

องค์ประกอบชาติในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานคร



นางสาว รพีพัฒน์ เกริกไคว้ล

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0088-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ELEMENTAL COMPOSITION OF AIRBORNE FINE PARTICULATE MATTER  
PM<sub>2.5</sub> IN BANGKOK



MISS RAPEEPAT KRERKKAIWAL

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 974-13-0088-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในเขตกรุงเทพมหานคร
โดย	นางสาว รพีพัฒน์ เกริกไคว้ล
สหสาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วนิดา จินศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โหมยิตานนท์)

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ดร.สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. นพภาพร พานิช)

รพีพัฒน์ เกริกไกวัด : องค์ประกอบของธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานคร. (ELEMENTAL COMPOSITION OF AIRBORNE FINE PARTICULATE MATTER PM<sub>2.5</sub> IN BANGKOK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. วนิดา จินศาสตร์, อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร. สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา, [135]หน้า. ISBN XXX-XXX-XXX-X.

การเก็บฝุ่นละอองขนาดเล็กด้วยเครื่องเก็บฝุ่นแยกขนาดชนิดไดโคโทมัสแอร์แซมเพลอร์พบว่าระดับของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานครสูงกว่าพื้นที่ควบคุม สัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีค่ามากกว่าร้อยละ 60 โดยในช่วงฤดูแล้งระดับฝุ่นละอองบริเวณดินแดง พญาไท และพุทธมณฑลสายสองสูงกว่าในช่วงฤดูฝน ดินแดงซึ่งเป็นตัวแทนของบรรยากาศริมถนนมีปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเฉลี่ย  $65.35 \pm 18.7$  มก./ลบ.ม. ในช่วงฤดูฝน และ  $129.56 \pm 38.9$  มก./ลบ.ม. ในฤดูแล้ง พญาไทเป็นตัวแทนของบรรยากาศทั่วไปมีค่าเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน  $27.71 \pm 16.9$  มก./ลบ.ม. ในช่วงฤดูฝนและ  $62.63 \pm 30.3$  มก./ลบ.ม. ในช่วงฤดูแล้ง และพุทธมณฑลสายสองซึ่งเป็นพื้นที่ควบคุมมีค่าเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน  $14.21 \pm 1.87$  มก./ลบ.ม. ในช่วงฤดูฝนและ  $32.4 \pm 9.9$  มก./ลบ.ม. ในช่วงฤดูแล้ง สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีค่า 0.979 นั่นคือระดับของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนสามารถบอกถึงแนวโน้มของปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในอากาศได้ องค์ประกอบของธาตุหลักในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนได้แก่คาร์บอน ซัลเฟอร์ และโพแทสเซียม ส่วนฝุ่นละอองขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนประกอบด้วย เหล็ก ซิลิกา และแคลเซียม ปริมาณของธาตุปริมาณน้อยในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนประกอบด้วยโพแทสเซียม 1.3892 มก./ลบ.ม. สังกะสี 0.4529 มก./ลบ.ม. แมงกานีส 0.1518 มก./ลบ.ม. ตะกั่ว 0.1576 มก./ลบ.ม. และทองแดง 0.0095 มก./ลบ.ม. บริเวณที่เป็นบรรยากาศริมถนนมีองค์ประกอบของธาตุสูงกว่าบริเวณที่เป็นบรรยากาศทั่วไป และพื้นที่ควบคุมตามลำดับ อย่างไรก็ตามองค์ประกอบธาตุไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณของฝุ่นละอองแต่อาจขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดและชนิดของมลพิษมากกว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในอากาศ

ภาควิชา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4172403323 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD : PM2.5 / ELEMENTAL COMPOSITION

RAPEEPAT KRERKKAIWAL : ELEMENTAL COMPOSITION OF AIRBORNE FINE PARTICULATE MATTER PM<sub>2.5</sub> IN BANGKOK. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. WANIDA JINSART, THESIS COADVISOR : Dr. SUPAT WANGWONGWATANA.[135] pp. ISBN XXX-XXX-XXX-X.

The small size air borne particulates were sampling by using Dichotomous air sampler. The level of small size PM2.5 in Bangkok sites, was higher than in control site. The ratio of PM2.5 to PM10 is more than 50 %. During dry season, the level of particulates in Dindang , Phayathai and Phuttamonthol Sai 2 were higher than in wet season. Dindang site represented the roadside atmosphere had average PM2.5,  $65.35 \pm 18.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in wet season and  $129.56 \pm 38.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in dry season. Phayathai site represented the ambient atmosphere had average PM2.5,  $27.71 \pm 16.95 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in wet season and  $62.63 \pm 30.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in dry season and Phuttamonthol Sai 2 ,the control area , had average PM2.5,  $14.21 \pm 1.87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in wet season and  $32.40 \pm 9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in dry season. Coefficient of relation between PM2.5 and PM10 was 0.979. The level of PM10 could reflect the trend of PM2.5 quantity in the atmosphere. The major elements in PM2.5 were carbon, sulfur, and potassium . PM2.5 to 10 micron consists of ferrous, silica, and calcium. Quantitative of trace element composition in PM2.5 has Potassium  $1.3892 \mu\text{g}/\text{m}^3$  , Zinc  $0.4529 \mu\text{g}/\text{m}^3$  , Manganese  $0.1518 \mu\text{g}/\text{m}^3$  , Lead  $0.0576 \mu\text{g}/\text{m}^3$  and Copper  $0.0095 \mu\text{g}/\text{m}^3$  . Roadside atmosphere area has major element composition higher ambient area and control site respectively. However the variation of element composition was not directly related to the loading of particulate level. It could depend on the source apportionment and type of pollution rather than the concentration of particulate matters.

Inter - department Environmental Science

Field of study Environmental Science

Academic year 2000

Student' s signature.....

Advisor' s signature.....

Co-advisor' s signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. วนิตา จินศาสตร์ เป็นอย่างสูงในความกรุณาที่ท่านได้ให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ แก่ผู้วิจัย เป็นที่ปรึกษาและให้คำแนะนำอีกทั้งยังติดตามความก้าวหน้าของการวิจัยมาโดยตลอดช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นขณะทำการวิจัยจนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงได้

กราบขอบพระคุณดร.สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา ผู้อำนวยการกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ในความอนุเคราะห์สถานที่เก็บตัวอย่าง และเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างและคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิจัย

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ในฝ่ายติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง ที่ให้ความร่วมมือ ความช่วยเหลือแนะนำในด้านข้อมูลเป็นอย่างดี รวมทั้งคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยจากคุณสรารุช เทพานนท์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไปที่ให้คำแนะนำการใช้อุปกรณ์ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณคุณบุญเหลือ เกาถารชัย เจ้าหน้าที่ควบคุมเครื่อง SEM-EDX ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้คำแนะนำและช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมที่เปิดโอกาสให้ผู้วิจัยได้ศึกษาในระดับมหาบัณฑิต

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนการวิจัยบางส่วน

ขอขอบคุณสำหรับกำลังใจ กำลังใจ และกำลังสมองจากเพื่อน ๆ พี่ๆ และน้อง ๆ นิสิตสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

ขอขอบคุณพี่ ๆ และน้อง ๆ กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษที่สนใจสำหรับคำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัย

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความสนับสนุน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.7 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	5
2.2 การแพร่กระจายของอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง.....	5
2.2.1 ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม.....	7
2.2.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน.....	7
2.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	9
2.3.1 แหล่งกำเนิด.....	9
2.3.2 ลักษณะทางกายภาพของฝุ่น.....	11
2.3.3 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่น.....	12
2.3.4 การเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วย Dichotomous Air Sampler.....	16
2.4 ผลกระทบของฝุ่นละออง.....	20
2.4.1 ผลกระทบต่อสุขภาพ.....	20
2.4.2 ผลกระทบต่อทัศนวิสัย.....	21
2.4.3 ผลกระทบต่อพืช.....	21
2.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศ.....	22

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	26
3.1 การดำเนินการทดลอง.....	26
3.2 พื้นที่ศึกษา.....	26
3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	30
3.3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของ Dichotomous Air Sampler.....	30
3.3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนด้วย Dichotomous Air Sampler.....	34
3.4 การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก.....	39
3.5 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุ.....	44
3.5.1 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพ.....	44
3.5.2 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุเชิงปริมาณ ด้วย Atomic Absorption Spectroscopy(AAS) .....	45
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	47
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	48
4.1 ปริมาณของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน.....	48
4.2 สัดส่วนของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน ต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน.....	53
4.3 สัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน.....	53
4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	54
4.5 การวิเคราะห์ผลปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	55
4.5.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน กับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	55
4.5.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นเฉลี่ย ของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในแต่ละพื้นที่ศึกษา.....	56
4.5.3 การเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในช่วง 2 ฤดูกาล.....	57



สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.6 ผลการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพ.....	58
4.7 การศึกษาลักษณะของฝุ่นละอองโดยใช้กล้องจุลทรรศน์.....	64
4.8 ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานของฝุ่น โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบสแกน.....	65
4.9 ปริมาณธาตุองค์ประกอบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	68
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนกับ องค์ประกอบธาตุชนิดต่าง ๆ.....	78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	79
5.2 องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	80
5.3 ปริมาณของธาตุองค์ประกอบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	80
5.4 อภิปรายผล.....	82
5.5 ข้อเสนอแนะ.....	84
รายการอ้างอิง.....	85
ภาคผนวก.....	89
ภาคผนวก ก ผลปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน.....	90
ภาคผนวก ข สัดส่วนของ PM-2.5 ต่อ PM-10 และ PM2.5-10 ต่อ PM-10.....	97
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	100
ภาคผนวก ง ผลองค์ประกอบธาตุเชิงปริมาณ.....	106
ภาคผนวก จ มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศต่าง ๆ.....	111
ภาคผนวก ฉ การเปรียบเทียบความถูกต้องของ Dichotomous Air Sampler.....	112
ภาคผนวก ช ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์.....	127
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	135

## สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงการแพร่กระจายของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด.....	6
รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคขนาดละเอียด (fine) และอนุภาคขนาดหยาบ(Coarse) ในบริเวณเขตเมือง.....	8
รูปที่ 2.3 แสดงการแยกขนาดโดย Inlet head.....	17
รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการแยกขนาดอนุภาคของ Dichotomous Air Sampler.....	18
รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของอากาศเข้าสู่ Dichotomous Air Sampler.....	19
รูปที่ 3.1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 พื้นที่.....	27
รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างริมถนนอโศกดินแดง สถานีตำรวจวัด ของกรมควบคุมมลพิษที่ดินแดง.....	28
รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างที่บริเวณสำนักงานนโยบาย และแผนสิ่งแวดล้อม เขตพญาไท.....	28
รูปที่ 3.4 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพุทธมณฑลสายสอง.....	29
รูปที่ 3.5 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน Dichotomous Air Sampler.....	31
รูปที่ 3.6 แสดง Extended Inlet Tube.....	32
รูปที่ 3.7 แสดงการไหลของอากาศเข้าสู่ Dichotomous Air Sampler .....	33
รูปที่ 3.8 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น Dichotomous Air Sampler ใน 3 พื้นที่ศึกษา.....	35
รูปที่ 3.9 แสดงการเก็บตัวอย่าง PM 2.5 – 10 และ PM 2.5 โดยกระดาดกรองบน Filter holder ด้วยเครื่อง Dichotomous Air Sampler.....	36
รูปที่ 3.10 Dichotomous sampler field sheet.....	37
รูปที่ 3.11 การชั่งน้ำหนักกระดาดกรองเก็บตัวอย่าง.....	40
รูปที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในทั้ง 3 พื้นที่ตรวจวัด.....	54
รูปที่ 4.2 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองแสงองค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพของ กระดาดกรองแปลงค์.....	58
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองแสงองค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพที่ดินแดง(ฤดูแล้ง)....	59
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองแสงองค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพที่พญาไท(ฤดูแล้ง)...	60
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองแสงองค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพที่ พุทธมณฑลสายสอง(ฤดูแล้ง).....	61

## สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของอนุภาคฝุ่นขนาด 2.5 – 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ .....	66
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะสัณฐานของฝุ่นขนาด 2.5 – 10 ไมครอนและฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน .....	67
รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณ พื้นที่ศึกษาและพื้นที่ควบคุมทั้ง 3 บริเวณในช่วงฤดูฝน .....	77
รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน บริเวณ พื้นที่ศึกษา และพื้นที่ควบคุมทั้ง 3 บริเวณใน ช่วงฤดูแล้ง.....	77

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบหลักของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	10
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างฝุ่นในอากาศที่นำมาวิเคราะห์โดยน้ำหนัก.....	43
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยและพิสัยของปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในช่วงฤดูฝน.....	49
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยและพิสัยของปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงฤดูแล้ง.....	50
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่จับเก็บตัวอย่างทั้ง 3 บริเวณ ในช่วงฤดูฝน...	51
ตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนและ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่จับเก็บตัวอย่างทั้ง 3 บริเวณ ในช่วงฤดูแล้ง.....	52
ตารางที่ 4.5 สรุปร้อยละของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนต่อฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอน.....	53
ตารางที่ 4.6 ร้อยละของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอน.....	54
ตารางที่ 4.7 แสดงธาตุองค์ประกอบเชิงคุณภาพในฝุ่นขนาดละเอียด และขนาดหยาบ ในช่วงฤดูฝน.....	62
ตารางที่ 4.8 แสดงธาตุองค์ประกอบเชิงคุณภาพในฝุ่นขนาดละเอียด และขนาดหยาบ ในช่วงฤดูแล้ง.....	62
ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณองค์ประกอบธาตุในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	68
ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยร้อยละของโพแทสเซียมใน ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	69
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยร้อยละของตะกั่วในฝุ่น ขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	71
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยร้อยละของสังกะสีในฝุ่น ขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	72
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยร้อยละของทองแดงในฝุ่น ขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	74
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยร้อยละของแมงกานีสในฝุ่น ขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	75
ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน.....	76

## รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

มคก./ลบ.ม.	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
มล.ก./ลบ.ม.	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
AAS	Atomic Absorption Spectroscopy
Coarse particulate	ฝุ่นละอองที่มีขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน
EDX	Energy Dispersive X-Ray Fluorescence
Fine particulate	ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
One-way ANOVA	การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว
ND	Non-Detectable
PM <sub>2.5</sub>	ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
PM <sub>2.5-10</sub>	ฝุ่นละอองที่มีขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน
PM <sub>10</sub>	ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน
SEM	Scanning Electron Microscope
Sig	Significance
SITE 1	ดินแดง
SITE 2	พญาไท
SITE 3	พุทธมณฑลสายสอง
SPSS	Statistical Package for the Social Science
ppb	ส่วนในพันล้านส่วน (part per billion)
t – test	ค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน
TSP	ฝุ่นรวม(Total Suspended Particulate)
µm	ไมครอน
µg/m <sup>3</sup>	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานครปัจจุบันได้ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะปัญหา ฝุ่นละอองที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจนเกินระดับมาตรฐานในบางพื้นที่ สาเหตุของปัญหา ฝุ่นละอองมักเกิดจากการก่อสร้างอุตสาหกรรมความหนาแน่นของปริมาณการจราจร โดยเฉพาะในช่วงเวลาเร่งด่วนในย่านธุรกิจที่สำคัญต่าง ๆ แหล่งกำเนิดแต่ละประเภทก่อให้เกิด ฝุ่นละอองที่มีขนาด และองค์ประกอบ แตกต่างกันไป เมื่อมนุษย์ได้รับฝุ่นละอองเข้าสู่ร่างกาย โดยการหายใจ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กก่อให้เกิดผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจโดยเฉพาะอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เนื่องจากอนุภาคขนาดใหญ่จะถูกกรองไว้บริเวณระบบทางเดินหายใจส่วนต้น ส่วนอนุภาคขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนสามารถผ่านทะลุเข้าไปสู่ส่วนลึกของปอด อีกทั้งความรุนแรงของผลกระทบยังขึ้นอยู่กับธาตุที่ประกอบอยู่ในฝุ่นละออง เช่น สารประกอบของซัลเฟต คาร์บอน ไนเตรท และธาตุโลหะต่าง ๆ ซึ่งสารเหล่านี้ ส่วนใหญ่มีอยู่ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ธาตุหรือสารเคมีที่ปนมากับฝุ่นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ถึงกับเสียชีวิตได้ นอกจากนี้ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ยังมีส่วนสำคัญในการก่อให้เกิดปัญหาทางทัศนวิสัยอีกด้วย

ฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ มีองค์ประกอบธาตุที่แตกต่างกัน เช่น ฝุ่นที่เกิดโดยธรรมชาติได้แก่ฝุ่นจากการสึกกร่อนของดิน การเกิดไฟป่า มักจะประกอบด้วยอลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีสเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นทั้งอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ ฝุ่นจากการสึกกร่อนของหินแรมักประกอบด้วยธาตุอลูมิเนียม ซิลิกอน โพแทสเซียม แมงกานีส และเหล็ก ส่วนฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์เช่น จากอุตสาหกรรม การจราจรขนส่ง มักปล่อยฝุ่นขนาดเล็กมีธาตุต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบ เช่น ธาตุทองแดง สังกะสี นิกเกิล วานาเดียม แคลเซียม และตะกั่วในปริมาณสูงกว่าฝุ่นที่เกิดโดยธรรมชาติ จะเห็นได้ว่าฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ มักมีธาตุที่เป็นโลหะหนักซึ่งเมื่อได้รับในปริมาณมาก หรือได้รับอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานอาจมีผลต่อสุขภาพทำให้กลไกการทำงานของร่างกายผิดปกติได้

ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ก่อให้เกิดผลกระทบในด้านต่าง ๆ ทั้งต่อ สภาวะแวดล้อม เช่นก่อให้เกิดปัญหาทางด้านทัศนวิสัย และต่อสุขภาพ ฉะนั้นการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณฝุ่นรวมในอากาศ(Total Suspend Particulate;TSP)จึงไม่สามารถบอกถึงความปลอดภัยของสุขภาพและสภาวะแวดล้อมได้ต่อมาจึงมีการกำหนด มาตรฐานฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเพิ่มขึ้นอีก โดยกำหนดให้ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงเท่ากับ 120 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร แต่ในปัจจุบันยังไม่มีกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก

กว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นละอองที่มีสัดส่วนอยู่ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในปริมาณมาก และสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่จะทำการศึกษาถึงปริมาณ และองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งยังไม่เคยมีการติดตามตรวจสอบอย่างกว้างขวางมาก่อน การศึกษานี้มุ่งหาข้อมูลเพื่อให้เป็นแนวทางประเมินผลความเสี่ยงจากมลพิษทางอากาศที่มีต่อสุขภาพและสภาพแวดล้อม และเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางมาตรการลดและควบคุมมลพิษทางอากาศต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. หาปริมาณและชนิดขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในเขตกรุงเทพมหานคร
2. ศึกษาผลของฤดูกาลกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณและชนิดขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

## 1.3 สมมติฐาน

ปริมาณและองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนของแต่ละบริเวณในเขตกรุงเทพมหานครมีความแตกต่างกัน และขึ้นอยู่กับฤดูกาล

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

### 1. พื้นที่ศึกษา

เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานคร 2 พื้นที่ คือจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศริมถนนที่ดินแดง และจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศทั่วไปบริเวณสำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม เขตพญาไท โดยใช้พื้นที่ควบคุมที่พุทธมณฑลสายสอง

### 2. ช่วงเวลาที่ใช้ในการศึกษา

ทำการศึกษาใน 2 ช่วงเวลา คือ

- ช่วงฤดูฝน เดือนพฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน 2542 และ กรกฎาคม 2543
- ช่วงฤดูแล้ง ประมาณเดือนพฤศจิกายน 2542 ถึง มีนาคม 2543

### 1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

อนุภาคมลสาร(Particulate matter) คือมลสารใด ๆ ในบรรยากาศซึ่งอยู่ในสภาพของแข็งหรือของเหลวที่อุณหภูมิต่ำและความดันปกติ ยกเว้นไอน้ำ โดยมีแหล่งกำเนิดทั้งโดยธรรมชาติและจากกิจกรรมมนุษย์ อนุภาคมลสารมีขนาดตั้งแต่ 200 ไมครอน ลงไปถึงต่ำกว่า 0.1 ไมครอน คำที่ใช้เรียกทั่วไปได้แก่ ละอองไอ ผุ่น ควัน ฟุ่ม เขม่า (ประโพธิ์ อุปถัมภ์: 2540)

Baron และ Willeke (1993) ได้ให้คำนิยามและความหมายทั่วไปที่เกี่ยวข้องดังนี้

ละอองไอ(aerosol) คืออนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยในตัวกลางที่เป็นก๊าซเป็นระยะเวลายาวนานพอที่จะสามารถสังเกตหรือตรวจวัดได้ โดยทั่วไปขนาดของอนุภาคละอองไออยู่ในช่วงระหว่าง 0.001-100 ไมครอน

ผุ่น (dust) คืออนุภาคของแข็งที่เกิดขึ้นจากกลไกการแตกของวัสดุขนาดใหญ่ เช่น การบด การโม่ การระเบิด การขุดเจาะ ทำให้ผุ่นฟุ้งกระจายสู่อากาศโดยอนุภาคทั่วไปจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอ และมีขนาดใหญ่กว่า 0.5 ไมครอน

ฟุ่ม(fume) คืออนุภาคที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้หรือการควบแน่นของไอซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเคมีบางอย่าง ฟุ่มที่เกิดขึ้นมักจะเป็นผลมาจากการเผาไหม้ และกระบวนการอื่น ๆ ที่อุณหภูมิสูง

ควัน(smoke) คือละอองไอของของแข็งหรือของเหลวที่เกิดจากการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของ เชื้อเพลิง หรือจากการกลั่นตัวของไอระเหยในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวด โดยส่วนใหญ่จะเป็นอนุภาคขนาดเล็กกว่า 15 ไมครอน

เขม่า (soot) คืออนุภาคขนาดเล็กมากของคาร์บอนหรือของอนุภาคที่มีคาร์บอนอยู่ในปริมาณสูงรวมตัวกันอยู่มักเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงแบบไม่สมบูรณ์

หมอกหรือละออง(fog or mist) คือละอองไอของของเหลวที่ฟุ้งกระจายในอากาศเกิดจากการกลั่นตัวของไอระเหยในสภาวะอิ่มตัวยิ่งยวดเป็นของเหลวในรูปละอองไอเล็กๆ

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10) เป็นฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อสุขภาพเนื่องจากสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ(respirable particulate)ของมนุษย์ได้

ฝุ่นละอองขนาดหยาบ (Coarse Particulate) คือฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วง 2.5 ถึง 10 ไมครอน (PM<sub>2.5-10</sub>)

ฝุ่นละอองขนาดละเอียด (Fine Particulate) คือฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน(PM<sub>2.5</sub>)



## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำไปใช้วิเคราะห์แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองเพื่อประเมินแนวทางการควบคุม และแก้ไขปัญหา มลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก
2. ใช้เป็นข้อมูลประกอบการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
3. สามารถใช้เป็นข้อมูลประกอบการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านมลภาวะอากาศที่เกิดจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก

## 1.7 วิธีดำเนินการวิจัย

### 1. การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยใช้ Dichotomous Air Sampler โดยกระดาดกรองเทฟลอนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร จำนวน 2 แผ่น เก็บอนุภาคส่วนละเอียด(fine particle) และอนุภาคส่วนหยาบ(coarse particle) ในบริเวณ พื้นที่ศึกษา 2 บริเวณ บริเวณละ 30 ตัวอย่าง และบริเวณพื้นที่ควบคุม 10 ตัวอย่าง ทำการ เก็บตัวอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง

### 2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 –10 ไมครอน และ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า10 ไมครอนดังนี้

2.1 วิเคราะห์ปริมาณด้วยวิธีชั่งน้ำหนัก (Gravimetric method)

2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพด้วย Energy Dispersive X-ray Fluorescence(EDX)

2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงปริมาณด้วย Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

### 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนด้วย Regression Analysis

3.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ระหว่างพื้นที่ศึกษา และพื้นที่ควบคุม โดยใช้ T - test

3.3 เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ระหว่าง ฤดูฝน และฤดูแล้ง ด้วย T – test

3.4 เปรียบเทียบปริมาณของธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ระหว่างพื้นที่ศึกษา และพื้นที่ควบคุมด้วย Multiple Regression Analysis

### 4. รวบรวมข้อมูลและสรุปผลการศึกษา

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

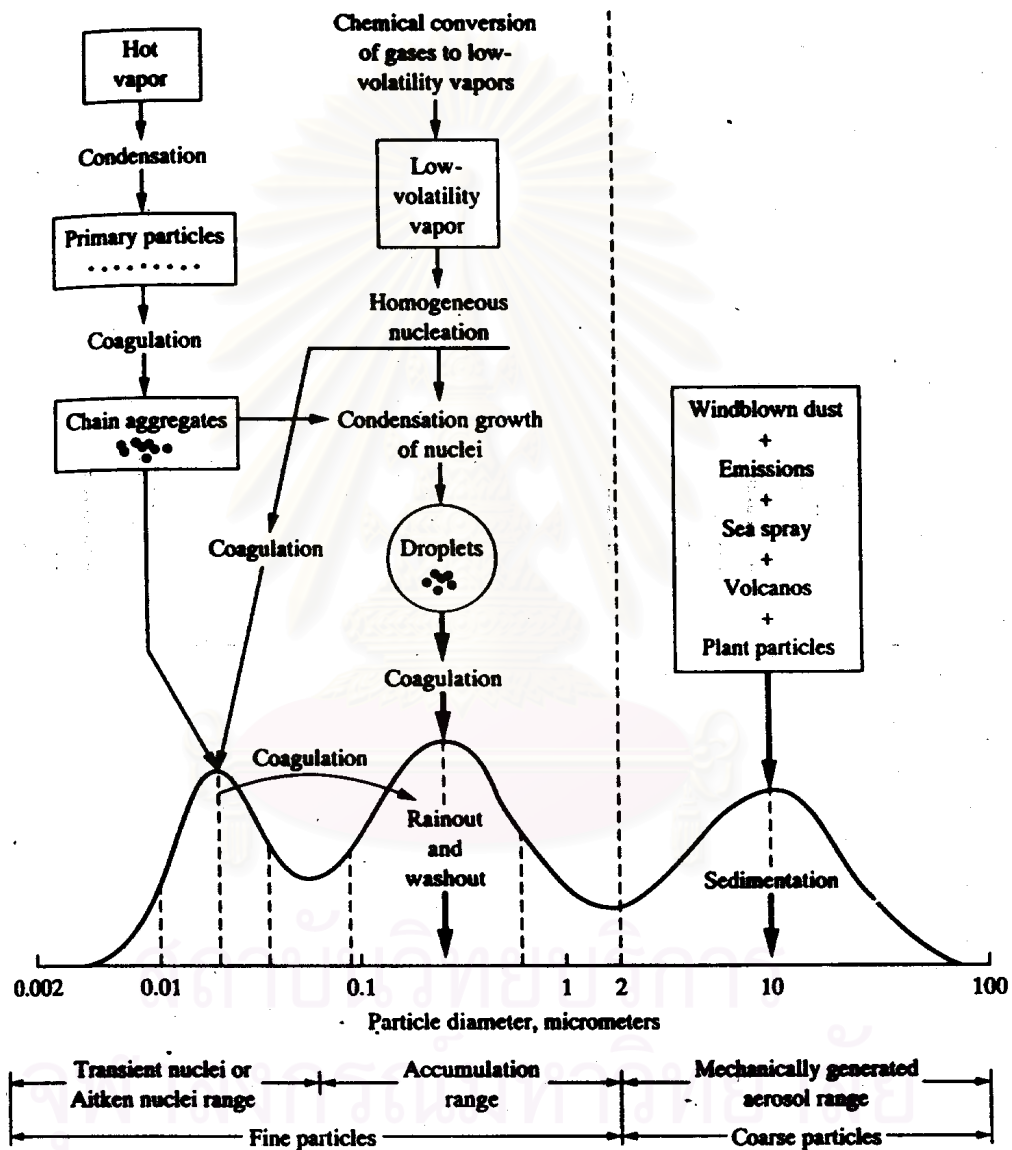
#### 2.1 แนวคิดและทฤษฎี

อนุภาคมลสาร (Particulate Matter) ในบรรยากาศที่เกิดขึ้นถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดทั้งแหล่งกำเนิดโดยทางธรรมชาติ เช่นภูเขาไฟ ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองน้ำทะเล (sea spray) ไฟป่า และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่นจากการจราจร การอุตสาหกรรม และการก่อสร้าง โดยอนุภาคมลสารที่ถูกปลดปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดโดยตรงแล้วแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ เรียกว่า ฝุ่นละอองปฐมภูมิ (primary particulate) ต่อมาอนุภาคมลสารถูกพัดพาไปโดยกระแสลมทำให้อนุภาคมลสารสามารถเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในบรรยากาศเกิดเป็นฝุ่นละอองที่มีลักษณะ คุณสมบัติ และองค์ประกอบที่แตกต่างไปจากเดิม เรียกว่า ฝุ่นละอองทุติยภูมิ (secondary particulate) กระบวนการเกิดและกำจัดอนุภาคในอากาศเกิดขึ้นตลอดเวลาและอย่างต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับลักษณะทางภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และสภาพทางอุตุนิยมวิทยา เมื่ออนุภาคถูกปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดออกสู่อากาศ อนุภาคจะถูกควบคุมโดยกระบวนการต่าง ๆ ของพฤติกรรมเชิงพลวัต (dynamic behavior) ซึ่งได้แก่ การตกตะกอน (sedimentation) การแพร่ (diffusion) การรวมตัว (coagulation) นอกจากนี้ อนุภาคยังอาจเกิดอันตรกิริยาเชิงเคมี กับองค์ประกอบเคมีในสถานะก๊าซซึ่งอยู่รอบๆ และอนุภาคยังอาจถูกกำจัดออกจากอากาศได้โดยกระบวนการนิวเคลียชัน (nucleation process) โดยผลการชะล้างของฝน หิมะ หรือถูกเก็บในบรรยากาศ

#### 2.2 การแพร่กระจายของขนาดอนุภาคฝุ่นขนาดต่าง ๆ

วิธีที่ง่ายที่สุดสำหรับแสดงลักษณะการแจกแจงตามขนาดอนุภาคของตัวอย่าง ที่มีอนุภาคขนาดต่าง ๆ กันคือการแบ่งขนาดอนุภาคออกเป็นช่วง ๆ ตามลำดับของขนาด ฝุ่นละอองในอากาศมีขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ขนาดประมาณ  $6 \times 10^{-4}$  ถึง  $10^3$  ไมครอน คุณสมบัติของอนุภาคขึ้นกับขนาดของอนุภาค อนุภาคของแข็งมักอยู่ในรูปร่างที่ซับซ้อน และอยู่ในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบและลักษณะของอนุภาค โดยทั่วไปมักอนุมานกันว่าทุกอนุภาคมีรูปร่างเป็นทรงกลม กำหนดขนาดของอนุภาคตามความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม มีหน่วยเป็นไมโครเมตร ( $10^{-6}$  เมตร) รูปที่ 2.1 แสดงการแจกแจงขนาดของอนุภาคในบรรยากาศและกลไกการเกิดละออง ซึ่งพบว่าฝุ่นละอองที่มีสัดส่วนมากเป็นพวกฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน โดยทั่วไปเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น พกซัลเฟต จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และฝุ่นตะกั่วจากไอเสียของยานพาหนะ ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 ไมครอนส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจาก

ธรรมชาติ โดยทั่วไปมักจะนิยมแบ่งอนุภาคออกเป็น 3 ช่วงขนาด ได้แก่ ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (Total Suspended Particulate:TSP) มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 0 - 100 ไมครอน ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน( $PM_{10}$ ) และฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ )



รูปที่ 2.1 แสดงการแพร่กระจายของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด

ที่มา : Particles in Our Air ,1996

2.2.1 ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม(Total Suspended Particulate) อนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งที่พบในอากาศ(ยกเว้นไอน้ำ) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.005 ไมครอนถึง 100 ไมครอน แหล่งกำเนิดโดยธรรมชาติมักเกิดจากการฟุ้งกระจายของดิน ทราศที่พื้นผิวดิน และสถานที่ก่อสร้าง(fugitive dust) โดยลมพัดจากพื้นดิน โดยส่วนใหญ่ประกอบด้วย ซิลิกาเป็นจำนวนมาก ฝุ่นละอองทางชีวภาพ(bioaerosol)เช่น สปอร์ ละอองเกสรของพืชต่าง ๆ ส่วนฝุ่นละอองรวมที่พบบริเวณเขตเมืองโดยทั่วไปเป็นการแพร่กระจายแบบปฐมภูมิ จากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงทั้งจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และ กิจกรรมอื่น ๆ ส่วนฝุ่นทุติยภูมิมาจากการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบซัลเฟอร์ ไนโตรเจน และก๊าซอื่น ๆ ไปอยู่ในรูปของอนุภาค นอกจากนี้อาจถูกนำพาขึ้นสู่อากาศอีกครั้งโดยฝุ่นดินจากพื้นโดยการจราจรบนท้องถนน ฝุ่นละอองแขวนลอยรวมมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ในส่วนลึกได้ ดังนั้นฝุ่นละอองรวมจึงถูกกำจัดออกโดยระบบทางเดินหายใจส่วนต้น เช่น ถูกดักหรือกรองไว้ภายในช่องจมูก และถูกนำออกจากระบบทางเดินหายใจได้โดยการไอหรือจาม นอกจากนี้ฝุ่นละอองแขวนลอยรวมมักทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบประสาทสำหรับความรู้สึกของร่างกาย เนื่องจากในฝุ่นมีสารพิษ เช่น ตะกั่ว แมงกานีส สารหนู ฯลฯ ซึ่งทำให้ ตา จมูก คอ เกิดการระคายเคืองและอักเสบได้

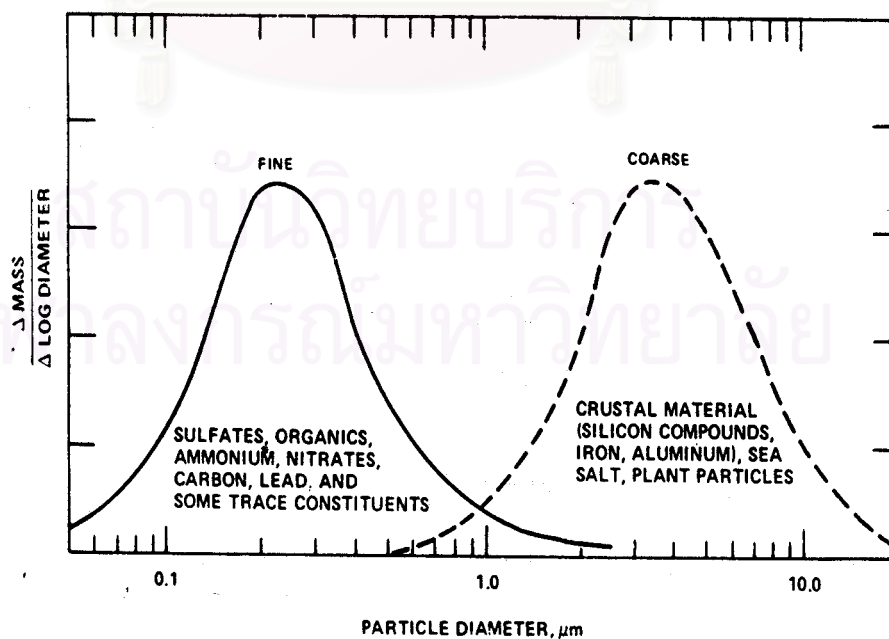
### 2.2.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน(PM10)

เป็นสารมลพิษทางอากาศที่มีความสำคัญ ประกอบด้วยอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งขนาดเล็กได้แก่ ฝุ่น(dust) ควัน(smoke) ฟุ่ม(fume) เขม่า(soot) ประกอบด้วยมลสารหลายชนิดผสมผสานกัน และมีองค์ประกอบเคมีที่แตกต่างกัน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเกิดจากแหล่งกำเนิดหลายชนิด (Brook et.al. :1997) ฝุ่นที่เกิดจากธรรมชาติ เช่นฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองไอของทะเล(sea spray) ส่วนฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิง โดยเฉพาะจากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซล การเผาไหม้แบบเปิด เช่นการเผาขยะ การเผาของเสียจากเกษตรกรรม(หญ้า ฟาง) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายในอาคาร(Indoor particle) จากกระบวนการอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองเช่น โรงไม้หิน โรงงานปูนซีเมนต์ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มักจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ และรวมกับขี้เถ้าปลิว(fly ash)จากโรงไฟฟ้า ควันดำจากรถยนต์ หรือเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และเขม่าจากเตาเผาและการเผาไม้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจากแหล่งกำเนิดเหล่านี้มีปริมาณคาร์บอนที่เป็นทั้งคาร์บอนอินทรีย์(organic carbon) และคาร์บอนอนินทรีย์(Elemental carbon) ในปริมาณสูงซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เมื่อมนุษย์ได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจจะสามารถ เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้(Respirable Particulate) จึงสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ถูกแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงขนาด คืออนุภาคส่วนหยาบ (Coarse fraction particulate) และอนุภาคส่วนละเอียด(fine fraction particle) ซึ่งโดยทั่วไป

อนุภาคแต่ละส่วนจะมีแหล่งกำเนิด องค์ประกอบทางเคมี และพฤติกรรมในอากาศ(behavior in the air) ที่แตกต่างกัน

อนุภาคส่วนหยาบ(Coarse fraction particle) คืออนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 2.5 ถึง 10 ไมครอน อนุภาคส่วนหยาบนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่นอนุภาคที่มาจากฝุ่นดิน(windblown soil dust) เป็นฝุ่นละอองปฐมภูมิ ซึ่งถูกปลดปล่อยออกสู่อากาศโดยตรง และไม่ถูกเปลี่ยนแปลงโดยปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นอนุภาคส่วนหยาบนี้สามารถถูกจำแนกแหล่งกำเนิดของ องค์ประกอบทางเคมีได้เป็นอย่างดี เนื่องจากองค์ประกอบของมันมีการเปลี่ยนแปลงได้น้อยมากขณะที่อยู่ในอากาศ อนุภาคส่วนหยาบบางส่วนถูกสร้างขึ้นโดยกระบวนการเชิงกล(mechanical process) เช่น การบด การโม่ หรือการทำให้เป็นผงจากการก่อสร้าง การรื้อถอนทำลาย การระเบิดหิน และ อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ฝุ่นจากถนนที่ไม่ได้ปูพื้นยาง และการสึกกร่อนของดิน โดยการพัดพาของลม อนุภาคนี้โดยทั่วไปมาจากเปลือกโลก สิ่งเหล่านี้สะท้อนให้เห็นว่าแหล่งกำเนิดธรรมชาติเป็นตัวทำให้เกิดอนุภาคส่วนหยาบ องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคส่วนหยาบนี้ ส่วนใหญ่จะพบเป็น crystalline oxide เช่น เหล็ก อลูมิเนียม ซิลิกอน แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ส่วนสารประกอบอินทรีย์มักประกอบด้วย wax ,fatty acid ส่วนธาตุที่พบในอนุภาคส่วนหยาบส่วนใหญ่จะเป็น ซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียม ในปริมาณสูง ดังรูป 2.2

อนุภาคส่วนละเอียด(Fine fraction particulate) คืออนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน หรือเรียกว่า  $PM_{2.5}$



รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคขนาดละเอียด(fine) และอนุภาคขนาดหยาบ(coarse) ในบริเวณเขตเมือง

### 2.3 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) หรือ Fine particulate เป็นอนุภาคของแข็ง กิ่งแข็ง ที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (semi-volatile) โดยส่วนใหญ่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน จะประกอบด้วย secondary particulate โดยอนุภาคส่วนละเอียดเกิดขึ้นในอากาศเมื่อ ก๊าซต่าง ๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ( $\text{SO}_2$ ) ไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) และสารประกอบ อินทรีย์ที่ระเหยได้ (Volatile Organic Compound; VOC) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ถูก เปลี่ยนรูปในอากาศโดยปฏิกิริยาเคมีและฟิสิกส์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะก๊าซไปอยู่ ในรูปของอนุภาค (gas-to-particle conversion) (Earle P. et al :1998) อนุภาคส่วนละเอียดถูก สร้างขึ้นครั้งแรกโดยกระบวนการเผาไหม้ หรือปฏิกิริยาเคมีทุติยภูมิในบรรยากาศ (Brook 1997; wollff 1996)

อนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิ (Primary Fine Particulate) เกิดขึ้นโดยกระบวนการเผาไหม้ใน 2 วิธี

- (1) การควบแน่นของก๊าซหรือไอระเหย บนอนุภาคในสถานะที่มีอุณหภูมิสูง
- (2) homogeneous nucleation (ถ้าความเข้มข้นของก๊าซหรือไอระเหยสูงมากพอ) โดยอนุภาค จากแหล่งที่มีการเผาไหม้จะปล่อยอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิออกสู่บรรยากาศโดยตรง ต่อมาเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ ในบรรยากาศเกิด อนุภาคละเอียดทุติยภูมิขึ้น

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเกิดจาก 3 กระบวนการ

- (1) การเกิดปฏิกิริยากันระหว่างโมเลกุลก๊าซแล้วเปลี่ยนรูปเป็นอนุภาคชนิดใหม่
- (2) การรวมตัว (coagulation) ของอนุภาคสองอนุภาคไปเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น
- (3) อันตรกิริยา (interaction) ของอนุภาคก๊าซ (gas-particle) กับก๊าซที่ถูกดูดซับ และดูดซึม ลงบนผิวอนุภาค ปฏิกิริยานี้เกี่ยวข้องกับก๊าซเริ่มต้น เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compound)

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนประกอบด้วยอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิ (primary fine particle) และ อนุภาคส่วนละเอียดทุติยภูมิ (secondary fine particle) ผสมกันอยู่ โดยทั้งอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิ และอนุภาคส่วนละเอียดทุติยภูมิมีช่วงเวลาที่อยู่ในอากาศ เป็นระยะเวลายาวนานเป็นวันหรือสัปดาห์ และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ใน ระยะไกล (100-1000 กิโลเมตร) (US.EPA. :1999) โดยมีแนวโน้มที่จะแพร่กระจายแบบ uniform ในบริเวณเขตเมืองจึง เป็นการยากที่จะสำรวจย้อนกลับไปที่แหล่งกำเนิด

#### 2.3.1 แหล่งกำเนิด

แหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน คือแหล่งกำเนิดที่มาจาก กิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลจากโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม จากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซล เช่นรถบรรทุก การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวภาพ เช่นการเผา ของเสียจากการเกษตร (ฟาง, หญ้า) การเผาถ่าน นอกจากนี้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

บางส่วนเป็นอนุภาคที่เกิดโดยธรรมชาติ เช่นฝุ่นละอองทางชีวภาพ(bioaerosol) เช่น แบคทีเรีย ไวรัส และendotoxin

แหล่งกำเนิดแต่ละชนิดดังที่ได้กล่าวไปแล้วได้ปลดปล่อยองค์ประกอบทางเคมีชนิดต่าง ๆ องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของอนุภาคทุติยภูมิคือแอมโมเนียมซัลเฟตและแอมโมเนียมไนเตรท ดังนั้น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนตริกออกไซด์ และแอมโมเนีย เป็นสารประกอบเริ่มต้น (precursor) ที่สำคัญของอนุภาคทุติยภูมิ(ซึ่งได้แก่ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไนเตรท) การเผาไหม้ของ เชื้อเพลิงฟอสซิลจากโรงไฟฟ้า โรงงาน อุตสาหกรรม ยานพาหนะ การเผาของเสียจากการเกษตร และการเผาไหม้อื่น ๆ เป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของสารประกอบซัลเฟต ไนเตรท กรด สารอินทรีย์คาร์บอน(organic carbon) และอนินทรีย์คาร์บอน(elemental carbon) ธาตุปริมาณน้อย(trace element) แอมโมเนีย และน้ำ ซึ่งอนุภาคทุติยภูมิดังกล่าวเป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

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

ฝุ่นที่อยู่ในอากาศในเขตบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล มีแหล่งกำเนิดหลัก 4 ประเภท ด้วยกัน คือ ยานพาหนะทางบก การก่อสร้างประเภทต่าง ๆ กิจกรรมการบรรทุกและขนส่งวัสดุก่อสร้าง โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และสถานประกอบการ และการเผาวัสดุในที่แจ้ง ดังมีรายละเอียดดังนี้

#### ยานพาหนะทางบก

ยานพาหนะทางบกได้แก่รถประเภทต่าง ๆ โดยฝุ่นเป็นสารมลพิษทางอากาศประเภทหนึ่งที่เกิดขึ้นและระบายออกมาทางท่อไอเสียทั้งในรูปควันดำและควันขาว แหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญคือรถที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งระบายฝุ่นออกสู่อากาศในรูปของควันดำที่หลงเหลือจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ และจักรยานยนต์ 2 จังหวะซึ่งระบายฝุ่นออกสู่อากาศในรูปของควันขาว เป็นละอองไอของน้ำมันหล่อลื่น

### การก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

การก่อสร้างประเภทต่าง ๆ เช่นการก่อสร้างอาคาร ถนน ระบบขนส่งมวลชน และระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ สามารถที่จะก่อให้เกิดฝุ่นดิน ทราย ปูนซีเมนต์ หินและฝุ่นที่เกิดขึ้นจากวัสดุก่อสร้างต่าง ๆ ฝุ่นกระจายไปในอากาศได้ โดยเกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของการก่อสร้าง เช่น การขุด การเจาะ การเปิดหน้าดิน การผสมปูนซีเมนต์ การเก็บกวาด การบรรทุกขนส่งวัสดุก่อสร้าง การที่มีเศษดิน หินทราย ตกหล่นและสะสมอยู่บนพื้นในบริเวณที่ก่อสร้าง

### การบรรทุกและขนส่งวัสดุก่อสร้าง

การบรรทุกและขนส่งวัสดุก่อสร้างมักจะไม่มีมีการปกคลุมให้มิดชิดด้วยผ้าใบ หรือวัสดุอื่น ๆ ที่ให้ฝุ่นละอองเกิดการฟุ้งกระจายออกจากตัวรถออกมาสู่ชุมชนและถนน ถ้ารถที่ใช้ในการบรรทุกไม่มีการดูแลรักษาเครื่องยนต์จะก่อให้เกิดควันดำขึ้นได้

### โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และสถานประกอบการต่าง ๆ

ฝุ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และสถานประกอบการต่าง ๆ เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานเพื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิต และเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเองด้วย ปริมาณฝุ่นที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม เชื้อเพลิงที่ใช้ และการควบคุมการเผาเชื้อเพลิงในเตา ชนิดของวัตถุดิบที่ใช้ กระบวนการผลิต และระบบกำจัดฝุ่นที่ใช้

### การเผาวัสดุในที่โล่งแจ้ง

ได้แก่การเผาขยะมูลฝอยหรือวัสดุสิ่งต่าง ๆ การเผาหญ้า การเผาเศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตร การเผาหญ้าและวัชพืชเพื่อปรับปรุงพื้นที่สำหรับการเพาะปลูก ในที่กลางแจ้ง ซึ่งจะเกิดเขม่าขี้เถ้าเป็นจำนวนมากฟุ้งกระจายไปในอากาศและลอยไปตามกระแสลมแผ่ปกคลุมเป็นพื้นที่กว้าง

### 2.3.2 ลักษณะทางกายภาพของฝุ่น

เนื่องจากฝุ่นละอองที่ถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศนั้น มีแหล่งที่มาที่แตกต่างกัน ทำให้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันทั้งขนาด รูปร่าง ความหนาแน่น องค์ประกอบทางเคมี การเกาะตัวกัน (Cohesiveness) และโครงสร้าง นอกจากนั้นในขณะที่อยู่ในบรรยากาศอาจเกิดการกระทำหรือเกิดปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้เกิดความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น ฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศจะมีการเคลื่อนที่ในลักษณะที่ไม่เป็นระเบียบ การแพร่กระจายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งโดยอาศัยลมพัดพาไป ดังนั้นลักษณะทางภูมิประเทศภูมิอากาศ และสภาพทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) จะมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนย้าย หรือ การแพร่กระจายของฝุ่นละอองมากที่สุด

โดยทั่วไปธรรมชาติจะมีขบวนการที่จะลดจำนวนฝุ่นในบรรยากาศลง เช่น การเกิดฝนตก ฟ้าคะนอง ขบวนการเช่นนี้จะทำให้ฝุ่นละอองเกิดการจับตัวกัน(wash out) โดยรวมกับเมฆ และตกลงมาพร้อมกับฝน หรือฝุ่นละอองจะถูกชะล้างโดยน้ำฝน (rain out) สำหรับฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่จะเกิดการตกลงมาเองเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก(Gravitational settling)



### 2.3.3 องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่น

ฝุ่นละอองในบรรยากาศจะมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และเนื่องจากฝุ่นละอองมีที่มาจากแหล่งต่าง ๆ กัน นอกจากนั้นสภาพภูมิอากาศ และลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาจะมีผลต่อการแพร่กระจายของฝุ่นละอองด้วย ดังนั้นทั้งรูปร่าง ขนาด โครงสร้างการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี การเกาะกันเป็นก้อน(Coagulation) การควบแน่น(Condensation) การระเหย(Evaporation) การดูดซับ (Absorption) จะเกิดขึ้นตลอดเวลา ซึ่งจะมีผลต่อการแพร่กระจาย(Diffusion) และการตกลงสู่พื้นดินของฝุ่นละออง จากสภาพเหล่านี้จะทำให้ทั้งปริมาณ และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองเปลี่ยนแปลงไปด้วย มวลของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนส่วนใหญ่ในเขตเมืองและเขตชานเมืองจะหมายถึงการรวมตัวกันขององค์ประกอบทางเคมีต่อไปนี้ ซึ่งอยู่ทั้งในรูปฝุ่นละอองปฐมภูมิ และทุติยภูมิ

สารประกอบซัลเฟต (sulfate compound) ในอากาศอยู่ทั้งในรูปที่เป็นอนุภาคปฐมภูมิ และทุติยภูมิ โดยรูปทั่วไปของสารประกอบซัลเฟตที่พบมากในฝุ่นละอองในอากาศ คือ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และกรดซัลฟูริก สารประกอบนี้สามารถละลายน้ำได้ และส่วนใหญ่ถูกผลิตโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปเป็นซัลเฟตในฝุ่นละออง แหล่งกำเนิดของซัลเฟอร์ไดออกไซด์มาจากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง

สารประกอบไนเตรต (Nitrate compound) ที่พบในฝุ่นละอองมากที่สุดคือ แอมโมเนียม ไนเตรต ซึ่งเป็นสารประกอบที่เกิดมาจากการเปลี่ยนรูปกลับไปมาระหว่างก๊าซและอนุภาค (gas-to-particle equilibrium) ระหว่างก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และฝุ่นแอมโมเนียมไนเตรต เนื่องจากสมดุลสามารถผันกลับได้ อนุภาคที่ประกอบด้วยแอมโมเนียมไนเตรตสามารถระเหยสู่อากาศหลังจากการเก็บตัวอย่างแล้วได้ขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

สารประกอบแอมโมเนียม (Ammonium compound) สารประกอบแอมโมเนียมที่พบมากในอากาศอยู่ในรูป แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรต แอมโมเนียมซัลเฟต และแอมโมเนียมไบซัลเฟตเกิดมาจากปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟูริกและแอมโมเนียที่ไม่สามารถผันกลับได้ แอมโมเนียมในอากาศเป็นก๊าซปฐมภูมิพื้นฐาน(primary basic gas) แหล่งกำเนิดสำคัญของแอมโมเนียคือของเสียจากสัตว์ การปลดปล่อยจากดิน การแพร่ของก๊าซแอมโมเนียของปุ๋ยในดิน

คาร์บอนอินทรีย์ (organic carbon) สารอินทรีย์ที่พบในฝุ่นละอองเป็นการรวมตัวกันของ สารประกอบนับพันชนิดโดยประกอบด้วยสารประกอบของคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม การวิเคราะห์คาร์บอนอินทรีย์(organic carbon)ในอากาศทำได้ยาก เนื่องจากสารประกอบกึ่งระเหยได้(semi-volatile)ของคาร์บอนอินทรีย์(organic carbon) จึงต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์หลายขั้นตอน แหล่งกำเนิดของคาร์บอนอินทรีย์(organic carbon)มาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ฝุ่นจากถนน และปฏิกิริยาโฟโตเคมีคอล

คาร์บอนอินทรีย์ (elemental carbon) หรือ black carbon เป็นสารประกอบที่ใช้ติดตามตรวจสอบ(tracer) ฝุ่นละอองที่มาจากการเผาไหม้ต่าง ๆ ส่วนฝุ่นดินและฝุ่นจากทะเลมีคาร์บอนอินทรีย์ปริมาณเล็กน้อย ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์แปรผันตามปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ และการแบ่งแยกทั้งคาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอินทรีย์ขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์ที่ใช้เช่น Thermal optical analysis method

น้ำ (water) สามารถทำละลายสารประกอบในเตรท ซัลเฟต แอมโมเนียม โซเดียม สารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ได้ โดยบางชนิดดูดซับไอน้ำมาจากอากาศโดยเฉพาะเมื่ออากาศมีความชื้นเกิน 70 เปอร์เซ็นต์(กรดซัลฟูริกมีความสามารถดูดน้ำได้ดี ) ฝุ่นละอองที่ประกอบด้วยสารประกอบดังกล่าวเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้น(droplet mode) จะเข้าร่วมตัวกับน้ำ

Geological Material ฝุ่นแขวนลอยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย ออกไซด์ของอลูมิเนียม ซิลิกอน แคลเซียม ทิทาเนียม เหล็ก และโลหะออกไซด์อื่น ๆ กระบวนการรวมตัวที่แท้จริงขององค์ประกอบนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการทางธรณีวิทยา และกระบวนการทางออคูนิยมนวิทยา ธาตุที่พบโดยการวิเคราะห์โดยการเรืองรังสีเอกซ์ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนคือ ซัลเฟอร์ และอลูมิเนียม โดยธาตุหลังมักพบบ่อยในรูปของฝุ่นดิน(clay) เป็นอูมิโนซิลิเกต ส่วนธาตุอื่นๆ ที่น่าสนใจเนื่องจากความเป็นพิษของมันคือ อาร์เซนิก โครเมียม ตะกั่ว แมงกานีส นิกเกิล ซิลิเนียม วานาเดียม โดยโพแทสเซียมจะถูกวิเคราะห์เป็นองค์ประกอบของvegetation

### ตะกั่ว

ตะกั่วเป็นโลหะธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.2 และอยู่ในกลุ่มธาตุหมู่ IV A ของตารางธาตุ มีวาเลนซ์ได้หลายระบบ เช่น 1, 2 และ 4 แต่ตะกั่วส่วนมากจะอยู่ในสภาวะวาเลนซ์ 2 ซึ่งเสถียรมากที่สุด

แหล่งกำเนิด ปัจจุบันปัญหาของพิษจากสารตะกั่วยังเพิ่มมากขึ้นและพบได้บ่อยขึ้น มีการพบสารตะกั่วทั้งในอากาศ ดิน น้ำ พืช และเครื่องอุปโภคบริโภคในครัวเรือน ทำให้มนุษย์มีโอกาสสัมผัสหรือรับสารตะกั่วได้มากยิ่งขึ้น เราใช้ตะกั่วทำแบตเตอรี่รถยนต์ เคลือบสายเคเบิล เชื่อมโลหะ ทำท่อโลหะผสม ทำจากกันรังสีเอกซ์ ใช้ทำเป็นสีทาสี และยาฆ่าแมลงบางชนิด

ตะกั่วเตตราเอทิล(Tetraethyl lead,  $Pb(C_2H_5)_4$ ) และตะกั่วเตตราเมทิล (Tetramethyl lead,  $Pb(CH_3)_4$ ) เป็น “สารกันน็อก” หรือสารป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์เวลาทำงาน ทำให้ค่าออกเทนของน้ำมันสูงขึ้น จึงใช้ผสมในน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 0.7 กรัม/ลิตร หรือร้อยละ 0.07 สารตะกั่วชนิดนี้เป็นสารอินทรีย์ของตะกั่วชนิดเดียวที่ระเหิดแพร่หลายไปในสิ่งแวดล้อมมากที่สุด และค่อนข้างจะเป็นพิษมากกว่าตะกั่วอนินทรีย์เพราะว่ามันระเหยกระจายไปในอากาศได้ดี จุดเดือดของ  $Pb(C_2H_5)_4$  เท่ากับ 200 องศาเซลเซียส ของ  $Pb(CH_3)_4$  เท่ากับ 100 องศาเซลเซียส มันไม่ได้ถูกเผาไหม้ทั้งหมด ประมาณร้อยละ 70 ของตะกั่วอินทรีย์จะถูกพ่นออกมาทางท่อไอเสียของรถยนต์ และมันสามารถละลายในน้ำมันและไขมันได้ จึงซึมซาบเข้าทางผิวหนังและเข้าเซลล์ได้ดี มีผู้พบว่าตะกั่วเตตราเอทิลนี้สามารถซึมเข้าไปในเซลล์ทางเดินหายใจตั้ง

แต่จุ่มจนถึงปอดได้ครบ 100% แต่บางส่วนของตะกั่วอินทรีย์เหล่านี้ไม่ค่อยอยู่ตัวมากนักมันถูกทำลายด้วยแสงอุลตราไวโอเลต สารพวกฮาโลเจน(halogens) กรด และสารออกซิไดซ์ สำหรับประเทศไทย การใช้น้ำมันในเขตกรุงเทพมหานครเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 56 จาก 1,551 ล้านลิตรในปี 2534 เป็น 2,418 ล้านลิตรในปี 2539 น้ำมันที่ขายอยู่ในประเทศก่อนปี 2527 มีตะกั่วผสมอยู่ในปริมาณที่สูงถึง 0.84 กรัม/ลิตร ต่อมาในปี 2527 ได้ผสมตะกั่วลดลงเป็น 0.45 กรัม/ลิตร ทางรัฐบาลได้สังเกตเห็นถึงอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้น จึงได้มีการควบคุมน้ำมันโดยให้เลิกใช้สารตะกั่วภายใน 6 ปี เริ่มตั้งแต่ปี 2532 เป็นต้นมา โดยจะลดปริมาณตะกั่วลงจาก 0.84 กรัม/ลิตร จนไม่มีการผสมตะกั่วในน้ำมันในปี 2539 ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในบรรยากาศของกรุงเทพมหานครลดลงเรื่อย ๆ

#### อันตรายจากสารตะกั่ว

##### - ผลต่อการสร้างฮีโมโกลบิน

ตะกั่วในเลือดปริมาณเล็กน้อยมีผลร้ายต่อการสร้างเม็ดเลือดแดง และการสังเคราะห์ฮีโม (heme) ซึ่งเป็นสารสีแดงของเลือดแดง ตะกั่วทำให้เกิดโรคโลหิตจางทั้งคนและสัตว์ สาเหตุอย่างหนึ่งคือตะกั่ว ทำให้เกิดเม็ดเลือดแดงแตกในภาวะต่าง ๆ ได้ง่ายกว่าภาวะปกติ แต่สาเหตุใหญ่ที่ทราบแน่นอนคือ ตะกั่วยับยั้งการสร้างฮีโม และฮีโมโกลบินซึ่งจำเป็นต่อการนำพาออกซิเจนในเม็ดเลือดแดง

##### - ผลต่อการทำงานของไต

การที่ได้รับสารตะกั่วเข้าไปนาน ๆ จนเลือดมีตะกั่วเข้มข้นมากกว่า 100 ไมโครเปอร์เซ็นต์จะ ก่อให้เกิดการทำลายเซลล์ของท่อเล็กๆ ของไต (renal tubule) โดยเฉพาะส่วนตอนต้น (proximal tubule) และจากการตรวจเนื้อเยื่อของไตก็พบว่าตะกั่วทำให้เกิดการแข็งกระด้าง และมีเยื่อพังผืดเหนียวระหว่างเนื้อเยื่อของไต ทำให้ขบวนการกรองของไตทั้งหมดลดลง ในที่สุดอาจเกิดอาการของไตวาย ได้

##### - ผลต่อสมองและระบบประสาท

ตะกั่วเข้าไปทำลายระบบประสาทที่มีหน้าที่ จดจำ , เรียนรู้ และเกี่ยวข้องกับการรับรู้ความรู้สึก ตะกั่วเตตราเอทิล  $[Pb(C_2H_5)_4]$  จะถูกเมตะบอลิซึมไปเป็นตะกั่วไตรเอทิล  $[Pb(C_2H_5)_3]$  ตะกั่วอินทรีย์ ทั้งสองชนิดนี้จะสะสมในเนื้อเยื่อสมองได้ดี อาการทางสมองที่เกิดขึ้นได้แก่ ปวดหัว อ่อนเพลีย ง่วงนอน ซึม กระวนกระวาย ปัญญาอ่อน ความจำเสื่อม นอนไม่หลับ ประสาทหลอน วิงเวียน ชัก และเป็นอัมพาต อาจหมดสติ

#### โครเมียม

เป็นโลหะหนักซึ่งมีน้ำหนักอะตอม 52.07 เป็นสมาชิกของธาตุหมู่ VI B หรือกลุ่มธาตุทรานสิชัน มีวาเลนซ์เท่ากับ 3 และ 6

### แหล่งกำเนิดในสิ่งแวดล้อม

โลหะโครเมียมถูกใช้มากในการชุบเคลือบโลหะ เพื่อกันสนิมและให้เป็นเงางาม ใช้ได้ในโลหะผสมทั้งหลายโดยเฉพาะในเหล็กกล้า สารประกอบโครเมต(chromate) ถูกใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สารพวกไดโครเมต(dichromate) เป็นส่วนประกอบของสีย้อมวัสดุต่าง ๆ และผสมในน้ำกรดแบตเตอรี่

### ความเป็นพิษของโครเมียม

กรดโครมิกหรือสารโครเมตทำลายเนื้อเยื่อเฉพาะแห่งโดยการทำลายสภาพธรรมชาติของโปรตีน ทำให้กลายเป็นแผลพุพองตามผิวหนัง ทำให้โพรงจมูกบวม ทำให้มีการระคายเคืองของตาและทางเดินลมหายใจ ถ้าได้รับสารประกอบโครเมตเข้าไปตลอดเวลาทางปากจะทำให้ปวดท้อง กระจายถ้าได้เป็นแผลอักเสบ มีอาการอ่อนเพลีย และปวดตามข้อ มีตับอักเสบซึ่งอาจรวมกับดีซ่านได้ เราถือว่าสารโครเมตเป็นทั้งสารก่อการกลายพันธุ์ และสารก่อมะเร็งเพราะมันรบกวนการสังเคราะห์ DNA ในเซลล์ ตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา ความเข้มข้นของโครเมียมในอากาศบริเวณที่ชุมชนอาศัยไม่ควรเกิน 0.028 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร

### ทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 63.546 และอยู่ในกลุ่มธาตุหมู่ IB ของตารางธาตุ มีวาเลนซ์เท่ากับ 1, 2 และ 3

### แหล่งกำเนิด

ทองแดงที่พบอยู่ทั่วไป โดยมีต้นกำเนิดพบอยู่ในรูปออกไซด์ คาร์บอเนต และซัลไฟด์ของสินแร่ทองแดงในธรรมชาติ ปกติผิวโลกจะมีทองแดงอยู่ประมาณ 45 ส่วนในล้านส่วน ทองแดงถูกนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพราะมีสมบัติในการนำไฟฟ้าได้ดี

### การนำทองแดงไปใช้ประโยชน์

สำหรับทองแดงก็เป็นโลหะหนักอีกชนิดหนึ่งที่ใช้กันมากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น โรงงานทอผ้า เพราะเป็นองค์ประกอบสำคัญในสีย้อมผ้า โรงงานผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า เพราะทองแดงเป็นสารที่นำไฟฟ้าได้ดีมาก และมีราคาไม่แพงนัก โรงงานทำภาชนะหุงต้มและปรุงอาหาร เพราะทองแดงเป็นตัวนำ ความร้อนที่ดีมาก โรงงานผลิตสี สีย้อมผ้า และทำหมึก อุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยเคมี อุตสาหกรรมกลั่น น้ำมัน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ใช้ในกระบวนการผลิตยาฆ่าแมลง

### ความเป็นพิษของทองแดง

ทองแดงเป็นโลหะหนักที่จำเป็นต่อกระบวนการสร้างเม็ดเลือดแดง โดยจะทำหน้าที่กระตุ้นการใช้เหล็กของฮีโมโกลบิน นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบของเอนไซม์ที่สำคัญในร่างกายที่มีผลต่อกระบวนการต่าง ๆ ซึ่งจะให้ความแข็งแรงแก่หลอดเลือด และกระดูก การสร้างเม็ดสีเมลานิน ในคนปกติจะมีปริมาณทองแดงในซีรัม(Serum) ประมาณ 120 – 145 ไมโครกรัม/ลิตร และยังพบว่า ทองแดงทำให้เกิดโรคนิ่วชนิดหนึ่งเรียกว่า “โรควิลสัน” เกิดความผิดปกติทาง

พันธุกรรมโดยผู้ป่วยจะมีอาการระดมทองแดงในระดับมากกว่าปกติ สาเหตุเกิดจากผู้ป่วยไม่สามารถขับทองแดงออกทางน้ำดีเข้าสู่ ลำไส้ได้ทำให้ทองแดงไปพอกตามอวัยวะต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ กระดูกตา ตา สมอง มีผลทำให้อวัยวะเหล่านี้พิการได้

### แมงกานีส

เป็นธาตุที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 54.94 และ มีวาเลนซ์เท่ากับ 2, 3, 4, 6, 7 จุดหลอมเหลวเท่ากับ 1,260 องศาเซลเซียส

#### แหล่งกำเนิด

มักพบอยู่ในรูปออกไซด์ของแร่ไพโรลูไซต์ นอกจากนี้ยังพบในแร่ลอนไนต์ และ แมกไนต์ มีการนำแมงกานีสไปใช้ผสมกับเหล็กทำเหล็กกล้า ใช้ในการทำอุปกรณ์การก่อสร้าง เรือ เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า ทำสี เครื่องเคลือบดินเผา ใช้ในอุตสาหกรรมทำถ่านไฟฉาย

#### ความเป็นพิษ

ความเป็นพิษทางอุตสาหกรรมจะเกิดจากการได้รับแมงกานีสโดยการหายใจปกติคือ แมงกานีสไดออกไซด์ในการทำเหมืองหรืออุตสาหกรรม เริ่มแรกจะเกิดจากการได้รับแมงกานีสอย่างเฉียบพลัน (ทางการหายใจ) คนที่ทำงานบริเวณที่มีฝุ่นแมงกานีสมากจะพบว่าเป็นโรคทางเดินหายใจมากกว่าปกติ 30 เท่า ในรายที่ได้รับแมงกานีสไดออกไซด์ทางการหายใจอย่างเรื้อรัง จะทำให้เกิดโรคต่าง ๆ มากมาย รวมทั้งมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลางเมื่อได้รับในเวลามากกว่า 2 ปี คนที่มีอาการเป็นพิษเรื้อรัง จากแมงกานีสจะแสดงอาการผิดปกติทางจิตใจ คืออารมณ์ จุนเฉียวง่าย พุดไม่ชัด เกิด Parkinson-like Syndrome (อาการสั่น กล้ามเนื้อแข็ง) และอาจมีการเปลี่ยนแปลงของระบบประสาทส่วนกลางเกิดโรคดับแข็งด้วย ผู้ป่วยจากพิษเรื้อรังของแมงกานีสจะกลับเป็นปกติได้ช้ามาก

### 2.3.4 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนด้วย Dichotomous Air Sampler

#### 2.3.4.1 หลักการ

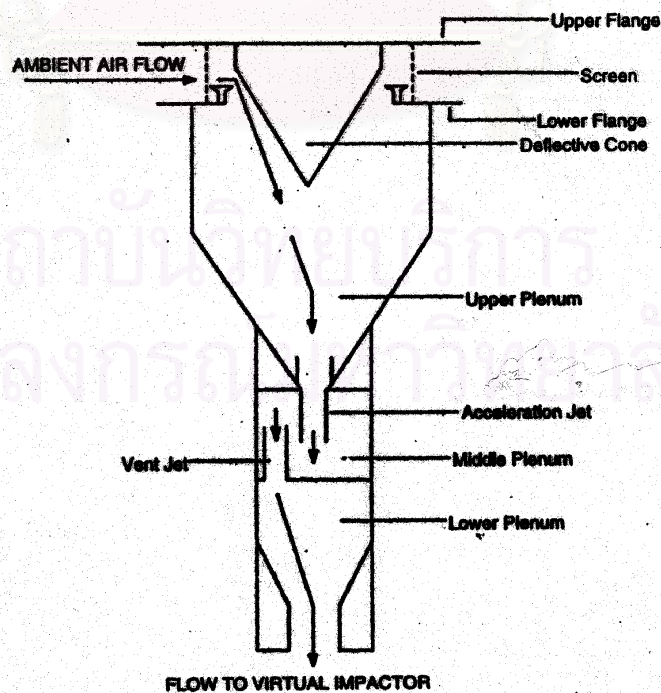
วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนด้วย Dichotomous Air Sampler ใช้หลักการแยกอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยอาศัยคุณสมบัติความแตกต่าง ในด้านมวล ขนาด และแรงเฉื่อยของอนุภาคโดยใช้อัตราการไหลของอากาศในการแบ่งแยกขนาดของฝุ่นละอองออกเป็น 2 ช่วงขนาด คือ อนุภาคหยาบ(Coarse particle) คือฝุ่นที่มีขนาดอยู่ในช่วง 2.5 ถึง 10 ไมครอน ซึ่งแยกออกมาได้โดยใช้อัตราการไหลของอากาศที่ 1.67 ลิตรต่อนาที และอนุภาคส่วนละเอียด(Fine particle) คือฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งแยกออกมาได้โดยใช้อัตราการไหลของอากาศที่ 15.03 ลิตรต่อนาที

#### 2.3.4.2 การทำงานของเครื่อง Dichotomous Air Sampler

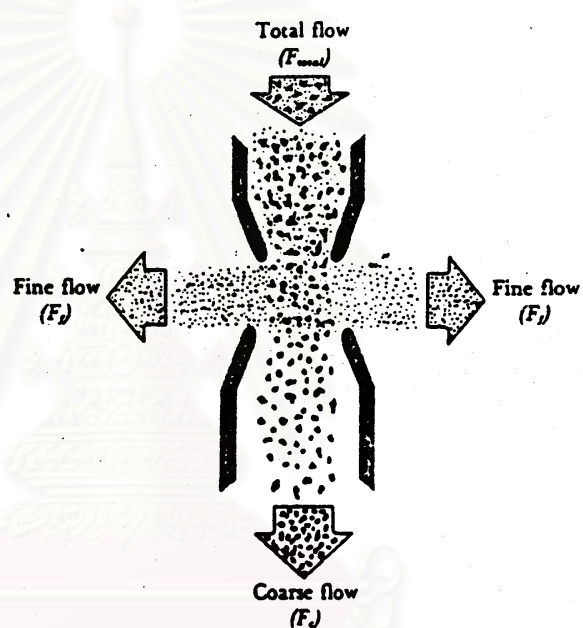
อากาศที่อยู่โดยรอบ(Ambient air flow)จะถูกดูดผ่านเข้าไปในเครื่องโดยผ่านการทำงานของปั๊มดูดอากาศ ฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนจะถูกแยกออกจากตัวอย่างอากาศโดยอาศัยความเฉื่อยของอนุภาคภายในInlet head (รูปที่ 2.3) อนุภาคที่ถูกดูดเข้ามาจะถูกนำพาลงใน Inlet

head และบ่าเบนไปลงใน acceleration jet เนื่องจากความเฉื่อยที่มากกว่าของฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะถูกกำจัดในบริเวณนี้ ส่วนฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนลงไปจะผ่าน Vent tube และถูกนำพาไปยัง virtual impactor

ในบริเวณ virtual impactor นี้จะแยกฝุ่นละอองออกเป็น 2 ช่วงขนาดคือฝุ่นขนาดเล็ก (fine particulate) และฝุ่นขนาดใหญ่ (Coarse particulate) นั่นคือ ในรูป 2.4 แสดงให้เห็นถึงการแยกขนาดของอนุภาคบริเวณ virtual Impactor บริเวณซึ่งกระแสอากาศที่ประกอบด้วยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนถูกแยกออกด้วยอัตราการไหลของอากาศที่แตกต่างกันโดยฝุ่นขนาดเล็กจะถูกบังคับให้ไหลไปตามกระแสอากาศที่มีอัตราเร็วการไหลที่สูงกว่า (15.03 ลิตร/นาที) และตกลงบนกระดาษที่รองรับอนุภาคส่วนละเอียด (fine particle filter) และด้วยความเฉื่อยที่มากกว่าอนุภาคส่วนหยาบจะไหลไปตามกระแสอากาศที่มีอัตราเร็วต่ำกว่า (1.67 ลิตร/นาที) และตกลงบนกระดาษที่รองรับอนุภาคส่วนหยาบ (coarse particle filter) แต่ยังมีฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบางส่วนถูกดึงลงสู่กระดาษที่รองรับอนุภาคส่วนหยาบด้วย ดังรูป 2.5 ซึ่งผลต่างของน้ำหนักระดาษกรองภายหลัง และก่อนจะทำให้ทราบปริมาณของฝุ่นที่ผ่านเข้ามา ส่วนอากาศที่ไหลผ่านเข้าในเครื่องจะถูกบันทึกอัตราการไหลได้ตลอดเวลาของการทำงาน เพื่อนำมาคำนวณปริมาณอากาศ ทั้งหมดที่ผ่านเข้ามา และจากน้ำหนักฝุ่นและปริมาณอากาศนี้ทำให้ทราบความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนทั้งในส่วนหยาบและส่วนละเอียด

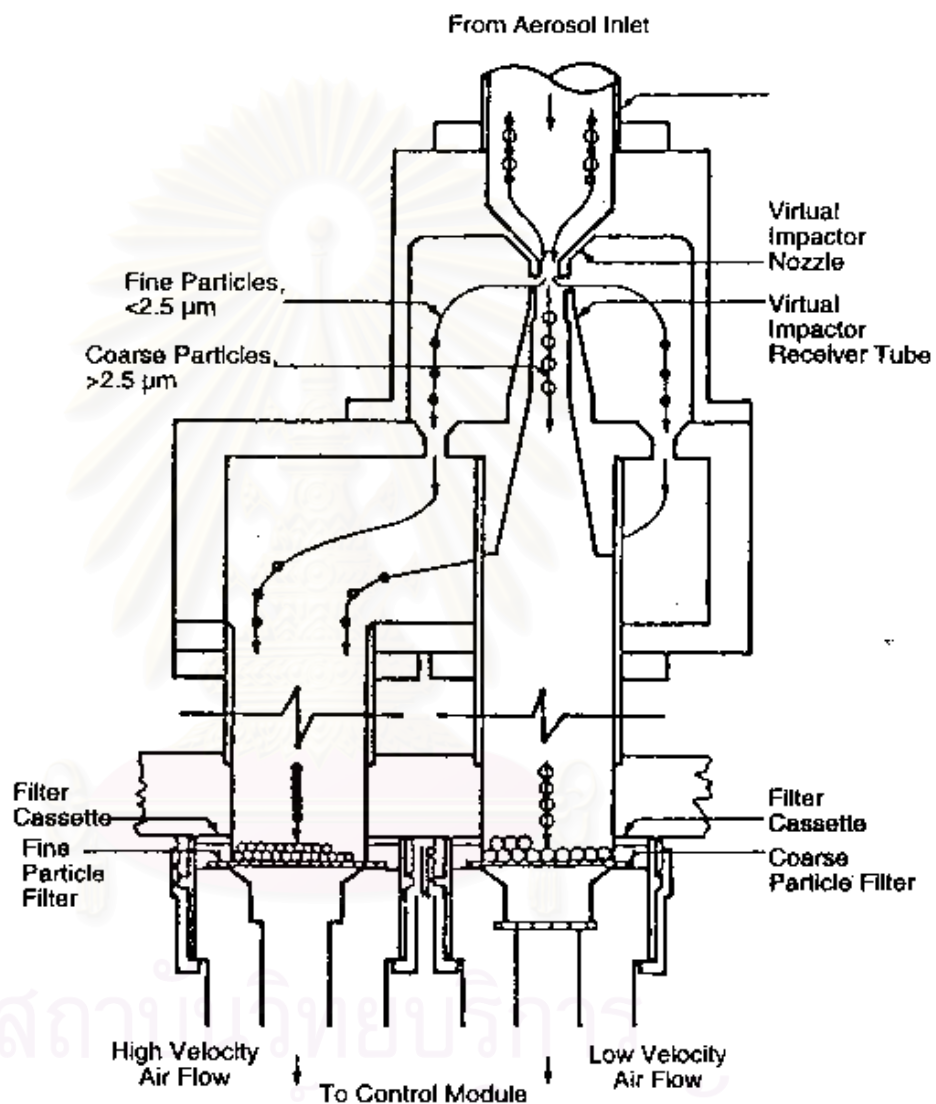


รูปที่ 2.3 แสดงการแยกขนาดโดย Inlet head



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการแยกขนาดอนุภาคของ Dichotomous Air Sampler

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของอากาศเข้าสู่ Dichotomous Air Sampler



## 2.4 ผลกระทบของฝุ่นละออง

### 2.4.1 ผลกระทบต่อสุขภาพ

ภายในระบบทางเดินหายใจมีกลไกการป้องกันการบุกรุกของวัสดุแปลกปลอมจากภายนอก หลายรูปแบบ ฝุ่นละอองหรืออนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะถูกกรองออกจากอากาศที่หายใจเข้าไปโดยขนจมูกภายในโพรงจมูก ฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 5 ไมครอน ถูกดักจับและสะสมใน mucus ภายในบริเวณเยื่อบุช่องจมูกและ trachea โดยอนุภาคจะถูกดักได้ตลอดในลำคอและอาจถูกกำจัดออกโดยการกลืน หรือขับเสมหะออกไป เฉพาะฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเท่านั้นที่สามารถเข้าไปลึกถึง tracheobronchial และ alveolar region ได้ ดังนั้นฝุ่นขนาดใหญ่จะติดอยู่บริเวณระบบทางเดินหายใจส่วนบน ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอนอาจถูกดักจับไว้โดยผนังเซลล์ bronchioli ซึ่งเป็นบริเวณที่ประกอบด้วยเซลล์ขนอ่อน (cilia) หากเป็นฝุ่นละอองซึ่งละลายน้ำได้ และอยู่ในบริเวณนี้ อาจซึมเข้าสู่ระบบทำลายเชื้อโรค (lymphatic system) หรือระบบเลือดได้ แต่สำหรับฝุ่นที่ไม่ถูกละลายได้ง่ายจะถูกพัดพาไปยัง pharynx โดยเซลล์ขนอ่อนที่อยู่บริเวณเยื่อผนังเซลล์ตลอดทางเดินหายใจ เมื่อฝุ่นละอองสามารถตามกระแสอากาศเข้ามาลึกถึงบริเวณ alveolar ซึ่งพื้นที่ทั้งหมดของ alveolus ประมาณ 40-120 ตารางเมตร ในบริเวณนี้เลือดและน้ำเหลืองซึ่งสามารถทำลายฝุ่นละอองโดยภายใน alveolus จะมีเซลล์พวกที่มีหน้าที่ทำความสะอาดเรียกว่า alveolar macrophages ซึ่งจะคอยดูแลการย่อยสลายทางชีวภาพของอนุภาค กระบวนการย่อยสลายนี้ เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ในระยะเวลาเป็นเดือนจึงทำลายฝุ่นได้อย่างสมบูรณ์ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอนเมื่อเล็ดลอดผ่านเข้าไปถึงระบบหายใจส่วนล่างลงมในปอดเป็นผลทำให้เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ และโรคปอดต่าง ๆ โดยก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อของปอด หากได้รับในปริมาณมากหรือในช่วงระยะเวลานานๆ จะสะสมในเนื้อเยื่อปอดเกิดเป็นพังผืดหรือแผลขึ้นได้ ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ มีอาการหอบหืด ถุงลมโป่งพอง และมีโอกาสเกิดโรกระบบทางเดินหายใจเนื่องจากติดเชื้อเพิ่มขึ้นได้ด้วย ความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพจะขึ้นกับองค์ประกอบที่มีอยู่ในฝุ่นด้วยเช่นกัน โดยเน้นที่ประเด็นขององค์ประกอบทางเคมี เช่น ซัลเฟต คาร์บอน ไนเตรท แร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งสารเหล่านี้ส่วนใหญ่มักพบในฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2-3 ไมครอน โดยทั่วไปมักจะผ่านได้ตลอดในระบบหายใจส่วนบน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 3 ไมครอนซึ่งสามารถผ่านเข้ามาได้ลึกถึงบริเวณ alveolar ได้แก่อนุภาคที่เป็นเขม่าควัน ที่เกิดจากการเผาไหม้ เขม่าควันเป็นตัวนำพามลสารที่อยู่ในรูปกึ่งก๊าซ และก๊าซชนิดต่าง ๆ เข้าสู่ส่วนลึกของปอดซึ่งอาจจะประกอบด้วยโลหะที่เป็นอันตราย เช่น ตะกั่ว เบอริลลิอัม และซิลิกอน นอกจากนี้ฝุ่นละอองขนาดเล็กละเอียดอาจเป็นตัวนำพาเอามลสารที่เป็นก๊าซชนิดต่าง ๆ และทำให้เกิดผลกระทบเป็นอันตรายร่วมกันเช่นฝุ่นละอองขนาดเล็กกับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ มักเกิดขึ้นพร้อมกัน

#### 2.4.2 ผลกระทบต่อทัศนวิสัย

ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน หลังจากการแพร่กระจายในอากาศภายในไม่กี่ ชั่วโมงมักจะตกลงสู่พื้นดิน เนื่องจากแรงกระแทกจากโมเลกุลอากาศที่อยู่รอบ ๆ และแรงโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นอนุภาคซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจึงสามารถแขวนลอยในอากาศอยู่ได้ในระยะเวลายาวนานกว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็กดังกล่าวจะทำให้ลดความสามารถในการมองเห็น(visibility) เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศมีทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว ซึ่งสามารถจะดูดซับแสง(Absorption)และหักเหแสง(Scattering)ได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นเสื่อมลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและความหนาแน่นรวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองแต่ละประเภทด้วย กล่าวคือการลดลงของการมองเห็นโดยพื้นฐานเกิดจากฝุ่นละอองขนาดเล็กละเอียด(fine particulate)ขนาดในช่วง 0.1 - 2.5 ไมครอน เนื่องจากฝุ่นละอองช่วงขนาดนี้ จะสามารถดูดซับและหักเหแสงได้ อีกทั้งอนุภาคทุติยภูมิ ซึ่งได้แก่ก๊าซ และละอองไอของเหลวที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีในอากาศ เช่น ซัลเฟต ไนเตรต และคาร์บอน ทำให้เกิดการดูดซับและหักเหแสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นเสื่อมลงหมอกควันปกคลุมโดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่ถูกกักไว้บริเวณใกล้ ๆ พื้นดิน หมอกสลัวนี้จะประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดเล็กละเอียดจำนวนมากแขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งอนุภาคแขวนลอยนี้เป็นตัวขัดขวางทางเดินของแสงทั้งจากดวงอาทิตย์ไปสู่วัตถุไม่ว่าจะเป็นอาคาร ตึกสูง หรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ นอกจากนี้ยังขัดขวางทางเดินของแสงจากวัตถุเข้าสู่ตาของเราทำให้เรามองเห็นวัตถุไม่ว่าจะเป็นอาคาร ตึกสูง เทือกเขา หรือสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ ในสภาพอากาศที่มีฝุ่นละอองแขวนลอยปกคลุมอยู่ได้ไม่ชัดเจน โดยเฉพาะในเขตเมืองใหญ่เป็นเขตที่มีอุตสาหกรรมและการจราจรที่หนาแน่นทำให้อนุภาคขนาดเล็กละเอียดซึ่งส่วนใหญ่เป็นอนุภาคมลสารทุติยภูมิ (secondary pollutant) เกิดขึ้นในอากาศโดยปฏิกิริยาเคมีระหว่างมลสารปฐมภูมิ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดผลกระทบด้านการมองเห็นไม่ว่าจะเป็นอุปสรรคต่อการคมนาคมขนส่งทางอากาศ ทำให้การมองเห็นในระยะไกลได้ไม่ชัดเจน

#### 2.4.3 ผลกระทบต่อพืช

การศึกษาถึงผลของอนุภาคมลสารเกี่ยวข้องกับพืชเป็นฝุ่นละอองหรือเถ้าจากปล่องควัน ฝุ่นละอองจะตกลงจับบนพืช รวมทั้งในส่วนของ ใบ กิ่งก้าน ดอก และผล อาจเกาะกรังอยู่ในสภาพฝุ่นแห้ง เป็นคราบเหนียว หรือเหมือนน้ำมันดิน ฝุ่นเขรอะบนใบทำให้ก๊าซเข้าสู่ใบน้อยลงและเกิดใบเหลืองและเฉา ในที่สุดอาจทำให้ต้นไม้บางพันธุ์โตเร็วขึ้น เมื่อวัดด้วยรัศมีของลำต้นแต่บางพันธุ์กลับโตช้าลง นอกจากนั้นยังทำให้รังสีดวงอาทิตย์ซึ่งมีความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร สะท้อนออกเพิ่มขึ้นเป็นผลให้การสังเคราะห์แสงลดลง ในทางตรงกันข้ามกลับดูดซึมรังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่น 1,750 – 1,850 นาโนเมตร มากขึ้น จึงทำให้ความร้อนภายในใบเพิ่มมากขึ้น ฝุ่นจากโรงงานทำปูนซีเมนต์ 0.6 – 3.8 กรัม/ลูกบาศก์เมตร/วัน ลดการรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของพืช ส่วนฝุ่นหินปูนทำให้พีเอชของธาตุอาหาร

เปลี่ยนไป และเป็นผลให้ชนิดของไอเคนส์เปลี่ยนแปลงตาม ฝุ่นโลหะหนัก คือแคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และแมงกานีส มีผลทำให้ผลผลิตของพืชลดลงและเกิดลายบนใบและดอก

## 2.5 มาตรฐานคุณภาพอากาศ

ประเทศไทยได้มีการจัดทำมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศขึ้นในปี พ.ศ. 2538 ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมปีพ.ศ. 2535 โดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมได้มีการกำหนดค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยแบ่งเป็น 2 ขนาด คือฝุ่นรวม(Total Suspended Particulate:TSP) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน(PM-10)ซึ่งฝุ่นรวมมีค่าความเข้มข้นมาตรฐานไม่เกิน 0.33 มล.ก./ลบ.ม. สำหรับค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปี มีค่าไม่เกิน 0.10 มล.ก./ลบ.ม. โดยใช้วิธีการวัดแบบGravimetric-High Volume ส่วนฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 0.12 มล.ก./ลบ.ม. สำหรับค่าเฉลี่ยในเวลา 24 ชั่วโมง และค่าเฉลี่ยในเวลา 1 ปี มีค่า ไม่เกิน 0.50 มล.ก./ลบ.ม. โดยใช้วิธีการวัดแบบ Gravimetric-High Volume ดังแสดงในภาคผนวก จ.

## 2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Leyda E.และคณะ(1981) ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองในอากาศบริเวณเมืองการาคัส เวเนซุเอลาโดยเก็บตัวอย่างด้วย Hi-vol sampler ด้วย glass fiber filter และวิเคราะห์ด้วย X-ray Fluorescence technique ซึ่งตรวจพบธาตุทั้งหมด 11 ชนิดโดยปริมาณเฉลี่ย( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ดังนี้คือ โซเดียม(1.47) อลูมิเนียม(1.14) คลอรีน(3.76) วานาเดียม(0.0076) เหล็ก(1.66) สังกะสี (0.69) โบรมีน(0.62) โครเมียม(< 0.005) นิกเกิล(< 0.08) ทองแดง(< 0.06) และตะกั่ว(1.77)

Jose A.M. และคณะ(1990) ศึกษาธาตุปริมาณน้อยที่ประกอบอยู่ในฝุ่นละอองในอากาศบริเวณทุ่งหญ้าในประเทศเวเนซุเอลา ช่วงฤดูแล้ง และฤดูฝน พบธาตุ 13 ชนิดในเขตชนบท 4 บริเวณ โดยเก็บตัวอย่างด้วย Hivol-cascade impactor และทำการวิเคราะห์ด้วย Atomic Absorption Spectroscopy(AAS) พบว่าธาตุอลูมิเนียม เหล็ก และแมงกานีส มีปริมาณมากในอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจากดินที่สึกกร่อน ธาตุโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม ถูกปล่อยจากการเผาไหม้ป่าหรือทุ่งหญ้า ส่วนธาตุทองแดง สังกะสี นิกเกิล วานาเดียม แคดเมียม และตะกั่วมักเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

Philippe C. และคณะ (1990) ศึกษาแหล่งกำเนิดและลักษณะของแอโรซอลในอากาศบริเวณ ดามัสกัส โดยวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีและสัณฐาน ด้วย Scanning Electron Microscope และศึกษาธาตุองค์ประกอบด้วย X-ray spectrometer พบธาตุองค์ประกอบ 12

ชนิด ได้แก่ แมกนีเซียม อลูมิเนียม ซิลิกอน ซัลเฟอร์ คลอรีน โพแทสเซียม แมงกานีส และเหล็ก ส่วนธาตุที่ไม่ใช่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของเปลือกโลก(non-crustal element)ที่อยู่ในอนุภาคขนาดเล็ก ได้แก่ ซัลเฟอร์ และสังกะสี ส่วนที่อยู่ในอนุภาคขนาดใหญ่ ได้แก่ โบรมีน และตะกั่ว

Yaacov M. (1985) ศึกษาลักษณะของอนุภาคฝุ่นในอากาศบริเวณเขตชนบทของอเมริกาโดยวิเคราะห์ การแพร่กระจายของแต่ละอนุภาค โดยทำการวิเคราะห์แต่ละอนุภาคโดยใช้ Hivol rotary inertial impactor เก็บอนุภาคฝุ่นได้ 4 ขนาด วิเคราะห์พื้นฐานและองค์ประกอบธาตุด้วย Scanning Electron Microscope และ X-ray analysis ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ธาตุผลปรากฏว่าทุก ๆ อนุภาคของฝุ่นประกอบด้วย อลูมิเนียม ซิลิกอน ซัลเฟอร์ โพแทสเซียม แคลเซียม และเหล็ก

Chenga L. และคณะ (1998) ศึกษาลักษณะของฝุ่นละอองขนาดที่สามารถหายใจเข้าไปได้ในเมืองอัลเบอร์ตาที่บริเวณ 2 พื้นที่ คือ เอคมอนตัน และแคลคาร์ พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน คือ  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  หรือประมาณ 63 เปอร์เซ็นต์ของฝุ่นละอองรวมรูปแบบของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในแต่ละฤดูกาลของทั้งสองบริเวณมีลักษณะคล้ายกันคือในช่วงฤดูหนาวจะมีปริมาณสูงกว่าช่วงฤดูใบไม้ผลิเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่าในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีองค์ประกอบธาตุ โดยเฉพาะตะกั่ว และโบรมีนในปริมาณสูง (70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ)

Clyde และคณะ(1998) ได้ทำการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่อิลินอยโดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนด้วย Dichotomous Air samplers พบว่าส่วนประกอบที่มีปริมาณมากในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน คือ แอมโมเนียม ไบซัลเฟต ซึ่งมาจากการออกซิเดชันของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากแหล่งกำเนิด นอกจากนี้ยังพบสารประกอบคาร์บอน และสารอินทรีย์ด้วยในช่วงฤดูร้อนความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีค่าสูงสุด โดยพบว่าบริเวณทั่วไปมีปริมาณฝุ่นละออง  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ส่วนความเข้มข้นเฉลี่ยตลอด 24 ชั่วโมงคือ  $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Saskia C. V. และคณะ (1998) ศึกษาลักษณะของอนุภาคฝุ่นละอองที่เป็นมลพิษทางอากาศในพื้นที่เขตเมืองและพื้นที่ที่ไม่ใช่เมืองในเนเธอร์แลนด์ เก็บตัวอย่างด้วย Dichotomous Air Sampler และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุโดย Inductive Coupled Plasma(ICP) โดยศึกษาในช่วงฤดูหนาว พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนทั้งในเขตเมืองและไม่ใช่เขตเมืองมีปริมาณใกล้เคียงกันและพบองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองทุกชนิดยกเว้นซิลิกา และ

องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองบริเวณเขตเมือง มีปริมาณมากกว่าเขตที่ไม่ใช่เมือง พบว่ามีปริมาณโซเดียม แมงกานีส วานาเดียม และเหล็กในปริมาณสูงมาก

อุทัย ดิยะวิสุทธิ์ศรี (2535) วิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วย High Volume Air Sampler บริเวณศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และบริเวณอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ พบธาตุปริมาณน้อยทั้งหมด 10 ธาตุ ปริมาณเฉลี่ย(หน่วย  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ได้แก่ ตะกั่ว(0.22) แมงกานีส(0.15) โบรมีน(0.14) นิกเกิล(0.09) สังกะสี(0.10) เหล็ก(0.20) ทินเทเนียม(0.21) โครเมียม(0.18) ทองแดง(0.09) และกำมะถัน(2.10) จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้รับกับวิธี Inductive Couple Plasma(ICP) และ Atomic Absorption Spectroscopy(AAS) พบว่าค่าที่ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

อรุบล โชติพงษ์ (2541) ศึกษาปริมาณฝุ่นที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ โดยทำการตรวจวัดฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน(PM10) และปริมาณฝุ่นรวม(TSP) ใน 4 บริเวณ ได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรมประชาสัมพันธ์ พระสมุทรเจดีย์ จ.สมุทรปราการ และ วัดมณฑป ตลิ่งชัน โดยใช้ High Volume Sampler และวิเคราะห์ธาตุโดยวิธี Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) พบว่าในช่วงลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีปริมาณฝุ่นทั้ง 2 ประเภทสูงกว่าช่วงลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ในทุกบริเวณ และ สัดส่วนของฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในฝุ่นรวมมีแนวโน้มที่จะมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปในทุกสถานี และพบว่า ตะกั่ว สังกะสี และทองแดง มีการกระจายตัวในฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมากกว่าในฝุ่นขนาดใหญ่ ส่วนแมงกานีสมีการกระจายตัวในฝุ่นขนาดใหญ่มากกว่า ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

ศราวุธ เทพานนท์ (2539) ศึกษาละอองลอยซัลเฟตที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน รวมทั้งตรวจวัดปริมาณเหล็ก และแมงกานีสในฝุ่นแขวนลอยรวม บริเวณบ้านท่าสี่ และบ้านสบป่าด ใกล้เคียงโรงไฟฟ้า แม่เมาะ จังหวัดลำปาง โดยเก็บตัวอย่างละอองลอยขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนด้วยระบบ Annular Denuder และฝุ่นรวมด้วย Hi-Vol ume ในช่วงกลางวัน (9.00 – 17.00 น.) และกลางคืน (17.00 – 9.00 น.) พบว่าปริมาณซัลเฟตที่บ้านท่าสี่สูงกว่าบริเวณบ้านสบป่าด และช่วงกลางคืนสูงกว่าช่วงกลางวัน เนื่องจากอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศมีผลต่อการกระจายของแหล่งกำเนิด ละอองลอยซัลเฟตส่วนใหญ่(92.7%) อยู่ในรูปของเกลือแอมโมเนียมซัลเฟต( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) ส่วนการวิเคราะห์ปริมาณเหล็กและแมงกานีสในฝุ่นรวม Atomic Absorption Spectroscopy พบว่ามีปริมาณเหล็กเฉลี่ย 2.24 ppm และ 3.44 ppm ส่วนปริมาณแมงกานีส 0.08 ppm และ 0.18 ppm สำหรับบริเวณบ้านท่าสี่ และบ้านสบป่าด

ตามลำดับ และพบว่าปริมาณมากพอที่จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้เกิดละอองลอยซัลเฟตขึ้น  
ในบริเวณที่ไม่ไกลจากแหล่งกำเนิด

บริษัทเรเดียนอินเตอร์เนชันแนล (2541) ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและแหล่งกำเนิดของ  
ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม(TSP) เก็บตัวอย่างฝุ่นบริเวณโรงงานถลุงโลหะ โรงไฟฟ้า บริเวณ  
ก่อสร้าง 3 บริเวณ และบริเวณริมถนน 2 บริเวณ พบว่าองค์ประกอบธาตุในฝุ่นบริเวณต่าง ๆ  
ได้แก่ ปริมาณคาร์บอนรวมสูงสุดในฝุ่นบริเวณริมถนน 2 บริเวณ พบว่าองค์ประกอบธาตุใน  
ฝุ่นบริเวณต่าง ๆ ได้แก่ คาร์บอนรวมสูงสุดในฝุ่นบริเวณริมถนน 150 – 153 mg/gm ส่วนฝุ่น  
บริเวณก่อสร้างและโรงงานถลุงโลหะมีปริมาณใกล้เคียงกันประมาณ 90 mg/gm ปริมาณ  
อลูมิเนียมสูงสุดในบริเวณก่อสร้าง 80,400 – 107,000  $\mu\text{g/gm}$  รองลงมาได้แก่ฝุ่นริมถนน 68,300 –  
75,800  $\mu\text{g/gm}$  ปริมาณแคลเซียมในฝุ่นริมถนน และบริเวณก่อสร้างมีปริมาณสูงใกล้เคียงกัน  
คือ 160,000 – 220,000  $\mu\text{g/gm}$  ปริมาณโครเมียมสูงสุดในฝุ่นบริเวณโรงถลุงโลหะ 431  
 $\mu\text{g/gm}$  ปริมาณทองแดงมีปริมาณสูงสุดในบริเวณโรงถลุงโลหะ 1,060  $\mu\text{g/gm}$  ปริมาณเหล็ก  
มีค่าสูงสุดในบริเวณโรงถลุงโลหะ 157,000  $\mu\text{g/gm}$  ส่วนฝุ่นริมถนนและบริเวณก่อสร้างมีปริมาณ  
ใกล้เคียงกันประมาณ 30,000 – 40,000  $\mu\text{g/gm}$  ปริมาณตะกั่วสูงสุดในบริเวณโรงถลุงโลหะ 4,480  
 $\mu\text{g/gm}$  รองลงมาบริเวณริมถนนประมาณ 300  $\mu\text{g/gm}$  ปริมาณแมงกานีสสูงสุดในบริเวณโรง  
ถลุงโลหะ 6,060  $\mu\text{g/gm}$  รองลงมาเป็นฝุ่นบริเวณริมถนนและฝุ่นจากการก่อสร้าง มีปริมาณ  
ใกล้เคียงกัน 700 – 1,000  $\mu\text{g/gm}$  โพแทสเซียมในฝุ่นบริเวณริมถนน และบริเวณก่อสร้างมี  
ปริมาณใกล้เคียงกันประมาณ 16,000 – 20,000  $\mu\text{g/gm}$  ปริมาณซิลิกาในฝุ่นบริเวณริมถนนและ  
ก่อสร้างสูงใกล้เคียงกันประมาณ 200,000  $\mu\text{g/gm}$  ปริมาณซัลเฟอร์สูงสุดในบริเวณโรงไฟฟ้า  
ประมาณ 30,000  $\mu\text{g/gm}$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย

##### 3.1 การดำเนินการทดลอง

###### 3.1.1 คัดเลือกสถานที่ในการติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างอากาศ

- ดินแดง : การเคหะดินแดง เขตดินแดง
- พญาไท : สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม เขตพญาไท
- พุทธมณฑลสายสอง : ซอย 11 ถ.พุทธมณฑลสายสอง เขตบางแค

###### 3.1.2 ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ด้วย Dichotomous Air Sampler Model 241 ASI/GMW โดย Teflon membrane Filter ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 37 มิลลิเมตร เก็บอนุภาคส่วนละเอียด (fine particle) และอนุภาคส่วนหยาบ (coarse particle) ในบริเวณพื้นที่ศึกษา 2 บริเวณ บริเวณละ 30 ตัวอย่าง และบริเวณพื้นที่ควบคุม 10 ตัวอย่าง ทำการเก็บอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง 2 ช่วงเวลาคือ

- ช่วงฤดูฝน เดือนพฤษภาคม ถึง พฤศจิกายน 2542 และกรกฎาคม 2543
- ช่วงฤดูแล้ง เดือนพฤศจิกายน 2542 ถึง มีนาคม 2543

###### 3.1.3 ทำการวิเคราะห์น้ำหนักฝุ่นหยาบ และฝุ่นละเอียดด้วยวิธีชั่งน้ำหนัก (Gravimetric method) ดินแดง และพญาไทบริเวณละ 60 ตัวอย่าง และพุทธมณฑลสายสอง 20 ตัวอย่าง

###### 3.1.4 ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละออง

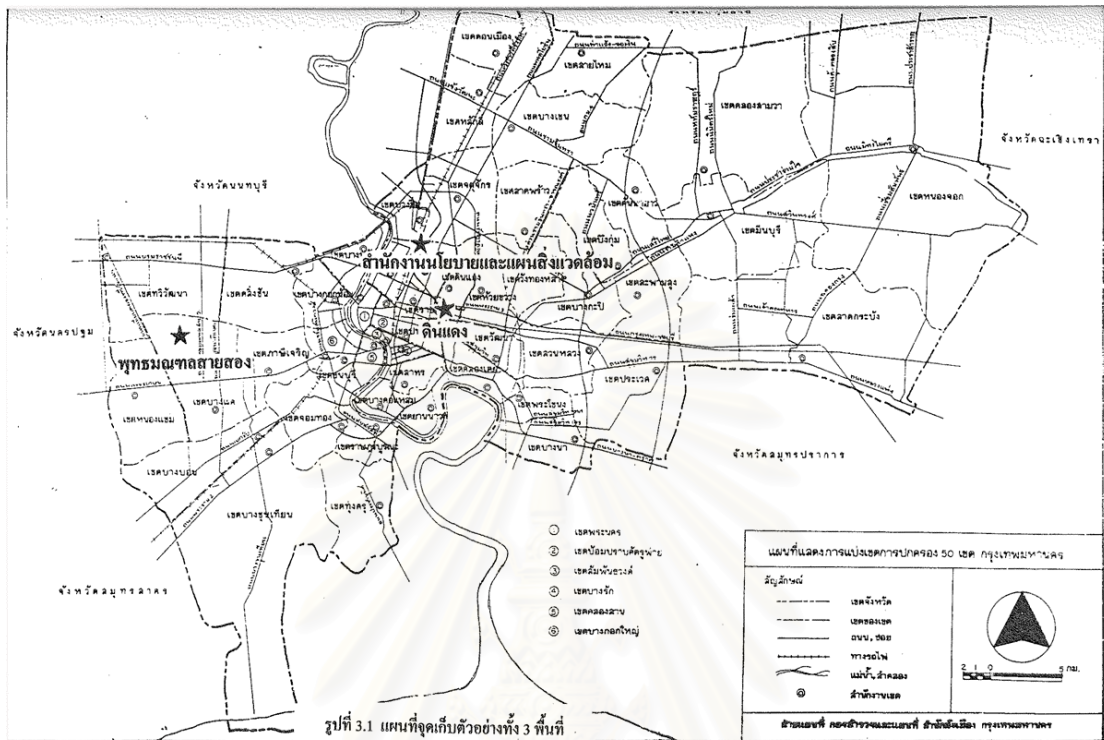
- วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพด้วย (Energy Dispersive X – ray Fluorescence : EDX) ในฝุ่นละอองขนาดหยาบ และขนาดละเอียด โดยสุ่มตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากบริเวณ ดินแดง พญาไท และพุทธมณฑลสายสอง บริเวณละ 4 ตัวอย่าง
- วิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงปริมาณด้วย Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) เฉพาะในฝุ่นละอองขนาดละเอียด โดยสุ่มตัวอย่างฝุ่นที่เก็บจากบริเวณดินแดง และ พญาไท บริเวณละ 12 ตัวอย่าง และบริเวณพุทธมณฑลสายสอง 6 ตัวอย่าง

##### 3.2 พื้นที่ศึกษา ที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นในการศึกษาครั้งนี้ 2 บริเวณ ได้แก่ ดินแดง และพญาไท โดยพุทธมณฑลสายสองเป็นพื้นที่ควบคุม (รูปที่ 3.1)

- ดินแดง เป็นสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ อยู่ริมถนนอโศก-ดินแดง เป็นตัวแทนของบรรยากาศริมถนน (รูปที่ 3.2)
- พญาไท เป็นสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ อยู่ห่างจากถนน พระรามที่หก ประมาณ 100 เมตร เป็นตัวแทนของบรรยากาศทั่วไป (รูปที่ 3.3)
- พุทธมณฑลสายสอง อยู่ห่างจากถนนประมาณ 500 เมตร (รูปที่ 3.4)

★ บริเวณทั่วไป คือสถานีอยู่ห่างจากถนนสายหลักประมาณ 50 – 100 เมตร

★ บริเวณริมถนน คือสถานีอยู่ห่างจากถนนสายหลักประมาณ 2 – 5 เมตร

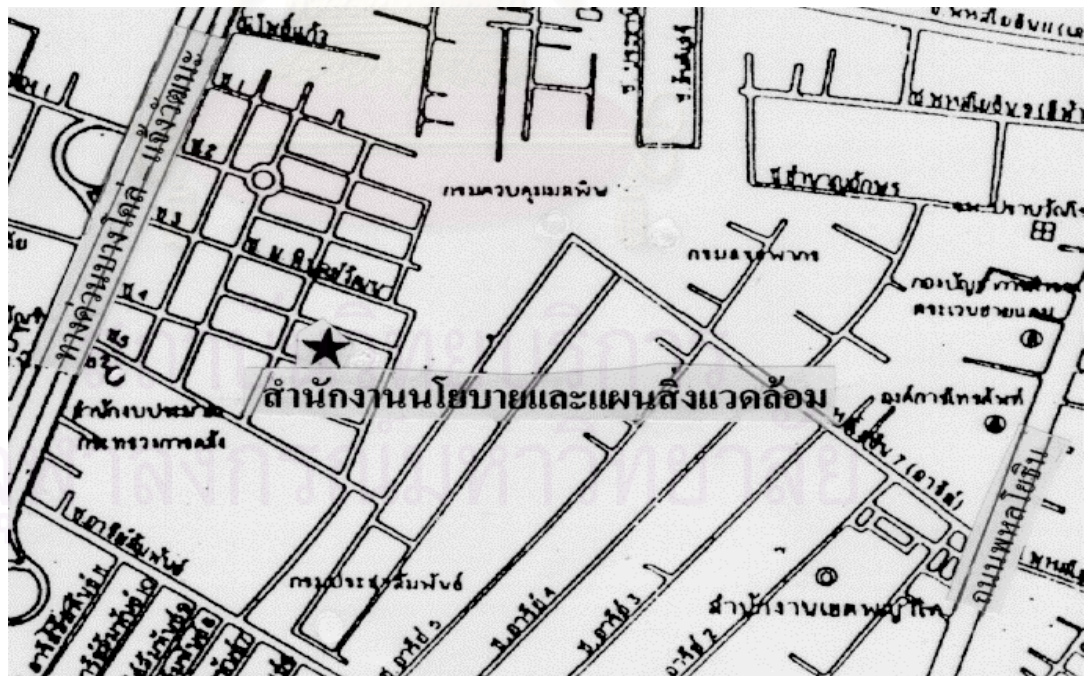


# สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างริมถนนอโศกดินแดง สถานีตรวจวัดกรมควบคุมมลพิษ



รูปที่ 3.3 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณสำนักงานโยบยาและแผนผังสิ่งแวดล้อม เขตพญาไท



รูปที่ 3.4 แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างบริเวณพุทธมณฑลสายสอง

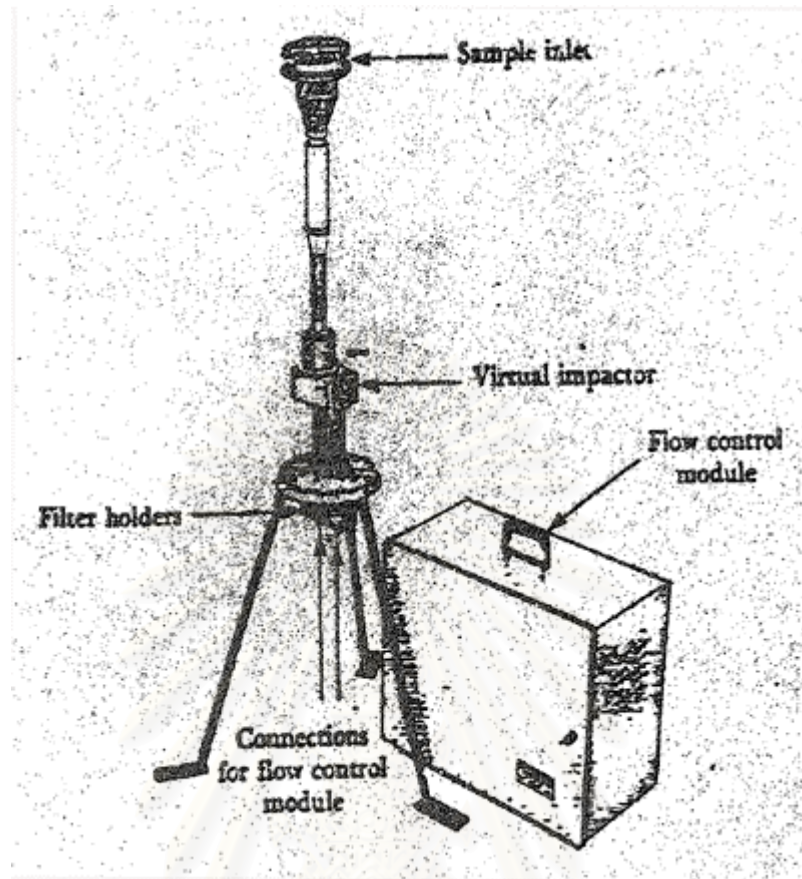
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

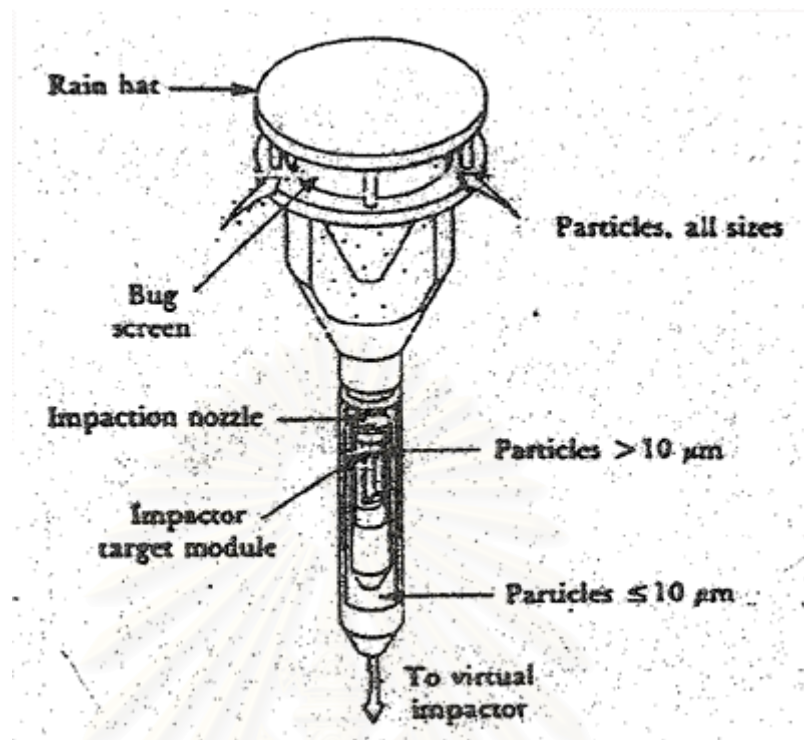
ในการศึกษาครั้งนี้ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนด้วย Dichotomous Air Sampler ซึ่งสามารถแบ่งแยกขนาดของฝุ่นละอองออกได้เป็น 2 ช่วงขนาด คืออนุภาคส่วนหยาบ(Coarse particle) หรือฝุ่นละอองที่มีขนาดอยู่ในช่วง 2.5-10 ไมครอน และอนุภาคส่วนละเอียด(Fine particle) หรือฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยอาศัยความแตกต่างของอัตราการไหลของอากาศเป็นตัวคัดแยกขนาด (รายละเอียดในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3.4) โดยลักษณะและส่วนประกอบที่สำคัญของDichotomous Air Sampler รูปที่ 3.5 เป็นดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 ส่วนประกอบที่สำคัญของ Dichotomous Air Sampler

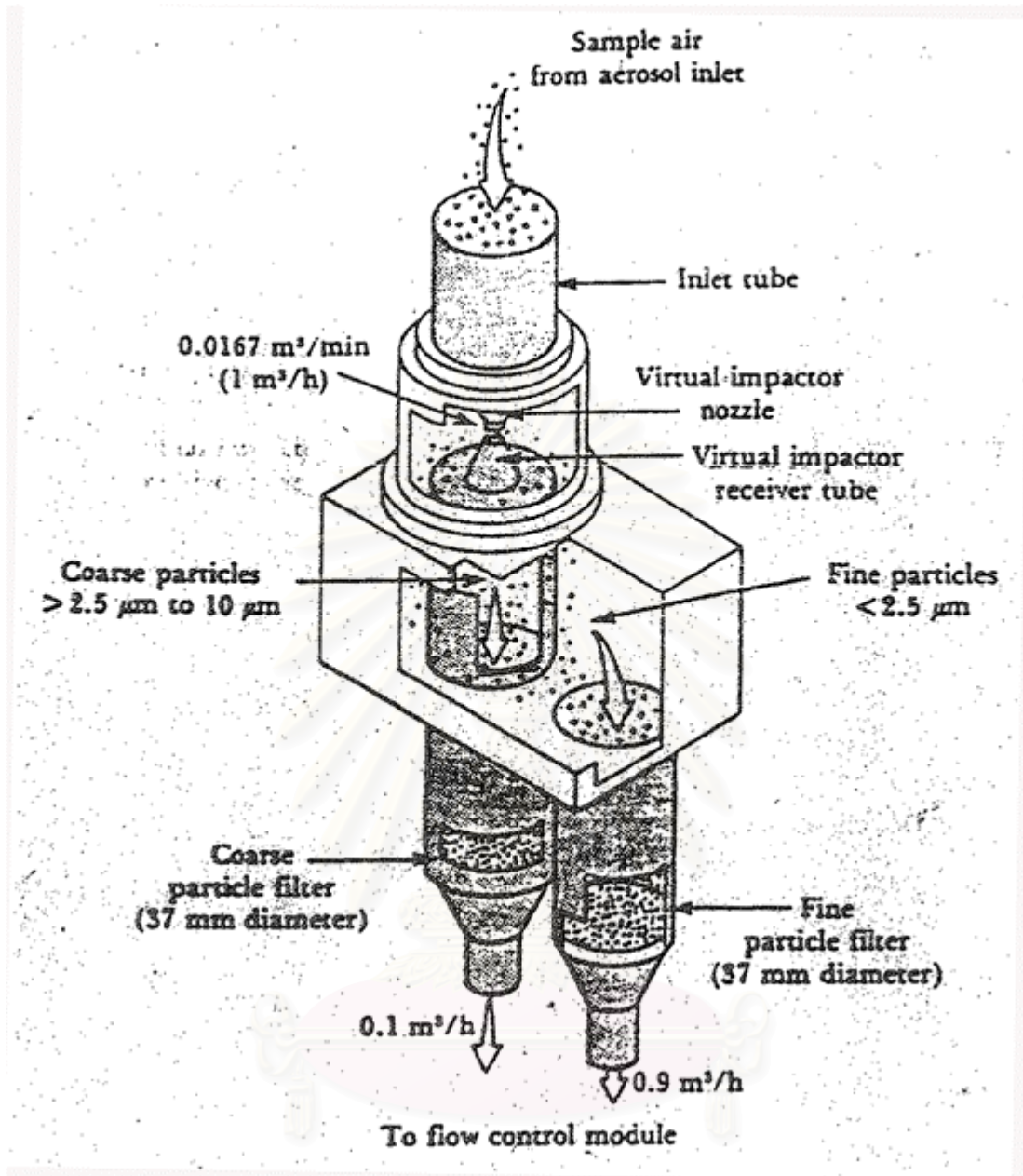
- Aerosol Inlet เป็นส่วนที่รับอากาศซึ่งประกอบด้วยฝุ่นละอองทุกขนาดเข้าสู่ระบบ จากนั้นอากาศจะถูกดึงให้ไหลลงสู่ acceleration jet ของ impactor เนื่องจากแรงเฉื่อยของอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนที่มากกว่าทำให้ฝุ่นขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอนถูกแยกออกไปโดย impactor ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจะถูกดึงลงสู่ virtual impactor (รูปที่ 3.6)
- Virtual impactor เป็นบริเวณที่เกิดการคัดแยกขนาดของฝุ่นละออง โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ผ่าน vent tube ลงไปสู่บริเวณ virtual impactor ซึ่งสามารถแยกฝุ่นละอองออกเป็นฝุ่นละอองขนาดหยาบและขนาดละเอียด (รูปที่ 3.7) บริเวณ Virtual Impactor นี้การไหลของอากาศจะแยกออก ฝุ่นละอองขนาดละเอียดส่วนใหญ่จะไหลตามกระแสอากาศที่มีความเร็วสูงกว่า และไปตกลงสู่กระดวยกรองที่ใช้เก็บฝุ่นละอองขนาดละเอียด(Fine particle filter) และเนื่องด้วยแรงเฉื่อยที่มากกว่าอนุภาคส่วนหยาบจะยังคงผ่านเข้าไปใน virtual impactor receiver tube และ ตกกลงสู่กระดวยกรองที่ใช้เก็บฝุ่นละอองขนาดหยาบ(Coarse particle filter)
- Filter Holder เป็นบริเวณที่ฝุ่นละอองทั้งขนาดละเอียด และขนาดหยาบตกสะสมโดยมีกระดวย กรองรองรับ
- Flow control module เครื่องควบคุมอัตราการไหลของอากาศ ซึ่งตั้งอยู่กับเครื่องบริเวณ Filter holder



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดย Dichotomous Air Sampler

#### ข้อกำหนดในการเก็บตัวอย่าง

- บริเวณที่จะติดตั้ง Dichotomous Air Sampler ต้องอยู่ห่างจากต้นไม้ อาคาร หรือสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่อย่างน้อยที่สุด 2 เมตร
- ทางเข้าของอากาศ(Inlet Tube) ควรอยู่ห่างจากพื้นดินประมาณ 2-7 เมตร
- ต้องควบคุมอัตราการไหลของอากาศ (Air Flow Rate) ให้คงที่ตลอดเวลา
- กรณีที่มีการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องมืออื่นร่วมด้วย ทางเข้าของอากาศ(Air Inlet) จะต้องห่างจากทางเข้าอากาศของเครื่องมืออื่น อย่างน้อย 4 เมตร
- ไม่ควรติดตั้ง Dichotomous Air Sampler ใกล้กับปล่องหรือท่อระบายอากาศ

#### อัตราการไหลของRotameter

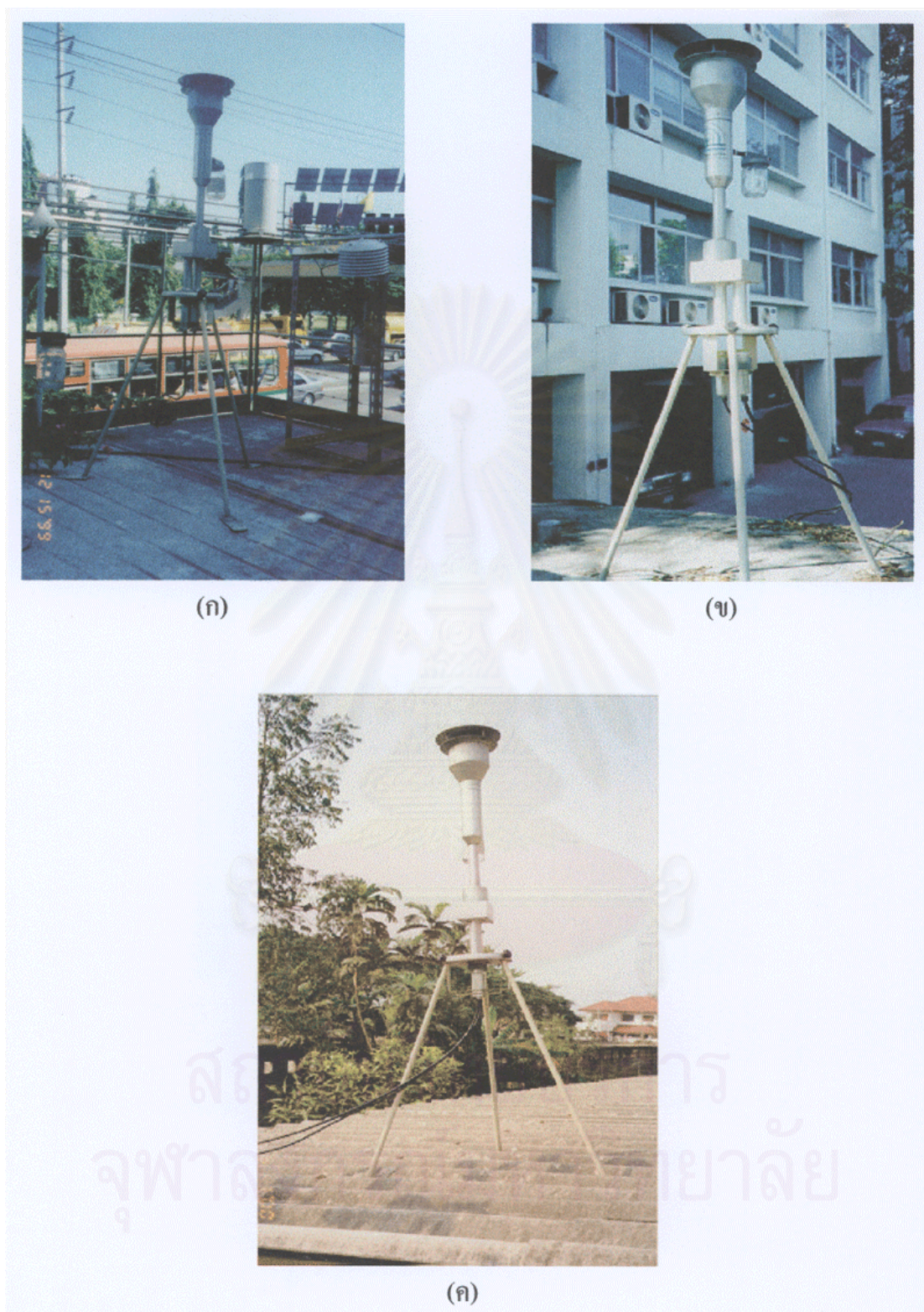
1. อัตราการไหลที่ Coarse Rotameter :CQa  
ต้องมีค่า 1.67 ลิตรต่อนาที  $\pm 10\%$
2. อัตราการไหลที่ Total Rotameter :TQa  
ต้องมีค่า 16.7 ลิตรต่อนาที  $\pm 10\%$

#### อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1. Dichotomous Air Sampler
2. กระจกกรองชนิด Teflon membrane Filter จำนวน 2 แผ่น
3. คลิปใส่กระจกกรอง
4. ปากคีบ(Tweezers)
5. O ring

#### ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. นำกระจกกรองไปดูความชื้นในเคซิเคเตอร์นาน 24 ชั่วโมง
2. ชั่งน้ำหนักกระจกกรองก่อนการเก็บตัวอย่าง(Tareweight)
3. บันทึกค่าน้ำหนัก(Tareweight) ลงใน Data Sheet
4. นำกระจกกรองใส่ในคลิปใส่กระจกกรอง(Petri Dish)
5. บันทึกข้อมูลต่อไปนี้ลงบนคลิปใส่กระจกกรอง
  - รหัสกระจกกรอง
  - สถานที่เก็บตัวอย่าง
  - วัน เวลาที่เก็บตัวอย่าง
  - น้ำหนักกระจกกรองก่อนการเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3.8 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น Dichotomous Air Sampler

(ก) บริเวณดินแดง

(ข) บริเวณพญาไท

(ค) บริเวณพุทธมณฑลสายสอง





รูปที่ 3.9 แสดงการเก็บตัวอย่าง PM 2.5-10 และ PM 2.5 โดยกระดาศกรอง  
บน filter holder ด้วยเครื่อง Dichotomous Air Sampler

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## DICHOTOMOUS SAMPLER FIELD SHEET

Site ดินแดง Sample No. \_\_\_\_\_  
 Operater PCD Teflon ID \_\_\_\_\_  
 - Fine : 857  
 - Coarse : 858

Start Date 25/12/42  
 Start Time 13.00  
 Finish Date 26/12/42  
 Finish Time 13.00  
 Elapsed Time \_\_\_\_\_

	TOTAL		COARSE	
	Start	Final	Start	Final
Rotameter Indication (L/min)	17.28	17.5	1.673	1.670
Vacuum Indication (Kpa)	8	8	0	0

Start Volume 0335480 m<sup>3</sup>

Finish Volume 0337510 m<sup>3</sup>

P<sub>av</sub> 763 mmHg

T<sub>av</sub> 20.6 °C

รูปที่ 3.10 Dichotomous sampler field sheet

### ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง

1. ทำการปรับเทียบความถูกต้อง(Calibration)ในการอ่านค่าอัตราการไหลของอากาศของเครื่อง Dichotomous Air Sampler (ภาคผนวก ฉ)
2. นำกระดาษกรองออกจากคลิป์ใส่กระดาษกรองโดยใช้ Tweezers คีบออกแล้วใส่ลงใน O ring จากนั้นวาง O ring ในตำแหน่งที่วางกระดาษกรอง(Filter holder) ในเครื่อง Dichotomous Air Sampler
3. เปิดสวิทช์ให้เครื่องทำงานอย่างน้อย 5 นาทีเป็นการอุ่นเครื่อง
4. ตั้งเวลาการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง และอัตราการไหลของอากาศ (Flow rate) ของ Total Rotameter ตั้งไว้ที่ 16.7 ลิตรต่อนาที และ Coarse Rotameter ตั้งไว้ที่ 1.67 ลิตรต่อนาที
5. อ่านค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ Flow Control Module แล้วบันทึกลงใน Data Sheet ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.10
6. นำกระดาษกรองออกจากเครื่อง และ O ring และใช้ปากคีบเก็บในคลิป์ใส่กระดาษกรอง
7. บันทึกวันที่ และเวลาที่สิ้นสุดการเก็บตัวอย่าง

### 3.4 การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric analysis)

การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการวัดหามวลของกระดาศกรองในห้องปฏิบัติการ โดยจะทำการคำนวณหามวลสุทธิจากการชั่งน้ำหนักของกระดาศกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักในสถานะที่ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ วิธีการหาปริมาณฝุ่นละอองต้องมีการปรับสภาพก่อนการใช้งานของกระดาศกรองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ให้มีค่าคงที่(มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน  $\pm 5\%$ ) โดยให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง 20 % ถึง 40 % (ความคลาดเคลื่อน  $\pm 5\%$ ) และอุณหภูมิคงที่ระหว่าง 15 องศาเซลเซียส ถึง 30 องศาเซลเซียส (มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน  $\pm 3$  องศาเซลเซียส) เพื่อลดปริมาณของเหลวที่ถูกดูดซึมโดยสารประกอบที่ละลายได้ และลดปริมาณการสูญหายของเหลวชนิดที่ละลายได้ และควรมีพื้นที่ในการทำงานที่สะอาดและใช้ถุงมือสำหรับการชั่งน้ำหนักกระดาศกรอง

#### อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก METTLER UMTS ที่ห้องปฏิบัติการกองจัดการคุณภาพอากาศ และเลียง กรมควบคุมมลพิษ
2. กระดาศกรองที่เก็บตัวอย่างทั้งกระดาศกรองที่เก็บฝุ่นขนาดเล็กละเอียด(Fine filter) และกระดาศกรองที่เก็บฝุ่นขนาดใหญ่หยาบ(Coarse filter)
3. ปากคืบ
4. ถุงมือ

#### การเตรียมกระดาศกรอง

นำกระดาศกรองที่สะอาดไม่มีรอยขรุขระ นำไปอบไล่ความชื้นในตู้เคซิเคเตอร์ที่มีซิลิกาเจล(Silica Gel) บรรจุอยู่สำหรับดูดความชื้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน

#### วิธีการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่น

หลังจากการเก็บตัวอย่างฝุ่นในอากาศด้วยเครื่อง Dichotomous Air Sampler แล้ว

1. นำกระดาศกรองที่ใช้เก็บตัวอย่างทั้ง 2 แผ่นมาดูดความชื้นในเคซิเคเตอร์ โดยควบคุมให้สภาวะต่าง ๆ ได้แก่ ปริมาณความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลา ให้เป็นเช่นเดียวกับก่อนการเก็บตัวอย่าง
2. ทำการชั่งน้ำหนักกระดาศกรองหลังจากเก็บตัวอย่าง ด้วยเครื่องชั่งเดียวกับที่ชั่งน้ำหนักก่อนการเก็บตัวอย่าง
3. บันทึกน้ำหนักหลังจากเก็บตัวอย่าง(Final weight) ลงใน Data Sheet
4. คำนวมน้ำหนักฝุ่น



รูปที่ 3.11 การชั่งน้ำหนักกระดาษกรองเก็บตัวอย่างฝุ่น

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### การคำนวณน้ำหนักฝุ่น

การคำนวณความเข้มข้นฝุ่นละออง โดยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่น Dichotomous Air Sampler

1. การคำนวณอัตราการไหลของอากาศ คำนวณค่าการไหลของทั้งฝุ่นละอองส่วนหยาบและฝุ่นละอองส่วนละเอียด โดยหาค่าเฉลี่ยระหว่างค่า Rotameter ที่ตั้งไว้ในตอนแรก(ก่อนเก็บตัวอย่าง) กับค่า Rotameter หลังจากเก็บตัวอย่าง

$$I = (TSP \text{ or } CSP + IF) / 2$$

โดยที่ I	=	ค่าเฉลี่ยของ Rotameter
TSP, CSP	=	Rotameter ของ total หรือ coarse ที่ตั้งไว้เริ่มต้น (Total or Coarse Rotameter Set Point)
IF	=	Rotameter ของ total และ coarse หลังจากเสร็จสิ้นการเก็บตัวอย่าง (Indicated Final total or coarse rotameter response, arbitrary units)

นำค่าที่ได้นี้ไปใช้หาค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลของการเก็บฝุ่นละอองขนาดหยาบและฝุ่นละอองขนาดละเอียดดังนี้

$$TQ_a \text{ or } CQ_a = 1/m [ I (T_{av} P_{av})^{1/2} - b ]$$

เมื่อ $TQ_a, CQ_a$	=	ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลของการเก็บฝุ่นรวมทั้งหยาบ และฝุ่นขนาดหยาบในสภาวะมาตรฐาน โดยเครื่องมือ; ลิตรต่อนาที
I	=	ค่าเฉลี่ยของ Rotameter; arbitrary unit
$T_{av}$	=	ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศในวันที่เก็บตัวอย่าง; เคลวิน
$P_{av}$	=	ค่าเฉลี่ยความกดดันอากาศในวันที่เก็บตัวอย่าง; mmHg หรือ kPa
m	=	ความชันของกราฟจากการปรับเทียบ(calibration)
b	=	ผลต่างของการปรับเทียบความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดละเอียด และฝุ่นขนาดหยาบ

## 2. การคำนวณปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM-10)

จะต้องคำนวณโดยใช้ข้อมูลปริมาณอากาศทั้งหมดแล้วจึงคำนวณหาความเข้มข้นของมวลทั้งหมด

$$V = (TQ_a) t$$

เมื่อ	V	=	ปริมาตรอากาศตัวอย่างในหน่วยปริมาตรมาตรฐาน; m <sup>3</sup>
	TQ <sub>a</sub>	=	อัตราการไหลของฝุ่นรวมทั้งหมด ในสภาวะมาตรฐาน; m <sup>3</sup> /min
	t	=	เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง; min

ดังนั้น

$$PM_{10} = \frac{(M_r + M_c)(10^6)}{(V)}$$

เมื่อ	PM <sub>10</sub>	=	ความเข้มข้นมวลของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน; μg/m <sup>3</sup>
	M <sub>r</sub>	=	มวลสุทธิของอนุภาคในกระดวยกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กละเอียด ;mg
	M <sub>c</sub>	=	มวลสุทธิของอนุภาคในกระดวยกรองฝุ่นละอองขนาดหยาบ ;mg
	V	=	ปริมาตรอากาศตัวอย่างทั้งหมด ;L

### 2.1 การคำนวณน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดเล็กละเอียด

$$[F] = \frac{M_r(10^6)}{(FQ_a) t}$$

เมื่อ	[F]	=	ความเข้มข้นมวลของฝุ่นละอองขนาดเล็กละเอียด; μg/m <sup>3</sup>
	M <sub>r</sub>	=	มวลสุทธิของอนุภาคในกระดวยกรองฝุ่นละอองขนาดเล็กละเอียด ;mg
	10 <sup>6</sup>	=	เปลี่ยนหน่วยจากmg ไปเป็นμg และ L ไปเป็น m <sup>3</sup>
	FQ <sub>a</sub>	=	ค่าของอัตราการไหลเฉลี่ยของอนุภาคส่วนละเอียดใน สภาวะมาตรฐาน                      จำนวนจาก TQ <sub>a</sub> – CQ <sub>a</sub> ; L/min
	t	=	ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง; min

## 2.2 การคำนวณน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดหยาบ

$$[C] = \frac{M_c (10^6) - [F] (CQ_a) t}{(TQ_a) t}$$

- [C] = ความเข้มข้นมวลของฝุ่นละอองขนาดหยาบ;  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 $M_c$  = มวลสุทธิของอนุภาคในกระดวยกรองฝุ่นละอองขนาดหยาบ ;mg  
 $10^6$  = เปลี่ยนหน่วยจาก mg ไปเป็น  $\mu\text{g}$  และ L ไปเป็น  $\text{m}^3$   
[F] = ความเข้มข้นมวล ของฝุ่นละอองขนาดละเอียด;  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 $CQ_a$  = ค่าของอัตราการไหลเฉลี่ยของอนุภาคส่วนหยาบในสภาวะมาตรฐาน ; L/min  
 $TQ_a$  = อัตราการไหลเฉลี่ยของทั้งฝุ่นรวมทั้งหมดในสภาวะมาตรฐาน ; L/min  
t = ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง ;min

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างฝุ่นในอากาศที่นำมาวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

สถานที่	ฤดูฝน	จำนวนตัวอย่าง	ฤดูแล้ง	จำนวนตัวอย่าง
	ช่วงเวลา		ช่วงเวลา	
ดินแดง	20 พ.ค. 42 ถึง 11 พ.ย. 42	30	17 พ.ย.42 ถึง 1 ม.ค. 43	30
	พญาไท		20 พ.ค. 42 ถึง 11 พ.ย. 42	
พุทธมณฑล สายสอง		3 ก.ค. 43 ถึง 8 ก.ค. 43	10	4 ม.ค. 43 ถึง 9 ม.ค. 43

จากตัวอย่างที่เก็บบริเวณดินแดง พญาไท และพุทธมณฑลสายสองเลือกตัวอย่างฝุ่นขนาดหยาบและละเอียดฤดูละ 2 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการเชิงคุณภาพโดย Energy Dispersive X-ray Fluorescence ; EDX



สุ่มเลือกตัวอย่างฝุ่นขนาดละเอียดที่เก็บบริเวณคินแดง และพญาไทฤดูละ 6 ตัวอย่าง และพุทธมณฑลสายสองฤดูละ 3 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์หองค์ประกอบธาตุเชิงปริมาณ โดย Atomic Absorbance Spectrophotometry ;AAS

### 3.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ

#### 3.5.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์ระบบ Energy Dispersive X-ray Fluorescence (EDX) เป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็วเพราะระบบนี้มักจะใช้กับเครื่องวิเคราะห์สัญญาณแบบหลายช่อง ทำให้สามารถจัดแบ่งช่องรับสัญญาณให้ครอบคลุมช่วงพลังงานกว้าง ๆ ได้ ดังนั้นการตรวจวัดพลังงานของรังสีเอกซ์เรื่องที่เข้าสู่หัววัดรังสีจึงกระทำได้พร้อมกันหลาย ๆ ระดับพลังงาน ครอบคลุมตลอดช่วงพลังงานที่ต้องการ อย่างไรก็ตามระบบนี้ยังคงมีข้อจำกัดทางด้านความสามารถในการแยกพลังงานซึ่งจะทำให้เกิดการซ้อนกัน(Overlapping) ของสเปกตรัมที่มีพลังงานใกล้เคียงกัน

#### เครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์

1. เครื่องมือวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองแบบEDX รุ่น JSM-6400 ของบริษัท JEOL ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope;SEM) ที่ติดตั้งหน่วยวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรืองด้วย

#### วิธีดำเนินการ

1. การศึกษาธาตุต่าง ๆ จากกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่าง
  - 1.1 หาพื้นที่ของกระดาษกรองที่ถูกกระตุ้นด้วยรังสีเอกซ์ปฐมภูมิของเครื่องมือวิเคราะห์แบบ EDX
  - 1.2 นำกระดาษกรองที่ยังไม่ได้ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นหรือกระดาษกรองแบลนค์(Blank Filter) บันทึกลง สเปกตรัมของแบลนค์แล้ววิเคราะห์สเปกตรัมเพื่อหาชนิดของสารที่ปนเปื้อน
  - 1.3 ใช้เครื่องEDXบันทึกสเปกตรัมของธาตุต่าง ๆ ที่อยู่บนกระดาษกรองที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นทั้งกระดาษกรองที่เก็บฝุ่นขนาดหยาบ(Coarse Particle Filter) และกระดาษกรองที่เก็บฝุ่นขนาดละเอียด(Fine Particle Filter) พร้อมทั้งบันทึกสเปกตรัมของพีคกระเจิงกลับ Compton และ Rayleigh peak ด้วย
  - 1.4 ตรวจสอบตำแหน่งของยอดพีค และแบคกราวด์(Background) ของธาตุต่าง ๆ
  - 1.5 กำหนดสภาวะ(Condition) ของเครื่องEDX เพื่อใช้วิเคราะห์ปริมาณธาตุแต่ละธาตุ
  - 1.6 วัดความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของธาตุแต่ละธาตุ ค่าแบคกราวด์ และความเข้มของรังสีเอกซ์เรืองของ Scattered x-ray ของกระดาษกรองตัวอย่าง พร้อมทั้งวัดกระดาษกรองที่ใช้เป็นแบลนค์ด้วย

2. ศึกษาฝุ่นละอองบนกระดาษกรองโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscope;SEM) ที่ติดตั้งอยู่ร่วมกับหน่วยวิเคราะห์รังสีเอกซ์เรือง
3. ศึกษาลักษณะการกระจายตัวของฝุ่น โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

### 3.5.2 การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบธาตุเชิงปริมาณด้วย Atomic Absorption Spectroscopy

#### หลักการ

Atomic Absorption Spectroscopy(AAS) เป็นเทคนิคการวิเคราะห์ธาตุ โดยเป็นกระบวนการที่เกิดจากอะตอมเสรีของธาตุดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นหนึ่งโดยเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของธาตุ ธาตุแต่ละชนิดจะมีระดับของพลังงานแตกต่างกัน ในการทำให้อะตอมของธาตุในสารประกอบเกิดเป็นอะตอมเสรีได้นั้นต้องมีการดูดกลืนพลังงานเข้าไปซึ่งอาจจะอยู่ในรูปต่าง ๆ กัน เช่นพลังงานความร้อนจากเปลวไฟ หรือความร้อนจากไฟฟ้าเป็นต้น ความร้อนจะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัว(Dissosiation)หรือเปลี่ยนให้เป็นไอ(Vaporization) หรืออาจแตกตัวเป็นอะตอม หรือทำให้อะตอมอยู่ในสถานะกระตุ้นหรืออาจกลายเป็นไอออนได้

เมื่อเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในบรรยากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงบนกระดาษกรองชนิดเทฟลอน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 37 มม. โดยเครื่องเก็บตัวอย่าง Dichotomous air sampler แล้วนำตัวอย่างมาวิเคราะห์หาธาตุเชิงปริมาณด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์บชันสเปกโตรสโคปี เทคนิคกราฟไฟต์เฟอเรนค(Graphite Furnace Atomic Absorption Spectroscopy (GFAAS) สำหรับ ตัวอย่างที่มีความเข้มข้นอยู่ในระดับส่วนในพันล้านส่วน(ppb)

#### การวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบธาตุ

เมื่อนำกระดาษกรองที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นมาย่อยสลายของค์ประกอบธาตุชนิดต่าง ๆ จะถูกละลายออกมาโดยกรด จากนั้นจึงนำเอาสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบธาตุด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy

#### อุปกรณ์

1. เครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy
2. เตาไฟฟ้า (Hot Plate)
3. ตู้ดูดควัน (Hood)
4. เครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์
  - บีกเกอร์(beaker) ขนาด 150 มล.
  - ขวดวัดปริมาตร(Volumetric Flask) ขนาด 50 มล.
  - ปิเปตวัดปริมาตร ขนาด 2 มล.

- กระจกนาฬิกา

5. ขวดเก็บสารละลายตัวอย่าง(Polyethylene Bottle) ขนาด 50-125 มล.
6. ขวดฉีดน้ำกลั่น

สารเคมี

1. กรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO<sub>3</sub>)
2. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Distilled Deionized water)

การเตรียมเครื่องแก้วก่อนการวิเคราะห์

เครื่องแก้วที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ต้องทำความสะอาดตามขั้นตอนดังนี้

1. ล้างด้วยน้ำยาทำความสะอาดเครื่องแก้ว
2. ล้างด้วยน้ำประปา
3. แช่ใน 0.1 M HNO<sub>3</sub>
4. ล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน 3 ครั้ง
5. ปลอ่ยให้แห้งในบริเวณที่ปราศจากฝุ่น

วิธีการสกัดตัวอย่างบนกระดาษกรองเทปลอนด้วยวิธี Hot Extraction

Method NO. : S341 (NIOSH, 1977)

1. นำกระดาษกรองตัวอย่างที่ต้องการสกัดใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มล. โดยคว่ำกระดาษกรองด้านที่มีฝุ่นลง
2. เติมกรดไนตริกเข้มข้น 2 – 3 มล. ปิดด้วยกระจกนาฬิกา และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียสในตู้ดูดควัน ให้ความร้อนจนกระทั่งกรดส่วนมากระเหยไป
3. ทำซ้ำอีกครั้งโดยเติมกรดไนตริกเข้มข้น 2 – 3 มล. ปิดด้วยกระจกนาฬิกา แต่เพิ่มความร้อนให้สูงขึ้นเป็น 400 องศาเซลเซียสจนกระทั่งสารละลายเกือบแห้ง
4. ใช้น้ำกลั่นล้างกระจกนาฬิกา ลงในบีกเกอร์และล้างข้าง ๆ บีกเกอร์อย่างระมัดระวัง
5. ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องให้กรดไนตริกเข้มข้น 1 มล. ละลายล้างสิ่งที่ติดอยู่ในบีกเกอร์
6. ถ่ายสารละลายนั้นใส่ใน Volumetric Flash ขนาด 50 มล.
7. ล้างบีกเกอร์อย่างน้อย 2 – 3 ครั้งด้วยน้ำกลั่น ถ่ายสารละลายใส่ใน Volumetric Flash แล้วทำปริมาตรให้เป็น 50 มล.
8. เก็บสารละลายตัวอย่างที่ได้ในขวดพลาสติก (Polyethylene Bottle) เตรียมนำไปวิเคราะห์ธาตุด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectroscopy

### การคำนวณ

$$C = \frac{(X - B)(50)}{V}$$

C	=	ความเข้มข้นของธาตุในอากาศ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
X	=	ความเข้มข้นของธาตุที่วัดจากAAS ( $\mu\text{g}$ )
B	=	ความเข้มข้นของโลหะที่วัดจากAASของblank filter ( $\mu\text{g}$ )
50	=	ปริมาตรสุดที่นำเข้าไปวิเคราะห์ (ml)
V	=	ปริมาตรอากาศที่ดูดผ่านเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ ( $\text{m}^3$ )

### 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (Statistical Package for the Social Science Version 9.10)

3.6.1 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเชิงพรรณนา(Discriptive Statistic) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าร้อยละ(Percentage) พิสัย(Range)

3.6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติเชิงอนุมาน(Inferential Statistic) ใช้ในการทดสอบสมมติฐานมีหลักเกณฑ์ในการเลือกใช้

- ศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนด้วย Regression Analysis ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%
- เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในแต่ละพื้นที่ที่เก็บตัวอย่าง โดยใช้ T – test ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%
- เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนระหว่างฤดูฝน และฤดูแล้ง ด้วย Paired Sample T – test ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%
- เปรียบเทียบปริมาณของธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ระหว่างพื้นที่ศึกษา และพื้นที่ควบคุม ด้วย Multiple Regression Analysis ที่ช่วงความเชื่อมั่น 95%

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

##### ช่วงฤดูฝน

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ผลการตรวจวัดในทั้ง 3 บริเวณ (ตาราง 4.1 และ 4.3) พบว่าดินแดงซึ่งเป็นบรรยากาศริมถนนมีค่าอยู่ในช่วง 60.44 – 151.09 มลก./ลบ.ม. โดยบางค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 120 มลก./ลบ.ม. ส่วนพญาไทซึ่งเป็นบรรยากาศทั่วไป และพุทธมณฑลสายสองเป็นพื้นที่ควบคุมมีค่าค่อนข้างต่ำคืออยู่ในช่วง 16.97 – 88.15 มลก./ลบ.ม. และ 17.32 – 28.98 มลก./ลบ.ม. ตามลำดับ โดยความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนสูงสุดที่ดินแดง 107.50 มลก./ลบ.ม. รองลงมาคือพญาไท 42.02 มลก./ลบ.ม. ส่วนพุทธมณฑลสายสองมีความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนต่ำที่สุดคือ 22.03 มลก./ลบ.ม.

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วน พบว่าดินแดงจะมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 2.56 และ 4.82 เท่าของปริมาณฝุ่นที่พญาไทและพุทธมณฑลสายสองตามลำดับ โดยที่พญาไทมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละอองเป็น 1.88 เท่าของปริมาณฝุ่นบริเวณพุทธมณฑลสายสอง

ฝุ่นละอองขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน จากผลการตรวจวัด (ตาราง 4.1 และ 4.3) พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.45 – 82.46 มลก./ลบ.ม. ส่วนผลการตรวจวัดในแต่ละบริเวณมีลักษณะเดียวกับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน คือบริเวณที่มีค่าสูงสุดคือดินแดง 7.03 – 82.46 มลก./ลบ.ม. รองลงมาคือพญาไท 0.45 – 59.20 มลก./ลบ.ม. และค่าต่ำสุดที่พุทธมณฑลสายสองมีค่า 4.80 – 11.54 มลก./ลบ.ม.

อัตราส่วนของปริมาณฝุ่นขนาดระหว่าง 2.5 ถึง 10 ไมครอน พบว่าดินแดงมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 2.95 และ 5.39 เท่าของฝุ่นที่พญาไท และพุทธมณฑลสายสองตามลำดับ ส่วนพญาไทมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 1.83 เท่าของปริมาณฝุ่นที่พุทธมณฑลสายสอง

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ผลการตรวจวัด (ตาราง 4.1 และ 4.3) พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 12.52 – 100.51 มลก./ลบ.ม. โดยผลการตรวจวัดในแต่ละบริเวณมีแนวโน้มคล้ายกับปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอน คือดินแดงมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 31.78 – 100.51 มลก./ลบ.ม. รองลงมาคือพญาไท 13.69 – 67.05 มลก./ลบ.ม. และค่าต่ำสุดที่พุทธมณฑลสายสองมีค่า 12.52 – 17.44 มลก./ลบ.ม.

อัตราส่วนของปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน พบว่า ดินแดงมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 2.36 และ 4.6 เท่าของฝุ่นบริเวณพญาไท และพุทธมณฑลสายสอง ตามลำดับ ส่วนพญาไทมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 1.95 เท่าของปริมาณฝุ่นที่พุทธมณฑลสายสอง

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเฉลี่ยและพิสัยของปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในช่วงฤดูฝน

สถานที่	ฝุ่น < 2.5 ไมครอน (มกก./ลบ.ม.)	ฝุ่น 2.5 -10 ไมครอน (มกก./ลบ.ม.)	ฝุ่น < 10 ไมครอน (มกก./ลบ.ม.)
ดินแดง	65.35 (31.78 – 100.51)	42.16 (7.03 – 82.46)	107.50 (60.44 – 151.09)
พญาไท	27.71 (13.69 – 67.05)	14.31 (0.45 – 59.20)	42.02 (16.97 – 88.15)
พุทธมณฑล สายสอง	14.21 (12.52 – 17.44)	7.83 (4.80 – 11.54)	22.30 (17.32 – 28.98)

#### ช่วงฤดูแล้ง

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากตาราง 4.2 และ 4.4 พบว่าปริมาณฝุ่นที่ตรวจวัดในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝนในทุกสถานี ค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 42.02 - 290.47 มกก./ลบ.ม. ซึ่งปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีค่าเกินมาตรฐานใน 2 บริเวณ คือที่ ดินแดงซึ่งเป็นจุดที่มีปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนสูงที่สุด อยู่ในช่วง 103.50 – 290.47 มกก./ลบ.ม. และมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 190.25 มกก./ลบ.ม. ซึ่งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดถึง 1.58 เท่า และบริเวณพญาไทมีความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนรองลงมา อยู่ในช่วง 51.48 – 236.50 มกก./ลบ.ม. ความเข้มข้นเฉลี่ย 102.45 มกก./ลบ.ม. ส่วนพุทธมณฑลสายสองมีค่าอยู่ระหว่าง 42.01 – 72.20 มกก./ลบ.ม. และค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 52.10 มกก./ลบ.ม.

เปรียบเทียบอัตราส่วนพบว่าดินแดงมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 1.85 และ 3.65 เท่าของปริมาณฝุ่นที่พญาไท และพุทธมณฑลสายสองตามลำดับ ส่วนที่พญาไทมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 1.97 เท่าของฝุ่นที่พุทธมณฑลสายสอง

ฝุ่นละอองขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน จากตาราง 4.2 และ 4.4 พบว่าฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนมีค่าอยู่ในช่วง 16.46 – 96.78 มกก./ลบ.ม. โดยผลการตรวจวัดในแต่ละบริเวณพบว่าบริเวณที่มีค่าสูงสุดคือพญาไทมีค่าอยู่ในช่วง 18.11 – 96.78 มกก./ลบ.ม. รองลงมาคือดินแดง 32.69 – 87.15 มกก./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสองมีค่าต่ำสุด 16.46 – 23.16 มกก./ลบ.ม. แต่โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ยพบว่าดินแดงมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุด คือ 60.69 มกก./ลบ.ม. ส่วนที่

พญาไท และพุทธมณฑลสายสองมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 39.83 และ 19.70 มกก./ลบ.ม. ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนพบว่าที่ดินแดงมีปริมาณฝุ่นเฉลี่ยเป็น 1.52 และ 3.08 เท่า ของปริมาณฝุ่นที่พญาไทและพุทธมณฑลสายสองตามลำดับ ส่วนพญาไทมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 2.02 เท่าของปริมาณฝุ่นที่พุทธมณฑลสายสอง

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ผลการตรวจวัดดังตาราง 4.2 และ 4.4 พบว่าค่าที่ตรวจวัดได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 23.32 – 209.70 มกก./ลบ.ม. โดยผลการตรวจวัดแต่ละบริเวณมีแนวโน้มคล้ายกับปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนคือดินแดง มีค่าสูงสุดโดยมีค่าอยู่ในช่วง 70.81 – 209.70 มกก./ลบ.ม. รองลงมาคือพญาไทมีค่าอยู่ในช่วง 33.27 – 139.72 มกก./ลบ.ม. และค่าต่ำสุดที่พุทธมณฑลสายสอง 23.32 – 49.04 มกก./ลบ.ม.

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนพบว่าที่ดินแดงมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 2.07 และ 4 เท่าของปริมาณฝุ่นบริเวณพญาไท และพุทธมณฑลสายสองตามลำดับ ส่วนที่พญาไทมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นเป็น 1.92 เท่าของฝุ่นบริเวณพุทธมณฑลสายสอง

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ย และพิสัยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในช่วงฤดูแล้ง

สถานที่	ฝุ่น < 2.5 ไมครอน (มกก./ลบ.ม.)	ฝุ่น 2.5 - 10 ไมครอน (มกก./ลบ.ม.)	ฝุ่น < 10 ไมครอน (มกก./ลบ.ม.)
ดินแดง	129.56 (70.81 - 209.70)	60.69 (32.69 - 87.15)	190.25 (103.50 - 290.47)
พญาไท	62.63 (33.27 - 139.72)	39.83 (18.11 - 96.78)	102.45 (51.48 - 236.50)
พุทธมณฑล สายสอง	32.40 (23.32 - 49.04)	19.70 (16.46 - 23.16)	52.10 (42.01 - 72.20)

หากพิจารณาถึงปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นขนาดช่วง 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในทั้งสองฤดูแล้ว จะเห็นว่าในฤดูแล้งมีแนวโน้มของฝุ่นละอองทั้งสามชนิดในปริมาณสูงกว่าในฤดูฝน โดยที่ดินแดงซึ่งเป็นบรรยากาศริมถนนมีปริมาณฝุ่นทั้งสามชนิดสูงกว่าที่พญาไท ซึ่งเป็นบรรยากาศทั่วไป และบริเวณพื้นที่ควบคุมพุทธมณฑลสายสองตามลำดับ

ตาราง 4.3 แสดงปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่จับเก็บตัวอย่างทั้ง 3 บริเวณ ในช่วงฤดูฝน

ฤดู	ดินแดง				พญาไท				พุทธมณฑลสายสอง			
	วันที่	< 2.5 ไมครอน	2.5-10 ไมครอน	< 10 ไมครอน	วันที่	< 2.5 ไมครอน	2.5-10 ไมครอน	< 10 ไมครอน	วันที่	< 2.5 ไมครอน	2.5-10 ไมครอน	< 10 ไมครอน
ฝน	20/5/42	58.69	45.82	104.52	20/5/42	18.9	59.2	78.1	3/7/43	13.62	7.17	20.79
	26/5/42	41.96	82.46	124.42	26/5/42	38.37	0.95	39.32	5/7/43	13.79	6.45	20.24
	1/6/42	71.39	17.33	88.73	1/6/42	20.07	8.78	28.85	6/7/43	12.52	4.8	17.32
	7/6/42	54.48	52.21	106.7	7/6/42	16.52	0.45	16.97	7/7/43	13.66	9.17	22.82
	13/6/42	31.78	54.12	85.9	13/6/42	17.11	2.86	19.97	8/7/43	17.44	11.54	28.98
	19/6/42	75.06	56.5	131.56	19/6/42	23.18	10.61	33.78				
	25/6/42	53.41	7.03	60.44	25/6/42	19.68	9.92	29.6				
	1/7/42	55.93	34.3	90.23	1/7/42	24.88	16.34	41.21				
	7/7/42	66.57	30.67	97.25	7/7/42	14.06	10.37	24.43				
	13/7/42	58.98	39.32	98.22	13/7/42	66.11	16.22	82.34				
	21/10/42	100.51	50.59	151.09	21/10/42	28.63	22.35	50.99				
	24/10/42	58.82	35.92	94.74	24/10/42	13.69	10.29	23.99				
	27/10/42	81.34	54.46	135.8	27/10/42	22.21	13.75	35.96				
	30/10/42	98.35	41.44	139.79	30/10/42	25.15	11.46	36.62				
	11/11/42	72.86	30.28	103.14	11/11/42	67.05	21.11	88.15				
	ค่าสูงสุด	100.51	82.46	151.09	ค่าสูงสุด	67.05	59.20	88.15	ค่าสูงสุด	17.44	11.54	28.98
	ค่าต่ำสุด	31.78	7.03	60.44	ค่าต่ำสุด	13.69	0.45	16.97	ค่าต่ำสุด	12.52	4.8	17.32
	ค่าเฉลี่ย	65.342	42.163	107.50	ค่าเฉลี่ย	27.707	14.311	42.019	ค่าเฉลี่ย	14.206	7.826	22.03
	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	18.747	18.013	24.383	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	16.952	13.988	22.918	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.878	2.602	4.355



ตาราง 4.4 แสดงปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 บริเวณ ในช่วงฤดูแล้ง

ฤดู	ดินแดง				พญาไท				พุทธมณฑลสายสอง			
	วันที่	<2.5 ไมครอน	2.5-10 ไมครอน	< 10 ไมครอน	วันที่	<2.5 ไมครอน	2.5-10 ไมครอน	< 10 ไมครอน	วันที่	<2.5 ไมครอน	2.5-10 ไมครอน	< 10 ไมครอน
แล้ง	17/11/42	105.64	59.25	164.89	17/11/42	52.45	36.363	88.82	4/1/43	29.40	16.46	45.86
	22/11/42	120.64	57.85	178.49	22/11/42	35.12	22.182	57.30	5/1/43	49.04	23.16	72.20
	2/12/42	111.35	52.88	164.23	29/11/42	33.27	22.448	55.72	7/1/43	32.81	22.96	55.77
	5/12/42	88.124	45.1	133.22	2/12/42	47.73	37.458	84.89	8/1/43	27.44	17.20	44.64
	8/12/42	102.51	51.40	153.91	19/1/42	139.7	96.776	236.50	9/1/43	23.32	18.69	42.01
	22/12/42	100.61	61.63	162.22	20/1/42	83.48	50.917	134.40				
	23/12/42	125.44	60.63	186.06	21/1/42	104.77	70.789	175.56				
	24/12/42	145.95	66.90	212.84	22/1/42	90.80	56.566	147.36				
	25/12/42	131.85	61.72	193.56	24/1/42	65.93	31.281	97.21				
	26/12/42	70.812	32.69	103.50	15/3/43	48.02	24.482	72.51				
	27/12/42	185.02	83.72	268.75	16/3/43	46.48	27.424	73.90				
	29/12/42	190.24	87.15	277.39	20/3/43	38.50	41.76	80.26				
	30/12/42	209.7	80.77	290.47	21/3/43	33.37	18.113	51.48				
	31/12/42	127.7	49.48	177.18	22/3/43	66.96	33.811	100.77				
	1/1/43	127.83	59.16	186.99	29/3/43	52.90	27.147	80.04				
	ค่าสูงสุด	209.7	87.15	290.47	ค่าสูงสุด	139.72	96.78	236.5	ค่าสูงสุด	49.04	23.16	72.2
	ค่าต่ำสุด	70.81	32.69	103.5	ค่าต่ำสุด	33.27	18.11	51.48	ค่าต่ำสุด	23.32	16.46	42.01
	ค่าเฉลี่ย	129.56	60.687	190.25	ค่าเฉลี่ย	62.633	39.834	102.45	ค่าเฉลี่ย	32.402	19.697	52.098
	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	38.913	14.607	52.686	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	30.388	21.332	50.991	ส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	9.913	3.1767	12.388

#### 4.2 สัดส่วนของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน ต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

##### ช่วงฤดูฝน

จากผลการตรวจวัดฝุ่นทั้ง 2 ประเภท พบว่า ร้อยละของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน ต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนรวมทั้ง 3 บริเวณ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 34.06 – 39.22 (ตารางที่ 4.5) โดยพบว่าที่ดินแดง พญาไท และพุทธมณฑลสายสอง มีค่าเฉลี่ยของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน ต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเท่ากับร้อยละ 38.42, 31.50 และ 34.81 ตามลำดับ สรุปได้ว่า ร้อยละของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้ง 3 สถานี

##### ช่วงฤดูแล้ง

ร้อยละของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนทั้ง 3 บริเวณมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 32.21 ถึง 38.43 สถานีที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนสูงสุดคือพุทธมณฑลสายสองมีค่าเท่ากับร้อยละ 38.44 รองลงมาบริเวณพญาไทมีค่าร้อยละ 35.15 และดินแดงมีค่าต่ำที่สุดคือร้อยละ 32.21 สรุปได้ว่าปริมาณฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในทั้ง 2 ช่วงฤดูมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 40

ตารางที่ 4.5 สรุปร้อยละของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

สถานีที่	ร้อยละของ PM2.5-10 : PM10 (ฤดูฝน)	ร้อยละของ PM2.5-10 : PM10 (ฤดูแล้ง)
ดินแดง	38.42 (11.63 – 66.28)	32.21 (27.81 - 37.99)
พญาไท	31.50 (2.42 - 75.80)	35.15 (32.18 - 52.03)
พุทธมณฑล สายสอง	34.81 (27.71 – 40.18)	38.43 (32.08 - 44.50)

#### 4.3 สัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ต่อฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

##### ช่วงฤดูฝน

จากผลการตรวจวัดฝุ่นทั้งสองประเภท พบว่าร้อยละของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ต่อฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน รวมทั้ง 3 บริเวณมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่างร้อยละ 24.20 – 97.58 เปอร์เซ็นต์ (ดังตาราง 4.6) โดยพบว่าที่พญาไท ดินแดง และพุทธมณฑลสายสอง มีค่าเฉลี่ยร้อยละของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ต่อฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเท่ากับ 68.49 , 61.59 และ 65.19 ตามลำดับ

### ช่วงฤดูแล้ง

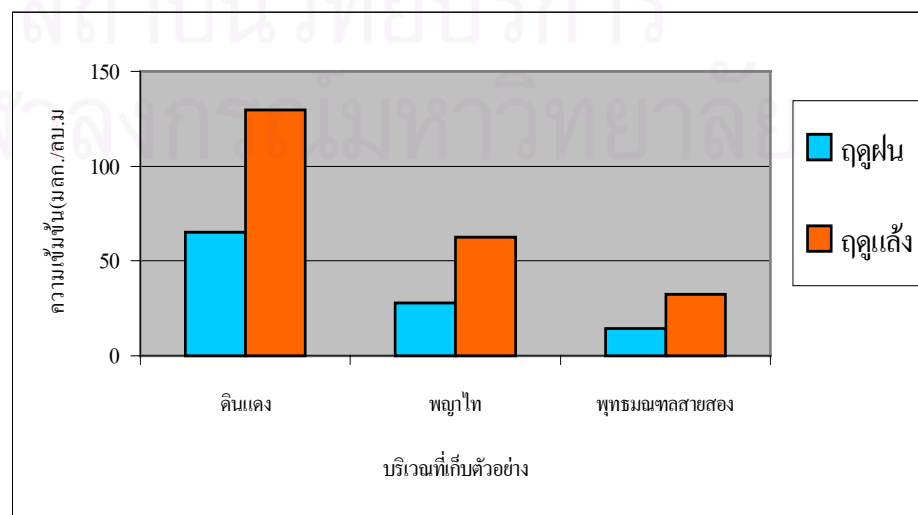
ร้อยละของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนของทั้ง 3 บริเวณมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 61.40 ถึง 67.79 โดยดินแดงมีค่าเฉลี่ยร้อยละของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนสูงที่สุด คือ 67.79 ส่วนบริเวณพุทธมณฑลสายสองและ พญาไท มีค่าเฉลี่ยร้อยละของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนใกล้เคียงกันคือ 61.56 และ 61.40 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ร้อยละของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

สถานที่	ร้อยละของ PM2.5 : PM10 (ฤดูฝน)	ร้อยละของ PM2.5 : PM10 (ฤดูแล้ง)
ดินแดง	61.59 (33.73- 88.37)	67.79 (62.02 - 72.19)
พญาไท	68.49 (24.20 - 97.58)	61.40 (47.97 - 67.82)
พุทธมณฑล สายสอง	65.19 (59.84 - 72.26)	61.56 (55.51 - 67.92)

#### 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงฤดูแล้งมีค่ามากกว่า ฤดูฝนในทั้ง 3 บริเวณ โดยช่วงฤดูแล้งดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 129.56 มกค./ลบ.ม. รองลงไปคือพญาไท 62.63 มกค./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสอง 32.40 มกค./ลบ.ม. ส่วนฤดูฝนมีแนวโน้มคล้ายกับในช่วงฤดูแล้ง มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุดที่บริเวณดินแดง 65.34 มกค./ลบ.ม. พญาไท 27.71 มกค./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสอง 14.21 มกค./ลบ.ม.ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอนในทั้ง 3 พื้นที่ตรวจวัด

#### 4.5 การวิเคราะห์ผลปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

##### 4.5.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน กับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ผลจากการตรวจวัดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกบริเวณของทั้ง 2 ช่วงฤดูจะเห็นได้ว่าปริมาณฝุ่นทั้งสองประเภทมีแนวโน้มเป็นไปในทำนองเดียวกัน สำหรับการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนด้วยสมการถดถอยเชิงเส้น หากนำค่าความเข้มข้นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมาเขียนกราฟโดยให้แกน X แทนความเข้มข้นฝุ่น PM-10 และแกน Y แทนความเข้มข้นฝุ่น PM-2.5 และคำนวณหาเส้นตรงที่เป็นตัวแทน จากข้อมูลทั้งสองชุดซึ่งเรียกว่าสมการเส้นถดถอยมีรูปแบบดังนี้

$$Y = \beta X + a$$

โดยที่ Y = ตัวแปรตาม

X = ตัวแปรอิสระ

$\beta$  = ความชันของเส้นตรง เรียกว่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย

a = ส่วนตัดแกน y

โดยทดสอบสมมติฐาน

$H_0 : \beta = 0$  หรือ  $H_0 : \text{PM-10}$  ไม่มีความสัมพันธ์กับ PM-2.5

$H_1 : \beta \neq 0$   $H_1 : \text{PM-10}$  มีความสัมพันธ์กับ PM-2.5

จากผลการทดสอบพบว่าปริมาณของ PM-10 มีความสัมพันธ์กับ PM-2.5 ค่อนข้างสูงคือ 0.979(R) โดยปริมาณ PM-10 มีอิทธิพลต่อ PM-2.5 ถึง ร้อยละ 95.8 ( $R^2$ ) และเมื่อมีการปรับค่าแล้วยังมีค่าถึงร้อยละ 95.7 (Adjusted R Square) ดังนั้นอาจนำค่าปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมาใช้คาดการณ์ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนได้

การวิเคราะห์ความแปรปรวนใช้ในการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย( $\beta$ ) โดยจะเห็นได้ว่า Sig = 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธ  $H_0$  และยอมรับ  $H_1 : \beta \neq 0$  สรุปได้ว่าปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตาราง Coefficients จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของตัวแปร PM-10 คือ 0.673 ( $\beta$ ) และค่าคงที่(a) เท่ากับ -2.873 จากความสัมพันธ์  $Y(\text{PM-2.5}) = \beta(\text{PM-10}) + \text{ค่าคงที่}(a)$  จะได้สมการเส้นถดถอยคือ  $Y = 0.673X - 2.873$

#### 4.5.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในแต่ละพื้นที่ศึกษา

การเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 โดยการวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งเป็นการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยประชากรตั้งแต่ 3 กลุ่มขึ้นไป โดยตั้งสมมติฐานทดสอบ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j \text{ อย่างน้อย 1 คู่ } i \neq j \quad i, j = 1, 2, 3$$

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าค่า sig น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือค่าเฉลี่ยของประชากรอย่างน้อย 1 คู่แตกต่างกัน แต่ยังไม่ทราบว่าค่าเฉลี่ย PM-2.5 ของพื้นที่ใดบ้างที่แตกต่างกัน จึงต้องทำการทดสอบต่อโดยการทดสอบค่าเฉลี่ย PM-2.5 ทีละสองพื้นที่ โดยใช้สถิติทดสอบแบบที

##### 4.5.2.1 การเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนระหว่างดินแดงและพญาไท

จากตาราง Independent Sample Test ค่า Leven's Test for Equality of variance เป็นการทดสอบความแปรปรวนจากแต่ละกลุ่มเท่ากันหรือไม่ โดยตั้งสมมติฐาน

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \text{ หรือ } H_0: \text{PM-2.5 บริเวณดินแดงมีความแปรปรวนเท่ากับบริเวณพญาไท}$$

$$H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2 \quad H_1: \text{PM-2.5 บริเวณดินแดงมีความแปรปรวนไม่เท่ากับบริเวณพญาไท}$$

ค่า sig ของ Levene's Test เท่ากับ 0.054 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือค่าความแปรปรวนของ PM 2.5 บริเวณดินแดงเท่ากับพญาไท ดังนั้นการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 ระหว่างบริเวณดินแดงกับพญาไทโดยตั้งสมมติฐานคือ

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 \text{ หรือ } H_0: \text{ความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 บริเวณดินแดงไม่มากกว่าบริเวณพญาไท}$$

$$H_1: \mu_1 > \mu_2 \quad H_1: \text{ความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 บริเวณดินแดงมากกว่าบริเวณพญาไท}$$

จากตารางดู t-test for Equality of Means ส่วน Equal variance assume (เนื่องจาก Levene's Test สรุปว่า  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ) ดังนั้นสรุปได้ว่า  $H_1: \mu_1 > \mu_2$  เนื่องจากเป็นการทดสอบข้างเดียวที่มีค่า  $\text{sig}(2\text{-tails})/2 = 0.00$  ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ยอมรับ  $H_1$  นั่นคือความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณดินแดงมีค่ามากกว่าบริเวณพญาไท

#### 4.5.2.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 ระหว่างดินแดง และพุทธรักษา สายสอง

โดยตั้งสมมติฐานทดสอบคือ

$H_0 : \mu_1 = \mu_3$  หรือ  $H_0$  : ความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 ดินแดงไม่มากกว่าพุทธรักษาสายสอง

$H_1 : \mu_1 > \mu_3$   $H_1$  : ความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 ดินแดงมากกว่าพุทธรักษาสายสอง

จากตาราง Independent Samples Test ที่ t-test for Equality of Means ส่วน Equal variances assume สรุปว่า  $H_1 : \mu_1 > \mu_3$  เนื่องจาก sig(2-tails)/2 น้อยกว่า 0.05 นั่นคือความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณดินแดงมากกว่า พุทธรักษาสายสอง

#### 4.5.2.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นเล็กกว่า 2.5 ไมครอนระหว่างพญาไทและพุทธรักษา สายสอง

การเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนระหว่างบริเวณพญาไทและพุทธรักษาสายสอง โดยตั้งสมมติฐานทดสอบคือ

$H_0 : \mu_2 = \mu_3$  หรือ  $H_0$  : ความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 พญาไทไม่มากกว่าพุทธรักษาสายสอง

$H_1 : \mu_2 > \mu_3$   $H_1$  : ความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 พญาไทมากกว่าพุทธรักษาสายสอง

จากตาราง Independent Samples Test ที่ t-test for Equality of Means ส่วน Equal variances assume สรุปว่า  $H_1 : \mu_2 > \mu_3$  เนื่องจาก sig(2-tails)/2 น้อยกว่า 0.05 นั่นคือพญาไทมีความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมากกว่าพุทธรักษาสายสอง

ดังนั้นสรุปว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในบริเวณดินแดงมีค่ามากกว่าพญาไทและพุทธรักษาสายสองตามลำดับที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

#### 4.5.3 การเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงสองฤดูกาล

การทดสอบค่าเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงสองฤดูกาล ด้วยสถิติแบบ Paired Sample T-test ในพื้นที่ศึกษาทั้ง 3 บริเวณจากผลการตรวจวัดจะเห็นได้ว่าปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงสองฤดูกาลในบริเวณดินแดง พญาไท และพุทธรักษาสายสองมีแนวโน้มแบบเดียวกัน นั่นคือหากตั้งสมมติฐานทดสอบคือ

$H_0 : \mu_{wet} \geq \mu_{dry}$  หรือ  $H_0$  : ความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 ในช่วงฤดูฝนไม่น้อยกว่าช่วงฤดูแล้ง

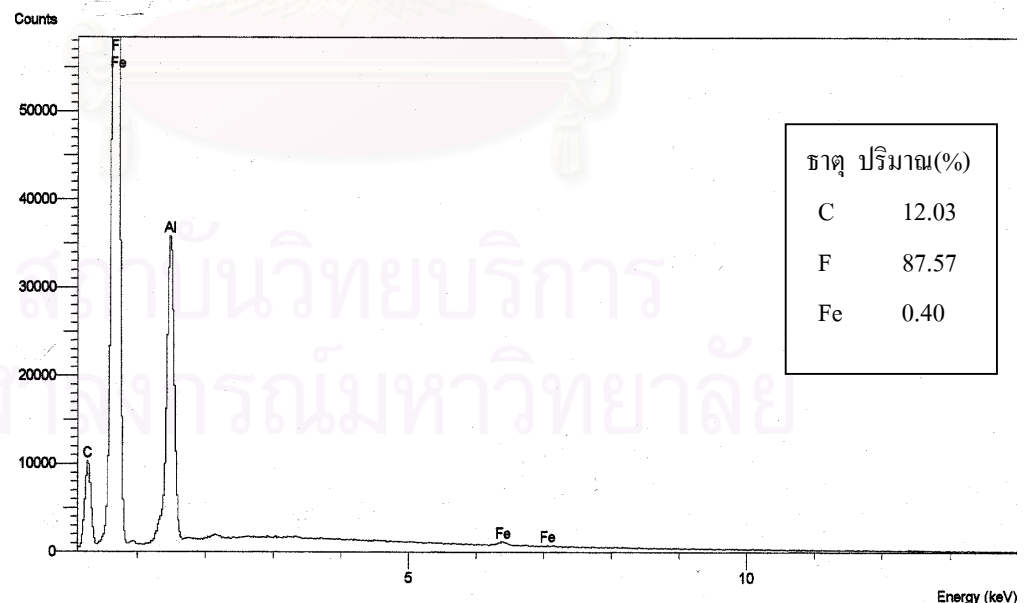
$H_1 : \mu_{wet} < \mu_{dry}$   $H_1$  : ความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 ในช่วงฤดูฝนน้อยกว่าช่วงฤดูแล้ง

ผลการทดสอบโดย Paired Sample Test ของบริเวณดินแดง พญาไท และพุทธรักษาสายสอง ได้ผลดังตาราง Paired Samples Test A , B และ C ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าทุกบริเวณจะมี

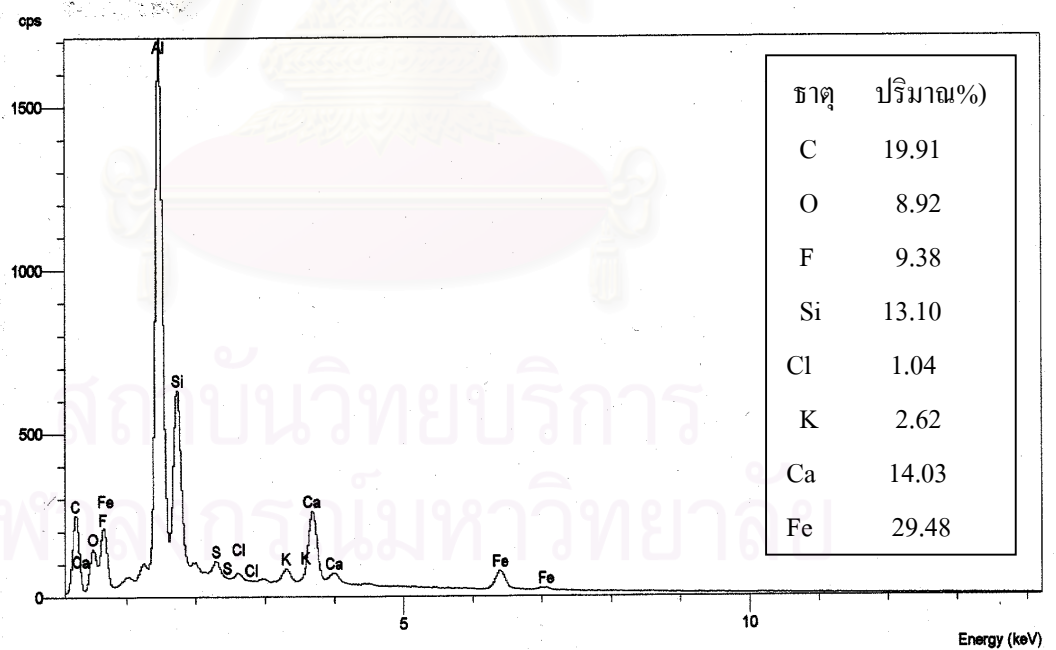
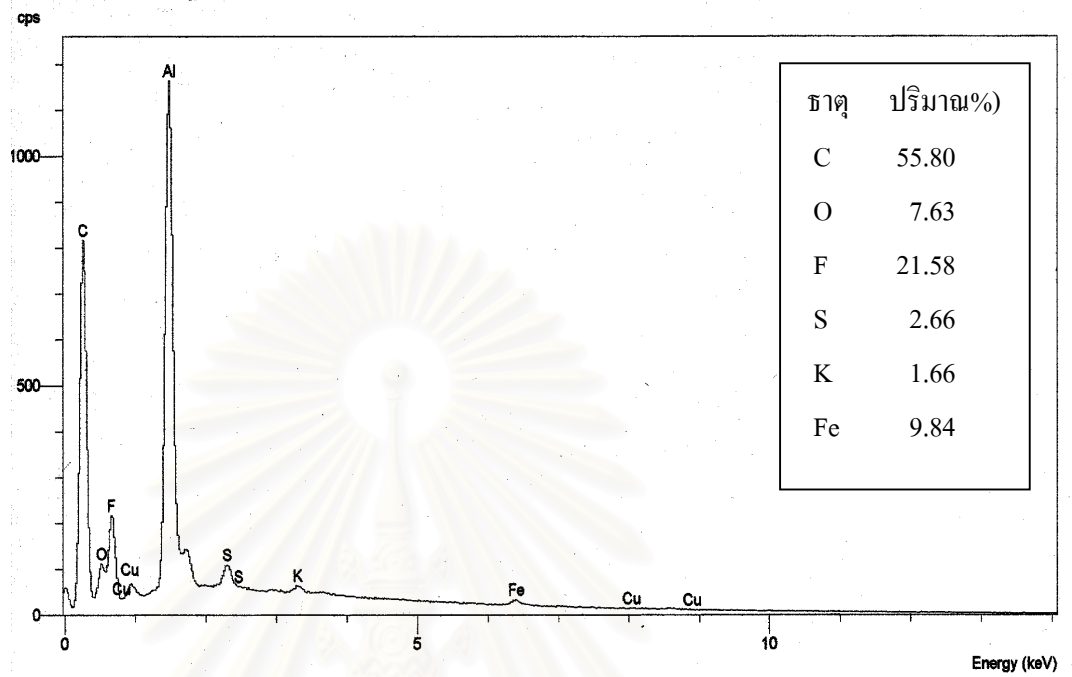
ค่า  $\text{sig}(2\text{-tails})/2$  น้อยกว่า 0.05 นั่นคือยอมรับ  $H_1 : \mu_{\text{wet}} < \mu_{\text{dry}}$  หมายความว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ช่วงฤดูฝนมีค่าน้อยกว่าฤดูแล้งในทั้งสามบริเวณ

#### 4.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพ

การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพด้วยเทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ ระบบ Energy Dispersive X – ray Fluorescence:EDX มีข้อจำกัดทางด้านเทคนิคของเครื่องมืออยู่มากจึงมักใช้วิเคราะห์ธาตุที่มีปริมาณค่อนข้างสูง ในการศึกษาชิ้นนี้ทำการสุ่มตัวอย่างกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่างฝุ่นทั้งขนาดหยาบ (ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน) บริเวณละ 4 ตัวอย่าง รวมทั้งกระดาษกรองแบลนด์มาทำการวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในกระดาษกรองแบลนด์ซึ่งเป็นกระดาษกรองชนิดเทฟลอน เมมเบรน (Teflon membrane filter) ธาตุที่ตรวจพบได้แก่ คาร์บอน ,ฟลูออรีน และเหล็กดังรูปที่ 4.2 ส่วนสเปกตรัมแสดงองค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพในแต่ละบริเวณดังรูปที่ 4.3 ถึง 4.5 ส่วนผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกพื้นที่ที่ตรวจวัดได้แก่ คาร์บอน ซัลเฟอร์ เหล็ก และโพแทสเซียม ส่วนซิลิกาพบในบางบริเวณ สำหรับธาตุที่ตรวจพบในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนในทุกพื้นที่ที่ตรวจวัดได้แก่ คาร์บอน ซิลิกา เหล็กและแคลเซียม ส่วนซัลเฟอร์พบในบางบริเวณ ดังตาราง 4.7 และ4.8

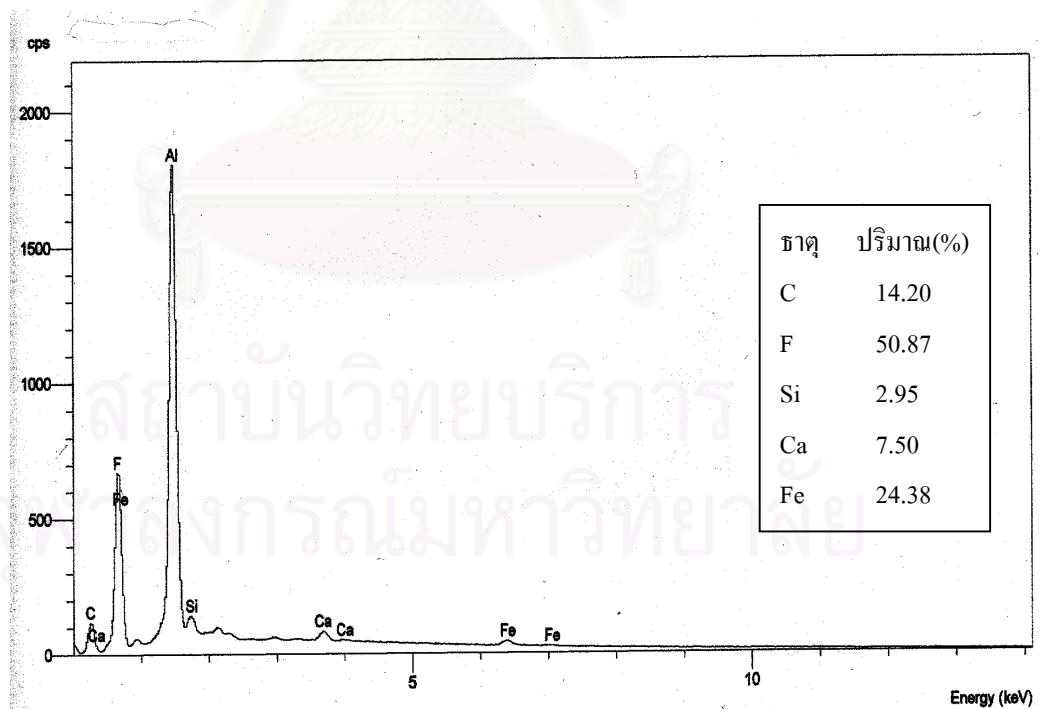
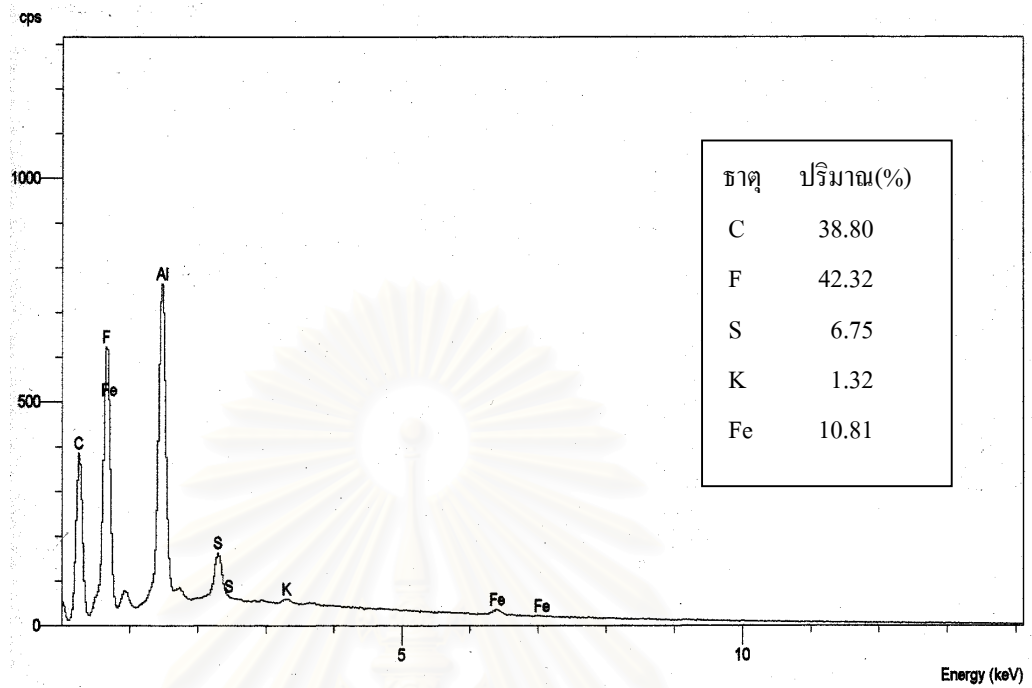


รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรือง และองค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพของกระดาษกรองแบลนด์

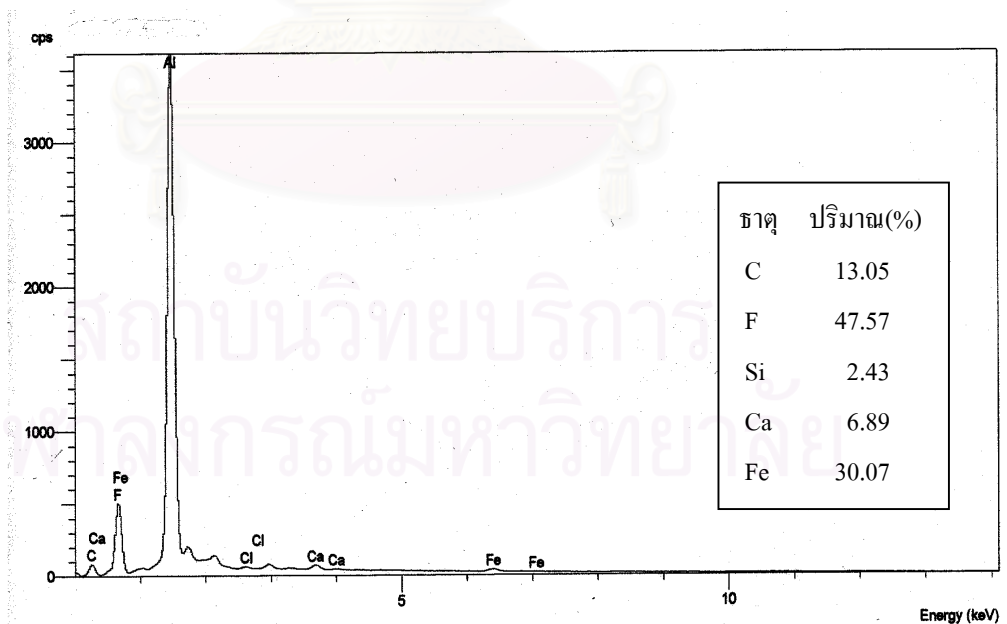
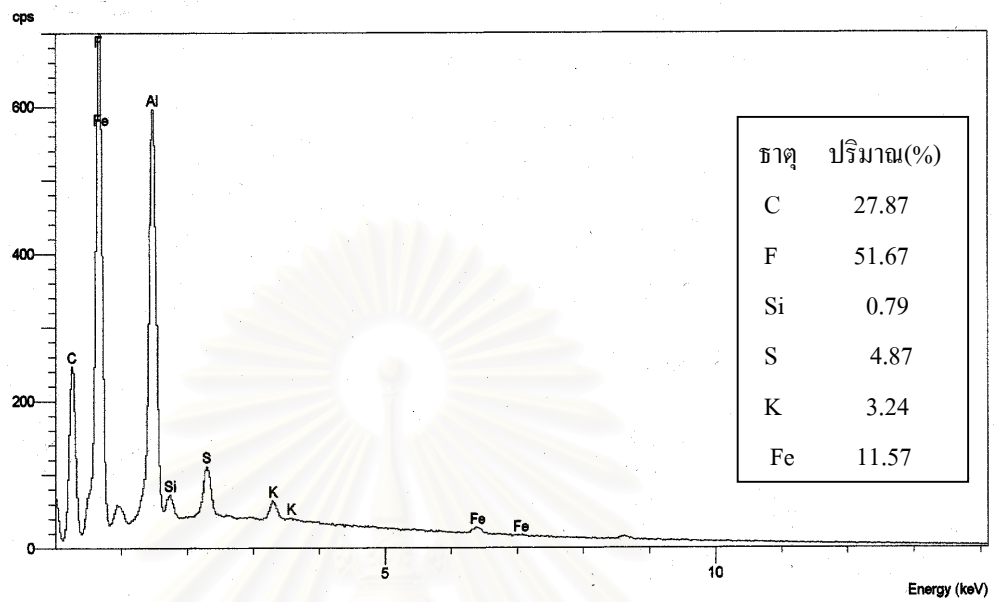


รูปที่ 4.3 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองแสงองค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพที่ดินแดง(ช่วงฤดูแล้ง)  
 (บน) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (ล่าง) ฝุ่นละอองขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน





รูปที่ 4.4 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองแสงองค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพที่พญาไท (ช่วงฤดูแล้ง)  
 (บน) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (ล่าง) ฝุ่นละอองขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของรังสีเอกซ์เรืองแสงองค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพที่พุทธมณฑลสายสอง (บน) ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (ล่าง) ฝุ่นละอองขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน

ตาราง 4.7 แสดงธาตุองค์ประกอบเชิงคุณภาพในฝุ่นละอองขนาดละเอียดและขนาดหยาบในช่วงฤดูฝน

พื้นที่ศึกษา	คาร์บอน		ซัลเฟอร์		ซิลิกา		โพแทสเซียม		แคลเซียม		เหล็ก	
	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ
ดินแดง	✓	✓	✓	ND	ND	✓	✓	ND	ND	✓	✓	✓
พญาไท	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ND	ND	✓	✓	✓
พุทธมณฑล	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ND	✓	✓	✓
สายสอง												

ตาราง 4.8 แสดงธาตุองค์ประกอบเชิงคุณภาพในฝุ่นขนาดละเอียดและขนาดหยาบในช่วงฤดูแล้ง

พื้นที่ศึกษา	คาร์บอน		ซัลเฟอร์		ซิลิกา		โพแทสเซียม		แคลเซียม		เหล็ก	
	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ	ละเอียด	หยาบ
ดินแดง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	ND	✓	✓	✓
พญาไท	✓	✓	✓	ND	ND	✓	✓	ND	ND	✓	✓	✓
พุทธมณฑล	✓	✓	✓	ND	✓	✓	✓	ND	ND	✓	✓	✓
สายสอง												

### องค์ประกอบธาตุในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

#### คาร์บอน

เป็นธาตุองค์ประกอบที่พบในกระดาศกรองแบบลงค์ส่วนหนึ่ง และเมื่อทำการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในกระดาศกรองที่เก็บฝุ่นทั้งขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน พบว่ามีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น โดยพบว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีปริมาณคาร์บอนมากกว่าในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน

**ฤดูฝน** ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีคาร์บอนมากกว่าในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอนในทุกพื้นที่ตรวจวัด โดยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีคาร์บอนเฉลี่ยมากที่สุดที่ดินแดงมีค่า 43.8 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือพญาไท และพุทธมณฑลสายสองมีค่า 20.9 และ 12.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอนมีคาร์บอนเฉลี่ยสูงสุดที่ดินแดง 6.5 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพญาไท และพุทธมณฑลสายสองมีค่า 7.1 และ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

**ฤดูแล้ง** มีคาร์บอนในฝุ่นทั้ง 2 ชนิดในลักษณะคล้ายกับในช่วงฤดูฝน นั่นคือคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีมากกว่าฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอนในทุกพื้นที่ตรวจวัด โดยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีปริมาณมากที่สุดที่ดินแดงเท่ากับ 44.3 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาได้แก่พญาไท

และพฤษภาคมสองมีค่า 26.8 และ 15.9 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนในฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอนมีปริมาณคาร์บอนมากที่สุดที่ดินแดง 7.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพญาไท และพฤษภาคมสองมีค่า 2.2 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

#### **ซัลเฟอร์**

**ฤดูฝน** พบว่าในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีซัลเฟอร์มากกว่าในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอนในทุกพื้นที่ศึกษาโดยในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีซัลเฟอร์สูงสุดที่พญาไท 5.5 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือที่ดินแดง และพฤษภาคมสองมีซัลเฟอร์ 2.7 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอนมีปริมาณซัลเฟอร์ในทั้ง 3 บริเวณน้อยมากโดยพญาไทพบ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ดินแดงและพฤษภาคมสองตรวจไม่พบ

**ฤดูแล้ง** ซัลเฟอร์ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีมากกว่าในฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอน เช่นเดียวกับช่วงฤดูฝน โดยพบว่าที่ดินแดงมีปริมาณซัลเฟอร์ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมากที่สุดคือ 16.0 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือพญาไท และพฤษภาคมสองมีปริมาณซัลเฟอร์ เท่ากับ 6.8 และ 4.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนซัลเฟอร์ในฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอนตรวจพบที่ดินแดง 1.9 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพญาไท และพฤษภาคมสองตรวจไม่พบ

#### **ซิลิกา**

**ฤดูฝน** พบว่าฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอนมีซิลิกามากกว่าในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกพื้นที่ศึกษาโดยในฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอนมีซิลิกาในปริมาณเฉลี่ยสูงสุดที่ดินแดง 6.4 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาพญาไท และพฤษภาคมสองมี 3.8 และ 1.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนมีซิลิกาในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่พบในทั้ง 3 บริเวณน้อยมากโดยที่พญาไทตรวจพบ 0.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินแดง และพฤษภาคมสอง ตรวจไม่พบซิลิกา

**ฤดูแล้ง** ซิลิกาในฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอนมีมากกว่าในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เช่นเดียวกับในฤดูฝน ดินแดงพบว่ามีปริมาณซิลิกาในฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอนสูงสุด คือ 13.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่พญาไท และพฤษภาคมสองมีปริมาณซิลิกา 3.3 และ 2.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนปริมาณซิลิกาในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ดินแดง และพฤษภาคมสองเท่ากับ 4.6 และ 0.6 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่บริเวณพญาไทตรวจไม่พบ

#### **โพแทสเซียม**

**ฤดูฝน** ตรวจพบโพแทสเซียมในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเท่านั้น โดยมีค่ามากที่สุดที่พญาไทเท่ากับ 3.2 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือดินแดง และพฤษภาคมสองเท่ากับ 1.7 และ 0.2 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ส่วนฝุ่นขนาดหยาบตรวจไม่พบโพแทสเซียมในทั้งสามบริเวณ

**ฤดูแล้ง** โพแทสเซียมในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีมากกว่าในฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอนในทุกพื้นที่ศึกษาโดยในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีโพแทสเซียมมากที่สุดที่ดินแดงเท่ากับ 13.9

เปอร์เซ็นต์ ส่วนพหุคูณทศสยสองและพญาไทพบ 3.2 และ 1.3 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอนที่ดินแดงมีโพแทสเซียมเท่ากับ 2.5 เปอร์เซ็นต์ ส่วนอีกสองบริเวณตรวจไม่พบ

#### **แคลเซียม**

**ฤดูฝน** ตรวจพบแคลเซียมเฉพาะในฝุ่นขนาด 2.5 - 10ไมครอนเท่านั้น โดยปริมาณแคลเซียมมากที่สุดที่ดินแดง 15.2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพญาไทและพหุคูณทศสยสองพบแคลเซียม 4.9 และ 2.1 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับสำหรับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทั้งสามบริเวณตรวจไม่พบปริมาณแคลเซียม

**ฤดูแล้ง** พบว่าแคลเซียมในฝุ่นทั้งสองชนิดมีลักษณะคล้ายกับในฤดูฝนคือมีแคลเซียมเฉพาะในฝุ่นขนาด 2.5 - 10ไมครอนเท่านั้น โดยแคลเซียมที่ดินแดงมีมากที่สุดคือ 14.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพหุคูณทศสยสอง และพญาไทมีค่า 6.6 และ 6.5 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และตรวจไม่พบแคลเซียมในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนทั้งสามบริเวณ

#### **เหล็ก**

**ฤดูฝน** ตรวจพบเหล็กในฝุ่นขนาด 2.5 - 10ไมครอนมากกว่าในฝุ่นเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกพื้นที่ โดยที่ดินแดงมีเหล็กในฝุ่น 2.5-10ไมครอนสูงสุดคือ 23.79 เปอร์เซ็นต์ รองลงไปคือ พญาไท และพหุคูณทศสยสอง เท่ากับ 21.95 และ 0.23 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนพบมากที่สุดที่พญาไท 11.18 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินแดง และพหุคูณทศสยสองมีค่า 9.44 และ 0.03 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

**ฤดูแล้ง** เหล็กในฝุ่น 2.5 – 10 ไมครอนมีมากกว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกพื้นที่โดยฝุ่น 2.5 - 10ไมครอนที่ดินแดงและพหุคูณทศสยสองมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 29 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ส่วนพญาไทมี 23.98 เปอร์เซ็นต์ ส่วนฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีปริมาณเหล็กมากที่สุดที่พหุคูณทศสยสอง 11.17 เปอร์เซ็นต์ รองลงไปได้แก่พญาไท และดินแดง เท่ากับ 10.41 และ 5.57 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

#### **4.7 การศึกษาลักษณะของฝุ่นละอองโดยใช้กล้องจุลทรรศน์**

การศึกษาลักษณะของฝุ่นละอองโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อศึกษาถึงลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคฝุ่น โดยศึกษาทั้งฝุ่นละอองขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 200 เท่า ที่ได้จากตัวอย่างฝุ่นขนาด 2.5 - 10 ไมครอนที่เก็บที่ดินแดง พญาไทและพหุคูณทศสยสอง เป็นดังรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าฝุ่นละอองที่เก็บที่ดินแดงมีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนอย่างสม่ำเสมอ และค่อนข้างหนาแน่น เมื่อเปรียบเทียบกับบริเวณพญาไท และพหุคูณทศสยสอง ขณะที่พญาไทมีความหนาแน่นของฝุ่นมากกว่า พหุคูณทศสยสองเล็กน้อย

ส่วนตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่เก็บที่ดินแดง พญาไท และพุทธมณฑล สายสอง ดังรูปที่ 4.6 จะมีขนาดของอนุภาคเล็กกว่าฝุ่นละอองขนาดหยาบอย่างชัดเจน และลักษณะการกระจายตัวสม่ำเสมอ อาจมองไม่เห็นเป็นอนุภาคเดี่ยว ๆ เนื่องจากมีการเกาะกลุ่มกันของอนุภาคอย่างหนาแน่น โดยที่ดินแดงมีลักษณะการกระจายตัวและความหนาแน่นมากกว่าพญาไทเล็กน้อย ส่วนบริเวณพุทธมณฑลสายสองมีความหนาแน่นของอนุภาคน้อยกว่าสองบริเวณแรกอย่างชัดเจน จนทำให้มองเห็นอนุภาคเดี่ยว ๆ เม็ดเล็ก ๆ ได้

#### 4.8 ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานของฝุ่นละอองโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

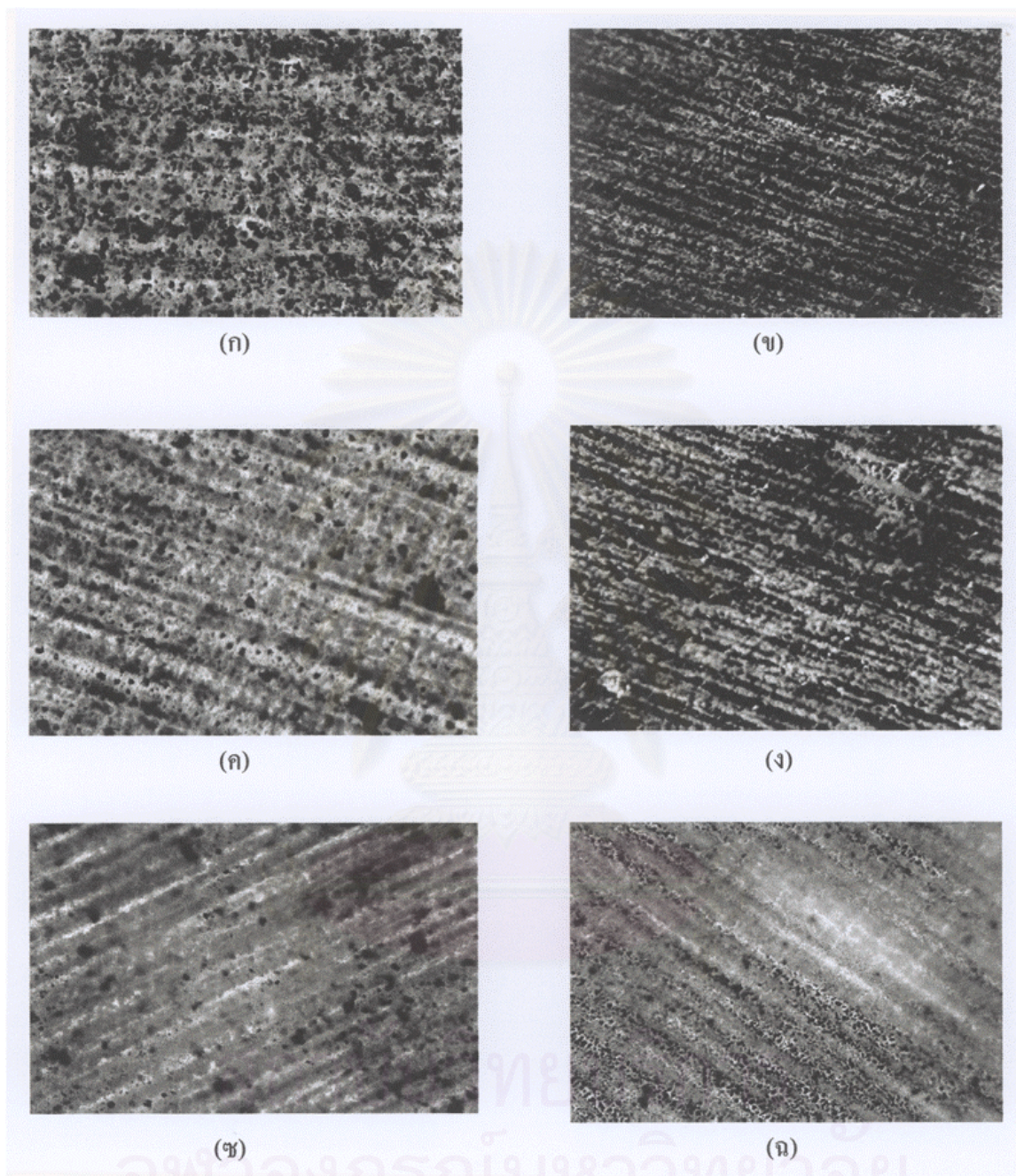
การศึกษาฝุ่นละอองโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน เป็นการศึกษาตัวอย่างฝุ่นในระดับอนุภาคขนาดเล็กโดยตรง ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเกี่ยวข้องกับขนาด และรูปร่างของฝุ่นที่กระจายอยู่บนกระดาศกรอง โดยภาพฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนที่ได้จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนบริเวณดินแดง พญาไท และพุทธมณฑลสายสองแสดงในรูปที่ 4.7

รูป ก. เป็นฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน ลักษณะเป็นรูปทรงเรขาคณิตคล้ายรูปเหลี่ยมเมื่ออนุภาคมีความหนาแน่น มีลักษณะแข็ง ไม่ยืดหยุ่น จากรูปจะเห็นว่าอนุภาคมีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และจากสเปกตรัมดังรูป 4.3 (บน) องค์ประกอบธาตุได้แก่ ซิลิกา แคลเซียม และเหล็ก ซึ่งน่าจะมีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นดิน ฝุ่นถนน หรือฝุ่นจากการก่อสร้าง

รูป ข. มีการรวมตัวของอนุภาคในลักษณะเกาะกันกลมหนาแน่น เมื่ออนุภาคมีลักษณะฟูนิ่ม มีรูพรุน จับตัวเป็นก้อนแบบหลวม ๆ จากสเปกตรัมรูป 4.3 (ล่าง) องค์ประกอบธาตุที่พบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ซัลเฟอร์ เหล็ก โดยพบว่า คาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักถึง 55 เปอร์เซ็นต์ น่าจะมาจาก แหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ

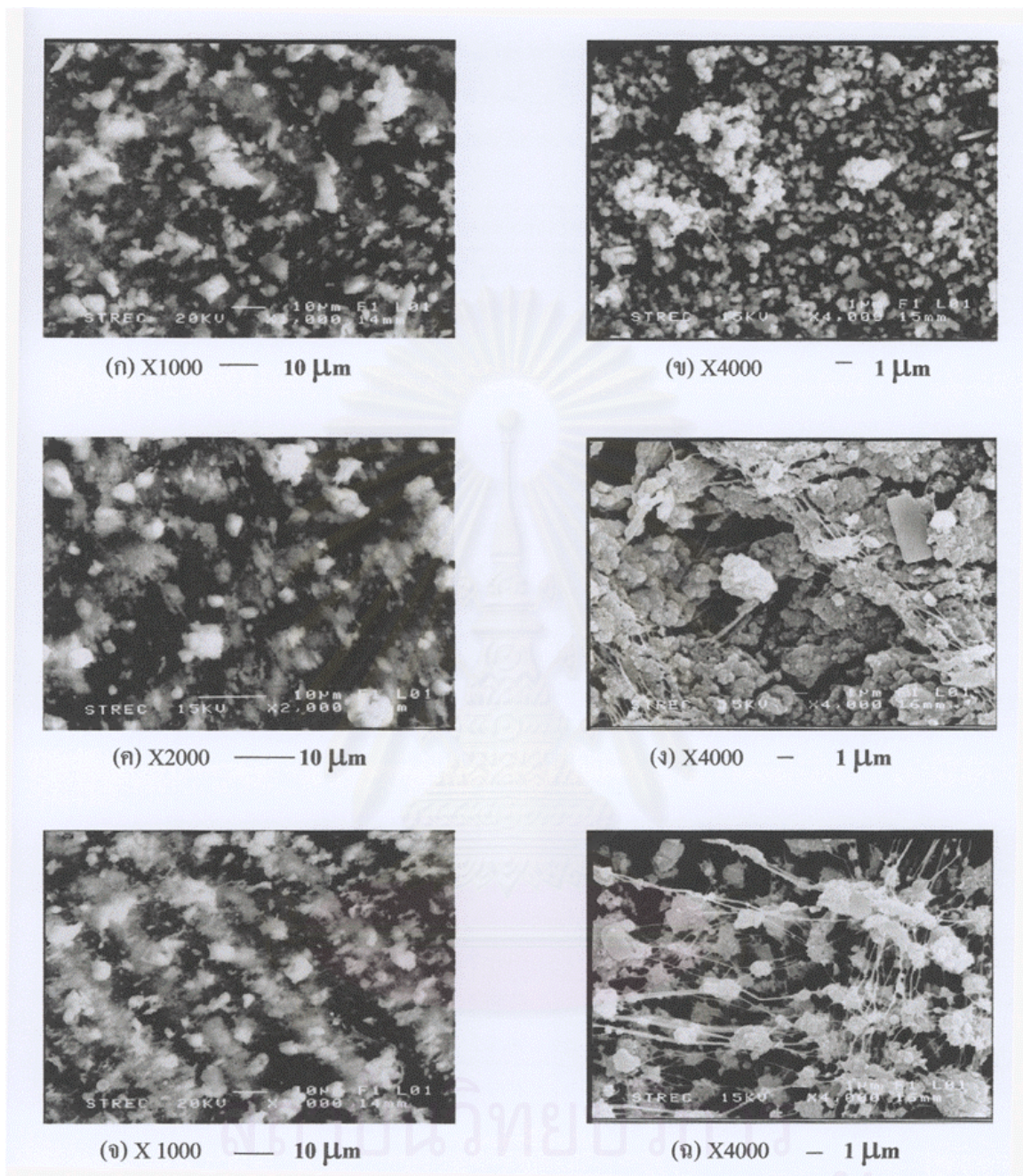
รูป ค. และ ง. คือฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน บริเวณ พญาไทตามลำดับ จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นของอนุภาคน้อยกว่าที่ดินแดงแต่เป็นฝุ่นที่มีลักษณะแข็ง ซึ่งส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากฝุ่นดิน ฝุ่นถนน หรือฝุ่นจากการก่อสร้าง

รูป จ. และ ฉ. คือฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน บริเวณ พุทธมณฑลสายสองตามลำดับ จะเห็นได้ว่า ในฝุ่นรูป จ. มีปริมาณความหนาแน่นของฝุ่นมากกว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน นั่นคือฝุ่นที่พบบริเวณพุทธมณฑลสายสองส่วนใหญ่เป็นฝุ่นดิน และฝุ่นถนน



รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะของอนุภาคฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 200 เท่า

- รูป (ก) ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน บริเวณดินแดง (ข) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน บริเวณดินแดง  
 รูป (ค) ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน บริเวณพญาไท (ง) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน บริเวณพญาไท  
 รูป (จ) ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน พุทธมณฑลสายสอง (ฉ) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน พุทธมณฑลสายสอง



รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะของอนุภาคฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน ซึ่งถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน

- รูป (ก) ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน บริเวณดินแดง      (ข) ฝุ่นขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน บริเวณดินแดง  
 รูป (ค) ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน บริเวณพญาไท      (ง) ฝุ่นขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน บริเวณพญาไท  
 รูป (จ) ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน พุทธมณฑลสายสอง      (ฉ) ฝุ่นขนาดเล็ก 2.5 ไมครอน พุทธมณฑลสายสอง



#### 4.9 ปริมาณธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุ ได้แก่ โพแทสเซียม(K) ตะกั่ว(Pb) สังกะสี(Zn) ทองแดง (Cu) และแมงกานีส(Mn) ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ได้ผลดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงปริมาณองค์ประกอบธาตุในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

สถานที่	ฤดูกาล	วันที่เก็บตัวอย่าง	K(มคก./ลบ.ม.)	Pb(มคก./ลบ.ม.)	Zn(มคก./ลบ.ม.)	Cu(มคก./ลบ.ม.)	Mn(มคก./ลบ.ม.)	
ดินแดง	ฝน	1/6/42	1.9532	0.1049	0.4807	0.0056	0.0666	
		19/6/42	1.8572	0.1177	0.971	0.0073	0.099	
		1/7/42	1.9516	0.0742	0.3593	0.0013	0.0568	
		13/7/42	2.5572	0.0393	0.0302	0.0058	0.0597	
		24/10/42	2.527	0.0776	0.2684	0.0051	0.0599	
		27/10/42	3.034	0.1148	0.1296	0.0136	0.1457	
	แล้ง	22/11/42	2.0222	0.1101	0.784	0.0159	0.3176	
		5/12/42	1.3757	0.0237	0.5294	0.0067	0.2698	
		22/12/42	1.8529	0.0628	0.963	0.0143	0.3157	
		24/12/42	2.9225	0.1038	1.0088	0.0223	0.3637	
		27/12/42	3.0044	0.1384	1.202	0.029	0.3649	
		29/12/42	5.3437	0.1376	1.63	0.0359	0.3959	
	พญาไท	ฝน	1/6/42	0.7755	0.0748	0.5318	0.0101	0.3575
			19/6/42	0.4425	0.005	0.3687	0.0058	0.3976
1/7/42			1.0268	0.15	0.3571	0.0085	0.425	
13/7/42			1.3547	0.0338	0.4392	0.0091	0.31	
24/10/42			0.4835	0.0053	0.0184	0.0009	0.1282	
27/10/42			0.6757	0.021	0.1014	0.001	0.1754	
แล้ง		22/11/42	1.1201	0.0391	0.2709	0.0018	0.1324	
		17/11/42	1.4856	0.0771	0.7206	0.023	0.2814	
		2/12/42	1.2293	0.0816	1.2689	0.0329	0.046	
พุทธ มณฑล	ฝน	3/7/43	0.2448	0.0288	0.0658	0.0027	0.0129	
		6/7/43	0.4027	0.0165	0.0544	0.0011	0.0001	
		8/7/43	0.3711	0.0136	0.164	0.0014	0.0012	
	แล้ง	4/1/43	1.5117	0.0162	0.3514	0.0039	0.0223	
		7/1/43	0.4595	0.0526	0.2091	0.0043	0.2649	
		9/1/43	0.6013	0.0153	0.096	0.0024	0.0408	

#### 4.9.1 โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

##### 4.9.1.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

**ช่วงฤดูฝน** ความเข้มข้นของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนอยู่ระหว่าง 0.2448 ถึง 3.034 มก./ลบ.ม. โดยพบว่าดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ 2.3134 มก./ลบ.ม. (1.8572 ถึง 3.034 มก./ลบ.ม.) รองลงมาคือที่พญาไทซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.7931 มก./ลบ.ม. (0.4425 ถึง 1.3547 มก./ลบ.ม.) และพุทธมณฑลสายสองซึ่งเป็นพื้นที่ที่ควบคุมมีความเข้มข้นเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ 0.3395 มก./ลบ.ม. (0.2448 ถึง 0.4027 มก./ลบ.ม.) ตารางที่ 4.10

**ช่วงฤดูแล้ง** ปริมาณโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.4595 ถึง 5.3437 มก./ลบ.ม. พบว่าที่ดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ 2.7536 มก./ลบ.ม. (1.3757 ถึง 5.3437 มก./ลบ.ม.) รองลงมาคือพญาไทมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.2783 มก./ลบ.ม. (1.1201 ถึง 1.4856 มก./ลบ.ม.) และพุทธมณฑลสายสองมีโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในปริมาณน้อยที่สุดเท่ากับ 0.8575 มก./ลบ.ม. (0.4595 ถึง 1.5117 มก./ลบ.ม.) ดังตาราง 4.10

##### 4.9.1.2 สัดส่วนของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ร้อยละของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูแล้งยกเว้นบริเวณพุทธมณฑลสายสอง นั่นคือร้อยละของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.38 ถึง 3.45 และช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.14 ถึง 3.04 ดังนั้นที่พุทธมณฑลสายสองซึ่งเป็นพื้นที่ที่ควบคุมมีเปอร์เซ็นต์ของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนสูงอาจเนื่องมาจากโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนเป็นธาตุซึ่งเป็นองค์ประกอบของดินแร่ ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ จึงอาจพบได้น้อยในอีกสองพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยร้อยละโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ฤดู	สถานที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ ของโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน(มก./ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของ โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นPM-2.5
ฝน	ดินแดง	2.3134 (1.8572 - 3.034)	3.45 (2.47 - 4.34)
	พญาไท	0.7931 (0.4425 - 1.3547)	3.09 (1.91 - 4.13)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.3395 (0.2448 - 0.4027)	2.38 (1.8 - 3.22)
แล้ง	ดินแดง	2.7536 (1.3757 - 5.3437)	1.98 (1.56 - 2.80)
	พญาไท	1.2783 (1.1201 - 1.4856)	0.14 (0.11 - 0.17)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.8575 (0.4595 - 1.5117)	3.04 (1.40 - 5.14)

#### 4.9.1.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้น โพลีไซคลิกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในแต่ละพื้นที่ศึกษา

โดยทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน(one-way ANOVA) ทดสอบสมมติฐาน  $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  หรือ  $H_0$ : โพลีไซคลิกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น PM-2.5 ในทั้ง 3 บริเวณไม่แตกต่างกัน  $H_1: \mu_i \neq \mu_j$  อย่างน้อย 1 คู่  $i \neq j$   $H_1$ : โพลีไซคลิกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่น PM-2.5 ทั้ง 3 บริเวณแตกต่างกัน ระดับนัยสำคัญของการทดสอบเท่ากับ 0.000399 และ 0.000157 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด(0.05) นั่นคือความเข้มข้นของโพลีไซคลิกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณดินแดงกับพญาไท และดินแดงกับพุทธมณฑลสายสองมีความแตกต่างกัน ส่วนความเข้มข้นของโพลีไซคลิกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณพญาไท กับพุทธมณฑลสายสองมีระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.679 ดังนั้นจึงไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยความเข้มข้นเฉลี่ยโพลีไซคลิกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณดินแดงมากกว่าบริเวณพญาไท และพุทธมณฑลสายสอง 1.5786 และ 1.9349 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ

#### 4.9.2 ตะกั่ว

##### 4.9.2.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ช่วงฤดูฝน ปริมาณตะกั่วในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.005 ถึง 0.1177 มกค./ลบ.ม. โดยที่ดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.0881 มกค./ลบ.ม. (0.0393 ถึง 0.1177 มกค./ลบ.ม.) รองลงมาคือที่พญาไทมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.048 มกค./ลบ.ม.(0.005ถึง 0.0748 มกค./ลบ.ม.) ส่วนพุทธมณฑลสายสองมีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุดคือ 0.0196 มกค./ลบ.ม.(0.0136 ถึง 0.0288 มกค./ลบ.ม.)ดังตาราง 4.11

ช่วงฤดูแล้ง ปริมาณความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีค่า 0.0153 ถึง 0.1384 มกค./ลบ.ม. โดยพบว่าดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.0961 มกค./ลบ.ม.(0.0237 ถึง 0.1384 มกค./ลบ.ม.) รองลงมาคือพญาไทมีความเข้มข้นเฉลี่ย 0.0659 มกค./ลบ.ม.(0.0391 ถึง 0.0816 มกค./ลบ.ม.) และความเข้มข้นเฉลี่ยตะกั่วที่น้อยที่สุดที่พุทธมณฑลสายสอง เท่ากับ 0.028 มกค./ลบ.ม. (0.0153 ถึง 0.0526 มกค./ลบ.ม.) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตะกั่วใน 2 ช่วงฤดูกาลพบว่า ในฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตะกั่วสูงกว่าในฤดูฝน

##### 4.9.2.2 สัดส่วนของตะกั่วในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของตะกั่วใน 2 ช่วงฤดูกาลพบว่าร้อยละของตะกั่วในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนช่วงฤดูฝนมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูแล้ง กล่าวคือร้อยละของตะกั่วในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.13 ถึง 0.20 ขณะที่ช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.06 ถึง 0.14

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้นและค่าเฉลี่ยร้อยละของตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ฤดู	สถานที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ ของตะกั่ว(มคก./ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของ ตะกั่วในฝุ่นPM-2.5
ฝน	ดินแดง	0.0881 (0.0393 - 0.1177)	0.13 (0.06 - 0.15)
	พญาไท	0.048 (0.005 - 0.0748)	0.2 (0.02 - 0.6)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.0196 (0.0136 - 0.0288)	0.14 (0.08 - 0.21)
แล้ง	ดินแดง	0.0961 (0.0237 - 0.1384)	0.06 (0.02 - 0.09)
	พญาไท	0.0659 (0.0391 - 0.0816)	0.14 (0.11 - 0.17)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.028 (0.0153 - 0.0526)	0.1 (0.06 - 0.16)

4.9.2.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในแต่ละพื้นที่ศึกษา

โดยทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน(one-way ANOVA) ผลการทดสอบระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.005 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด(0.05) นั่นคือความเข้มข้นของตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ดินแดงกับพุทธมณฑลสายสองมีความแตกต่างกัน ส่วนดินแดงกับพญาไทซึ่งมี Sig เท่ากับ 0.091 และที่พญาไท กับพุทธมณฑลสายสองมี Sig เท่ากับ 0.321 จึงไม่มีความแตกต่างกันของความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความเข้มข้นเฉลี่ยของตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน บริเวณดินแดงมากกว่าบริเวณพญาไท และพุทธมณฑลสายสองเท่ากับ 0.0378 และ0.0682 มคก./ลบ.ม. ตามลำดับ

4.9.3 สังกะสี

4.9.3.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ช่วงฤดูฝน ค่าเฉลี่ยของสังกะสีมีค่า 0.0184 ถึง 0.971 มคก./ลบ.ม. พบว่าดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.3732 มคก./ลบ.ม.(0.0302 ถึง 0.971 มคก./ลบ.ม.) รองลงมาคือพญาไทมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.3028 มคก./ลบ.ม. (0.0184 ถึง 0.5318 มคก./ลบ.ม.) ส่วน

พุทธมณฑลสายสองมีความเข้มข้นสังกะสีน้อยที่สุดคือ 0.0947 มกค./ลบ.ม. (0.0544 ถึง 0.164 มกค./ลบ.ม.) คังตาราง 4.12

ช่วงฤดูแล้ง ปริมาณสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีความเข้มข้น 0.096 ถึง 1.63 มกค./ลบ.ม. โดยดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงที่สุดคือ 1.0195 มกค./ลบ.ม. (0.5294 ถึง 1.63 มกค./ลบ.ม.) รองลงมาคือพญาไทมีค่า 0.7535 มกค./ลบ.ม. (0.2709 ถึง 1.2689 มกค./ลบ.ม.) ส่วนพุทธมณฑลสายสองเป็นพื้นที่ควบคุมมีความเข้มข้นเฉลี่ยสังกะสี 0.2188 มกค./ลบ.ม. (0.096 ถึง 0.3514 มกค./ลบ.ม.) ตารางที่ 4.12

#### 4.9.3.2 สัดส่วนของสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของสังกะสีในช่วง 2 ฤดูกาล พบว่าร้อยละของสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูฝน นั่นคือร้อยละของสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.73 ถึง 1.61 ส่วนในช่วงฤดูฝนมีเปอร์เซ็นต์สังกะสีอยู่ในช่วง 0.56 ถึง 1.16

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น และค่าเฉลี่ยร้อยละของสังกะสีในฝุ่นเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ฤดู	สถานที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสังกะสี(มกค./ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของสังกะสีในฝุ่นPM-2.5
ฝน	ดินแดง	0.3732 (0.0302 - 0.971)	0.56 (0.05 - 1.29)
	พญาไท	0.3028 (0.0184 - 0.5318)	1.16 (0.13 - 2.65)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.0947 (0.0544 - 0.164)	0.62 (0.43 - 0.94)
แล้ง	ดินแดง	1.0195 (0.5294 - 1.63)	0.73 (0.6 - 0.95)
	พญาไท	0.7535 (0.2709 - 1.2689)	1.61 (0.77 - 2.68)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.2188 (0.096 - 0.354)	0.75 (0.41 - 1.20)

#### 4.9.3.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในแต่ละพื้นที่ศึกษา

โดยทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน(one-way ANOVA) ระดับนัยสำคัญของการทดสอบเท่ากับ 0.037 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด(0.05) นั่นคือความเข้มข้นสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณดินแดงกับพุทธมณฑลสายสองมีความแตกต่างกัน ส่วนบริเวณดินแดงกับพญาไทซึ่งมีค่าSig เท่ากับ 0.385 และบริเวณพญาไท กับพุทธมณฑลสายสอง มีค่าSig เท่ากับ 0.373 จึงไม่มีความแตกต่างกันของความเข้มข้นสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความเข้มข้นเฉลี่ยสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณดินแดงมากกว่าบริเวณพญาไท และพุทธมณฑลสายสอง 0.2434 และ 0.5396 มก./ลบ.ม. ตามลำดับ

#### 4.9.4 ทองแดง

##### 4.9.4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

**ช่วงฤดูฝน** ความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงอยู่ในช่วง 0.0009 ถึง 0.0027 มก./ลบ.ม. โดยดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.0065 มก./ลบ.ม. (0.0013 ถึง 0.0136 มก./ลบ.ม.) พญาไทมีความเข้มข้นเฉลี่ยรองลงมาคือ 0.0059 มก./ลบ.ม. (0.0009 ถึง 0.0101 มก./ลบ.ม.) และพุทธมณฑลสายสองมีความเข้มข้นเฉลี่ยต่ำสุด 0.0017 มก./ลบ.ม. (0.0011 ถึง 0.0027 มก./ลบ.ม.) ดังตาราง 4.13

**ช่วงฤดูแล้ง** ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของทองแดงอยู่ในช่วง 0.0018 ถึง 0.0039 มก./ลบ.ม. โดยดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.0207 มก./ลบ.ม. (0.0067 ถึง 0.029 มก./ลบ.ม.) รองลงมาคือพญาไท 0.0192 มก./ลบ.ม. (0.0018 ถึง 0.0329 มก./ลบ.ม.) ส่วนพุทธมณฑลสายสองมีค่าเฉลี่ยทองแดงต่ำสุด 0.0035 มก./ลบ.ม. (0.0024 ถึง 0.0039 มก./ลบ.ม.) ดังตาราง 4.13 จะเห็นได้ว่าในช่วงฤดูแล้งมีความเข้มข้นเฉลี่ยทองแดงสูงกว่าช่วงฤดูฝน

##### 4.9.4.2 สัดส่วนของทองแดงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของทองแดงในช่วง 2 ฤดูกาลพบว่าร้อยละของทองแดงในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าช่วงฤดูฝนเล็กน้อย กล่าวคือร้อยละของทองแดงในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 0.02 ส่วนฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.04

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้น และค่าเฉลี่ยร้อยละของทองแดงในฝุ่นเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ฤดู	สถานที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ ของทองแดง(มกค./ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของ ทองแดงในฝุ่นPM-2.5
ฝน	ดินแดง	0.0065 (0.0013 - 0.0136)	0.01 (0.002 - 0.017)
	พญาไท	0.0059 (0.0009 - 0.0101)	0.02 (0.00 - 0.05)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.0017 (0.0011 - 0.0027)	0.013 (0.01 - 0.02)
แล้ง	ดินแดง	0.0207 (0.0067 - 0.029)	0.014 (0.007 - 0.018)
	พญาไท	0.0192 (0.0018 - 0.0329)	0.04 (0.01 - 0.07)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.0035 (0.0024 - 0.0039)	0.01 (0.01 - 0.01)

4.9.4.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในแต่ละพื้นที่ศึกษา

โดยทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน(one-way ANOVA) ผลของการทดสอบความเข้มข้นของทองแดงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกบริเวณ มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือความเข้มข้นของทองแดงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกบริเวณ ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.9.5 แอมกานีส

4.9.5.1 ความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมกานีสในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ช่วงฤดูฝน ความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมกานีสในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีความเข้มข้น 0.0001 ถึง 0.425 มกค./ลบ.ม. โดยที่พญาไทมีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดคือ 0.299 มกค./ลบ.ม. (0.1282 ถึง 0.425 มกค./ลบ.ม.) รองลงมาคือดินแดงมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.0813 มกค./ลบ.ม. (0.0568 ถึง 0.1457 มกค./ลบ.ม.) ส่วนพุทธมณฑลสายสองมีความเข้มข้นเฉลี่ยน้อยสุดคือ 0.0047 มกค./ลบ.ม. (0.0001 ถึง 0.0129 มกค./ลบ.ม.) ดังตารางที่ 4.14

ช่วงฤดูแล้ง ความเข้มข้นเฉลี่ยของแอมกานีสในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีความเข้มข้น 0.0223 ถึง 0.2649 มกค./ลบ.ม. โดยมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยสูงสุดที่ดินแดงเท่ากับ 0.3379 มกค./ลบ.ม. (0.2698 ถึง 0.3959 มกค./ลบ.ม.) รองลงมาได้แก่พญาไทมีค่า

ความเข้มข้นเฉลี่ยแอมกานีสเท่ากับ 0.1533 มคก./ลบ.ม. (0.046 ถึง 0.2814 มคก./ลบ.ม.) ส่วนพุทธมณฑลสายสองมีความเข้มข้นเฉลี่ยน้อยสุดคือ 0.0346 มคก./ลบ.ม. (0.0223 ถึง 0.2649 มคก./ลบ.ม.) ดังตาราง 4.14

#### 4.9.5.2 สัดส่วนของแอมกานีสในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

เมื่อเปรียบเทียบร้อยละของแอมกานีส ใน 2 ช่วงฤดูกาลพบว่า ช่วงฤดูแล้งมีร้อยละของแอมกานีสในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนสูงกว่าช่วงฤดูฝน ยกเว้นพญาไท นั่นคือ ร้อยละของแอมกานีสในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนช่วงฤดูฝนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.034 ถึง 1.23 ขณะที่ช่วงฤดูแล้งมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.14 ถึง 0.34

#### 4.9.5.3 การเปรียบเทียบความเข้มข้นแอมกานีสในฝุ่นเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในแต่ละพื้นที่ศึกษา

โดยทดสอบการวิเคราะห์ความแปรปรวน(one-way ANOVA) ระดับนัยสำคัญของการทดสอบเท่ากับ 0.034 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด(0.05) นั่นคือความเข้มข้นแอมกานีสในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนพญาไท กับพุทธมณฑลสายสองมีความแตกต่างกัน ส่วนบริเวณดินแดงกับพญาไทซึ่งมีSigเท่ากับ 0.781 และดินแดงกับพุทธมณฑลสายสองซึ่งมีค่า Sig เท่ากับ 0.086 ไม่มีความแตกต่างกันของความเข้มข้นแอมกานีส ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยความเข้มข้นเฉลี่ยแอมกานีสในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณพญาไทมีมากกว่า พุทธมณฑลสายสอง 0.1933 มคก./ลบ.ม. ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มข้น และค่าเฉลี่ยร้อยละของแอมกานีสในฝุ่นเล็กกว่า 2.5

#### ไมครอน

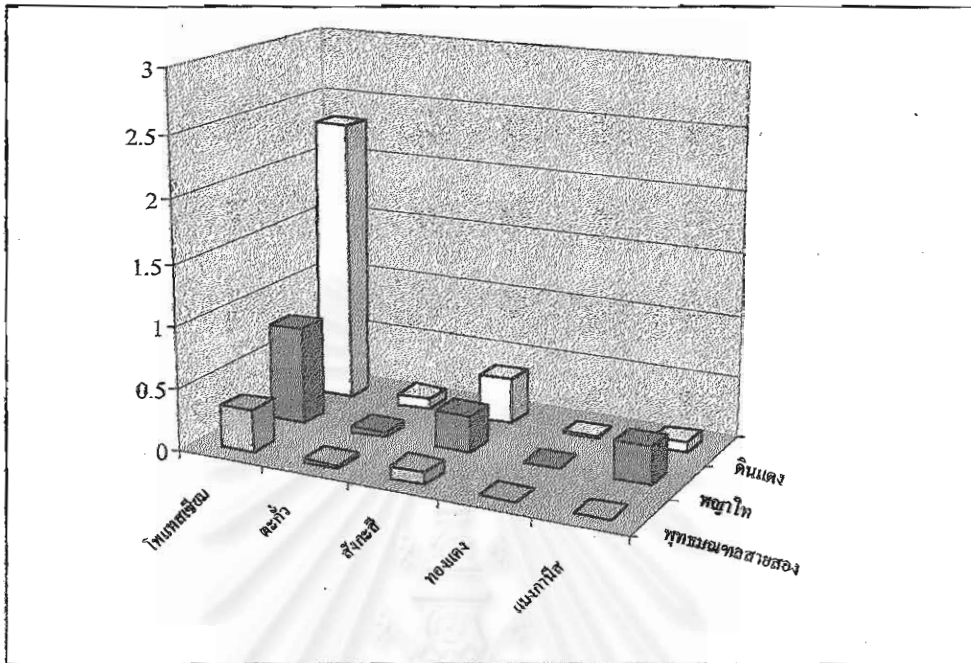
ฤดู	สถานที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ ของแอมกานีส(มคก./ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของ แอมกานีสในฝุ่นPM-2.5
ฝน	ดินแดง	0.0813 (0.0568 - 0.1457)	0.12 (0.09 - 0.18)
	พญาไท	0.299 (0.1282 - 0.425)	1.23 (0.47 - 1.78)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.0047 (0.0001 - 0.0129)	0.034 (0.00 - 0.09)
แล้ง	ดินแดง	0.3379 (0.2698 - 0.3959)	0.24 (0.19 - 0.31)
	พญาไท	0.1533 (0.046 - 0.2814)	0.34 (0.1 - 0.54)
	พุทธมณฑลสายสอง	0.0346 (0.0223 - 0.2649)	0.14 (0.08 - 0.81)



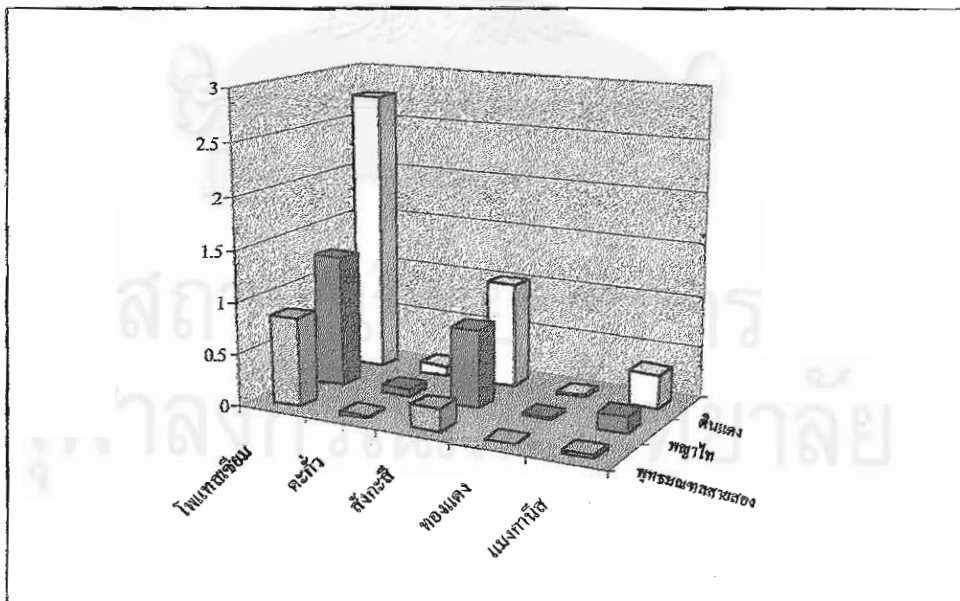
ตารางที่ 4.15 สรุปค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุโพแทสเซียม ตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน สรุปได้ว่าในทั้ง 3 บริเวณ และทั้ง 2 ช่วงฤดูกาล ความเข้มข้นเฉลี่ยของโพแทสเซียมมีค่าสูงสุด รองลงมาเป็นสังกะสี แมงกานีส ตะกั่ว และทองแดง ตามลำดับ โดยปริมาณองค์ประกอบธาตุในแต่ละบริเวณในช่วงฤดูแล้งพบว่าดินแดงมีองค์ประกอบของธาตุทุกชนิดในปริมาณสูงกว่าพญาไท และพุทธมณฑลสายสองตามลำดับ ส่วนในช่วงฤดูฝนบริเวณดินแดงมีองค์ประกอบของธาตุทุกชนิดสูงกว่าพญาไท และพุทธมณฑลสายสอง ยกเว้นแมงกานีส ดังนั้นจะเห็นได้ว่าพุทธมณฑลสายสองซึ่งเป็นพื้นที่ควบคุม มีความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุทุกชนิดต่ำกว่าพื้นที่ศึกษาทั้งสองบริเวณ ดังรูป 4.8 และ 4.9

ตาราง 4.15 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ฤดู	สถานที่	PM-2.5 (มคก./ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น(มคก./ลบ.ม.)				
			โพแทสเซียม	ตะกั่ว	สังกะสี	ทองแดง	แมงกานีส
ฝน	ดินแดง	66.91	2.3134	0.0881	0.3732	0.0065	0.0813
	พญาไท	28.36	0.7931	0.048	0.3028	0.0059	0.299
	พุทธมณฑลสายสอง	14.53	0.3395	0.0196	0.0947	0.0017	0.0047
แล้ง	ดินแดง	128.43	2.7536	0.0961	1.0195	0.0207	0.3379
	พญาไท	45	1.2783	0.0659	0.7535	0.0192	0.1533
	พุทธมณฑลสายสอง	28.51	0.8575	0.028	0.2188	0.0035	0.0346



รูปที่ 4.8 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน บริเวณพื้นที่ศึกษา และพื้นที่ควบคุมทั้ง 3 บริเวณ ในช่วงฤดูฝน



รูปที่ 4.9 แสดงปริมาณธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน บริเวณพื้นที่ศึกษา และพื้นที่ควบคุมทั้ง 3 บริเวณ ในช่วงฤดูแล้ง

#### 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนกับองค์ประกอบของธาตุชนิดต่างๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนกับองค์ประกอบของธาตุชนิดต่างๆ ได้แก่โพแทสเซียม(K) ตะกั่ว(Pb) สังกะสี(Zn) ทองแดง(Cu) และแมงกานีส(Mn) หากกำหนดสมมติฐานทดลองคือ

$H_0$  : ปริมาณของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุ

$H_1$  : ปริมาณของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีความสัมพันธ์กับปริมาณธาตุ

ทำการทดสอบสมมติฐานด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation) พบว่า

- ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน กับปริมาณโพแทสเซียม  
ผลการทดสอบสมมติฐานค่า sig(2-tails) มีค่า 0.001 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด จึงสรุปว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนค่า Pearson Correlation มีค่า 0.618 แสดงว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียมเชิงบวกค่อนข้างต่ำ
- ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน กับปริมาณตะกั่ว  
ผลการทดสอบสมมติฐานปรากฏว่าค่า sig(2-tails) มีค่า 0.021 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีความสัมพันธ์กับปริมาณตะกั่ว และค่า Pearson Correlation มีค่า 0.442 แสดงว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และปริมาณตะกั่วมีความสัมพันธ์เชิงบวกที่ค่อนข้างต่ำ
- ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน กับปริมาณสังกะสี  
ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าค่า sig(2-tails) มีค่า 0.705 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงสรุปว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณสังกะสีที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจะเห็นได้ว่าค่า Pearson Correlation มีค่าน้อยมาก(0.076)
- ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน กับปริมาณทองแดง  
ผลการทดสอบสมมติฐานปรากฏว่าค่า sig(2-tails) มีค่า 0.622 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณทองแดง และจะเห็นได้ว่าค่า Pearson Correlation มีค่าน้อยมาก(0.099)
- ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน กับปริมาณแมงกานีส  
ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าค่า sig(2-tails) มีค่า 0.411 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณแมงกานีสที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และจะเห็นได้ว่าค่า Pearson Correlation มีค่าน้อยมาก(-0.165)

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า

##### 2.5 ไมครอน

##### ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

- ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ยสูงสุดที่ดินแดงเท่ากับ 148.875 มกค./ลบ.ม. รองลงมาคือพญาไท 72.235 มกค./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสองซึ่งเป็นพื้นที่ควบคุมมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 37.064 มกค./ลบ.ม.
- ดินแดงซึ่งเป็นบรรยากาศริมถนนมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ยเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 120 มกค./ลบ.ม. และมีปริมาณสูงกว่าในบรรยากาศทั่วไปประมาณ 2 เท่า สูงกว่าบรรยากาศที่พื้นที่ควบคุมถึง 4 เท่า
- ในช่วงฤดูแล้งฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ยสูงกว่าฤดูฝนประมาณ 2 - 3 เท่า

##### ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน

- ปริมาณเฉลี่ยฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนสูงสุด ที่ดินแดง 51.425 มกค./ลบ.ม. รองลงมาได้แก่พญาไท 27.073 มกค./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสอง 13.762 มกค./ลบ.ม.
- ปริมาณฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝนในทุกพื้นที่ที่ตรวจวัด
- สัดส่วนของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 40
- สัดส่วนของฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนเฉลี่ยในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณพุทธมณฑลมีค่ามากกว่า พญาไท และดินแดงตามลำดับ แสดงว่าในบรรยากาศทั่วไปมักพบปริมาณ ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนเป็นส่วนใหญ่

##### ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

- ปริมาณเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนสูงสุดที่ดินแดง 97.451 มกค./ลบ.ม. รองลงมาได้แก่พญาไท 45.17 มกค./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสอง 23.304 มกค./ลบ.ม.
- ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝนในทุกพื้นที่ที่ตรวจวัด
- สัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีค่ามากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์

- สัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณดินแดงมีค่ามากกว่าพญาไท และพุทธมณฑลสายสองตามลำดับ แสดงว่าในบรรยากาศริมถนนมักพบฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเป็นส่วนใหญ่
- ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มีความสัมพันธ์กันสูง โดยมีค่าความสัมพันธ์เท่ากับ 0.97 ดังนั้นอาจนำค่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนไปใช้ในการคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนได้

## 5.2 องค์ประกอบธาตุเชิงคุณภาพในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

- องค์ประกอบธาตุที่ตรวจพบในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนได้แก่ คาร์บอน ซิลิกา เหล็ก และแคลเซียม ส่วนซัลเฟอร์พบในบางพื้นที่ และตรวจไม่พบโพแทสเซียม
- องค์ประกอบธาตุที่ตรวจพบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ได้แก่ คาร์บอน ซัลเฟอร์ เหล็ก และโพแทสเซียม ส่วนซิลิกา พบในบางพื้นที่ และแคลเซียมตรวจไม่พบ
- ฤดูกาลไม่มีผลต่อองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
- ในทั้ง 3 พื้นที่เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน ซัลเฟอร์ และโพแทสเซียมในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีค่ามากกว่าในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน
- เปอร์เซ็นต์ของซิลิกา แคลเซียม และเหล็ก ในฝุ่นขนาดระหว่าง 2.5 ถึง 10 ไมครอนมีค่ามากกว่าในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

## 5.3 ปริมาณของธาตุองค์ประกอบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

ความเข้มข้นเฉลี่ยโพแทสเซียม มีค่าสูงสุดรองลงมาได้แก่ สังกะสี แมงกานีส ตะกั่ว และทองแดง ตามลำดับ

### โพแทสเซียม

- ปริมาณเฉลี่ยโพแทสเซียมในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ดินแดง 2.53 มกค./ลบ.ม. พญาไท 1.035 มกค./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสอง 0.59 มกค./ลบ.ม. โดยที่เปอร์เซ็นต์โพแทสเซียมในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกพื้นที่ และทั้งสองช่วงฤดูมีค่า 2.88 เปอร์เซ็นต์
- แนวโน้มปริมาณเฉลี่ยโพแทสเซียมในช่วงฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝนเล็กน้อย โดยฤดูแล้งมีค่า 1.48 มกค./ลบ.ม. ส่วนฤดูฝน 1.3 มกค./ลบ.ม.
- จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (One-way ANOVA) พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความเข้มข้นโพแทสเซียมในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทั้ง 3 พื้นที่มีความแตกต่างกัน โดยที่ดินแดงมีปริมาณมากกว่าพญาไท และพุทธมณฑลสายสอง 1.5786 และ 1.9349 มกค./ลบ.ม. ตามลำดับ

### สังกะสี

- ปริมาณเฉลี่ยสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ดินแดง 0.674 มกก./ลบ.ม. พญาไท 0.53 มกก./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสอง 0.157 มกก./ลบ.ม. โดยที่เปอร์เซ็นต์สังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกพื้นที่และทั้งสองช่วงฤดูมีค่า 0.995 เปอร์เซ็นต์
- ปริมาณเฉลี่ยสังกะสีในช่วงฤดูแล้งมีแนวโน้มสูงกว่าฤดูฝน ยกเว้นที่ดินแดง โดยฤดูแล้งมีค่า 0.43 มกก./ลบ.ม. ส่วนฤดูฝนมีค่า 0.047 มกก./ลบ.ม.
- จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความเข้มข้นสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในบริเวณดินแดงและพุทธมณฑลสายสองมีความแตกต่างกัน โดย ดินแดงมีปริมาณสังกะสีสูงกว่าพุทธมณฑลสายสอง 0.539 มกก./ลบ.ม.

### แมงกานีส

- ปริมาณเฉลี่ยแมงกานีสในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ดินแดงมีค่า 0.209 มกก./ลบ.ม. พญาไท 0.226 มกก./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสอง 0.02 มกก./ลบ.ม. ส่วนเปอร์เซ็นต์แมงกานีสในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกพื้นที่และทั้ง 2 ฤดู มีค่า 0.39 เปอร์เซ็นต์
- ปริมาณเฉลี่ยแมงกานีสในช่วงฤดูฝนมีแนวโน้มสูงกว่าช่วงฤดูแล้งโดยช่วงฤดูฝนมีค่า 0.6 มกก./ลบ.ม. ส่วนฤดูแล้งมีค่า 0.18 มกก./ลบ.ม.
- จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 บริเวณพญาไทกับพุทธมณฑลสายสองมีความแตกต่างกัน โดยพญาไทมีปริมาณแมงกานีสสูงกว่าพุทธมณฑลสายสอง 0.193 มกก./ลบ.ม.

### ตะกั่ว

- ปริมาณเฉลี่ยตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ดินแดง 0.092 มกก./ลบ.ม. พญาไท 0.057 มกก./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสอง 0.024 มกก./ลบ.ม. ส่วนเปอร์เซ็นต์ตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกพื้นที่และทั้งสองช่วงฤดูมีค่า 0.13 เปอร์เซ็นต์
- ปริมาณเฉลี่ยตะกั่วในช่วงฤดูแล้งมีแนวโน้มสูงกว่าฤดูฝนเล็กน้อยยกเว้นที่ดินแดง โดยฤดูแล้งมีค่า 0.06 มกก./ลบ.ม. ส่วนฤดูฝนมีค่า 0.05 มกก./ลบ.ม.
- จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนบริเวณดินแดงและพุทธมณฑลสายสองมีความแตกต่างกัน โดยดินแดงมี ความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนสูงกว่า พุทธมณฑลสายสอง 0.0682 มกก./ลบ.ม.

### ทองแดง

- ปริมาณเฉลี่ยทองแดงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่ดินแดง 0.0136 มกค./ลบ.ม. พญาไท 0.0125 มกค./ลบ.ม. และพุทธมณฑลสายสอง 0.0026 มกค./ลบ.ม. ส่วนเปอร์เซ็นต์ทองแดงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในทุกพื้นที่และทั้งสองช่วงฤดูมีค่า 0.019 เปอร์เซ็นต์
- แนวโน้มปริมาณเฉลี่ยทองแดงในช่วงฤดูแล้งสูงกว่าฤดูฝน ยกเว้นดินแดงโดยฤดูแล้งมีค่า 0.0097 มกค./ลบ.ม. และฤดูฝนมีค่า 0.0093 มกค./ลบ.ม.
- จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปริมาณทองแดงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ในทั้งสามบริเวณไม่มีความแตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์(Correlation)ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนกับองค์ประกอบธาตุชนิดต่าง ๆ พบว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีความสัมพันธ์กับปริมาณโพแทสเซียม และตะกั่ว โดยมีลักษณะความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างต่ำ ส่วนปริมาณสังกะสี ทองแดง และแมงกานีส ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

### 5.4 อภิปรายผล

ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนประกอบด้วยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในอัตราส่วนที่มากกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ในทุกพื้นที่และทั้งสองช่วงฤดูกาล โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งสัดส่วนปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในบรรยากาศริมถนนจะสูงกว่าบรรยากาศทั่วไปอย่างมาก จึงอาจกล่าวได้ว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะขณะที่สัดส่วนปริมาณฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไปจะสูงกว่าบรรยากาศริมถนน เนื่องจากฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดจากฝุ่นดิน ฝุ่นถนน หรือฝุ่นจากการก่อสร้าง นอกจากนี้ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนยังมีความสัมพันธ์กับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนด้วยค่าความสัมพันธ์ที่สูงดังนั้นการตรวจวัดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนอาจใช้คาดการณ์ปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนได้

จากเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุที่ตรวจวัดเชิงคุณภาพ พบว่าธาตุหลัก(Major element) ที่ตรวจพบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนได้แก่ คาร์บอน และในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนได้แก่ เหล็ก โดยปริมาณคาร์บอนที่พบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเป็นปริมาณมากกว่าฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนหลายเท่า ส่วนปริมาณเหล็กพบในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนใน

ปริมาณมากกว่าในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ส่วนธาตุรอง(Minor element) ได้แก่ ซัลเฟอร์ ซิลิกา โปแทสเซียม และแคลเซียม โดยธาตุรองที่ตรวจพบในฝุ่นขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอน ได้แก่ ซิลิกา และแคลเซียมซึ่งเป็นธาตุที่เกิดโดยธรรมชาติเช่นดิน หิน แร่ ซึ่งมาจากฝุ่นถนน หรือฝุ่นดิน ส่วนธาตุรองที่ตรวจพบในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ได้แก่ ซัลเฟอร์ และโปแทสเซียม จะเห็นได้ว่า คาร์บอน และซัลเฟอร์ เป็นธาตุที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะทำให้บริเวณบรรยากาศริมถนนที่ดินแดงมีปริมาณธาตุดังกล่าวในปริมาณสูงกว่าในบรรยากาศทั่วไปที่พญาไท และพื้นที่ควบคุมพหุมลพิษหลายสอง

ส่วนการตรวจวัดเชิงปริมาณของธาตุปริมาณน้อย(trace element) ได้แก่ สังกะสี แมงกานีส ตะกั่ว ทองแดง พบว่าเปอร์เซ็นต์ของธาตุดังกล่าวในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ส่วนใหญ่มีปริมาณน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์โดยแนวโน้มปริมาณธาตุทุกชนิดในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝนขณะที่ลักษณะการกระจายตัวขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นของแต่ละบริเวณมีลักษณะคล้ายกันคือที่ดินแดงมีค่าสูงสุด รองลงมาคือพญาไท และพหุมลพิษหลายสองซึ่งเป็นพื้นที่ควบคุมมีค่าน้อยที่สุด ยกเว้นแมงกานีส และทองแดงที่ทั้ง 3 บริเวณมีปริมาณใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าดินแดงซึ่งเป็นบรรยากาศริมถนนมีแนวโน้มขององค์ประกอบธาตุซึ่งเป็นโลหะที่อาจทำให้เกิดอันตรายได้สูงกว่าบรรยากาศทั่วไป จึงอาจกล่าวได้ว่าโลหะหนัก เช่นตะกั่ว สังกะสี ในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ส่วนใหญ่เกิดจากไอเสียจากยานพาหนะ ส่วน แมงกานีส ทองแดง โปแทสเซียม อาจมาจากการสึกกร่อนของดิน ผิวถนน หรือฝุ่นจากถนน

จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นเล็กกว่า 2.5 ไมครอนกับองค์ประกอบธาตุแต่ละชนิด พบว่าองค์ประกอบธาตุไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยตรง นั่นคือปริมาณธาตุแต่ละชนิดที่เพิ่มขึ้นไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนที่เพิ่มขึ้น แต่น่าจะมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องเช่นแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่ทำให้ องค์ประกอบธาตุที่เกิดจากแหล่งกำเนิดแต่ละประเภทมีชนิดและปริมาณของธาตุที่แตกต่างกัน ดังนั้นการสนใจเฉพาะปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะบอกถึงความเป็นพิษของฝุ่นละอองต่อสุขภาพได้แต่จะต้องพิจารณาถึงปริมาณองค์ประกอบของธาตุที่ก่อให้เกิดพิษในฝุ่นละอองเช่น ตะกั่ว แมงกานีส ทองแดง ซึ่งความเข้มข้นของสารพิษดังกล่าวขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองประเภทต่าง ๆ ด้วย

จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีส่วนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในปริมาณมากกว่าร้อยละ 60 และสามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลานาน ดังนั้นจึงถือได้ว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเป็นปัญหาสำคัญที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพ ปัจจุบัน US.EPA. ได้มีการกำหนดมาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 65 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร หากนำมาเปรียบเทียบกับการศึกษาจะเห็นได้ว่าในช่วง



ฤดูแล้งบริเวณดินแดงซึ่งเป็นบรรยากาศริมถนนมีปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเกินกว่าค่ามาตรฐานถึง 2 เท่า(129.56 มกค./ลบ.ม.) ดังนั้นแม้ว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่หากฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 เกินมาตรฐานพื้นที่นั้นก็ยังมีความเสี่ยงต่อการก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพจึงเป็นเรื่องน่าสนใจที่จะศึกษาแนวโน้มปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนโดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานครซึ่งปัจจุบันมีปริมาณและความหนาแน่นของการจราจรเพิ่มขึ้นปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน อาจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ผลจากการศึกษานี้อาจใช้เป็นข้อมูลที่ใช้ประกอบการพิจารณา ควบคุม และลดปัญหาการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือประกอบการพิจารณากำหนดมาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในอากาศได้ในอนาคต

### 5.5 ข้อเสนอแนะ

- ควรมีการศึกษาปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนอย่างกว้างขวางมากขึ้นในอนาคต เนื่องจากเป็นขนาดของฝุ่นซึ่งมีสัดส่วนในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในปริมาณสูง โดยอาจทำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน
- ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบองค์ประกอบธาตุในฝุ่นหลาย ๆ ช่วงขนาด เช่นองค์ประกอบธาตุในฝุ่นรวม ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ฝุ่นขนาด 2.5 ถึง10ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน เพื่อเปรียบเทียบการกระจายตัวขององค์ประกอบธาตุในฝุ่นขนาดต่าง ๆ
- การใช้กระดาษกรองเทฟลอนเมมเบรนในการเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ด้วยเครื่องDichotomous Air Sampler ไม่เหมาะสมในการใช้วิเคราะห์ปริมาณคาร์บอน เนื่องจากตัวกระดาษกรองประกอบด้วยคาร์บอนในปริมาณสูง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. 2540 .รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี 2539-2540

กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม. 2543 .รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี 2541

กัลยา วานิชย์บัญชา.2541.การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย SPSSfor Windows.ครั้งที่2. กรุงเทพมหานคร. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.390หน้า

กิตติพร บุญฤทธิ์. 2532. การปนเปื้อนของตะกั่วในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร(ช่วงปี พ.ศ. 2528-2532). สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดวงฤทัย บัวด้วง.2542.ผลของฝุ่นขนาดเล็กที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจที่มีต่อสมรรถภาพปอดของตำรวจจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร.สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บริษัทเรเดียนอินเตอร์เนชันแนล.2541.การจัดทำกลยุทธ์ในการแก้ปัญหาฝุ่นละอองใน กรุงเทพมหานคร.รายงานเสนอกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.กรุงเทพมหานคร.

ประไพธิ อุปถัมภ์. 2540. การควบคุมฝุ่นละอองจากการก่อสร้างถนน. สาขาวิชาวิศวกรรม สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พรรณวดี สุวัติกะ.2531.การฟุ้งกระจายและการตาสะสมของอนุภาคตะกั่วที่มาจาก การจราจรทางบก. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แม่น อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม. 2534. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ.  
พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชวนพิมพ์.

วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ ,นิตยา มหาผล และธีระ เกรอต. 2536. มลภาวะอากาศ.  
กรุงเทพมหานคร.จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วสิน มหันตนิรันดรกุล.2536.ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นและตะกั่วในบรรยากาศ  
กรุงเทพมหานคร. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย

วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล และ ชิกาโอะ คานาโอกะ.2535.มลภาวะอากาศ.โครงการสนับสนุน  
เทคนิคอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น)

สรารุช เทพานนท์.2539.ละอองลอยซัลเฟตกับสภาพความเป็นกรดในบริเวณใกล้โรงไฟฟ้า  
แม่เมาะ จังหวัดลำปาง. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์  
มหาวิทยาลัย.

อรุบล โชติพงศ์.2541.การศึกษาปริมาณฝุ่นที่มีผลกระทบต่อระบบการหายใจ .รายงานการ  
วิจัย สถาบันสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุทัย ดิยะวิสุทธิ์ศรี.2535.การวิเคราะห์ธาตุในฝุ่นจากอากาศโดยใช้เทคนิคการเรืองรังสี  
เอกซ. สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

Brook,J.R, T.F. Dann, and R.T. Burnett.1997.The Relationship Among Total Suspended  
Particulate, PM10, PM2.5 and Inorganic Constituents of Atmospheric Particulate  
Matter at Multiple Canadian Location. Journal of the Air and Waste  
Management Association. 47:2-19

- Chenga L., Sandhu H.S., Anglea R.P. and Myricka R.H. 1998.Characteristics of inhalable particulate matter in Alberta cities.Atmos.Environ.32:3835-3844.
- Christopher S.,Wongpun Limpaseni,Noppaporn Panich and Eric Fujita.1998.Particulate Matter Abatement Strategy for the Bangkok Metropolitan Area
- Clyde W.S. and Donalk F.G.1998.Summary and analysis of available PM<sub>2.5</sub> measurements in illinois.Atmos. Environ.32:1129-1133.
- Earle Plain, Vicki Carmichael.1998.Inhalable Particle Characterization During a Late winter Period in Quesnel, British Columbia
- John G., Judith C. and Thompson G.1999. Fugitive Dust Emissions Air Pollution Engineering Manual.
- John H. Seinfeld.1976.Air Pollution:Physical and chemical Fundamentals.Library of congress cataloging
- Jeffery R., Tom F. and Richard T.1997.The Relationship Among TSP, PM10, PM2.5 and Inorganic Constituents of Atmosphere Particulate Matter at Multiple Canadian Locations. Air & Weste Management Association.47:2-19.
- Jose A.M.,Mariela H.,Juan S. and Eugenio S.1990.Trace element in the venezuelan savannah atmosphere during dry and wet periods,with and without vegetation burning. Atmos. Environ.24:407-414.
- Kim Y.P.,Lee J.H.,Baik N.J.,Shim S.H. and Kang C.H.1998.Summertime characteristics of aerosol composition at Cheju Island Korea.Atmos. Environ.32:9-3905-3915.
- Leyda E. and Eugenio S.1981.Elemental analysis of the total suspended matter in the air in downtown CARACAS. Atmos. Environ.15:61-64.

- Linda Y. Zou and Martin A. Hooper.1997.Size-Resolved Airborne Particulate and their Morphology in central Jakarta. Atmos.Environ.31:1167-1172.
- Paoletti L., Diociaiuti M., Falchi M., Disani D. and Ziemalki G.1991. Quantitative analysis of airborne breathable particles: A comparison between different analytical techniques. Atmos.Environ.25:237-242.
- Philippe C. and Willy M.1990.Sources and characteristics of the atmospheric aerosol near Damascus,Syria.Atmos.Environ.24:1083-1087.
- Saskia C.V., Gerard H.,Hendrik H. and Bert B.1998.Characterization of particulate air pollution in urban and non-urban area in the Netherlands. Atmos.Environ.32:3717-3729.
- Supat Wangwongwatana.1997. Unleaded Air in Bangkok : A Story of success.Pollution Control, 97.12 –14 November 1997. Queen Sirikit National Convention Center Bangkok , Thailand.
- Robert M. Burton, Helen H. Suh and Petros Koutrakis.1996. Spatial variation in particulate concentrations within metropolitan Philadelphia. Environ.Science & Technology. 30:400-407.
- US.EPA. 1997. Monitoring PM10 in Ambient Air Using a Dichotomous Sampler
- US.Environmental Protection Agency.1999. PARTICULATE MATTER PM<sub>2.5</sub> SPECIATION GUIDANCE.
- Yaacov M.1985.Characterization of Large particles at a rural site in the eastern united states Mass distribution and individual Particle analysis.Atmos.Environ.19:611-622.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5ไมครอน ฝุ่นขนาด2.5ถึง10ไมครอน และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

STATION	DATE	TYPE	WEIGHTH (mg)	Ps (mmHg)	T (c)	t (min)	conc (ug/std m3)
Dindang	20/05/42	PM2.5	0.727	755.0	26.7	1321	58.6983
		PM2.5-10	0.712	755.0	26.7	1321	45.8248
		PM10	1.439	755.0	26.7	1321	104.5231
	26/05/42	PM2.5	0.55	756.0	31.2	1440	41.9619
		PM2.5-10	1.267	756.0	31.2	1440	82.4576
		PM10	1.817	756.0	31.2	1440	124.4194
	01/06/42	PM2.5	1.105	758.0	32.4	1440	71.3971
		PM2.5-10	0.236	758.0	32.4	1440	17.3300
		PM10	1.341	758.0	32.4	1440	88.7271
	07/06/42	PM2.5	0.741	755.0	31.8	1440	54.4854
		PM2.5-10	0.87	755.0	31.8	1440	52.2104
		PM10	1.611	755.0	31.8	1440	106.6957
	13/06/42	PM2.5	0.433	759.0	31.9	1440	31.7815
		PM2.5-10	0.866	759.0	31.9	1440	54.1190
		PM10	1.299	759.0	31.9	1440	85.9005
	19/06/42	PM2.5	1.023	756.0	31.1	1440	75.0616
		PM2.5-10	0.967	756.0	31.1	1440	56.5022
		PM10	1.99	756.0	31.1	1440	131.5638
25/06/42	PM2.5	0.7315	757.0	33.0	1440	53.4159	
	PM2.5-10	0.1865	757.0	33.0	1440	7.0271	
	PM10	0.918	757.0	33.0	1440	60.4431	
01/07/42	PM2.5	0.7725	753.0	36.2	1440	55.9329	
	PM2.5-10	0.6075	753.0	36.2	1440	34.3017	
	PM10	1.38	753.0	36.2	1440	90.2346	
07/07/42	PM2.5	0.9065	757.0	32.5	1440	66.5763	
	PM2.5-10	0.563	757.0	32.5	1440	30.6736	
	PM10	1.4695	757.0	32.5	1440	97.2500	
13/07/42	PM2.5	0.801	755.0	32.4	1440	58.8940	
	PM2.5-10	0.681	755.0	32.4	1440	39.3234	
	PM10	1.482	755.0	32.4	1440	98.2174	

STATION	DATE	TYPE	WEIGHT (mg)	Ps (mmHg)	T (c)	t (min)	conc (ug/std m3)
Dindang	21/10/42	PM2.5	1.340	754.0	32.0	1440	100.5069
		PM2.5-10	0.900	754.0	32.0	1440	50.5856
		PM10	2.240	754.0	32.0	1440	151.0926
	24/10/42	PM2.5	0.800	754.0	32.0	1440	58.8218
		PM2.5-10	0.630	754.0	32.0	1440	35.9220
		PM10	1.430	754.0	32.0	1440	94.7438
	27/10/42	PM2.5	1.100	758.0	31.0	1440	81.3426
		PM2.5-10	0.940	758.0	31.0	1440	54.4573
		PM10	2.040	758.0	31.0	1440	135.7999
	30/10/42	PM2.5	1.330	758.0	31.0	1440	98.3506
		PM2.5-10	0.770	758.0	31.0	1440	41.4434
		PM10	2.100	758.0	31.0	1440	139.7940
	11/11/42	PM2.5	1.000	759.0	32.4	1440	72.8581
		PM2.5-10	0.570	759.0	32.4	1440	30.2820
		PM10	1.570	759.0	32.4	1440	103.1401
	17/11/42	PM2.5	1.450	759.0	32.4	1440	105.6443
		PM2.5-10	1.060	759.0	32.4	1440	59.2485
		PM10	2.510	759.0	32.4	1440	164.8928
	22/11/42	PM2.5	1.650	759.0	28.5	1440	120.6430
		PM2.5-10	1.060	759.0	28.5	1440	57.8505
		PM10	2.710	759.0	28.5	1440	178.4934
	02/12/42	PM2.5	1.500	760.0	28	1440	111.3506
		PM2.5-10	0.960	760.0	28	1440	52.8792
		PM10	2.460	760.0	28	1440	164.2298
	05/12/42	PM2.5	1.210	760.0	28.5	1440	88.1241
		PM2.5-10	0.820	760.0	28.5	1440	45.0999
		PM10	2.030	760.0	28.5	1440	133.2240
08/12/42	PM2.5	1.410	762.0	26.2	1440	102.5111	
	PM2.5-10	0.940	762.0	26.2	1440	51.3968	
	PM10	2.350	762.0	26.2	1440	153.9079	



STATION	DATE	TYPE	WEIGHT (mg)	Ps (mmHg)	T (c)	t (min)	conc (ug/std m3)
Dindang	22/12/42	PM2.5	1.330	762	23.4	1440	100.6127
		PM2.5-10	1.070	762	23.4	1440	61.6315
		PM10	2.400	762	23.4	1440	162.2441
	23/12/42	PM2.5	1.670	763	21.5	1379	125.4379
		PM2.5-10	1.080	763	21.5	1379	60.6248
		PM10	2.750	763	21.5	1379	186.0627
	24/12/42	PM2.5	1.850	763	21	1325	145.9457
		PM2.5-10	1.150	763	21	1325	66.8946
		PM10	3.000	763	21	1325	212.8403
	25/12/42	PM2.5	1.910	763	20.6	1440	131.8459
		PM2.5-10	1.190	763	20.6	1440	61.7163
		PM10	3.100	763	20.6	1440	193.5621
	26/12/42	PM2.5	1.000	760	24.6	1440	70.8118
		PM2.5-10	0.620	760	24.6	1440	32.6865
		PM10	1.620	760	24.6	1440	103.4983
	27/12/42	PM2.5	2.570	760	26.9	1440	185.0248
		PM2.5-10	1.560	760	26.9	1440	83.7228
		PM10	4.130	760	26.9	1440	268.7476
	29/12/42	PM2.5	2.520	760	23.1	1440	190.2363
		PM2.5-10	1.580	760	23.1	1440	87.1492
		PM10	4.100	760	23.1	1440	277.3855
	30/12/42	PM2.5	2.890	758	24.4	1440	209.7028
		PM2.5-10	1.560	758	24.4	1440	80.7678
		PM10	4.450	758	24.4	1440	290.4705
	31/12/42	PM2.5	1.790	759	29.4	1440	127.7037
		PM2.5-10	0.960	759	29.4	1440	49.4802
		PM10	2.750	759	29.4	1440	177.1839
01/01/43	PM2.5	1.700	758	34.1	1440	127.8310	
	PM2.5-10	1.070	758	34.1	1440	59.1545	
	PM10	2.770	758	34.1	1440	186.9855	

STATION	DATE	TYPE	WEIGHTH (mg)	Ps (mmHg)	T (c)	t (min)	conc (ug/std m3)
Phayathai	20/05/42	PM2.5	0.225	755	26.7	1440	18.8982
		PM2.5-10	0.825	755	26.7	1440	59.2002
		PM10	1.050	755	26.7	1440	78.0984
	26/05/42	PM2.5	0.400	756	31.2	1440	38.3703
		PM2.5-10	0.070	756	31.2	1440	0.9496
		PM10	0.470	756	31.2	1440	39.3199
	01/06/42	PM2.5	0.272	758	32.4	1440	20.0739
		PM2.5-10	0.163	758	32.4	1440	8.7771
		PM10	0.435	758	32.4	1440	28.8511
	07/06/42	PM2.5	0.224	755	31.8	1440	16.5206
		PM2.5-10	0.032	755	31.8	1440	0.4501
		PM10	0.256	755	31.8	1440	16.9707
	13/06/42	PM2.5	0.236	759	31.9	1440	17.1091
		PM2.5-10	0.070	759	31.9	1440	2.8601
		PM10	0.306	759	31.9	1440	19.9692
	19/06/42	PM2.5	0.335	756	31.1	1440	23.1709
		PM2.5-10	0.195	756	31.1	1440	10.6065
		PM10	0.530	756	31.1	1440	33.7774
	25/06/42	PM2.5	0.261	757	33	1440	19.6772
		PM2.5-10	0.112	757	33	1440	9.9203
		PM10	0.373	757	33	1440	29.5975
	01/07/42	PM2.5	0.335	753	36.2	1440	24.8791
		PM2.5-10	0.282	753	36.2	1440	16.3351
		PM10	0.617	753	36.2	1440	41.2143
	07/07/42	PM2.5	0.194	757	32.5	1440	14.0601
		PM2.5-10	0.180	757	32.5	1440	10.3698
		PM10	0.374	757	32.5	1440	24.4299
13/07/42	PM2.5	0.777	758.625	29.93	1320	66.1132	
	PM2.5-10	0.288	758.625	29.93	1320	16.2225	
	PM10	1.065	758.625	29.93	1320	82.3356	

STATION	DATE	TYPE	WEIGHTH (mg)	Ps (mmHg)	T (c)	t (min)	conc (ug/std m3)
Phayathai	21/10/42	PM2.5	0.400	754.0	32.0	1440	28.6334
		PM2.5-10	0.390	754.0	32.0	1440	22.3532
		PM10	0.790	754.0	32.0	1440	50.9867
	24/10/42	PM2.5	0.192	754.0	32.0	1440	13.6936
		PM2.5-10	0.166	754.0	32.0	1440	10.2937
		PM10	0.358	754.0	32.0	1440	23.9873
	27/10/42	PM2.5	0.323	758.0	31.0	1440	22.2090
		PM2.5-10	0.202	758.0	31.0	1440	13.7466
		PM10	0.525	758.0	31.0	1440	35.9556
	30/10/42	PM2.5	0.371	758.0	31.0	1440	25.1543
		PM2.5-10	0.198	758.0	31.0	1440	11.4630
		PM10	0.569	758.0	31.0	1440	36.6173
	11/11/42	PM2.5	0.910	759.0	32.4	1440	67.0470
		PM2.5-10	0.420	759.0	32.4	1440	21.1066
		PM10	1.330	759.0	32.4	1440	88.1537
	17/11/1999	PM2.5	0.710	759.0	32.4	1440	52.4535
		PM2.5-10	0.630	759.0	32.4	1440	36.3630
		PM10	1.340	759.0	32.4	1440	88.8165
	22/11/42	PM2.5	0.480	759.0	28.5	1440	35.1168
		PM2.5-10	0.390	759.0	28.5	1440	22.1815
		PM10	0.870	759.0	28.5	1440	57.2984
	29/11/42	PM2.5	0.370	758.0	31.6	1440	23.2316
		PM2.5-10	0.210	758.0	31.6	1440	15.7651
		PM10	0.580	758.0	31.6	1440	38.9967
	02/12/42	PM2.5	0.660	760	28	1440	47.4326
		PM2.5-10	0.650	760	28	1440	37.4575
		PM10	1.310	760	28	1440	84.8901
19/01/42	PM2.5	1.699	759.4	30.3	1330	139.7198	
	PM2.5-10	1.658	759.4	30.3	1330	96.7761	
	PM10	3.357	759.4	30.3	1330	236.4959	

STATION	DATE	TYPE	WEIGHTH (mg)	Ps (mmHg)	T (c)	t (min)	conc (ug/std m3)
Phayathai	20/01/42	PM2.5	1.522	759.6	30.6	1380	83.4795
		PM2.5-10	1.209	759.6	30.6	1380	50.9173
		PM10	2.731	759.6	30.6	1380	134.3968
	21/01/42	PM2.5	1.233	759.3	29.6	1375	104.7698
		PM2.5-10	1.195	759.3	29.6	1375	70.7889
		PM10	2.428	759.3	29.6	1375	175.5588
	22/01/42	PM2.5	1.977	757.5	30.9	2820	90.7964
		PM2.5-10	1.866	757.5	30.9	2820	56.5658
		PM10	3.843	757.5	30.9	2820	147.3622
	24/01/42	PM2.5	1.335	756.9	30.7	2840	65.9278
		PM2.5-10	1.046	756.9	30.7	2840	31.2813
		PM10	2.381	756.9	30.7	2840	97.2091
	15/03/43	PM2.5	0.638	756.8	34.2	1440	48.0233
		PM2.5-10	0.435	756.8	34.2	1440	24.4821
		PM10	1.073	756.8	34.2	1440	72.5054
	16/03/43	PM2.5	0.637	755.8	34.5	1440	46.4747
		PM2.5-10	0.486	755.8	34.5	1440	27.4243
		PM10	1.123	755.8	34.5	1440	73.8990
	20/03/43	PM2.5	0.521	756.75	34.2	1442	38.4991
		PM2.5-10	0.685	756.75	34.2	1442	41.7600
		PM10	1.206	756.75	34.2	1442	80.2591
	21/03/43	PM2.5	0.457	757.15	34.45	1440	33.3663
		PM2.5-10	0.326	757.15	34.45	1440	18.1133
		PM10	0.783	757.15	34.45	1440	51.4796
	22/03/43	PM2.5	1.843	757.47	32.67	2880	66.9620
		PM2.5-10	1.232	757.47	32.67	2880	33.8106
		PM10	3.075	757.47	32.67	2880	100.7726
29/03/43	PM2.5	1.464	755.17	28.8	2882	52.8970	
	PM2.5-10	0.992	755.17	28.8	2882	27.1469	
	PM10	2.456	755.17	28.8	2882	80.0439	

STATION	DATE	TYPE	WEIGHT (mg)	Ps (mmHg)	T (c)	t (min)	conc (ug/std. m3)
Phutamontol Sai 2	04/01/43	PM2.5	0.40	757.95	26.00	1410	29.3980
		PM2.5-10	0.28	757.95	26.00	1410	16.4639
		PM10	0.68	757.95	26.00	1410	45.8619
	05/01/43	PM2.5	0.67	758.05	26.00	1440	49.0390
		PM2.5-10	0.43	758.05	26.00	1440	23.1625
		PM10	1.10	758.05	26.00	1440	72.2014
	07/01/43	PM2.5	0.45	758.60	26.20	1440	32.8101
		PM2.5-10	0.40	758.60	26.20	1440	22.9622
		PM10	0.85	758.60	26.00	1440	55.7723
	08/01/43	PM2.5	0.37	758.65	26.25	1440	27.4410
		PM2.5-10	0.30	758.65	26.25	1440	17.1999
		PM10	0.67	758.65	26.25	1440	44.6409
	09/01/43	PM2.5	0.32	758.60	26.30	1440	23.3197
		PM2.5-10	0.32	758.60	26.30	1440	18.6941
		PM10	0.64	758.60	26.30	1440	42.0138
	03/07/43	PM2.5	0.15	752.40	26.00	1440	13.6235
		PM2.5-10	0.07	752.40	26.00	1440	7.1662
		PM10	0.22	752.40	26.00	1440	20.7897
	05/07/43	PM2.5	0.15	752.60	27.60	1320	13.7930
		PM2.5-10	0.07	752.60	27.60	1320	6.4484
		PM10	0.22	752.60	27.60	1320	20.2414
	06/07/43	PM2.5	0.14	755.10	26.80	1320	12.5174
		PM2.5-10	0.05	755.10	26.80	1320	4.8047
		PM10	0.19	755.10	26.80	1320	17.3221
07/07/43	PM2.5	0.15	755.30	26.90	1320	13.6555	
	PM2.5-10	0.09	755.30	26.90	1320	9.1659	
	PM10	0.24	755.30	26.90	1320	22.8114	
08/07/43	PM2.5	0.17	753.70	26.80	1320	17.4356	
	PM2.5-10	0.18	753.70	26.80	1320	11.5413	
	PM10	0.35	753.70	26.80	1320	28.9769	

ภาคผนวก ข

สัดส่วนของPM 2.5 ต่อ PM 10 และ PM 2.5-10ต่อ PM 10

ตาราง ข .1 สัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอนและสัดส่วนฝุ่น  
ขนาด 2.5 ถึง10ไมครอนต่อฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณดินแดง

แฉิ่ง						ฝน					
วันที่	<2.5	2.5-10	<10	%<2.5/10	%2.5-10/10	วันที่	<2.5	2.5-10	<10	%<2.5/10	%2.5-10/10
17/11/42	105.64	59.25	164.89	64.0670	35.9330	20/5/42	58.69	45.82	104.52	56.1519	43.8385
22/11/42	120.64	57.85	178.49	67.5892	32.4108	26/5/42	41.96	82.46	124.42	33.7245	66.2755
2/12/42	111.35	52.88	164.23	67.8013	32.1987	1/6/42	71.39	17.33	88.73	80.4576	19.5312
5/12/42	88.124	45.1	133.22	66.1492	33.8538	7/6/42	54.48	52.21	106.7	51.0590	48.9316
8/12/42	102.51	51.4	153.91	66.6039	33.3961	13/6/42	31.78	54.12	85.9	36.9965	63.0035
22/12/42	100.61	61.63	162.22	62.0207	37.9916	19/6/42	75.06	56.5	131.56	57.0538	42.9462
23/12/42	125.44	60.63	186.06	67.4191	32.5863	25/6/42	53.41	7.03	60.44	88.3686	11.6314
24/12/42	145.95	66.9	212.84	68.5726	31.4321	1/7/42	55.93	34.3	90.23	61.9860	38.0140
25/12/42	131.85	61.72	193.56	68.1184	31.8868	7/7/42	66.57	30.67	97.25	68.4524	31.5373
26/12/42	70.812	32.69	103.5	68.4174	31.5845	13/7/42	58.98	39.32	98.22	60.0489	40.0326
27/12/42	185.02	83.72	268.75	68.8447	31.1516	21/10/42	100.51	50.59	151.09	66.5233	33.4834
29/12/42	190.24	87.15	277.39	68.5821	31.4179	24/10/42	58.82	35.92	94.74	62.0857	37.9143
30/12/42	209.7	80.77	290.47	72.1933	27.8067	27/10/42	81.34	54.46	135.8	59.8969	40.1031
31/12/42	127.7	49.48	177.18	72.0736	27.9264	30/10/42	98.35	41.44	139.79	70.3555	29.6445
1/1/43	127.83	59.16	186.99	68.3619	31.6381	11/11/42	72.86	30.28	103.14	70.6418	29.3582
ค่าสูงสุด	209.7	87.15	290.47	72.1933	37.9916	ค่าสูงสุด	100.51	82.46	151.09	66.5233	66.2755
ค่าต่ำสุด	70.81	32.69	103.5	62.0207	27.8067	ค่าต่ำสุด	31.78	7.03	60.44	52.5811	11.6314
ค่าเฉลี่ย	129.56	60.687	190.25	67.7876	32.2143	ค่าเฉลี่ย	65.342	42.163	107.5	61.5868	38.4163

ตาราง ข.2 สัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอนและสัดส่วนฝุ่น  
ขนาด 2.5 ถึง10ไมครอนต่อฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณพญาไท

แฉิ่ง						ฝน				
วันที่	<2.5	2.5-11	<10	%<2.5/10	%2.5-10/10	วันที่	<2.5	2.5-11	<10	%2.5/10
17/11/42	52.45	36.363	88.82	59.0520	40.9401	20/5/42	18.9	59.2	78.1	24.1997
22/11/42	35.12	22.182	57.3	61.2914	38.7120	26/5/42	38.37	0.95	39.32	97.5839
29/11/42	33.27	22.448	55.72	59.7093	40.2872	1/6/42	20.07	8.78	28.85	69.5667
2/12/42	47.73	37.458	84.89	56.2257	44.1253	7/6/42	16.52	0.45	16.97	97.3483
19/1/42	139.7	96.776	236.5	59.0698	40.9201	13/6/42	17.11	2.86	19.97	85.6785
20/1/42	83.48	50.917	134.4	62.1131	37.8847	19/6/42	23.18	10.61	33.78	68.6205
21/1/42	104.77	70.789	175.56	59.6776	40.3218	25/6/42	19.68	9.92	29.6	66.4865
22/1/42	90.8	56.566	147.36	61.6178	38.3863	1/7/42	24.88	16.34	41.21	60.3737
24/1/42	65.93	31.281	97.21	67.8222	32.1788	7/7/42	14.06	10.37	24.43	57.5522
15/3/43	48.02	24.482	72.51	66.2253	33.7636	13/7/42	66.11	16.22	82.34	80.2890
16/3/43	46.48	27.424	73.9	62.8958	37.1096	21/10/42	28.63	22.35	50.99	56.1483
20/3/43	38.5	41.76	80.26	47.9691	52.0309	24/10/42	13.69	10.29	23.99	57.0654
21/3/43	33.37	18.113	51.48	64.8213	35.1845	27/10/42	22.21	13.75	35.96	61.7631
22/3/43	66.96	33.811	100.77	66.4483	33.5526	30/10/42	25.15	11.46	36.62	68.6783
29/3/43	52.9	27.147	80.04	66.0920	33.9168	11/11/42	67.05	21.11	88.15	76.0635
ค่าสูงสุด	139.72	96.78	236.5	67.8222	52.0309	ค่าสูงสุด	67.05	59.2	88.15	97.3483
ค่าต่ำสุด	33.27	18.11	51.48	47.9691	32.1788	ค่าต่ำสุด	13.69	0.45	16.97	24.1997
ค่าเฉลี่ย	62.633	39.834	102.45	61.4021	35.1522	ค่าเฉลี่ย	27.707	14.311	42.019	68.494513

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข. 3 สัดส่วนของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนต่อฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอนและสัดส่วนฝุ่น  
ขนาด 2.5 ถึง 10 ไมครอนต่อฝุ่นเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณพุทธมณฑลสายสอง

แฉิ่ง						ฝ่น					
วันที่	<2.5	2.5-10	<10	%<2.5/10	%2.5-10/10	วันที่	<2.5	2.5-10	<10	%<2.5/10	%2.5-10/10
4/1/43	29.4	16.46	45.86	64.1082	35.8918	3/7/43	13.62	7.17	20.79	65.5123	34.4877
5/1/43	49.04	23.16	72.2	67.9224	32.0776	5/7/43	13.79	6.45	20.24	68.1324	31.8676
7/1/43	32.81	22.96	55.77	58.8309	41.1691	6/7/43	12.52	4.8	17.32	72.2864	27.7136
8/1/43	27.44	17.2	44.64	61.4695	38.5305	7/7/43	13.66	9.17	22.82	59.8598	40.1840
9/1/43	23.32	18.69	42.01	55.5106	44.4894	8/7/43	17.44	11.54	28.98	60.1794	39.8206
ค่าสูงสุด	49.04	23.16	72.2	67.9224	44.4894	ค่าสูงสุด	17.44	11.54	28.98	72.2864	40.184
ค่าต่ำสุด	23.32	16.46	42.01	55.5106	32.0776	ค่าต่ำสุด	12.52	4.8	17.32	59.8598	27.7136
ค่าเฉลี่ย	32.402	19.697	52.098	61.5683	38.4317	ค่าเฉลี่ย	14.206	7.826	22.03	65.1940	34.81471

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**ภาคผนวก ค**  
**ผลการวิเคราะห์สถิติ**

1. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน กับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

**Model Summary<sup>b</sup>**

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.979 <sup>a</sup>	.958	.957	9.491455

a. Predictors: (Constant), PM10

b. Dependent Variable: PM2.5

**ANOVA<sup>b</sup>**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	139014.7	1	139014.7	1543.104	.000 <sup>a</sup>
	Residual	6125.965	68	90.088		
	Total	145140.7	69			

a. Predictors: (Constant), PM10

b. Dependent Variable: PM2.5

**Coefficients<sup>a</sup>**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-2.873	2.055		-1.398	.167
	PM10	.673	.017	.979	39.282	.000

a. Dependent Variable: PM2.5

- 2 การเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในแต่ละพื้นที่ศึกษา

### ANOVA

WEIGHT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	60755.307	2	30377.654	24.119	.000
Within Groups	84385.393	67	1259.483		
Total	145140.7	69			

3. การเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนระหว่างดินแดงและพญาไท

### Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
WEIGHT Equal variances assumed	3.882	.054	5.348	58	.000	52.281827	9.776261	2.712513	1.851140
WEIGHT Equal variances not assumed			5.348	50.942	.000	52.281827	9.776261	2.654618	1.909035

4. การเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นเฉลี่ย PM-2.5 ระหว่างดินแดง และ พุทรมณฑลสายสอง

### Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
WEIGHT Equal variances assumed	8.867	.005	5.185	38	.00000752	74.148077	14.300743	5.197737	103.0984
WEIGHT Equal variances not assumed			8.327	37.163	.00000	74.148077	8.904868	6.107770	2.188383

5. การเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นเฉลี่ยฝุ่นเล็กกว่า 2.5 ไมครอน  
ระหว่างพญาไทและพุทธมณฑลสายสอง

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances	t-test for Equality of Means								
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
WEIGHT	Equal variances assumed	5.196	.028	2.233	38	.032	21.866250	9.793406	2.040535	41.691965
	Equal variances not assumed			3.307	36.793	.002	21.866250	6.612160	8.466200	35.266300

6. การเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในช่วงสองฤดูกาล

Paired Samples Test A

	Paired Differences	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
					Pair 1 WET - DRY	-64.2197			

Paired Samples Test B

	Paired Differences	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
					Pair 1 WET - DRY	-34.9254			

Paired Samples Test C

	Paired Differences	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference		t	df	Sig. (2-tailed)
					Lower	Upper			
					Pair 1 WET - DRY	-18.1956			

7. การเปรียบเทียบความเข้มข้นโพแทสเซียมในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน  
ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: K

Scheffe

(I) SITE	(J) SITE	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	1.578611*	.335967	.000399	.702153	2.455069
	3.00	1.934950*	.380951	.000157	.941140	2.928760
2.00	1.00	-1.578611*	.335967	.000399	-2.455069	-.702153
	3.00	.356339	.401557	.679	-.691229	1.403907
3.00	1.00	-1.934950*	.380951	.000157	-2.928760	-.941140
	2.00	-.356339	.401557	.679	-1.403907	.691229

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

8. การเปรียบเทียบความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน  
ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: PB

Scheffe

(I) SITE	(J) SITE	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	3.789E-02	1.65E-02	.091	-5.1E-03	8.08E-02
	3.00	6.824E-02*	1.87E-02	.005	1.96E-02	.116932
2.00	1.00	-3.79E-02	1.65E-02	.091	-8.1E-02	5.06E-03
	3.00	3.036E-02	1.97E-02	.321	-2.1E-02	8.17E-02
3.00	1.00	-6.82E-02*	1.87E-02	.005	-.116932	-2.0E-02
	2.00	-3.04E-02	1.97E-02	.321	-8.2E-02	2.10E-02

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

9. การเปรียบเทียบความเข้มข้นสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน  
ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ZN

Scheffe

(I) SITE	(J) SITE	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	.243367	.172766	.385	-.207338	.694072
	3.00	.539583*	.195898	.037	2.85E-02	1.050635
2.00	1.00	-.243367	.172766	.385	-.694072	.207338
	3.00	.296217	.206495	.373	-.242479	.834912
3.00	1.00	-.539583*	.195898	.037	-1.050635	-2.9E-02
	2.00	-.296217	.206495	.373	-.834912	.242479

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

10. การเปรียบเทียบความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน  
ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

Multiple Comparisons

Dependent Variable: CU

Scheffe

(I) SITE	(J) SITE	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1.00	2.00	3.222E-03	4.23E-03	.750	-7.8E-03	1.42E-02
	3.00	1.093E-02	4.79E-03	.095	-1.6E-03	2.34E-02
2.00	1.00	-3.22E-03	4.23E-03	.750	-1.4E-02	7.80E-03
	3.00	7.711E-03	5.05E-03	.329	-5.5E-03	2.09E-02
3.00	1.00	-1.09E-02	4.79E-03	.095	-2.3E-02	1.57E-03
	2.00	-7.71E-03	5.05E-03	.329	-2.1E-02	5.46E-03

11. การเปรียบเทียบความเข้มข้นแมงกานีสในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน  
ในแต่ละพื้นที่ศึกษาโดย

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: WEIGHT

Scheffe

(I) SITE	(J) SITE	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-4.08E-02	5.77E-02	.781	-.191409	.109848
	3	.152575	6.55E-02	.086	-1.8E-02	.323372
2	1	4.078E-02	5.77E-02	.781	-.109848	.191409
	3	.193356*	6.90E-02	.034	1.33E-02	.373392
3	1	-.152575	6.55E-02	.086	-.323372	1.82E-02
	2	-.193356*	6.90E-02	.034	-.373392	-1.3E-02

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

12. ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนกับองค์ประกอบของ  
ธาตุชนิดต่าง ๆ

**Correlations**

		PM2.5	K	PB	ZN	CU	MN
PM2.5	Pearson Correlation	1.000	.618**	.442*	.076	.099	-.165
	Sig. (2-tailed)	.	.001	.021	.705	.622	.411
	N	27	27	27	27	27	27
K	Pearson Correlation	.618**	1.000	.637**	.628**	.638**	.227
	Sig. (2-tailed)	.001	.	.000	.000	.000	.255
	N	27	27	27	27	27	27
PB	Pearson Correlation	.442*	.637**	1.000	.505**	.578**	.391*
	Sig. (2-tailed)	.021	.000	.	.007	.002	.044
	N	27	27	27	27	27	27
ZN	Pearson Correlation	.076	.628**	.505**	1.000	.892**	.449*
	Sig. (2-tailed)	.705	.000	.007	.	.000	.019
	N	27	27	27	27	27	27
CU	Pearson Correlation	.099	.638**	.578**	.892**	1.000	.429*
	Sig. (2-tailed)	.622	.000	.002	.000	.	.026
	N	27	27	27	27	27	27
MN	Pearson Correlation	-.165	.227	.391*	.449*	.429*	1.000
	Sig. (2-tailed)	.411	.255	.044	.019	.026	.
	N	27	27	27	27	27	27

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

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

ภาคผนวก ง

ผลองค์ประกอบธาตุเชิงปริมาณ

ตารางที่ ง. 1 ความเข้มข้นเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของโพแทสเซียมในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

สถานที่	ฤดูกาล	วันที่เก็บตัวอย่าง	หมายเลขตัวอย่าง	PM2.5(มกค./ลบ.ม.)	K(มกค./ลบ.ม.)	%KในPM2.5		
ดินแดง	ฝน	1/6/99	688	71.4	2.0222	2.83		
		19/6/99	732	75.06	5.3437	7.12		
		1/7/99	740	55.93	2.9225	5.23		
		13/7/99	748	58.89	3.0044	5.10		
		24/10/99	796	58.82	1.8529	3.15		
		27/10/99	800	81.34	1.3757	1.69		
			ค่าเฉลี่ย		66.91	2.7536	4.19	
	แล้ง	22/11/99	816	120.64	1.9532	1.62		
		5/12/99	830	88.12	1.8572	2.11		
		22/12/99	851	100.61	1.9516	1.94		
		24/12/99	855	145.95	2.5572	1.75		
		27/12/99	861	185.02	2.527	1.37		
		29/12/99	863	190.24	3.034	1.59		
			ค่าเฉลี่ย		138.43	2.3134	1.73	
	พญาไท	ฝน	1/6/99	722	20.07	0.7755	3.86	
			19/6/99	730	23.17	0.4425	1.91	
1/7/99			738	24.88	1.0268	4.13		
13/7/99			628	66.11	1.3547	2.05		
24/10/99			794	13.69	0.4835	3.53		
27/10/99			798	22.21	0.6757	3.04		
			ค่าเฉลี่ย		28.36	0.7931	3.09	
แล้ง		22/11/99	814	35.12	1.1201	3.19		
		17/11/99	811	52.45	1.4856	2.83		
		2/12/99	822	47.43	1.2293	2.59		
			ค่าเฉลี่ย		45	1.2783	2.87	
		พุทธมณฑล	ฝน	3/7/00	1	13.62	0.2448	1.80
				6/7/00	5	12.52	0.4027	3.22
8/7/00	9			17.44	0.3711	2.13		
	ค่าเฉลี่ย				14.53	0.3395	2.38	
แล้ง	4/1/00		837	29.4	1.5117	5.14		
	7/1/00		841	32.81	0.4595	1.40		
	9/1/00		845	23.32	0.6013	2.58		
			ค่าเฉลี่ย		28.51	0.8575	3.04	

ตารางที่ ง.2 ความเข้มข้นเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของตะกั่วในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

สถานที่	ฤดูกาล	วันที่เก็บตัวอย่าง	หมายเลขตัวอย่าง	PM2.5(มกค./ลบ.ม.)	Pb(มกค./ลบ.ม.)	%PbในPM2.5	
ดินแดง	ฝน	1/6/99	688	71.4	0.1101	0.15	
		19/6/99	732	75.06	0.1038	0.14	
		1/7/99	740	55.93	0.1376	0.25	
		13/7/99	748	58.89	0.1384	0.24	
		24/10/99	796	58.82	0.0628	0.11	
		27/10/99	800	81.34	0.0237	0.03	
			ค่าเฉลี่ย	66.91	0.0961	0.15	
	แล้ง	22/11/99	816	120.64	0.0742	0.06	
		5/12/99	830	88.12	0.0393	0.04	
		22/12/99	851	100.61	0.1177	0.12	
		24/12/99	855	145.95	0.1148	0.08	
		27/12/99	861	185.02	0.1049	0.06	
		29/12/99	863	190.24	0.0776	0.04	
			ค่าเฉลี่ย	138.43	0.0881	0.07	
พญาไท	ฝน	1/6/99	722	20.07	0.0748	0.37	
		19/6/99	730	23.17	0.005	0.02	
		1/7/99	738	24.88	0.15	0.60	
		13/7/99	628	66.11	0.0338	0.05	
		24/10/99	794	13.69	0.0053	0.04	
		27/10/99	798	22.21	0.021	0.09	
			ค่าเฉลี่ย	28.36	0.048	0.20	
	แล้ง	22/11/99	814	35.12	0.0391	0.11	
		17/11/99	811	52.45	0.0771	0.15	
		2/12/99	822	47.43	0.0816	0.17	
			ค่าเฉลี่ย	45	0.0659	0.14	
	พุทธมณฑล	ฝน	3/7/00	1	13.62	0.0288	0.21
			6/7/00	5	12.52	0.0165	0.13
			8/7/00	9	17.44	0.0136	0.08
			ค่าเฉลี่ย	14.53	0.0196	0.14	
แล้ง		4/1/00	837	29.4	0.0162	0.06	
		7/1/00	841	32.81	0.0526	0.16	
		9/1/00	845	23.32	0.0153	0.07	
			ค่าเฉลี่ย	28.51	0.0280	0.10	



ตารางที่ ง. 3 ความเข้มข้นเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของสังกะสีในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

สถานที่	ฤดูกาล	วันที่เก็บตัวอย่าง	หมายเลขตัวอย่าง	PM2.5(มกค./ลบ.ม.)	Zn(มกค./ลบ.ม.)	%ZnในPM2.5		
ดินแดง	ฝน	1/6/99	688	71.4	0.963	1.35		
		19/6/99	732	75.06	1.63	2.17		
		1/7/99	740	55.93	1.202	2.15		
		13/7/99	748	58.89	1.0088	1.71		
		24/10/99	796	58.82	0.5294	0.90		
		27/10/99	800	81.34	0.784	0.96		
			ค่าเฉลี่ย	66.91	1.0195	1.5411		
	แล้ง	22/11/99	816	120.64	0.971	0.80		
		5/12/99	830	88.12	0.4807	0.55		
		22/12/99	851	100.61	0.3593	0.36		
		24/12/99	855	145.95	0.2684	0.18		
		27/12/99	861	185.02	0.1296	0.07		
		29/12/99	863	190.24	0.0302	0.02		
			ค่าเฉลี่ย	138.43	0.3285	0.2989		
	พญาไท	ฝน	1/6/99	722	20.07	0.5318	2.65	
19/6/99			730	23.17	0.3687	1.59		
1/7/99			738	24.88	0.3571	1.44		
13/7/99			628	66.11	0.4392	0.66		
24/10/99			794	13.69	0.0184	0.13		
27/10/99			798	22.21	0.1014	0.46		
			ค่าเฉลี่ย	28.36	0.3028	1.1553		
แล้ง		22/11/99	814	35.12	0.2709	0.77		
		17/11/99	811	52.45	0.7206	1.37		
		2/12/99	822	47.43	1.2689	2.68		
			ค่าเฉลี่ย	45	0.7535	1.6068		
		พุทธมณฑล	ฝน	3/7/00	1	13.62	0.0658	0.48
				6/7/00	5	12.52	0.0544	0.43
8/7/00	9			17.44	0.164	0.94		
	ค่าเฉลี่ย			14.53	0.0947	0.6200		
แล้ง	4/1/00		837	29.4	0.3514	1.20		
	7/1/00		841	32.81	0.2091	0.64		
	9/1/00		845	23.32	0.096	0.41		
		ค่าเฉลี่ย	28.51	0.2188	0.7500			

ตารางที่ ง. 4 ความเข้มข้นเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของทองแดงในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

สถานที่	ฤดูกาล	วันที่เก็บตัวอย่าง	หมายเลขตัวอย่าง	PM2.5(มกค./ลบ.ม.)	Cu(มกค./ลบ.ม.)	%CuในPM2.5	
ดินแดง	ฝน	1/6/99	688	71.4	0.0143	0.02	
		19/6/99	732	75.06	0.0359	0.05	
		1/7/99	740	55.93	0.0223	0.04	
		13/7/99	748	58.89	0.029	0.05	
		24/10/99	796	58.82	0.0159	0.03	
		27/10/99	800	81.34	0.0067	0.01	
			ค่าเฉลี่ย	66.91	0.0207	0.03	
	แล้ง	22/11/99	816	120.64	0.0136	0.01	
		5/12/99	830	88.12	0.0013	0.00	
		22/12/99	851	100.61	0.0056	0.01	
		24/12/99	855	145.95	0.0051	0.00	
		27/12/99	861	185.02	0.0058	0.00	
		29/12/99	863	190.24	0.0073	0.00	
			ค่าเฉลี่ย	138.43	0.0065	0.0048	
พญาไท	ฝน	1/6/99	722	20.07	0.0101	0.05	
		19/6/99	730	23.17	0.0058	0.03	
		1/7/99	738	24.88	0.0085	0.03	
		13/7/99	628	66.11	0.0091	0.01	
		24/10/99	794	13.69	0.0009	0.01	
		27/10/99	798	22.21	0.001	0.00	
			ค่าเฉลี่ย	28.36	0.0059	0.02	
	แล้ง	22/11/99	814	35.12	0.0018	0.01	
		17/11/99	811	52.45	0.023	0.04	
		2/12/99	822	47.43	0.0329	0.07	
			ค่าเฉลี่ย	45	0.0192	0.04	
	พุทธมณฑล	ฝน	3/7/00	1	13.62	0.0027	0.02
			6/7/00	5	12.52	0.0011	0.01
			8/7/00	9	17.44	0.0014	0.01
			ค่าเฉลี่ย	14.53	0.0017	0.01	
แล้ง		4/1/00	837	29.4	0.0039	0.01	
		7/1/00	841	32.81	0.0043	0.01	
		9/1/00	845	23.32	0.0024	0.01	
			ค่าเฉลี่ย	28.51	0.0035	0.01	

ตารางที่ ง. 5 ความเข้มข้นเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของแมงกานีสในฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน

สถานที่	ฤดูกาล	วันที่เก็บตัวอย่าง	หมายเลขตัวอย่าง	PM2.5(มกค./ลบ.ม.)	Mn(มกค./ลบ.ม.)	%MnในPM2.5	
ดินแดง	ฝน	1/6/99	688	71.4	0.3637	0.51	
		19/6/99	732	75.06	0.3157	0.42	
		1/7/99	740	55.93	0.3649	0.65	
		13/7/99	748	58.89	0.3959	0.67	
		24/10/99	796	58.82	0.3176	0.54	
		27/10/99	800	81.34	0.2698	0.33	
			ค่าเฉลี่ย	66.91	0.3379	0.5211	
	แล้ง	22/11/99	816	120.64	0.0597	0.05	
		5/12/99	830	88.12	0.1457	0.17	
		22/12/99	851	100.61	0.0666	0.07	
		24/12/99	855	145.95	0.0568	0.04	
		27/12/99	861	185.02	0.0599	0.03	
		29/12/99	863	190.24	0.099	0.05	
			ค่าเฉลี่ย	138.43	0.0813	0.0674	
พญาไท	ฝน	1/6/99	722	20.07	0.3575	1.78	
		19/6/99	730	23.17	0.3976	1.72	
		1/7/99	738	24.88	0.425	1.71	
		13/7/99	628	66.11	0.31	0.47	
		24/10/99	794	13.69	0.1282	0.94	
		27/10/99	798	22.21	0.1754	0.79	
			ค่าเฉลี่ย	28.36	0.2990	1.2334	
	แล้ง	22/11/99	814	35.12	0.1324	0.38	
		17/11/99	811	52.45	0.2814	0.54	
		2/12/99	822	47.43	0.046	0.10	
			ค่าเฉลี่ย	45	0.1533	0.3368	
	พุทธมณฑล	ฝน	3/7/00	1	13.62	0.0129	0.09
			6/7/00	5	12.52	0.0001	0.00
			8/7/00	9	17.44	0.0012	0.01
			ค่าเฉลี่ย	14.53	0.0047	0.0341	
แล้ง		4/1/00	837	29.4	0.0223	0.08	
		7/1/00	841	32.81	0.2649	0.81	
		9/1/00	845	23.32	0.0408	0.17	
			ค่าเฉลี่ย	28.51	0.0346	0.1419	

ภาคผนวก จ

มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศต่าง ๆ

ประเทศ	ค่ามาตรฐาน			วิธีการวัด
	TSP (มกก./ลบ.ม.)	PM10(มกก./ลบ.ม.)	PM2.5(มกก./ลบ.ม.)	
1. สหรัฐ	260 (24 ชม.) 75(1 ปี)	150(24 ชม.) 50(1 ปี)	65(24 ชม.) 15(1 ปี)	Geometric mean
2. สวีเดน	115(24 ชม.) 50 (6 เดือน)			Arithmetic mean value
3. บราซิล	150(24 ชม.) 60(1 ปี)			High – volume Air Sampler
4. ญี่ปุ่น		100(24 ชม.)		Filtration collection Light scattering method
5. จีน	500(24 ชม.) 150(1 ปี)			B-ray attenuation method Quartry Piezoelectric
6. อินโดนีเซีย	260(24 ชม.)			Crystal Method
7. มาเลเซีย	260(24 ชม.) 90(1 ปี)	150(24 ชม.) 50(1 ปี)		Gravimeter AS 2724.3
8. เม็กซิโก	275(24 ชม.)			High – volume Air Sampler
9. ฟิลิปปินส์	250(24 ชม.)			
10. สิงคโปร์	260(24 ชม.) 75(1 ปี)			Gravimetric method
11. ตุรกี	300(24 ชม.) 150(1 ปี)			High – volume Air Sampler
12. ไทย	330(24 ชม.) 100(1 ปี)	120(24 ชม.) 50(1 ปี)		Gravimetric-High volume

ที่มา : กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข .2541

US.EPA.www.epa.gov/airs/criteria.html.

## ภาคผนวก จ

### การเปรียบเทียบความถูกต้องของ Dichotomous Air Sampler

ทดสอบระบบการรั่วไหลก่อนการเปรียบเทียบความถูกต้อง (Pre-Calibration Leak Test)

#### ขั้นตอน

1. เปลี่ยนกระดาศกรองทั้งของ Total และ Coarse
2. เปิด Inlet แล้วเปิดเครื่องเพื่อทดสอบการทำงานของ Rotameter ทั้งสอง
3. อุดปลาย Inlet Tube ด้วยฝ่ามือจนเครื่องแสดงค่า Total Pressure สูงสุด (ประมาณ 23 in.Hg)
4. ปิด power บันทึกค่าสูงสุดลงใน Calibration Data Sheet
5. สังเกตอัตราการลดลงของค่า Vacuum Gauge ทั้งสอง  
โดยระบบการรั่วไหล (Leak) สามารถอ่านค่า Vacuum Pressure Gauge ได้ 23 in.Hg หรือ มากกว่า และสามารถลดลงได้ถึง 0 in.Hg ภายในเวลา 60 วินาที แสดงว่าระบบการทำงานดี
6. ทำการตรวจสอบระบบการทำงานของ Pump
  - 6.1 เปิด Inlet Tube และเปิด Power จนอัตราการไหลของอากาศคงที่
  - 6.2 ปรับ Total Rotameter Control Valve ไปที่ 90 % ของ Rotameter Scale
  - 6.3 สังเกต Total Vacuum Gauge จนต้องอ่านค่าค่อย ๆ สูงขึ้น ถือว่า ระบบการทำงานของ Pump ดี

#### การเปรียบเทียบ Total Rotameter

1. หลังจากการทำ Pre-Calibration เสร็จสิ้นแล้วก็จัดเตรียมอุปกรณ์ในการ Calibration ดังรูป ก.
2. เปิด Inlet ของ Transfer Standard ให้สัมผัสอากาศ และให้ Outlet ของ Transfer Standard ต่อกับ Inlet ของ Dichotomous Sampler
3. เปิดเครื่องทำงานอย่างน้อย 5 นาทีเป็นการอุ่นเครื่อง โดยเปิดวาล์วทั้งสองอย่างเต็มที่
4. ปิดวาล์วของ Coarse Rotameter ให้สนิท
5. ปรับวาล์วควบคุม Total Rotameter ประมาณ 90% ของ Rotameter Scale
6. บันทึกค่าต่อไปนี้ลงใน Calibration Data Sheet
  - 6.1 Ambient Temperature ( $T_a$ ), K
  - 6.2 Ambient Barometric Pressure ( $P_a$ ), mmHg
  - 6.3 Transfer Standard Response ( $T_s$ ), volt, Timing, etc.
  - 6.4 Sampler Total Rotameter Indication (I), arbitrary unit

7. ทำแบบข้อ 6 อีกครั้ง โดยการปรับ Rotameter Scale เป็น 75 , 60 ,40 และ 20 % ของ Rotameter Scale โดยค่าต่ำที่สุดควรอยู่ในช่วง  $\pm 10\%$  ของ 16.7 ลิตร/นาที
8. จำนวนและบันทึก Rotameter Actual Correction (IC) สำหรับจุดที่ทำการปรับเทียบ ความถูกต้องในแต่ละครั้ง

สูตร

$$IC = I (T_a/P_a)^{1/2}$$

เมื่อ IC = Rotameter Actual Correction

I = Rotameter response , arbitrary units

 $T_a$  = Ambient Temperature , K $P_a$  = Ambient Barometric Pressure , mmHg

9. จำนวน  $TQ_a$  ในหน่วย L/min ในแต่ละจุดที่ทำการปรับเทียบความถูกต้องโดยดูจาก Transfer Standard Curve หรือจำนวนจากสมการ

สูตร

$$TQ_a = TQ_{std} (T_a/P_a)(760/298)$$

เมื่อ  $TQ_a$  = อัตราการไหลของอากาศที่สภาวะที่ทำการเก็บตัวอย่าง $TQ_{std}$  = อัตราการไหลของอากาศที่ EPA Reference Conditions $T_a$  = Ambient Temperature , K $P_a$  = Ambient Barometric Pressure , mmHg

760 = EPA Reference Ambient Barometric Pressure , mmHg

298 = EPA Reference Ambient Temperature , K

#### การปรับเทียบความถูกต้อง Coarse Rotameter

1. แยก Fine-Flow Vacuum Line และ Cap Fine Flow Outlet Port ออกจากกัน (ดังรูป ข)
2. เปิดเครื่องทำงานอย่างน้อย 5 นาทีเป็นการอุ่นเครื่องโดยเปิดวาล์วทั้งสองอย่างเต็มที่
3. ปรับวาล์วควบคุม Total Rotameter ประมาณ 90 % ของ Rotameter Scale
4. ปรับวาล์วควบคุม Coarse Rotameter ประมาณ 90 % ของ Rotameter Scale
5. บันทึกค่าต่อไปนี้ลงใน Calibration Data Sheet
  - 5.1 Ambient Temperature( $T_a$ ) , K
  - 5.2 Ambient Barometric Pressure ( $P_a$ ) ,mmHg

- 5.3 Transfer Standard Response ( $T_s$ ) ,volt , Timing , etc.
- 5.4 Sampler Total Rotameter Indication (I) , arbitrary unit
6. ทำแบบข้อ 5 อีกครั้ง โดยการปรับ Rotameter Scale เป็น 75 , 60 ,40 และ 20 % ของ Rotameter Scale โดยค่าต่ำที่สุดควรอยู่ในช่วง  $\pm 10$  % ของ 1.67 ลิตร/นาที
7. คำนวณและบันทึก Rotameter Actual Correction (IC) สำหรับจุดที่ทำการปรับเทียบความถูกต้องในแต่ละครั้ง

สูตร

$$IC = I(T_a/P_a)^{1/2}$$

เมื่อ IC = Rotameter Actual Correction

I = Rotameter response , arbitrary units

 $T_a$  = Ambient Temperature , K $P_a$  = Ambient Barometric Pressure , mmHg

8. คำนวณ  $CQ_a$  ในหน่วย ลิตร/นาทีในแต่ละจุดที่ทำการปรับเทียบความถูกต้องโดยดูจาก Transfer Standard Curve หรือคำนวณจากสมการ

สูตร

$$CQ_a = CQ_{std}(T_a/P_a)(760/298)$$

เมื่อ  $CQ_a$  = อัตราการไหลของอากาศที่สภาวะที่ทำการเก็บตัวอย่าง $CQ_{std}$  = อัตราการไหลของอากาศที่ EPA Reference Conditions $T_a$  = Ambient Temperature , K $P_a$  = Ambient Barometric Pressure , mmHg

760 = EPA Reference Ambient Barometric Pressure , mmHg

298 = EPA Reference Ambient Temperature , K

Calibration Relationships หลังจากการปรับเทียบความถูกต้องแล้ว นำค่ามา plot บนกราฟ แล้วปฏิบัติตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. Plot ค่า Total Flow IC ใน Blank Graph (แกน y) และ Transfer Standard Flowrate  $Q_a$  (แกน x) โดยทำการ Plot ทั้งหมด 5 จุด คูณพื้นที่ใต้กราฟและค่า r (Correlation Coefficient) > 0.99
2. ทำในข้อ 1 อีกครั้ง แต่ใช้ Coarse Flow IC ในแกน y เช่นกัน จะได้ค่า  $Q_a$
3. คำนวณ Dichot Actual Flowrate ( $Q_a$ ) จาก

สูตร

$$TQ_a \text{ หรือ } CQ_a = 1/m [AI (T_{av}/P_{av})^{1/2}] - b$$

เมื่อ

$TQ_a$  = Total Flow Rate Actual , L/min

$CQ_a$  = Coarse Flow Rate Actual , L/min

$m$  = Slope of the total or Coarse Rotameter Calibration Relationship

$AI$  = Average Total or Coarse Rotameter Response , arbitrary unit

$T_{av}$  = Average Ambient Temperature for the Run Day, K

$P_{av}$  = Average Ambient Barometric pressure for the run Day ,mmHg

$b$  = Intercept of the total or coarse Rotameter Calibration Relationship

5. คำนวณค่า  $m_s$  และ  $b_s$ 

$$m_s = m / [T_s/P_s]^{1/2}$$

$$b_s = b / [T_s/P_s]^{1/2}$$

เมื่อ

$m_s$  = Seasonally Adjusted Total or Coarse Rotameter Calibration Slope

$m$  = Slope of the Sampler's Total or Coarse Rotameter Calibration Relationship

$b_s$  = Seasonally Adjusted Total or Coarse Rotameter Calibration intercept

$b$  = Intercept of the Sampler's Total or Coarse Rotameter Calibration Relationship

$T_s$  = Seasonal Average Ambient Temperature , K

$P_s$  = Seasonal Average Ambient Barometric pressure , mmHg



6. ความสัมพันธ์ของ Rotameter ทั้งสอง คำนวณอัตราการไหลของอากาศเพื่อใช้ในการตรวจสอบ

$$TSQ_a \text{ หรือ } CSQ_a = (AI - bs)/ms$$

เมื่อ

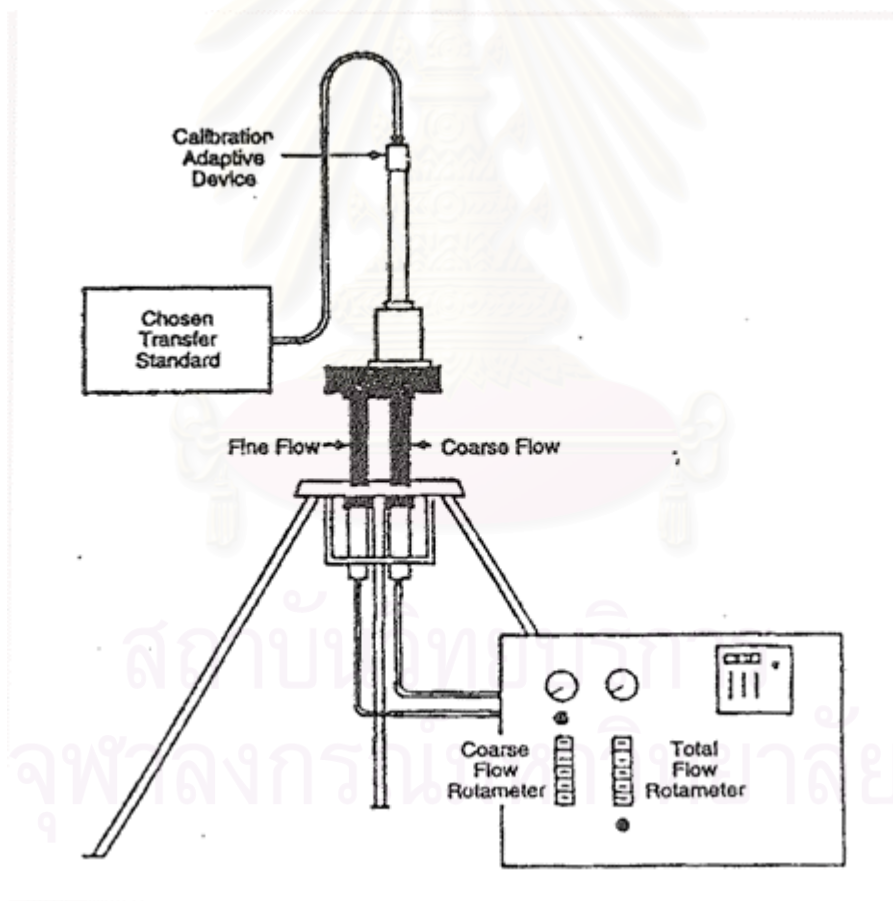
$TSQ_a$  = Sampler's Seasonally Adjusted Total Flowrate, L/min

$CSQ_a$  = Sampler's Seasonally Adjusted Coarse Flowrate, L/min

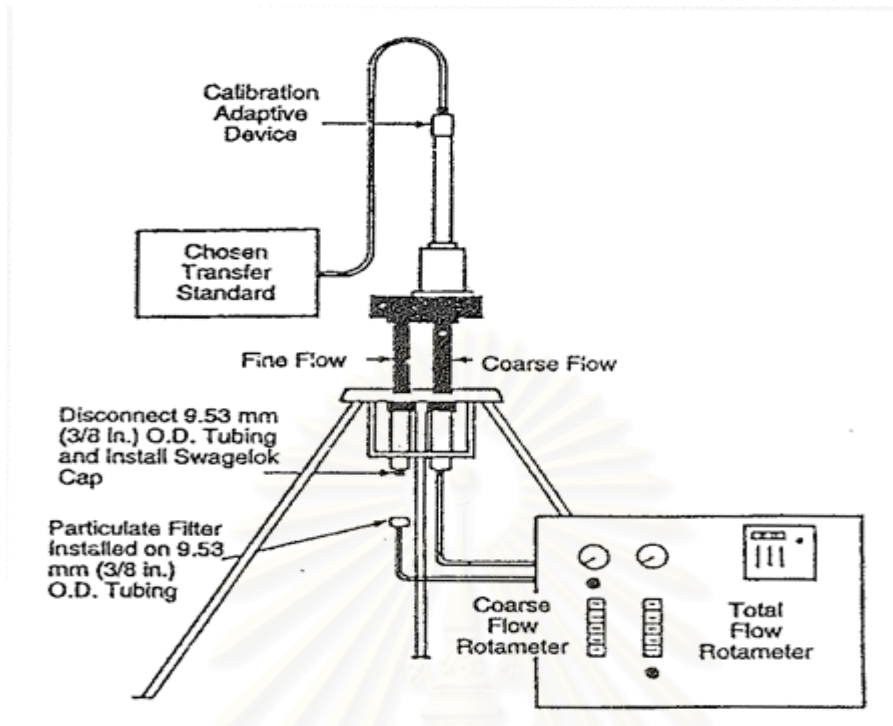
AI = Average Total or Coarse Rotameter Response

Bs = Seasonally Adjusted Total or Coarse Calibration Intercept

Ms = Seasonally Adjusted Total or Coarse Rotameter Calibration Slope



รูป ก แสดงการต่ออุปกรณ์การปรับเทียบความถูกต้องของ Dichotomous Air Sampler ส่วน Total Flow Rotameter



รูป ข แสดงการต่ออุปกรณ์การปรับเทียบความถูกต้องของ Dichotomous Air Sampler ส่วน Coarse Flow Rotameter

#### Rotameter Set Point Adjustment

1. กำหนดและบันทึกข้อมูลลงใน Calibration Data Sheet ทั้ง Total และ Coarse Rotameters Seasonally Adjusted Set Point Flowrate (TSFR, CSFR)

$$\text{TSFR} = 16.7 (P_s/P_a)(T_a/T_s)$$

$$\text{CSFR} = 1.67 (P_s/P_a)(T_a/T_s)$$

เมื่อ TSFR = Total Rotameter Seasonally Adjusted Set Point Flowrate ,L/min

CSFR = Coarse Rotameter Seasonally Adjusted Set Point Flowrate, L/min

16.7 = Dichot Design Total Flowrate , L/min

1.67 = Dichot Design Coarse Flowrate , L/min

$P_s, P_a$  = Seasonally Average and Actual Ambient Barometer Pressure at the Monitoring Site ,mmHg

$T_a, T_s$  = Actual Ambient and Seasonal Average Temperature at the monitoring site , K

2. กำหนดและบันทึกผลลงใน Sampler's Calibration Data Sheet ให้สอดคล้องในข้อ 1

$$\text{TSSP หรือ CSSP} = \{[m(\text{TSFR}) + b](P_a/T_a)^{1/2}\}$$

- เมื่อ
- TSSP = Total Rotameter Seasonally Adjusted Set Point
- CSSP = Coarse Rotameter Seasonally Adjusted Set Point
- m = Slope of the Total or Coarse Rotameter Calibration Relationship
- TSFR = Sampler's seasonally adjusted Total Flowrate, L/min
- CSFR = Sampler's seasonally adjusted Coarse Flowrate, L/min
- b = Intercept of the Total or Coarse Rotameter Calibration Relationship
- $P_a$  = Actual Ambient Barometric Pressure, mmHg
- $T_a$  = Actual Ambient Temperature, K

3. เปิดเครื่องให้ทำงานประมาณ 3 – 5 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง
4. ปรับและตั้งค่า Total Flowrate ในค่า TSSP ตามที่คำนวณในข้อ 2 และทำซ้ำกับ Coarse Rotameter
5. ตรวจสอบความถูกต้องของค่าที่อ่านได้โดยดูว่าหยุดนิ่งหรือไม่ ประมาณ 10 นาที
6. ปิด Sampler และเตรียมการเก็บตัวอย่างต่อไป

DICHOTOMOUS SAMPLER CALIBRATION DATA SHEET

Calibration Location	OEPP	Calibration Date	
Barometric Pressure	775.97 mmHg	Temperature	26 °C
Sampler Location	<del>OEPP</del>	Date	19/04/99
Barometric Pressure	755.6 mmHg	Temperature	31.1 °C
Calibration Equipment	Wet Test Meter	Model	W-NK-De-5A
S/N	525896		

Total Flowrate Calibration

Total Cal. Point	Rotameter (L/min)	Flowrate(L/min)												Avg. (L/min)	Standard (760 mmHg 298 K) (L/min)	
		1				2				3						
		Volume		Time		Volume		Time		Volume		Time				Flowrate (L/min)
		(Lite)	Sec	Min	(L/min)	(Lite)	Sec	Min	(L/min)	(Lite)	Sec	Min				
10%	22	20	54.57	0.9085	22.0022	20	55.27	0.9212	21.7108	20	55.17	0.9195	21.7509	21.8213	22.18	
70%	18	20	68.33	1.1388	17.5623	20	68.41	1.1402	17.5408	20	68.63	1.1438	17.4856	17.5296	17.82	
60%	15	20	81.25	1.3542	14.7689	20	81.77	1.3628	14.6757	20	82.04	1.3673	14.6274	14.8907	14.93	
40%	10	20	119.85	1.9975	10.0125	20	120.13	2.0022	9.9890	20	120.32	2.0053	9.9736	9.9917	10.16	
20%	5	20	253.30	4.2217	4.7374	20	255.56	4.2593	4.6958	20	262.42	4.3737	4.5728	4.6586	4.75	



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Coarse Flowrate Calibration

Total Cal. Point	Rotameter (L/min)	Flowrate(L/min)												Avg. (L/min)	Star (760 r 298 (L/min)
		1			2			3							
		Volume (Lite)	Time		Flowrate (L/min)	Volume (Lite)	Time		Flowrate (L/min)	Volume (Lite)	Time		Flowrate (L/min)		
Sec	Min	Sec	Min	Sec	Min	Sec	Min								
90%	2.2	10	267.80	4.4633	2.2405	10	267.97	4.4662	2.2380	10	268.07	4.4662	2.2382	2.2392	2.2392
70%	1.8	10	335.42	5.5903	1.7885	10	334.57	5.5762	1.7933	10	334.57	5.5762	1.7899	1.7907	1.7907
60%	1.5	10	405.53	6.7588	1.4796	10	405.57	6.7595	1.4794	10	405.57	6.7595	1.4776	1.4789	1.4789
40%	1.0	10	608.24	10.1373	0.9865	10	608.02	10.1337	0.9868	10	608.02	10.1337	0.9855	0.9863	0.9863
20%	0.5	10	1271.76	21.1985	0.4718	10	1267.45	21.1242	0.4734	10	1267.45	21.2478	0.4706	0.4719	0.4719

$$Q_{std} = Q_{act} (P_f/P_{std}) (T_{std}/T_f) F_c$$

$Q_{std}$  = Flowrate at Standard Condition(L/min)

$Q_{act}$  = Flowrate at Field Condition(L/min)

$P_{std}$  = Barometric Pressure at Standard Condition (mmHg)

$P_f$  = Barometric Pressure at Field Condition(mmHg)

$T_{std}$  = Temperature at Standard Condition ( $^{\circ}$ C)

$T_f$  = Temperature at Field Condition ( $^{\circ}$ C)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากสูตร  $Q_{std} = Q_1 (P_1/P_2) (T_{std}/T_1)$

Total Dichotomous

1.  $Q_{std} = 21.8213 (775.97/760)(298/299)$

$Q_{std} = 21.8213 \times 1.02 \times 0.9967$

$Q_{std} = 22.18 \text{ L/min}$

2.  $Q_{std} = 17.5296 (775.97/760)(298/299)$

$Q_{std} = 17.5296 \times 1.02 \times 0.9967$

$Q_{std} = 17.82 \text{ L/min}$

3.  $Q_{std} = 14.6907 (775.97/760)(298/299)$

$Q_{std} = 14.6907 \times 1.02 \times 0.9967$

$Q_{std} = 14.93 \text{ L/min}$

4.  $Q_{std} = 9.9917 (775.97/760)(298/299)$

$Q_{std} = 9.9917 \times 1.02 \times 0.9967$

$Q_{std} = 10.16 \text{ L/min}$

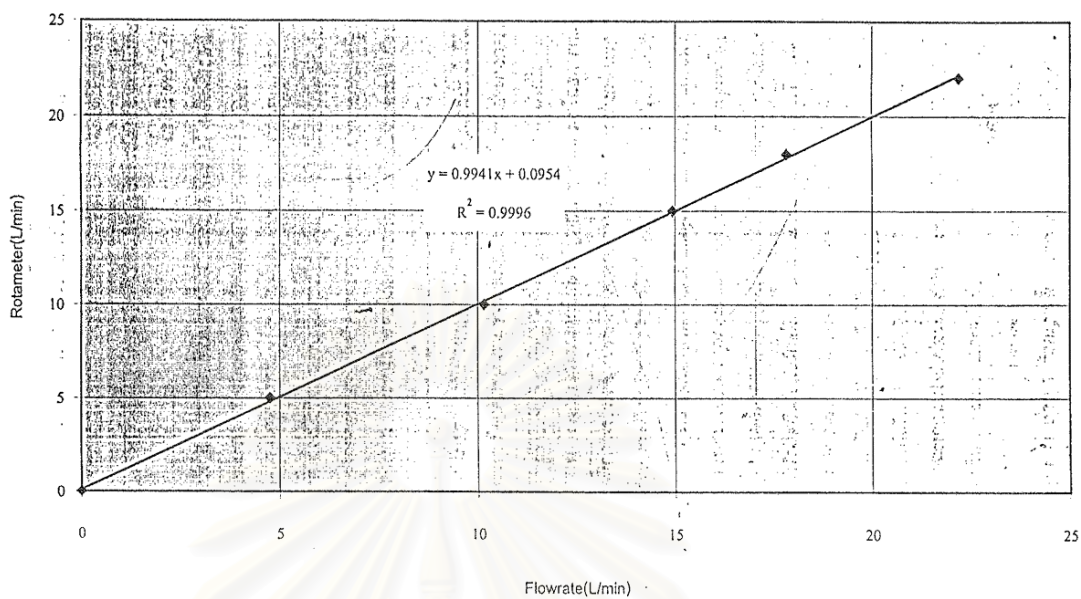
5.  $Q_{std} = 4.6686 (775.97/760)(298/299)$

$Q_{std} = 4.6686 \times 1.02 \times 0.9967$

$Q_{std} = 4.75 \text{ L/min}$

สถาบันวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Total Flowrate of Dichotomous Calibration Curve  
at Standard Condition(760 mmHg 298 K)



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\begin{aligned}
 \text{จากสมการ} \quad y &= 0.9941 x + 0.0954 \\
 \text{แทนค่า} \quad y &= 0.9941(16.7) + 0.0954 \\
 y &= 16.6 + 0.0954 \\
 y &= 16.697 \text{ L/min}
 \end{aligned}$$

ระดับ Rotameter ที่ Standard Condition มีค่า 16.697 L/min เพื่อให้ค่า Flowrate ที่ 16.7 L/min

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{field}} &= Q_{\text{std}} \left( \frac{P_{\text{std}}}{P_f} \right) \left( \frac{T_f}{T_{\text{std}}} \right) \\
 Q_f &= 16.697 \times \left( \frac{760}{755.6} \right) \left( \frac{304.1}{298} \right) \\
 Q_f &= 16.697 \times 1.026 \\
 Q_f &= 17.13 \text{ L/min}
 \end{aligned}$$

ระดับ Rotameter ที่ field มีค่า 17.13 L/min เพื่อให้ค่า Flowrate ที่ 16.7 L/min



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



จากสูตร  $Q_{std} = Q_1 (P_1/P_2) (T_{std}/T_1)$

$$\begin{aligned}
 1. \quad Q_{std} &= 2.2392 (775.97/760)(298/299) \\
 Q_{std} &= 2.2392 \times 1.02 \times 0.9967 \\
 Q_{std} &= 2.28 \text{ L/min}
 \end{aligned}$$

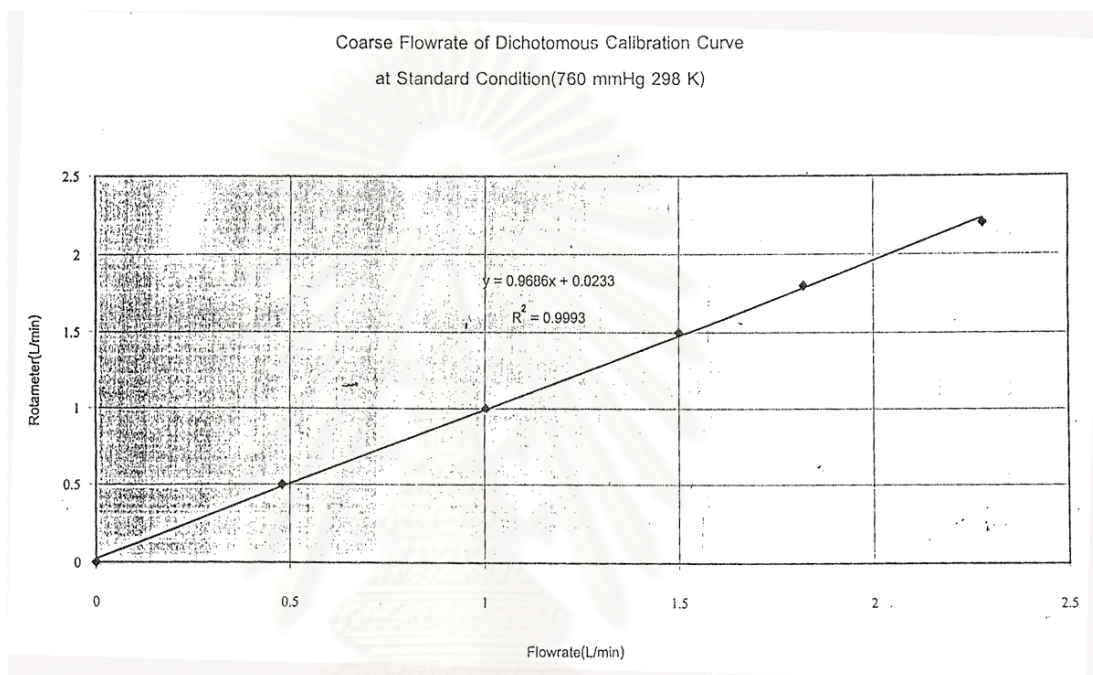
$$\begin{aligned}
 2. \quad Q_{std} &= 1.7907 (775.97/760)(298/299) \\
 Q_{std} &= 1.7907 \times 1.02 \times 0.9967 \\
 Q_{std} &= 1.82 \text{ L/min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \quad Q_{std} &= 1.4789(775.97/760)(298/299) \\
 Q_{std} &= 1.4789 \times 1.02 \times 0.9967 \\
 Q_{std} &= 1.50 \text{ L/min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \quad Q_{std} &= 0.9863 (775.97/760)(298/299) \\
 Q_{std} &= 0.9863 \times 1.02 \times 0.9967 \\
 Q_{std} &= 1.0026 \text{ L/min}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5. \quad Q_{std} &= 0.4719 (775.97/760)(298/299) \\
 Q_{std} &= 0.4719 \times 1.02 \times 0.9967 \\
 Q_{std} &= 0.48 \text{ L/min}
 \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



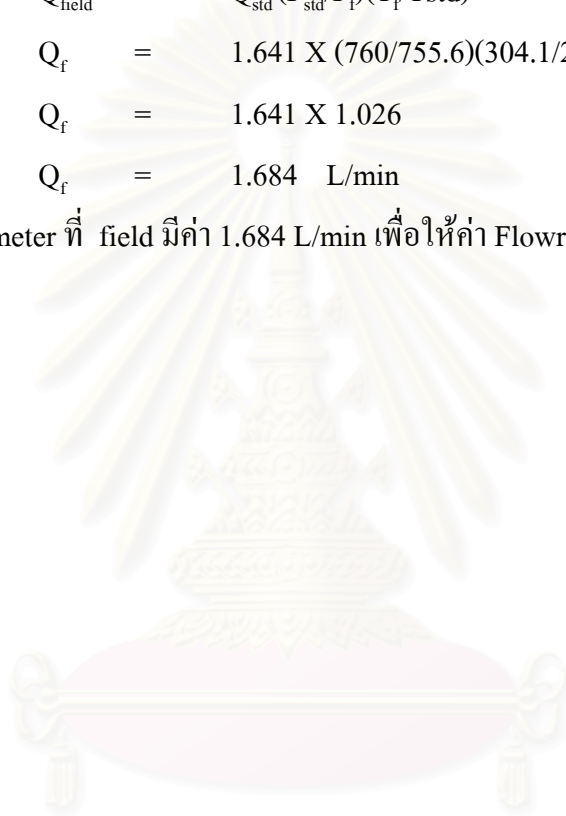
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ } y &= 0.9686X + 0.0233 \\ \text{แทนค่า } y &= 0.9686(1.67) + 0.0233 \\ y &= 1.62 + 0.0233 \\ y &= 1.641 \text{ L/min} \end{aligned}$$

ระดับ Rotameter ที่ Standard Condition มีค่า 1.641 L/min เพื่อให้ค่า Flowrate ที่ 1.67 L/min

$$\begin{aligned} Q_{\text{field}} &= Q_{\text{std}} (P_{\text{std}}/P_f)(T_f/T_{\text{std}}) \\ Q_f &= 1.641 \times (760/755.6)(304.1/298) \\ Q_f &= 1.641 \times 1.026 \\ Q_f &= 1.684 \text{ L/min} \end{aligned}$$

ระดับ Rotameter ที่ field มีค่า 1.684 L/min เพื่อให้ค่า Flowrate ที่ 1.67 L/min



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ภาคผนวก ข**  
**ข้อมูลปริมาณน้ำฝน และความชื้นสัมพัทธ์**

DAILY RAINFALL IN MILLIMETRE

STATION : 455201 Bangkok Metropolis\*

YEAR : 1999

PROVINCE : Bangkok Metropolis

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	.0	.0	.0	.0	2.0	17.8	.0	.1	.0	18.5	28.2	.0
2	.0	33.5	T	.0	34.2	.0	.0	3.1	29.6	.0	9.0	.0
3	.0	18.7	.0	.0	T	.0	.0	1.2	.0	96.4	9.1	T
4	.0	.0	.0	.0	114.5	24.1	.0	T	.0	.0	.0	T
5	.0	.0	.0	2.6	3.0	.7	.4	1.1	4.7	.0	.0	.5
6	.0	.0	.0	43.6	T	10.5	.7	1.4	37.0	.0	T	.0
7	.0	.0	.0	.0	T	.2	.0	5.3	7.4	.4	.0	.0
8	.0	.0	.0	5.9	2.0	3.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0
9	.0	.0	.0	1.6	.0	1.1	T	11.0	.5	.8	4.2	.0
10	.0	.0	.0	.0	36.6	1.0	.0	1.2	.0	.3	10.7	.0
11	.0	.0	.0	13.0	2.2	T	4.7	.0	17.7	.0	.0	T
12	T	.1	.0	T	26.9	9.5	.0	T	5.1	4.4	.4	.0
13	.0	.0	.0	19.6	21.8	12.8	T	.0	.0	32.5	10.7	.0
14	.0	.0	.0	20.1	.0	.0	.0	.0	.0	41.1	5.8	.0
15	.0	.0	.0	.7	24.2	.0	2.9	.4	.1	26.6	.0	.0
16	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	36.8	.0	13.5	.0	.0
17	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	6.3	.0	62.6	.0	.0
18	.0	.0	.0	.0	T	4.1	.1	1.1	11.5	.0	.0	.0
19	.0	.0	.0	.0	50.5	.0	13.5	9.5	.0	.0	.0	.0
20	.0	.0	.0	.0	17.0	6.6	11.2	.0	T	.0	.0	.0
21	.0	.0	.0	.2	9.1	.0	2.2	.0	51.8	.0	.0	.0
22	.0	.0	.4	4.0	33.0	.0	1.1	T	.2	.0	.0	.0
23	.0	.0	.0	2.1	1.4	.0	.0	12.6	.2	.0	.0	.0
24	.0	.0	.0	.0	.0	.0	T	.1	25.2	17.0	.0	.0
25	8.3	.0	.0	.0	1.7	.0	3.4	.0	2.9	31.0	.0	.0
26	.0	.0	.0	.0	.0	7.9	T	.0	.0	18.6	.0	.0

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
27	.0	.0	.0	4.4	T	.0	4.8	6.6	2.2	.0	.0	.0
28	.8	.0	44.0	2.9	.0	4.2	6.8	.0	.0	7.7	.0	.0
29	17.3		5.8	37.1	8.2	.0	2.7	48.2	.0	T	.0	.0
30	8.7		.7	31.8	.0	.0	7.5	1.2	15.1	.6	.0	.0
31	.0		.0		21.3		10.3	11.5		11.8		.0
N	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
TOTAL	35.1	52.3	50.9	189.6	409.6	104.1	72.3	158.7	211.2	383.8	88.1	.5
R-DAY	4	3	4	15	18	14	15	19	16	17	8	1
MAX.	17.3	33.5	44.0	43.6	114.5	24.1	13.5	48.2	51.8	96.4	28.2	.5

ANNUAL RAINFALL = 1756.2 MM. TOTAL NO. OF DAYS WITH RAINFALL = 134

DAILY MAXIMUM RAINFALL = 114.5 MM. ON 4 MAY

REMARKS : DAILY VALUES ARE ACCUMULATED RAINFALL BETWEEN 07.00-07.00 HOURS

R-DAY IS NO. OF DAYS WITH RAINFALL GREATER THAN OR EQUAL TO 0.1 MM.

"T" IS TRACE RAINFALL, RAINFALL AMOUNT LESS THAN 0.1 MM.

Data Processing Sub-division

Climatology Division

Meteorological Department

28-Mar-2001

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## DAILY RAINFALL IN MILLIMETRE

STATION : 455201 Bangkok Metropolis\*

YEAR : 2000

PROVINCE : Bangkok Metropolis

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	21.8	1.0	.0	.0
2	.0	.0	.0	.0	.0	.3	2.1	10.8	T	.0	.0	.0
3	.0	.0	.0	.0	41.6	52.2	6.9	3.1	24.5	19.4	.0	.0
4	.0	.0	.0	.0	24.9	30.7	17.1	.0	1.5	T	.0	.0
5	.0	.0	.0	.0	1.1	5.4	55.3	.2	11.9	9.2	.0	.0
6	.0	.0	.2	.0	.0	1.5	36.7	.0	.2	.0	.0	.0
7	.0	.0	.0	.0	.1	18.0	T	17.6	2.1	20.5	.0	.0
8	.0	.0	.0	T	.4	.4	T	28.1	.0	32.0	.0	.0
9	.0	.0	.0	2.1	.0	.3	.5	.3	.0	T	.0	.0
10	.0	.0	.0	.2	.0	.0	1.0	.0	8.7	.2	.0	4.4
11	.0	.0	.0	15.4	.0	.0	1.0	.0	.0	.0	.0	.0
12	.0	.0	.0	27.0	.5	.0	1.0	39.3	4.4	4.7	.0	.0
13	.0	.0	.0	22.4	5.0	.0	25.8	8.9	.0	.6	.0	.0
14	.0	.0	.0	61.8	15.9	8.8	.3	4.2	1.5	1.6	.0	.0
15	.0	.0	.0	1.8	3.2	.0	13.6	6.2	5.0	6.1	.0	.0
16	.0	.1	.0	14.5	.0	9.3	3.9	.0	.0	88.1	.0	.0
17	.0	.0	.0	T	.4	4.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0
18	.0	.0	.0	14.8	12.3	16.6	.0	28.9	19.1	.0	.0	.0
19	.0	.0	.0	T	10.9	1.0	1.7	.2	29.8	3.8	.0	.0
20	.0	.0	.0	2.5	.3	25.2	19.1	.0	.3	.0	.0	.0
21	.0	.0	.0	T	65.8	41.7	1.2	.0	4.9	6.7	.0	.0
22	.0	.0	.0	14.6	14.4	17.7	2.0	3.9	T	T	.0	.0
23	.0	.0	.0	19.2	2.5	.0	3.2	2.6	.0	51.4	.0	.0
24	.0	.0	34.5	.0	.0	17.4	.5	.4	16.1	2.8	.0	.0
25	.0	T	.0	2.1	.7	.0	1.0	13.0	.0	12.2	.0	.0
26	.0	.0	.0	.0	3.6	6.3	.0	4.2	15.5	3.5	T	.0

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
27	.0	.0	.0	T	.4	4.5	.0	2.5	2.8	36.9	.0	.0
28	.0	.0	.0	.0	.0	.7	.0	2.6	34.1	21.2	.0	.0
29	.0	39.9	9.2	.0	.0	.2	18.5	36.1	10.4	11.1	T	.0
30	.0		.0	10.9	T	.0	13.2	.1	T	25.8	.0	.0
31	.0		.0		53.3		35.4	12.8		.0		.0
N	31	29	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
TOTAL	.0	40.0	43.9	209.3	257.3	263.0	261.0	226.0	214.6	358.8	T	4.4
R-DAY	0	2	3	14	20	21	23	22	19	21	0	1
MAX.	.0	39.9	34.5	61.8	65.8	52.2	55.3	39.3	34.1	88.1	.0	4.4

ANNUAL RAINFALL = 1878.3 MM. TOTAL NO. OF DAYS WITH RAINFALL = 146

DAILY MAXIMUM RAINFALL = 88.1 MM. ON 16 OCT

REMARKS : DAILY VALUES ARE ACCUMULATED RAINFALL BETWEEN 07.00-07.00 HOURS

R-DAY IS NO. OF DAYS WITH RAINFALL GREATER THAN OR EQUAL TO 0.1 MM.

"T" IS TRACE RAINFALL, RAINFALL AMOUNT LESS THAN 0.1 MM.

Data Processing Sub-division

Climatology Division

Meteorological Department

28-Mar-2001

สถาบันวิจัยดาราศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 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



DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
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	76	70	77	81	77	72	75	78	80	72	59



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## Daily Mean Relative Humidity (%)

STATION : 455201

BANGKOK METROPOLIS

YEAR : 2000

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
1	62	54	78	73	74	77	73	74	84	82	62	68
2	62	54	70	76	71	72	82	73	80	78	54	66
3	60	55	65	76	72	84	83	79	85	76	57	63
4	60	55	74	75	79	89	80	72	83	80	60	62
5	63	55	74	75	79	84	80	71	87	81	60	63
6	74	54	76	76	77	79	86	70	79	83	66	60
7	75	55	76	72	71	74	81	72	75	81	66	62
8	78	54	76	70	69	75	71	80	68	86	65	62
9	78	56	73	74	66	77	74	84	69	75	65	64
10	76	64	75	80	66	71	73	75	66	76	57	67
11	78	74	72	80	66	70	75	73	69	81	62	71
12	75	73	55	81	71	63	82	69	75	76	65	66
13	78	76	52	80	74	70	78	73	70	81	62	62
14	78	75	57	92	82	72	79	75	71	82	61	65
15	77	79	66	90	82	67	76	71	80	87	63	63
16	76	75	56	84	72	79	79	65	68	84	58	65
17	72	75	58	83	75	83	76	69	60	82	62	65
18	76	77	66	81	79	84	75	73	75	73	66	64
19	74	75	70	78	80	82	73	77	86	78	69	62
20	62	76	72	83	77	79	82	69	82	75	67	61
21	58	76	67	75	83	80	80	71	81	77	62	62
22	59	74	70	82	85	80	75	73	80	81	61	61
23	60	75	72	86	83	83	74	82	77	80	64	57
24	54	75	84	74	79	82	72	87	80	79	63	56
25	60	70	68	77	74	81	71	79	80	80	66	56

DATE	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
26	59	74	64	75	72	76	65	77	75	80	80	59
27	54	60	64	75	76	89	66	77	78	78	74	61
28	56	58	66	76	71	81	66	73	88	86	67	63
29	56	74	82	74	68	75	69	83	88	85	67	60
30	58		76	74	74	74	75	80	80	86	66	63
31	56		75		82		71	77		83		61
MEAN	67	67	69	78	75	78	76	75	77	80	64	63



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว รพีพัฒน์ เกริกไกว้วล เกิดเมื่อวันที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2517 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2539 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตรสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2541



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย