

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถานการณ์ฝุ่นละอองในอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง



ปัทมา สุระสินธุ์นันต์  
พลนิกร เจียวลงยา  
สุนันทา บัวกลิ่นหอม

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 37639  
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Situation of Total Suspended Particulate Matter in Ambient  
Air around King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang



Ms. PATTAMA SURASINANANT

Mr. PONNIGONE KIEWLONGYA

Ms. SUNANTA BOUKLUNHOM

A Special Project Submitted in Partial Fulfilment of the Requirement of the  
Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ สถานการณ์ผู้ลงทะเบียนในอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหารลาดกระบัง

โดย นางสาวปัทมา สุระสินธุ์อนันต์  
นายพลนิกร เขียวลงยา  
นางสาวสุนันทา บัวกลิ่นหอม

ภาควิชา เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
นับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ผศ.ดร.สมศักดิ์ วรมงคลชัย

หัวหน้าภาค

คณะกรรมการ โครงการพิเศษ

ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

ประธานกรรมการ

อ.กตินสุคนธ์ สุวรรณรัตน์

กรรมการ

อ.กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

กรรมการ

ลิสสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ : สถานการณ์ฝุ่นละอองในอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นักศึกษา : นางสาวปัทมา สุระสินธุ์นันต์  
นายพลนิกร เขียวลงยา  
นางสาวสุนันทา บัวกลิ่นหอม

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์รองแก้ว ทิพย์ศักดิ์

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2542

### บทคัดย่อ

ในการศึกษาฝุ่นละอองในอากาศได้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น 3 วิธี คือ ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน (TSP) เก็บโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก พร้อมหลังคายอดแหลมแยกขนาดฝุ่น ขนาดน้อยกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) เก็บโดยแยกขนาดแบบการตกกระทบโดยเครื่องแอนเดอร์สัน ในขณะที่ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน ที่บุคคลหายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนปลายได้ ( $PM_5$ ) แยกขนาดโดยใช้โคลน และเก็บด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล สถานที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่บริเวณคณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเก็บ 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน ช่วงที่ 2 ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม และช่วงที่ 3 ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม พบว่าปริมาณ TSP เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ทั้ง 3 ช่วง เป็น 71, 118 และ 144  $\mu g/m^3$  ตามลำดับ ซึ่งยังต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดได้ ( 330  $\mu g/m^3$  ) ส่วนปริมาณ  $PM_{10}$  เฉลี่ย 24 ชั่วโมงทั้ง 3 ช่วง เป็น 44, 54 และ 68  $\mu g/m^3$  ตามลำดับ ยังต่ำกว่ามาตรฐาน (120  $\mu g/m^3$  ) ปริมาณ  $PM_5$  เฉลี่ย 8 ชั่วโมง ทั้ง 3 ช่วงเป็น 0.0013, 0.0034 และ 0.0015  $\mu g/m^3$  ตามลำดับ นอกจากนี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 3 ชนิด คือ แคดเมียม, ตะกั่ว และโครเมียม ในฝุ่นพบว่าปริมาณน้อยมาก นอกจากนี้ได้ทำการศึกษารูปร่างของฝุ่นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเฟส-คอนทราสต์ พบว่าส่วนมากมีลักษณะอสังฐาน แต่ไม่พบลักษณะเป็นแบบเส้นใยหรือแบบเข็ม

Special Project Title	A Situation of Total Suspended Particulate in Ambient Air around King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang
Name	1. Ms. PATTAMA SURASINANANT 2. Mr. PONNIGONE KIEWLONGYA 3. Ms. SUNANTA BOUKLUNHOM
Special Project Adviser	KRONGKRAW TIPPAYASAK
Department	Chemistry
Academic Year	1999

### ABSTRACT

The 3 sampling suspended particulate matter methods in ambient air were studied . Total suspended particulate matter ( TSP, diameter less than  $100 \mu$  ) was collected by high volume air sampler with peak roof inlet. Particulate matter which diameter less than  $10 \mu$ ,  $PM_{10}$  was sized by cascade impactor and was collected by the Anderson sampler. Respirable dust,  $PM_5$  , was sized by sedimentation collector, cyclone, and was pumped by personal air sampler. Sampling site and collection were selected at the Faculty of Science, KMITL in 3 duration, between August – September, November- December and February – March. The average 24-hour's concentration of TSP each of duration was 71, 118 and  $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively. The result showed that TSP quantities was less than the National Ambient Air Standard ( $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). The average 24-hour's concentrations of  $PM_{10}$  each of duration was 44, 54 and  $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively and less than ambient standard ( $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). The average 8-hour's concentrations of  $PM_5$  each of duration were 0.0013, 0.0034 and  $0.0015 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectively. Heavy metals, Cadmium (Cd), lead ( Pb ) and Chromium (Cr ), in TSP and  $PM_{10}$  were analyzed. The mean values of heavy metal were less significantly than the ambient air standard. Furthermore, particulate matter shape was examined by phase – contrast microscope. Amorphous solid shape of particles was showed, The crystal, fibre or needle shape-liked was not observed.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากคณาจารย์และบุคคลหลายฝ่ายที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อความสมบูรณ์ของโครงการนี้ ทางผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์ดังรายนามต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมโครงการพิเศษ ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาเป็นอย่างดียิ่งในการทำโครงการพิเศษฉบับนี้มาตลอด

ขอขอบพระคุณ รศ.อรุณี คงศักดิ์ไพศาล และผศ.ดร.นิพนธ์ วงศ์วิเศษศิริกุล ที่ได้ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในด้านเทคนิคการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์กนก สุขสมสังข์ ที่ได้ให้ความรู้ และคำปรึกษาเกี่ยวกับหลักการใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์นิภา ลีวารุจิ อาจารย์ประจำภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุตุนิมวิทยา

ขอขอบคุณ คุณสันติ ชัมดิน นักอุตุนิมวิทยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลทางด้านอุตุนิมวิทยา

ขอขอบคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ คุณสุภัทร บานเย็น และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

ขอขอบคุณ พี่ชัยกฤษณ์ ธีญพิทยากุล ที่ได้ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่เคารพรักยิ่ง ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนต่อผู้วิจัยตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ คุณพัตรยศ สมวงษ์ และเพื่อนๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยอำนวยความสะดวก และช่วยเหลือในการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ ตลอดจนเป็นกำลังใจให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

นางสาวปัทมา สุระสินธุ์นันต์

นายพลนิกร เขียวลงยา

นางสาวสุนันทา บัวกลิ่นหอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาใด ๆ ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาไทย	ก
บทคัดย่อปัญหาพิเศษภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ผู้่นละออง	4
2.2 หลักการทำงานของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก	13
2.3 ทฤษฎีการกรอง	21
2.4 เกณฑ์ในการเลือกชนิดของแผ่นกรอง	22
2.5 เกณฑ์ในการเลือกสถานที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก	26
2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บตัวอย่าง	26
2.7 สิ่งรบกวน	28
2.8 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ ชนิดเฟส – คอนทราสต์	29
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	31
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	31
3.2 สารเคมี	31
3.3 วิธีการทดลอง	32
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	39
4.1 แผนภูมิผล	39
4.2 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (TSP) และการ	42

## วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

4.3 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก	45
4.4 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน ที่บุคคลซึ่งทำงานภายนอกอาคารมีโอกาสได้รับ (Respirable Dust)	47
4.5 ผลการตรวจลักษณะรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเฟสคอนทราสต์	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	52
สรุปผลการวิจัย	52
ข้อเสนอแนะ	57
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก แสดงวิธีการใช้เครื่องจุลทรรศน์แบบเฟสคอนทราสต์	59
ภาคผนวก ข การเปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก	61
ภาคผนวก ค การเปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล	63
ภาคผนวก ง การตั้งเครื่องไมโครเวฟ	64
ภาคผนวก จ ผลการวิเคราะห์หาโลหะหนัก	65
ภาคผนวก ฉ การตั้งโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์โลหะแคดเมียม โครเมียม และตะกั่วโดยใช้กราฟไฟซ์	72
ภาคผนวก ช แสดงผลการวิเคราะห์ทางสถิติ แบบ t-test	74
ภาคผนวก ซ แสดงมาตรฐานฝุ่นละออง TSP, $PM_{10}$ , $PM_5$ และโลหะหนัก	76
ภาคผนวก ฌ การแปลงข้อมูลลมทางอุตุนิยมวิทยาและทิศทาง ความเร็วลม	78
ภาคผนวก ฉ ตารางแสดงค่าวิกฤตของการแจกแจงแบบที	83
บรรณานุกรม	85

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคกับความเร็ว ปลายในการตกของอนุภาค	14
ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณฝุ่นขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน และปริมาณโลหะหนัก	42
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณฝุ่นขนาดน้อยกว่า 10 ไมครอน และปริมาณโลหะหนัก	45
ตารางที่ 4.3 แสดงปริมาณฝุ่นขนาดน้อยกว่า 5 ไมครอน	47
ตารางที่ ง.1 โปรแกรมไมโครเวฟ	63
ตารางที่ จ.1 แสดงปริมาณฝุ่นละอองและปริมาณโลหะหนักใน TSP	68
ตารางที่ จ.2 แสดงปริมาณฝุ่นละอองและปริมาณโลหะหนักใน PM <sub>10</sub>	69
ตารางที่ จ.3 แสดงปริมาณฝุ่นละอองใน PM <sub>2.5</sub>	70
ตารางที่ ช.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมุติฐาน	74
ตารางที่ ฉ.1 ข้อมูลลมช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน	80
ตารางที่ ฉ.2 ข้อมูลลมช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม	81
ตารางที่ ฉ.3 ข้อมูลลมช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม	82
ตารางที่ ญ.1 ค่าวิกฤตของการแจกแจงแบบที	84

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2-1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นของฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในอากาศทั่วไปในกรุงเทพมหานคร	12
รูปที่ 2-2 แสดงภายในหลังคาคัดแยกขนาดอนุภาคชนิดหัวแหลม	16
รูปที่ 2-3 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมากชนิดหัวแหลม	16
รูปที่ 2-4 แสดงช่องทางเข้าของอากาศภายในหัวคัตแยกขนาดอนุภาคไม่เกิน 10 ไมครอน	16
รูปที่ 2-5 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมากชนิดคัตแยกขนาดน้อยกว่า 10 ไมครอน	18
รูปที่ 2-6 แสดงภายในหลังคาคัดแยกขนาดอนุภาคน้อยกว่า 10 ไมครอน	18
รูปที่ 2-7 แสดงลักษณะภายในไซโคลนที่มีการไหลวนแบบ	19
รูปที่ 2-8 ตัวไซโคลน (ซ้าย) และตัวปรับเทียบ (ขวา) ของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล	20
รูปที่ 2-9 แสดงเกณฑ์ในการเลือกสถานที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ	27
รูปที่ 2-10 หลักการทำงานของกล้องเฟสคอนทราสต์	30
รูปที่ 3-1 การต่ออุปกรณ์เพื่อปรับเทียบอัตราการดูดอากาศ	33
รูปที่ 3-2 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล	34
รูปที่ 3-3 การตัดกระดาษกรองด้วยที่ตัดพีชชา	36
รูปที่ 4-1 แผนภูมิลมช่วงฤดูฝน ตั้งแต่วันที่ 25 ส.ค. 42 ถึง 8 ก.ย.	39
รูปที่ 4-2 แผนภูมิลมช่วงฤดูหนาว ตั้งแต่วันที่ 25 พ.ย. 42 ถึง 8 ธ.ค. 42	40
รูปที่ 4-3 แผนภูมิลมช่วงฤดูร้อน ตั้งแต่วันที่ 17 ก.พ. 43 ถึง 1 มี.ค. 43	41
รูปที่ 4-4 แสดงปริมาณฝุ่นละออง TSP และ PM <sub>10</sub> ในแต่ละช่วงที่เก็บตัวอย่าง	43
รูปที่ 4-5 แสดงปริมาณแคะเมียม ตะกั่ว และโครเมียม ในแต่ละช่วงที่เก็บตัวอย่าง	44
รูปที่ 4-6 แสดงปริมาณแคะเมียม ตะกั่ว และโครเมียม ในแต่ละช่วงที่เก็บตัวอย่าง	46
รูปที่ 4-7 แสดงปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน	49
รูปที่ 4-8 แสดงรูปร่างของเส้นใยกระดาษกรองใยแก้ว ก่อนเก็บตัวอย่างฝุ่นกำลังขยาย 100 เท่า	50
รูปที่ 4-9 แสดงรูปร่างของเส้นใยกระดาษกรองใยแก้ว ก่อนเก็บตัวอย่างที่กำลังขยาย 200 เท่า	50

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4 – 10	แสดงรูปร่างของอนุภาคฝุ่น TSP บนกระดาษกรองใยแก้ว หลังเก็บตัวอย่างฝุ่นที่กำลังขยาย 100 เท่า	50
รูปที่ 4 – 11	แสดงรูปร่างของอนุภาคฝุ่น PM10 บนกระดาษกรองใยแก้ว หลังเก็บตัวอย่างฝุ่นที่กำลังขยาย 100 เท่า	50
รูปที่ 4 – 12	แสดงรูปร่างของอนุภาคฝุ่น TSP บนกระดาษกรองใยแก้ว หลังเก็บตัวอย่างฝุ่นที่กำลังขยาย 200 เท่า	51
รูปที่ 4 – 13	แสดงรูปร่างของอนุภาคฝุ่น PM10 บนกระดาษกรองใยแก้ว หลังเก็บตัวอย่างฝุ่นที่กำลังขยาย 200 เท่า	51
รูปที่ 4 – 14	แสดงรูปร่างของกระดาษกรอง Cellulose ก่อนเก็บตัวอย่างฝุ่นที่กำลังขยาย 100 เท่า	51
รูปที่ 4 – 15	แสดงรูปร่างของอนุภาคฝุ่นขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน บนกระดาษกรอง Cellulose ที่กำลังขยาย 200 เท่า	51
รูปที่ ข – 1	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐาน เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก	62
รูปที่ ข – 2	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐาน เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก	62
รูปที่ ข – 3	แสดงสถานที่จริงในการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก	62
รูปที่ ค – 1	แสดงการติดเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดติดตัวบุคคลที่ตัวบุคคล	63

## สัญลักษณ์และคำย่อ

ตัวย่อ	ความหมาย
มาตรฐาน	ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน ดูจากกล้องเฟสคอนทราสต์
ppb	part per billion
km/hr	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
$\mu\text{g}/\text{m}$	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
holder	ตลับใส่กระดาษกรอง
High Volume Sample	เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก
Personal Sample Pumps	เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดตัวบุคคล
$^{\circ}\text{K}$	องศาเคลวิน
$\mu\text{m}$	ไมครอน, ไมโครเมตร
TSP	Total Suspended Particulate, ฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 100 ไมครอน
$\text{PM}_{10}$	Particulate Matter diameter less than 10 $\mu$ ฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 10 ไมครอน
$\text{PM}_5$	Particulate Matter diameter less than 5 $\mu$ ฝุ่นละอองที่มีขนาดอนุภาคไม่เกิน 5 ไมครอน เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนในได้
Cr	โครเมียม
Cd	แคดเมียม
Pb	ตะกั่ว
$\text{g}/\text{cm}^3$	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการวิจัย

ปัจจุบัน ฝุ่นละอองเป็นมลพิษหลักในกรุงเทพมหานคร และชุมชนขนาดใหญ่ โดยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2531 เป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน กรุงเทพมหานครมีปริมาณฝุ่นละอองสูงเกินมาตรฐาน ซึ่งอาจเกิดขึ้นจาก การจราจรภายในเมือง การก่อสร้าง การรื้อถอนอาคารบ้านเรือน และจากอุตสาหกรรม ฝุ่นละอองที่อยู่ในบรรยากาศ มีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน จนถึงขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน แต่ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานนั้นมักเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก เช่น มีขนาดน้อยกว่า 10 ไมครอน เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ หากมีแรงกระทำภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่นการไหลเวียนของอากาศ หรือกระแสลม จะทำให้ลอยอยู่ในอากาศนานขึ้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ตั้งอยู่บนถนน ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร มีเนื้อที่ประมาณ 1,000 ไร่ บริเวณโดยรอบสถาบันมีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นเขตที่พักอาศัย รองลงไปเป็นเขตอุตสาหกรรม มีพื้นที่เกษตรกรรมบ้าง และนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของสถาบันฯ ห่างจากสถาบันประมาณ 3 กิโลเมตรภายในนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ประกอบด้วยอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ และชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์เป็นอุตสาหกรรมหลัก รองลงมาคืออุตสาหกรรมผลิตและประกอบรถยนต์ นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก บริเวณใกล้เคียงกับสถาบันยังมีสถานประกอบการขนาดเล็ก เช่น อู่ซ่อมต่าง ๆ ปะปนอยู่กับกิจกรรมพาณิชยกรรม นอกจากนี้บริเวณภายในสถาบันฯ ยังมีการก่อสร้างอาคารเรียนและอาคารสำนักงานต่าง ๆ ที่ยังไม่แล้วเสร็จ และยังมีเส้นทางคมนาคมขนส่งทั้งรถยนต์และรถไฟผ่านบริเวณสถาบันฯ ซึ่งพบว่าชนิดรถที่ผ่านบริเวณสถาบันส่วนใหญ่เป็นรถที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ จากสภาพดังกล่าวทั้งหมดนี้กิจกรรมที่เป็นสาเหตุให้เกิดมลสารฟุ้งกระจายในบรรยากาศได้ เมื่อร่างกายได้รับฝุ่นที่ปล่อยออกมา นี้ หากเป็นฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ระบบทางเดินหายใจส่วนต้นของร่างกายสามารถที่จะกรองและขับออกจากร่างกายได้ แต่หากเป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็ก โดยเฉพาะเล็กกว่า 10 ไมครอน เมื่อเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจจะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนในได้ ซึ่งจะเกาะตัวหรือตกตัวได้ในส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อของปอด ซึ่งหากได้รับปริมาณมาก ๆ หรือในช่วงระยะเวลาานาน ๆ จะสามารถสะสมในเนื้อเยื่อปอด เกิดเป็นพังศืด หรือแผลขึ้นได้ และทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หลอดลมอักเสบ มีอาการหอบหืด ภูงลมโป่งพอง มีโอกาสเกิดโรคของระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากการติดเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มขึ้นได้ซึ่งจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่มีอยู่ในฝุ่นด้วย เช่น ซัลเฟต, ไฮโดรคาร์บอน และโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในฝุ่น ได้แก่ ซิลิกา (Si), แคดเมียม (Cd), ตะกั่ว (Pb), โครเมียม (Cr), นิกเกิล (Ni) เป็นต้น ซึ่งก็จะทำให้เกิดโรคแตกต่างกันไป

ปริมาณฝุ่นละอองที่สะสมเพิ่มขึ้นในอากาศ บนทางเท้า บนถนนและในอาคาร เป็นสิ่งที่น่ากลัวเนื่องจากไม่สามารถมองเห็นได้ และสามารถรับเข้าสู่ร่างกายได้ตลอดเวลา ดังนั้น การวิจัยเพื่อตรวจสอบ วัดปริมาณ ตรวจหาองค์ประกอบ และพิจารณาลักษณะของรูปร่างจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะบอกระดับมลพิษที่เกิดขึ้น

การวิจัยนี้เป็นการทำการตรวจวัดปริมาณฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน และฝุ่นที่ได้รับขณะทำงานในชั่วโมงการทำงาน (respirable dust) รวมทั้งศึกษาพิจารณารูปร่างของฝุ่นละออง และตรวจวัดปริมาณโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่คาดว่าจะเจือปนอยู่ในบรรยากาศบริเวณสถาบัน เพื่อใช้เป็นดัชนีบอกถึงระดับมลพิษที่เกิดขึ้น ตรวจสอบระดับความปลอดภัยของบุคลากรภายในสถาบันและประชาชนที่อาศัยอยู่ในบริเวณโดยรอบสถาบัน รวมทั้งใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานถึงสภาพอากาศของสถาบันซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนของสภาพอากาศของกรุงเทพมหานครชั้นนอก

## 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 หาความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (Total Suspended Particulate, TSP), ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน (Respirable Dust)

1.2.2 หาปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละออง

1.2.3 ตรวจสอบลักษณะรูปร่างของฝุ่นละอองที่ติดบนกระดาษกรอง

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

1.3.1 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ บริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Air Sampler) เก็บตัวอย่างบริเวณคณะวิทยาศาสตร์

1.3.2 การหาปริมาณฝุ่นรวมที่มีขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรมาก และฝุ่นที่มนุษย์มีโอกาสดูดซับเมื่อทำงานภายนอกอาคาร โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล บริเวณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.3.3 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ จะเก็บ 3 ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง โดยในช่วงที่ 1 เก็บช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน ช่วงที่ 2 เก็บช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม และช่วงที่ 3 เก็บช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม

1.3.4 การหาปริมาณแคะเมียม ตะกั่ว และโครเมียมในฝุ่นละออง โดยทำการสกัดด้วยเครื่องไมโครเวฟ และตรวจวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตเมตรี

1.3.5 ทำการตรวจดูลักษณะรูปร่างของฝุ่นละอองบนกระดาษกรอง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเฟสคอนทราสต์

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ตรวจสอบระดับของมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อที่จะสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้ถึงอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของบุคลากรของสถาบัน และประชาชนที่อาศัยอยู่บริเวณรอบ ๆ สถาบัน

1.4.2 ใช้ข้อมูลที่ได้จากการวิจัยเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดแนวทางในการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศ

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 สืบค้นข้อมูลเบื้องต้น

1.5.2 วางแผนการเก็บตัวอย่าง โดยพิจารณาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

1.5.3 ตรวจวัดปริมาณฝุ่น

1.5.4 ศึกษาคุณสมบัติเชิงกายภาพ และเชิงเคมีของฝุ่น

1.5.5 วิเคราะห์ข้อมูลและเขียนรายงาน

## 1.6 ระยะเวลาการทำงานวิจัย

การดำเนินงาน	เดือน											
	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	■	■	■									
2		■	■	■								
3				■	■	■	■	■	■	■	■	
4				■	■	■	■	■	■	■	■	
5										■	■	■

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 3 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ฝุ่นละออง

“ฝุ่นละออง” หมายถึง อนุภาคใด ๆ ก็ตามไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะของแข็ง ของเหลวที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ ซึ่งรวมทั้งควันดำ ควันขาว ฝุ่นหิน ดิน ทราย และอนุภาคของเหลวต่าง ๆ

##### 2.1.1 แหล่งกำเนิดฝุ่นในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล

ฝุ่นในอากาศในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล เกิดมาจากแหล่งกำเนิดหลัก ๆ เรียงตามลำดับความสำคัญ 6 ประเภทด้วยกัน คือ ยานพาหนะทางบก การก่อสร้างประเภทต่าง ๆ การบรรทุกและขนส่งวัสดุก่อสร้าง โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และสถานประกอบการต่าง ๆ เมรุเผาศพ และการเผาวัสดุต่าง ๆ ในที่แจ้ง

##### 1.) แหล่งกำเนิดฝุ่นประเภทยานพาหนะทางบก

เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นที่สำคัญ คือ รถที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งระบายฝุ่นออกสู่อากาศในรูปของควันดำ ที่หลงเหลือจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันดีเซลในเครื่องยนต์ และรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ ซึ่งระบายฝุ่นออกสู่อากาศในรูปของควันขาว ซึ่งเป็นละอองไอของน้ำมันหล่อลื่น ถึงแม้ว่าในขณะนี้จะมีการดำเนินมาตรการต่าง ๆ หลายมาตรการ เพื่อลดการระบายฝุ่นจากรถทั้ง 2 ประเภทนี้ก็ตาม เช่น การลดอุณหภูมิการถ่วง และการลดปริมาณสารกำมะถันของน้ำมันดีเซล การบังคับใช้น้ำมันเครื่องชนิดลดควันขาวสำหรับรถจักรยานยนต์ 2 จังหวะ การกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์รถใหม่ประเภทต่าง ๆ ที่ผลิตออกจากผู้ผลิต โดยมีการจำกัดปริมาณฝุ่นที่ให้มีการระบายออกจากรถได้ การตรวจสภาพรถด้านการระบายมลพิษ และการตรวจสอบ ตรวจนับรถที่ใช้งานบนถนนที่มีการระบายควันดำเกินมาตรฐาน แต่ก็ยังพบว่ามียอดรถทั้ง 2 ประเภท เป็นจำนวนมากที่มีการระบายฝุ่นออกสู่อากาศในระหว่างการใช้งานอยู่บนถนน โดยเฉพาะรถโดยสารขนาดใหญ่ประเภทต่าง ๆ ทั้งแบบประจำทางและไม่ประจำทาง และรถจักรยานยนต์ ทั้งนี้เนื่องจากมาตรการบางอย่างที่ดำเนินการอยู่ยังไม่ได้ผลเท่าที่ควร เช่น การตรวจสภาพรถด้านการระบายมลพิษ การตรวจสอบ ตรวจนับรถที่มีการระบายมลพิษเกิน มาตรฐานที่กำหนด เนื่องจากทำมาจากน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว และมาตรฐานในปัจจุบันของน้ำมันหล่อลื่นชนิดลดควันขาวยังมีคุณภาพไม่สูงพอ นอกจากนี้แล้ว ผู้ใช้รถยังไม่เห็นความสำคัญของการบำรุงรักษารถเพื่อลดการระบายมลพิษ มีการบรรทุกเกินน้ำหนัก และผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ยังมีการเติมน้ำมันหล่อลื่นผสมไปกับน้ำมันเบนซินในถังน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.) แหล่งกำเนิดฝุ่นประเภทการก่อสร้างประเภทต่าง ๆ

เช่น การก่อสร้างอาคาร ถนน ระบบขนส่งมวลชน และระบบสาธารณูปโภคต่าง ๆ มีการฟุ้งกระจายของฝุ่นดินและทราย ไปในอากาศจากกิจกรรมต่าง ๆ ของการก่อสร้างและกระแสน้ำที่พัดผ่านบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง เช่น กองวัสดุก่อสร้าง การเก็บกวาดทำความสะอาดอาคารในระหว่างการก่อสร้าง และการแล่นไปมาของรถประเภทต่าง ๆ ในพื้นที่ก่อสร้างหรือถนนที่อยู่ในระหว่างการก่อสร้าง ซึ่งมีพื้นผิวทางเป็นดิน เป็นดิน โดยการก่อสร้างต่าง ๆ ส่วนใหญ่ในปัจจุบันนี้ยังไม่ได้มีการตระหนักและให้ความสำคัญต่อปัญหาฝุ่นที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการก่อสร้าง โดยเห็นว่าเป็นสิ่งปกติที่เกิดขึ้นควบคู่กับการก่อสร้าง จึงมักไม่มีการดำเนินการเพื่อควบคุม และลดการฟุ้งกระจายของฝุ่น ข้อกำหนดตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 และ พ.ศ. 2535 ส่วนใหญ่ก็เน้นไปในการควบคุมด้านความปลอดภัย ไม่ได้ให้ความสำคัญในการควบคุมปัญหาฝุ่นแต่อย่างใด การควบคุมแก้ไขปัญหาฝุ่นจากการก่อสร้าง ส่วนใหญ่เป็นการดำเนินการตามพระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ. 2535 ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาที่ปลายเหตุ คือ เป็นการลงโทษภายหลังจากที่เกิดปัญหาขึ้นแล้ว โดยไม่มีการกำหนดแนวทางปฏิบัติและมาตรการที่ชัดเจนให้แก่ผู้ดำเนินโครงการก่อสร้างไปปฏิบัติ ในการควบคุมการเกิดฟุ้งกระจายของฝุ่น เพื่อป้องกันปัญหาไม่ให้เกิดขึ้นตั้งแต่แรก ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2539 กรุงเทพมหานครได้ทำการปรับปรุงระเบียบและกำหนดหลักเกณฑ์ในการก่อสร้างอาคารและสาธารณูปโภค โดยได้เพิ่มแนวทางและข้อกำหนดในการควบคุมฝุ่นที่เป็นรูปธรรมที่ชัดเจนขึ้น แต่ยังคงขาดในส่วนที่ใช้ในการควบคุมฝุ่นจากการก่อสร้างถนน ทางด่วนพิเศษ และระบบขนส่งมวลชน

## 3.) แหล่งกำเนิดฝุ่นประเภทกิจกรรมการบรรทุก และขนส่งวัสดุก่อสร้าง

ซึ่งเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างทุกประเภท โดยเฉพาะการบรรทุกและขนส่งดินและทราย ซึ่งมักจะไม่มีมีการปกคลุมส่วนบรรทุกให้มีมิดชิด หรือล้อมมีดินทรายเกาะติดอยู่ ทำให้ดินทรายที่บรรทุกมาหรือติดอยู่ตามล้อรถหล่นลงสู่ถนนตลอดทางที่วิ่งไป และถูกรถอื่น ๆ วิ่งทับไปมาจนมีขนาดเล็กลงไปเรื่อย ๆ และในที่สุดสามารถฟุ้งกระจายขึ้นไปในอากาศได้ เมื่อมีกระแสลมพัดผ่าน หรือถูกลมกระพือจากรถที่วิ่งไปมา

## 4.) แหล่งกำเนิดฝุ่นประเภทโรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า และสถาน

ประกอบการต่าง ๆ

มีการระบายฝุ่นจากการเผาเชื้อเพลิงให้ได้พลังงานมาใช้ ในกระบวนการผลิต และจากกระบวนการผลิตเองด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม โดยในขณะนี้แหล่งกำเนิดขนาดใหญ่ที่มีการระบายฝุ่นในปริมาณค่อนข้างมาก

### 5.) แหล่งกำเนิดฝุ่นประเภทเมรุธาเสศ

ในกรุงเทพมหานครมีจำนวนรวมทั้งหมด 211 เตา ใช้ฟืน หรือถ่านเป็นเชื้อเพลิง 143 เตา ใช้น้ำมันดีเซล 63 เตา และใช้ก๊าซ 5 เตา โดยส่วนมากเป็นเตาเผาแบบห้องเผาเดี่ยว ทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ และเกิดเขม่าควันขึ้น ภายในบริเวณเขตลาดกระบัง มีวัดทั้งหมด 13 วัด

### 6.) แหล่งกำเนิดฝุ่นประเภทการเผาวัสดุในที่แจ้ง

เช่น การเผาขยะ การเผาเศษวัสดุต่าง ๆ ที่หลงเหลือจากการเกษตรกรรม และการเผาหญ้า และวัชพืช เพื่อปรับปรุงพื้นที่สำหรับการเพาะปลูก เป็นต้น ยังคงมีกระจัดกระจายโดยทั่วไป ทำให้เกิดเขม่าจี้เถ้าเป็นจำนวนมาก และฟุ้งกระจายไปในอากาศลอยไปตามกระแสลมแผ่ปกคลุมเป็นพื้นที่กว้าง

## 2.1.2 ผลกระทบจากฝุ่น

### 1.) ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศมีทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่โดยฝุ่นละอองขนาดใหญ่จะทำให้เกิดความระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจส่วนบน ส่วนฝุ่นขนาดเล็ก  $PM_{10}$  ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จะสามารถเล็ดลอดผ่านเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมในปอดได้ เป็นผลให้เกิดโรคทางเดินหายใจและโรคปอดต่าง ๆ โดยก่อให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อของปอด ซึ่งหากได้รับในปริมาณมาก หรือในช่วงระยะเวลาานาน ๆ จะสามารถสะสมในเนื้อเยื่อปอด เกิดเป็นพังผืด หรือแผลขึ้นได้ และทำให้การทำงานของปอดเสื่อมประสิทธิภาพลง ทำให้หอบเหนื่อย อึดอัด หายใจลำบาก มีอาการหอบหืด ถุงลมโป่งพอง และมีโอกาสเกิดโรคของระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากติดเชื้อเพิ่มขึ้นได้ ความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย จะขึ้นกับองค์ประกอบที่มีอยู่ในฝุ่นด้วย ซึ่งสามารถประเมินและวิเคราะห์ได้จากแหล่งที่มาของฝุ่นได้

นายแพทย์ วิชัย เอกพลากร ได้ศึกษาสมรรถภาพการทำงานของปอดในตำรวจจราจรที่ทำงานในกรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2533 พบว่า ตำรวจจราจรมีสมรรถภาพการทำงานของปอดลดลงร้อยละ 9.5 และในปี พ.ศ. 2534 พบว่า ตำรวจจราจรมีสมรรถภาพการทำงานของปอดลดลงร้อยละ 23.3 ซึ่งเพิ่มมากขึ้นกว่าในปีที่ผ่านมา

แพทย์หญิง วนิตา ศศิวิมลกุล โรงพยาบาลตำรวจ (2535) ทำการศึกษาปัญหาสุขภาพ จากมลพิษทางอากาศในตำรวจจราจร ซึ่งทำการศึกษาจากตำรวจจราจรจำนวน 264 นาย โดยเลือกตัวอย่างแบบ cluster random sampling ในหน่วยต่าง ๆ ของตำรวจจราจรและทำการศึกษาแบบ census โดยตำรวจประวัติการทำงาน ประวัติการปฏิบัติงานจราจร บริเวณจุดปฏิบัติการทำงาน ชั่วโมงการทำงาน ประวัติการสัมผัสสารมลพิษ ประวัติการป่วย บริโภคนิสัย การตรวจร่างกายโดยละเอียดทุกระบบ สำหรับระบบทางเดินหายใจมีการตรวจหน้าที่การทำงานของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นชอบให้ใช้เอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปลอด การตรวจภาพรังสีทรวงอก พบว่าค่าตรวจจากรังสีที่มีอายุระหว่าง 30-39 ปี ส่วนใหญ่มีอายุการปฏิบัติงานระหว่าง 1-4 ปี มีอัตราการป่วยด้วยโรกระบบทางเดินหายใจเรื้อรังร้อยละ 20

สมาคมแพทย์อาชีวเวชศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย (2538) ได้ศึกษาประเมินผลกระทบจากมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพอนามัยประชาชนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่าผลกระทบด้านสุขภาพจากมลพิษทางอากาศต่อประชาชนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลจริงในกลุ่มของโรคปอดอักเสบจากฝุ่น โรคพิษตะกั่วเรื้อรัง โรคพิษคาร์บอนมอนอกไซด์และโรคหลอดเลือดอักเสบเรื้อรังจากฝุ่นและมลพิษอื่น โดยมีอัตราสุขภาพของโรคจากมลพิษทางอากาศในพื้นที่ที่ศึกษาสูงกว่าในพื้นที่เปรียบเทียบกับอียิปต์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยใช้เขตราชเทวี เป็นตัวอย่างกรุงเทพมหานครชั้นใน เขตราชบุรีบูรณะเป็นตัวอย่างพื้นที่ศึกษาของกรุงเทพมหานครชั้นกลาง เขตลาดกระบังเป็นตัวอย่างพื้นที่ศึกษาของกรุงเทพมหานครชั้นนอก อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ใช้เป็นตัวอย่างพื้นที่ศึกษาในเขตปริมณฑล และใช้อำเภอชุมแสง จังหวัดนครสวรรค์ เป็นพื้นที่เปรียบเทียบ ทำการตรวจวัดมลพิษ 4 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นรวม ขนาดน้อยกว่า 100 ไมครอน ฝุ่นขนาดเล็กน้อยกว่า 10 ไมครอน ตะกั่ว และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ พบว่ามีอัตราสุขภาพของโรคจากมลพิษทางอากาศในประชากรศึกษาทุกประเภทมลพิษที่ศึกษา ในอัตราร้อยละ 19 และเท่ากับอัตราร้อยละ 8 ในพื้นที่เปรียบเทียบ โดยอัตราสุขภาพสูงสุดเป็นอัตราสุขภาพของโรคปอดอักเสบจากฝุ่นที่ร้อยละ 19 และ 7 ในพื้นที่ศึกษาและพื้นที่เปรียบเทียบตามลำดับ ในพื้นที่ที่ศึกษาพบว่าโรคจากมลพิษทางอากาศที่ศึกษา มีอัตราสุขภาพสูงสุดในพื้นที่กรุงเทพมหานครชั้นใน รองลงไปคือกรุงเทพมหานครชั้นกลาง กรุงเทพมหานครชั้นนอก และปริมณฑลด้วยอัตราสุขภาพที่ 32, 21, 17 และ 16 ตามลำดับ เมื่อนำผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศของพื้นที่ที่ศึกษา และพื้นที่ที่เปรียบเทียบมาจำแนกพื้นที่ตามระดับของมลพิษพบว่า พื้นที่ที่มีอัตราสุขภาพสูงในหลายประเภทของมลพิษ จะมีอัตราการเกิดโรคจากมลพิษทางอากาศสูงเช่นกัน และมีอัตราสุขภาพดังกล่าวสูงกว่าพื้นที่ที่มีระดับมลพิษทางอากาศน้อยกว่า ผู้อาศัยอยู่ในพื้นที่ศึกษานาน จะมีอัตราสุขภาพของโรคจากมลพิษทางอากาศสูง

ในปี พ.ศ. 2538 กรมควบคุมมลพิษ ได้ทำการสำรวจเพื่อประเมินผลกระทบจากมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพอนามัยประชาชนในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ซึ่งพบว่ามีอัตราสุขภาพของโรคปอดอักเสบจากฝุ่นสูงถึงร้อยละ 19 นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพื้นที่ต่างๆ กันของกรุงเทพมหานครและปริมณฑลแล้ว พบว่าพื้นที่ชั้นในโดยใช้เขตราชเทวีเป็นตัวแทนพื้นที่ของกรุงเทพมหานครมีอัตราสุขภาพของโรคปอดอักเสบจากฝุ่นและก๊าซอื่น ๆ สูงที่สุด คือ ร้อยละ 27 และค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ ในพื้นที่ที่ห่างออกไปจากใจกลางกรุงเทพมหานคร คือ ร้อยละ 18 ในเขตพื้นที่ชั้นกลางโดยใช้เขตราชบุรีบูรณะเป็นตัวแทนพื้นที่ ร้อยละ 15 ในเขตพื้นที่ชั้นในโดยใช้เขตลาดกระบังเป็นตัวแทนพื้นที่ และร้อยละ 16 ในเขตปริมณฑลโดยใช้อำเภอบางพลีเป็นตัวแทนพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รศ. ชมภูศักดิ์ พูลเกษ และ ศ.นพ. เทพนม เมืองแมน ได้ทำการสำรวจภาวะการปนเปื้อนของเชื้อโรคในบรรยากาศ และยานพาหนะ การสู่มตัวอย่างรถยนต์จำนวน 60 คัน และเก็บตัวอย่างเชื้อโรคมามากกว่า 219 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณของเชื้อโรคที่สามารถติดต่อและแพร่เชื้อ ผลการวิเคราะห์พบว่า มีเชื้อแบคทีเรียจำนวน 20 ชนิด และเชื้อราจำนวน 18 ชนิดที่สามารถติดต่อถึงคนได้จากภาวะการปนเปื้อนเช่นนี้ แสดงให้เห็นว่าปริมาณฝุ่นละออง และความชื้นในบรรยากาศมีผลต่อการสะสมและปนเปื้อนของเชื้อโรค

### โรคพิษตะกั่วเรื้อรัง

สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข ร่วมกับ 6 หน่วยงานทำการศึกษาปัญหาตะกั่วในบรรยากาศกับสถานะสุขภาพของเด็กนักเรียน ในปี 2536 -2537 พบว่า เด็กนักเรียนในกรุงเทพมหานคร มีตะกั่วในเลือดตั้งแต่ 15.11 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร แต่ไม่พบปริมาณตะกั่วในเลือดของเด็กนักเรียนต่างจังหวัด ซึ่งเป็นกลุ่มเปรียบเทียบ นอกจากนี้ยังพบว่าระดับตะกั่วโดยเฉลี่ยของอากาศในโรงเรียนต่าง ๆ ของกรุงเทพมหานคร สูงกว่าระดับตะกั่วในอากาศของโรงเรียนต่างจังหวัด โดยพบปริมาณตะกั่วสูงสุดที่โรงเรียน วัดหัวลำโพง

อรพรรณ เมธาติถกุล และคณะ (2533) รายงานว่าในปี 2533 ดำรวจจากรายในกรุงเทพมหานคร มีอัตราป่วยด้วยโรคพิษตะกั่วเรื้อรังร้อยละ 8

แพทย์หญิง วนิดา ศศิวิมลกุล (2535) รายงานถึงระดับตะกั่วในเลือดของตำรวจจราจรพบว่าตำรวจจราจรมีระดับตะกั่วในเลือดสูงกว่า 20 ไมโครลิตรต่อเดซิลิตร ถึงร้อยละ 17 จากประชากรตำรวจจราจรกลาง จำนวน 264 นาย มีการกระจายของระดับตะกั่วในเลือดตั้งแต่ตรวจไม่พบ (สมาคมแพทย์อาชีวเวชศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย , 2535 )

### 2.) ผลกระทบต่อบรรยากาศทั่วไป

ฝุ่นละอองจะลดความสามารถในการมองเห็น ( Visibility ) เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศทั้งที่เป็นของแข็งและของเหลว จะสามารถดูดซับ และหักเหแสงได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นเสื่อมลง ทั้งนี้ขึ้นกับขนาด และความหนาแน่น รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองแต่ละประเภท

### 3.) ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศสามารถทำอันตรายต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น การสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ ความสกปรก เลอะเทอะของวัตถุ และถนนหนทาง เป็นต้น

ในปี พ.ศ. 2537 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยได้รายงานผลการศึกษาของโครงการ Atmospheric Corrosion-Organic Coatings ซึ่งเป็นการศึกษาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมในบรรยากาศที่มีผลกระทบต่อคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ได้แก่ โลหะเปื่อย โลหะเคลือบด้วยโลหะ เหล็กกล้าทาสี และพลาสติกเสริมแรงไฟเบอร์กลาส (FRB) โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบทั้งในเขตเมืองที่กรุงเทพมหานคร โดยศึกษาที่สถาบันวิจัยฯ เขตอุตสาหกรรมศึกษาที่ อำเภอพระประแดง เขตชายทะเลศึกษาที่อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ห่างจากชายฝั่งทะเล 50 เมตร และเขตชนบทนอกเมืองศึกษาที่มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ โดยพิจารณาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อการสึกกร่อน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ระยะเวลาของการรับแสงอาทิตย์ จำนวนของรังสีสัมพัทธ์ ระยะเวลาของฝนตก ปริมาณฝนตก ระยะเวลาการเป็ยก และปริมาณสารมลพิษ (ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, โซเดียมคลอไรด์, ไนโตรเจนไดออกไซด์, ฝุ่น)

### 2.1.2 สถานการณ์ฝุ่นละอองในบรรยากาศในช่วงปี พ.ศ. 2536 – 2540

รายงานสถานการณ์ฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไปประจำปี 2536 โดยกรมควบคุมมลพิษ ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศทั่วไปในกรุงเทพมหานคร บริเวณย่านที่อยู่อาศัยและย่านธุรกิจการค้าซึ่งไม่ใช่ด้านริมถนน โดยรวบรวมผลการตรวจวัดความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดอย่างต่อเนื่อง จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร 4 แห่ง ซึ่งได้จัดตั้งขึ้นในบริเวณที่มีปัญหาการจราจรและเป็นแหล่งพาณิชยกรรม คือ สถานีบริเวณราชภัฏบ้านสมเด็จ สถานเสาวภา สำนักงานโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม และที่ทำการไปรษณีย์โทรเลข ราษฎรบุรณะ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองเฉลี่ย 1 ปีอยู่ในช่วง 0.12 - 0.18 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินมาตรฐานทุกสถานี ( มาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ปี เท่ากับ 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ) เมื่อพิจารณาจากจำนวนครั้งที่ตรวจวัด พบค่าเกินมาตรฐานประมาณร้อยละ 5 - 7 ของจำนวนครั้งที่ตรวจวัด และบริเวณที่ตรวจวัดได้ค่าสูงสุด คือ บริเวณ สี่แยกบ้านแขก ซึ่งพบเกินมาตรฐานประมาณ 2 เท่า และเมื่อเทียบกับปี 2535 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.14 - 0.21 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรพบว่าลดต่ำลงเล็กน้อย นอกจากนี้กรมอนามัยยังได้ทำการตรวจวัดฝุ่นละอองจากสถานี 3 แห่ง คือ ที่ทำการไปรษณีย์โทรเลขลาดพร้าว ศูนย์อาชีวอนามัยสำโรง และกรมทะเบียนการค้า ถนนประดิพัทธ์ พบว่า ในพ.ศ. 2535 และพ.ศ.2536 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงอยู่ในช่วง 0.08 - 0.60 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 0.06 - 0.67 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นค่าความเข้มข้น 1 ปีแล้วอยู่ในช่วง 0.13 - 0.29 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 0.16 - 0.22 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ซึ่งเกินมาตรฐานทุกสถานีเช่นกัน สำหรับคุณภาพอากาศริมเส้นทางการจราจรในกรุงเทพมหานคร โดยเฉพาะบริเวณใจกลางเมืองที่มีปัญหาการจราจรหนาแน่นและเป็นแหล่งชุมชนที่ผู้อาศัยอยู่เป็นปริมาณมากได้แก่ ย่านหัวหมาก ประตูนํ้า เยาวราช สีลม สีพระยา และ บางอีขัน เป็นต้น พบว่าอยู่ในช่วง 0.09 - 1.53 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบค่าเกินมาตรฐานประมาณร้อยละ 53 ของจำนวนครั้งที่ทำการตรวจวัด โดยพบค่าใกล้เคียงกับปี 2535 ซึ่งเฉลี่ย 0.59 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทั้งนี้บริเวณที่มีปัญหามากได้แก่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

แก่ ย่านหัวหมาก สีลม ประตูน้ำ และ ลีแวกบ้านแขก ( สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม , 2536 )

รายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศ โดยกรมควบคุมมลพิษปี 2537 พบว่า ปริมาณฝุ่นละอองทั่วไปในบรรยากาศโดยพบค่าเฉลี่ย 1 ปีสูงสุดอยู่ระหว่าง 0.11 - 0.15 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินมาตรฐาน สำหรับบริเวณริมถนน ตรวจพบความเข้มข้นของฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด 1.13 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยสถานที่ที่มีปัญหาฝุ่นละอองจากการจราจรและการคมนาคมขนส่งมากที่สุดคือบริเวณ หัวหมาก รามคำแหง รองลงมาคือประตูน้ำ ถนนราชปรารภ ส่วนบริเวณที่อยู่อาศัยและที่อื่น ๆ ที่อยู่ห่างจากบริเวณถนนนั้นจะมีปัญหาฝุ่นละอองน้อยกว่า ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณริมถนนพบค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 10.0 - 314.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยพบค่าสูงสุดบริเวณวงเวียนโอเดียน(ร่างมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และค่าเฉลี่ย 1 ปีอยู่ในช่วง 65.80 - 73.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ร่างมาตรฐานเฉลี่ย 1 ปีเท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) กรมอนามัยได้ทำการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองใน 2 บริเวณคือ กรมทะเบียนการค้า ถนนประดิพัทธ์ และที่ทำการไปรษณีย์ลาดพร้าว ถนนลาดพร้าว ความเข้มข้นของฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงมีค่าสูงสุด 0.75 และ 0.78 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ย 1 ปีมีค่า 0.20 และ 0.17 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ ( สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม , 2537 )

ปี 2538-2539 กรมอนามัย ตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอน ณ สถานีตรวจวัดสำโรง จังหวัดสมุทรปราการ สถานีลาดพร้าว และสถานีประดิพัทธ์ กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นตัวแทนของย่านอุตสาหกรรม ย่านที่อยู่อาศัย และย่านการจราจรหนาแน่นตามลำดับ เทียบมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศประเทศไทยรายปี (100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) พบว่ามีค่าเกินมาตรฐานทุกสถานี เมื่อเทียบมาตรฐานตามพิสัยค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (330 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) โดยในปี 2538 และในปี 2539 สถานีสำโรง สมุทรปราการ เกินมาตรฐานร้อยละ 73 และ 43 ของตัวอย่าง สถานีลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร ร้อยละ 3 และ ร้อยละ 4 ของตัวอย่าง และสถานีประดิพัทธ์ กรุงเทพมหานครร้อยละ 6 และ 16 ของตัวอย่างตามลำดับ ใน พ.ศ. 2538 ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุดของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 100 ไมครอนเรียงจากน้อยไปมากคือ จังหวัดสมุทรปราการ (655 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ลาดพร้าว และประดิพัทธ์ (420 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับปี 2539 จังหวัดสมุทรปราการมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 47 - 732 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลาดพร้าว 48 - 724 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และประดิพัทธ์ 69 - 467 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในปี 2538 ทำการตรวจวัดที่สถานีโรงพยาบาลโรคทรวงอก จังหวัดนนทบุรี (459 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และสถานีประดิพัทธ์ กรุงเทพมหานคร (233 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) พบว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เกินมาตรฐานอยู่ร้อยละ 91 และ 16 ตามลำดับ และผลการตรวจวัดในปี 2539 ที่โรงพยาบาลโรคทรวงอก จังหวัดนนทบุรี พบค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 126 - 607 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินมาตรฐานร้อยละ 100 และที่สถานีประติบัติ ค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 50 - 383 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเกินมาตรฐานอยู่ร้อยละ 38 ในภาพรวมจะเห็นว่าในเขตปริมณฑล มีปริมาณฝุ่นละอองโดยเฉลี่ยสูงกว่าในเขตกรุงเทพมหานคร

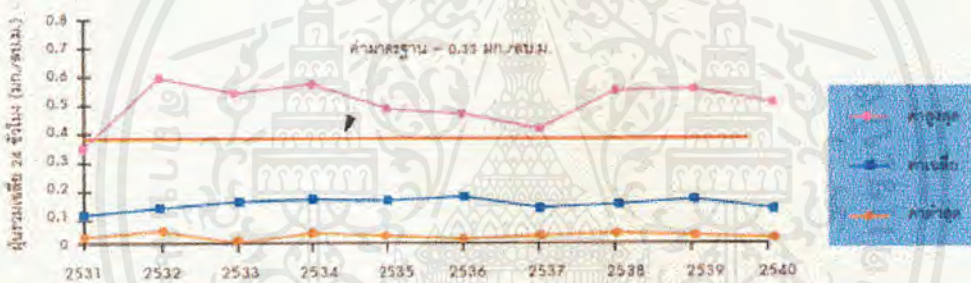
ในปีเดียวกัน กรมควบคุมมลพิษทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศริมถนนปี 2538 ในกรุงเทพมหานคร พบปริมาณฝุ่นละอองที่แขวนลอยทั้งหมดเฉลี่ย 24 ชั่วโมงอยู่บริเวณริมถนน พหลโยธิน หน้าไปรษณีย์โทรเลขสามเสน โดยมีค่าสูงถึง 2.18 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือมากกว่า 7 เท่าของค่ามาตรฐาน ส่วนในบริเวณที่อยู่อาศัย ฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด 0.55 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานเช่นกัน สำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กค่าเฉลี่ย 1 ปีมีค่าอยู่ในช่วง 61.02 - 96.69 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบสูงสุดที่กรมการขนส่งทางบก ถนนพหลโยธิน และพบค่าเฉลี่ย 1 ปีเกินมาตรฐาน ในต่างจังหวัดพบปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน สูงสุดต่ำกว่าค่ามาตรฐานได้แก่ บริเวณที่ทำการอำเภอเมือง จังหวัด สุราษฎร์ธานี บริเวณศูนย์วิจัยพืชไร่ อำเภอ เมืองจังหวัดระยอง และบริเวณ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ อำเภอรังสิต ซึ่งตรวจวัดค่าเฉลี่ยเท่ากับ 98.80 , 109.50, และ 115.30 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และตรวจพบปริมาณฝุ่นขนาดเล็กเกินค่ามาตรฐานปริมาณสูงสุดคือ บริเวณหน้าพระลาน อำเภอเมือง จังหวัดสระบุรี ตรวจพบค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 772.50 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม , 2538 - 2539 )

ปี พ.ศ.2540 พบว่าสถานการณ์ปัญหาฝุ่นละอองมีปริมาณลดน้อยลงเป็นผลสืบเนื่องมาจากการดำเนินมาตรการต่าง ๆ ในการลดปริมาณการระบายฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด ประกอบกับสภาวะเศรษฐกิจของประเทศที่ถดถอยทำให้แหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นลดลง เช่น กิจกรรมการก่อสร้างอาคาร ถนน สาธารณูปโภค รวมทั้งปริมาณยานพาหนะลดลง ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศทั่วไปในกรุงเทพมหานคร โดยกรมควบคุมมลพิษ ตรวจวัดปริมาณฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน จากการตรวจวัดค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง พบว่า มีปริมาณสูงสุด 0.51 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร บริเวณโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม บางขุนเทียน ซึ่งสูงเป็น 1.5 เท่าของค่ามาตรฐานมีเพียงร้อยละ 2 เท่านั้นลดลงจากปี 2539 เล็กน้อย สำหรับฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากการตรวจวัดพบว่าปริมาณสูงสุด 305 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงเป็น 2.5 เท่าของค่ามาตรฐานที่บริเวณโรงเรียนสิงหราชพิทยาคม บางขุนเทียนเมื่อพิจารณาภาพรวมของข้อมูลที่ตรวจวัดตลอดปี 2540 พบว่าจำนวนครั้งของการตรวจวัดได้เกินมาตรฐานประมาณร้อยละ 13 ซึ่งเปรียบเทียบกับปี 2539 ซึ่งมีประมาณร้อยละ 41 พบว่าลดลงร้อยละ 28 ฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอนในบริเวณริมถนนกรุงเทพมหานครพบว่ามีปริมาณลดลงจากปี 2539 โดยในปี 2539 มีปริมาณสูงสุด 2.42 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงเป็น 7.3 เท่าของมาตรฐาน และมีจำนวนครั้งการตรวจวัดได้เกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานร้อยละ 66 ส่วนในปี 2540 มีปริมาณสูงสุด 1.47 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่บริเวณถนนตากสิน สี่แยกถนนตก ซึ่งสูงเป็น 4.4 เท่าของค่ามาตรฐานแต่อย่างไรก็ตามจำนวนครั้งของการตรวจวัดไม่เกินมาตรฐาน มีถึงร้อยละ 70 ส่วนพื้นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณริมถนนในกรุงเทพมหานครพบปริมาณสูงสุด 387 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ริมถนนดินแดงบริเวณชุมชนเคหะดินแดง มีจำนวนครั้งการตรวจวัดเกินมาตรฐานร้อยละ 21 ลดลงจากปี 2539 ซึ่งมีร้อยละ 24 ( กรมควบคุมมลพิษ , 2540 )

จากผลการวัดที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่ากรุงเทพมหานครประสบปัญหาเรื่องฝุ่นในอากาศซึ่งเป็นปัญหาเรื้อรังมาตลอด โดยทุกปีที่ผ่านมาจะเห็นว่า กรุงเทพมหานครมีความเข้มข้นของฝุ่นรวมและฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน สูงเกินมาตรฐานของประเทศไทยทุกปี ในช่วงปี 2535 ถึงปี 2537 พบว่าระดับฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานคร มีแนวโน้มลดลงแต่กลับพบว่า มีระดับสูงขึ้นอีกในปี 2538 และลดลงเล็กน้อยในปี 2539 และ 2540 ดังรูป 2 - 1



รูปที่ 2 - 1 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของระดับความเข้มข้นของฝุ่นรวมขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในอากาศทั่วไปในกรุงเทพมหานคร

### 2.1.3 สถานการณ์ตะกั่วในบรรยากาศ ในช่วงปี พ.ศ. 2536 - 2540

ปี 2536 กรมควบคุมมลพิษ รายงานความเข้มข้นของตะกั่วที่ตรวจวัดความเข้มข้นตลอด 24 ชั่วโมง พบว่าปริมาณตะกั่วอยู่ในช่วง 0.18 - 0.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และความเข้มข้นของตะกั่วแต่ละสถานีมีค่าใกล้เคียงกับ พ.ศ. 2535 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.13 - 0.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มาตรฐานความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงเท่ากับ 10.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ) สถานีตรวจวัดที่พบความเข้มข้นสูงสุดของตะกั่วคือ สถานีเสาวภา ซึ่งพบค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้กรมอนามัยได้ทำการตรวจวัดปริมาณของตะกั่วจากสถานี 3 แห่งคือ ที่ทำการไปรษณีย์โทรเลขลาดพร้าว ศูนย์อาชีวอนามัย ตำรวจ และกรมทะเบียนการค้า ถนนประดิพัทธ์พบว่า พ.ศ.2535 และ พ.ศ. 2536 ค่าความเข้มข้น

ของตะกั่วอยู่ในช่วง 0 - 0.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและ 0 - 1.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2535 – 2536)

ปี 2537 กรมควบคุมมลพิษ ตรวจวัดปริมาณสารตะกั่วเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในบริเวณริมถนนมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 0.37 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานมากเมื่อเทียบกับความเข้มข้นในปี 2536 จะเห็นว่าค่าความเข้มข้นมีปริมาณลดลงจากเดิมอย่างเห็นได้ชัดคือประมาณ 2.3 เท่า บริเวณที่ตรวจพบปริมาณตะกั่วสูงสุดในปี 2537 คือ บริเวณประตูน้ำ ถนนราชปรารภ ส่วนบริเวณชุมชนที่อยู่อาศัยและบริเวณอื่น ๆ ตรวจวัดได้ต่ำกว่าอยู่ในช่วง 0.01 - 0.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเมื่อเปรียบเทียบกับปี 2536 พบว่ามีปริมาณลดลงเหมือนกัน (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2537)

ปี 2538 – 2539 กรมอนามัย รายงานและตรวจวัดปริมาณสารตะกั่ว ไม่พบค่าเฉลี่ยรายเดือนเกินมาตรฐาน ( 1.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ) โดยพบค่าเฉลี่ยรายเดือนอยู่ระหว่าง 0.005 - 0.35 และ ช่วง 0 - 0.36 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในปี 2538 และ 2539 ตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาพิสัยค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพ.ศ.2538 พบว่าที่สถานีโรงพยาบาลโรคทรวงอก จังหวัดนนทบุรีมีค่าตะกั่วสูงสุด ( 1.010 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ) สถานีตำรวจจังหวัดสมุทรปราการ ( 0.778 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ) สถานีประติพัทธ์ กรุงเทพมหานคร ( 0.361 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ) และสถานีลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร ( 0.269 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ) ตามลำดับ โดยภาพรวมจะเห็นว่าตะกั่วในเขตปริมณฑลมีปริมาณสูงกว่าในกรุงเทพมหานคร (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม, 2538 – 2539)

ในปี 2540 กรมควบคุมมลพิษ กรมควบคุมมลพิษทำการตรวจวัดปริมาณตะกั่วในบรรยากาศทั่วไปพบว่า สารตะกั่วเฉลี่ยใน 1 เดือนทุกแห่งที่ตรวจวัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยวัดปริมาณสูงสุดได้เพียง 0.79 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

## 2.2 หลักการทำงานของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก

เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก เป็นเครื่องมือที่ใช้ระบบกราวิเมตริก ( Gravimetric ) ในการวัดค่าฝุ่นละอองในอากาศโดยการดูดอากาศผ่านแผ่นกรองแล้วหาน้ำหนักฝุ่นละอองจากแผ่นกรองนั้น ซึ่งเทคนิคนี้มีประสิทธิภาพในการกรองฝุ่นละอองขนาด 0.3 ไมครอน ได้ร้อยละ 99 (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10, 2538)

### 2.2.1 หลักการคัดแยกขนาดอนุภาค

การคัดแยกขนาดอนุภาค จะใช้ความเร็วปลาย ในการตกของอนุภาค ( Terminal Settling Velocity ) มาช่วยในการคัดเลือกเฉพาะขนาดอนุภาคที่สนใจ สามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 2.1

$$V_t = \frac{D_p^2 \rho_p g C_c}{18\mu} \dots\dots\dots(2.1)$$

โดย

- $V_t$  คือ ความเร็วปลายในการตกของอนุภาค หน่วยเป็น เซนติเมตรต่อวินาที
- $D_p$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค หน่วยเป็น ไมโครเมตร
- $\rho_p$  คือ ความหนาแน่นของอนุภาค หน่วยเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
- $g$  คือ แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง
- $C_c$  คือ สัมประสิทธิ์คันทันนิ่งแฮม ( Cunningham Coefficient )
- $\mu$  คือ ความหนืดของอากาศ หน่วยเป็น กิโลกรัมต่อเมตรคูณวินาที

ซึ่งจากสมการสามารถคำนวณความเร็วปลายในการตกของอนุภาคที่มีขนาดต่างๆกันได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคกับความเร็วปลายในการตกของอนุภาค

$D_p$ ( $\mu m$ )	$C_c$	$V_t$ $\rho_p = 1g/cm^3$
0.001	216.0	
0.002	108.0	
0.005	43.6	
0.01	22.2	
0.02	11.4	
0.05	4.95	
0.1	2.85	$8.62 \times 10^{-5}$
0.2	1.865	$2.26 \times 10^{-4}$
0.5	1.326	$1.00 \times 10^{-3}$

$D_p (\mu m)$	$C_c$	$V_t$ $\rho_p = 1 g/cm^3$
1.0	1.164	$3.52 \times 10^{-3}$
2.0	1.082	$1.31 \times 10^{-2}$
5.0	1.032	$7.80 \times 10^{-2}$
10.0	1.016	$3.07 \times 10^{-1}$
20.0	1.008	1.22
50.0	1.003	7.58
100.0	1.0016	30.3

ที่มา: John H. Seinfeld, 1986.

จากตารางจะเห็นว่าอนุภาคที่มีขนาดต่างๆกันก็จะมีความเร็วปลายในการตกแตกต่างกันด้วย ทำให้สามารถแยกขนาดอนุภาคได้ตามขนาดที่เราต้องการ ซึ่งพื้นที่ช่องทางเข้าของอากาศจะเป็นตัวช่วยในการคัดแยก โดยจะสัมพันธ์กับอัตราการดูดอากาศที่คงที่ ดังสมการที่ 2.2

$$V = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots (2.2)$$

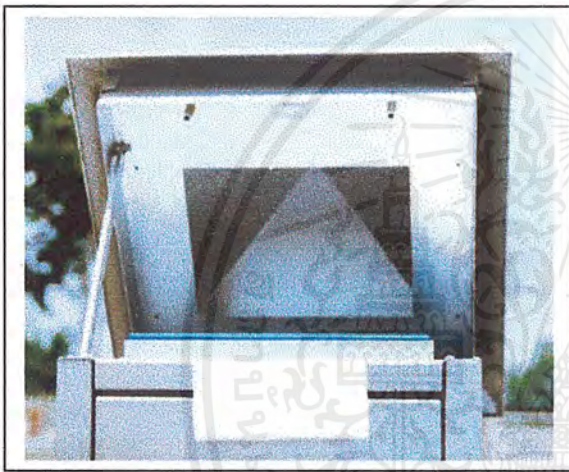
โดย

- $V$  คือ ความเร็ว
- $Q$  คือ อัตราการดูดอากาศ
- $A$  คือ พื้นที่ช่องทางเข้าของอากาศ

จากสมการแสดงให้เห็นว่าพื้นที่ช่องทางเข้าอากาศที่เหมาะสมจะช่วยในการคัดแยกขนาดอนุภาคโดยพิจารณาจากความเร็วในการตกของอนุภาค และอัตราการดูดอากาศที่คงที่ ประมาณ 1132 ลิตรต่อนาที หรือ 67.9 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (40 CFR Pt.50 App.B, 1992)

## 2.2.2 หลักการแยกขนาดอนุภาคโดยช่องทางเข้าของอากาศ

1.) การแยกขนาดอนุภาค โดยช่องทางเข้าของอากาศชนิดหลังคาหัวแหลม ( Peaked Roof Inlet ) ดังรูปที่ 2 - 2 และรูปที่ 2 - 3 ใช้ในการเก็บฝุ่นละอองทั้งหมดที่แขวนลอยในบรรยากาศ ( Total Suspended Particulate , TSP ) โดยหลังคานี้จะมีโครงสร้างภายนอกเป็นสามเหลี่ยมประกอบกัน ซึ่งช่วยในการคัดเลือกทำให้อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน และมีความเร็วปลายในการตกไม่เกิน 30 เซนติเมตรต่อวินาที สามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้ามาภายในช่องทางเข้าของ อากาศ แล้วถูกเก็บสะสมอยู่บนแผ่นกรองได้

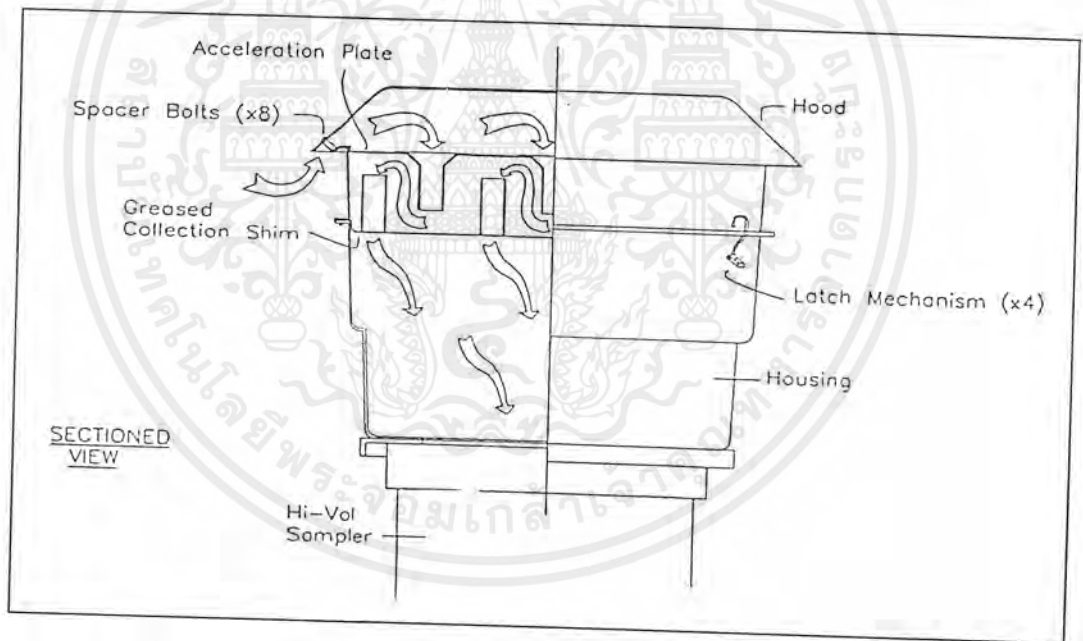


รูปที่ 2-2 แสดงภายในหลังคาตัดแยกขนาดอนุภาคชนิดหัวแหลม



รูปที่ 2-3 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก ชนิดหัวแหลม

2.) การแยกขนาดอนุภาคโดยช่องทางเข้าของอากาศชนิดที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหล ( Opposed Jet Inertial Separation ) ดังรูป 2 - 4 ใช้ในการเก็บฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ช่องทางเข้าของอากาศจะช่วยให้อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เท่านั้นที่ผ่านเข้ามาได้ นอกจากนี้ภายในหลังคาชนิดนี้จะมีส่วนที่ทำให้กระแสอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลอย่างกะทันหัน ทำให้อนุภาคขนาดใหญ่ที่อาจหลงเข้ามารวมทั้งแมลงต่างๆ ไม่สามารถผ่านเข้าสู่ภายในได้ เพราะอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะมีโมเมนตัมมาก จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงทิศทางการไหลไปตามกระแสอากาศที่ไหลเปลี่ยนทิศอย่างรวดเร็วได้ มันจะตกกระทบและติดอยู่กับแผ่น โลหะที่ทาสีลิโคโนกริสไว้ ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กจะมีโมเมนตัมน้อยทำให้สามารถไหลตามไปกับกระแสอากาศแล้วไปติดสะสมอยู่บนแผ่นกรองได้



รูปที่ 2-4 แสดงช่องทางเข้าของอากาศภายในหัวคัดแยกขนาดอนุภาคไม่เกิน 10 ไมครอน



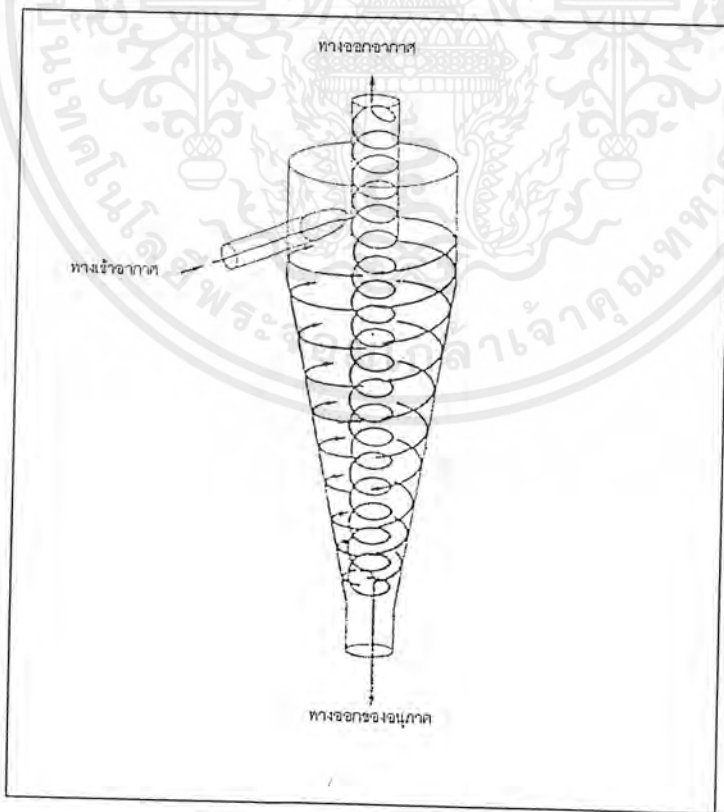
รูปที่ 2-5 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก ชนิดตัดแยกขนาดน้อยกว่า 10 ไมครอน



รูปที่ 2-6 แสดงภายในหลังคาตัดแยกขนาดอนุภาคน้อยกว่า 10 ไมครอน

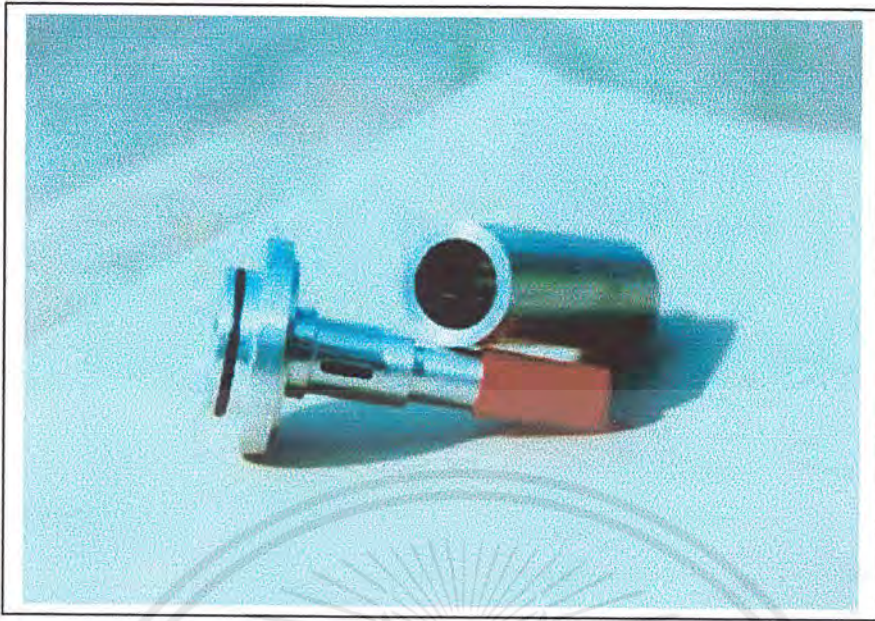
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.) การแยกขนาดอนุภาคด้วยแรงหนีศูนย์กลางของไซโคลน ไซโคลนเป็นเครื่องมือสำหรับใช้แยกอนุภาคออกจากอากาศ ลักษณะของไซโคลนส่วนบนจะมีรูปทรงกระบอกและส่วนปลายเป็นรูปโคน อากาศที่ผ่านเข้าสู่ไซโคลนต้องมีความเร็วประมาณ 30 เมตรต่อวินาที เมื่ออากาศผ่านเข้าสู่ไซโคลนจะไปปะทะแฉกกันในไซโคลน ทำให้เกิดการหมุนวน แรงที่กระทำต่ออนุภาคจะมีอยู่ 3 แรงคือ แรงหนีศูนย์กลาง แรงโน้มถ่วง และแรงต้านการเคลื่อนที่ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคเมื่อเทียบกับแก๊ส และมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงหนีศูนย์กลางที่กระทำบนวัตถุ แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ออกนอกแนวรัศมีด้วยความเร็ว ไปยังผนังของไซโคลน แล้วอนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ลงด้านล่าง เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ส่วนอากาศและอนุภาคที่เล็กกว่า 5 ไมครอน จะหมุนกลับขึ้น และมาติดที่กระดวยกรอง ( วงศ์พันธ์ , 2540 ) ดังรูป 2-7 และรูป 2-8 ( Coulson , 1991 ) ในการศึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบบุคคล ที่แยกขนาดอนุภาคน้อยกว่า 5 ไมครอนด้วยหลักการนี้



รูปที่ 2-7 แสดงลักษณะภายในไซโคลน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-8 ตัวไซโคลน (ซ้าย) และตัวปรับเทียบ (ขวา) ของเครื่อง  
เก็บตัวอย่าง

## 2.3 ทฤษฎีการกรอง

### 2.3.1 ชนิดและโครงสร้างของแผ่นกรอง

ในการกรอง แผ่นกรองที่ใช้จะมีโครงสร้างเป็นรูพรุน และบอกขนาดภายนอกในรูปความหนา พื้นที่หน้าตัดปกติเมื่อมีของไหลไหลผ่าน แผ่นกรองแต่ละชนิดจะแตกต่างกันในวิธีการไหล อัตราการไหลและระยะเวลาตกค้าง ปัจจัยเหล่านี้มีผลมาจากโครงสร้างของแผ่นกรองเอง แผ่นกรองที่ใช้กันทั่วไปในการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นชนิดเส้นใย ซึ่งเป็นแผ่นของเซลลูโลส แก้ว ควอตซ์ แอสเบสตอส หรือเส้นพลาสติก การกรองโดยใช้ตัวกรองเป็นแบบเม็คซึ่งใช้เม็คของแข็งบรรจุในภาชนะ และเม็คของแข็งจะถูกความร้อนจนเกาะกัน สำหรับการเก็บตัวอย่างอากาศในบริเวณปล่องโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งมีอุณหภูมิสูง เม็คที่ใช้เป็นพวกแก้วและอลันดัม ถ้าเป็นเม็คเงินจะเป็นลักษณะแผ่นดิสก์ เรียกว่าซิลเวอร์เมมเบรน ปัจจุบันมีการนำสารกรองชนิดเจลมาใช้งานด้วยโดยผลิตจากพอลิไวนิลคอลลอยด์ ไนลอนและพลาสติกอื่นๆ ซึ่งสามารถผลิตได้ทั้งแบบแผ่นและแบบเม็ค

### 2.3.2 การไหลและกลไกในการเก็บ

เมื่ออากาศไหลผ่านตัวกรองเกิดการแยกอนุภาคจากกระแสอากาศโดยมีกลไกแบบ Interception แรงหน่วง (Inertial collection) การแพร่ (Diffusion) แรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตและแรงโน้มถ่วงของโลก (ใช้เฉพาะกรณีที่มีความเร็วผิวหน้าตัวกรองน้อยกว่า 5 เซนติเมตรต่อวินาที) ขณะที่อนุภาคถูกเก็บไว้ในตัวกรองตามกลไกที่เกี่ยวข้องอนุภาคจะเกิดแรงยึดเหนี่ยว (adhesion) และแรงผลักให้อนุภาคเป็นอิสระ (เนื่องมาจากกรไหลของอากาศ) ถ้ามีแรงยึดมากกว่าจะเก็บอนุภาคไว้ได้ แต่อย่างไรก็ตามแรงผลักมักจะมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวสอดคล้องกับแรงแวนเดอวาลส์ที่คำนวณได้ในทางทฤษฎี และความเร็วในการไหลที่ต้องการเก็บตัวอย่างอนุภาคผ่านแผ่นกรองต้องมากกว่ากรณีที่ใช้ในการกรองของอากาศ และถ้ามีอนุภาคที่ละเอียดสุดแทรกในตัวกรองมากขึ้นต้องเพิ่มความเร็วในการไหลมากขึ้นด้วย เนื่องมาจากมีการเกาะตัวกันแบบใหม่อีกครั้ง (rebound) หรือกระจาย (resuspension) มากขึ้นกว่าที่มีอนุภาคเดี่ยว

การเก็บอนุภาคในอากาศโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรมาก กรณีที่ต้องการแยกขนาดอนุภาคเช่นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคตามหลักอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic diameters) น้อยกว่า 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) จะใช้หลังคัดแยกขนาดอนุภาคน้อยกว่า 100 ไมครอน ดังรูปที่ 2-3 หรือหัวคัดแยกขนาดอนุภาคน้อยกว่า 10 ไมครอน ดังรูปที่ 2-5 โดยทั่วไปแผ่นกรองมีขนาด  $8 \times 10$  นิ้ว ( $20.3 \times 25.4$  เซนติเมตร) เก็บที่อัตราการไหล 1132 ลิตรต่อนาที (40 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) จากนั้นทำการหาหน้าหนักของอนุภาคที่ถูกกรองไว้บนแผ่นกรองโดยชั่งน้ำหนักก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง ความเข้มข้นของอนุภาคที่แขวนลอยในตัวอย่างอากาศหาได้จาก หน้าหนักของอนุภาคที่ชั่งได้หารด้วยปริมาตรอากาศที่เก็บ กรณีที่เก็บอนุภาคแขวนลอยในอากาศทั้งหมด (Total suspended particulate matter, TSP) สามารถทำได้เช่นกัน ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการเทียบกับมาตรฐานคุณภาพบรรยากาศทั่วไป การวิเคราะห์สารมลพิษอื่น ๆ จะขึ้นอยู่กับตัวกรองที่ใช้ด้วย เช่นการหาปริมาณตะกั่วไอออนชนิดอื่น ๆ สารอินทรีย์อื่น ๆ สารประกอบอนินทรีย์ และอนุภาคเดี่ยวเฉพาะ เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรมากต้องมีคุณลักษณะมาตรฐานตามองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (The United State Environmental Protection Agency, USEPA) ระบุไว้

การเก็บตัวอย่างโดยวิธีอื่น ๆ เช่น เก็บปริมาตรปานกลาง 113 ลิตรต่อนาที (4 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) และเก็บปริมาตรต่ำ 16.7 ลิตรต่อนาที (0.59 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที) อาจนำมาใช้ในการตรวจวัดอนุภาคแขวนลอยในขนาดต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบการเก็บแบบปริมาตรมากได้ แต่กรณีที่อุปกรณ์แตกต่างกันน้ำหนักของอนุภาคที่เก็บโดยวิธีอื่นจะไม่สมมูลกัน

### 2.3.3 พิสัยและความไว

ขีดจำกัดล่างของการเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมงโดยมีอัตราการไหลของอากาศ 67.9 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ( 1132 ลิตรต่อนาที ) เมื่อทำซ้ำน้ำหนักตัวกรองที่ชั่งได้ต้องมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ไม่เกิน  $\pm 2$  มิลลิกรัม หรือ 3  $\sigma$  มีค่าประมาณ 3.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อาจสูงได้ถึง 5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ขีดจำกัดบนสำหรับการเก็บตัวอย่างเช่นเดิมอยู่ในช่วงพิสัย 400 – 1000

ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าที่แท้จริงต้องขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอนุภาคแอโรซอลที่อยู่ในอากาศ เนื่องจากอนุภาคเล็กทำให้เกิดการดูดซับระหว่างการชักตัวอย่าง ทำให้อัตราการไหลต่ำลงไปในขณะเดียวกันอนุภาคที่มีขนาดใหญ่อาจเกิดการตกหล่น ในช่วงการขนส่งได้เมื่อมีความเข้มข้นมาก

## 2.4 เกณฑ์ในการเลือกชนิดของแผ่นกรอง

การเลือกชนิดของแผ่นกรองจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญมากมาย ได้แก่ ราคา การหายใจ ประสิทธิภาพในการเก็บสะสม กระบวนการที่จะนำไปวิเคราะห์ต่อความสมบูรณ์ทางกายภาพภายใต้สภาวะที่ทำให้การเก็บตัวอย่าง การมีผู้ผลิตหลายรายทำให้ยากในการเลือก แต่มีความสำคัญมากเพราะทำให้เลือกได้ตามความพอใจ ซึ่งการเลือกชนิดของแผ่นกรองควรพิจารณาองค์ประกอบดังต่อไปนี้

### 2.4.1 ประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวม

ประสิทธิภาพในการเก็บตัวอย่างแผ่นกรองที่มีประสิทธิภาพในการเก็บรวบรวมอนุภาคได้สูง มักมีข้อจำกัดคือ มันจะมีความต้านทานการไหลสูง มีราคาแพง และเปราะบางอบบางกว่า เช่น กระดาษกรองโพลีสไตรีน

### 2.4.2 กระบวนการในการวิเคราะห์ฝุ่นละออง

#### 1.) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

จำเป็นต้องมีความแม่นยำในการวิเคราะห์ แต่กรณีที่มีอนุภาคความเข้มข้นต่ำ ๆ อยู่ในอากาศ ทำให้ต้องใช้ปริมาตรอากาศมากในการเก็บตัวอย่าง ซึ่งเมื่อนำไปวิเคราะห์ก็จะได้ค่าที่ถูกต้องกว่า ซึ่งการเก็บตัวอย่างปริมาณมาก ๆ ก็จำเป็นที่แผ่นกรองจะต้องมีความจุในการเก็บสะสมสูง แต่ก็จะทำให้ความต้านทานการไหลของแผ่นกรองนั้น ๆ เพิ่มขึ้นด้วย

## 2.) การวิเคราะห์เชิงस्थฐาน

สำหรับการวิเคราะห์รูปร่างของอนุภาค เช่น การวิเคราะห์อนุภาคขนาดเล็กที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ด้วยกล้องจุลทรรศน์นั้น อนุภาคจะต้องอยู่บนพื้นผิวเรียบ โดยมีขอบเขตอยู่ที่กำลังขยายของเลนส์วัตถุ สามารถใช้แผ่นกรองที่เป็นเส้นใย ในการเก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ขนาด โดยจะต้องแยกปริมาณตัวอย่าง และนำมาส่องกล้องจุลทรรศน์ได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงใด ๆ สำหรับการใช้แผ่นกรองชนิดเมมเบรนจะดีกว่าแผ่นกรองชนิดอื่น เพราะตัวอย่างสามารถวิเคราะห์ได้โดยตรงบนพื้นผิวแผ่นกรอง และไม่ต้องทำการเคลื่อนย้ายตัวอย่าง ทำให้สังเกตตัวอย่างได้เหมือนขณะที่มันอยู่ในอากาศ การวิเคราะห์เชิงस्थฐานเพื่อตรวจดูลักษณะรูปร่างของอนุภาคว่ามีลักษณะที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพร่างกายหรือไม่ เช่น ลักษณะที่เป็นรูปเข็ม หรือเส้นใย จะมีอันตรายมากกว่าอนุภาคที่มีรูปอื่น ๆ เมื่อสะสมอยู่ในปอด

### 3.) การแยกตัวอย่างออกจากแผ่นกรอง

แม้ประสิทธิภาพในการเก็บสะสมตัวอย่างสูงก็อาจไม่มีผลการวิเคราะห์ เพราะตัวอย่างทั้งหมดไม่สามารถแยกออกมาทำการวิเคราะห์ได้ ซึ่งการวิเคราะห์ทางเคมี จำเป็นที่จะต้องแยกตัวอย่างออกจากแผ่นกรอง หรือโดยการทำลายแผ่นกรองนั้น อนุภาคที่เป็นสารอินทรีย์ โดยปกติจะแยกออกจากกระดาษกรองเซลลูโลส โดยการย่อยด้วยกรดเข้มข้น หรือโดยการเผาแผ่นกรอง ตัวอย่างที่เก็บบนกระดาษกรองใยแก้ว และกระดาษกรองเซลลูโลส แอสเบสตอส สามารถแยกออกโดยการชะ หรือการละลายตัวอย่างออกจากกระดาษ ส่วนตัวอย่างที่เก็บบนกระดาษกรองเมมเบรน โพลีสไตรีน สามารถแยกออกโดยการละลายแผ่นกรอง ในตัวทำละลายที่เหมาะสม

### 4.) การเกิดตัวรบกวนเนื่องมาจากแผ่นกรอง

ก่อนเลือกแผ่นกรอง ควรทำการตรวจสอบดูว่าสารที่เป็นองค์ประกอบของแผ่นกรองนั้น ไม่ใช่สารตัวเดียวกันกับตัวที่เราวิเคราะห์

### 5.) ขนาดและมวลของแผ่นกรอง

มวลของแผ่นกรองควรจะน้อยเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อให้สัมพันธ์กับมวลของตัวอย่าง โดยแผ่นกรองที่มีน้ำหนักน้อย และหรือ มีขนาดเล็กจะทำให้ง่ายในการเข้าสู่กระบวนการต่าง ๆ ตลอดจนการเก็บตัวอย่าง บนแผ่นกรองขนาดเล็กยังช่วยรักษาความเข้มข้นไว้ในขั้นตอนการวิเคราะห์ ตลอดจนทำให้ใช้ภาชนะและเครื่องมือในการวิเคราะห์ขนาดเล็กด้วย

## 2.4.3 ข้อจำกัดเนื่องจากสถานะของบรรยากาศ

### 1.) อุณหภูมิ

ความคงตัวของอุณหภูมิของแผ่นกรองเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาเมื่อทำการเก็บตัวอย่างที่เป็นก๊าซร้อน เช่น จากปล่องควัน ซึ่งในการเลือกแผ่นกรอง จะต้องรู้อุณหภูมิสูงสุด และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง ซึ่งกระดาษกรองใยแก้วเป็นชนิดที่ใช้กันมากสำหรับตัวอย่างที่มีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ  $538.5^{\circ}\text{C}$  แต่ในกรณีอากาศทั่วไปมีอุณหภูมิประมาณ  $25 - 35^{\circ}\text{C}$

## 2.) ความชื้น

การเก็บตัวอย่างภายใต้สภาวะที่มีความชื้นสูง เช่น วันฝนตก ควรเลือกแผ่นกรองที่ไม่ดูดความชื้น กระดาษกรองบางชนิดเมื่อมีความชื้น จะทำให้เกิดผลต่อคุณสมบัติการกรอง ความชื้นจะลดประสิทธิภาพของการกรองอันเนื่องมาจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้า กระดาษกรองบางชนิดเมื่อได้รับความชื้น จะทำให้เกิดการแตกหักได้ง่าย สำหรับการวิเคราะห์แบบกราวิเมตริก จำเป็นมากที่แผ่นกรองต้องไม่ดูดความชื้น เช่น กระดาษกรองใยแก้ว ซึ่งจะมีน้ำหนักคงที่

### 2.4.4 การหาได้ง่าย และราคา

แผ่นกรองแต่ละชนิดก็จะมีราคาที่แตกต่างกันมากมายเช่น กระดาษกรองใยแก้ว และ เซลลูโลส แอสเบสตอส มีราคาประมาณ 2 เท่าของกระดาษเซลลูโลส ในขณะที่กระดาษกรองเมมเบรน และกระดาษกรองโพลีไธรีน มีราคาประมาณ 10 เท่าของกระดาษกรองใยแก้ว สำหรับการเก็บตัวอย่างจำนวนมาก ความแตกต่างของราคาทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายด้วย ควรเลือกกระดาษที่แพงน้อยกว่า การหาได้ง่ายก็เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ควรนำมาพิจารณา ซึ่งกระดาษกรองเซลลูโลสและกระดาษกรองใยแก้วสามารถหาซื้อได้ง่ายกว่ากระดาษกรองชนิดอื่น

### 2.4.5 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผ่นกรองชนิดต่าง ๆ

แผ่นกรองมีมากมายหลายชนิด ซึ่งก็มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามความต้องการในการเก็บตัวอย่าง เพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์ ซึ่งแบ่งออกเป็นกลุ่มตามองค์ประกอบได้ดังนี้

#### 1.) กระดาษกรองชนิดเซลลูโลส

กระดาษกรองชนิดนี้ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี สำหรับการแยกของเหลวของแข็ง โดยกระดาษกรองชนิดนี้ทำมาจากเชื้อเซลลูโลสบริสุทธิ์ ที่มีเส้นใยเป็นองค์ประกอบต่ำ และมีความหนาแน่นน้อยกว่า  $0.01$  นิ้ว ซึ่งกระดาษกรองชนิดนี้มีราคาไม่แพง หาได้ง่าย มีหลายขนาด มีความต้านทานการดึงสูง แต่มีข้อเสียคือ กระดาษกรองชนิดนี้จะไม่เสมอกัน ทำให้มีผลต่อความต้านทานการไหล และประสิทธิภาพการเก็บสะสมที่แตกต่างกัน และยังดูดความชื้นได้ด้วย ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์หาปริมาณได้ค่าที่แตกต่างกันมาก ค่าที่ได้จะไม่ค่อยถูกต้องแม่นยำนัก

#### 2.) กระดาษกรองใยแก้ว

กระดาษกรองใยแก้วมีความทนทานต่ออุณหภูมิสูงไม่ดูดความชื้น และประสิทธิภาพในการเก็บสะสมสูง กระดาษกรองชนิดนี้ประกอบด้วย เส้นใยแก้วที่ปั่นจนเล็กมาก ซึ่งอาจมีหรือไม่มีสารอินทรีย์เป็นสารยึดกระดาษกรอง ที่ไม่มีสารยึดผลิตจากกระดาษที่มีสารยึดที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำมาผ่านกระบวนการเผาอย่างรวดเร็ว เพื่อกำจัดสารยึดออกไป การแยกสารยึดออกไม่เป็นการลดความต้านทานต่อการดึงของกระดาษ โดยจะมีความต้านทานการดึงประมาณ 1.5 ปอนด์ต่อนิ้ว เทียบกับกระดาษที่มีสารยึดด้วยจะมีความต้านทานการดึงถึง 3.5 ปอนด์ต่อนิ้ว กระดาษกรองใยแก้วชนิดไม่มีสารยึดใช้ในกรณีที่สารยึดเป็นตัวรบกวนในการวิเคราะห์ สำหรับกระดาษกรองที่ไม่มีสารยึด การวิเคราะห์สารอินทรีย์สามารถทำได้โดยการสกัดออกจากกระดาษกรองโดยตรง กระดาษกรองใยแก้วสามารถวิเคราะห์หาโลหะพวก Mn, Pb, Sn, Cu, Ag, Ti, V, Sr, Be, As, Cr, Mo, Co, Ni, F และ  $SO_4^{2-}$  ได้ แต่จะวิเคราะห์หา Fe, Al, Mg, Na และ K ไม่ได้ เพราะเป็นธาตุที่อยู่ในกระดาษกรองใยแก้ว กระดาษกรองใยแก้วเหมาะสำหรับการวิเคราะห์กาวิเมตริก เพราะน้ำหนักไม่ขึ้นอยู่กับความชื้นของบรรยากาศ และยังสามารถใช้เก็บตัวอย่างก๊าซที่มีอุณหภูมิเข้าใกล้  $1000^\circ F$  ได้ด้วย

### 3.) กระดาษกรองชนิดเส้นใยผสม

กระดาษกรองชนิดเส้นใยผสมได้แก่พวกเส้นใยผสมของ เซลลูโลส - แอสเบส ตอส, เซลลูโลส - ใยแก้ว, ใยแก้ว - แอสเบส ตอส กระดาษกรองชนิดเส้นใยผสมเหล่านี้พบอย่างกว้างขวางในการใช้กับอากาศที่สะอาด เพราะมีคุณสมบัติในการเก็บสะสมอนุภาคสูง และมีความดันลด (Pressure loss) ต่ำ แต่สิ่งสำคัญก็คือ การนำฝุ่นออกจากกระดาษกรองชนิดนี้ได้ยาก เนื่องจากกระดาษกรองมีเส้นใยเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้มีตัวรบกวนในการวิเคราะห์ทางเคมี กระดาษกรองชนิดเส้นใยผสมนี้ ใช้สำหรับตัวอย่างที่จะวิเคราะห์หาน้ำหนัก และการใช้รังสีดูรูปร่างอนุภาค ซึ่งสามารถนับจำนวนอนุภาคโดยไม่ต้องแยกตัวอย่างออกจากกระดาษกรอง

### 4.) กระดาษกรองชนิดโพลีสไตรีน

กระดาษกรองชนิดนี้ทำจากเส้นใยของโพลีสไตรีนที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมาก ๆ มีความต้านทานการไหลต่ำ ในขณะที่ประสิทธิภาพการเก็บสะสมอนุภาคสูง สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ความต้านทานการดึงต่ำ และจำเป็นต้องมีแผ่นรองอยู่ที่ตัวยึดกระดาษกรองด้วย

### 5.) กระดาษกรองเมมเบรน

กระดาษกรองชนิดนี้ประกอบด้วยเมมเบรนบาง ๆ ของเซลลูโลสเอสเทอร์ ที่มีรู (Pore size) ให้อนุภาคผ่านได้ขนาดตั้งแต่ 0.01 ถึง 10 ไมครอน โดยประสิทธิภาพในการสะสมอนุภาคจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดขนาดรูที่ให้อนุภาคผ่านได้ การแยกอนุภาคเกิดขึ้นทั้งหมดที่เฉพาะพื้นผิวด้านบนของแผ่นกรอง กระดาษกรองเมมเบรนมีมวลน้อยมาก และมีเส้นใยเป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อย แล้วยังสามารถละลายได้อย่างสมบูรณ์ในตัวทำละลายอินทรีย์หลายชนิด เช่น เอสเทอร์ และคีโตน ขนาดรูที่อนุภาคผ่านได้จะสัมพันธ์กับขนาดอนุภาคที่ตกค้างอยู่ โดยประสิทธิภาพยังขึ้นกับแรงแม่เหล็กไฟฟ้า ที่เกิดเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอากาศ ผ่านกระดาษกรอง ข้อเสียของกระดาษกรองชนิดนี้ คือ มีขอบเขตในการเก็บสะสมอนุภาค เพราะเมื่อมีชั้นของอนุภาค เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝุ่นมากกว่าหนึ่งชั้นที่ถูกสะสมบนกระดาศกรอง จะทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้อนุภาคเกิดการหลุดออกจากกระดาศได้ ส่วนการนำตัวอย่างออกจากกระดาศกรอง ทำได้โดยการละลาย

## 2.5 เกณฑ์ในการเลือกสถานที่

สถานที่ตั้งเครื่องควรมีการระบายอากาศดี ตามคู่มือของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก กำหนดให้ช่องทางเข้าควรสูงจากพื้นดินมากกว่า 2 เมตร ส่วนกรมควบคุมมลพิษ กำหนดให้ช่องทางเข้าควรสูงจากพื้นดินอย่างน้อย 1.5 เมตร แต่ไม่เกิน 6 เมตร และอยู่ห่างจากอาคาร หรือต้นไม้ มากกว่า 20 เมตร และหลังคาทำมุม  $120^\circ$  ขึ้นไปบนท้องฟ้า ไม่ควรมีสสิ่งกีดขวางในรัศมี

สถานที่เก็บตัวอย่างควรอยู่แยกออกจากบริเวณถนน โดยถนนที่มีการจราจรเบาบางต้องห่างมากกว่า 15 เมตร ถนนที่มีการจราจรปานกลาง ต้องห่างมากกว่า 125 เมตร ส่วนถนนที่มีการจราจรหนาแน่นต้องห่างมากกว่า 300 เมตร เครื่องมือควรอยู่แยกออกจากบริเวณที่ไม่ใช่ถนน และบริเวณที่มีการเกษตรอย่างต่ำ 400 เมตร ที่ช่องทางเข้าของอากาศควรอยู่สูงจากพื้นดิน 2-5 เมตร แต่ถ้าอยู่ในบริเวณที่มีการก่อสร้าง ช่องทางเข้าของอากาศอาจสูงถึง 15 เมตร ถึงยอมรับได้ เครื่องมือควรอยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดมลพิษ เช่น เตาเผาขยะ ปล่องระบาย หม้อน้ำ และอื่น ๆ ยกเว้นว่าจะทำการตรวจวัดที่แหล่งเหล่านี้โดยเฉพาะ การเลือกสถานที่ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของเครื่องมือ แหล่งพลังงาน เกณฑ์การเลือกสถานที่แสดงดังรูป 2-9

## 2.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการเก็บตัวอย่าง

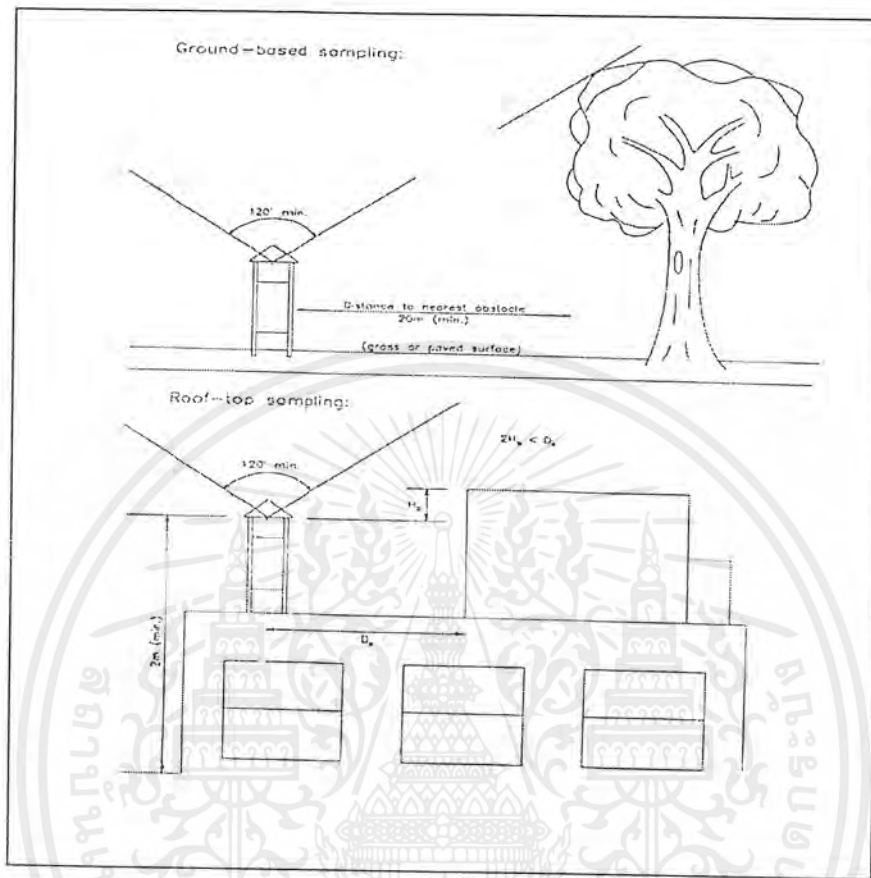
### 2.6.1 ข้อผิดพลาดจากการที่อนุภาคตกลงบริเวณหัววัดด้านใน

(The probe inlet) และแผ่นกรองเนื่องมาจากการชน (impaction)

ในขณะที่เก็บตัวอย่างมีการเลี้ยวโค้งและมีกระแสแบบปั่นป่วน

### 2.6.2 แผ่นกรองต้องอยู่เหนือกระแสอากาศ

ซึ่งไม่ถูกทำให้สกปรกก่อน เช่น จากหวนอด โปรทไทมานอมิเตอร์เพราะฉะนั้นแผ่นกรองจึงต้องอยู่ใกล้กับจุดซักตัวอย่างมากที่สุด



รูปที่ 2-9 แสดงเกณฑ์ในการเลือกสถานที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ

### 2.6.3 อุปกรณ์สำหรับยึดแผ่นกรอง

ต้องมีลักษณะเฉพาะสำหรับขนาดแผ่นกรองที่ใช้และยางปิด (seal) เพื่อป้องกันการรั่ว หรือฉีกขาด การมีอุปกรณ์เสริมรองรับแผ่นกรองด้วย อากาศที่ผ่านอุปกรณ์สำหรับยึดแผ่นกรองต้องมีความเร็วของวงกระแสอากาศสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดขวาง (Uniform flow)

### 2.6.4 ความถูกต้องและเที่ยงตรง

การวัดอัตราการไหลของอากาศ เวลาที่ชักตัวอย่างหรือปริมาตรอากาศ ที่ชักตัวอย่าง ในขณะที่เก็บตัวอย่างอากาศมีความดันสูงและมีผลต่อปริมาตรความจุของอากาศ การวัดอัตราการไหลจำเป็นต้องระวังไม่ก่อให้เกิดสภาพความดันอากาศลดลง เช่น การวัดอัตราการไหล ด้วยเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศแบบแยกบางส่วน (by-pass meter) สักส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศที่ใช้ควรเป็นสัดส่วนน้อย ๆ และมิเตอร์ที่ใช้ต้องมีความไว (sensitivity) เพียงพอ มิเตอร์ส่วนมากจะทำการเปรียบเทียบที่ความดันบรรยากาศ และต้องมีการแก้ไขที่ความดันอื่น ๆ การแก้ไขมักอิงพื้นฐานจากหลักของความดันสถิต (Static Pressure) ที่เข้าในโฟลมิเตอร์ (Flow meter) จึงต้องติดตั้งโฟลมิเตอร์ต่อจากแผ่นกรองเสมอ

## 2.7 สิ่งรบกวน

### 2.7.1 การตกตะกอนอนุภาคเชิงบวก (Passive Deposition)

เมื่อเกิดการพัดพาของลม ฝุ่นละอองอาจตกลงบนตัวกรองทั้งก่อนและหลังจากรัดตัวอย่าง ถ้ามีช่องอากาศเข้าทางยอดหลังคาก่อให้เกิดความลำเอียงเชิงบวกในการหาน้ำหนักฝุ่นละออง 10 – 15% การลดข้อผิดพลาดนี้ทำได้โดยลดช่วงเวลาที่ทิ้งสารกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างให้สั้นที่สุดหรือใช้สิ่งปกคลุมครอบสารกรองก่อนและหลังทำการเก็บตัวอย่าง

### 2.7.2 ภาวะช่วงอากาศเข้าและการจัดตัวใหม่ (Inlet Loading and Reentrainment)

การเก็บอนุภาคบนสารกรองโดยแยกขนาด จะมีการจัดตัวใหม่เมื่อมีการไหลของอากาศได้บริเวณทางเข้า การสอดแทรกแบบนี้ไม่สามารถประเมินได้ เพียงแต่ลดลงได้โดยการทาวาสลิน (Grease) บริเวณที่อากาศเข้ากระทบ (Impaction surfaces) แต่ก็อาจมีผลต่อคุณสมบัติ การคัดแยกขนาดอนุภาค

### 2.7.3 การไหลวนใหม่ (Recirculation)

ในส่วนของมอเตอร์ที่ใช้ในพัดลมดูดตัวอย่างอากาศมีผงถ่าน และอนุภาคทองแดงจากการขัดสีของอะมาเจอร์ (armature) และแปรงปัด (brushes) อาจก่อให้เกิดการไหลวนใหม่เข้าไปผสมกับตัวอย่างอากาศ การป้องกันทำได้โดยคลุมบริเวณพัดลมดูดอากาศกับบริเวณชักตัวอย่างให้ดี เพื่อป้องกันการไหลวนใหม่ หรือใช้ระบบท่ออากาศออกจากจุดชักตัวอย่าง

### 2.7.4 การเกิดสารใหม่บนตัวกรอง (Filter Artifact Formation)

มลสารประเภทแก๊ส เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไนโตรเจนไดออกไซด์, กรดไนตริก และไอสารอินทรีย์ อาจถูกดูดซับไว้บนตัวกรองร่วมกับอนุภาคแขวนลอย ซึ่งก่อให้เกิดความลำเอียงเชิงบวก กรณีที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงพบว่า มีอนุภาคซัลเฟตเกิดขึ้นบนกระดาษกรองใยแก้วได้ถึง 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การเปลี่ยนชนิดตัวกรองเป็นเทฟลอนเมมเบรน, คิวทซ์ หรือใยแก้วที่เคลือบด้วยเทฟลอน จะช่วยลดการดูดซับไนโตรเจนไดออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ได้บ้าง ช่วงอากาศเข้าที่มีการป้องกันการกักกร่อน (Denuder inlet) จะช่วยลดการดูดซับกรดไนตริกได้ แต่ถ้าเป็นไอสารอินทรีย์ปัจจุบันยังมีข้อมูลน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.5 สภาพของตัวกรอง

ความชื้นสัมพัทธ์ ( Relative Humidity, RH ) มีผลต่อน้ำหนักของอนุภาคด้วย อนุภาคที่ละลายน้ำได้จะมีการดูดน้ำในอากาศเมื่อความชื้นมากขึ้น โดยเฉพาะเหนือจุด deliquescence point ที่ RH 70% ดังนั้นในการควบคุมสภาพของตัวอย่างก่อน และหลังการเก็บตัวอย่างอากาศ จึงต้องนำไปควบคุมให้สมดุลในความชื้นระดับมากกว่า 30% สำหรับ EPA แนะนำวิธีการว่าควรมี RH มากกว่า 50% ขณะกระบวนการชักตัวอย่าง และ RH อยู่ระหว่าง 20 – 45 + 5% ขณะที่ทำให้ตัวกรองสมดุลและอุณหภูมิคงที่เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

### 2.7.6 การยึดติดของตัวกรองขณะทำการเคลื่อนย้าย ( Handling )

อาจทำให้เกิดการสูญหายของตัวกรองได้ ทำให้เกิดผลวิเคราะห์เชิงลบ ตัวกรองที่เป็นควอทซ์จะเกิดการสูญเสียมากที่สุด แต่ถ้าเป็นเทฟลอนจะมีผลน้อยมาก เพื่อลดข้อผิดพลาดในการจัดเก็บจึงควรมีซอง ภาชนะ ( Filter cassettes ) ใต๋ก่อนนำมายังห้องปฏิบัติการด้วย ถ้ามีอนุภาคแอโรซอลมาก เพื่อป้องกันการล่องหน จึงควรพับแผ่นกรองให้ด้านอนุภาคประกบก่อนบรรจุลงภาชนะ และขนถ่ายอย่างระมัดระวัง

### 2.7.7 ประจุไฟฟ้าสถิต

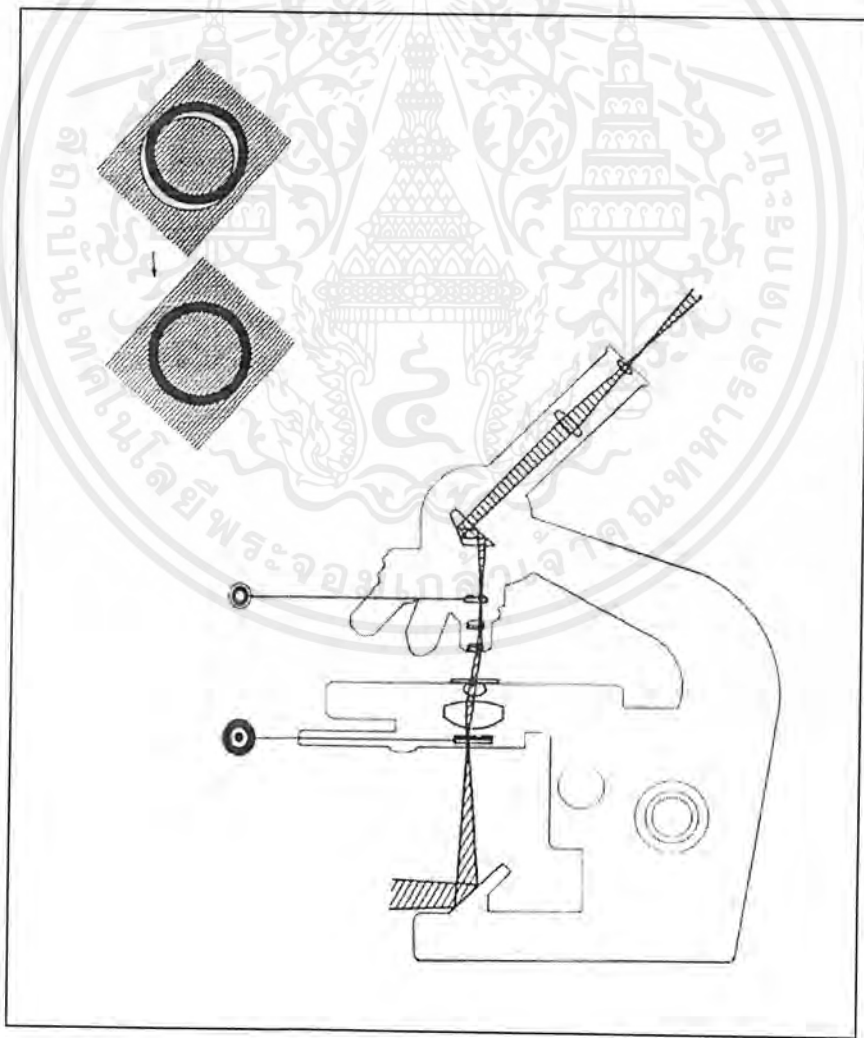
เพื่อลดปัญหาแรงดึงดูด และแรงผลักรจากประจุไฟฟ้าสถิต จึงต้องทำการทดลองแบลงค์และตัวอย่างควบคู่กันด้วย

## 2.8 เทคนิคกล้องจุลทรรศน์แบบเฟสคอนทราสต์ ( The phast contrast microscope )

กล้องแบบนี้เป็นกล้องเลนส์ประกอบชนิดใหม่ที่ผลิตขึ้นมา เพื่อใช้ศึกษาเกี่ยวกับเซลล์หรือเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะบางใส โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของแสงให้ถูกต้อง คือจัดให้แสงมีความยาวคลื่นในช่วงหนึ่ง เมื่อนำวัตถุที่มีความยาวคลื่นเกือบเท่าความยาวคลื่นของแสงที่กั้นไว้แสงจะเกิดการเลี้ยวเบนแยกเป็น 2 ลำแสง จากนั้นก็จะเกิดการเลี้ยวเบนและแทรกสอดกันอีกครั้งทำให้เกิดภาพในระนาบเดียวกัน ระบบเลนส์ที่ใช้ในกล้องชนิดนี้ทุกอย่างที่ใช้ต้องมีลักษณะพิเศษเพราะว่าการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดของแสง กล้องชนิดนี้สามารถศึกษาโครงสร้างเซลล์ของเนื้อเยื่อได้ดี ถึงแม้ว่าวัตถุนั้นจะไม่มีการย้อมสีก็สามารถทำให้เกิดการเลี้ยวเบนและการแทรกสอดขึ้นได้ จนเห็นความแตกต่างของมิติได้ดี มีค่าเปรียบต่างสูงระหว่างวัตถุกับพื้นหลัง

เลนส์รวมแสงแบบเฟสคอนทราสต์ โดยเฉพาะระบบเลนส์ในกล้องจุลทรรศน์แบบเฟสคอนทราสต์ ดูแล้วอาจเหมือนกับกล้องแบบพื้นที่สว่างทั่ว ๆ ไป ที่แทนวางวัตถุประกอบด้วยเลนส์รวมแสงไอริสไดอะแฟรมในกล้องเฟสคอนทราสต์ ต้องมีเลนส์รวมแสงอยู่ภายใน และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถปรับตำแหน่งเพื่อให้แสงแทรกสอดถูกต้องขณะใช้กำลังขยายที่ต่างกัน เลนส์รวมแสงที่ใช้กับกล้องแบบเฟสคอนทราสต์มีหลายแบบ ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกัน บางแบบใช้ได้ทั้งพื้นสว่างและพื้นมืด และเฟสคอนทราสต์ในตัวเดียวกัน นับว่าสะดวกต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก การปรับตั้งเลนส์รวมแสงให้ถูกต้องตามหลักเฟสคอนทราสต์ ต้องตั้งศูนย์กลางของเลนส์รวมแสงให้ถูกต้องก่อน ส่วนใหญ่ใช้สกรูหมุนปรับ ประโยชน์ที่ได้นี้สำคัญมากกว่าข้อเสีย เพราะการใช้เลนส์รวมแสงที่มีค่าเลขปากช่องต่ำสามารถใช้ศึกษาตัวอย่างในหลอดทดลองได้ผลดีมากว่าเลนส์แบบอื่น ตัวอย่างที่พบบ่อยคือ การทำระยะงาน 20 มิลลิเมตร เลขปากช่อง 0.25 เป็นของ Wild Heerbrugg และระยะทำงาน 12 มิลลิเมตร เลขปากช่อง 0.7 ของ Nikon นอกจากนี้รูปแบบเลนส์รวมแสงที่ใช้งานได้หลายอย่างรวมอยู่ในตัวเดียวกัน เป็นเลนส์ที่ผลิตโดยบริษัท Leitz เรียกว่าเลนส์รวมแสงแบบฮิน (Heine condenser) เลนส์สามารถปรับให้ขึ้นลงได้ ภาพที่เกิดขึ้นภายในกล้องมีตั้งแต่ พื้นสว่างพื้นดำ และเฟสคอนทราสต์ โดยใช้เลนส์ตัวเดียวกัน ดังรูป 2-10



รูปที่ 2-11 หลักการทำงานของกล้องเฟสคอนทราสต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Sample) รุ่น 2100 ยี่ห้อ ECOTECH
- 3.1.2 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดตัวบุคคล (Personal Sample Pumps) รุ่น 224-PCXR ยี่ห้อ SKC
- 3.1.3 เครื่องปรับเทียบอัตราการไหล (Pump Calibrators) รุ่น UltraFlo™ Electronic Calibrator
- 3.1.4 เครื่องชั่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB 204
- 3.1.5 เครื่องอะตอมมิค แอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectropotometry) รุ่น 670 ยี่ห้อ SHIMATSU
- 3.1.6 เครื่องไมโครเวฟไคเจสเตอร์ (Microwave Digester) รุ่น mls 1200 mega ยี่ห้อ MILESTONE
- 3.1.7 ถังจลทรรศน์ ชนิดเฟส-คอนแทรสต์ ยี่ห้อ NIKON
- 3.1.8 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น ช่วงอุณหภูมิ  $15-30^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$  ความชื้น  $20-45\% \pm 5\%$
- 3.1.9 บารอมิเตอร์
- 3.1.10 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.1.11 มานอมิเตอร์ ยี่ห้อ Dwyer
- 3.1.12 ที่ตัดพืชชา
- 3.1.13 กระจกสไลด์ และกระจกสำหรับปิดทับสไลด์

#### 3.2 วัสดุและสารเคมี

- 3.2.1 กระดาษกรองใยแก้ว ขนาด 8 นิ้ว  $\times$  10 นิ้ว ยี่ห้อ Whatman
- 3.2.2 กระดาษกรองมิกซ์เซลลูโลส-เอสเทอร์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ขนาดรูที่อนุภาคผ่านได้เป็น 0.8 ไมครอน
- 3.2.3 กรดไนตริกเข้มข้น 65% ยี่ห้อ CARLO ERBA เกรควิเคราะห์
- 3.2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 95-97% ยี่ห้อ MERCK เกรควิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 อะซิโตน

3.2.4 สารละลายมาตรฐานตะกั่วเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม

3.2.5 สารละลายมาตรฐานแคดเมียมเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม

3.2.6 สารละลายมาตรฐานโครเมียมเข้มข้น 1,000 พีพีเอ็ม

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การชั่งน้ำหนักกระดาศกรอง

- วิธี
- 1.) นำกระดาศกรองไปส่องกับแสงไฟ เพื่อตรวจสอบรอยฉีกขาด หรือรอย
  - 2.) อบกระดาศกรองไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น นาน 24 ชั่วโมง
  - 3.) นำกระดาศกรองที่อบแล้วมาชั่งน้ำหนัก จนได้น้ำหนักที่แน่นอนบันทึกหมายเลขกระดาศกรอง และน้ำหนักที่แน่นอน แล้วเก็บกระดาศกรองใส่ซอง เพื่อป้องกันฝุ่น

#### 3.3.2 การเก็บตัวอย่างอากาศ

- ผนวก ข
- 1.) อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 100 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไป
    - 1.1) ทำการปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก ดังภาคเป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึก อุณหภูมิ ความดัน
    - 1.2) ใส่กระดาศกรองที่ชั่งน้ำหนักแล้วเข้าเครื่อง จากนั้นเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง บันทึก อุณหภูมิ ความดัน
    - 1.3) เก็บกระดาศกรองแบบครึ่งใส่ซอง จากนั้นนำกระดาศกรองไปอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
    - 1.4) ชั่งน้ำหนักกระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง
  - 2.) อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไป เปลี่ยนหัวเก็บตัวอย่างอากาศเป็นหัวคัดแยกขนาดฝุ่นไม่เกิน 10 ไมครอน จากนั้นเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 1.)
  - 3.) อนุภาคที่มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน ที่บุคคลซึ่งทำงานภายนอกอาคารตลอด มีโอกาสได้รับ
    - 3.1) นำกระดาศกรอง PVC อบในตู้ควบคุมอุณหภูมิ และความชื้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักสมดุล
    - 3.2) ชั่งน้ำหนักกระดาศกรองด้วยเครื่องชั่ง

3.3) ทำการปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบติดตัวบุคคล ดังภาค

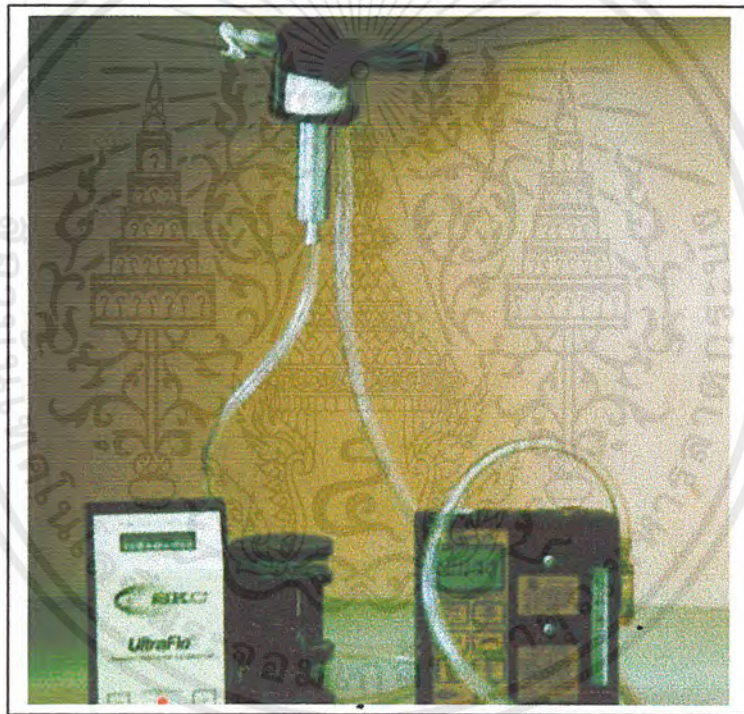
ผนวก ค

3.4) นำกระดาศกรงที่ซั้งแล้วใส่ใน Holder แล้วต่ออุปกรณ์ ดังรูป 3-1

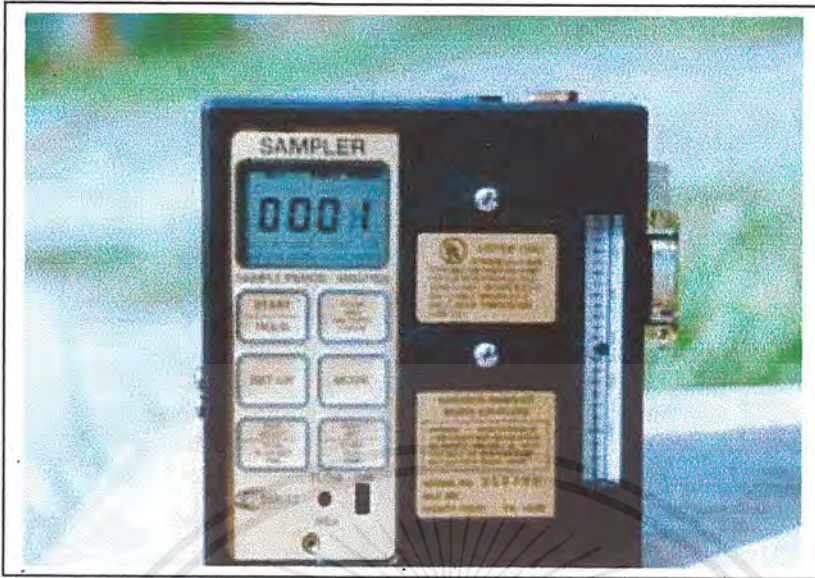
3.5) ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 8 ชั่วโมง บันทึก อุณหภูมิ ความดัน

3.6) นำกระดาศกรงที่เก็บตัวอย่างแล้ว ไปอบในตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนน้ำหนักคงที่

3.7) ชั่งน้ำหนักกระดาศกรงหลังเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 3-1 การต่ออุปกรณ์เพื่อปรับเทียบอัตราการดูดอากาศ



รูปที่ 3-2 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล

### 3.3.3 การเตรียมตัวอย่าง

#### 1.) การเตรียมตัวอย่างที่เก็บด้วยกระดาษกรองใยแก้ว สำหรับวิเคราะห์โลหะ

หนัก

- 1.1) ตัดกระดาษกรองใยแก้วบนที่ตัดที่ได้ใช้ทำความสะอาดด้วยอะซิโตน แล้ว โดยตัดให้มีขนาด  $2 \times 20$  เซนติเมตร ด้วยที่ตัดพิชชา ดังรูป 3-3
- 1.2) ใช้ที่คีบหนีบกระดาษกรอง จากข้อ 1.1) ใส่ในหลอดสำหรับย่อย จาก นั้่นปิเปตกรดไนตริก 65% จำนวน 4 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริก 98.5% จำนวน 1 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท
- 1.3) นำหลอดสำหรับย่อยใส่ในที่บรรจุแล้วไขให้แน่น จากนั้นนำเข้าไปใน เครื่องไมโครเวฟไคเจสเตอร์
- 1.4) ทำการตั้งโปรแกรมการทำงาน ดังแสดงในภาคผนวก ง
- 1.5) เมื่อทำการย่อยสลายเสร็จสิ้น นำออกมาทำการหล่อเย็น
- 1.6) นำสารละลายที่ได้เทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ตั้ง หลอดสำหรับย่อย และปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศไอออน (DI Water)
- 1.7) เทสารละลายตัวอย่างที่ได้ใส่ขวดพลาสติก แล้วเก็บไว้ในที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า  $4^{\circ}\text{C}$  มี PH น้อยกว่า 2

หลอดสำหรับย่อย และปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศไออน (DI Water)

1.7) เทสารละลายตัวอย่างที่ได้ใส่ขวดพลาสติก แล้วเก็บไว้ในที่อุณหภูมิ ต่ำกว่า 4°C มี PH น้อยกว่า 2

1.8) เตรียมแบลงค์เช่นเดียวกับตัวอย่าง โดยเปลี่ยนเป็นกระดวยกรองที่ยังไม่ ได้เก็บตัวอย่าง

1.9) เตรียมตัวอย่างที่เก็บบนกระดวยกรองมิคซ์เซลลูโลส-เอสเทอร์ เช่นเดียวกับ กระดวยกรองใยแก้ว แต่ไม่ต้องนำไปตัด

2.) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการพิจารณาลักษณะรูปร่าง

2.1) ทำความสะอาดบริเวณที่จะใช้ในการเตรียมตัวอย่าง อุปกรณ์ เช่น กระจกสไลด์ และกระจกแผ่นบาง ๆ สำหรับปิดทับวัตถุตัวอย่าง ก็มสำหรับตีบกระดวยกรอง และมีคปลายแหลม ทั้งนี้เพื่อป้องกันการปนเปื้อนในวัตถุตัวอย่าง

2.2) ใช้ลิมป์แผ่นกระดวยกรองตัวอย่าง วางลงบนแผ่นกระจกสไลด์ โดย ให้ด้านที่มีวัตถุตัวอย่างอยู่ด้านบน

2.3) นำไปอบด้วยไอของสารอะซีโตน ซึ่งจะทำให้กระดวยกรองตัวอย่าง โปร่งแสง ในการอบกระดวยกรองตัวอย่างด้วยสารอะซีโตนนั้น จะต้องทำในตู้ดูดควัน และต้อง อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดไฟ เนื่องจากอาจเกิดการระเบิดหรือลัดวงจรไฟได้ ให้ความร้อนกับสาร อะซีโตนจนกลายเป็นไอ โดยใช้อุปกรณ์การอังไอน้ำ

2.4) หยคน้ำมันจำนวน 2-3 หยดลงบนกระดวยกรอง แล้วนำกระจกแผ่น บาง ๆ มาปิดทับกระดวยกรองตัวอย่าง โดยวางกระจกแผ่นบาง ๆ ให้ทำมุม 45 องศากับกระจก สไลด์ แล้วค่อย ๆ วางกระจกดังกล่าว ลงปิดทับกระดวยกรองตัวอย่างโดยไม่เกิดฟองอากาศ

2.5) ในกรณีที่ต้องการให้กระดวยกรองตัวอย่างโปร่งแสงเร็วขึ้น สามารถทำ ได้โดยการให้ความร้อนปริมาณ 50 องศาเซลเซียส กับสไลด์ตัวอย่างเป็นเวลาประมาณ 15 นาที

2.6) เตรียมแบลงค์ โดยการนำกระดวยกรอง ที่ยังไม่นำไปเก็บตัวอย่าง อากาศ มาดำเนินการตามขั้นตอนตามข้อ 2.1 - 2.6

2.7) นำสไลด์ตัวอย่างไปพิจารณารูปร่าง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบเฟส คอนทราสต์



1.3) การหาความเข้มข้นของอนุภาคในบรรยากาศ

$$C = \frac{(W_i \times W_f) \times 10^6}{V} \dots\dots\dots(3.3)$$

โดย

$Q_{std}$  คือ อัตราการไหลของการชักตัวอย่างอากาศที่สภาวะมาตรฐาน หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

$Q_a$  คือ อัตราการไหลของการชักตัวอย่างอากาศขณะทำการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตรต่อนาที

$T_{std}$  คือ อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (298.15 องศาเซลวิน)

$T_a$  คือ อุณหภูมิขณะทำการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น องศาเซลวิน

$P_{std}$  คือ ความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน (101.3 กิโลปาสกาล)

$P_a$  คือ ความดันบรรยากาศขณะทำการเก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น กิโลปาสกาล

$V$  คือ ปริมาตรอากาศที่เก็บ หน่วยเป็น ลูกบาศก์เมตร

$t$  คือ ระยะเวลาที่เก็บตัวอย่าง หน่วยเป็น นาที

$C$  คือ ความเข้มข้นของอนุภาคในบรรยากาศ หน่วยเป็น ไมโครกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร

$W_i$  คือ น้ำหนักกระดาษกรองก่อนทำการเก็บตัวอย่างอากาศ หน่วยเป็น กรัม

$W_f$  คือ น้ำหนักกระดาษกรองหลังทำการเก็บตัวอย่างอากาศ หน่วยเป็น กรัม

2.) การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

2.1) นำสารละลายตัวอย่างไปวิเคราะห์หาปริมาณ โครเมียม , แคดเมียม และ ตะกั่ว โดยเครื่องอะตอมมิก แอปซอบชั่น สเปกโตรมิเตอร์

2.2) นำความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลาย มาคำนวณหาปริมาณโลหะหนัก ดังสมการ 3.4

$$C = \frac{(C_s \times V/n) - F_b}{V_{stp}} \dots\dots\dots(3.4)$$

เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $C$  คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในบรรยากาศ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- $C_s$  คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลาย (พีพีเอ็ม)
- $n$  คือ อัตราส่วนของตัวอย่างต่อพื้นที่ทั้งหมด
- $F_b$  คือ ความเข้มข้นของโลหะหนักในกระดาษกรองเปรียบเทียบ (blank filter section) ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร
- $V_{stp}$  คือ ปริมาตรอากาศที่ปรับแก้แล้ว (ลูกบาศก์เมตร)

### 3.) การตรวจดูลักษณะรูปร่าง

- 3.1) นำกระดาษกรองตัวอย่างที่เก็บตามตัวอย่างข้อ 3.3.2 ที่อิมตัวด้วยไออะซิโตน มาหยคน้ำมัน เพื่อให้โปร่งแสง
- 3.2) เริ่มตรวจลักษณะของอนุภาคฝุ่น โดยเริ่มใช้เลนส์ที่กำลังขยายต่ำ ๆ ให้เห็นภาพชัดเจน ตามหลักการใช้กล้องจุลทรรศน์ก่อน
- 3.3) เปรียบเทียบกับแบลด์ส์ ซึ่งเป็นกระดาษกรองที่ยังไม่ได้เก็บตัวอย่าง

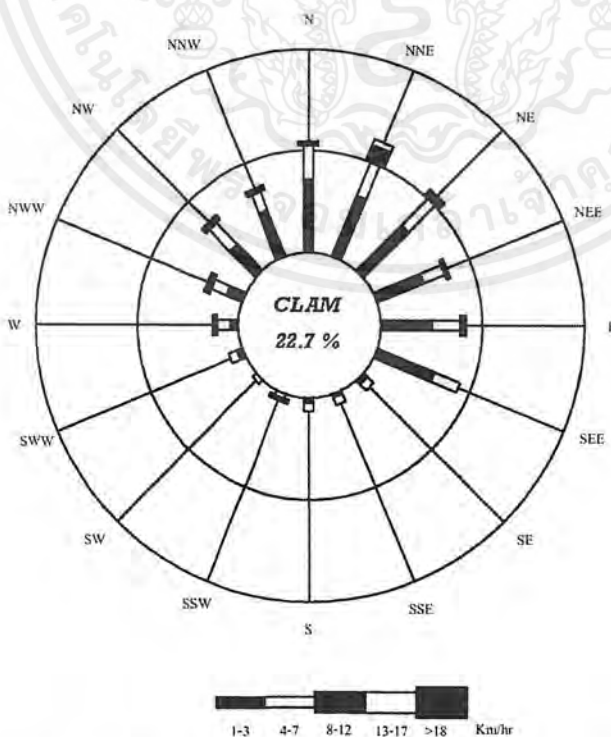
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและวิจารณ์

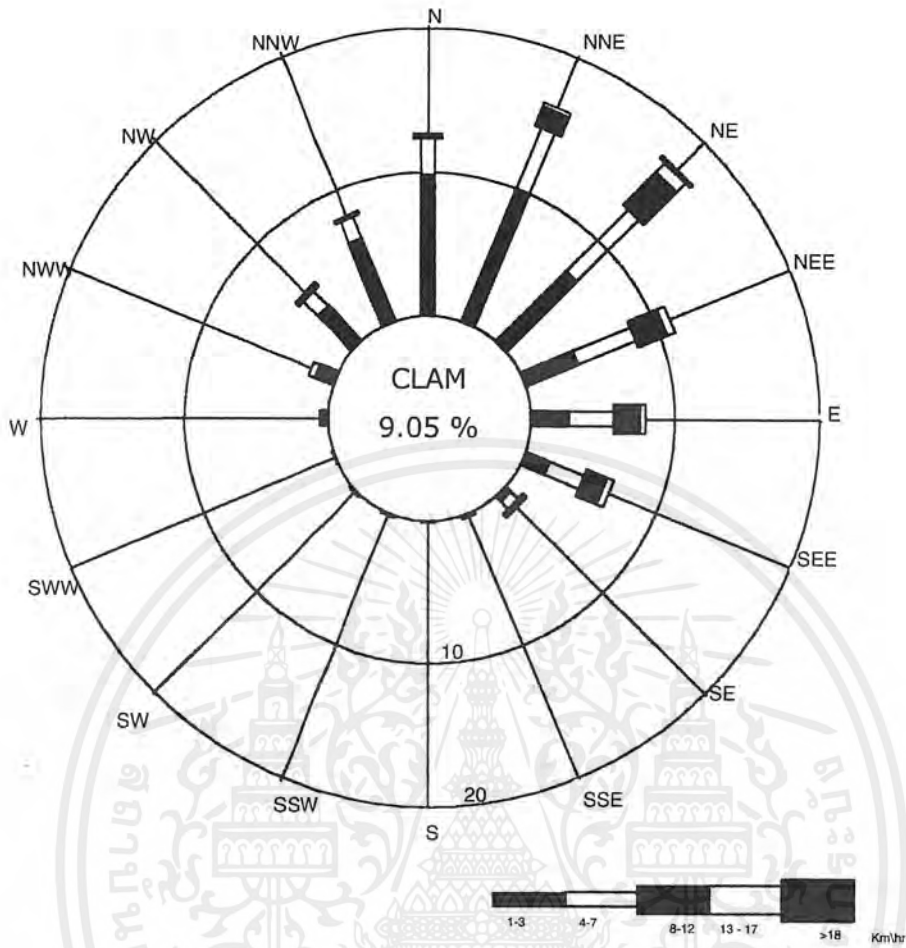
จากการทดลองนี้เป็นการตรวจสอบปริมาณฝุ่น ปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละออง โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรมาก พร้อมทั้งหาคัดแยกขนาดอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้คณะวิทยาศาสตร์เป็นตัวแทนในการเก็บตัวอย่าง พร้อมทั้งได้รวบรวมนำข้อมูลความเร็ว และทิศทางลม มาจัดทำแผนภูมิลมในช่วงการเก็บตัวอย่าง นอกจากนี้ยังได้ศึกษาลักษณะรูปร่างของฝุ่นละอองที่ตกอยู่บนกระดาษกรอง ซึ่งผลการทดลองเป็นดังต่อไปนี้

#### 4.1 แผนภูมิลม

ในการเก็บตัวอย่างอากาศจะต้องพิจารณาถึงทิศทางลมและความเร็วลม เนื่องจากมีความสำคัญต่อปริมาณฝุ่นที่เก็บได้ รวมถึงคุณลักษณะของฝุ่นที่ได้ ซึ่งโครงการพิเศษนี้ได้จัดทำแผนภูมิลม ในแต่ละช่วง โดยช่วงที่ 1 ช่วงเดือน สิงหาคม ถึงเดือนกันยายน เป็นตัวแทนของช่วงที่มีฝนตก ช่วงที่ 2 คือ เดือน พฤศจิกายน ถึงเดือนธันวาคม เป็นตัวแทนของช่วงที่มีอากาศเย็น และช่วงที่ 3 คือ เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมีนาคม เป็นตัวแทนของช่วงที่มีอากาศร้อน ดังแสดงในรูป 4-1-4-3

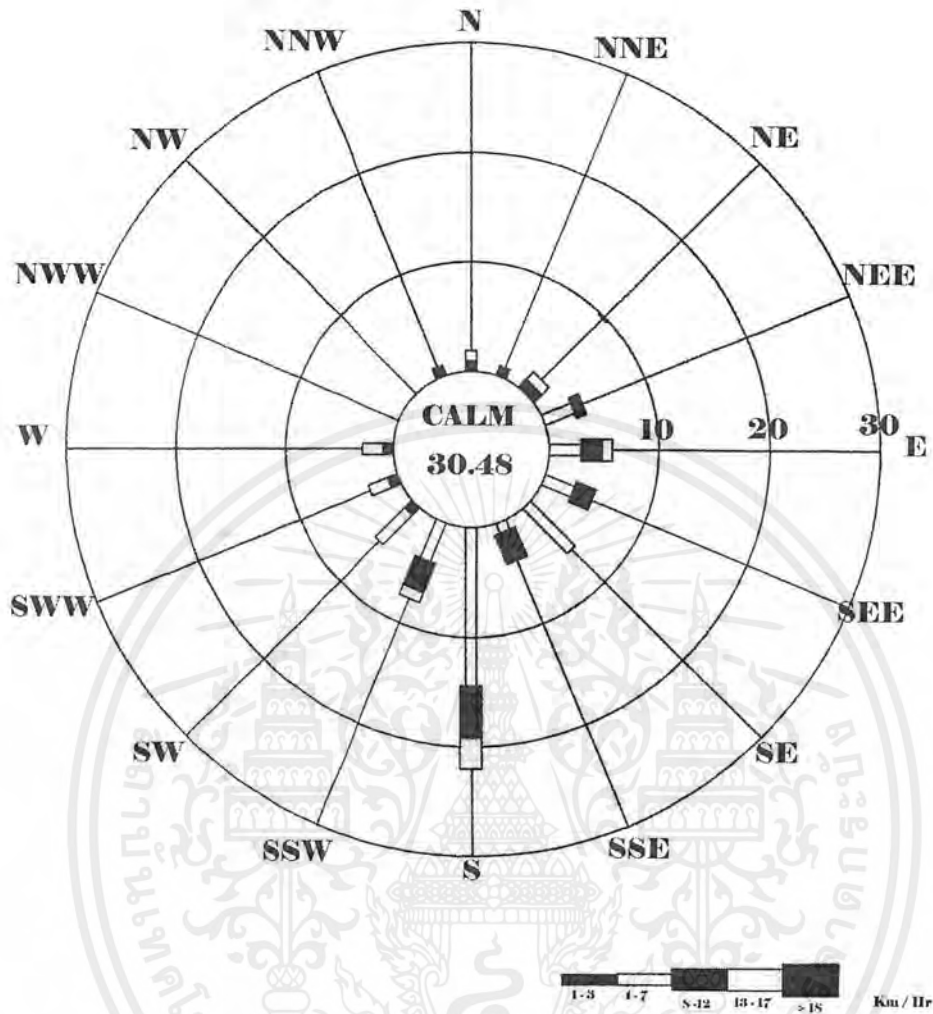


รูปที่ 4 - 1 แผนภูมิลมช่วงวันที่ 25 สิงหาคม 2542 ถึงวันที่ 8 กันยายน 2542 โดยใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 \* ข้อมูลปฐมภูมิจาก สถานีตรวจวัดอากาศที่ 9 เขตลาดกระบัง กรมอุตุนิยมวิทยา ที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 - 2 แผนภูมิลมช่วง วันที่ 25 พฤศจิกายน 2542 ถึงวันที่ 8 ธันวาคม 2542

\*\* ข้อมูลปฐมภูมิจาก ภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



รูปที่ 4-3 แผนภูมิลม ระหว่างวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2543 ถึง วันที่ 1 มีนาคม 2543

\*\*ข้อมูลปฐมภูมิจาก สถานีตรวจวัดอากาศกรุงเทพมหานคร กรมอุตุนิยมวิทยา

เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิลมสามารถสรุปได้ดังนี้

- ในช่วงเดือน สิงหาคม ถึง เดือนกันยายน ลมส่วนใหญ่จะพัดมาจากทิศ ตะวันตกเฉียงเหนือ จนถึงทิศ ตะวันออกเฉียงเหนือ ด้วยความเร็วไม่เกิน 17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยมีลมสงบ 22.7 เปอร์เซ็นต์
- ในช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึงเดือน ธันวาคม ลมส่วนใหญ่จะพัดมาจากทิศ ตะวันตกเฉียงเหนือ จนถึง ทิศตะวันออก ด้วยความเร็วสูงสุด 18 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในช่วงนี้ส่วนใหญ่จะมีลมพัดตลอดเวลา ลม จะพัดแรงกว่าลมในฤดูฝน โดยมีเปอร์เซ็นต์ลมสงบเพียง 9.05 เปอร์เซ็นต์
- ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึงเดือน มีนาคม เป็นช่วงที่ไม่ค่อยมีลม มีเปอร์เซ็นต์ลมสงบสูงถึง 30.48 เปอร์เซ็นต์ ลมส่วนใหญ่พัดมาจากทางทิศใต้ มีความเร็วสูงสุดไม่เกิน 17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (TSP) และการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

จากการตรวจวัดปริมาณฝุ่น และการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละอองได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตาราง 4.2 แสดงปริมาณฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน และปริมาณโลหะหนัก

ครั้งที่	ช่วงเดือน สิงหาคม ถึง กันยายน				ช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม				ช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึง มีนาคม			
	TSP	Cd	Pb	Cr	TSP	Cd	Pb	Cr	TSP	Cd	Pb	Cr
1	87	5.50E-05	5.50E-04	1.00E-04	141	2.90E-05	2.00E-04	3.30E-04	163	1.42E-05	ND	4.40E-04
2	70	9.80E-06	9.60E-04	2.00E-05	122	3.50E-05	1.20E-04	1.70E-04	147	1.63E-05	1.40E-04	3.90E-04
3	65	6.40E-06	1.13E-03	1.30E-04	147	1.90E-05	2.00E-05	6.60E-04	135	8.13E-06	ND	5.90E-04
4	50	3.20E-06	1.50E-04	2.00E-05	87	2.60E-05	1.70E-04	6.00E-05	111	1.99E-05	ND	4.80E-04
5	81	3.20E-06	1.09E-03	3.60E-04	103	2.50E-05	1.70E-04	2.20E-04	143	2.39E-05	ND	6.00E-04
6	-	-	-	-	122	1.90E-05	1.50E-04	6.00E-05	146	1.56E-05	ND	5.80E-04
7	-	-	-	-	105	4.30E-05	2.40E-04	1.30E-04	164	1.86E-05	ND	5.60E-04
เฉลี่ย	71	1.50E-05	7.80E-04	1.20E-04	118	2.80E-05	1.50E-04	2.30E-04	144	1.70E-05	1.40E-04	5.20E-04
SD	13	2E-05	3.74E-04	5.4E-05	20	8E-06	6.5E-05	1.95E-04	17	4.6E-06	0	7.7E-05

หมายเหตุ ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

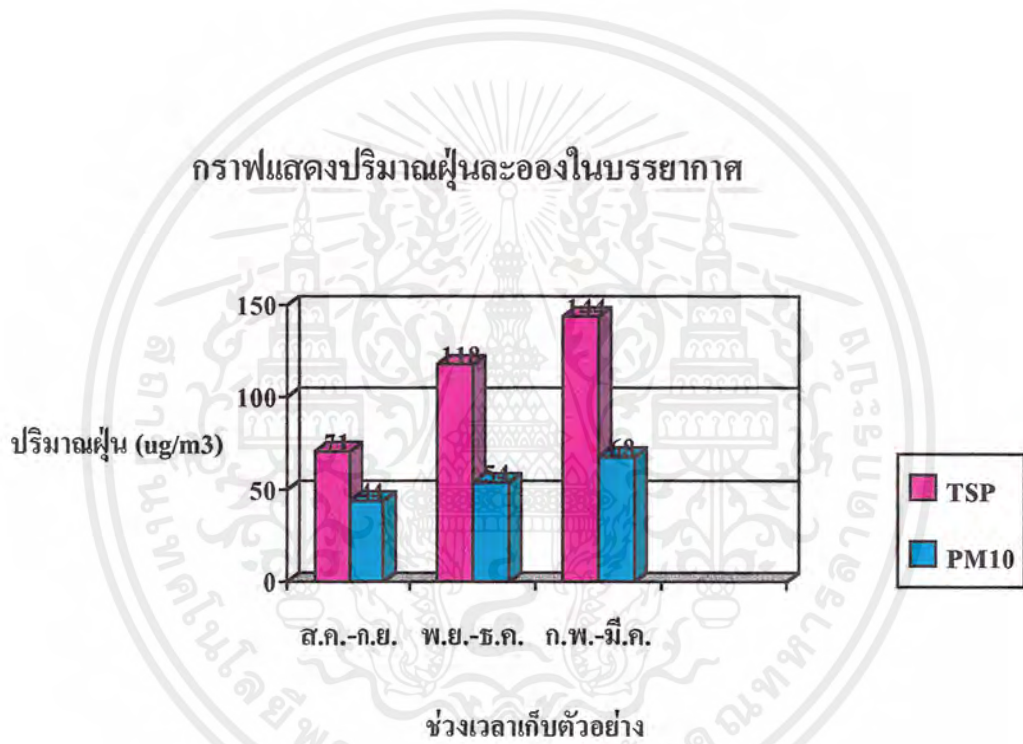
- หมายถึง ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง เนื่องจากอุปกรณ์ขัดข้อง

จากตารางแสดงให้เห็นว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดน้อยกว่า 100 ไมครอน ในช่วงเดือน สิงหาคมถึงเดือนกันยายนั้นจะมีปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับช่วงอื่น ๆ เนื่องจากเป็นช่วงที่มีฝนตก ซึ่งน้ำฝนจะชะฝุ่นละอองให้ตกลงมากับเม็ดฝน ทำให้ในบรรยากาศมีปริมาณฝุ่นน้อย ในช่วงเดือน พฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม จะมีปริมาณฝุ่นละออง TSP เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณฝนที่ลดน้อยลง ความชื้นในอากาศจึงต่ำมีผลให้สภาพอากาศในช่วงนี้แห้งมากขึ้น ฝุ่นละอองขนาดเล็กจึงฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศมากขึ้น ส่วนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคมมีปริมาณ TSP มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากช่วงนี้อากาศมีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ใกล้เคียงฤดูร้อน ปริมาณลมที่พัดพาก็น้อยลง ฝุ่นจึงสามารถฟุ้งกระจายอยู่ในบรรยากาศได้นานทำให้ตรวจวัดได้ปริมาณมาก

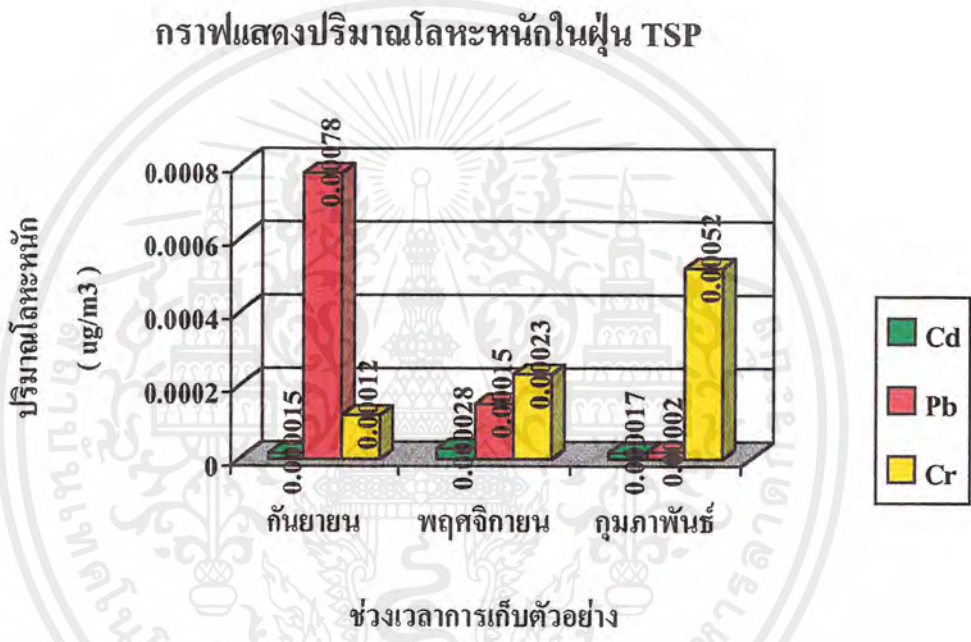
นอกจากนี้จากตารางยังแสดงให้เห็นถึงปริมาณแคดเมียม ตะกั่ว และโครเมียมในฝุ่นละออง โดยปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ชนิดจะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกันในแต่ละช่วงที่เก็บตัวอย่าง โดยในช่วงของเดือนสิงหาคม ถึง เดือนกันยายน จะพบปริมาณตะกั่วมาก ช่วงเดือนพฤศจิกายน ถึง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือนธันวาคม จะพบแคะเค็ยมมาก และช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือน มีนาคม จะพบ โครเมียมเป็น ปริมาณมาก

จากผลการทดลองในตารางสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณฝุ่น ละออง TSP ในแต่ละช่วง และปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในแต่ละช่วง ดังรูปที่ 4 - 4 และ 4 - 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 - 4 แสดงปริมาณฝุ่นละออง TSP และ PM<sub>10</sub> ในแต่ละช่วงที่เก็บตัวอย่าง



รูปที่ 4 - 5 แสดงปริมาณ Cd, Pb และ Cr ในแต่ละช่วงที่เก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>)

จากการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละอองได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และปริมาณโลหะหนัก

ครั้งที่	ช่วงเดือน สิงหาคม ถึง กันยายน				ช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม				ช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึง มีนาคม			
	PM <sub>10</sub>	Cd	Pb	Cr	PM <sub>10</sub>	Cd	Pb	Cr	PM <sub>10</sub>	Cd	Pb	Cr
1	57	3.20E-06	5.00E-05	2.00E-04	55	2.20E-05	1.20E-04	4.00E-05	47	1.30E-05	0.00016	2.36E-04
2	59	2.20E-05	2.00E-05	4.50E-04	73	4.40E-06	1.10E-04	2.50E-04	46	7.80E-06	1.90E-04	1.84E-04
3	37	1.90E-05	5.00E-04	3.90E-04	33	4.30E-06	2.80E-05	3.00E-04	38	ND	8.50E-05	7.39E-05
4	30	3.20E-06	8.00E-04	3.10E-04	39	1.30E-05	2.60E-05	9.00E-05	122	4.30E-06	1.70E-04	1.28E-04
5	34	9.60E-06	4.00E-05	8.00E-05	65	ND	3.70E-05	2.00E-04	76	ND	3.00E-04	8.83E-05
6	50	2.20E-05	1.70E-03	5.00E-04	58	ND	8.00E-05	7.00E-05	76	1.30E-05	1.80E-04	1.29E-04
7	40	4.80E-05	9.00E-04	2.70E-04	-	-	-	-	-	-	-	-
เฉลี่ย	44	1.80E-05	6.00E-04	3.10E-04	54	1.10E-05	6.70E-05	1.60E-04	68	9.40E-06	1.80E-04	1.40E-04
SD	11	1.5E-05	6.19E-04	1.46E-04	15	8.4E-06	4.2E-05	1.06E-04	31	4.3E-06	6.9E-05	6.1E-05

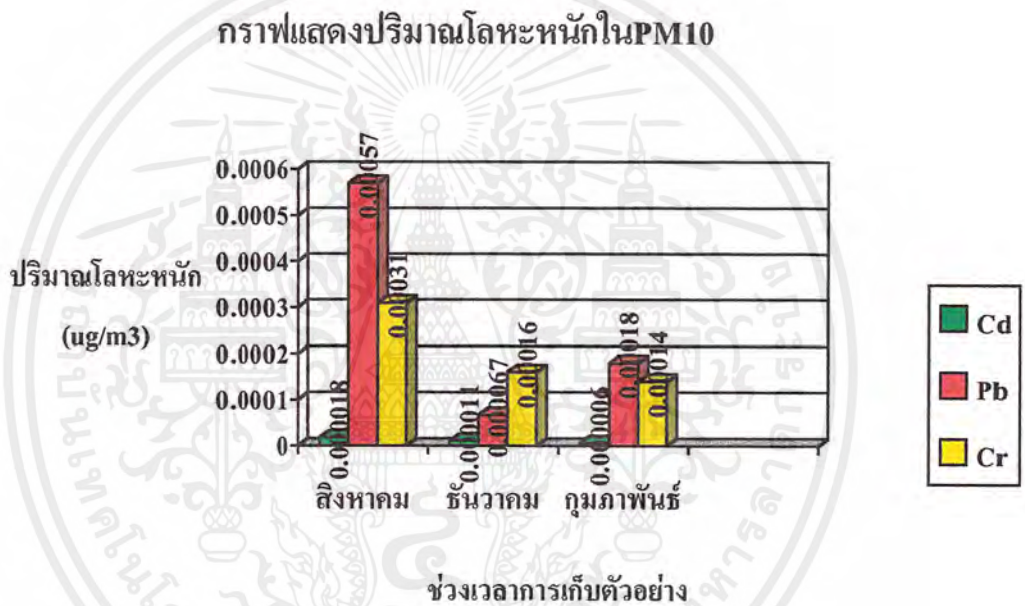
หมายเหตุ ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวัดได้

- หมายถึง ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง เนื่องจากอุปสรรคขัดข้อง

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM<sub>10</sub>) นั้นมีมากที่สุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมีนาคม เช่นเดียวกับกับ ปริมาณ TSP และด้วยเหตุผลเดียวกัน ก็เป็นช่วงที่สภาพอากาศมีความแห้งแล้งมากรวมถึงเป็นช่วงใกล้หน้าร้อน อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากการที่ความชื้นในอากาศมีผลต่อการรวมตัวของฝุ่นดังนั้นหากความชื้นในอากาศต่ำฝุ่นขนาดเล็กก็จะไม่เกิดการรวมตัวกันทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่น ประกอบกับช่วงนี้มีลมพัดน้อยฝุ่นก็จะสามารถลอยตัวอยู่ในบรรยากาศได้นาน จึงตรวจวัดได้ปริมาณมาก

ส่วนปริมาณโลหะหนักที่พบในฝุ่นละออง PM<sub>10</sub> นั้นพบว่าทั้ง แคดเมียม ตะกั่ว และโครเมียม มีปริมาณมากที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม ถึงเดือนกันยายน เหมือนกันทั้ง 3 ชนิด

จากผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.2 สามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของปริมาณฝุ่นละออง PM<sub>10</sub> ในแต่ละช่วงเดือน และปริมาณโลหะหนักแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเดือน ดังรูปที่ 4 - 4 และ 4 - 6 ตามลำดับ



รูปที่ 4 - 6 แสดงปริมาณ Cd, Pb และ Cr ในแต่ละช่วงที่เก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละออง ในแต่ละช่วงที่เก็บตัวอย่าง ส่วนใหญ่ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ยกเว้น ปริมาณตะกั่วในฝุ่น TSP ทั้ง 3 ช่วง ปริมาณ Cr ในฝุ่น TSP ในช่วงเดือน สิงหาคม ถึงเดือนกันยายน กับช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึงเดือน ธันวาคม และช่วงเดือนสิงหาคม ถึงเดือนกันยายนกับช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึงเดือนมีนาคม และปริมาณตะกั่วในฝุ่น  $PM_{10}$  ในช่วงเดือน พฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม กับช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ทั้งนี้เนื่องจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยา ที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงการเก็บตัวอย่าง เช่น ทิศทางลม ความเร็วลม เบอร์เซนต์ลมสงบ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความดันบรรยากาศ และปริมาณน้ำฝน นอกจากนี้กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงที่เก็บตัวอย่าง ก็แตกต่างกัน ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละอองทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างทิศทางและความเร็วของลมกับปริมาณฝุ่นละอองแล้ว พบว่า เมื่อมีเบอร์เซนต์ลมสงบมากปริมาณฝุ่นละอองก็จะมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากมีการพัดและกระจายตัวของมลสารน้อย เช่น ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมีนาคม มีเบอร์เซนต์ลมสงบมากที่สุด และมีปริมาณฝุ่นละอองสูงที่สุด สำหรับช่วงเดือนสิงหาคม ถึงเดือนกันยายน มีเบอร์เซนต์ลมสงบสูงรองลงมา แต่มีปริมาณฝุ่นละอองน้อยที่สุด เนื่องจากในช่วงเวลานี้มีฝนตกชุก น้ำฝนจะชะฝุ่นละอองให้ตกลงมากับเม็ดฝน และในช่วงนี้ความชื้นในอากาศสูง ฝุ่นละอองจึงเกิดการรวมตัวกันเป็นขนาดใหญ่ แล้วตกลงไป ทำให้ฝุ่นละอองไม่เกิดการฟุ้งกระจาย ในบรรยากาศ จึงมีปริมาณฝุ่นน้อย

#### 4.4 ผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นขนาดเล็กไม่เกิน 5 ไมครอนที่บุคคลซึ่งทำงาน ภายนอกอาคารมีโอกาสได้รับ (Respirable dust)

ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตาราง 4.3 แสดงปริมาณฝุ่นขนาดเล็กไม่เกิน 5 ไมครอน

ครั้งที่	ช่วงเดือนที่เก็บ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
	สิงหาคม-กันยายน	พฤศจิกายน-ธันวาคม	กุมภาพันธ์-มีนาคม
1	0.0007	0.0044	0.0010
2	0.0011	0.0054	0.0024
3	0.0014	0.0014	0.0013
4	0.0010	0.0002	0.0012
5	0.0017	0.0039	0.0012
6	0.0017	0.0044	0.0012
7	0.0014	0.0045	0.0023
8	0.0012	0.0029	0.0023
9	0.0012	0.0036	-
10	0.0025	-	-
11	0.0009	-	-
12	0.0008	-	-
เฉลี่ย	0.0013	0.0034	0.0015

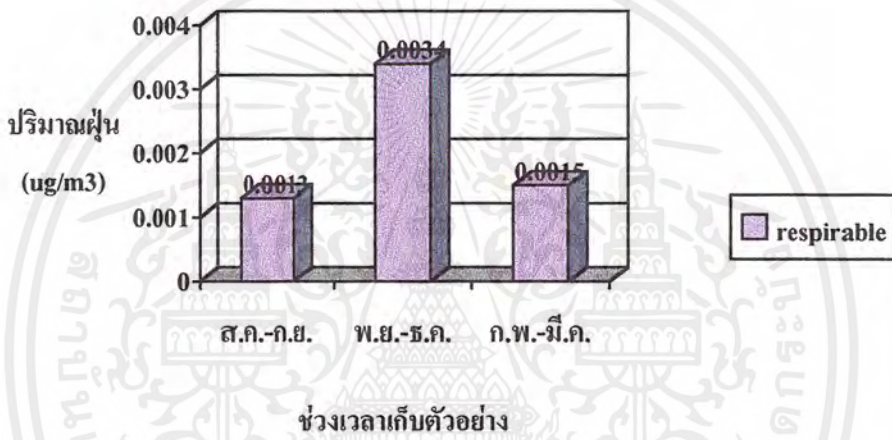
หมายเหตุ - หมายถึง ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่าง

จากตารางพบว่า ปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอนทั้ง 3 ช่วง ที่ทำการเก็บตัวอย่างมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับมาตรฐานของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน ที่บุคคลจะได้รับจากการทำงานตลอดช่วงเวลาการทำงาน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่จากการตรวจวัดพบปริมาณสูงสุดในช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึง ธันวาคม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0034 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่ำกว่าค่ามาตรฐานถึง 99 เปอร์เซ็นต์

จากตารางสามารถเขียนกราฟได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 4 - 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟแสดงปริมาณRespirable dust



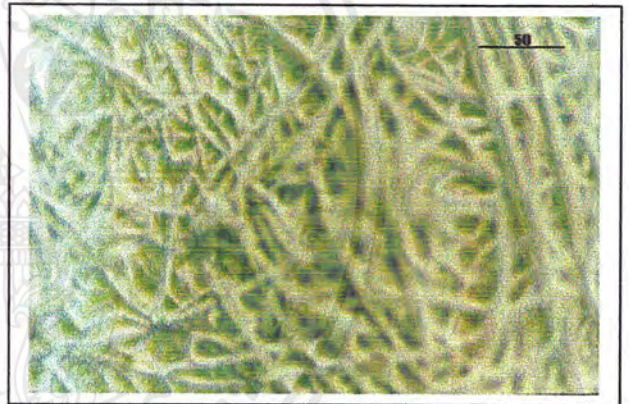
รูปที่ 4-7 แสดงปริมาณของฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน

## 4.5 ผลการตรวจดูลักษณะรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดเฟสคอนทราสต์

### คอนทราสต์

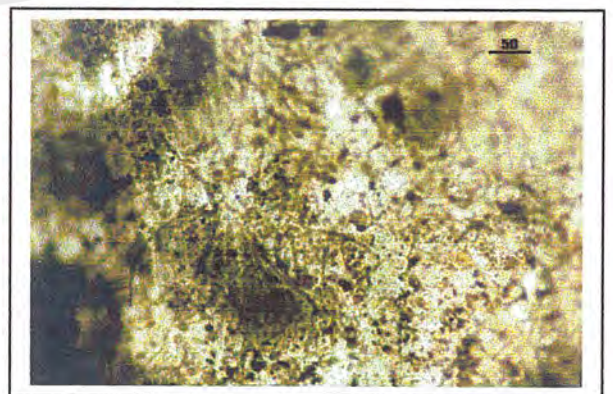
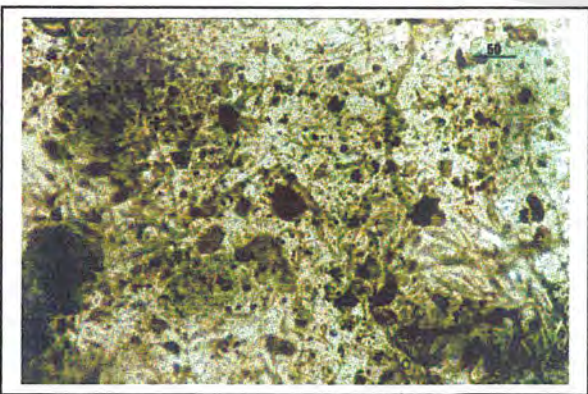
เมื่อตรวจดูอนุภาคของฝุ่นบนกระดาษกรอง โดยใช้กล้องเฟสคอนทราสต์พบว่า อนุภาคฝุ่นส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นแบบอสังฐาน กระจุกกระจายอยู่ทั่วกระดาษกรอง โดยอนุภาคจะเกาะติดกับเส้นใยของกระดาษกรอง ทั้งที่เป็นอนุภาคเดี่ยว และกลุ่มที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคหลายๆ อนุภาค เมื่อพิจารณาลักษณะของสีและการโปร่งแสงพบว่า อนุภาคฝุ่นส่วนใหญ่มีลักษณะ ทึบแสง มีสีน้ำตาลจนถึงสีดำ ดังรูป

จากการเปรียบเทียบชนิดของฝุ่นแต่ละประเภทพบว่า กระดาษกรองที่ได้จากการเก็บฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน จะมีขนาดและความหนาแน่นของอนุภาคฝุ่นมากกว่ากระดาษกรองที่ได้จากการเก็บรวบรวมฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เนื่องจากปริมาณอากาศที่ดูดผ่านกระดาษกรองของการเก็บตัวอย่างมีปริมาณมาก ดังรูป



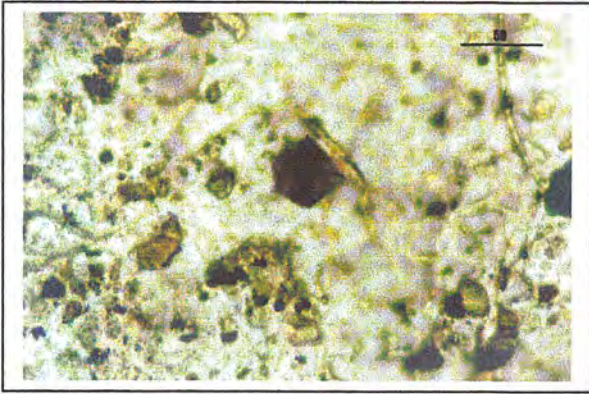
รูปที่ 4-8 แสดง รูปร่างของเส้นใยกระดาษกรองใยแก้ว ก่อนการเก็บตัวอย่างฝุ่น ที่กำลังขยาย 100 เท่า

รูปที่ 4-9 แสดง รูปร่างของเส้นใยกระดาษใยแก้วก่อนการเก็บตัวอย่างฝุ่น ที่กำลังขยาย 200 เท่า

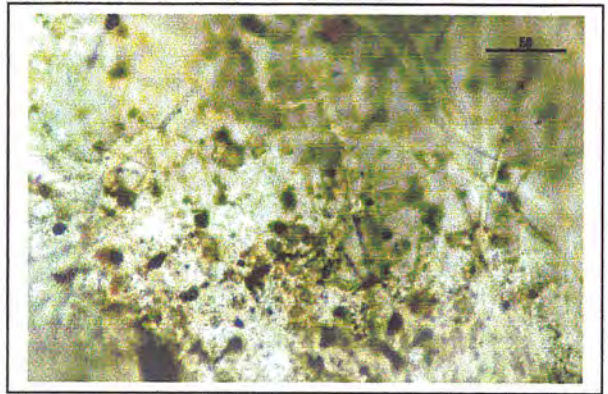


รูปที่ 4-10 รูปร่างของอนุภาคฝุ่น TSP บนกระดาษกรองใยแก้วหลังจากการเก็บตัวอย่าง กำลังขยาย 100 เท่า

รูปที่ 4-11 รูปร่างของอนุภาคฝุ่น PM<sub>10</sub> บนกระดาษกรองใยแก้วหลังจากการเก็บตัวอย่าง กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4-12 รูปร่างของอนุภาคฝุ่น TSP บนกระดาษกรองใยแก้วหลังจากการเก็บตัวอย่าง กำลังขยาย 200 เท่า

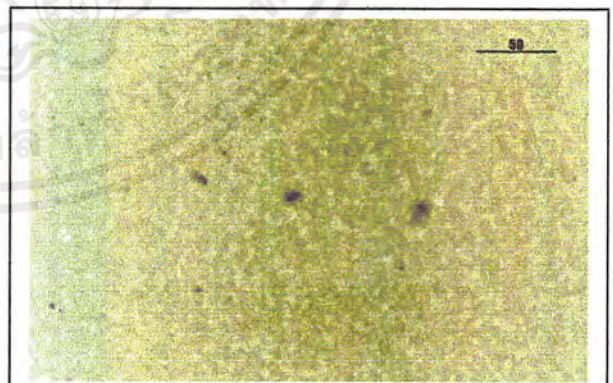


รูปที่ 4-11 รูปร่างของอนุภาคฝุ่น PM<sub>10</sub> บนกระดาษกรองใยแก้วหลังจากการเก็บตัวอย่าง กำลังขยาย 200 เท่า

สำหรับฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน จากการตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิด เฟสคอนทราสต์พบว่า ลักษณะของฝุ่นมีขนาดเล็ก มีจำนวนน้อย กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ อยู่ทั่วไปบนกระดาษกรอง ฝุ่นส่วนใหญ่จะเกาะอยู่ที่ผิวหน้าของกระดาษกรองเท่านั้น โดยลักษณะรูปร่างของฝุ่น มีรูปร่างไม่แน่นอน ซึ่งจากการตรวจดูยังไม่พบอนุภาคที่เป็นเส้นใย หรือรูปเข็ม ลักษณะของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน บนกระดาษกรอง Cellulose เทียบกับกระดาษกรองเปล่า ๆ แสดงดังรูป



รูปที่ 4-14 รูปร่างของ กระดาษกรอง Cellulose ก่อนการเก็บฝุ่น ที่กำลังขยาย 100 เท่า



รูปที่ 4-15 รูปร่างของ ฝุ่นขนาด ไม่เกิน 5 ไมครอนบนกระดาษกรอง Cellulose หลังจากเก็บที่ เวลา 480 นาที ที่กำลังขยาย 200 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก ทำการเก็บฝุ่นละอองโดยตั้งเครื่องบริเวณหน้าอาคารปฏิบัติการเคมีอุตสาหกรรม ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน และในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม ส่วนในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม ได้มีการย้ายสถานที่ตั้งเครื่องมือไปตั้งที่เก็บตัวอย่างบริเวณใกล้กับสนามบาสเกตบอล ภายในคณะวิทยาศาสตร์ เนื่องจากสถานที่เก็บตัวอย่างเดิมนั้น ได้มีการปรับปรุงพื้นที่เพื่อทำการจัดสร้างอาคารเรียนและปฏิบัติการ “จุฬากรณวลักษณ์ 2” ทำให้ไม่สามารถตั้งเครื่องมือไว้บริเวณนั้นได้ ซึ่งจากการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละออง และการวิเคราะห์หาปริมาณปริมาณโลหะหนักในบรรยากาศได้ผลดังนี้

#### ก. ฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (TSP) ในเวลา 24 ชั่วโมง

##### 1) ปริมาณฝุ่นขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารมลพิษตามช่วงระยะเวลาพบว่า ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม จะเป็นช่วงที่มีปริมาณฝุ่นมากที่สุด คือมีปริมาณฝุ่น โดยเฉลี่ยเท่ากับ 144 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 56 เปอร์เซ็นต์ ( มาตรฐานฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน ในบรรยากาศ เท่ากับ 330 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ) (ตั้งภาคผนวก ข) ส่วนในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน เป็นช่วงที่มีปริมาณฝุ่นต่ำที่สุด ซึ่งมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 78 เปอร์เซ็นต์

จากการทดลองสรุปว่าปริมาณฝุ่นรวมขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน ภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ยังอยู่ในระดับปลอดภัย โดยทุกตัวอย่างมีปริมาณฝุ่นต่ำกว่ามาตรฐาน พบค่าสูงสุดเพียง 164 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อมีการทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติ t-test ทั้ง 3 ช่วงเวลาที่เก็บ พบว่าฝุ่นทั้ง 3 ช่วง จะมีปริมาณแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

##### 2) ปริมาณโลหะหนักในฝุ่น

2.1 ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม จะเป็นช่วงที่มีปริมาณแคดเมียมมากที่สุด คือมีปริมาณแคดเมียมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.000028 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม จะเป็นช่วงที่มีปริมาณโครเมียมมากที่สุด คือมีปริมาณโครเมียมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.00052 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.3 ในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน จะเป็นช่วงที่มีปริมาณตะกั่วมากที่สุด คือมีปริมาณตะกั่วโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.00078 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักทุกชนิดที่พบในฝุ่นละอองมีปริมาณน้อยมาก โดยแต่ละชนิดมีความเข้มข้นสูงสุดไม่เกิน 0.001 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นค่าระดับความเข้มข้นที่ จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของบุคคลากรภายในสถาบัน

เมื่อมีการทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติ t-test ทั้ง 3 ช่วงเวลาเก็บ ถือว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ช่วง จะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ความเชื่อมั่น 95 % ยกเว้น แคดเมียม ในเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน กับ เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม แคดเมียม ในเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน กับ เดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม และโครเมียม ในเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน กับ เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม จะไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## ข. ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ( $PM_{10}$ ) ในเวลา 24 ชั่วโมง

### 1) ปริมาณฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารมลพิษตามช่วงระยะเวลาพบว่า ในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม จะเป็นช่วงเดือนที่มีค่าเฉลี่ยของปริมาณฝุ่น และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง แสดงว่าบริเวณจุดเก็บตัวอย่างในช่วงระยะเวลานี้มีผลจากแหล่งกำเนิดเฉพาะกิจไม่ได้ดำเนินไปอย่างสม่ำเสมอและ อยู่ใกล้จุดเก็บตัวอย่าง เช่นการเผาขยะในพื้นที่ใกล้เคียง โดยมีปริมาณฝุ่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 68 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 43 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน จะเป็นช่วงที่มีปริมาณฝุ่นน้อยที่สุด คือมีปริมาณฝุ่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน 63 เปอร์เซ็นต์ ( มาตรฐานของอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศเท่ากับ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ) (ภาคผนวก ข )

จากการทดลองสรุปว่าฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ในบรรยากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ยังมีปริมาณที่อยู่ในระดับความปลอดภัย โดยทุกช่วงที่เก็บตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นต่ำกว่าค่ามาตรฐาน และพบว่ามีเพียง 1 ตัวอย่าง จากจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 20 ตัวอย่างที่มีค่าสูงเกินมาตรฐาน

เมื่อมีการทดสอบความสัมพันธ์ทางสถิติ t-test ทั้ง 3 ช่วงเวลา ถือว่าฝุ่นทั้ง 3 ช่วง จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## 2) ปริมาณโลหะหนักในบรรยากาศ

2.1 ในช่วงเดือน สิงหาคมถึงเดือนกันยายน จะเป็นช่วงเดือนที่มีปริมาณแคดเมียมมากที่สุด คือมีปริมาณแคดเมียมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.000018 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.2 ในช่วงเดือน สิงหาคมถึงเดือนกันยายน จะเป็นช่วงเดือนที่มีปริมาณโครเมียมมากที่สุด คือมีปริมาณโครเมียมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.00031 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.3 ในช่วงเดือน สิงหาคมถึงเดือนกันยายน จะเป็นช่วงเดือนที่มีปริมาณตะกั่วมากที่สุด คือมีปริมาณตะกั่วโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.00057 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ปริมาณโลหะหนักในฝุ่น  $PM_{10}$  ที่พบมีปริมาณน้อยมากเช่นเดียวกับความเข้มข้นในฝุ่น TSP ซึ่งอยู่ในระดับที่ไม่เป็นอันตรายต่อบุคลากรในสถาบัน

เมื่อมีการทดสอบความสัมพัทธ์ทางสถิติ t-test ทั้ง 3 ช่วงเวลา ถือว่าปริมาณโลหะหนักทั้ง 3 ช่วง จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ยกเว้น ตะกั่ว ช่วงเดือน กุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม กับ ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม และโครเมียม ในช่วงเดือน สิงหาคมถึงเดือนกันยายน กับ ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## ค. ฝุ่นขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน (Respirable Dust) ในเวลา 8 ชั่วโมง

### 1) ปริมาณฝุ่นขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน

ในช่วงเดือน พฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม จะเป็นช่วงที่มีปริมาณฝุ่นมากที่สุด คือมีปริมาณฝุ่นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.0036 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในช่วงเดือน สิงหาคมถึงเดือนกันยายน จะเป็นช่วงที่มีปริมาณฝุ่นต่ำที่สุด คือมีปริมาณฝุ่นโดยเฉลี่ยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0013 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากปริมาณฝุ่นที่วัดได้มากที่สุดพบว่ามีความไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่ 5000 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( พ.ร.บ.สิ่งแวดล้อม , 2535 )

เมื่อมีการทดสอบความสัมพัทธ์ทางสถิติ t-test ทั้ง 3 ช่วงเวลา ถือว่าฝุ่นทั้ง 3 ช่วงจะมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ยกเว้นช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน กับ ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงมีนาคม จะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

## ง. สถานการณ์คุณภาพอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาเหตุหลักที่เป็นแหล่งที่มาของสารมลพิษในอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1. ยานพาหนะที่แล่นผ่าน และเข้ามาจอดภายในสถาบัน ฯ ซึ่งจะระบายมลสารออกมาในรูปของควันดำและควันขาว ที่เกิดจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ของน้ำมันเชื้อเพลิง
2. โรงงานอุตสาหกรรม ที่อยู่ใกล้คือ นิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ซึ่งมลพิษที่มาจากแหล่งกำเนิดนี้ มีปริมาณไม่มากเนื่องจากทิศทาง และความเร็วลม ที่พัดมายังสถาบัน ฯ พัดอย่างสม่ำเสมอในช่วงองศากว้าง ๆ ซึ่งเป็นการเจือจางสารมลพิษในอากาศ
3. กิจกรรมการก่อสร้างภายในสถาบัน ฯ ภายในสถาบันมีกิจกรรมการก่อสร้างอาคารเรียนและอาคารสำนักงานต่าง ๆ ทำให้มีการตัดแต่งและขนย้ายวัสดุก่อสร้าง ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดมลสารฟุ้งกระจายในอากาศ
4. กิจกรรมอื่น ๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการแตกหัก การบดขยี้อนุภาคมวล การทำให้เกิดการฟุ้งกระจาย รวมทั้งการเผาไหม้วัสดุต่าง ๆ ในบริเวณใกล้เคียง

เมื่อวิเคราะห์จากข้อมูลทั้งหมดพบว่า สภาพคุณภาพอากาศภายในบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังยังอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจาก

1. บริเวณสถาบันเป็นที่โล่ง และโปร่ง ลมสามารถพัดได้ดี จึงทำให้เกิดการกระจายตัว ไม่เกิดการสะสมของสารมลพิษในอากาศ
2. สภาพถนนที่ผ่านบริเวณสถาบัน ฯ มีช่องทางสายหลัก ปริมาณรถยนต์ที่สัญจรผ่านจึงมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับถนนสายหลักภายในเมือง ปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากยานพาหนะจึงน้อยตามไปด้วย
3. สภาพทางอุณหภูมิต่ำ โดยลมที่พัดผ่านสถาบัน ฯ เป็นลมที่ค่อนข้างจะพัดอยู่ตลอดเวลา และพัดมาจากหลาย ๆ ทิศทาง ซึ่งสารมลพิษที่พัดมากับลมก็จะมาจากหลาย ๆ ต้นกำเนิด ในปริมาณที่น้อย
4. สภาพการก่อสร้างของอาคารต่าง ๆ ภายในสถาบัน ฯ อยู่ในขั้นตอนการต่อเติมอาคารเป็นส่วนใหญ่ ไม่ได้อยู่ในขั้นการปรับพื้นที่ และขนถ่ายวัสดุขณะนั้นปริมาณฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมการก่อสร้างจึงมีน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สองข้างถนนบริเวณสถาบัน ฯ เป็นที่โล่ง ไม่มีอาคารหรือสิ่งก่อสร้างตั้งอยู่ชิดริมถนน  
ฉะนั้นจึงมีการกระจายตัวของสารมลพิษที่เกิดจากยานพาหนะได้มาก
6. ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นประเภทที่ก่อให้เกิดสารมลพิษน้อย
7. จำนวนต้นไม้ที่มีอยู่ทั่วไปในสถาบัน ฯ สามารถที่จะช่วยในการดูดซับ และดูดซับสาร  
มลพิษจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อเสนอแนะ

1. การใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล ในการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 5 ไมครอน นั้นควรใช้กระดาศกรองชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์ ขนาด 0.8 ไมครอน 37 มิลลิเมตร แทนกระดาศกรองชนิดมิกซ์เซลลูโลส เอสเทอร์ เมมเบรน เนื่องจากเป็นกระดาศกรองที่ดูความชื้นน้อยกว่า ซึ่งจะทำให้สามารถชั่งน้ำหนัก เพื่อหาปริมาณฝุ่นได้ค่าที่คลาดเคลื่อนน้อยกว่า
2. จากการทดลองเนื่องจากมีปัจจัยจำกัดด้านเวลา ทำให้การเก็บตัวอย่างและตรวจวัดมีข้อมูลไม่ตลอดทั้งปี ฉะนั้นควรมีการติดตามและตรวจสอบผลอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งปี
3. เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศควรมีอุปกรณ์วัดความเร็วและทิศทางลม ติดอยู่ที่ตัวเครื่องด้วย ซึ่งจะเป็นการเชื่อมั่นได้ว่าขนาดและทิศทางของลมที่วัดเป็นขนาดและทิศทางจริงที่ปรากฏบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง
4. การตรวจสอบว่าเส้นใยที่พบนั้นคือเส้นใยของแอสเบสตอส หรือไม่นั้น กระทำไม่ได้ เนื่องจากมีปัจจัยจำกัดด้านเครื่องมือการที่จะพิสูจน์ว่าเป็นเส้นใยแอสเบสตอสหรือไม่ นั้นต้องพิจารณาถึงลักษณะการจัดเรียงตัว ลักษณะรูปร่างรวมถึงความสามารถในการเรืองแสงซึ่งเส้นใยแอสเบสตอสจะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## วิธีการใช้เครื่องจุลทรรศน์แบบเฟสคอนทราสต์

ในทางปฏิบัติ วิธีการใช้เลนส์รวมแสง ซึ่งจะหมุนปรับให้มีวงแหวนเปรียบต่างภายในกล้องอยู่ร่วมกับการใช้งานอย่างถูกต้อง การเปิดไอริสไดอะแฟรม สำหรับใช้กับพื้นสว่างปกติ เพราะวาระบบนี้ใช้กันมากที่สุดในการวิจัย ปัญหาที่พบบ่อยคือจัดระบบแสงและวงแหวนไม่ถูกต้อง

1.) การตั้งระบบการส่องสว่างภายในกล้อง ต้องตั้งระบบการส่องสว่างแบบของโคเลอร์เลือกใช้เลนส์ใกล้วัตถุ เลนส์ใกล้ตา เลนส์รวมแสงให้ถูกต้อง สำหรับเฟสคอนทราสต์ วัตถุตัวอย่างที่นำมาส่องดูควรบางใส และถ้าหากมีการข้อมสึควรข้อมให้สีจางมากที่สุด

2.) ถอดเลนส์ใกล้ตาออกมา ใส่เทเลสโกปเข้าแทน หรือใส่เบอร์เทอร์คเลนส์ปรับตั้งโฟกัสของเทเลสโกปให้ถูกต้อง โดยให้วงแหวนที่อยู่เหนือเลนส์ใกล้วัตถุมองเห็นอยู่ร่วมกันอย่างชัดเจนถูกต้อง ก็คือควรจะมีวงแหวนสีเทาปรากฏอยู่บนพื้นสว่าง ให้ตำแหน่งของวงแหวนริมนอกแสดงความกว้าง

3.) หมุนปรับให้วงแหวนของเลนส์รวมแสงอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ตรงกับเลนส์ ใกล้วัตถุที่กำลังใช้อยู่ เพื่อให้ลำแสงมีการแทรกสอดอย่างถูกต้องเป็นลำแสงเดียวกัน ตำแหน่งของวงแหวนต้องวางทับกันพอดี

4.) มองที่เทเลสโกป สังเกตพื้นที่สีดำอยู่แล้วนอกจากส่วนที่สว่าง ซึ่งเห็นเป็นภาพวงแหวนที่ช่องรับภาพ

5.) ส่วนมากวงแหวนสว่างจะไม่อยู่ตรงศูนย์กลาง ต้องปรับวงแหวนของเลนส์รวมแสง จนกระทั่งวงสว่างอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ( วงแหวนที่สว่างควรจะอยู่ระหว่างส่วนภายนอกกับส่วนภายในของวงแหวนเฟส ) ลักษณะแบบนี้เป็นระบบที่จำเป็นมากเมื่อใช้เฟสคอนทราสต์ ถ้าส่วนหนึ่งของวงแหวนที่สว่างอยู่นอกวงแหวนเฟส รูปทรงหรือรูปร่างของภาพที่มองเห็นจะเสียไปอย่างมาก

6.) ถอดเทเลสโกปออกมาแล้วสวมเลนส์ใกล้ตาแทน

7.) ปรับโฟกัสอย่างละเอียดเพื่อให้ภาพวงแหวนมองเห็นได้อย่างชัดเจนที่สุด และปรับความเข้มของแสง

8.) ตรวจสอบอีกครั้งว่าแสงถูกต้องอยู่ในระบบของโคเลอร์หรือไม่ หากไม่ถูกต้องอาจจะต้องปรับตำแหน่งของเลนส์รวมแสงอีกเล็กน้อย

9.) ให้ตรวจสอบว่าแผ่นเฟสกับวงแหวนอยู่ในแนวที่ถูกต้องหรือไม่อีกครั้ง

หนึ่ง โดยใช้เทเลสโกป และถอดเอเลสโกปออกใส่เลนส์ใกล้ตาเข้าไปเพื่อมองตัวอย่างต่อไป มีข้อเสนอแนะที่น่าสังเกตเกี่ยวกับการใช้กล้องจุลทรรศน์เฟสคอนทราสต์

ก. เลนส์ทุกชิ้นในระบบของกล้องรวมทั้งสไลด์และแผ่นแก้วปิดสไลด์ ทุกอย่างต้องสะอาดปราศจากฝุ่น รอยนิ้วมือ โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนแผ่นสไลด์ และแผ่นแก้วปิดสไลด์ เพราะสิ่งเหล่านั้นทำให้แสงเกิดการเลี้ยวเบน ยังผลให้ภาพที่มองเห็นมีรูปร่างผิดไปจากความเป็นจริง

ข. ระบบเฟสคอนทราสต์ใช้เฉพาะวัตถุที่บางมาก หรือหนาไม่เกินกว่า 10 ไมครอนเท่านั้น เพื่อช่วยให้การตั้งระบบที่ถูกต้องควรใช้กล้องจุลทรรศน์แบบสามกระบอกตา ซึ่งใช้งานได้ดีกว่าการใช้เทเลสโกป หรือบางรุ่นจะมีเทเลสโกปอยู่ในกระบอกตาอันที่สามตลอดไป เพื่อให้ปรับโฟกัสของแผ่นเพลตที่ถูกต้อง แล้วใช้ 2 กระบอกตาสำหรับมองดูภาพส่วนคนที่ไม่ชำนาญในการปรับ เมื่อใช้กล้องแบบนี้ขณะมองวัตถุอาจจะไม่มีภาพอยู่เลย กรณีที่ใช้ระบบพื้นสว่างก็ให้นำเอาวัตถุที่สามารถมองเห็นได้ชัดเจนติดไว้บนสไลด์ตัวอย่าง เพื่อให้สะดวกในการปรับโฟกัส สิ่งที่น่ามาใช้เป็นตัวอย่างได้ เช่น รอยขีด ๆ บนแผ่นสไลด์ หรือส่วนล่างของแผ่นแก้วปิดสไลด์ หรือใช้ดินสอเขียนแก้วเขียนก็ได้ แต่ควรให้อยู่ห่างจากวัตถุตัวอย่างจริง และควรใช้วัตถุย้อมสีจาง ๆ ความจริงแล้วระบบเฟสคอนทราสต์ มักใช้กับวัตถุที่ไม่ต้องย้อมสี วัตถุอีกอย่างหนึ่งที่น่ามาใช้ทดลองขณะใช้ระบบเฟสคอนทราสต์ได้ดี คือ เซลล์หรือเนื้อเยื่อในช่องปาก ภาพที่ออกมามีค่าเปรียบต่างดีพอสมควรเหมาะสำหรับที่จะใช้ตั้งโฟกัสแบบพื้นสว่าง แล้วเปลี่ยนเป็นระบบเฟสคอนทราสต์

ความแตกต่างระหว่างสารที่นำมาใช้ฉนึก และเลนส์รวมแสงที่มีดัชนีหักเหเท่ากับวัตถุ ภาพที่เกิดขึ้นจะมีค่าเปรียบต่างลดลง ดังนั้นถ้าทราบค่าดัชนีหักเหของสารที่นำมาใช้ฉนึก เราก็สามารถหาค่าดัชนีหักเหของวัตถุได้ด้วย ค่าดัชนีหักเหมีประโยชน์มาก เพราะค่าดัชนีหักเหแปรผันตรงกับความเข้มข้นของส่วนประกอบภายในเซลล์ที่สารละลายอยู่ จากค่านี้จะทำให้เราทราบถึงระดับการเข้มข้นของเนื้อเยื่อ และสามารถที่จะประเมินน้ำหนักแห้งของส่วนประกอบภายในเซลล์ได้ อีกประการหนึ่งระบบเลนส์รวมแสงกับเลนส์ใกล้วัตถุสามารถปรับได้โดยเปลี่ยนค่าดัชนีหักเหของสารที่นำมาใช้ฉนึก

## ภาคผนวก ข

## การเปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก

- 1.) วัดอุณหภูมิและความดันของอากาศ เพื่อนำไปหาค่า  $\rho$  ดังสูตร

$$\rho \text{ h manometer} = (Q_{\text{dis}}/5.367)^2 \cup 0.340 \cup (T_a/P_a)$$

$T_a$  อุณหภูมิขณะทำการทดลอง มีหน่วยเป็นเคลวิน

$P_a$  ความดันจากบารอมิเตอร์ มีหน่วยเป็นกิโลปาสคาล

$Q_{\text{dis}}$  มีค่า 67.9 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

- 2.) ติดตั้งชุดคัดเลือกฝุ่น ใส่กระดาษกรองที่ยังไม่ได้ใช้งานและติดตั้งชุด Orifice Plate ที่ส่วนบนเครื่องดังรูปที่ ค - 1
- 3.) ตรวจสอบการรั่วไหลของอากาศระหว่างชุดเก็บฝุ่น และ Orifice Plate
- 4.) เปิดเครื่องวอร์มประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นกดปุ่ม ค้าง “ZERO FLOW” ประมาณ 2 นาที จนมอเตอร์หยุดทำงาน โดยสมบูรณ์ เลื่อนสวิสท์ CAL/AUTO ไปที่ CAL หลังจากนั้นใช้ไขควงปรับปุ่ม ZERO จนกระทั่งหน้าจอ LCD แสดงค่า FLOW : 0.00 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หลังจากนั้นเลื่อนสวิสท์ CAL/AUTO กลับไปที่ AUTO
- 5.) ปรับปุ่ม “FLOW SET” ตามอัตราการไหลของอากาศตามความต้องการ ประมาณ 5 นาที จน flow rate คงที่
- 6.) เลื่อนสวิสท์ CAL/AUTO ไปที่ CAL และปรับปุ่ม “SPAN” โดยใช้ไขควงเล็กจนตัวเลขที่หน้าจอแสดงผลใกล้เคียงกับสมการในการเปรียบเทียบความถูกต้อง หลังจากนั้นเลื่อนสวิสท์ CAL ไปที่ AUTO หลังจากนั้น 5 นาที วอร์มเครื่องเพื่อให้ Flow Rate คงที่ตรวจสอบตัวเลขหน้าจอสอดคล้องกับ Orifice Plate
- 7.) ปิดเครื่องและถอด Orifice Plate ออก
- 8.) ใส่กระดาษกรองที่ต้องการเก็บตัวอย่าง



รูป ข - 1 และ รูป ข - 2 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ปรับเทียบมาตรฐาน เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก



รูป ข-3 แสดงสถานที่จริงในการเก็บตัวอย่างอากาศด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

### การปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดติดตัวบุคคล

- 1.) เปิดเครื่องปั๊มอากาศและเครื่องมือปรับเทียบอัตราการไหล ให้ทำงานประมาณ 5 นาที
- 2.) ต่ออุปกรณ์ ดังรูปที่ 3 - 1
- 3.) กดสปริงขึ้นลงอย่างรวดเร็ว เพื่อสร้างฟิล์มฟองสบู่ และปรับเทียบอัตราการไหลให้ได้ 1.9 ลิตรต่อนาที แต่หากไม่ได้ให้ใช้ไซควง หมุนตรงป้อนหน้าจอเครื่องปั๊มให้ได้ 1.9 ลิตรต่อนาที
- 4.) ทิ้งช่วงอย่างน้อย 3 วินาที แล้วทำการกดใหม่จนครบ 10 ครั้ง หาค่าเฉลี่ย
- 5.) นำเครื่องที่ปรับเทียบอัตราการสูดอากาศแล้ว ไปติดที่ตัวบุคคล ดังรูป ก-1



รูป ก-1 แสดงการติดเครื่องเก็บตัวอย่างชนิดติดตัวบุคคลที่ตัวบุคคล

ภาคผนวก ง  
การตั้งเครื่องไมโครเวฟ

- 1.) นำวัสดุสารตัวอย่างใส่วงล้อตัวอย่าง
- 2.) ตั้งโปรแกรมดังตารางที่ ง.1

ตาราง ง.1 โปรแกรมไมโครเวฟ

Step	Time	Power	Press	Temp1	Temp2
1	00:06:00	250	0	0	0
2	00:06:00	400	0	0	0
3	00:06:00	650	0	0	0
4	00:06:00	250	0	0	0
5	00:00:00	0	0	0	0
6	00:00:00	0	0	0	0
7	00:00:00	0	0	0	0
8	00:00:00	0	0	0	0
9	00:00:00	0	0	0	0
10	00:00:00	0	0	0	0

Vent : 00:05:00

Rotorctrl on

Twist on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก จ

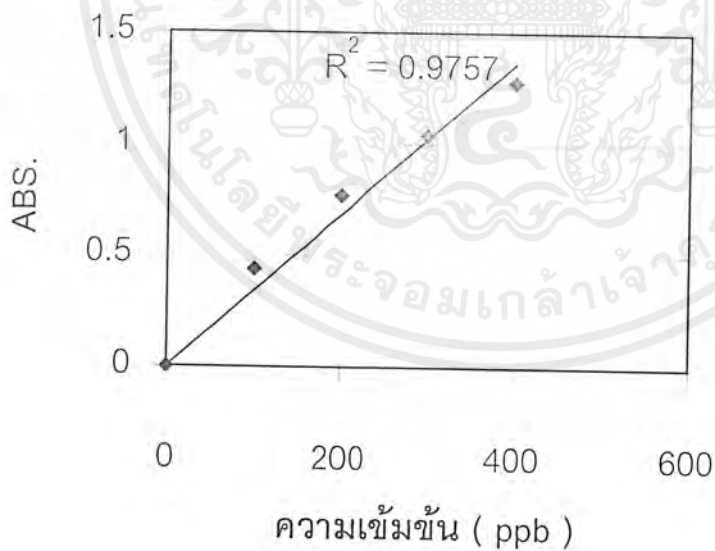
### ผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียม

กราฟมาตรฐาน

	ABS	CONC.	BG
BLANK	0	0	-0.698
STD 1	0.438	100	0
STD 2	0.769	200	-0.004
STD 3	1.039	300	-0.003
STD 4	1.278	400	-0.004

กราฟมาตรฐานแคดเมียม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการวิเคราะห์ปริมาณ โครเมียม

## กราฟมาตรฐาน

	ABS	CONC.	BG
BLANK	0	0	-0.008
STD 1	0.025	100	-0.001
STD 2	0.06	200	0.002
STD 3	0.115	400	0.002

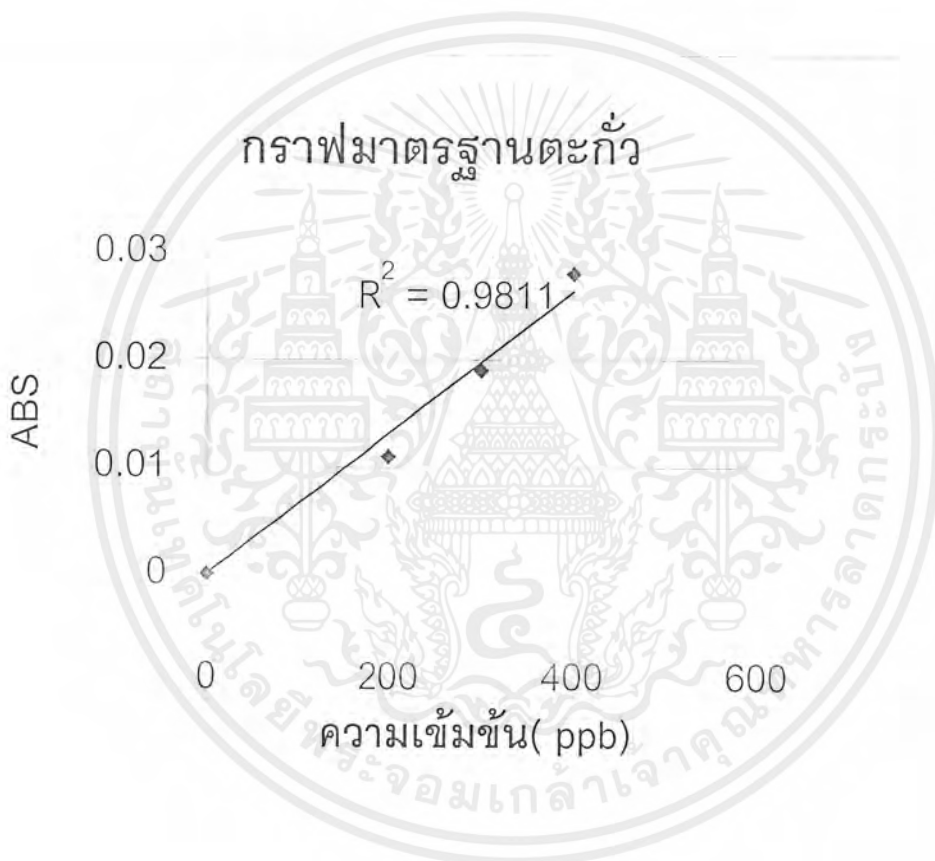


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ผลการวิเคราะห์ปริมาณตะกั่ว

## กราฟมาตรฐาน

	ABS	CONC.	BG
BLANK	0	0	-0.001
STD 1	0.011	200	0
STD 2	0.019	300	0.001
STD 3	0.028	400	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 แสดงปริมาณฝุ่นละอองและปริมาณโลหะหนักใน TSP

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	เวลาดำเนินงาน (hr)	น้ำหนักฝุ่น (g)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /hr)	ปริมาตรอากาศ (m <sup>3</sup> )	[TSP] (ug/m <sup>3</sup> )	[แคดเมียม] (ppb)*	[แคดเมียม] (ug/m <sup>3</sup> )*	[ตะกั่ว] (ppb)*	[ตะกั่ว] (ug/m <sup>3</sup> )*	[โครเมียม] (ppb)*	[โครเมียม] (ug/m <sup>3</sup> )*
4/9/42	24.00	0.1352	305.15	99.1	64.90	1557.64	86.80	17.00	5.48E-05	171.90	5.54E-04	30.80	9.92E-05
5/9/42	24.00	0.1082	308.15	99.1	64.27	1542.47	70.15	3.00	9.76E-06	295.40	9.61E-04	4.80	1.56E-05
6/9/42	24.00	0.1030	303.15	99.6	65.66	1575.83	65.36	2.00	6.37E-06	355.80	1.13E-03	39.79	1.27E-04
7/9/42	24.00	0.0790	301.15	99.2	65.83	1579.92	50.00	1.00	3.18E-06	47.14	1.50E-04	5.22	1.66E-05
8/9/42	24.00	0.1261	307.15	99.5	64.74	1553.74	81.16	1.00	3.23E-06	338.00	1.09E-03	110.70	3.57E-04
25/11/42	24.00	0.2222	302.15	99.6	65.88	1581.04	140.54	9.00	2.86E-05	62.34	1.98E-04	105.40	3.34E-04
26/11/42	24.00	0.1924	304.15	99.7	65.51	1572.22	122.37	11.00	3.51E-05	37.90	1.21E-04	53.63	1.71E-04
27/11/42	24.00	0.2306	304.65	99.7	65.40	1569.64	146.91	6.00	1.92E-05	6.421	2.05E-05	205.55	6.57E-04
28/11/42	23.10	0.1321	304.15	99.8	65.57	1514.78	87.21	8.00	2.65E-05	50.20	1.66E-04	17.45	5.78E-05
29/11/42	24.01	0.1627	304.15	99.9	65.64	1576.03	103.23	8.00	2.55E-05	54.77	1.74E-04	69.34	2.21E-04
30/11/42	24.00	0.1961	298.65	100.0	66.92	1605.99	122.11	6.22	1.94E-05	47.14	1.47E-04	18.24	5.70E-05
1/12/42	24.00	0.1691	297.15	100.2	67.39	1617.33	104.56	13.70	4.25E-05	77.27	2.40E-04	43.35	1.34E-04
17/2/43	24.00	0.2595	301.15	100.0	66.36	1592.66	162.93	4.51	1.42E-05	ND	ND	141.00	4.44E-04
18/2/43	25.50	0.2540	300.65	102.0	67.80	1728.92	146.91	5.63	1.63E-05	49.47	1.44E-04	133.50	3.87E-04
19/2/43	23.50	0.2047	311.15	100.2	64.36	1512.38	135.35	2.45	8.13E-06	ND	ND	176.90	5.87E-04
20/2/43	24.00	0.1742	306.15	99.9	65.21	1565.08	111.30	6.20	1.99E-05	ND	ND	149.80	4.80E-04
21/2/43	23.00	0.2129	308.15	100.1	64.92	1493.12	142.59	7.12	2.39E-05	ND	ND	179.60	6.04E-04
22/2/43	23.00	0.2185	307.15	100.1	65.13	1497.98	145.86	4.66	1.56E-05	ND	ND	173.10	5.80E-04
23/2/43	24.10	0.2595	305.15	100.0	65.49	1578.33	164.41	5.84	1.86E-05	ND	ND	176.00	5.60E-04

\*ความเข้มข้นของโลหะหนักในสารละลายกรด โดยได้ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง 80 ตารางนิ้ว ซ้อยหลายตัวชั่งกรวด

\*\*น้ำหนักของโลหะหนักในปริมาตรอากาศที่วัดผ่านกระดาษกรอง

ตาราง จ.2 แสดงปริมาณฝุ่นละอองและปริมาณโอโซนใน PM10

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	รหัส	เวลาทั้งหมด (hr)	น.น.ฝุ่น (g)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหล (m <sup>3</sup> /hr)	ปริมาตรอากาศ (m <sup>3</sup> )	[PM10] (µg/m <sup>3</sup> )	[แก๊สมีเทน] (ppb)*	[แก๊สมีเทน] (µg/m <sup>3</sup> )**	[ตะกั่ว] (ppb)*	[ตะกั่ว] (µg/m <sup>3</sup> )**	[โครเมียม] (ppb)*	[โครเมียม] (µg/m <sup>3</sup> )**
25/8/42	P1	24.07	0.0904	301.95	99.1	65.59	1578.74	57.26	1.00	3.18E-06	16.29	5.18E-05	61.47	1.95E-04
26/8/42	P2	24.07	0.0923	302.85	99.0	65.33	1572.46	58.70	7.00	2.23E-05	5.30	1.69E-05	141.40	4.51E-04
27/8/42	P3	24.01	0.0585	301.75	98.7	65.37	1569.49	37.27	6.00	1.92E-05	154.40	4.94E-04	121.40	3.88E-04
28/8/42	P4	24.00	0.0475	300.95	98.9	65.67	1576.19	30.14	1.00	3.18E-06	236.80	7.54E-04	97.47	3.10E-04
29/8/42	P5	24.00	0.0540	301.95	98.8	65.39	1569.38	34.41	3.00	9.59E-06	13.11	4.19E-05	24.84	7.94E-05
30/8/42	P6	24.00	0.0784	301.15	98.8	65.56	1573.55	49.82	7.00	2.23E-05	545.90	1.74E-03	157.90	5.03E-04
31/8/42	P7	24.00	0.0633	301.25	98.8	65.54	1573.03	40.24	15.00	4.78E-05	272.70	8.70E-04	84.62	2.70E-04
3/12/42	P8	24.00	0.0884	301.15	100.3	66.56	1597.44	55.34	7.03	2.21E-05	38.40	1.21E-04	14.15	4.44E-05
4/12/42	P9	24.00	0.1155	302.15	100.2	66.27	1590.57	72.62	1.40	4.42E-06	35.95	1.13E-04	79.39	2.50E-04
5/12/42	P10	24.00	0.0535	300.65	100.2	66.60	1598.50	33.47	ND	ND	8.97	2.81E-05	94.30	2.96E-04
6/12/42	P11	24.00	0.0630	301.15	100.4	66.63	1599.03	39.40	ND	ND	8.17	2.56E-05	29.17	9.15E-05
7/12/42	P12	24.00	0.1035	301.65	100.4	66.52	1596.38	64.83	1.37	4.30E-06	11.79	3.71E-05	62.91	1.98E-04
8/12/42	P13	24.00	0.0924	300.65	100.3	66.67	1600.10	57.75	4.30	1.35E-05	25.53	8.01E-05	21.37	6.70E-05
24/2/43	P14	22.30	0.0694	305.15	100.1	65.56	1461.91	47.47	3.65	1.25E-05	46.05	1.58E-04	68.84	2.36E-04
25/2/43	P15	24.20	0.0743	300.15	100.0	66.58	1611.28	46.11	2.51	7.82E-06	59.63	1.86E-04	58.97	1.84E-04
26/2/43	P16	23.40	0.0647	305.15	110.0	72.04	1685.74	38.38	0.00	0.00E+00	28.68	8.54E-05	24.84	7.39E-05
27/2/43	P17	23.40	0.2286	300.15	120.0	79.90	1869.62	122.27	1.61	4.32E-06	62.99	1.69E-04	47.52	1.28E-04
28/2/43	P18	24.30	0.1465	304.15	120.0	78.85	1916.00	76.46	0.00	0.00E+00	114.20	2.99E-04	33.70	8.33E-05
29/2/43	P19	23.50	0.1189	302.15	100.2	66.27	1557.43	76.34	3.98	1.28E-05	54.57	1.76E-04	40.04	1.29E-04


หมายเหตุ ND หมายถึง ไม่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้

ตารางที่ จ.3 แสดงปริมาณฝุ่นละออง ใน PMS

วันที่เก็บตัวอย่าง	รหัสเวลาที่เก็บ	น.น.ฝุ่น (mg)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหล (L/min)	ปริมาตรอากาศ (m <sup>3</sup> )	[Resp. Dust] (mg/m <sup>3</sup> )	
10/8/42	C1	480	0.00060	303.15	98.9	1.8254	0.8762	6.85E-04
11/8/42	C2	480	0.00100	301.15	98.9	1.8500	0.8880	1.13E-03
16/8/42	C3	480	0.00120	304.15	98.9	1.8241	0.8756	1.37E-03
17/8/42	C4	480	0.00090	304.15	99.0	1.8480	0.8870	1.01E-03
18/8/42	C5	420	0.00130	304.15	98.9	1.8184	0.7637	1.70E-03
19/8/42	C6	480	0.00150	304.15	98.9	1.8193	0.8733	1.72E-03
24/8/42	C7	480	0.00120	302.15	99.1	1.8283	0.8776	1.37E-03
31/8/42	C8	480	0.00100	306.15	99.0	1.7998	0.8639	1.16E-03
2/9/42	C9	480	0.00110	302.15	99.4	1.8377	0.8821	1.25E-03
6/9/42	C10	300	0.00140	303.15	99.6	1.8344	0.5503	2.54E-03
7/9/42	C11	480	0.00080	301.15	99.2	1.8450	0.8856	9.03E-04
8/9/42	C12	480	0.00070	307.15	99.5	1.8125	0.8700	8.05E-04
24/11/42	C13	480	0.00389	302.15	99.6	1.8356	0.8811	4.41E-03
26/11/42	C14	480	0.00473	304.15	99.7	1.8341	0.8804	5.37E-03
29/11/42	C15	480	0.00123	304.15	99.9	1.8319	0.8793	1.40E-03

วันที่เก็บตัวอย่าง	รหัสเวลาที่เก็บ	น.น.ฝุ่น (mg)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (kPa)	อัตราการไหล (L/min)	ปริมาตรอากาศ (m <sup>3</sup> )	[Resp. Dust] (mg/m <sup>3</sup> )	
30/11/42	C16	480	0.00016	298.65	100.0	1.8254	0.8762	1.83E-04
1/12/42	C17	480	0.00350	297.15	100.2	1.8500	0.8880	3.94E-03
2/12/42	C18	480	0.00396	300.15	100.3	1.8241	0.8756	4.52E-03
3/12/42	C19	480	0.00400	301.15	100.3	1.8480	0.8870	4.51E-03
7/12/42	C20	480	0.00265	301.65	100.4	1.8184	0.8728	3.04E-03
8/12/42	C21	480	0.00323	300.65	100.3	1.8193	0.8733	3.70E-03
17/2/43	C22	480	0.00003	301.15	100.0	1.8254	0.8762	3.42E-05
18/2/43	C23	480	0.00016	300.65	102.0	1.8500	0.8880	1.80E-04
22/2/43	C24	480	0.00014	307.15	100.1	1.8241	0.8756	1.60E-04
23/2/43	C25	480	0.00010	305.15	99.8	1.8480	0.8870	1.13E-04
24/2/43	C26	480	0.00010	300.15	100.0	1.8184	0.8728	1.15E-04
25/2/43	C27	480	0.00021	305.15	110.0	1.8193	0.8733	2.40E-04
28/2/43	C28	480	0.00050	300.15	120.0	1.8283	0.8776	5.70E-04
29/2/43	C29	480	0.00007	304.15	100.2	1.7998	0.8639	8.10E-05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ฉ  
การตั้งโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฉ

การตั้งโปรแกรม สำหรับการวิเคราะห์แคดเมียม โครเมียม และตะกั่ว โดยใช้ graphite

## furnace

กระบวนการเกิดเป็นอะตอมอิสระแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

1. Drying stage เพื่อให้ตัวทำละลายระเหยออกไป ใช้อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส
  2. Ashing stage ใช้อุณหภูมิสูงเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ให้สลายเหลือแต่รูปโลหะออกไซด์
  3. Atomization stage สารที่เหลือจะถูกเผาที่อุณหภูมิสูง เพื่อสลายเป็นอะตอมอิสระในช่องทางที่แสงที่ผ่าน ซึ่งจะวัดสัญญาณจากการดูดกลืนแสง
- ขั้นตอนการใช้เครื่อง Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometer
1. เปิดสวิทช์ power ใต้หลอดฮาโลเจนโทด
  2. เปิดวาล์วอาร์กอน ที่ความดัน 3.5 กิโลกรัมต่อตารางเมตร
  3. เปิดระบบน้ำเย็น โดยหมุนวนด้วยอัตรา 2-3 ลิตรต่ออนาที
  4. เปิดสวิทช์ Heat และ Control แล้วค่อยเปิด Power switch ของเครื่อง GRA-4B
  5. ตั้ง Condition ตามธาตุที่ต้องการวิเคราะห์

## ตะกั่ว (Pb)

Parameter / Stage	Temp (°C)	Time (sec)	Gas mode	Heat	Rec	Peak
1	150	30	3	Ramp	-	-
2	300	20	3	Step	0	20
3	1400	3	0	Step	-	4
4	0	30	3	Step	30	-

## แคดเมียม (Cd)

Parameter / Stage	Temp (°C)	Time (sec)	Gas mode	Heat	Rec	Peak
1	150	30	3	Ramp	-	-
2	300	20	3	Step	0	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	1100	3	0	Step	-	4
4	0	30	3	Step	30	-

### โครเมียม (Cr)

Parameter/ Stage	Temp (°C)	Time (sec)	Gas mode	Heat	Rec	Peak
1	150	30	3	Ramp	-	-
2	300	20	3	Step	0	20
3	2300	5	0	Step	-	4
4	0	30	3	Step	30	-

6. กด Store เพื่อเก็บข้อมูล
7. เชื่อมต่อเครื่อง GFA กับ AAS เพื่อทำการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาคผนวก ข**  
**การทดสอบสมมุติฐาน**

ตารางที่ ข.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบสมมุติฐาน

พารามิเตอร์	คู่เปรียบเทียบ	ระดับความ เชื่อมั่น	df	t	ขอบเขตวิกฤต	ผลการทดสอบสมมุติฐาน
TSP (ฝุ่น)	(1) - (2)	95%	10	-4.285	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(1) - (3)	95%	10	-7.557	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(2) - (3)	95%	12	-2.465	$-2.179 \geq t^* \geq 2.179$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
TSP(Cd)	(1) - (2)	95%	10	-1.368	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(1) - (3)	95%	10	-0.134	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(2) - (3)	95%	12	3.008	$-2.179 \geq t^* \geq 2.179$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
TSP(Pb)	(1) - (2)	95%	10	3.939	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(1) - (3)	95%	10	4.814	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(2) - (3)	95%	12	3.964	$-2.179 \geq t^* \geq 2.179$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
TSP(Cr)	(1) - (2)	95%	10	-0.964	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(1) - (3)	95%	10	-6.161	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(2) - (3)	95%	12	-3.357	$-2.179 \geq t^* \geq 2.179$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
PM <sub>10</sub> (ฝุ่น)	(1) - (2)	95%	11	-1.345	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(1) - (3)	95%	11	-1.901	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(2) - (3)	95%	10	-0.988	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
PM <sub>10</sub> (Cd)	(1) - (2)	95%	11	1.517	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(1) - (3)	95%	11	1.783	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(2) - (3)	95%	10	0.265	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
PM <sub>10</sub> (Pb)	(1) - (2)	95%	11	1.937	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(1) - (3)	95%	11	1.501	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(2) - (3)	95%	10	-3.353	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
PM <sub>10</sub> (Cr)	(1) - (2)	95%	11	2.16	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(1) - (3)	95%	11	2.713	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(2) - (3)	95%	10	0.371	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
PM <sub>5</sub> (ฝุ่น)	(1) - (2)	95%	19	-4.2	$-2.093 \geq t^* \geq 2.093$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(1) - (3)	95%	18	-1.384	$-2.101 \geq t^* \geq 2.101$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
	(2) - (3)	95%	15	2.869	$-2.131 \geq t^* \geq 2.131$	แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
Cd	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	32	1.511	$-2.042 \geq t^* \geq 2.042$	ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในกิจการการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตที่จะไปใช้เชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์	คู่เปรียบเทียบ	ระดับความ เชื่อมั่น	df	t	ขอบเขตวิกฤต	ผลการทดสอบสมมติฐาน
Cr	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	35	1.588	$-2.042 \geq t^* \geq 2.042$	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Pb	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	30	0.683	$-2.042 \geq t^* \geq 2.042$	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Cd (1)	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	10	-0.242	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Cd (2)	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	9	3.173	$-2.262 \geq t^* \geq 2.262$	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Cd (3)	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	9	2.408	$-2.262 \geq t^* \geq 2.262$	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Pb (1)	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	10	0.419	$-2.228 \geq t^* \geq 2.228$	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Pb (2)	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	11	2.628	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Pb (3)	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	5	-0.545	$-2.571 \geq t^* \geq 2.571$	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Cr (1)	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	9	-3.179	$-2.262 \geq t^* \geq 2.262$	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Cr (2)	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	11	0.782	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
Cr (3)	TSP - PM <sub>10</sub>	95%	11	9.262	$-2.201 \geq t^* \geq 2.201$	แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

หมายเหตุ (1) หมายถึง ช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน

(2) หมายถึง ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม

(3) หมายถึง ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม

t\* หมายถึง ค่าที่วิกฤตจากตาราง ญ.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

แสดงมาตรฐานฝุ่นละออง TSP, PM<sub>10</sub> และโลหะหนัก

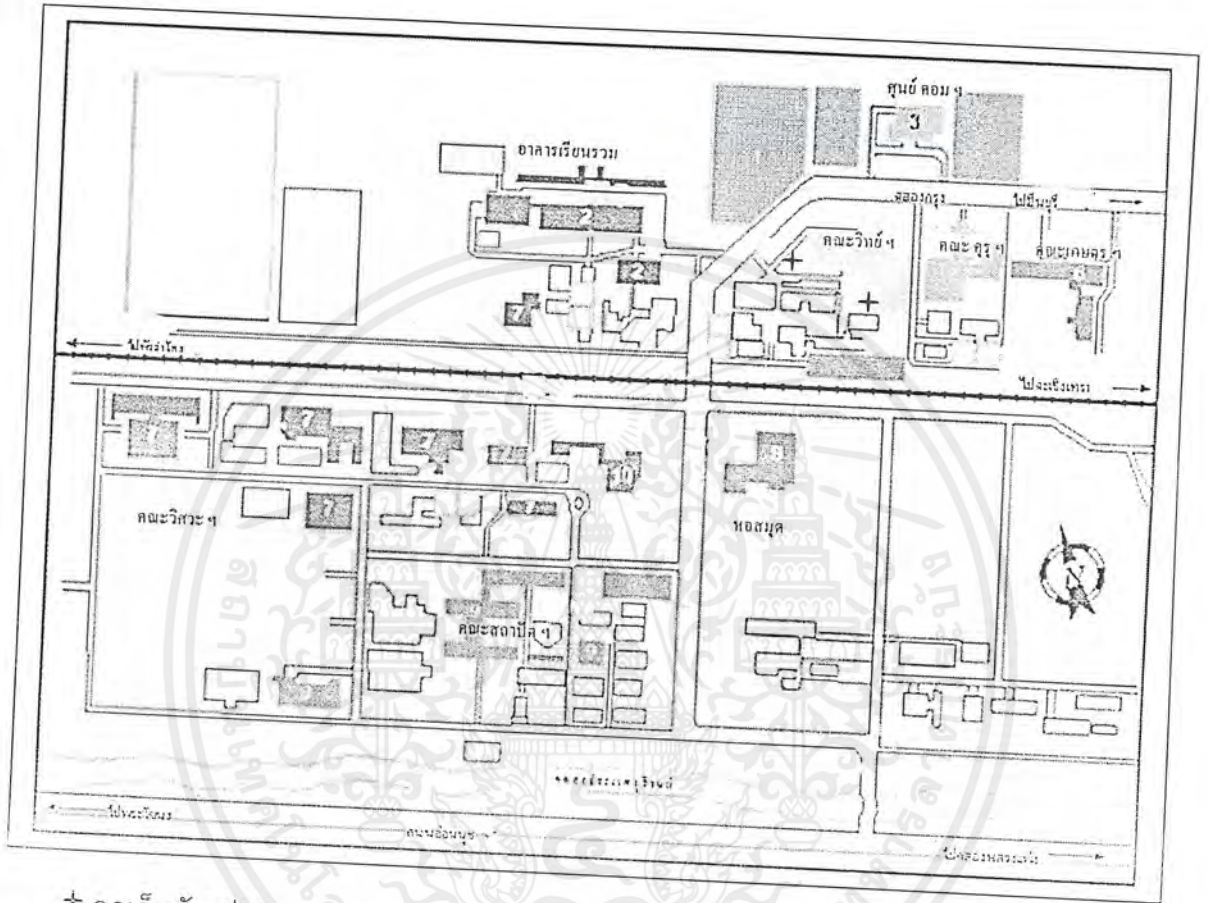
มาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย เปรียบเทียบกับ ต่างประเทศ

ประเทศ	SO <sub>2</sub>			NO <sub>2</sub>			CO		O <sub>3</sub>		TSP		PM10		Pb		
	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	รายปี	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	รายปี	1 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	8 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	รายปี	24 ชั่วโมง	รายปี	1 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	รายปี
สหรัฐอเมริกา	-	0.37	-	-	-	0.10	40.0	10.0	0.24	-	-	-	0.15	0.05	-	-	-
ญี่ปุ่น	0.26	0.11	-	-	0.08	-	-	22.8	0.12	-	-	-	-	-	0.10	-	-
เนเธอร์แลนด์	0.76	0.23	-	0.18	-	-	40.0	6.0	0.12	-	-	-	-	-	2.00	-	-
ออสเตรเลีย	0.44	0.16	-	0.30	0.12	-	34.3	11.4	0.24	0.10	-	-	-	-	-	-	-
เม็กซิโก	-	-	-	0.40	-	-	-	15.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ไนจีเรีย	0.78	0.26	-	-	0.10	-	22.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
แคนาดา	0.82	0.27	-	0.40	0.20	-	15.0	6.0	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-
เยอรมนี	-	0.27	-	0.20	-	0.80	30.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
WHO	0.35	0.13	0.05	0.40	0.15	-	30.0	10.0	0.15	0.10	-	-	-	-	-	-	2.00
ประเทศไทย	0.78	0.30	0.04	0.32	-	-	34.2	10.3	0.20	-	0.33	0.10	0.12	0.05	-	-	-

\* หน่วย เป็นมิลลิกรัม ต่อ ลูกบาศก์เมตร (  $\mu / m^3$  )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนที่ แสดงบริเวณสถานที่เก็บตัวอย่างภายใน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



+ จุดเก็บตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ฅ

### การแปลงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

ตัวอย่างการแปลงข้อมูลจากสถานีตรวจวัดอัตโนมัติของกรมอุตุนิยมวิทยา โดยข้อมูลที่ได้อาจมีลักษณะดังนี้

942

SXTH40 VTBB 110315

009 63 344 113 4 6 1 31.2 24.7 69 0.0 =

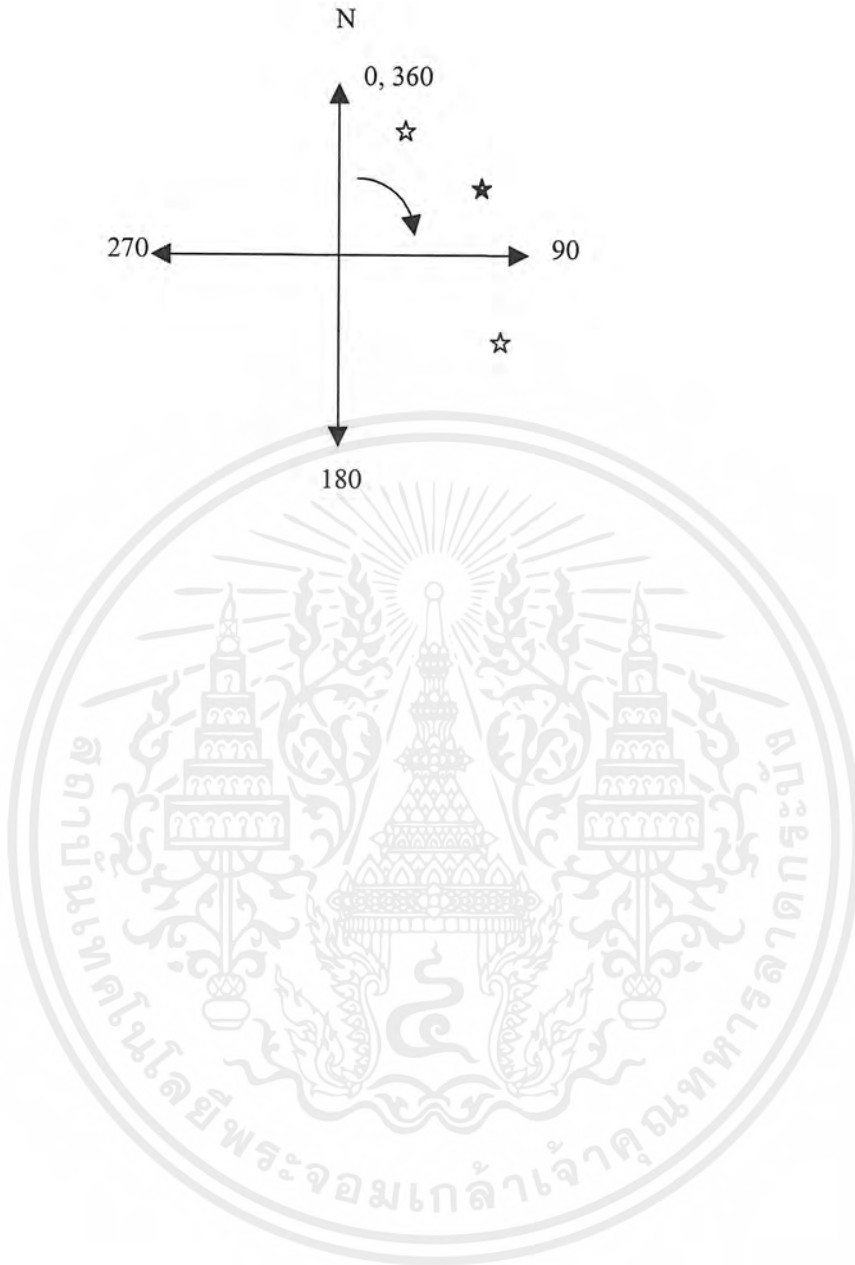
โดยที่

110315	วันที่ 11 เวลา 03:15 ในหน่วยของอังกฤษ แปลงเป็นหน่วยนาฬิกาโดยบวก 7 ได้เป็นเวลาไทย 10:15 น.
009	เลขรหัสของสถานีตรวจวัดลาดกระบัง
63	ทิศทางลมเฉลี่ยใน 10 นาที
344	ทิศทางลมที่มากที่สุด ในทิศทวนเข็มนาฬิกา
113	ทิศทางลมที่มากที่สุด ในทิศตามเข็มนาฬิกา
4	ความเร็วลมเฉลี่ยใน 10 นาที หน่วยเป็น กิโลเมตร (Knot)
6	ความเร็วลมที่มากที่สุดในช่วง 10 นาทีนั้น หน่วยเป็น กิโลเมตร (Knot)
1	ความเร็วลมที่น้อยที่สุดในช่วง 10 นาทีนั้น หน่วยเป็น กิโลเมตร (Knot)
31.2	อุณหภูมิอากาศ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส
24.7	อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) หน่วยเป็น องศาเซลเซียส
69	เปอร์เซ็นต์ความชื้นในอากาศ
0.0	ปริมาณน้ำฝน หน่วยเป็น มิลลิเมตร

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า วันที่ 11 เวลา 10.15 น. มีลมความเร็วเฉลี่ย 4 กิโลเมตรมาในทิศทาง 63 องศา (ทิศตะวันออกเฉียงเหนือ) อุณหภูมิอากาศเป็น 31.2 °C อุณหภูมิจุดน้ำค้างเป็น 24.7 °C มีความชื้นในอากาศเป็น 69 % และปริมาณน้ำฝนเป็น 0.0 มิลลิเมตร

การพิจารณาทิศทางลม (ทิศตามเข็มนาฬิกา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลลมช่วงเดือนสิงหาคม - กันยายน

ความเร็ว Km/Hr	ทิศทาง (องศา)							
	11.25-33.75	เปอร์เซ็นต์	33.76-56.25	เปอร์เซ็นต์	56.26-78.75	เปอร์เซ็นต์	78.76-101.25	เปอร์เซ็นต์
0	155	1.45	200	1.87	144	1.35	56	0.58
1 ถึง 3	696	6.51	676	6.36	575	5.38	528	5.05
4 ถึง 7	364	3.47	380	3.69	207	2.23	281	2.83
8 ถึง 12	183	1.71	83	0.78	46	0.44	65	0.61
13 ถึง 17	66	0.62	6	0.06	1	0.01	7	0.07
มากกว่า 18	28	0.26	0	0.00	0	0.00	1	0.01
sum		14.03		12.753813		9.40		9.14
	101.26-123.75	เปอร์เซ็นต์	123.26-146.25	เปอร์เซ็นต์	146.26-168.75	เปอร์เซ็นต์	146.26-168.75	เปอร์เซ็นต์
0	88	0.82	7	0.07	0	0.02	0	0.019
1 ถึง 3	615	5.75	73	0.69	35	0.39	35	0.50
4 ถึง 7	285	2.75	82	0.87	38	0.83	38	0.83
8 ถึง 12	30	0.28	35	0.33	12	0.18	12	0.14
13 ถึง 17	30	0.28	1	0.01	1	0.01	1	0.01
มากกว่า 18	30	0.28	0	0.00	0	0	0	0.00
sum		10.17		1.97		1.43		1.50
	191.26-213.75	เปอร์เซ็นต์	213.75-236.25	เปอร์เซ็นต์	236.26-258.75	เปอร์เซ็นต์	258.76-281.25	เปอร์เซ็นต์
0	0	0	0	0.00	4	0.07	3	0.05
1 ถึง 3	401	3.117801	6	0.05	32	0.51	26	0.77
4 ถึง 7	23	0.12	23	0.47	54	0.93	33	1.44
8 ถึง 12	41	0.39	35	0.34	8	0.31	37	0.53
13 ถึง 17	20	0.19	22	0.21	0	0.01	2	0.04
มากกว่า 18	2	0.02	5	0.05	0	0.00	0	0.01
sum		1.14		1.11		1.85		2.86
	281.26-303.75	เปอร์เซ็นต์	303.76-326.25	เปอร์เซ็นต์	326.26-348.75	เปอร์เซ็นต์	348.76-11.25	เปอร์เซ็นต์
0	41	0.38	45	0.42	236	2.21	200	1.88
1 ถึง 3	178	1.67	390	3.65	526	4.92	769	7.21
4 ถึง 7	161	1.68	305	3.06	202	1.98	311	2.94
8 ถึง 12	57	0.63	63	0.60	55	0.53	47	0.44
13 ถึง 17	1	0.01	2	0.02	8	0.08	1	0.01
มากกว่า 18	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
sum		4.37		7.75		9.73		12.47

\* ที่มา สถานีตรวจวัดอากาศที่ 9 เขตลาดกระบัง กรมอุตุนิยมวิทยา จำนวนเก็บทั้งหมด เท่ากับ 10687

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลลมช่วงเดือน พฤศจิกายน ถึงเดือน ธันวาคม

ความเร็ว Km/Hr	ทิศทาง ( องศา )							
	11.25-33.75	เปอร์เซ็นต์	33.76-56.25	เปอร์เซ็นต์	56.26-78.75	เปอร์เซ็นต์	78.76-101.25	เปอร์เซ็นต์
0	289	1.43	180	0.89	87	0.43	81	0.40
1 ถึง 3	1979	9.82	1389	6.89	791	3.93	537	2.67
4 ถึง 7	956	4.75	1234	6.13	874	4.34	630	3.13
8 ถึง 12	296	1.47	648	3.22	443	2.20	372	1.85
13 ถึง 17	42	0.21	180	0.89	114	0.57	86	0.43
มากกว่า 18	8	0.04	50	0.25	34	0.17	15	0.07
sum		17.72		18.27		11.63		8.54
	101.26-123.75	เปอร์เซ็นต์	123.26-146.25	เปอร์เซ็นต์	146.26-168.75	เปอร์เซ็นต์	146.26-168.75	เปอร์เซ็นต์
0	61	0.30	24	0.12	15	0.07	7	0.035
1 ถึง 3	339	1.68	113	0.56	36	0.18	21	0.10
4 ถึง 7	529	2.63	148	0.73	23	0.11	7	0.03
8 ถึง 12	312	1.55	75	0.37	2	0.01	0	0.00
13 ถึง 17	107	0.53	17	0.08	0	0.00	0	0.00
มากกว่า 18	26	0.13	0	0.00	0	0	0	0.00
sum		6.82		1.87		0.38		0.17
	191.26-213.75	เปอร์เซ็นต์	213.75-236.25	เปอร์เซ็นต์	236.26-258.75	เปอร์เซ็นต์	258.76-281.25	เปอร์เซ็นต์
0	6	0.03	16	0.08	15	0.07	22	0.11
1 ถึง 3	37	0.18	38	0.19	22	0.11	91	0.45
4 ถึง 7	11	0.05	2	0.01	2	0.01	25	0.12
8 ถึง 12	0	0.00	0	0.00	0	0.00	3	0.01
13 ถึง 17	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
มากกว่า 18	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
sum		0.27		0.28		0.19		0.70
	281.26-303.75	เปอร์เซ็นต์	303.76-326.25	เปอร์เซ็นต์	326.26-348.75	เปอร์เซ็นต์	348.76-11.25	เปอร์เซ็นต์
0	90	0.45	201	1.00	324	1.61	404	2.01
1 ถึง 3	281	1.39	688	3.42	1222	6.07	1993	9.89
4 ถึง 7	92	0.46	300	1.49	336	1.67	501	2.49
8 ถึง 12	15	0.07	86	0.43	51	0.25	77	0.38
13 ถึง 17	1	0.00	8	0.04	1	0.00	7	0.03
มากกว่า 18	0	0.00	0	0.00	0	0.00	1	0.00
sum		2.38		6.37		9.60		14.81

\* ที่มา ข้อมูลจากภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จำนวนนับทั้งหมด เท่ากับ 20145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลลมช่วงเดือน กุมภาพันธ์ - เดือน มีนาคม

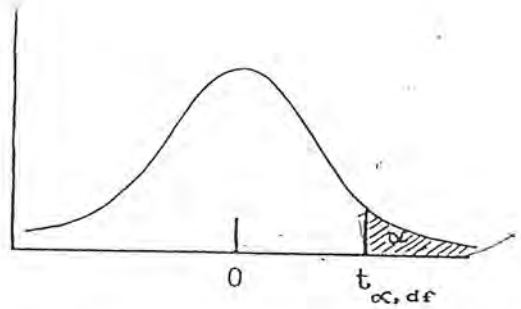
ความเร็ว Km/Hr	ทิศทาง (องศา)							
	11.25-33.75	เปอร์เซ็นต์	33.76-56.25	เปอร์เซ็นต์	56.26-78.75	เปอร์เซ็นต์	78.76-101.25	เปอร์เซ็นต์
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 ถึง 3	1	0.95	0	0	0	0	0	0
4 ถึง 7	0	0	0	0	3	2.86	3	2.86
8 ถึง 12	0	0	1	0.95	1	0.95	2	1.90
13 ถึง 17	0	0	1	0.95	0	0	1	0.95
มากกว่า 18	0	0	0	0	0	0	0	0
sum		0.95		1.90		3.81		5.71
0	101.26-123.75	เปอร์เซ็นต์	123.26-146.25	เปอร์เซ็นต์	146.26-168.75	เปอร์เซ็นต์	146.26-168.75	เปอร์เซ็นต์
1 ถึง 3	0	0	0	0	0	0	0	0
4 ถึง 7	3	2.86	6	5.71	1	0.95	15	14.29
8 ถึง 12	2	1.90	0	0	3	2.86	5	4.76
13 ถึง 17	0	0	0	0	0	0	3	2.86
มากกว่า 18	0	0	0	0	0	0	0	0
sum		4.76		5.71		3.81		21.90
0	191.26-213.75	เปอร์เซ็นต์	213.75-236.25	เปอร์เซ็นต์	236.26-258.75	เปอร์เซ็นต์	258.76-281.25	เปอร์เซ็นต์
1 ถึง 3	2	1.90	0	0	0	0	0	0
4 ถึง 7	0	0	1	0.95	1	0.95	1	0.95
8 ถึง 12	4	3.81	3	2.86	2	1.90	2	1.90
13 ถึง 17	3	2.86	0	0	0	0	0	0
มากกว่า 18	0	0	0	0	0	0	0	0
sum		9.52		4.76		2.86		2.86
0	281.26-303.75	เปอร์เซ็นต์	303.76-326.25	เปอร์เซ็นต์	326.26-348.75	เปอร์เซ็นต์	348.76-11.25	เปอร์เซ็นต์
1 ถึง 3	0	0	0	0	0	0	30	28.57
4 ถึง 7	0	0	0	0	1	0.95	1	0.95
8 ถึง 12	0	0	0	0	0	0	1	0.95
13 ถึง 17	0	0	0	0	0	0	0	0
มากกว่า 18	0	0	0	0	0	0	0	0
sum		0.00		0.00		0.95		30.48

\* ที่มา สถานีตรวจวัดอากาศกรุงเทพมหานคร กรมอุตุนิยมวิทยา จำนวนนับทั้งหมด เท่ากับ 105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตาราง ญ.1 ค่าวิกฤตของการแจกแจงแบบที  
(Critical Values for Student's Distribution)

Two tails	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002
One tail	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001
df							
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.320	318.310
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.317
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.214
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	3.581	4.144
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307
50	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232
120	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160
$\infty$	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090

## บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ **บันทึกสำเนาดารายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2539**  
( นายศิริชัย ไพโรจน์บริบูรณ์ ) หน้า 2-1 ถึง 2-15 บริษัทอิช จำกัด  
กรุงเทพมหานคร 2541.

**บันทึกสำเนาดารายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2540**  
( นายศิริชัย ไพโรจน์บริบูรณ์ ) หน้า 2-2 ถึง 2-10 บริษัทอิช จำกัด  
กรุงเทพมหานคร 2542.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 10 ( พ.ศ. 2538 ) ออกตามความในพระราช  
บัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 กำหนดมาตรฐาน  
คุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

พีระวุฒิ สวรรณจันทร์ การประยุกต์ใช้งาน Lidar เพื่อการวัดปริมาณฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ  
วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2541.

วงศ์พันธ์ ติมปะเสนีย์, นิตยา มหาผล, ชีร เกรอท มลภาวะอากาศ พิมพ์ครั้งที่ 5 หน้า 223-  
236

โรงพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร 2540.

สำนักงานเลขาธิการสภา กองกรรมธิการ รายงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมวุฒิสภา เรื่องการจัด  
การมลพิษทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เพื่อให้เกิดผลในทางปฏิบัติ กรณีศึกษา  
ที่ 7 หน้า 5-37 สำนักงาน กรุงเทพมหานคร, 2540.

สำนักนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม รายงานสภาพการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 - 2536  
( นายวาทัญญู ณ ถลาง ) หน้า 92-97 บริษัทอินทิกเรเต็ดโปรดักชัน เทคโนโลยี จำกัด  
กรุงเทพมหานคร 2538.

รายงานสภาพการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2537 ( นายวาทัญญู ณ ถลาง ) หน้า  
121-128 บริษัทอินทิกเรเต็ดโปรดักชัน เทคโนโลยี จำกัด กรุงเทพมหานคร 2539.

รายงานสภาพการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2538 - 2539 ( นายวาทัญญู ณ ถลาง )  
หน้า 103-110 บริษัทอินทิกเรเต็ดโปรดักชัน เทคโนโลยี จำกัด กรุงเทพมหานคร  
2540.

สมาคมแพทยชีวเวชศาสตร์และสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย โครงการศึกษาประเมินผล  
กระทบ จากมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน ในกรุงเทพมหานคร  
และปริมณฑล, ( แพทย์หญิงอรพรรณ เมธคิก ) สมาคมแพทยชีวเวชศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปยังประชาชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม ( ต่อ )

และสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย นนทบุรี 2538.

อนันต์ ลีอขจร กล้องจุลทรรศน์และเทคนิคการถ่ายภาพทางชีววิทยา พิมพ์ครั้งที่ 1

หน้า 113 – 115 สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพมหานคร 2535.

ACGIH, **Air Sampling Instrument For Evaluation Atmospheric Contaminants**, 3rd ed., pp. B-2-1 - B-2-9 Ohio, 1996.

Coulson, J.M. **Chemical Engineering** Vol. 2. pp. 40, BPC Wheatons Ltd, 1991.

Environmental Protection Agency CFR title 40.Part 50. Appendix B, 1992.

Environmental Protection Agency CFR title 40.Part 50. Appendix G, 1992.

James, P. LODGE, JR., **Methods of Air Sampling and Analysis**, 3rd ed., pp. 190 – 618, Lewis INC, Michigan, 1991.

John, H. Seinfeld., **Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution**, pp. 307 – 327, A Wiley Interscienc, New York, 1986.

MN, RAO. and HVN, RAO. **Air Pollution**, 6th ed., pp. 159 – 167, Tata Mcgraw – Hill, New Delhi, 1994.

Richard, W.B. **Fundamentals of Air pollution**, 3th ed., pp. 26 – 27, Academic Press, USA, 1994.

Std ambient air quality of WHO and other countries EV 52