94	79	71	85	72	68	79	75	87	89	64
4.	64	77	83	73	83	81	69	71	72	81	83	71
5.	65	67	78	76	88	76	71	75	78	78	71	74
6.	60	70	76	88	78	75	76	82	88	79	73	69
7.	59	70	57	80	75	78	76	76	87	74	74	65
8.	61	69	41	80	78	78	70	72	82	75	78	62
9.	65	65	44	73	78	83	72	74	74	81	78	58
10.	68	69	58	74	82	83	65	73	76	74	81	60
11.	70	68	67	79	85	84	71	72	78	76	79	64
12.	79	75	68	83	84	82	66	71	83	78	79	57
13.	75	70	72	78	90	83	71	71	73	82	87	57
14.	70	76	73	83	81	82	69	69	70	83	81	67
15.	70	80	74	82	80	80	73	70	71	82	71	61
16.	67	74	70	81	80	73	67	72	69	89	61	62
17.	66	79	71	72	80	74	72	79	72	89	65	62
18.	65	82	73	72	77	77	70	70	73	70	63	54
19.	67	81	62	73	83	82	72	72	73	64	65	54
20.	65	74	62	69	87	73	82	80	72	69	63	54
21.	66	70	68	74	88	81	79	75	85	73	65	59
22.	67	67	71	79	82	71	78	71	80	73	62	54
23.	68	80	72	83	86	65	68	77	79	72	69	51
24.	68	82	72	71	81	71	68	83	86	72	71	47
25.	84	83	74	69	79	73	79	80	87	95	73	45
26.	85	82	69	71	78	76	77	71	80	93	70	49
27.	83	80	70	78	71	75	75	77	84	82	66	55
28.	85	82	71	82	69	79	80	82	81	78	58	53
29.	89	88	87	75	73	70	75	77	82	60	52	
30.	92	81	90	75	66	74	80	80	84	60	59	
31.	86	75	76	85	74	83	59					

MEAN 71 7670778177727578807259

Daily Sunshine Duration (Hours)

Station : 455201 BANGKOK METROPOLIS Year : 1998

Date JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC

1.	7.3	8.0	7.0	7.6	10.6	6.8	3.6	0.7	3.1	4.9	8.5	6.0
2.	7.8	7.6	3.7	9.4	11.4	9.2	0.3	7.5	0.8	2.4	5.8	6.8
3.	8.9	8.1	9.8	8.1	10.3	1.3	0.0	4.2	0.0	1.5	6.0	4.1
4.	7.7	6.1	9.4	3.7	11.1	8.6	1.8	9.8	9.3	8.7	7.2	8.6
5.	8.1	8.8	9.3	7.4	10.1	8.4	2.6	6.7	7.9	6.0	8.3	8.8
6.	6.9	8.8	9.4	9.3	8.7	3.2	3.6	5.7	4.0	5.7	4.1	6.9
7.	9.0	8.1	9.7	10.0	10.2	5.4	3.1	0.0	2.8	1.8	3.6	8.6
8.	7.8	5.1	9.1	9.3	9.1	5.3	9.3	0.3	7.2	6.1	5.8	7.6
9.	8.3	7.5	9.7	9.6	7.7	6.0	3.9	0.7	4.8	0.0	5.7	6.6
10.	7.3	8.5	9.6	9.5	9.8	10.4	9.3	0.3	7.2	7.6	8.6	7.4
11.	0.8	8.5	9.5	9.8	11.0	7.8	9.0	0.8	6.5	3.6	8.4	0.8
12.	6.9	6.0	8.7	10.4	5.9	10.2	9.7	0.0	5.0	2.4	8.3	2.7
13.	7.8	7.3	8.7	10.0	1.5	7.2	7.6	5.6	5.0	3.2	8.2	7.6
14.	8.7	9.5	9.2	10.0	7.8	3.5	2.8	8.0	8.4	8.7	8.5	8.3
15.	8.2	9.2	8.9	9.9	9.6	9.0	4.2	8.8	7.4	5.5	7.8	0.0
16.	8.1	8.4	8.8	9.6	10.9	11.0	4.9	9.2	8.7	6.5	5.7	0.4
17.	8.5	8.9	9.4	9.4	9.3	10.7	7.2	5.2	3.9	9.8	8.2	4.3
18.	8.6	9.3	9.0	6.1	4.4	10.9	10.4	3.2	0.2	1.7	8.1	5.9
19.	8.4	9.8	8.8	9.7	3.8	11.1	11.0	3.1	2.9	4.0	7.9	4.3
20.	5.8	9.8	9.3	6.3	3.9	8.9	10.9	0.0	0.8	9.0	3.7	4.0
21.	5.5	8.0	9.4	7.5	10.6	7.3	8.8	4.2	1.1	5.3	0.0	6.6
22.	3.2	8.8	9.3	8.9	8.7	9.8	6.5	0.0	0.0	0.4	0.4	8.0
23.	7.7	9.7	9.2	10.7	10.5	8.0	10.8	2.6	3.2	4.5	0.0	9.0
24.	7.8	9.9	8.3	10.4	10.9	9.4	8.0	9.2	0.0	8.3	8.5	7.9
25.	7.1	9.5	8.5	9.9	8.1	1.1	4.7	7.7	6.6	7.8	8.5	9.3
26.	7.3	9.5	9.1	10.6	6.5	1.5	9.2	5.6	7.4	6.6	7.6	8.6
27.	8.6	9.1	7.7	10.3	7.9	2.2	9.3	10.1	0.0	7.3	0.1	9.3
28.	8.4	9.2	9.0	9.8	5.1	3.8	7.2	9.9	7.1	7.8	3.2	9.4
29.	8.8	8.4	10.6	8.2	4.1	3.2	9.3	2.9	5.8	6.0	9.2	
30.	9.0	7.6	10.7	9.0	3.2	5.8	9.8	0.0	1.9	2.8	8.1	
31.	9.2	9.4	0.0	2.8	2.8	8.0	9.3					

N 312831303130313130313031

Total 233.5 237.0 272.9 274.5 252.6 205.3 191.5 151.0 124.2 162.8 175.5 204.4

Mean 7.5 8.5 8.8 9.2 8.1 6.8 6.2 4.9 4.1 5.3 5.9 6.6

Annual total = 2485.2

Annual mean = 6.8

Daily Sunshine Duration (Hours)

Station : 455201

BANGKOK METROPOLIS

Year : 1999

Date JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC

1.	6.7	9.1	8.4	9.6	-	6.4	7.2	-	5.3	-	3.4	8.5
2.	9.0	9.1	7.6	9.5	-	5.2	9.4	-	7.6	-	.0	8.3
3.	8.8	.06.3	9.3	-	5.8	8.9	-	7.1	-	.0	2.4	
4.	8.4	7.9	8.0	9.4	-	2.7	4.3	-	7.3	-	.1	.4
5.	7.9	8.7	7.8	3.0	-	3.9	5.8	-	6.8	-	.9	1.7
6.	6.1	8.7	8.4	2.4	-	4.1	3.8	-	1.6	-	6.9	.5
7.	8.0	7.4	9.6	6.9	-	2.4	7.4	-	.9	-	4.4	3.3
8.	4.6	8.5	9.6	1.3	-	.5	9.8	-	7.3	-	5.2	8.3
9.	7.1	8.7	9.7	9.5	-	.7	8.6	-	7.2	-	2.6	8.2
10.	7.6	8.4	9.7	10.0	-	1.7	10.4	-	1.0	-	3.5	8.2
11.	7.4	8.9	9.5	4.8	-	1.7	7.1	-	.0	-	6.0	2.3
12.	5.7	.1	9.5	4.6	-	5.3	7.3	-	.0	-	4.7	3.1
13.	2.1	6.5	9.5	4.2	-	8.0	1.8	-	.0	-	4.6	3.2
14.	1.2	7.9	9.3	5.6	-	10.1	2.9	-	9.1	-	6.8	.4
15.	5.2	7.8	8.8	4.7	-	4.2	3.6	-	8.1	-	8.5	8.2
16.	7.1	8.5	9.1	2.8	-	4.9	7.4	-	6.2	-	8.4	8.2
17.	8.4	8.7	9.3	9.5	-	.3	8.7	-	6.8	-	4.3	8.1
18.	8.2	9.2	8.7	8.3	-	4.0	9.9	-	8.3	-	8.0	8.3
19.	7.4	7.6	8.9	7.7	-	.9	6.5	-	8.1	-	8.0	8.1
20.	8.3	7.8	9.1	8.1	-	6.2	10.1	-	6.3	-	7.6	7.4
21.	7.5	9.3	7.9	6.7	-	1.4	9.5	-	3.2	-	8.2	7.6
22.	7.4	6.6	6.6	-	-	9.2	7.7	-	2.6	-	8.2	6.9
23.	8.2	8.9	9.2	-	4.2	5.5	9.3	-	4.6	-	1.6	8.2
24.	7.4	9.2	7.4	-	6.3	2.9	2.0	-	5.4	-	7.9	8.4
25.	7.0	9.3	3.7	-	4.5	5.8	.0	-	6.3	-	6.1	8.3
26.	5.2	8.3	9.4	-	1.9	5.7	1.1	-	6.7	-	6.8	8.4
27.	4.8	9.4	8.9	-	4.5	6.3	2.9	-	3.6	-	8.6	8.3
28.	1.8	8.0	8.4	-	3.3	5.8	4.2	-	6.3	-	8.6	7.2
29.	3.3	.0	-	3.3	8.4	1.1	-	7.8	-	8.0	6.4	
30.	.0	6.4	-	2.0	10.8	1.9	-	8.2	-	8.5	8.2	
31.	5.9	9.5	7.3	.8	-	-	7.6					

N 31283121* 9* 3031- * 30- * 3031

Total 193.7 218.5 254.2 137.9 37.3 140.8 181.4 - 159.7 - 166.4 192.6

Mean 6.2 7.8 8.2 6.6 4.1 4.7 5.9 - 5.3 - 5.5 6.2

Annual total = 1682.5*

Annual mean = 6.1*

"- is missing value or no data reported

"*" means incomplete data in the specified month and annual values

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)

STATION : 455201 Bangkok Metropolis*

YEAR : 1998

DATE JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC

1.	28.6	29.8	30.8	31.2	32.7	30.5	29.4	27.6	28.6	28.4	29.0	29.1
2.	29.2	29.8	30.0	31.7	32.7	31.0	27.6	29.8	27.4	27.4	28.6	29.3
3.	29.4	29.7	31.2	31.4	32.3	30.2	29.0	28.3	28.0	28.8	28.8	29.8
4.	29.1	29.6	30.8	29.0	32.2	31.7	27.7	29.3	28.5	29.5	29.0	30.0
5.	29.5	29.6	30.9	29.8	32.1	31.9	27.8	28.9	28.7	29.8	29.1	30.1
6.	28.9	30.0	30.7	31.4	31.0	30.3	28.5	29.8	28.2	30.7	28.3	28.9
7.	29.0	29.2	31.0	31.7	30.6	29.2	29.0	29.4	28.6	30.0	28.5	29.0
8.	29.4	29.1	30.9	31.5	31.3	29.4	28.4	28.9	29.2	28.3	29.7	27.5
9.	29.4	29.7	30.1	31.6	32.2	29.5	28.0	28.1	29.4	27.0	29.9	25.6
10.	29.8	29.9	30.2	31.6	31.9	30.4	29.0	28.5	29.7	28.2	30.1	25.2
11.	28.4	29.8	30.7	32.0	32.6	30.9	30.3	28.6	28.6	28.0	28.9	24.9
12.	29.4	28.7	30.9	31.7	32.8	30.3	30.8	29.8	28.1	27.9	27.7	24.6
13.	29.4	29.4	30.3	31.7	30.8	30.8	29.1	29.1	28.7	28.5	27.1	23.8
14.	29.6	29.1	30.7	32.0	31.0	30.0	28.7	28.7	30.0	29.3	27.6	25.1
15.	29.4	29.3	30.8	32.0	32.8	30.4	30.1	29.9	29.9	28.8	29.5	22.8
16.	28.0	29.9	30.7	32.0	33.1	31.3	29.6	30.8	29.3	29.7	28.6	22.5
17.	28.4	30.6	30.5	32.0	32.9	31.4	30.4	30.6	28.1	30.5	29.7	23.7
18.	29.1	30.5	30.9	30.3	30.9	31.3	31.7	28.4	26.5	29.7	29.2	25.7
19.	28.8	31.0	31.0	31.4	29.7	31.5	32.5	28.7	27.9	28.4	29.4	26.7
20.	29.0	30.8	30.6	31.0	29.3	30.2	32.3	26.8	26.8	28.7	29.3	27.1
21.	29.1	30.6	30.2	30.9	31.3	30.4	32.4	27.3	28.1	28.9	26.2	28.1
22.	28.2	30.7	30.5	31.1	30.8	30.8	31.2	27.4	27.8	28.1	24.8	28.0
23.	29.4	30.3	30.5	31.7	31.6	31.6	31.2	28.0	28.0	28.7	25.1	29.1
24.	29.4	30.3	31.0	32.8	32.4	31.4	30.7	29.7	27.3	29.5	26.5	29.1
25.	29.7	30.8	31.3	32.3	32.0	30.7	30.1	30.0	28.8	29.9	27.2	28.8
26.	29.1	30.5	31.2	32.2	30.2	29.0	30.6	29.3	29.2	29.6	28.2	28.8
27.	29.6	30.8	31.2	32.4	30.9	29.6	30.3	30.7	26.8	30.3	25.3	28.0
28.	30.2	30.6	31.4	32.1	31.3	28.4	31.0	31.8	28.6	30.2	25.4	28.3
29.	28.9	31.4	32.2	30.7	28.3	30.6	31.4	29.5	30.2	27.8	27.5	
30.	28.7	31.3	32.5	30.7	29.5	29.4	31.2	27.8	28.4	28.3	27.6	
31.	29.4	31.3	27.0	28.3	28.5	29.5	28.2					

MEAN 29.1 30.0 30.8 31.6 31.4 30.4 29.9 29.2 28.4 29.1 28.1 27.2

ANNUAL MEAN TEMPERATURE = 29.6 CELSIUS.

Daily Mean Dry Temperature (Celsius)

STATION : 455201 Bangkok Metropolis*

YEAR : 1999

DATE JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC

1.	28.6	28.4	30.5	30.9	27.4	28.3	30.2	28.1	28.1	26.3	26.7	25.8
2.	28.4	30.0	30.2	31.2	26.7	28.9	30.2	27.8	28.5	28.6	24.4	26.1
3.	27.5	24.9	29.7	31.4	28.1	29.4	30.1	27.9	29.2	26.6	23.7	25.5
4.	27.0	25.6	29.5	31.5	28.7	28.6	29.9	28.3	29.9	28.0	24.5	25.1
5.	25.7	25.0	29.7	29.9	26.7	29.0	29.7	28.4	29.1	28.9	26.5	25.9
6.	25.8	25.6	29.9	27.1	28.9	28.7	28.8	27.3	26.5	29.3	27.2	25.7
7.	25.6	26.4	31.2	28.1	29.4	28.9	29.4	28.8	26.8	29.7	27.5	25.4
8.	25.9	27.3	30.2	28.5	29.4	29.1	30.8	29.7	28.0	29.4	27.7	25.5
9.	26.9	27.5	29.4	30.5	29.4	28.8	30.1	29.0	29.2	29.2	28.9	24.5
10.	27.6	28.0	30.2	30.2	28.4	28.5	30.6	29.6	29.0	29.7	29.2	23.7
11.	27.6	29.9	31.2	29.7	27.8	28.5	29.4	29.1	28.3	29.1	28.4	24.9
12.	26.1	28.5	31.2	29.3	27.9	28.6	30.0	28.9	27.0	29.2	29.0	26.1
13.	25.1	29.4	31.0	29.3	27.1	28.5	28.7	29.2	29.0	28.1	27.3	26.6
14.	26.4	28.8	31.1	28.9	28.5	29.0	29.7	29.5	29.4	27.5	28.0	26.6
15.	28.5	28.9	30.7	29.1	29.3	28.8	29.5	29.9	29.3	27.7	29.4	26.7
16.	27.4	29.3	30.9	29.2	28.8	29.5	30.6	29.5	29.4	26.5	29.0	26.7
17.	27.2	29.2	30.7	31.0	29.2	29.2	30.7	28.2	29.6	26.6	28.2	27.4
18.	28.1	28.7	31.0	31.3	30.1	29.3	30.5	29.4	29.3	28.4	27.1	27.4
19.	29.1	28.9	31.3	30.9	28.9	28.7	30.4	30.1	29.9	28.3	27.2	25.5
20.	29.8	29.1	30.8	31.4	27.5	29.2	28.7	28.8	29.7	27.2	26.6	24.2
21.	29.0	28.8	31.6	30.5	27.4	28.4	29.2	29.7	28.3	27.2	26.4	23.0
22.	29.6	29.5	30.7	29.7	28.6	29.5	29.2	30.9	29.1	28.4	26.7	21.2
23.	30.2	28.9	29.8	28.5	28.1	29.6	30.2	29.9	28.8	29.5	27.3	19.5
24.	30.5	29.0	30.1	29.6	29.1	29.5	29.6	28.3	27.7	28.1	29.2	18.8
25.	29.6	29.1	29.6	29.7	29.4	29.7	27.9	28.7	27.5	25.4	29.7	18.7
26.	28.7	29.8	30.6	30.7	29.3	29.3	28.9	29.5	28.7	25.6	29.8	19.6
27.	28.8	30.2	31.2	29.1	29.5	29.9	29.9	28.8	28.1	27.7	30.1	21.1
28.	28.6	29.9	31.3	27.8	30.1	29.1	29.4	27.8	28.5	28.8	30.3	22.4
29.	27.6	26.8	27.2	29.3	30.3	29.9	28.3	28.4	28.3	29.1	24.8	
30.	26.1	28.4	27.4	29.3	30.9	28.7	27.9	28.7	28.1	26.8	26.3	
31.	27.6	29.8	29.1	27.5	28.5	28.0	28.0					

MEAN 27.8 28.4 30.3 29.7 28.6 29.1 29.6 28.9 28.6 28.0 27.7 24.5

ANNUAL MEAN TEMPERATURE = 28.4 CELSIUS.

ภาคผนวก ข.

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

การเปรียบเทียบวิธี cascade impactor กับวิธีการของกรมควบคุมมลพิษ

Correlations : ดินแดง และอยุธยา

			cascade_PM ₁₀	PCD_PM ₁₀
ดินแดง	Cascade_PM ₁₀	Pearson Correlation	1.000	0.948**
		Sig.(2-tailed)	.	.004
		N	6	6
	PCD_PM ₁₀	Pearson Correlation	0.948**	1.000
		Sig.(2-tailed)	.004	.
		N	6	6
อยุธยา	Cascade_PM ₁₀	Pearson Correlation	1.000	-.393
		Sig.(2-tailed)	.	.513
		N	5	5
	PCD_PM ₁₀	Pearson Correlation	-.393	1.000
		Sig.(2-tailed)	.513	.
		N	5	5

ความสัมพันธ์ระหว่าง PM จากวิธี cascade impactor และ beta attenuation

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	29762.074	1	29762.074	35.592	.004 ^a
	Residual	3344.834	4	836.209		
	Total	33106.908	5			

a. Predictors: (Constant), PCD_PM₁₀b. Dependent Variable: cascade_PM₁₀Coefficients^a

model	Unstandardized Coefficients		Standardized coefficients	T	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-111.290	47.189		-2.358	.078
cascade_PM ₁₀	2.253	.378	.948	5.966	.004

a. Dependent Variable: cascade_PM₁₀

ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ ฝุ่นในอาคาร และฝุ่นบุคคลได้รับสัมผัส

Correlations

	out-PM2.5	out-PM10	in-PM2.5	in-PM10	per-PM2.5	per-PM10
out-PM2.5 Pearson Correlation	1.000	.994**	.685**	.785**	.894**	.801**
Sig.(2-tailed)	.	.000	.007	.001	.000	.000
N	20	20	14	14	18	18
out-PM10 Pearson Correlation	.994**	1.000	.624*	.759**	.911**	.826**
Sig.(2-tailed)	.000	.	.017	.002	.000	.000
N	20	20	14	14	18	18
in-PM2.5 Pearson Correlation	.685**	.624*	1.000	.899**	.676*	.526
Sig.(2-tailed)	.007	.017	.	.000	.011	.065
N	14	14	14	14	13	13
in-PM10 Pearson Correlation	.785**	.759**	.899**	1.000	.687**	.527
Sig.(2-tailed)	.001	.002	.000	.	.010	.064
N	14	14	14	14	13	13
per-PM2.5 Pearson Correlation	.894**	.911**	.676*	.687**	1.000	.961**
Sig.(2-tailed)	.000	.000	.011	.010	.	.000
N	18	18	13	13	18	18
per-PM10 Pearson Correlation	.801**	.826**	.526	.527	.961**	1.000
Sig.(2-tailed)	.000	.000	.065	.064	.000	.
N	18	18	13	13	18	18

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

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Regression PM2.5 ภายนอกห้อง / PM10 ภายนอกห้อง

variables Entered/Removed ^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OUT-PM10a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variables : OUT-PM2.5

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.994 ^a	.987	.987	4.9808

a. Predictors: (Constant), OUT-PM10

ANOVA ^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	34794.13	1	34794.13	1402.536	.000 ^a
	Residual	446.544	18	24.808		
	Total	35240.674	19			

a. Predictors:(Constant),OUT-PM10

b. Dependent Variable:OUT-PM2.5

Coefficients ^a

model		unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-1.484	2.624		-.565	.579
	OUT-PM10	.715	.019	.994	37.45	.000

a. Dependent Variable:OUT-PM2.5

Regression PM2.5 บุคคลที่ได้รับสัมผัส / PM10 บุคคลที่ได้รับสัมผัส

variables Entered/Removed ^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	PER-PM10 ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variables :PER-PM2.5

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.961 ^a	.923	.918	16.0794

a. Predictors: (Constant), PER-PM10

ANOVA ^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	49769.716	1	49769.716	192.499	.000 ^a
	Residual	4136.7289	16	258.546		
	Total	53906.444	17			

a. Predictors:(Constant),PER-PM10

b. Dependent Variable:PER-PM2.5

Coefficients ^a

model		unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients Beta	t	sig.
		B	Std. Error			
1	(Constant)	-2.765	8.529		-.324	.750
	PER-PM10	.800	.058	.961	13.874	.000

a. Dependent Variable:PER-PM2.5

Regression PM2.5 บุคคลได้รับสัมผัส/ PM10 ภายนอกห้อง

variables Entered/Removed^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OUT-PM10a		. Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable :PER-PM2.5

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.911 ^a	.829	.818	23.9940

a. Predictors: (Constant), OUT-PM10

ANOVA^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	44695.043	1	44695.043	77.634	.000a
	Residual	9211.401	16	575.713		
	Total	53960.444	17			

a. Predictors:(Constant),OUT-PM10

b. Dependent Variable: PER-PM2.5

Coefficients^a

model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-4.970	13.521		-.368	.718
	OUT-PM10	.852	.097	.911	8.811	.000

a. Dependent Variable: PER-PM2.5

Regression PM2.5 ภายในห้อง / PM10 ภายในห้อง

variables Entered/Removed ^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	IN-PM10a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable :IN-PM2.5

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.899 ^a	.808	.792	18.7179

a. Predictors: (Constant), IN-PM10

ANOVA ^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	17701.176	1	17701.176	50.523	.000 ^a
	Residual	4204.301	12	350.358		
	Total	21905.477	13			

a. Predictors:(Constant), IN-PM10

b. Dependent Variable: IN-PM2.5

Coefficients ^a

model		unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	13.105	15.261		.859	.407
	IN-PM10	.756	.106	.899	7.108	.000

a. Dependent Variable: IN-PM2.5

Regression PM2.5 บุคคลได้รับสัมผัส / PM2.5 ภายนอกห้อง

variables Entered/Removed^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OUT-PM2.5 ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable : PER-PM2.5

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.894 ^a	.799	.786	26.0275

a. Predictors: (Constant), OUT-PM2.5

ANOVA^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	43067.581	1	43067.581	63.575	.000 ^a
	Residual	10838.863	16	677.429		
	Total	53906.444	17			

a. Predictors:(Constant), OUT-PM2.5

b. Dependent Variable: PER-PM2.5

Coefficients^a

model		unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-.642	14.401		-.045	.965
	OUT-PM2.5	1.156	.145	.894	7.973	.000

a. Dependent Variable: PER-PM2.5

Regression PM10 บุคคลได้รับสัมผัส / PM10 ภายนอกห้อง

variables Entered/Removed^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OUT-PM10 ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable : PER-PM10

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.826 ^a	.683	.663	39.2949

a. Predictors: (Constant), OUT-PM10

ANOVA^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	53149.978	1	53149.978	34.422	.000 ^a
	Residual	24705.44	16	1544.09		
	Total	77855.418	17			

a. Predictors:(Constant),OUT-PM10

b. Dependent Variable: PER-PM10

Coefficients^a

model		unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	14.582	22.144		.659	.520
	OUT-PM10	.930	.158	.826	5.867	.000

a. Dependent Variable: PER-PM10

Regression PM10 บุคคลได้รับสัมผัส / PM2.5 ภายนอกป้อม

variables Entered/Removed^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OUT-PM2.5 ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable : PER-PM10

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.801 ^a	.642	.619	41.7612

a. Predictors: (Constant), OUT-PM2.5

ANOVA^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	49951.469	1	49951.469	28.642	.000a
	Residual	27903.949	16	1743.997		
	Total	77855.418	17			

a. Predictors:(Constant), OUT-PM2.5

b. Dependent Variable: PER-PM10

Coefficients^a

model	unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	20.707	23.107		.896	.383
OUT-PM2.5	1.245	.233	.801	5.325	.000

a. Dependent Variable: PER-PM10

Regression PM10 ภายในห้อง / PM2.5 ภายนอกห้อง

variables Entered/Removed ^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OUT-PM2.5 ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable : IN-PM10

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.785 ^a	.616	.584	31.4721

a. Predictors: (Constant), OUT-PM2.5

ANOVA ^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	19098.827	1	19098.827	19.282	.001 ^a
	Residual	11885.91	12	990.492		
	Total	30984.737	13			

a. Predictors:(Constant), OUT-PM2.5

b. Dependent Variable: IN-PM10

Coefficients ^a

model		unstandardized Coefficients		Standardized	t	sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-26.392	37.834		-.698	.499
	OUT-PM2.5	1.462	.333	.785	4.391	.001

a. Dependent Variable: IN-PM10

Regression PM10 ภายในห้อง / PM10 ภายนอกห้อง

variables Entered/Removed ^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OUT-PM10 ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable : IN-PM10

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.759 ^a	.576	.541	33.0792

a. Predictors: (Constant), OUT-PM10

ANOVA ^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	17853.974	1	17853.974	16.316	.002 ^a
	Residual	13130.763	12	1094.23		
	Total	30984.737	13			

a. Predictors:(Constant), OUT-PM10

b. Dependent Variable: IN-PM10

Coefficients ^a

model		unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-25.820	40.925		-.631	.540
	OUT-PM10	1.028	.255	.759	4.039	.002

a. Dependent Variable: IN-PM10

Regression PM2.5 บุคคลได้รับสัมผัส / PM10 ภายในป้อม

variables Entered/Removed^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	IN-PM10a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable : PER-PM2.5

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.687 ^a	.472	.424	30.9886

a. Predictors: (Constant), IN-PM10

ANOVA^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9427.447	1	9427.447	9.817	.010 ^a
	Residual	10563.224	11	960.293		
	Total	19990.671	12			

a. Predictors:(Constant), IN-PM10

b. Dependent Variable: PER-PM2.5

Coefficients^a

model		unstandardized Coefficients		Standardized	t	sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-50.814	26.683		1.904	.083
	IN-PM10	.570	.182	.687	3.133	.010

a. Dependent Variable: PER-PM2.5

Regression PM2.5 ภายในห้อง / PM2.5 ภายนอกห้อง

variables Entered/Removed ^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OUT-PM2.5a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable : IN-PM2.5

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.685 ^a	.469	.425	31.1204

a. Predictors: (Constant), OUT-PM2.5

ANOVA ^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10283.755	1	10283.755	10.618	.007 ^a
	Residual	11621.722	12	968.477		
	Total	21905.477	13			

a. Predictors:(Constant), OUT-PM2.5

b. Dependent Variable: IN-PM2.5

Coefficients ^a

model	unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-3.272	37.411		-.087	.932
OUT-PM2.5	1.073	.329	.685	3.259	.907

a. Dependent Variable: IN-PM2.5

Regression PM2.5 บุคคลรับสัมผัส / PM2.5 ภายในห้อง

variables Entered/Removed^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	IN-PM2.5 ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable : PER-PM2.5

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.676 ^a	.458	.408	31.3978

a. Predictors: (Constant), IN-PM2.5

ANOVA^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	9146.655	1	9146.655	9.778	.011 ^a
	Residual	10844.016	11	985.82		
	Total	19990.671	12			

a. Predictors: (Constant), IN-PM2.5

b. Dependent Variable: PER-PM2.5

Coefficients^a

model		unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	50.191	27.598		1.819	.096
	IN-PM2.5	.672	.221	.676	3.046	.011

a. Dependent Variable: PER-PM2.5

Regression PM2.5 ภายในห้อง / PM10 ภายนอกห้อง

variables Entered/Removed^b

model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	OUT-PM10 ^a	.	Enter

a. All requested variables entered.

b. Dependent Variable : IN-PM2.5

Model Summary

model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.624 ^a	.389	.338	33.4036

a. Predictors: (Constant), OUT-PM10

ANOVA^b

model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	8515.867	1	8515.867	7.632	.017 ^a
	Residual	13389.611	12	1115.801		
	Total	21905.477	13			

a. Predictors:(Constant), OUT-PM10

b. Dependent Variable: IN-PM2.5

Coefficients^a

model	unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	4.114	41.326		.100	.922
OUT-PM10	.710	.257	.624	2.763	.017

a. Dependent Variable: IN-PM2.5

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสมานชัย เลิศกมลวิทย์ เกิดเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2515 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2541 ระหว่างการศึกษาใน หลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ได้เดินทางไปดูงานและทำวิจัยบางส่วน ณ มหาวิทยาลัยเทเคียว ประเทศญี่ปุ่น ด้วยทุนมอญนุไซ เมื่อวันที่ 23-27 กรกฎาคม 2542



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย