

การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีใน
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนฉลองกรุง
คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

ANALYSIS OF CONCENTRATIONS AND CHEMICAL
COMPOSITIONS OF PM₁₀ AT CHALONGKRUNG ROAD,
FACULTY OF SCIENCE, KMITL

ชนิตา	พงศ์ธิติปัญญากร
วชิรวิทย์	ฉิมกุล
สุธาวัลย์	ดลกุล
สุรางคณา	สาหร่าย

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ANALYSIS OF CONCENTRATIONS AND CHEMICAL
COMPOSITIONS OF PM₁₀ AT CHALONGKRUNG ROAD,
FACULTY OF SCIENCE, KMITL

CHANIDA PONGTHITIPANYAKORN
WACHIRAWIT CHIMKOOL
SUTHAWAL DONKUL
SURANGKANA SARAI




A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF SCIENCE (ENVIROMENTAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

หัวข้อโครงการพิเศษ การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนฉลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สจล.
 Analysis of Concentrations and Chemical Compositions of PM₁₀ at Chalongkrung Road, Faculty of Science, KMUTL

ชื่อนักศึกษา นางสาวชนิดา พงศ์ธิติปัญญากร 55050904
 นายวชิรวิทย์ ฉิมกุล 56050750
 นางสาวสุธาวลัย ดลกุล 56050778
 นางสาวสุรางคณา สาหร่าย 56050786

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
 ภาควิชา เคมี
 ปีการศึกษา 2559
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ผศ. ดร. ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการ	
ผศ. ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนฉลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สจล.		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชนิดา	พงศัทธิปัญญากร	55050904
	นายวชิรวิทย์	ฉิมกุล	56050750
	นางสาวสุธาวลัย	ดลกุล	56050778
	นางสาวสุรางคณา	สาหร่าย	56050786
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณี จรรยาพูน		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) โดยเก็บตัวอย่างอากาศบนกระดาษกรองใยหินด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูงระหว่างเดือนมกราคม - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 จากนั้น ชั่งน้ำหนักฝุ่นละอองด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและสารอินทรีย์คาร์บอนด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณรวมของคาร์บอนอินทรีย์ วิเคราะห์ผงเขม่าคาร์บอนดำด้วยเครื่องวัดปริมาณผงเขม่าคาร์บอนดำ วิเคราะห์ไอออนที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี วิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีค่าเท่ากับ 66.85 ± 20.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 17.61 ± 6.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบสารอินทรีย์คาร์บอนปริมาณเล็กน้อย ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมดของผงเขม่าคาร์บอนดำมีค่าเท่ากับ 2.09 ± 0.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบไอออนที่ละลายน้ำได้ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเรียงลำดับจากความเข้มข้นมากไปน้อยดังนี้ $SO_4^{2-} > K^+ > NO_3^- > Ca^{2+} > Cl^- > Na^+ > NH_4^+ > F^-$ และโครงสร้างของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนพบหมู่ฟังก์ชันอัลเคน อัลกอฮอล์ เอไมด์ ไนโตร ซัลโฟน เอสเทอร์ ซิลิเกต และไนเตรท โดยพบฝุ่นละอองมีรูปร่างลักษณะเป็นฟลอครวมตัวกันแบบหลวมๆ และมีรูพรุน เป็นก้อนจับตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ รูปทรงระบอบปลายแหลม และรูปทรงกลม

คำสำคัญ : ผงเขม่าคาร์บอนดำ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด ไอออนที่ละลายน้ำได้

Title	Analysis of Concentrations and Chemical Compositions of PM ₁₀ at Chalongkrung Road, Faculty of Science, KMITL		
Students	Miss Chanida	Pongthitipanyakorn	55050904
	Mr. Wachirawit	Chimkool	56050750
	Miss Suthawal	Donkul	56050778
	Miss Surangkana	Sarai	56050786
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwanee Junyapoon		

Abstract

This special project aims to study concentrations and chemical compositions of PM₁₀ at Chalongkrung Road, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL). Air samples were collected on quartz fiber filter using High Volume Air Sampler between January and February, 2017. The collected PM₁₀ were weighed with 4-digit analytical balance and then analyzed to determine chemical compositions bound on PM₁₀. Total organic carbons (TOC) and inorganic carbons (IC) were analyzed with Total Organic Carbon Analyzer. Black Carbons (BC) were measured with Black Carbon Analyser. Soluble ions were identified with Ion Chromatograph. Structures and Functional groups of PM₁₀ were observed with Scanning Electron Microscope and Fourier Transform Infrared Spectrometer, respectively. The experimental results showed that average 24 hours concentrations of PM₁₀ were $66.85 \pm 20.14 \mu\text{g m}^{-3}$ at 25 °C, 1 atm. The average 24 hours concentrations of PM₁₀ on working days and non-working days were not significantly different. Average concentrations of TOC were $17.61 \pm 6.28 \mu\text{g m}^{-3}$ whereas only small amounts of IC were found. Total average concentrations of BC were $2.09 \pm 0.52 \mu\text{g m}^{-3}$. The concentrations of soluble ions were found in the following order: $\text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{F}^-$, respectively. The structures of PM₁₀ contained the functional groups such as alkane, alcohols, amides, nitro, sulfones, ester, silicate, nitrate. The shapes of PM₁₀ were flocculent and porous fluffy, cylinder and sphere.

Keywords: black carbon, inorganic carbon, PM₁₀, soluble ions, total organic carbon

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษ ตระหนักถึงความตั้งใจและความทุ่มเทของทุกท่าน และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ได้ดูแลเอาใจใส่ ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่างๆ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ และ ผศ. ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นเพิ่มเติมในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณพี่ปราณี บุญวัฒน์ พี่สุภัทร บานเย็น และพี่สุดใจ สอนสะอาด เจ้าหน้าที่ประจำห้องเครื่องมือห้องปฏิบัติการ ที่ให้ความรู้ และสนับสนุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมี ในกาทำการศึกษา และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านอย่างเต็มที่

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณพ่อแม่ สำหรับความรัก ความอบอุ่น ความปรารถนา ให้การอบรมสั่งสอนและสนับสนุนในด้านการศึกษา ตลอดจนเป็นกำลังใจให้ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

ชนิดา พงศ์ธิติปัญญากร
วชิรวิทย์ ฉิมกุล
สุธาวัลย์ ดลกุล
สุรางคณา สาหร่าย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ฝุ่นละออง	4
2.2 ขนาดของฝุ่นละออง.....	5
2.3 ประเภทของฝุ่นละออง.....	7
2.4 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง	7
2.5 องค์ประกอบของฝุ่นละออง	9
2.6 ผลกระทบของฝุ่นละออง.....	11
2.7 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	13
2.8 แนวทางป้องกันปัญหาฝุ่นละออง	13
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	21
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	21
3.2 สารเคมี.....	22
3.3 สถานที่และระยะการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองและการนับปริมาณรถยนต์	23
3.4 วิธีการทดลอง	24
3.4.1 การเตรียมกระดาศกรอง.....	25
3.4.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง	25
3.4.3 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	26
3.4.3.1 การวิเคราะห์รูปร่างของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	26
3.4.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในรูปสารคาร์บอนอินทรีย์ ทั้งหมดและสารอินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละออง	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 วิธีทดลอง (ต่อ).....	24
3.4.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณผงเขม่าคาร์บอนดำ	27
3.4.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนที่ละลายน้ำได้	28
3.4.3.5 การวิเคราะห์หาโครงสร้างสารอินทรีย์.....	29
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	30
4.1 ผลการศึกษาหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	30
4.2 ผลการศึกษาลักษณะของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	35
4.3 ผลการศึกษาปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) และ สารอินทรีย์คาร์บอน (IC) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	36
4.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นของผงเขม่าคาร์บอนดำ.....	38
4.5 ผลการศึกษาไอออนที่ละลายน้ำได้ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ.....	39
4.6 ผลการศึกษาหมู่ฟุ้งก่ขึ้นในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	41
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	44
5.1 สรุปผลวิจัย.....	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง	46
ภาคผนวก.....	50
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	53
ภาคผนวก ค.....	57
ภาคผนวก ง	83
ภาคผนวก จ.....	87

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ขนาดทั่วไปของอนุภาคฝุ่นละอองต่างๆ.....	6
2.2 ตัวอย่างที่ใช้ในการสันนิษฐานที่มาของฝุ่น	8
2.3 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ	13
3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและสารอนินทรีย์คาร์บอน.....	27
3.2 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี.....	29
4.1 วันที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง และลักษณะภูมิอากาศ	31
4.2 เลขคลื่นของพีคส่วนใหญ่ที่ปรากฏใน FT-IR สเปกตรัมจากฝุ่นละอองทั้ง 24 ตัวอย่าง	42
ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป.....	57
ค-2 ชนิดและปริมาณรถยนต์.....	70
ค-3 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	72
ค-4 ข้อมูลสภาพบรรยากาศก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง.....	76
ค-5 ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์และสารอนินทรีย์คาร์บอน.....	77
ค-6 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ Black Carbon.....	78
ค-7 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้.....	81
จ-4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับจำนวนรถยนต์แต่ละประเภท	91
จ-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับสารคาร์บอนอินทรีย์ สารอนินทรีย์คาร์บอนและ Black carbon.....	93

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบฝุ่นละอองขนาดต่างๆ.....	5
2.2 ขนาดของฝุ่นละอองที่เข้าสู่ทางเดินหายใจในระดับความลึกแตกต่างกัน.....	12
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ	23
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณ Black Carbon	27
4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนคลองกรุง บริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	30
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณริมถนนคลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกับสถานีตรวจวัดอากาศ ณ กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา.....	32
4.3 ปริมาณรถที่สัญจรผ่านจุดเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 7.00 – 9.00 นาฬิกา(ก) ในช่วงเวลา 16.00 - 18.00 นาฬิกา(ข).....	33
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับ จำนวนรถยนต์ 4 ล้อ (ก) จำนวนรถจักรยานยนต์ 2 ล้อ (ข).....	34
4.5 ลักษณะของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	35
4.6 ความเข้มข้นของ สารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด(ก) สารอนินทรีย์คาร์บอน(ข) เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณริมถนนคลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	37
4.7 ความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด(ก) และแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้กับที่คำนวณได้จากกราฟสมการเส้นตรง (ข).....	38
4.8 ความเข้มข้นของ Black carbon และความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนคลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	39
4.9 ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	40
4.10 โครมาโทแกรมของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนด้วยเครื่อง FT-IR.....	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก-1 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาด ไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 1 วันที่ 27 มกราคม 2560	52
ก-2 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาด ไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 2 วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2560	52
ก-3 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาด ไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 3 วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2560	52
ง-1.1 กราฟมาตรฐานคาร์บอนทั้งหมด	83
ง-1.2 กราฟมาตรฐานสารอนินทรีย์คาร์บอน.....	83
ง-2.1 กราฟมาตรฐานโซเดียมไอออน (Na^+).....	84
ง-2.2 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+)	84
ง-2.3 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมไอออน (K^+).....	84
ง-2.4 กราฟมาตรฐานแคลเซียมไอออน (Ca^{2+})	85
ง-2.5 กราฟมาตรฐานฟลูออไรด์ไอออน (F^-).....	85
ง-2.6 กราฟมาตรฐานคลอไรด์ไอออน (Cl^-).....	85
ง-2.7 กราฟมาตรฐานไนเตรตไอออน (NO_3^-).....	86
ง-2.8 กราฟมาตรฐานซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-})	86

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
BC	ผงเขม่าคาร์บอนดำ
EC	ธาตุคาร์บอน
IC	สารอินทรีย์คาร์บอน
PM ₁₀	อนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
PM _{2.5}	อนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
TC	คาร์บอนทั้งหมด
TOC	สารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด
FT-IR	เครื่องฟลูอริเยอร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรมิเตอร์
SEM	กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด
°C	องศาเซลเซียส
ppm	ส่วนในหนึ่งล้านส่วน
µg/m ³	ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจ สังคม การเพิ่มจำนวนประชากร รวมไปถึงการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเศรษฐกิจจากภาคการเกษตรกรรมไปสู่ภาคอุตสาหกรรม ทำให้เกิดการอพยพของประชากรเข้าสู่เขตเมืองมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้เกิดกิจกรรมต่างๆ เพิ่มขึ้น เช่น การผลิตจากโรงงานอุตสาหกรรม การก่อสร้างที่อยู่อาศัย การใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคมนาคม ที่มีการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถยนต์เป็นจำนวนมาก การเผาไหม้ของน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันโซลา และแก๊สอื่นๆ ได้แก่ แก๊สโซฮอล 95 แก๊สโซฮอล 91 ก่อให้เกิดสารมลพิษปนเปื้อนสู่บรรยากาศเป็นจำนวนมาก เช่น ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และฝุ่นละอองขนาดเล็ก ซึ่งจะประกอบด้วย ผงเขม่าคาร์บอนดำ (black carbons) โลหะหนักต่าง ๆ (heavy metals) ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbons) และพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (polycyclic aromatic hydrocarbons) เป็นต้น

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจตอนล่างได้ ผู้ที่อาศัยอยู่ในสภาพอากาศที่มีความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กสูงเกินค่ามาตรฐาน จะทำให้เกิดอาการต่าง ๆ ตั้งแต่ระดับความรุนแรงน้อยไปจนถึงเป็นอันตรายต่อชีวิต ได้แก่ การไอ จาม มีน้ำมูก หายใจติดขัด เกิดอาการแพ้ หอบหืด หัวใจเต้นแรง หน้ามืด เป็นลม หมดสติ ชัก และหัวใจวายเฉียบพลัน นอกจากนี้ องค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละอองบางชนิดยังสามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ อย่างไรก็ตาม ฝุ่นละอองในบรรยากาศยังก่อให้เกิดผลกระทบอื่นๆ ได้แก่ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การบดบังทัศนวิสัย ทำให้พืชสังเคราะห์แสงได้น้อยลง ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง เช่น ทำให้เกิดความสกปรก การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง โดยทั่วไป การเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ของรถยนต์ดีเซล ฝุ่นจากผ้าเบรก และยางรถยนต์ จัดเป็นแหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ในพื้นที่ริมถนน ปัจจุบันพบว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณพื้นที่ริมถนนของกรุงเทพมหานคร มักมีค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กเกินค่ามาตรฐาน

จากการเพิ่มจำนวนของประชากร และการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง บริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) มีปัญหาการจราจรติดขัด เนื่องจากมีปริมาณรถยนต์เพิ่มขึ้น และมีการปิดถนนเพื่อให้รถไฟผ่าน ซึ่งบริเวณดังกล่าวยังไม่มีมาตรการความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของนักศึกษา และบุคลากรของคณะวิทยาศาสตร์ สจล.

โครงการพิเศษนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวัง การประเมิน และการป้องกันปัญหาด้านสุขภาพของนักศึกษาและบุคลากรในคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศบริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.
- 2) เพื่อศึกษาชนิดและองค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศบริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.
- 3) เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับปริมาณรถยนต์บริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนแบบปริมาตรสูง (PM₁₀ High Volume Air Sampler Mass Flow Controlled) บนกระดาศกรงใยหิน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง บริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ระหว่างวันที่ 28 มกราคม ถึงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 โดยเก็บตัวอย่างในวันทำงานปกติทุกวัน และในวันหยุดราชการปลายเดือนมกราคมและต้นเดือนกุมภาพันธ์ รวมทั้งหมด 24 ตัวอย่าง พร้อมทั้งเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และสภาพบรรยากาศทั่วไป
- 2) วิเคราะห์หาความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน โดยคำนวณจากน้ำหนักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน หาดด้วยปริมาตรอากาศทั้งหมดเทียบที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ
- 3) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังนี้
 - 3.1) วิเคราะห์ปริมาณผงเขม่าคาร์บอนดำ ด้วยเครื่อง Lux Meter ที่พัฒนาวิธีการวัดโดยภัทรริยา (2554)
 - 3.2) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของคาร์บอนในรูปสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด และสารอินทรีย์คาร์บอน ด้วยเครื่อง TOC-Analyzer Solid Sample Module
 - 3.3) วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณไอออนที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ Na⁺, NH₄⁺, K⁺, Ca²⁺, F⁻, Cl⁻, NO₃⁻ และ SO₄²⁻ ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี
 - 3.4) วิเคราะห์โครงสร้างของสารอินทรีย์ โดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy
 - 3.5) วิเคราะห์รูปร่างของฝุ่นละออง โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)
- 4) นับจำนวนรถยนต์ 4 ล้อ รถจักรยานยนต์ 2 ล้อ และรถยนต์มากกว่า 4 ล้อ ริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ตั้งแต่วันที่ 28 มกราคม 2560 ถึง วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2560 ระหว่างเวลา 7.00 น. ถึง 9.00 น. และ 16.00 น. ถึง 18.00 น.
- 5) เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับปริมาณรถยนต์ บริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.
- 6) เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. กับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจากสถานีตรวจวัดอากาศ ณ กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา เขตบางนา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ข้อมูลความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เพื่อเป็นแนวทางในการป้องกันปัญหาสุขภาพ ในอนาคต
- 2) ทราบแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองโดยเทียบจากค่าตัวบ่งชี้แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝุ่นละออง (Particulate Matters)

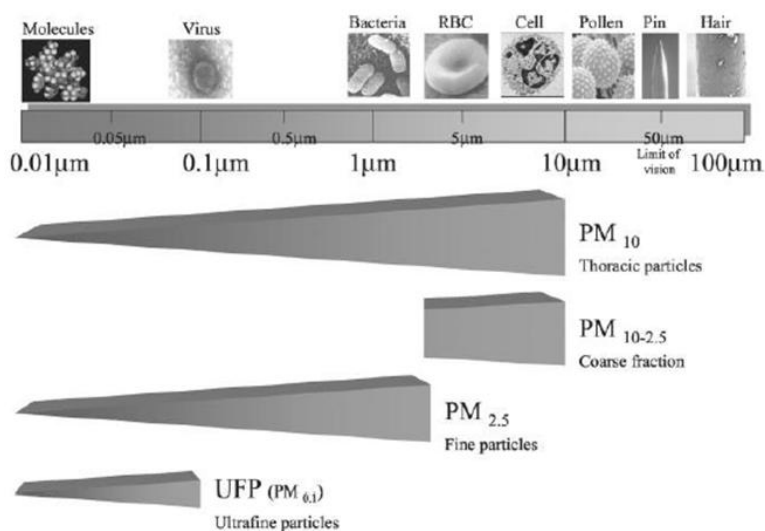
ฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ มีทั้งขนาดใหญ่ และมีสีดำจางมองเห็นเป็นเขม่าและควัน และขนาดเล็กมากจนมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคารบ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง ฝุ่นละอองเป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบอาจมีสภาพเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้ ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ และจะแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานมากขึ้น หากมีแรงกระทำจากภายนอก เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2-3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน อาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี (นพภาพร และคณะ, 2550)

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญของกรุงเทพมหานครและเมืองใหญ่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทั้งทางตรงและทางอ้อม ฝุ่นละอองในบรรยากาศอาจแยกได้เป็นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดโดยตรง และฝุ่นละอองซึ่งเกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาต่างๆในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวด้วยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ ปฏิกิริยาทางเคมี หรือปฏิกิริยาเคมีแสง (photochemical reactions) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นเหล่านี้จะมีชื่อเรียกต่างกันไปตามลักษณะการรวมตัวของฝุ่นละออง เช่น ควัน (smoke) ฟุ้ง (fume) หมอก น้ำค้าง (mist) เป็นต้น ฝุ่นละอองที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดินทราย หรือเกิดจากควันดำจากท่อไอเสียรถยนต์ที่มาจากจราจร หรือจากอุตสาหกรรม ฝุ่นที่ถูกสูดเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่งผลให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ รบกวนการมองเห็น และทำให้สิ่งต่างๆเกิดความเสียหายได้ โดยทั่วไปในบริเวณที่พักอาศัยมีปริมาณฝุ่นละออง 30% ส่วนบริเวณที่อยู่อาศัยใกล้ถนนมีปริมาณฝุ่นละออง 70-90% ซึ่งฝุ่นละอองในเมืองจะมีสารตะกั่วและสารประกอบโบรไมด์สูงกว่าบริเวณนอกเมือง เนื่องจากมลพิษที่เกิดจากยานพาหนะ ฝุ่นละอองเมื่อแยกตามขนาดพบว่า 60% โดยประมาณเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นประเภทนี้เกิดจากรถประจำทางและรถบรรทุกที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล บางส่วนมาจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนมากจะพบอยู่ในเขตเมือง เขตอุตสาหกรรม และเขตกิ่งขนบท หากพบในปริมาณที่สูงจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนเนื่องจากฝุ่นขนาดเล็กสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมปอดของมนุษย์ได้ ทำให้เกิดโรคทางเดินหายใจ โรคปอดต่างๆ เกิดการระคายเคืองและทำลายเยื่อหุ้มปอด หากได้รับในปริมาณมากและเป็นเวลานาน จะเกิดการสะสมทำให้เกิดพังผืดและเป็นแผลได้ ส่งผลให้การทำงานของปอดลดลง ความรุนแรงขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของฝุ่นละอองนั้น ส่วนฝุ่นขนาดใหญ่อีกประมาณ 40% ที่เหลือเกิดจากการก่อสร้างและการฟุ้งกระจายของฝุ่นจากพื้นผิวที่วางเปล่า ฝุ่นประเภทนี้ไม่มีผลต่อสุขภาพอนามัยมากนัก แต่จะ

ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อทางเดินหายใจส่วนต้นและอาจรบกวนและก่อให้เกิดความรำคาญเท่านั้น (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อมกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2556)

2.2 ขนาดของฝุ่นละออง (Particle Size)

ขนาดของอนุภาค หมายถึง อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่อยู่ในอากาศ หรือเรียกกง่าย ๆ ว่าฝุ่น อาจเกิดขึ้นในอากาศหรือถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดที่มีทั้งตามธรรมชาติ และจากกิจกรรมของมนุษย์ (วนิดา, 2551) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ฝุ่นละอองจำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในอากาศมีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เรียกว่า ละอองลอย (aerosol) เมื่อละอองลอยมีมากขึ้นจะรวมกันตกสู่พื้นดิน ฝุ่นละอองขนาดเล็กจะตกสะสมได้ช้ากว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ ยิ่งขนาดเล็กมาก ๆ จะคงอยู่ในอากาศได้นาน และเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจไปถึงถุงลมปอดได้ รูปที่ 2.1 แสดงฝุ่นละอองขนาดต่างๆ เปรียบเทียบกับสิ่งอ้างอิงที่มีขนาดใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบฝุ่นละอองขนาดต่างๆ
(ที่มา: พงศ์เทพ, 2554)

ฝุ่นละอองในอากาศมีรูปร่างหลายแบบ โดยทั่วไปมีลักษณะไม่เป็นทรงกลม มีขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ซึ่งส่วนใหญ่จะขึ้นกับแหล่งกำเนิดของอนุภาคนั้นๆ ของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น ฝ้าลอย เกสรดอกไม้ จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม เส้นใยขนสัตว์ ฝ้าย และเส้นใยสังเคราะห์ต่างๆ มักเป็นทรงกระบอก อนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกันในขณะลอยอยู่ในอากาศหรือเกิดจากการเย็นตัวของก๊าซร้อน รูปร่างที่เห็นจะเหมือนลูกโซ่ (chainlike) และเป็นฟล็อก (flocs) กลุ่มอนุภาคที่มีลักษณะเป็นแผ่นบาง เรียบ ซ้อนทับกัน เนื้ออนุภาคเบาบาง เช่น ฝุ่นจากโรงไฟฟ้า กลุ่มอนุภาครวมตัวกันหลวมๆ มีรูพรุนมาก เช่น ฝุ่นละอองจากท่อไอเสียรถยนต์ มักเกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ที่ก่อให้เกิดอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก (วนิดา, 2551)

ฝุ่นละอองสามารถแบ่งตามขนาดออกเป็น 4 ประเภท (นภัทร และคณะ, 2553) ดังนี้

1. ฝุ่นละอองรวม (Super coarse particles) เป็นฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 100 ไมครอนขึ้นไป มีแหล่งกำเนิดจากการฟุ้งกระจายของดินและทรายที่พื้นผิว

ถนน และสถานที่ก่อสร้าง ฝุ่นละอองรวมที่มีขนาดใหญ่ถูกกำจัดออกโดยระบบทางเดินหายใจส่วนบน เช่น การถูกดักหรือกรองไว้ภายในช่องจมูกและถูกขับออกมาจากระบบทางเดินหายใจโดยการไอหรือจาม

2. ฝุ่นหยาบ (Coarse particles) เป็นอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 – 10 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการระเบิดของภูเขาไฟ การจราจร การขนส่ง วัสดุฝุ่นจากกิจกรรมการบด ย่อยหิน การทำเหมืองแร่ หรือเป็นฝุ่นละอองปฐมภูมิที่ถูกปลดปล่อยโดยตรงและไม่ถูกเปลี่ยนรูปโดยปฏิกิริยาเคมี ธาตุที่พบในฝุ่นหยาบส่วนใหญ่เป็นซิลิกอน อลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียมในปริมาณสูง โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน สามารถเข้าสู่ระบบหายใจตอนล่างได้

3. ฝุ่นละเอียด (Fine particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 0.1 – 2.5 ไมครอนมีแหล่งกำเนิดจากควันเสีรยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม การเผาชีวมวลในที่โล่ง การเกิดไฟป่า การหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน นอกจากนี้ ยังเกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของก๊าซ SO₂, NO_x และ VOCs กับสารอื่นในอากาศ หรือเกิดการรวมตัวกับก๊าซ ในสภาวะที่มีความดันต่ำ

4. ฝุ่นละเอียดมาก (Ultrafine particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 0.1 ไมครอน มีแหล่งกำเนิดจากการรวมตัวของไอน้ำในช่วงระหว่างที่เกิดการเผาไหม้ในช่วงที่มีอุณหภูมิสูงๆ และเกิดจากระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น การเผาไหม้ การผลิตโลหะ เป็นต้น อนุภาคของฝุ่นอาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี

ตารางที่ 2.1 ขนาดทั่วไปของอนุภาคฝุ่นละอองต่างๆ

สาร	ขนาดใหญ่สุด (ไมครอน)	ขนาดเล็กสุด (ไมครอน)
ละอองน้ำ	500	40
ผงถ่านหิน	250	25
ฝุ่น	200	20
ฝุ่นโรงถลุงเหล็ก	200	1
ผงซีเมนต์	150	10
ซีเมนต์	110	3
เกสรดอกไม้	60	20
หมอก	40	1.5
สปอร์ต้นไม้	30	10
แบคทีเรีย	15	1
ยากำจัดแมลงแบบผง	10	0.4
สีฝุ่น	4	0.1
สมีอก	2	0.01
ควันบุหรี่	1	0.01
ควันน้ำมัน	1	0.03
ควันซิงค์ออกไซด์	0.3	0.01
ควันถ่านหิน	0.2	0.01
ไวรัส	0.05	0.003

ที่มา : วงศ์พันธ์และคณะ, 2543

2.3 ประเภทของฝุ่นละออง

การจำแนกประเภทของฝุ่นละอองในอากาศ สามารถจำแนกตามลักษณะการเกิดของฝุ่นละออง ดังนี้ (นพภาพร และแสงสันต์, 2544)

1. ฝุ่นปฐมภูมิ (Primary emission particulate matter) เกิดจากแหล่งกำเนิดโดยตรง เช่น ฝุ่นจากถนน ฝุ่นเกล็ดจากทะเล ฝุ่นจากกระแสลมที่พัดผ่าน ภูเขาไฟ และเขม่าควันดำที่เกิดจากการเผาเชื้อเพลิงในยานพาหนะ และเตาเผาในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

2. ฝุ่นทุติยภูมิ (Secondary emission particulate matter) เกิดจากปฏิกิริยาต่างๆในบรรยากาศหลังจากที่ฝุ่นถูกปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดได้ระยะหนึ่ง โดยเกิดขึ้นในบรรยากาศทั่วๆไปจากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างฝุ่นปฐมภูมิด้วยกันเอง หรือปฏิกิริยาเคมีระหว่างฝุ่นปฐมภูมิกับสารประกอบอื่นๆ ที่อยู่ในบรรยากาศ ฝุ่นประเภทนี้อาจเป็นอนุภาคใหม่หรือเป็นอนุภาคเดิมที่มีองค์ประกอบเพิ่มขึ้น สารที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ ซัลเฟต ไนเตรต และคาร์บอนอินทรีย์ โดยซัลเฟตและไนเตรตในบรรยากาศเกือบทั้งหมดเป็นฝุ่นทุติยภูมิ โดยมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นสารเริ่มต้น

2.4 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

แหล่งที่มาของฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ (นิพนธ์ และคณิตา, 2552)

2.4.1 ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural particles)

เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องแต่อย่างใด แหล่งกำเนิดประเภทนี้แบ่งออกได้เป็น

1. ภูเขาไฟเมื่อเกิดการระเบิดของภูเขาไฟ จะมีเถ้าและควันจำนวนมากถูกปล่อยสู่บรรยากาศ อนุภาคเหล่านี้อาจลอยสูงถึง 70,000 ฟุต และคงอยู่ในอากาศได้นานนับปีกว่าจะตกลงกลับคืนมาสู่พื้นโลก

2. ไฟป่า เป็นตัวการเพิ่มปริมาณสารพิษให้กับอากาศ ถึงแม้ว่าควันไฟป่าจะไม่สามารถทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ก็ตาม แต่อาจทำให้ทัศนวิสัยลดลงอันเป็นสาเหตุของอุบัติเหตุทางรถยนต์หรือเครื่องบินได้

3. อนุภาคจากดิน ลมแรงๆ และพายุสามารถพัดพาอนุภาคสารจากผิวดินให้ขึ้นไปในบรรยากาศได้ ซึ่งเรียกว่า การกระดอน (saltation) อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานกว่าพวกที่มีขนาดใหญ่ แต่อนุภาคเหล่านี้จะตกลงกลับสู่ผิวดินเมื่อมีน้ำหนักมากขึ้น เนื่องจากอนุภาคดูดความชื้นเข้าไปหรือการรวมตัวกับอนุภาคอื่นๆ ที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ

4. ละอองเกสรจากพืช เกิดจากวัชพืช ต้นไม้ และหญ้า เป็นอนุภาคขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา สามารถลอยอยู่และฟุ้งกระจายไปได้ไกลในอากาศ ละอองเกสรเหล่านี้อาจทำให้เกิดโรคมภูมิแพ้ได้

5. จุลินทรีย์ เช่น ไวรัส เชื้อรา และสปอร์ พบได้เสมอในอากาศ สิ่งมีชีวิตนี้จะลอยอยู่ด้วยตัวเองหรือติดอยู่กับอนุภาคอื่นๆ

6. ผลการเน่าเปื่อยผุพังของสารอินทรีย์ อินทรีย์วัตถุต่างๆ ที่ทับถมกันอยู่จะสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน การย่อยสลายทำให้เกิดอนุภาคขนาดเล็ก และก๊าซต่างๆ เช่น แอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นเหม็น

2.4.2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made particles)

เป็นแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ในบริเวณที่ใกล้ถนนที่มีการจราจรติดขัดจะมีปัญหาฝุ่นละอองที่รุนแรงกว่าในบริเวณที่มีการจราจรคล่องตัว สารมลพิษที่ระบายนเข้าสู่บรรยากาศที่เกิดจากการคมนาคมขนส่ง ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารตะกั่ว เป็นต้น แหล่งกำเนิดนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile sources) หมายถึง แหล่งกำเนิดที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ได้แก่ รถยนต์ประเภทต่างๆ เรือยนต์ เครื่องบิน รถไฟ เป็นต้น

2. แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary sources) หมายถึง แหล่งกำเนิดที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งก่อให้เกิดสารมลพิษจากการใช้เชื้อเพลิง และกระบวนการผลิตต่างๆ ดังนี้

1) กระบวนการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ และเตาเผา ทำให้เกิด SO_x , NO_x , เขม่า และ CO รวมทั้งไฮโดรคาร์บอน ไฮโดรเจนคลอไรด์ และไดออกซิน

2) การถลุงและแปรรูปโลหะ ในกระบวนการถลุงแร่ เช่น การเผาและอบ จะเกิดการแพร่กระจายของทองแดง ตะกั่ว สังกะสี แคดเมียม ปปรอทและธาตุอื่นๆ ในสินแร่ ในการอบแร่ที่ปนอยู่กับกำมะถัน นอกจากจะเกิด SO_2 เป็นจำนวนมากแล้ว ก็ยังเกิด NO_x และเขม่า

3) การทำงานที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่มีลักษณะเป็นผง เช่น การบดวัตถุดิบ การคัดแยก การผสม แปรรูป และการขนส่ง ที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง

4) การกลั่นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งการใช้สารละลายและสี จะทำให้เกิดไฮโดรคาร์บอน

5) การแพร่กระจายของก๊าซพิษ เกิดจากการจัดการที่ขาดความระมัดระวัง การกระจายของสารเคมีทางการเกษตร เช่น ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า เป็นต้น

6) การก่อสร้างทำให้เกิดฝุ่นละออง

แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้เหล่านี้มีปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นทั้งคาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอนินทรีย์ในปริมาณสูง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ นอกจากนี้ โลหะที่พบในฝุ่นละอองยังสามารถบอกแหล่งกำเนิดได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการสันนิษฐานที่มาของฝุ่น

แหล่งที่มา (Sources)	ตัวบ่งชี้ (Marker Elements)
ดิน ถนน อุตสาหกรรมซีเมนต์ โรงไม้ เถ้าลอย	Al, Si, K, Ca, Mn, Fe
ละอองทะเล	Na, Cl
การเผาไหม้ชีวมวล และการเผาฟางข้าว	OC, EC, K
การเผาถ่านหิน	SO_4^{2-} , EC, Ag, As, Cr, K, Mo, Pb, Sb, Se, S, Zn
การเผาน้ำมันเตา โรงกลั่นน้ำมัน	Cr, La, Ni, Sm, S, V
อุตสาหกรรมเหล็ก	Mn, Fe, Zn
อุตสาหกรรมโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก	Cu, Zn, As, Sb
อุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิง	K, EC
อุตสาหกรรมที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง	OC
อุตสาหกรรมเซรามิก	Si, Al, Fe, K, F

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการสันนิษฐานที่มาของฝุ่น

แหล่งที่มา (Sources)	ตัวบ่งชี้ (Marker Elements)
อุตสาหกรรมแปรรูปไม้	Cl
เตาเผาขยะ	Ag, Cl, Cu, In, K, Pb, Sb, Zn
การจราจร	OC, Br, Pb
รถยนต์เบนซิน	Al, Ca, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni
รถยนต์ดีเซล	OC, EC, S, SO_4^{2-} , NO_3^-
รถยนต์เบนซินที่ติดตั้ง catalytic converter	Al
รถยนต์เบนซินที่ไม่ติดตั้ง catalytic converter	Br, Pb
ยางรถยนต์	Zn
แอโรซอลทุติยภูมิ (Secondary aerosol)	SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2549

2.5 องค์ประกอบของฝุ่นละออง (นพภาพร และคณะ, 2550; วงศ์พันธ์ และคณะ, 2543)

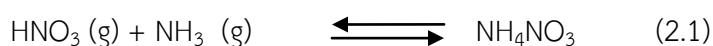
2.5.1 ธาตุคาร์บอน (Elemental carbons, EC) เป็นสารประกอบที่ใช้ติดตามตรวจสอบ (tracer) ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ต่างๆ มักจะเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ และมีสมบัติที่ไม่สามารถระเหยได้

2.5.2 คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbons, OC) สารอินทรีย์ที่พบในฝุ่นละอองเป็นการรวมตัวของสารประกอบต่างๆ ประกอบด้วยสารประกอบของคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม แหล่งกำเนิดของคาร์บอนเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ จากพืชและสัตว์ แล้วยังรวมถึงสารที่สังเคราะห์ขึ้นด้วย เช่น สีย้อม ยาฆ่าแมลง วัตถุระเบิด เป็นต้น สำหรับคาร์บอนอินทรีย์ที่มาจากสิ่งมีชีวิต ได้แก่ พวกเชื้อรา และแบคทีเรีย เป็นต้น นอกจากนี้ยังเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ฝุ่นจากถนน และสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ต่างๆโดยตรง และจากปฏิกิริยาทางเคมีของสารต่างๆในบรรยากาศ

2.5.3 คาร์บอนอนินทรีย์ (Inorganic carbons, IC) เช่น ฝุ่นซิลิกา จากทราย หิน และใยหิน ซึ่งมีอนุภาคแข็งคมจะเป็นอันตรายแก่เนื้อในหลอดลม และปอด

2.5.4 ผงเขม่าคาร์บอนดำ (Black carbon, BC) คือ อนุภาคหรือผงเขม่าที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ ได้แก่ การเผาเศษวัสดุชีวมวลจากพืชและต้นไม้ การเผาเชื้อเพลิงแข็ง (ถ่าน ไม้ ฟืน) เพื่อการประกอบอาหารหรือกิจกรรมอื่นๆ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะไอเสียการจากเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล คาร์บอนที่อยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ หรือจากการแยกส่วนประกอบด้วยความร้อนของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นก๊าซ หรือของเหลวภายใต้สภาวะควบคุม ลักษณะทางกายภาพจะมีสีดำ เป็นผงละเอียด

2.5.5 ไนเตรต (Nitrate) ที่พบมากที่สุดเนื่องจากผันกลับได้หรือปรับสมดุลเองได้ ระหว่างก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซกรดไนตริก (HNO_3) และอนุภาคของแอมโมเนียมไนเตรต ดังสมการ (2.1) และขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

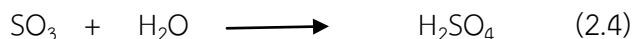
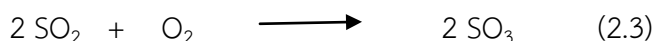
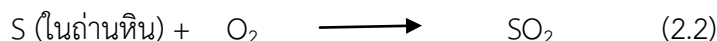


2.5.6 แอมโมเนียม (Ammonium) ที่พบมากในอากาศในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรต โดยแอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต เกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกและแอมโมเนียมที่ไม่สามารถผันกลับได้ แอมโมเนียมในอากาศเป็น ก๊าซปฐมภูมิพื้นฐาน (Primary basic gas) แหล่งกำเนิดสำคัญของแอมโมเนีย คือ ของเสียจากสัตว์ การปลดปล่อยจากดิน การแพร่ของก๊าซแอมโมเนียของปุ๋ยดิน

2.5.7 ฟลูออไรด์ (Fluoride) สามารถพบฟลูออไรด์ได้ทั้งหมด 2 ชนิด คือ ไฮโดรเจน ฟลูออไรด์ (HF) และซิลิกอนฟลูออไรด์ (SiF) ซึ่งมีผลกระทบต่อพืชและเป็นภัยต่อสัตว์ที่กินพืชเหล่านี้ เป็นอาหาร แหล่งสารประกอบฟลูออไรด์ที่พบมีทั้งโรงงานอลูมิเนียม โรงงานเซรามิก การผลิตปุ๋ย กระบวนการจัดการผิวโลหะและยางสังเคราะห์ฟลูออไรด์

2.5.8 ซัลเฟต (Sulfate) ในอากาศอยู่ในรูปที่เป็นอนุภาคปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยทั่วไป สารประกอบซัลเฟตพบมากที่สุดในฝุ่นละออง คือ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และ กรดซัลฟิวริก สารประกอบนี้สามารถละลายน้ำได้ และส่วนใหญ่ถูกผลิตโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปเป็นซัลเฟตในฝุ่นละออง

ออกไซด์ของซัลเฟอร์เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่านหินและน้ำมัน โดยออกไซด์ของซัลเฟอร์ที่ปล่อยออกมาเกือบทั้งหมดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) และบางส่วนเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO₃) และเมื่อถูกแสงอาทิตย์ SO₃ จะถูกดูดกลืนโดยฝน หรือเมฆกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (H₂SO₄) ดังสมการที่ 2.2 – 2.4



แหล่งกำเนิดออกไซด์ของซัลเฟอร์เกิดจากการใช้หม้อน้ำที่ใช้ถ่านหินหรือน้ำมันเชื้อเพลิง เตาให้ความร้อน เตาเผาถ่านหิน เตาเผาขยะ เครื่องยนต์ดีเซล และการเดินทางในอากาศโดยใช้อากาศยานเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับการขยายตัวของอุตสาหกรรม ทำให้มีการปลดปล่อยละอองซัลเฟตในบรรยากาศระดับสูง ที่มีผลต่อเมฆระดับสูงด้วย

2.5.9 โบรไมด์ (Bromide) มาจากแหล่งกำเนิดรถยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีน เนื่องจากใช้โบรไมด์ ในการเติมเพื่อทำให้แก๊สโซลีนมีเลขออกเทนสูงขึ้น

2.5.10 ตะกั่ว (Pb) เป็นโลหะอ่อนสีเทาเงิน หรือแกมน้ำเงินอยู่ในรูปของสารประกอบ อินทรีย์และอนินทรีย์ที่อยู่ในอากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันเบนซิน เนื่องจากใน น้ำมันเบนซินจะมีสารเตตระเอทิลเลด (Tetraethyllead, TELPb (C₂H₅)₄) ผสมอยู่เพื่อเพิ่มค่าออกเทน (Octane) ให้แก่น้ำมันเบนซินสำหรับป้องกันการน็อคของเครื่องยนต์ ตะกั่วถูกระบายออกมาทางท่อไอเสียในรูปของอนุภาคของแข็งและไอตะกั่ว ตะกั่วเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษสูง และจะรุนแรงมากใน เด็กก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพหลายอย่าง เช่น ทำลายไขกระดูกและเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดโรค โลหิตจาง นอกจากนี้ ยังทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง ตับ หัวใจ และระบบสืบพันธุ์

2.5.11 อะลูมิเนียม (Al) เป็นโลหะที่มีมากที่สุดในโลก พบทั่วไปในดิน น้ำดื่ม อาหาร ภาชนะบรรจุต่างๆ ยา สารระงับกลิ่นตัว ตลอดจนฝุ่นละอองในอากาศ ซึ่งมีอาการเป็นพิษที่เกิดจากอะลูมิเนียม ได้แก่ เกิดก๊าซมากในลำไส้ ลำไส้ใหญ่อักเสบ เสียดท้อง โลหิตจาง ปวดศีรษะ ความจำเสื่อม แกเกินวัย ร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง กระดูกบาง กล้ามเนื้อไม่มีแรง

2.5.12 สังกะสี (Zn) ที่พบในอากาศส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ ZnO, ZnS และ ZnSO₄ จากอุตสาหกรรมทำเหมืองแร่ เช่น การบัด ย่อยแร่ ส่วนประกอบครัวบ้านหลังคา หรือวัสดุอื่นที่ใช้สังกะสีเป็นโลหะผสม นอกจากนี้ ยังเกิดจากสารประกอบของสังกะสีที่นำมาทำยาฆ่าเชื้อรา เช่น Zinc dimethyl dithiocarbamate อันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ คือ ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ และอาการท้องร่วง ถ้าได้รับไอฝุ่นของ Zn เข้าร่างกายมาก ๆ จะเกิดอาการไข้ที่เรียกว่า Zinc chills ซึ่งมีอาการจับไข้ หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน

2.6 ผลกระทบของฝุ่นละออง

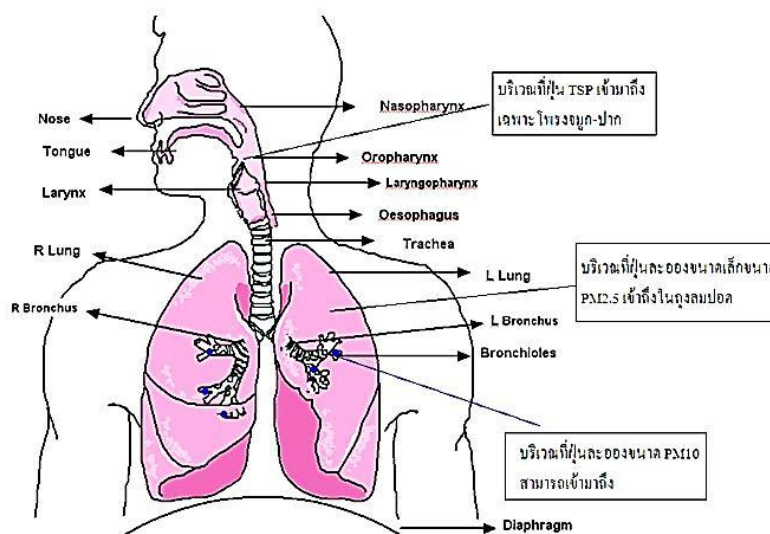
1. ผลกระทบต่อการมองเห็น กลุ่มหมอกควัน หรือ หมอก (Smog) มักมีสีน้ำตาลเนื่องจากมีก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในปริมาณสูงที่เกิดจากท่อไอเสียรถยนต์ซึ่งมีผลต่อการมองเห็น ฝุ่นละอองทุกขนาดในอากาศมีผลโดยตรงต่อการปิดกั้นทางเดินของแสง จะทำให้ระยะการมองเห็นลดลง โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือละอองลอยมีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงและหักเหแสง เช่น ในวันที่มีหมอกจัด ที่ระยะไกลไม่สามารถมองเห็นแสงไฟหน้ารถยนต์ที่แล่นสวนทางมาได้

2. ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง อนุภาคฝุ่นละอองแขวนลอยในบรรยากาศที่ตกกลับมาตามแรงดึงดูดของโลกแล้วเกาะติดวัตถุและสิ่งก่อสร้างต่างๆทำให้เกิดความสกปรก นอกจากนี้ อนุภาคของฝุ่นละอองแขวนลอยยังมีคุณสมบัติในการดูดซับโลหะ สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ไว้ที่ผิวอนุภาค หรือจากชนิดของอนุภาคฝุ่นละอองที่เป็นชนิดที่มีสภาพเป็นกรดหรือมีองค์ประกอบทางเคมีที่เป็นอันตราย เมื่อเกาะติดผิววัตถุหรือสิ่งก่อสร้างจึงสามารถทำให้เกิดความสกปรก การสึกกร่อน หรือเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ผุกร่อนได้

3. ผลกระทบต่อพืชและระบบนิเวศ ฝุ่นละอองทำให้การเจริญเติบโตของพืชชะงักหรืออาจตายได้ เนื่องจากไปขัดขวางการหายใจของพืช และทำให้ประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงของพืชลดลง อนุภาคของฝุ่นละอองที่ปิดปากใบทำให้เกิดการสะสมความร้อนไว้ภายในมาก จึงขัดขวางการเจริญเติบโตของพืช และถ้ามีสารพิษอื่นที่ติดมากับละอองลอย เช่น โลหะหนัก ผงปูนซีเมนต์หรือซิลิกา ก็จะทำให้พืชได้รับอันตรายจากสารพิษนั้นด้วย นอกจากนี้ ยังมีผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพและระบบนิเวศอีกด้วย

4. ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ (กรมอนามัย, 2558) ฝุ่นละอองมีหลายขนาด แต่ละขนาดจะมีระดับการเข้าสู่ร่างกายที่ต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพที่แตกต่างกัน โดยฝุ่นละอองเมื่อเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์ทางระบบทางเดินหายใจ จะทำลายระบบทางเดินหายใจโดยตรง ทำให้เกิดการอักเสบในเยื่อบุทางเดินหายใจ ทำให้เกิดความไวต่อการติดเชื้อระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น เพิ่มปฏิกิริยาตอบสนองของระบบทางเดินหายใจและทำให้อาการหอบหืดมากขึ้น ระบบหัวใจและหลอดเลือดได้รับผลกระทบจากการเพิ่มอัตราการหายใจ เนื่องจากสมรรถภาพการแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลง เกิดการอักเสบของปอดและระบบทางเดินหายใจมีผลต่อ

การแข็งตัวของเลือด ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่ออาการหัวใจวาย และพบว่ามีผลต่อปริมาณเซลล์ในเลือดด้วย



รูปที่ 2.2 ขนาดของฝุ่นละอองที่เข้าสู่ทางเดินหายใจในระดับความลึกแตกต่างกัน
(ที่มา : สุชาติ, 2555)

ทางเดินอากาศหายใจแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนบนตั้งแต่จมูก คอหอยถึงหลอดลมคอ และส่วนล่าง ได้แก่ หลอดลมคอส่วนนอก หลอดลม และปอดส่วนต่างๆของทางเดินหายใจจะถูกกระทบโดยสารพิษต่างๆที่หายใจเข้าไป ทางเดินหายใจส่วนบนมีขนจุกและความชื้นกรองฝุ่นละอองขนาดใหญ่ ส่วนทางเดินหายใจส่วนล่างในปอดประกอบด้วยหลอดลมฝอยมากมายซึ่งจะทำให้ความเร็วของการไหลของอากาศลดลงจึงมีผลต่อการตกค้างของฝุ่นละอองในปอด วิธีที่ฝุ่นเข้าสู่ร่างกายมี 3 วิธีคือ (มาริษา, 2542)

- 1) ทางจมูกโดยการหายใจเข้าไป ซึ่งฝุ่นละอองจะเข้าสู่ร่างกายโดยวิธีนี้มากที่สุด
- 2) ทางปากได้รับโดยการที่ฝุ่นละอองในอากาศตกลงสู่อาหารแล้วมนุษย์กินเข้าไป ซึ่งวิธีนี้ฝุ่นจะติดเข้าไปไม่มากนัก
- 3) ทางผิวหนัง ฝุ่นละอองจะปลิวมาติดอยู่ตามผิวหนังจะดูดซับน้ำและน้ำมันออกทำให้ผิวแห้งเกิดการระคายเคืองและเป็นผื่นคันได้

การได้รับฝุ่นละอองเข้าสู่ร่างกาย บริเวณแรกที่ต้องสัมผัสกับฝุ่น คือ จมูกและคอหอย จึงมักพบการระคายเคือง จามและเจ็บคอได้บ่อย โดยฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 10 ไมครอนขึ้นไป ส่วนใหญ่จะถูกจับไว้โดยขนจุกและจะถูกขับออกไปกับน้ำมูก ผู้ที่ต้องสัมผัสกับฝุ่นเป็นประจำเป็นระยะเวลาหนึ่งอาจพัฒนาเกิดเป็นภาวะปฏิกิริยาไวเกินหรือภูมิแพ้ขึ้นได้ ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นาน ผ่านเข้าสู่ทางเดินหายใจได้ลึกกว่า ทำให้เกิดการระคายต่อกล่องเสียงและหลอดลมคอ เกิดอาการคันคอ ไอ เสียงแหบลง ถ้าสัมผัสเป็นประจำระยะเวลานานจะเกิดการอักเสบเรื้อรัง และเซลล์ในบริเวณนั้นมีโอกาสกลายเป็นมะเร็งได้

2.7 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

United State Environmental Protection Agency (U.S. EPA) ได้ศึกษาวิจัยฝุ่นละอองขนาดเล็กพบว่ามีความเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองรวมเพราะสามารถเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ ดังนั้น U.S. EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองรวม และได้กำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก 2 ชนิด คือ PM₁₀ และ PM_{2.5} ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศของไทย U.S. EPA และ WHO ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ชนิดฝุ่นละออง	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น	ค่ามาตรฐานฝุ่นละออง		
		ประเทศไทย ^{1,2} (µg/m ³)	U.S. EPA ³ (µg/m ³)	WHO ⁴ (µg/m ³)
TSP	24 ชั่วโมง	330	-	-
	1 ปี	100	-	-
PM ₁₀	24 ชั่วโมง	120	150	50
	1 ปี	50	50	20
PM _{2.5}	24 ชั่วโมง	50	35	25
	1 ปี	25	15	10

หมายเหตุ – ไม่ได้กำหนดมาตรฐาน

¹ที่มา: ¹ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป

²ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไป

³<https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>

⁴WHO Air Quality Guidelines Global Update 2005(2006)

2.8 แนวทางป้องกันปัญหาฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในอากาศมีทั้งชนิดที่เป็นอินทรีย์และอนินทรีย์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของฝุ่นละออง ซึ่งจะเป็นตัวบ่งชี้ความอันตราย ซึ่งอันตรายจากฝุ่นละอองในอากาศมัก หมายถึง การทำให้เกิดปฏิกิริยาแพ้ (allergic reaction) การอุดตันจนเกิดปอดอักเสบ (pneumonitis) และการเกิดพังผืดในปอด (fibrosis) ซึ่งส่วนมากเป็นอนินทรีย์สาร แต่จะไม่รวมอันตรายที่เกิดจากกลุ่มสารอินทรีย์สารที่เป็นกลุ่มโรคหรือสารพิษ เช่น เชื้อวัณโรค เชื้อไวรัสหัด สารอินทรีย์เคมี เช่น ยากำจัดศัตรูพืช เมื่อฝุ่นละอองเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ อาจทำให้เกิดปฏิกิริยาภายในร่างกาย เริ่มตั้งแต่เกิดอาการแพ้หรืออักเสบในโพรงจมูก โพรงไซนัส ช่องคอ และหลอดลม จนทำให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจหรือโรคติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนบน หอบหืด เนื่องจากเมื่อฝุ่นละอองเข้าไปถึงถุงลมปอด และสะสมเป็นปริมาณมาก จนเกิดเป็นโรคปอดอักเสบ เมื่อเป็นเรื้อรังก็จะทำให้เกิดพังผืด หรือเกิดรอยแผลเป็นภายในปอดได้ ปัจจัยที่ผลต่อปฏิกิริยาเหล่านี้ ได้แก่ ปริมาณ ขนาด ชนิดของฝุ่นละออง รูปแบบการหายใจ อัตราการหายใจ และระยะเวลาที่หายใจรับอากาศที่มีฝุ่นละอองเหล่านี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

2.8.1 แนวทางการป้องกันและควบคุมฝุ่นละอองในบรรยากาศ (ศิวพันธุ์, 2556)

แนวทางการป้องกันฝุ่นละอองที่ปล่อยจากการจราจรทางบกมีดังนี้

1. การลดปริมาณการปล่อยก๊าซมลพิษออกสู่บรรยากาศ โดยติดตั้งระบบบำบัดและดำเนินการบำบัดอากาศหรือก๊าซไอเสียที่ปนเปื้อนสารมลพิษทางอากาศก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ
2. การพัฒนาประสิทธิภาพของน้ำมันเชื้อเพลิง
3. การเพิ่มประสิทธิภาพในระบบขนส่ง ปรับปรุงเส้นทางจราจร ลดปริมาณรถยนต์ และใช้กฎหมายบังคับ
4. การพัฒนาเชื้อเพลิงอื่นทดแทนน้ำมัน ปรับปรุงคุณภาพของน้ำมันเชื้อเพลิงก่อนการเผาไหม้ เพื่อลดการเกิดสารมลพิษทางอากาศ
5. การลดปริมาณการจราจรบนท้องถนน
6. การใช้กฎหมายควบคุมการปล่อยสารมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดก่อนปล่อยลงสู่บรรยากาศ และบังคับใช้อย่างเคร่งครัด
7. กำหนดค่ามาตรฐานที่ยอมให้มีการปล่อยสารมลพิษทางอากาศออกสู่บรรยากาศ และนำไปใช้อย่างเคร่งครัด
8. ดำเนินการเฝ้าระวัง และตรวจจับการปล่อยสารมลพิษทางอากาศ เช่น ตรวจจับรถที่ปล่อยควันดำ และห้ามใช้งานหากยังไม่ปรับปรุงแก้ไขให้ดีขึ้น
9. การปรับปรุงระบบสันดาปของน้ำมันในเครื่องยนต์ให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ เช่น การปรับระบบส่วนผสมให้บางลง สามารถลดการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์
10. การเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องยนต์สามารถลดการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และสารไฮโดรคาร์บอนได้ แต่ทำให้ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น

2.8.2 แนวทางการแก้ไขปัญหฝุ่นละออง (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

1. การควบคุมฝุ่นละอองที่แหล่งกำเนิด โดยอาศัยเทคโนโลยีต่าง ๆ เช่น การควบคุมฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรม การปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงให้ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น
2. การป้องกันการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากรถบรรทุกวัสดุก่อสร้าง หิน ดินทราย หรือฝุ่นละอองจากกิจกรรม การก่อสร้างอาคารและถนน โดยใช้ผ้าใบหรือวัสดุคลุมรถให้มิดชิดและทำความสะอาดล้อรถบรรทุก จำกัดเขตก่อสร้างให้ชัดเจนพร้อมทั้งมีวัสดุคลุมหรือกั้นบริเวณก่อสร้างให้เรียบร้อย
3. การปรับปรุงกฎหมายที่เกี่ยวข้อง เช่น มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ มาตรฐานอากาศเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม มาตรฐานอากาศเสียจากยานพาหนะ เป็นต้น
4. เข้มงวดกับการใช้กฎหมาย เช่น การกวดขันตรวจจับยานพาหนะที่มีการระบายควันดำเกินมาตรฐาน
5. ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของประชาชนผู้เป็นเจ้าของและขับขี่ยานพาหนะ ให้มีการเอาใจใส่ดูแลรักษาและตรวจสภาพเครื่องยนต์ให้อยู่ในสภาพดี

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภทรียา (2554) ศึกษาการพัฒนาเครื่องตรวจวัดปริมาณ Black Carbon (BC) ในบรรยากาศ โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำหนักของ BC บนกระดาษกรองและค่าความเข้มแสง (Light Transmission) จากเครื่อง Lux meter และ (2) การหาปริมาณ BC จากฝุ่นจริงในบรรยากาศ ในการทดลองส่วนแรกจะทำการเก็บฝุ่นละอองจากควันเทียนที่ปริมาณต่างกันผ่านกระดาษกรองใยหินขนาด 47 มิลลิเมตร โดยใช้ปั๊มดูดอากาศ (อัตราการไหล 5 ลิตรต่อนาที) น้ำหนักของฝุ่นบนกระดาษกรองนั้นกำหนดให้มีค่าเท่ากับปริมาณ BC ทั้งนี้เนื่องจากในควันเทียนมีส่วนของ BC ที่สูง (>95%) จากนั้นกระดาษกรองทุกแผ่นจะนำไปวัดค่า Light Transmission ด้วยเครื่อง Lux meter และหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Light Transmission และปริมาณ BC จากการเปรียบเทียบระหว่างค่า Light Transmission ที่อ่านได้จากเครื่อง Lux meter และค่า Light Reflection ที่อ่านได้จากเครื่อง Reflectometer (เครื่องมือมาตรฐานสำหรับการตรวจวัดปริมาณ BC) พบว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Lux meter นั้นมีความสัมพันธ์สอดคล้องกัน ($R^2 = 0.9455$) เมื่อนำไปใช้สำหรับตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศจริงบนกระดาษกรองใยหินที่มีการเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Mini Volume Sampler อัตราการไหลของอากาศ 5 ลิตรต่อนาที เป็นเวลา 12 ชั่วโมง บริเวณอาคารเรียนรวม 5 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีในห้องปฏิบัติการพบว่าค่าที่อ่านได้จาก Lux meter และ Reflectometer มีความสัมพันธ์กันน้อยกว่าในการทดลอง ($R^2 = 0.7708$) สำหรับค่าความเข้มข้นของ BC ที่ประเมินได้จาก Lux meter และ Reflectometer มีความสัมพันธ์กันในการศึกษาทั้งสอง (ควันเทียนและฝุ่นละอองในบรรยากาศ) โดยมีความสัมพันธ์สหสัมพันธ์ $R^2 = 0.9688$ และ 0.8214 ตามลำดับ การประเมินความเข้มข้นของ BC ในฝุ่นละอองพบว่า BC ที่จุดตรวจวัดมีค่าต่ำสุดและสูงสุด คือ 2.8 และ $25.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ $8.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ จากการศึกษาข้างต้นสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องตรวจวัดปริมาณ Black Carbon ในบรรยากาศแบบอัตโนมัติ โดยทำการติดตั้งระบบหมุนกระดาษกรองแบบอัตโนมัติ และระบบดูดฝุ่นละอองขนาดเล็กประกอบเข้าด้วยกันกับระบบการอ่านค่าอย่างต่อเนื่องจากเครื่อง Lux meter จากการประเมินพบว่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมของเครื่องมือดังกล่าวคือ 150 ลิตรต่อนาที และความเข้มข้นของ BC บนกระดาษกรองที่เหมาะสมอยู่ในช่วง $51 - 241 \mu\text{g}/\text{m}^3$

ตระวรรณ (2556) ศึกษาความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับปัจจัยอุตุนิยมวิทยาและปริมาณจราจรในพื้นที่ริมถนนเขตกรุงเทพมหานครจำนวน 3 เส้นทาง ได้แก่ ถนนอินทรีพิทักษ์ ถนนดินแดง และถนนลาดพร้าว โดยนำข้อมูลผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองตั้งแต่ พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2554 จากกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ โดยใช้สหสัมพันธ์เพียร์สัน สมการถดถอยเชิงเส้น และสมการถดถอยพหุคูณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น ผลการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณริมถนนมีแนวโน้มลดลง โดยถนนดินแดงมีปริมาณฝุ่นละอองมากที่สุด เมื่อศึกษาจากพื้นที่ริมถนนทั้งหมดโดยแยกเป็นช่วงฤดูกาลพบว่าในช่วงฤดูหนาวมีปริมาณฝุ่นละอองสูงที่สุด และลดลงในช่วงฤดูร้อนและมีปริมาณน้อยที่สุดในช่วงฤดูฝน ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับปัจจัยอุตุนิยมวิทยาพบว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงฝุ่นละอองมากที่สุดและมี

ความสัมพันธ์เชิงลบในถนนสองเส้นทาง มีค่าสหสัมพันธ์ (r) ดังนี้ ถนนอินทรพิทักษ์ $r = -0.239$ และ ถนนลาดพร้าว $r = -0.441$ เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองกับปัจจัยอุตุนิยมวิทยาทั้งหมด พบว่าปัจจัยอุตุนิยมวิทยามีอิทธิพลต่อฝุ่นละอองของแต่ละถนน คือ 27.5%, 41.9% และ 38.1% ตามลำดับ จากการศึกษาทำให้สรุปได้ว่าปริมาณฝุ่นละอองเพิ่มขึ้นเมื่อ ความเร็วลมต่ำ อากาศเย็นและเสถียร แสงแดดไม่มาก ส่วนปริมาณน้ำฝนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของฝุ่นละอองขนาดเล็กอย่างชัดเจนในช่วงฤดูฝน โดยน้ำฝนช่วยลดช่วยลดการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากผิวถนน ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองในช่วงฤดูฝนมีค่าลดลง ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับปริมาณจราจรซึ่งในแต่ละถนนมีปริมาณการจราจรแตกต่างกัน แต่รถยนต์ส่วนใหญ่ของแต่ละถนนเป็นรถยนต์ส่วนบุคคล รองลงมาคือรถจักรยานยนต์ แต่จากการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองในบริเวณพื้นที่ริมถนนมีความสัมพันธ์กับรถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถโดยสารประจำทาง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองกับปริมาณจราจรทั้งหมด พบว่า ปริมาณจราจรโดยรวมทั้งหมดนั้นไม่มีอิทธิพลต่อฝุ่นละอองอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพื้นที่เก็บตัวอย่างอยู่ในเมืองซึ่งมีปริมาณของยานพาหนะที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงน้อยมาก จึงได้มีข้อเสนอแนะให้ใช้สถานที่ซึ่งมียานพาหนะเหล่านี้เป็นสัดส่วนที่สูงในบริเวณชานเมืองและบริเวณใกล้ท่าเรือในการศึกษาต่อไป นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ปัจจัยอุตุนิยมวิทยา และปริมาณการจราจร พบว่าปัจจัยอุตุนิยมวิทยามีความสัมพันธ์กับฝุ่นละอองอย่างมีนัยสำคัญตามลักษณะภูมิศาสตร์ของพื้นที่ริมถนน

วิศิษฎ์ (2555) ศึกษาความเข้มข้นของสารไอออนิก และการเปลี่ยนแปลงของสารไอออนิก 7 ชนิด ได้แก่ ซัลเฟต ไนเตรต คลอไรด์ โซเดียม แอมโมเนียม โพแทสเซียม และแคลเซียมของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเมตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี จากพื้นที่การศึกษาในกรุงเทพมหานคร บริเวณพื้นที่ริมถนน ได้แก่ สถานีรถไฟฟ้ามหานคร สายเฉลิมรัชมงคล สถานีการบินพลเรือน และพื้นที่ทั่วไป ได้แก่ โรงเรียนแสงหิรัญ โรงเรียนกรุงเทพคริสเตียน และโรงพยาบาลเซนต์หลุยส์ โดยเริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2554 จำนวน 240 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของสารไอออนิกจากพื้นที่ริมถนนสูงกว่าพื้นที่ทั่วไป ทั้งนี้ยังพบว่าฤดูกาลมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารไอออนิกซึ่งในฤดูแล้งจะมีค่าความเข้มข้นสูงกว่าในฤดูฝนอย่างมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องมาจากกระบวนการชะล้างของฝนที่สามารถส่งผลต่อการลดลงของความเข้มข้นของสารไอออนิกจากฝุ่นละอองในบรรยากาศได้ โดยสารไอออนหลักที่พบในทุกพื้นที่การศึกษาคือ ซัลเฟต ไนเตรต และโพแทสเซียม มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.30 0.85 และ 0.99 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 42, 15 และ 17 ของปริมาณสารไอออนิกทั้งหมด ตามลำดับ

ศิริวรรณ (2543) ศึกษาปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยในกรุงเทพมหานครบางพื้นที่ที่มีค่าเกินมาตรฐาน และบริเวณถนนมีปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยมากกว่าบริเวณพื้นที่ทั่วไป ฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 65.60 มค.ก/ลบ.ม. ฤดูหนาวเท่ากับ 97.65 มค.ก/ลบ.ม สัดส่วนการกระจายตัวของฝุ่น PM_{10} ในฝุ่นรวม TSP มากกว่าร้อยละ 50 คาร์บอนอินทรีย์ในฝุ่น PM_{10} เฉลี่ยในช่วงฤดูฝนมีค่า 31.21 มค.ก/ลบ.ม. มีค่ามากกว่าในช่วงฤดูหนาวที่มีค่า 26.49 ค.ก/ลบ.ม ลักษณะทางสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM_{10} ให้หาชนิดของ

แหล่งกำเนิดได้ พบว่าฝุ่นจากเครื่องดีเซลมีลักษณะเป็นปุย จับตัวกันแบบหลวมๆ มีรูพรุนมากไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต มีขนาด 7-10 ไมครอน มีธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบหลัก ฝุ่นที่มาจากเครื่องยนต์เบนซินมีลักษณะเป็นก้อนที่เกิดจากการรวมตัว เนื้อฟู มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต มีขนาด 4-5 ไมครอน มีธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ เป็นองค์ประกอบหลัก ฝุ่นที่มาจากเครื่องก่อสร้างมีลักษณะเป็นก้อนคล้ายรูปสี่เหลี่ยม เนื้ออนุภาคมีความหนาแน่น ขนาด 8-10 ไมครอน มีธาตุแคลเซียมเป็นธาตุหลัก ฝุ่นจากโรงไฟฟ้ามีลักษณะเป็นแผ่นบาง เรียบ ซ้อนทับกัน เนื้ออนุภาคเบาบาง ขนาดประมาณ 10 ไมครอน ประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ส่วนฝุ่นดินจะมีลักษณะเป็นก้อน ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต เนื้ออนุภาคมีความหนาแน่น มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมครอน มีธาตุซิลิกา แคลเซียม และอลูมิเนียม เป็นธาตุหลัก ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องดีเซลและเครื่องเบนซินมากที่สุด รองลงมาคือฝุ่นจากการก่อสร้าง

Rashid et al. (2014) ศึกษาความเข้มข้นของ Black Carbon และชนิดของไอออนในตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จากพื้นที่ในเมืองของมาร์กัสซา สุลาเวสีใต้ อินโดนีเซีย ตัวอย่างฝุ่นละอองจะเก็บเป็นประจำทุกสัปดาห์ภายในระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ค.ศ. 2012 ถึง เดือนมกราคม ค.ศ. 2013 ผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยของ Black Carbon ในตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เท่ากับ 2.01 ± 0.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ความเข้มข้นของไอออนแต่ละชนิดที่พบเรียงลำดับได้ดังนี้ $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^- > NH_4^+$ มีความเข้มข้นโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.44 ± 1.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร 1.11 ± 1.06 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, 0.87 ± 0.91 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, 0.49 ± 0.64 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ Black Carbon จะสูงในช่วงที่อากาศแห้ง ประกอบกับมีการเผาไหม้ชีวมวล ซึ่งไม่สามารถที่จะควบคุมได้ ในสภาพอากาศที่ร้อนและแห้ง ในทำนองเดียวกัน ความเข้มข้นของ SO_4^{2-} และ NH_4^+ จะสูงในช่วงฤดูกลางที่แห้งของเดือน และในทางตรงกันข้าม ความเข้มข้นของ Cl^- จะสูงในช่วงเดือนที่มีอากาศชื้น ซึ่งได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมทางทะเลโดยรอบพื้นที่นั้น

Kumar and Rajkumar (2014) ศึกษาแร่ธาตุที่อยู่ในบรรยากาศซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับปัญหาด้านสุขภาพของประชาชน โดยใช้วิธีสเปกโทรสโกปีในการตรวจวัดอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศหลายๆตัวอย่าง บริเวณสถานที่ต่างๆภายในเมืองรัฐทมิฬนาฑู ประเทศอินเดีย โดยทำการวิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อตรวจสอบธาตุที่เป็นองค์ประกอบในตัวอย่างฝุ่นละออง โดยวิธี FTIR และ XRD ที่จากการศึกษาพบว่า แร่ธาตุ เช่น ควอทซ์ ไยหิน เคโอลิไนต์ แคลไซต์ ออกไซด์ มอนต์โมริลโลไนต์ nacrite และแร่ธาตุอีกหลายชนิด ในอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศ ส่วนใหญ่จะปรากฏควอทซ์ในทุกๆตัวอย่าง ดังนั้นร้อยละของควอทซ์และผลึกธรรมชาติ จะได้รับการวิเคราะห์โดยอาศัยวิธีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยและดัชนีผลึก ตามลำดับ รูปร่างและขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองจะศึกษาโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ SEM

Cuccia et al. (2011) ศึกษาความเข้มข้นของคาร์บอนในอนุภาคฝุ่นละอองที่อยู่ในสภาพแวดล้อมของเหมืองหินอ่อน สุ่มตัวอย่าง PM_{10} ในคาร์ราร่า (อิตาลี) ที่ตั้งอยู่ระหว่างเหมืองหินอ่อนและท่าเรือ มีรถบรรทุกประมาณ 1,000 คันต่อวันขนส่งก้อนหินอ่อนและเศษหินอ่อนจากเหมือง

ไปยังท่าเรือผ่านใจกลางเมือง เก็บตัวอย่างทุกวันบนตัวกรอง PTFE วิเคราะห์โดยใช้ Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF) และ ไอออนโครมาโทกราฟี (IC) วัดความเข้มข้นของคาร์บอนโดยวิเคราะห์ Non-destructive Infrared Spectroscopy (FT-IR) ธาตุต่างๆ (โซเดียม-ตะกั่ว โดย ED-XRF) ไอออนิก (ซัลเฟตไอออน, แอมโมเนียมไอออน โดยไอออนโครมาโทกราฟี) และคาร์บอน (โดย FT-IR) ค่าความเข้มข้นจะรวมอยู่ในชุดข้อมูลที่ไม่ซ้ำกันและการวิเคราะห์ PMF บอกแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ PM₁₀ ในพื้นที่ได้ การขนส่งหินอ่อนจะเป็นแหล่งมลพิษที่สำคัญในเมืองคิดเป็น PM₁₀ ประมาณ 36% ซึ่งสอดคล้องกับระดับเฉลี่ยของ CaCO₃ ประมาณ 8 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในช่วงเวลาทำงาน การวิเคราะห์ FT-IR เป็นส่วนสำคัญในการทำงานและขั้นตอนการวิเคราะห์ ad-hoc ถูกกำหนดขึ้นโดยเฉพาะ การเปรียบเทียบ และการทดสอบ

Wu et al. (2013) ศึกษาความเข้มข้นของ PM₁₀ ในบรรยากาศและองค์ประกอบทางเคมีในพื้นที่อุตสาหกรรมของเซินเจิ้นประเทศจีน 5 แห่ง ในปี 2005 ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ PM₁₀ แสดงค่าสูงสุดที่ 264 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้กับท่าเรือ กิจกรรมบนท่าเรือส่งผลให้ซัลเฟอร์แสดงความเข้มข้นสูงสุด (2,419–3,995 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) องค์ประกอบที่ศึกษาซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในพื้นที่สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม การตรวจสอบโดยร้อยละมวลของ SO₄²⁻ ซึ่งคิดเป็น 34.3%–39.7% ของไอออนทั้งหมด NO₃⁻/SO₄²⁻ อัตราส่วนที่แตกต่างกัน 0.64–0.71 ซึ่งหมายถึงการเผาไหม้ถ่านหินเป็นที่โดดเด่นเมื่อเทียบกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากยานพาหนะ อัตราส่วนประจุลบ/ประจุบวก ใกล้เคียงกับ 0.95 แสดงให้เห็นการขาดไอออนลบในภูมิภาคนี้ แหล่งที่ตั้งท่าเรือแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นสูงสุดของ OC และ EC กับอิทธิพลของสารมลพิษจากเรือ ลำดับต่อมาจะเป็นคาร์บอนอินทรีย์คิดเป็นประมาณ 22.6%–38.7% ของ OC มีเปอร์เซ็นต์ที่สูง ที่เกิดขึ้นในแหล่งที่ตั้งที่อยู่ติดกับโรงไฟฟ้าถ่านหินและโรงงานไม้ ในภูมิภาคนี้อุตสาหกรรมมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญที่ได้รับระหว่างการพิจารณาทางเคมี และกราวิเมตริก การตรวจวัดมวล PM₁₀ โดยองค์ประกอบหลักของ PM₁₀ พบว่ามีสารอินทรีย์ 30.9%–69.5% โดยละอองลอยทุติยภูมิสารอินทรีย์ 7.9%–25.0% วัสดุเปลือกแข็ง 6.7%–13.8% ธาตุคาร์บอน 3.5%–10.8% เกลือทะเล 2.4%–6.2% และธาตุอื่น 2.0%–4.9% ในภูมิภาคอุตสาหกรรม การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักชี้ให้เห็นว่าแหล่งที่มาหลักสำหรับอนุภาคในภูมิภาคนี้มีอุตสาหกรรมวัสดุของแข็งและการเผาไหม้ถ่านหิน/ไม้ การเผาไหม้น้ำมัน ละอองลอยทุติยภูมิ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมและการจราจร

Godec et al. (2016) ศึกษาและเปรียบเทียบของ EC, OC และ PAHs ในอนุภาคของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนระหว่างฤดู(หนาวและร้อน) และสถานที่การเฝ้าติดตามต่างกัน (ที่เมืองและอุตสาหกรรมชนบท) ในการวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองสำหรับ OC และ EC จะใช้วิธี Thermal/Optical Transmittance (TOT) และสำหรับ PAHs จะใช้ High-Performance liquid Chromatography (HPLC) กับ Fluorescence detector ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของคาร์บอนมี และ PAHs (Flu, Pyr, Chry, BaA, BbF, BaP, BkF, BghiP and IP) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน การเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและตามบริเวณพื้นที่ จากการวิเคราะห์เกี่ยวกับอัตรา (Flu/(Flu+Pyr), BaA/(BaA+Cry), IP/(IP+BghiP), BaP/BghiP, IP/BghiP and BaP/(BaP+Chry)) ทำให้สามารถประเมินแหล่งที่มาของมลพิษและแสดงให้เห็นว่ายานพาหนะเป็น

สาเหตุที่ก่อให้เกิดมลพิษมากที่สุดที่อุตสาหกรรมขนบในช่วงฤดูร้อน ในขณะที่ถ่านหินและการเผาไหม้ของไม้เป็นสาเหตุที่เกิดมลพิษในช่วงฤดูหนาว ความแตกต่างในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน อัตราส่วน PAHs แสดงให้เห็นว่าที่เขตอุตสาหกรรมขนบมากกว่าเขตเมือง เนื่องจากพื้นที่เขตเมืองเชื้อเพลิงความร้อนที่เด่นคือ ก๊าซ อัตราส่วน OC/EC ก็ให้ผลสรุปเหมือนอัตราส่วน PAHs การวิเคราะห์นี้แสดงให้เห็นว่า EC และ OC เกิดจากการจราจร PAHs เกิดจากอุตสาหกรรมไม้หรือการเผาไหม้ชีวมวล ในขณะที่ Pyr และ Flu เกิดจากการเผาไหม้ของดีเซล หรือเป็นผลมาจากการระเหยของชั้นบรรยากาศที่แตกต่างกัน และกระบวนการออกซิเดชัน

Reff *et al.* (2007) องค์กรประกอบหมู่ฟังก์ชัน (FG) ของตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเขตเมืองที่โล่งแจ้ง พื้นที่ในร่ม และพื้นที่ส่วนบุคคล ตัวอย่างฝุ่นละอองนำมาใช้เพื่อศึกษาองค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยจะเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง โดยเก็บในพื้นที่ที่กลางแจ้ง ในร่ม และพื้นที่ส่วนบุคคล เพื่อหาความสัมพันธ์กัน โดยเก็บตัวอย่างที่บ้านปลอดบุหรี่ 219 แห่ง ในเขตลอสแอนเจลิส รัฐแคลิฟอร์เนีย เขตเอลิซาเบท รัฐนิวเจอร์ซีย์ และเขตฮิวสตัน รัฐเทกซัส ทำการวิเคราะห์ด้วยสเปกตรัมอินฟราเรด (FTIR) ของตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงองค์ประกอบหมู่ฟังก์ชัน โดยหาปริมาณด้วยสมการถดถอยพหุคูณ (PLS) ซึ่งเป็นวิธีการสอบเทียบหลายตัวแปร จากงานวิจัยส่วนใหญ่พบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่ในร่มเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า พื้นที่ในร่มประกอบไปด้วย อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน เป็นส่วนใหญ่ เมื่อเทียบกับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่กลางแจ้ง แหล่งกำเนิดไฮโดรคาร์บอนในพื้นที่ในร่มมากกว่าพื้นที่กลางแจ้ง ใน 144 แห่ง 167 หลังคาเรือน ที่วัดได้ในพื้นที่ในร่มและกลางแจ้ง หมู่ฟังก์ชันอะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอนในพื้นที่ในร่มของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สารอินทรีย์มีน้อยในพื้นที่ในร่ม และพื้นที่ส่วนบุคคลที่มากกว่าพื้นที่กลางแจ้ง การหาปริมาณองค์ประกอบหมู่ฟังก์ชัน เมื่อนำค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโมเลกุลอินทรีย์ (OM) ต่อน้ำหนักคาร์บอน (OC) ซึ่งเป็นวัดระดับออกซิเจนของสารอินทรีย์ในอนุภาคฝุ่นละออง ตัวอย่างในพื้นที่กลางแจ้งอยู่ในช่วง 1.7-2.6 และตัวอย่างในพื้นที่ในร่มกับพื้นที่ส่วนบุคคล อยู่ในช่วง 1.3-1.7 ชั่วโมงหรือระดับของออกซิเจนส่งผลต่ออนุภาคฝุ่นละอองในสิ่งแวดล้อมและระบบทางเดินหายใจ

Viidanoja *et al.* (2002) ศึกษาทดลองในการวัดความเข้มข้นสารคาร์บอนอินทรีย์ (OC) และผงเขม่าคาร์บอนดำ (BC) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และ 2.5 ไมครอน ในระยะเวลา 1 ปี ในพื้นที่การจราจรเขตปริมณฑลของเฮลซิงกิ การวัดตัวอย่างฝุ่นละอองโดยใช้อุปกรณ์คัดแยกฝุ่นละออง และวิเคราะห์ทางความร้อนเพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างสารคาร์บอนอินทรีย์และผงเขม่าคาร์บอนดำ จากการคัดแยกฝุ่นละอองตัวอย่าง ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของสารคาร์บอนอินทรีย์ (OC) มีความแตกต่างระหว่าง 1.0 และ 8.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และผงเขม่าคาร์บอนดำ (BC) มีความแตกต่างระหว่าง 0.3 และ 5.7 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ปี สารคาร์บอนอินทรีย์ (OC) และผงเขม่าคาร์บอนดำ (BC) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เท่ากับ 4.2 และ 1.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สารคาร์บอนอินทรีย์ และผงเขม่าคาร์บอนดำของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เท่ากับ 1.2 และ 3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาณอินทรีย์วัตถุของอนุภาคฝุ่นละออง ($POM=1.6 \times OC$) ปริมาณอินทรีย์วัตถุของอนุภาคฝุ่น

ละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และ 2.5 ไมครอน เท่ากับ $36\pm 8\%$ และ $50\pm 14\%$ ปริมาณผง
เขม่าคาร์บอนดำของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และ 2.5 ไมครอน $7\pm 4\%$ และ $14\pm 8\%$
ปริมาณผงเขม่าคาร์บอนดำมากกว่า 90% มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ความแตกต่างของสาร
คาร์บอนอินทรีย์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและ 2.5 ไมครอน มีค่าระหว่าง 0 ถึง 67%
ผลของสถานะทางอุตุนิยมวิทยาต่อความแปรปรวนของความเข้มข้นของ สารคาร์บอนอินทรีย์ (OC)
และผงเขม่าคาร์บอนดำ (BC) ผลของสถานะทางอุตุนิยมวิทยา มีผลต่อความแปรปรวนของความ
เข้มข้นของ สารคาร์บอนอินทรีย์ (OC) และผงเขม่าคาร์บอนดำ (BC) และละอองสารทุติยภูมิ มีผลต่อ
ปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอนแบบปริมาตรสูง (PM₁₀ High-Volume Air Sampler Mass Flow Controlled) รุ่น DVS AIR & SEA บริษัท Thermo Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องวัดความเข้มแสง (Digital Lux Meter Model) รุ่น Victor 1010A บริษัท Shenzhen Victor Hi-Tech Co., Ltd ประเทศจีน
3. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph) ยี่ห้อ Metrohm ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ คอลัมน์แคทไอออน (METROSEPC2_150 ขนาด 4.0 × 250 มิลลิเมตร) คอลัมน์แอนไอออน (METROSEP ASUPP5_150 ขนาด 4.0 × 250 มิลลิเมตร)
4. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณรวมของคาร์บอนอินทรีย์ (Total Organic Carbon Analyzer) แบบการวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็ง (Solid Sample Module, SSM) รุ่น TOC-VCSH บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
5. เครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectroscopy: FT-IR) รุ่น Spectrum GX บริษัท Perkin Elmer ประเทศสหรัฐอเมริกา
6. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น LEO 1455 VP บริษัท LEO
7. เครื่องอัลตราโซนิก (Ultra Sonic) รุ่น 136H บริษัท Fisher Scientific World Wide ประเทศเยอรมนี
8. เครื่องทำน้ำบริสุทธิ์สูง (Ultrapure Organex Cartridge) รุ่น Millipak-40 บริษัท Millipore ประเทศฝรั่งเศส
9. เครื่องชั่งกระดาษกรอง 4 ตำแหน่ง รุ่น AB204 Mettler Toledo บริษัท Metrology Technical Co., Ltd. ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
10. ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desiccator Autodry Box) รุ่น C-3 บริษัท Sanplatec Corp ประเทศญี่ปุ่น
11. กระดาษกรองควอทซ์ขนาด 203×254 มิลลิเมตร Grade QR-100 บริษัท Toyo Roshi Kaisha, Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
12. กระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน บริษัท Whatman ประเทศเยอรมนี
13. เครื่องอัดไฮดรอลิก
14. ไมโครปีเปต
15. มีดตัดพิชซ่า
16. Paper Punches
17. ที่รองตัดกระดาษกรอง
18. ปากคีบกระดาษกรองพลาสติก

19. ถุงมือไนล่อนไม่มีแป้ง
20. ถุงซิปลและของสีน้ำตาล
21. หลอดไฟฮาโลเจน ขนาด 50 วัตต์ ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง
22. ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว และฝาครอบท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว
23. สายไฟ
24. ลวด
25. เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 สารเคมี

1. กลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
2. กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศอินเดีย
3. กรดไดพีโคลอนิก (Dipicolonic acid) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Sigma-Aldrich ประเทศอินเดีย
4. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
5. โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Chemical ประเทศเยอรมนี
6. กรดไนตริก (HNO_3 65%) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
7. กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
8. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
9. อะซิโตน (CH_3COCH_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
10. สารละลายสต็อกมาตรฐานโซเดียม (Na^+) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
11. สารละลายสต็อกมาตรฐานแอมโมเนียม (NH_4^+) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
12. สารละลายสต็อกมาตรฐานโพแทสเซียม (K^+) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
13. สารละลายสต็อกมาตรฐานแคลเซียม (Ca^{2+}) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
14. สารละลายสต็อกมาตรฐานผสม ประกอบด้วย คลอไรด์ (Cl^-) ไนเตรต (NO_3^-) ฟลูออไรด์ (F^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
15. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เกรดการค้า บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
16. โพแทสเซียมโบรไมด์ (Potassium bromide) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส

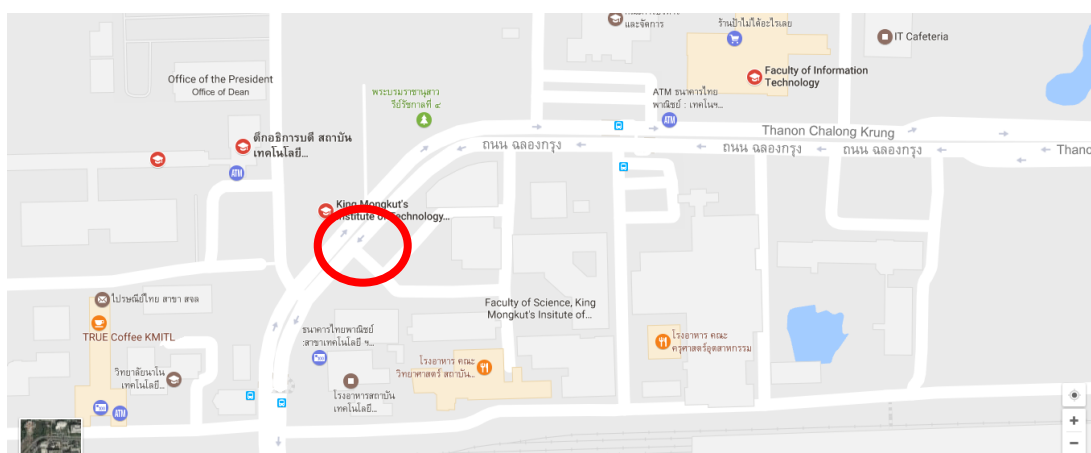
3.3 สถานที่และระยะเวลาการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองและการนับปริมาณรถยนต์

3.3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ห่างจากถนน 3 เมตร จุดเก็บตัวอย่างตั้งอยู่ที่ละติจูด 13 องศา 43 ลิปดาเหนือ ลองจิจูด 100 องศา 46 ลิปดาตะวันออก

3.3.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในวันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560



รูปที่ 3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ

3.3.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

เก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีกรมอุตุนิยมวิทยาสุวรรณภูมิ ได้แก่ ดังแสดงในภาคผนวก

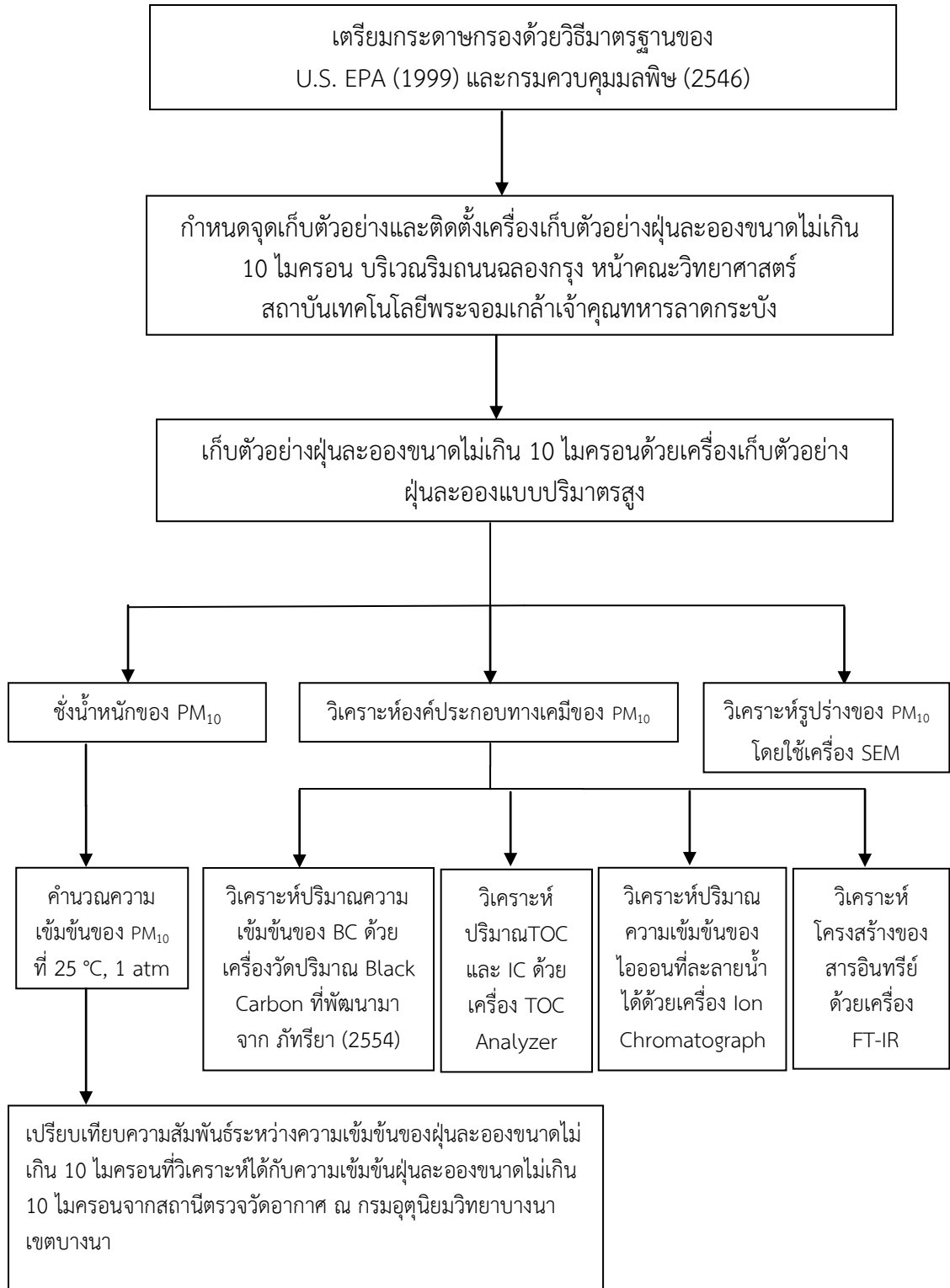
ค-1

3.3.4 การนับจำนวนรถยนต์

นับจำนวนรถยนต์ บริเวณถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ระหว่างวันที่ 28 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 3 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 แบ่งออกเป็นสองช่วงเวลา คือ เวลา 7.00-9.00 น. และเวลา 16.00-18.00 น. ซึ่งเป็นช่วงที่มีการจราจรหนาแน่น ดังแสดงในภาคผนวก ค-2

3.4 วิธีการทดลอง

สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงดังนี้



3.4.1 การเตรียมกระดาศกรอง

การเตรียมตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ใช้วิธีมาตรฐานของ U.S. EPA (1999) และกรมควบคุมมลพิษ (2546) ดังนี้

1. ตรวจสอบกระดาศกรองควอทซ์ขนาด 203×254 มิลลิเมตร โดยส่องกับแสงไฟ เพื่อตรวจสอบความไม่สมบูรณ์ของกระดาศกรอง (โดยทำความสะอาดกล่องไฟด้วยเอทานอลก่อนใช้งาน ใช้ถุงมือไนลันที่ไม่มีแป้ง และปากคีบพลาสติกในการจับกระดาศกรอง)
2. เก็บกระดาศกรองในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ ที่ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า $50\% \pm 5\%$ อุณหภูมิห้องระหว่าง $15-30 \pm 3$ องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. เปิดเครื่องซั่งกระดาศกรอง 4 ตำแหน่ง ทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นซั่งกระดาศกรองในหน่วยมิลลิกรัม อย่างน้อย 3 ครั้ง จนกระทั่งน้ำหนักกระดาศกรองคงที่ (กรณีน้ำหนักไม่คงที่ ให้นำกระดาศกรองไปอบและซั่งน้ำหนักใหม่ จนกว่าจะคงที่)
4. นำกระดาศกรองใส่ถุงซิปล (ไม่ต้องปิดปากถุง) นำไปดูดความชื้นต่ออีก 1-2 ชั่วโมง
5. นำกระดาศกรองใส่ถุงซิปลและซองสีน้ำตาล บันทึกหมายเลขการเก็บตัวอย่างที่ซองพร้อมนำไปเก็บตัวอย่าง

3.4.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

1. กำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยให้ติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างที่บริเวณริมถนนคลองกรุง ริมรั้วของคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห่างจากถนน 3 เมตร
2. เปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนแบบปริมาตรสูงโดยเปรียบเทียบกับชุดเปรียบเทียบ Orifice (ภาคผนวก ก)
3. จากนั้นใส่กระดาศกรองควอทซ์ขนาด 203×254 มิลลิเมตร ที่ซั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้ว (จากข้อ 3.4.1) ในเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่อัตราการไหลในช่วง 1.02-1.24 ลูกบาศก์เมตรต่อนาที จะอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้
4. บันทึกข้อมูลเริ่มต้น ได้แก่ เวลาที่เก็บตัวอย่าง อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อัตราการไหลจากกราฟวงกลม และสภาพบรรยากาศทั่วไป
5. หลังจากเก็บตัวอย่างครบเวลาแล้ว ถอดกระดาศกรองออกจากเครื่องเก็บฝุ่นละออง พับกระดาศกรองครึ่งหนึ่งตามแนวยาวให้ด้านที่มีฝุ่นละอองเข้าหากัน บันทึกข้อมูลหลังการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ เวลาที่เก็บตัวอย่าง อัตราการไหลจากกราฟวงกลม อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ
6. เก็บกระดาศกรองใส่ในถุงซิปล และนำไปดูดความชื้นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ โดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้น้อยกว่า $50 \pm 5\%$ (ก่อนใส่ตู้ดูดความชื้นให้คลี่กระดาศกรองออก) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7. ซั่งกระดาศกรองด้วยเครื่องซั่งกระดาศกรอง 4 ตำแหน่ง
8. ทำ Trip blank โดยนำกระดาศกรองไปยังภาคสนาม แต่ไม่ต้องเก็บตัวอย่างอากาศ
9. นำไปคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ ดังสมการใน ภาคผนวก ข - 1 และนำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีต่อไป

3.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

3.4.3.1 วิเคราะห์รูปร่างของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนด้วย SEM

1. ตัดตัวอย่างกระดาษกรองให้มีขนาด 0.5×0.5 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างไปเคลือบทอง และติดลงบน Stub แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.4.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในรูปสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและสารอนินทรีย์คาร์บอนในตัวอย่างฝุ่นละออง

1) การทำกราฟมาตรฐาน

กราฟมาตรฐาน Total Carbon (TC) (ภาคผนวก ง -1)

- สารมาตรฐาน คือ กลูโคส ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 40%
 1. ชั่งน้ำหนักกลูโคส 74.3 มิลลิกรัม, 50.16 มิลลิกรัม, 24.80 มิลลิกรัม, 10.43 มิลลิกรัม, และ 0 มิลลิกรัม ตามลำดับ ใส่ลงใน Ceramic combustion boat
 2. นำไปวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง TOC Analyzer
 3. สร้างกราฟมาตรฐาน Total Carbon

กราฟมาตรฐาน Inorganic Carbon (IC) (ภาคผนวก ง- 1)

- สารมาตรฐาน คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 11.3%
 1. ชั่งน้ำหนัก Na_2CO_3 202.40 มิลลิกรัม, 102.00 มิลลิกรัม, 50.12 มิลลิกรัม 24.8 มิลลิกรัม, 10.43 มิลลิกรัม และ 0 มิลลิกรัม ตามลำดับ ใส่ลงใน Ceramic combustion boat
 2. นำไปวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง TOC Analyzer
 3. สร้างกราฟมาตรฐาน Inorganic Carbon (IC)

2) การวิเคราะห์หาค่า Total Carbon

1. ตัดตัวอย่างกระดาษกรองที่มีฝุ่นละอองให้มีขนาด 20×175 มิลลิเมตร จากนั้นพับด้านที่มีฝุ่นเข้าหากันแล้วตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ
2. ใส่ตัวอย่างฝุ่นละอองลงใน Ceramic combustion boat โดยต้องชั่งน้ำหนักก่อนใส่ตัวอย่างและน้ำหนักหลังใส่ตัวอย่าง
3. จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่า Total Carbon โดยใส่ในเครื่อง TOC-SSM
4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ซ้ำ และทำ Trip blank เช่นเดียวกันกับตัวอย่างฝุ่นละออง

3) การวิเคราะห์หาค่า Inorganic Carbon

1. ตัดตัวอย่างกระดาษกรองที่มีฝุ่นละอองให้มีขนาด 20×175 มิลลิเมตร จากนั้นพับด้านที่มีฝุ่นเข้าหากัน ตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ
2. ใส่ตัวอย่างฝุ่นละอองลงใน Ceramic combustion boat ที่ชั่งน้ำหนักก่อนใส่ตัวอย่างและน้ำหนักหลังใส่ตัวอย่าง
3. จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่า Inorganic Carbon โดยใส่ในเครื่อง TOC-SSM ที่และเติมกรดฟอสฟอริกเจือจาง ($\text{H}_3\text{PO}_4:\text{H}_2\text{O}$ 2:1) จำนวน 1 มิลลิลิตรด้วย Reaction Solution Injector

4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ซ้ำ และทำ Trip blank เช่นเดียวกันกับตัวอย่างฝุ่นละออง
5. คำนวณค่าความเข้มข้นของ TOC ดังสมการใน ภาคผนวก ข-2

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและสารอินทรีย์คาร์บอน

ข้อมูลทางเทคนิค	สารคาร์บอนอินทรีย์	สารอินทรีย์คาร์บอน
อุณหภูมิเตาเผา	900 องศาเซลเซียส	200 องศาเซลเซียส
อัตราการไหลของออกซิเจน	500 มิลลิลิตรต่อนาที	500 มิลลิลิตรต่อนาที

3.4.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณผงเขม่าคาร์บอนดำ (Black Carbon)

1) การทำเครื่องมือวิเคราะห์ Black Carbon

การทดลองนี้วิเคราะห์หาปริมาณผงเขม่าคาร์บอนดำ โดยใช้วิธีของภัทธิยา (2554) โดยมีการเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

1. ใช้หลอดไฟฮาโลเจน 50 วัตต์ ต่อกับสายไฟ แล้วประกอบลงบนฝาครอบท่อพีวีซีสีฟ้า
2. ตัดท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความสูงของท่อ 15 เซนติเมตร
3. ใช้ลวดเป็นที่ยางกระดาษกรอง โดยให้แหล่งกำเนิดแสงห่างจากกระดาษกรอง 5 เซนติเมตร
4. นำเครื่องวัดเข้มแสงใส่ไว้บริเวณฐาน เพื่อวัดความเข้มแสง (รูปที่ 3.2)

2) การหาปริมาณผงเขม่าคาร์บอนดำ

1. ตัดกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นละอองให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว
2. ใส่กระดาษกรองในเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณ Black Carbon
3. อ่านค่าความเข้มของแสงที่ส่องผ่านกระดาษกรองจากเครื่อง Lux meter
4. คำนวณความเข้มข้นของ Black Carbon ดังสมการใน ภาคผนวก ข - 3



รูปที่ 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณ Black Carbon

3.4.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนที่ละลายน้ำได้

1) การทำกราฟมาตรฐาน

1) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแคทไอออน

Na^+ : 0.0, 2.0, 5.0, 7.5, 10.0 ppm

K^+ : 0.0, 2.5, 5.0, 7.5, 10.0 ppm

NH_4^+ : 0.0, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 ppm

Ca^{2+} : 0.0, 10.0, 20.0, 25.0, 30.0 ppm

2) ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานแอนไอออน

F^- : 0.05, 0.5, 1.6, 4.0, 6.0, 8.0 ppm

Cl^- : 0.00, 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0 ppm

NO_3^- : 0.50, 5.0, 10.0, 20.0, 30.0, 40.0 ppm

SO_4^{2-} : 0.50, 5.0, 10.0, 20.0, 30.0, 40.0 ppm

2) การเตรียมตัวอย่างกระดาษกรองที่มีฝุ่นละอองด้วยการสกัดด้วยน้ำ

1. ตัดกระดาษกรองที่มีตัวอย่างฝุ่นละอองให้มีขนาด 20×175 มิลลิเมตร จากนั้นตัดเป็นชิ้นเล็กๆใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

2. จากนั้นเติมน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูง 10 มิลลิลิตร ให้กระดาษกรองเปียกทั้งหมด และปิดบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟิวส์

3. นำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก ที่ความถี่ 44 กิโลเฮิรตซ์ เป็นเวลา 15 นาที นำบีกเกอร์ออกจากเครื่องอัลตราโซนิก และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

5. ล้างกระดาษกรองและบีกเกอร์ด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงปริมาณเล็กน้อย จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำที่มีความบริสุทธิ์สูงและเขย่าให้เข้ากัน

6. กรองสารละลายที่ได้ผ่านตัวกรองไนลอนรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร ลงในขวดพลาสติก

7. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี โดยใช้สภาวะในตารางที่ 3.1

8. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ซ้ำ และทำ Trip blank เช่นเดียวกันกับตัวอย่างฝุ่นละออง

9. คำนวณค่าความเข้มข้นของไอออน ดังสมการใน ภาคผนวก ข - 4

ตารางที่ 3.2 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี

ข้อมูลทางเทคนิค	แคทไอออน	แอนไอออน
คอลัมน์ที่ใช้	Metrosep C2-150 (6.1010.220)	Metrosep A Supp (6. 1006.520)
วัสดุที่ใช้เป็นตัวพา	ซิลิกาเจลกับหมู่คาร์บอกซิล	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กับ หมู่ควอเทอร์นารีแอมโมเนียม
ค่าการนำไฟฟ้า	560-600 ไมโครซีเมนส์/ เซนติเมตร	12-13 ไมโครซีเมนส์/เซนติเมตร
อัตราการไหล	1.0 มิลลิลิตร/นาที	0.70 มิลลิลิตร/นาที
ความดันภายใน	8.4 MPa	11.4 MPa
สารละลายตัวทำละลายเคลื่อนที่	สารละลายกรดทาร์ทาริก กับกรด ไดฟิโคลินิก	สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) กับ โซเดียมไฮโดรเจน คาร์บอเนต (NaHCO_3)

3.4.3.5 การวิเคราะห์หาโครงสร้างของสารอินทรีย์

- นำตัวอย่างฝุ่นละออง 2-3 มิลลิกรัม (ตัดกระดาษกรองประมาณ 20×50 มิลลิเมตร) บดรวมกับ KBr ที่อบแห้งจำนวน 0.2-0.5 กรัม
- เมื่อบดเข้ากันแล้วเทลงในแผ่นฟิล์ม แล้วอัดให้แน่นด้วยความดัน 10^4 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เป็นเวลา 1.5 นาที
- เมื่อได้แผ่น KBr ที่มีตัวอย่างฝุ่นละอองบรรจุอยู่ซึ่งมีลักษณะบางและโปร่งใส และนำออกจากแม่พิมพ์ด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก
- นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FT-IR

บทที่ 4

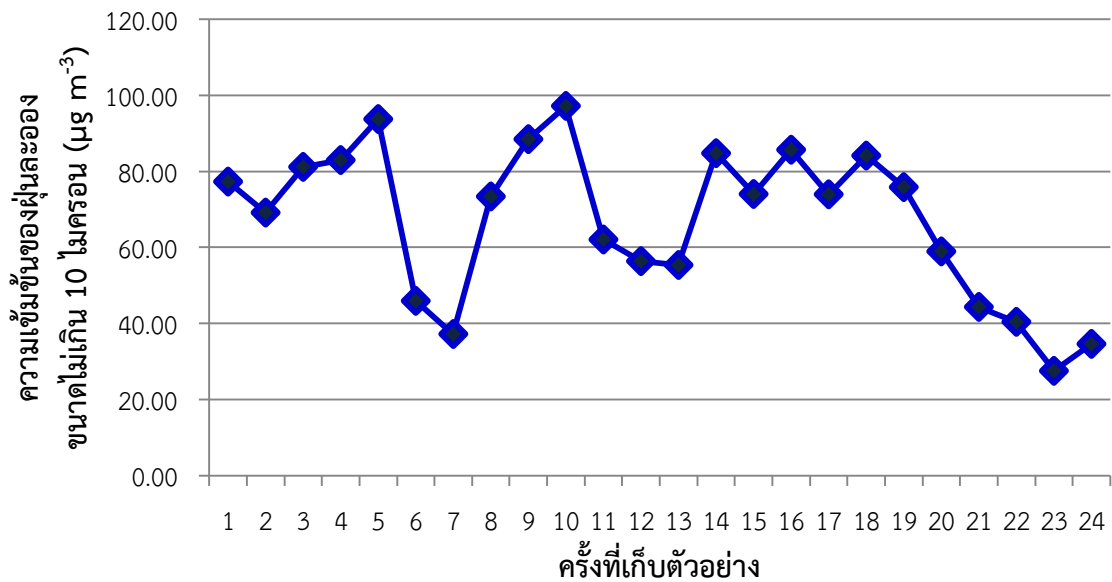
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิเคราะห์หาความเข้มข้น รูปร่างของฝุ่นละออง และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ที่เก็บตัวอย่างอากาศ บริเวณริมถนนฉลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างวันที่ 28 มกราคม พ.ศ.2560 ถึง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2560 ได้แก่ สารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและสารอินทรีย์คาร์บอน ปริมาณ ความเข้มข้นของผงเขม่าคาร์บอนดำ ชนิดและปริมาณไอออนที่ละลายน้ำได้ โครงสร้างของสารอินทรีย์ และรูปร่างของฝุ่นละออง ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

4.1.1 ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองตั้งแต่วันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2560 บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สัปดาห์ที่หนึ่งถึงสัปดาห์ที่สองเก็บตัวอย่างฝุ่นทุกวัน สัปดาห์ที่สามถึงสัปดาห์ที่สี่ เก็บทุกวันจันทร์ถึงวันศุกร์ ได้ความเข้มข้นของ PM_{10} (ดูรายละเอียดในตาราง ค-3 ภาคผนวก ค) ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนฉลองกรุง บริเวณหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังระหว่างวันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560

ตารางที่ 4.1 วันที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง และลักษณะภูมิอากาศ

ครั้งที่	วันที่	วัน	ลักษณะภูมิอากาศ
1	28/1/2560	เสาร์	ไม่มีฝนตก
2	29/1/2560	อาทิตย์	ไม่มีฝนตก
3	30/1/2560	จันทร์	ไม่มีฝนตก
4	31/1/2560	อังคาร	ไม่มีฝนตก
5	1/2/2560	พุธ	ไม่มีฝนตก
6	2/2/2560	พฤหัสบดี	มีฝนตก
7	3/2/2560	ศุกร์	มีฝนตก
8	4/2/2560	เสาร์	ไม่มีฝนตก
9	5/2/2560	อาทิตย์	ไม่มีฝนตก
10	6/2/2560	จันทร์	ไม่มีฝนตก
11	7/2/2560	อังคาร	ไม่มีฝนตก
12	8/2/2560	พุธ	ไม่มีฝนตก
13	9/2/2560	พฤหัสบดี	ไม่มีฝนตก
14	10/2/2560	ศุกร์	ไม่มีฝนตก
15	13/2/2560*	จันทร์	ไม่มีฝนตก
16	14/2/2560	อังคาร	ไม่มีฝนตก
17	15/2/2560	พุธ	ไม่มีฝนตก
18	16/2/2560	พฤหัสบดี	ไม่มีฝนตก
19	17/2/2560	ศุกร์	ไม่มีฝนตก
20	20/2/2560	จันทร์	ไม่มีฝนตก
21	21/2/2560	อังคาร	ไม่มีฝนตก
22	22/2/2560	พุธ	ไม่มีฝนตก
23	23/2/2560	พฤหัสบดี	มีฝนตก
24	24/2/2560	ศุกร์	มีฝนตก

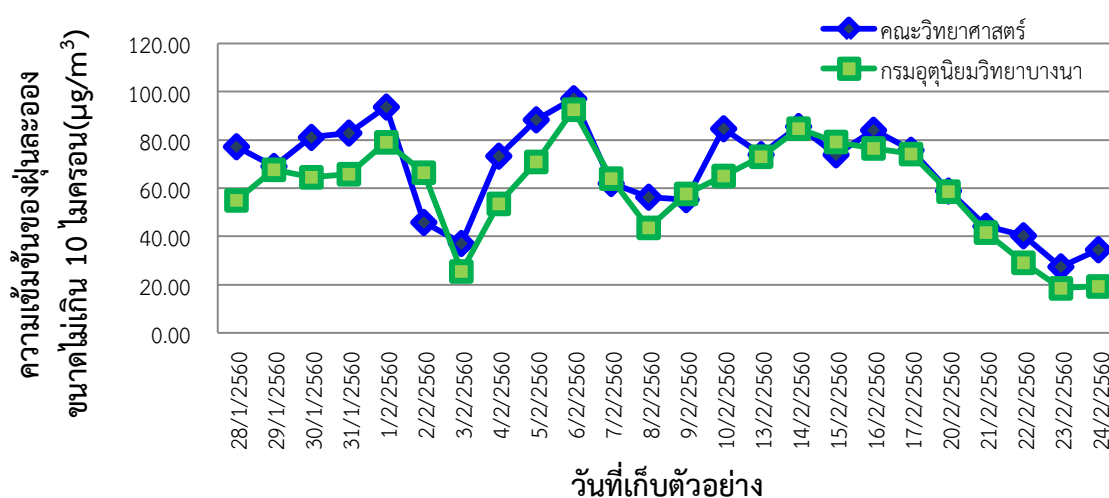
หมายเหตุ : *วันจันทร์ที่ 13 กุมภาพันธ์ 2560 ตรงกับวันมาฆบูชา ซึ่งเป็นวันหยุดราชการ

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศ (PM₁₀) อยู่ในช่วง 27 ถึง 97 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เทียบที่อุณหภูมิ 25 °C ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 พ.ศ. 2547) โดยในวันที่ 2 และ 3 กุมภาพันธ์ 2560 กับ วันที่ 23 และ 24 กุมภาพันธ์ 2560 เป็นวันที่มีค่า PM₁₀ ต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 27.50 ถึง

45.92 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากเป็นวันที่มีฝนตก และในช่วงวันที่ 20 กุมภาพันธ์ 2560 ถึง วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2560 เป็นวันที่มีค่า PM_{10} ต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 40.39 ถึง 58.90 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากเป็นช่วงสัปดาห์ก่อนสอบกลางภาค และปิดภาคการศึกษาของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา ส่วนในวันพุธที่ 1 และวันจันทร์ที่ 6 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 มีค่า PM_{10} ค่อนข้างสูง โดยมีค่าเท่ากับ 93.74 และ 97.20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวมีอิทธิพลของทิศทางลม อุณหภูมิต่ำ และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ทำให้ฝุ่นละอองเกิดการแพร่กระจายในบรรยากาศได้น้อยกว่าในช่วงเวลาปกติ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-1 และ ค-4)

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในวันทำงานปกติและในวันหยุดราชการ ระหว่างวันที่ 28 มกราคม 2560 ถึงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2560 โดยไม่นำวันที่ 2-3 กุมภาพันธ์ มาคำนวณเนื่องจากในวันดังกล่าวมีฝนตก จากผลการทดลองพบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM_{10} ในวันทำงานปกติ ($n=8$) มีค่าเท่ากับ 76.70 ± 16.55 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และในวันหยุดราชการ ($n=5$) มีค่าเท่ากับ 76.46 ± 7.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดในภาคผนวก จ-1) พบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกัน โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.976$

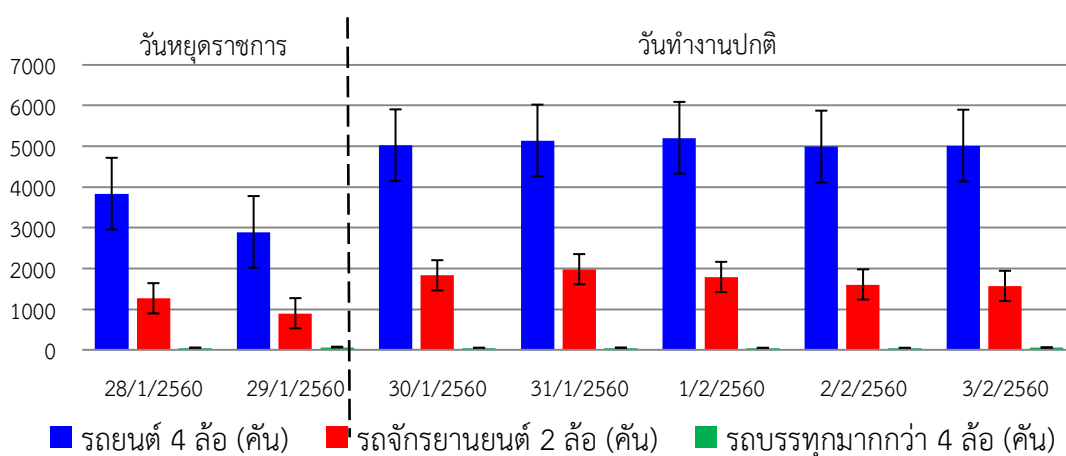
จากรูปที่ 4.2 เปรียบเทียบค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนฉลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กับสถานีตรวจวัดอากาศ ณ กรมอุตุนิยมวิทยา บางนา ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดที่อยู่ใกล้กับสจล. มากที่สุด จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนฉลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ($n=24$) กับสถานีตรวจวัดอากาศ ณ กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา ($n=24$) ในระหว่าง วันที่ 28 มกราคม 2560 ถึง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2560 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า $p\text{-value}=0.215$ (ดังรายละเอียดในภาคผนวก จ -2)



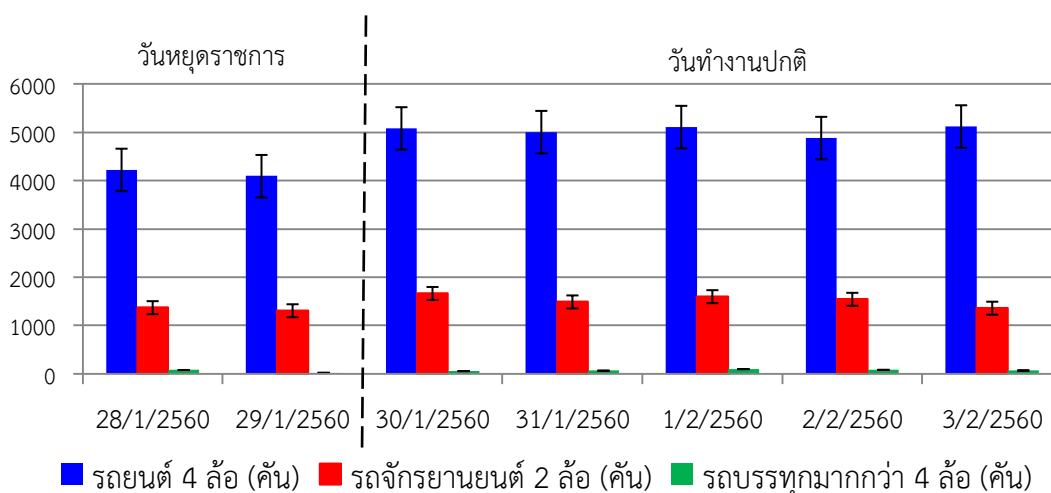
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณริมถนนฉลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกับสถานีตรวจวัดอากาศ ณ กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา

ผลการนับจำนวนรถยนต์ ดังแสดงในตารางภาคผนวก ค-2 โดยแบ่งการนับจำนวนรถยนต์ ออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเวลา 7.00 – 9.00 นาฬิกา (ช่วงเช้า) (รูปที่ 4.3ก) และ 16.00 – 18.00 นาฬิกา (ช่วงเย็น) (รูปที่ 4.3ข) พบว่าปริมาณรถยนต์ที่ผ่านจุดเก็บตัวอย่าง 7.00-9.00 น. จำนวนรถยนต์ 4 ล้อ อยู่ในช่วง 2,891 ถึง 5,202 คัน จำนวนรถ 2 ล้อ อยู่ในช่วง 896 ถึง 1,263 คัน และจำนวนรถมากกว่า 4 ล้อ 40 ถึง 66 คัน และปริมาณรถยนต์ที่ผ่านจุดเก็บตัวอย่างเวลา 16.00 - 18.00 น. มีจำนวนรถยนต์ 4 ล้อ อยู่ในช่วง 4,096 ถึง 5,125 คัน จำนวนรถ 2 ล้อ อยู่ในช่วง 1,308 ถึง 1,666 คัน และจำนวนรถมากกว่า 4 ล้อ อยู่ในช่วง 22 ถึง 99 คัน

จากการทดสอบความแตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ ANOVA (รายละเอียดในภาคผนวก จ-3) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าปริมาณรถยนต์ 4 ล้อ และรถจักรยานยนต์ 2 ล้อ ในวันทำงานปกติกับวันหยุดราชการแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปริมาณรถมากกว่า 4 ล้อ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ



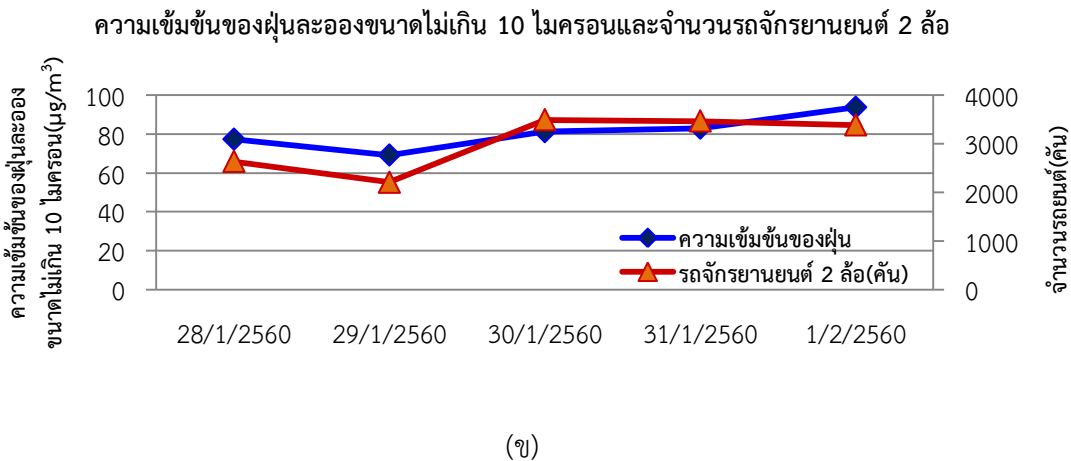
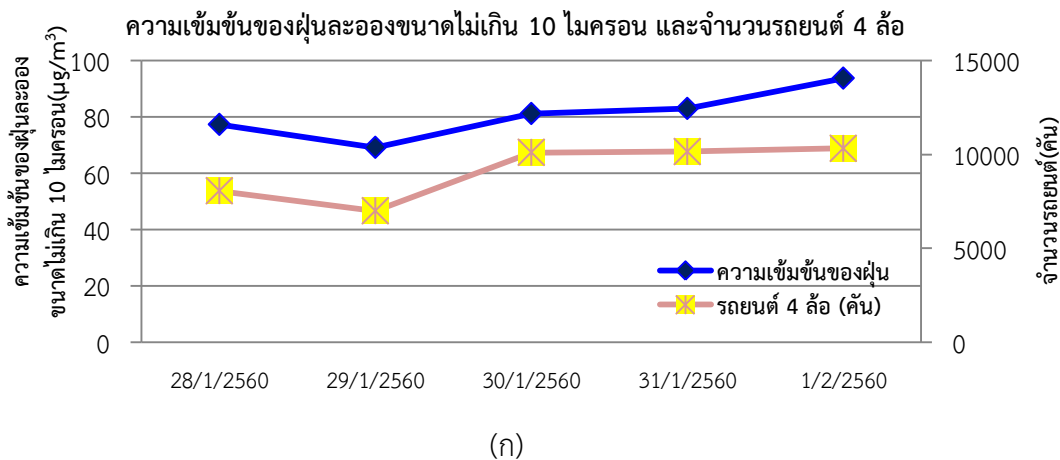
(ก)



(ข)

รูปที่ 4.3 ปริมาณรถที่สัญจรผ่านจุดเก็บตัวอย่างในช่วงเวลา 7.00 – 9.00 นาฬิกา (ก) ในช่วงเวลา 16.00 – 18.00 นาฬิกา (ข)

4.1.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองและจำนวนรถยนต์

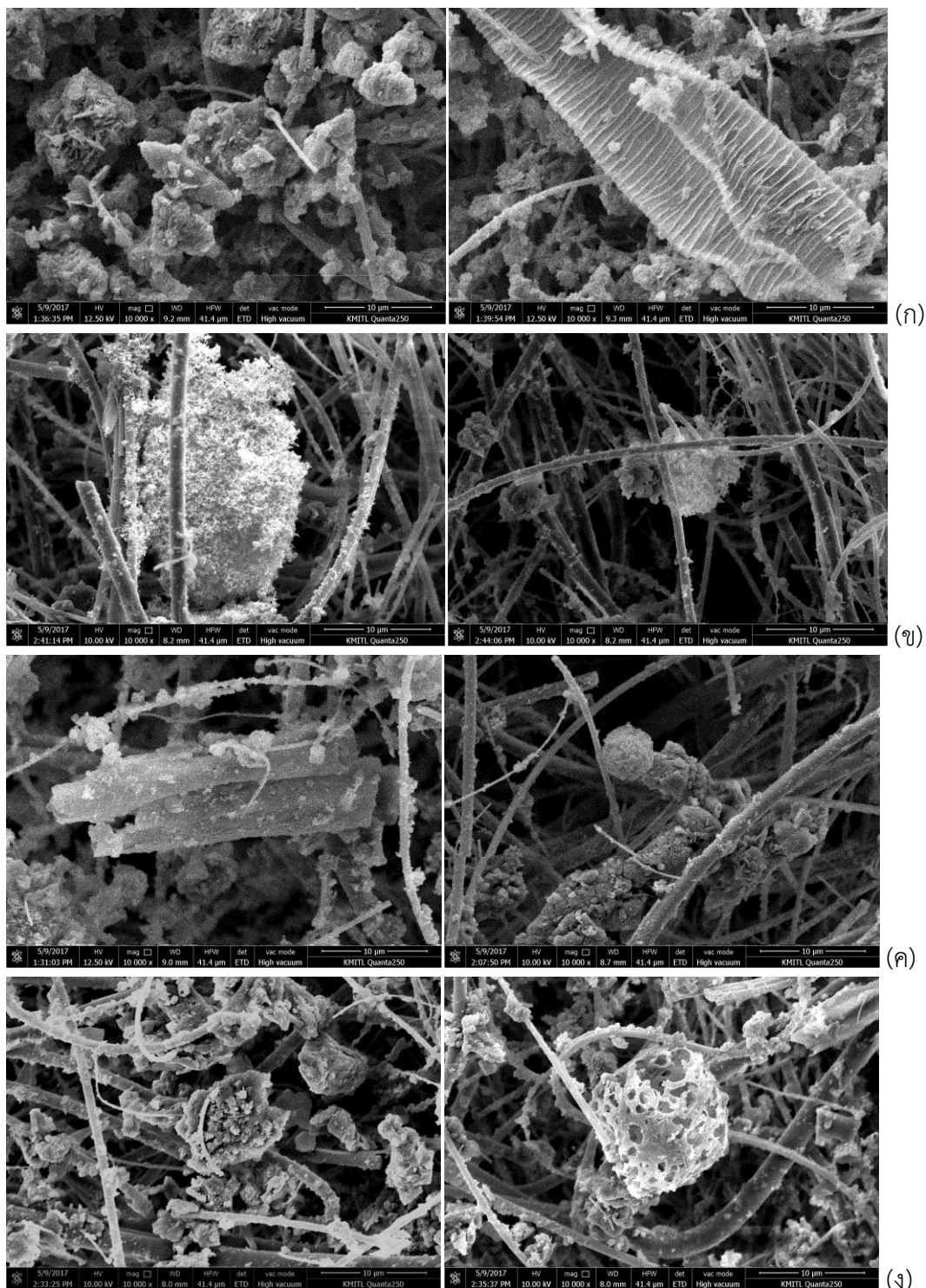


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับจำนวนรถยนต์ 4 ล้อ (ก) จำนวนรถจักรยานยนต์ 2 ล้อ (ข)

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ดูรายละเอียดดังภาคผนวก จ-4) ซึ่งจำนวนรถยนต์ 4 ล้อ มีค่า $r = 0.862$ $p\text{-value} = 0.060$ จำนวนรถจักรยานยนต์ 2 ล้อ มีค่า $r = 0.799$ $p\text{-value} = 0.105$ จึงสรุปได้ว่ารถยนต์ 4 ล้อ และรถจักรยานยนต์ 2 ล้อ ไม่มีความสัมพันธ์กันกับค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของกระทรวง (2556) ที่พบว่าปริมาณรถยนต์และรถจักรยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงไม่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน อย่างไรก็ตาม จากผลการทดลองเมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ที่ระดับความเชื่อมั่น 90% (ดูรายละเอียดดังภาคผนวก จ-4) ของจำนวนรถยนต์ 4 ล้อ มีค่า $r = 0.862$ $p\text{-value} = 0.060$ พบว่ามีความสัมพันธ์กันกับค่า PM_{10} ทั้งนี้เนื่องจาก PM_{10} ซึ่งเป็นฝุ่นขนาดเล็กส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล แต่รถยนต์ 4 ล้อ มีการใช้เชื้อเพลิงทั้งดีเซลและเบนซินซึ่งงานวิจัยนี้ไม่สามารถระบุได้ว่ารถยนต์ 4 ล้อ ใช้เชื้อเพลิงชนิดใด ส่วนรถยนต์มากกว่า 4 ล้อ ไม่ได้นำมาคิดคำนวณ เนื่องจากตามกฎหมายจราจรไม่อนุญาตให้รถยนต์บรรทุกมากกว่า 4 ล้อวิ่งในถนนรองกรุง ในช่วงเวลาดังกล่าว เนื่องจากเป็นเวลาเร่งด่วน

4.2 ผลการศึกษาลักษณะของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

ผลการศึกษาลักษณะของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ด้วยเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ลักษณะของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

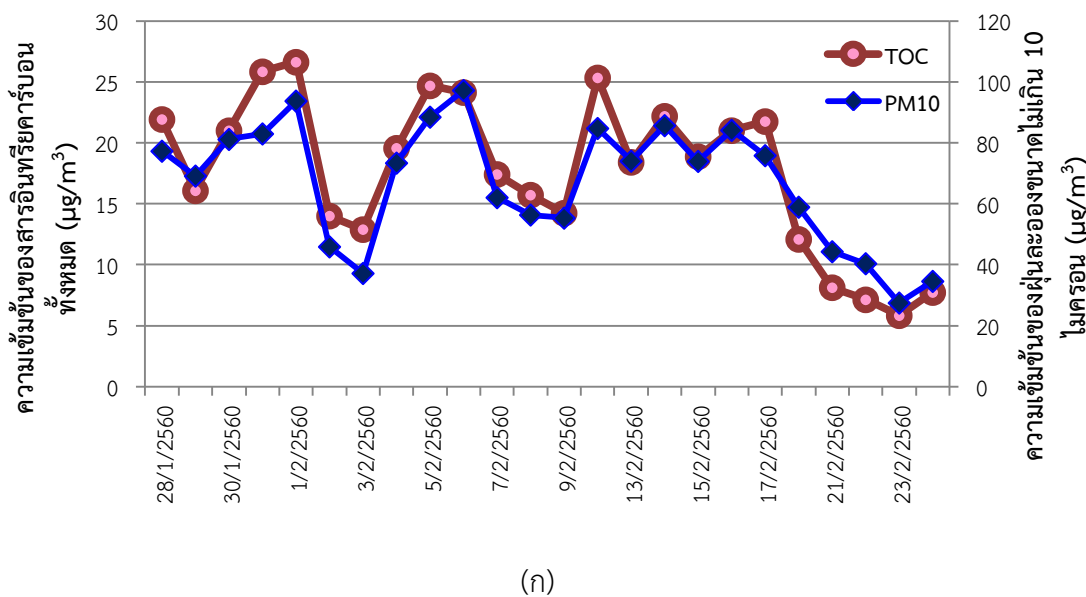
จากผลการศึกษาพบฝุ่นละอองมีลักษณะและรูปร่างที่ไม่แน่นอนแตกต่างกันไป โดยฝุ่นมีลักษณะเป็นแผ่นจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนไม่เป็นระเบียบ อาจเป็นฝุ่นที่มาจากอาคารก่อสร้าง (รูปที่ 4.5 ก) ฝุ่นที่มีลักษณะเป็นฟลื้อครวมตัวกันแบบหลวมๆ อาจเป็นฝุ่นละอองที่มาจากกาเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล (รูปที่ 4.5 ข) ฝุ่นที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเรียวยาวปลายแหลม อาจเป็นฝุ่นที่มาจากเส้นใยแอสเบสตอสซึ่งเป็นฝุ่นจากหินบนถนน (รูปที่ 4.5 ค) และฝุ่นละอองที่เป็นรูปทรงกลมที่อาจเกิดจากขี้เถ้าปลิว (รูปที่ 4.5 ง) (ศิริวรรณ, 2543)

4.3 ผลการศึกษาปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) และสารอนินทรีย์คาร์บอน (IC) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

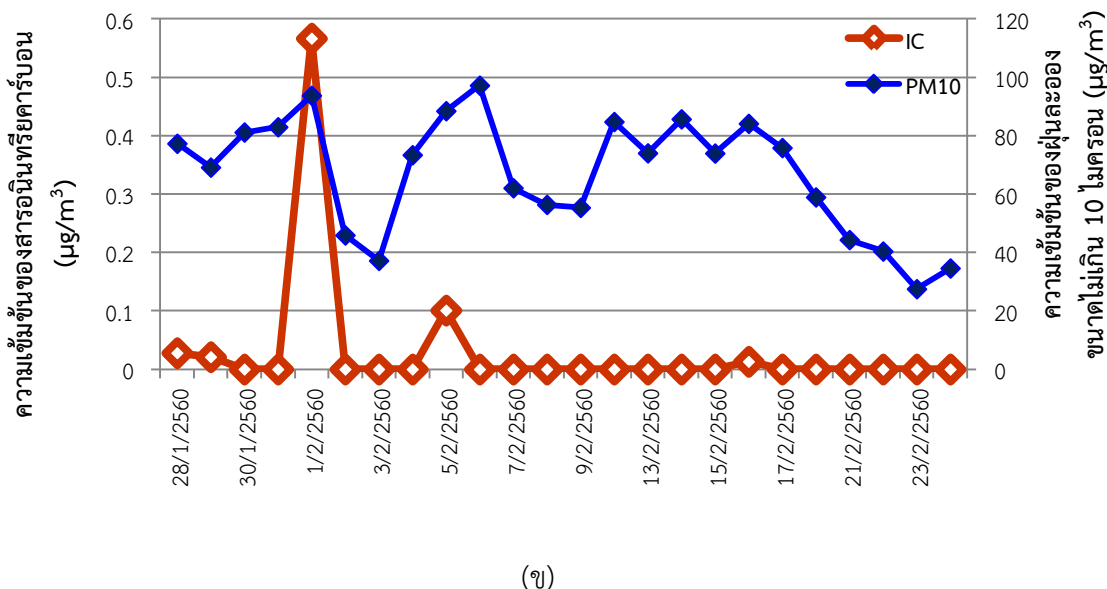
ผลการศึกษาคาร์บอนในรูปสารคาร์บอนอินทรีย์ และสารอนินทรีย์คาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ จสจ. แสดงในรูปที่ 4.6 (ดูรายละเอียดดังตารางภาคผนวก ค-5) พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดของปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) (n=24) เท่ากับ 17.61 ± 6.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่าเฉลี่ยในวันทำงานปกติ (n=19) มีเท่ากับ 16.94 ± 6.76 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยในวันหยุดราชการ (n=5) มีค่า 20.13 ± 3.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนค่าเฉลี่ยทั้งหมดของปริมาณคาร์บอนในรูปสารอนินทรีย์คาร์บอน (IC) (n=24) เท่ากับ 0.03 ± 0.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่าเฉลี่ยในวันทำงานปกติ (n=19) มีค่า 0.03 ± 0.13 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยในวันหยุดราชการ (n=5) มีค่า 0.03 ± 0.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นั่นคือ พบสารอนินทรีย์คาร์บอนเพียงเล็กน้อย เนื่องจากสารอนินทรีย์คาร์บอนไม่ได้เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงรถยนต์ แต่เกิดจากฝุ่นถนน ทราย และเส้นใยหิน จากผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารอนินทรีย์คาร์บอนในวันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2560 มีค่า 0.57 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งมีค่ามากกว่าวันอื่นๆ อาจเกิดจากการขนส่งวัสดุก่อสร้าง และมีการก่อสร้างอาคารของคณะอุตสาหกรรมเกษตร ซึ่งห่างจากจุดเก็บตัวอย่างประมาณ 1 กิโลเมตร ในขณะที่การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์โดยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดในภาคผนวก จ-5) ในวันทำงานปกติ (n=8) กับวันหยุดราชการ (n=5) พบว่าค่าความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ในวันทำงานปกติและในวันหยุดราชการ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกัน โดยมีค่า p-value = 0.654

จากการวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) (ดูรายละเอียดดังภาคผนวก จ-6) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีความสัมพันธ์กันในระดับสูงมากระหว่างความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์กับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ซึ่งมีค่า $r=0.948$ $p\text{-value}=0.000$ เนื่องจากฝุ่นละอองส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นสารอินทรีย์ อีกทั้งยังอาจเกิดจากสิ่งมีชีวิตพวกเชื้อราและแบคทีเรีย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (Godec, 2016) ส่งผลให้เกิดปัญหาทางด้านสุขภาพเนื่องจากเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กทำให้เกิดการสะสมในปอดได้ ในขณะที่ความเข้มข้นของสารอนินทรีย์คาร์บอนไม่มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (ค่า $r=0.334$ $p\text{-value}=0.111$) เนื่องจากอนินทรีย์คาร์บอนไม่ได้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง แต่เกิดจากฝุ่นถนน ทราย เส้นใยหิน ซึ่งมีอนุภาคแข็งคมจะเป็นอันตรายแก่เนื้อในหลอดลม และปอด (นพภาพร และคณะ, 2550)



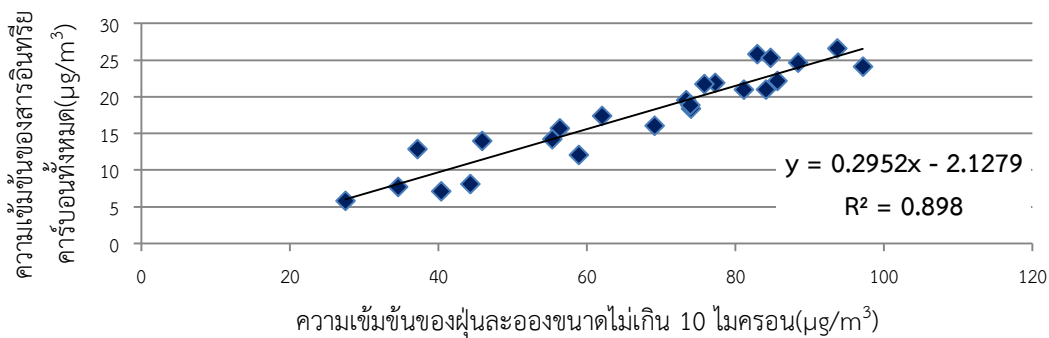
(ก)



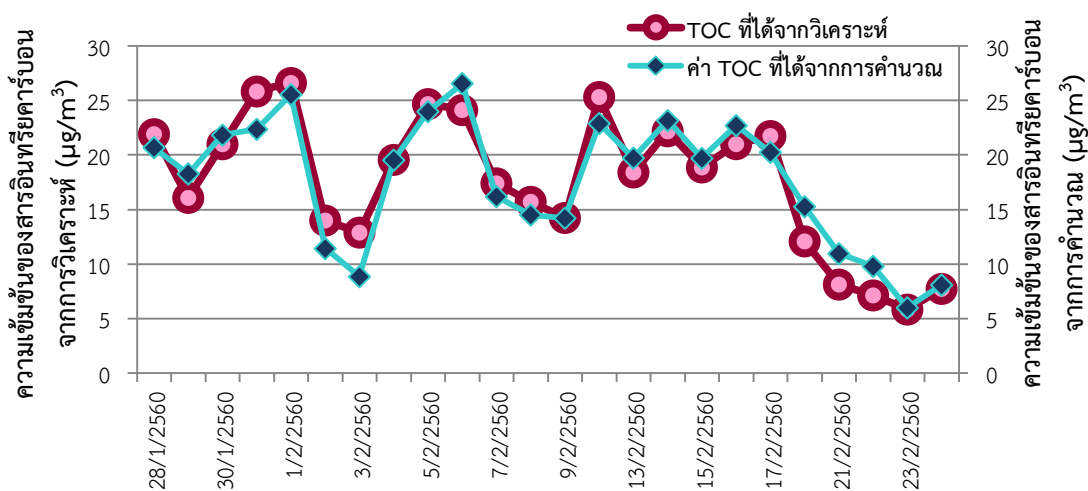
(ข)

รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด(ก) สารอินทรีย์คาร์บอน(ข) เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณริมถนนคลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากผลการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (รูปที่ 4.7) พบว่าได้สมการเส้นตรง $y=0.2952x-2.1279$ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) =0.898 จากนั้น ทำการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้กับค่าที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรง โดยใช้การวิเคราะห์ทางสถิติ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกัน โดยมีค่า p-value= 0.999 แสดงว่าองค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนประกอบด้วยสารคาร์บอนอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ (ดูรายละเอียดในภาคผนวก จ-7)



(ก)

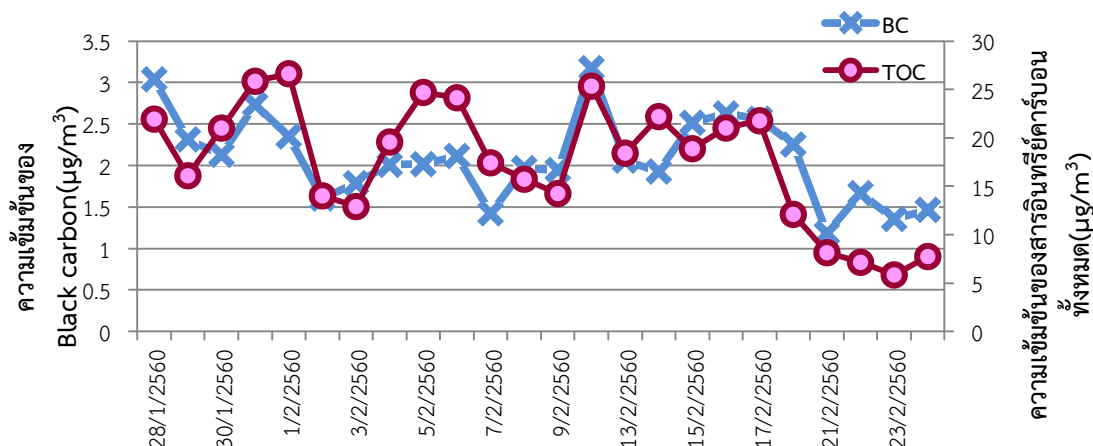


(ข)

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (ก) และแสดงความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้กับที่คำนวณได้จากกราฟสมการเส้นตรง (ข)

4.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นของผงเขม่าคาร์บอนดำ (Black Carbon)

จากการศึกษาคาร์บอนในรูปผงเขม่าคาร์บอนดำในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ด้วยวิธีของภัทธรียา (2554) บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ดังแสดงในรูปที่ 4.8 (รายละเอียดดังตารางภาคผนวก ค-6) พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดของความเข้มข้นของผงเขม่าคาร์บอนดำ ($n=24$) เท่ากับ 2.09 ± 0.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของผงฝุ่นคาร์บอนดำในวันทำงานปกติ ($n=19$) เท่ากับ 2.04 ± 0.53 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นของผงฝุ่นคาร์บอนดำในวันหยุดราชการ ($n=5$) เท่ากับ 2.29 ± 0.44 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของ Black carbon และความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนคลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

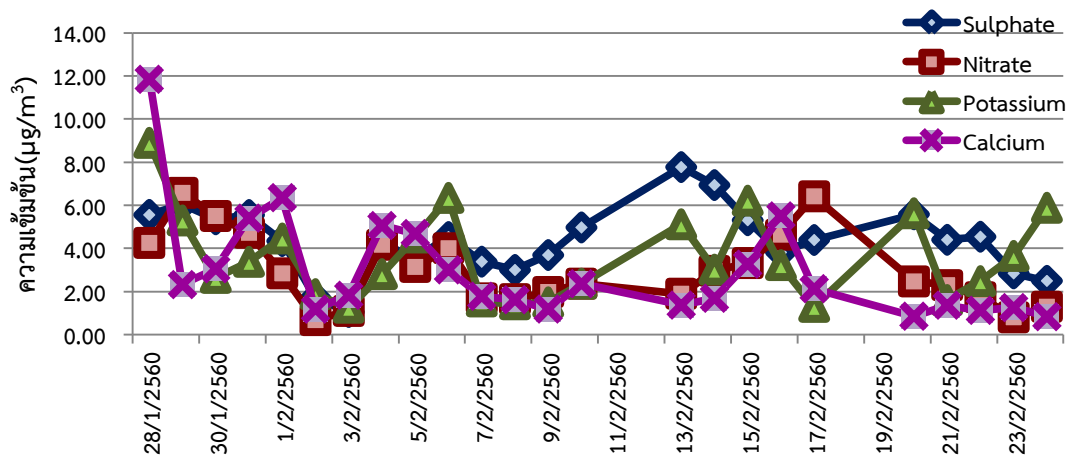
เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์โดยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดในภาคผนวก จ-8) ในวันทำงานปกติ (n=8) กับวันหยุดราชการ (n=5) พบว่าค่าความเข้มข้นของผงเขม่าคาร์บอนดำในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกัน โดยมีค่า p-value = 0.843 ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับผลของความเข้มข้นของฝุ่นละออง

จากการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Black carbon และความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีค่า $r=0.725$ ค่า $p\text{-value}=0.000$ นั่นคือ มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลางที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากผงเขม่าคาร์บอนดำเป็นสารคาร์บอนอินทรีย์ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล

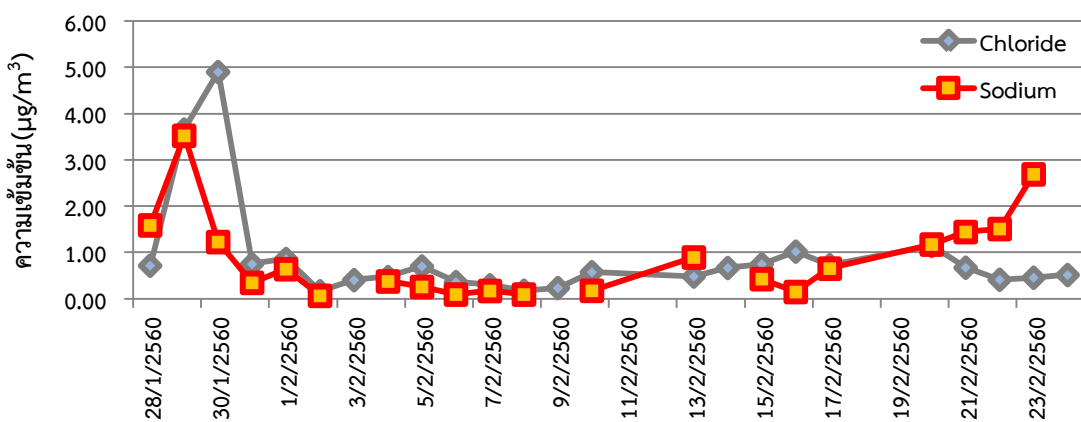
4.5 ผลการศึกษาไอออนที่ละลายน้ำได้ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

4.5.1 ปริมาณความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้

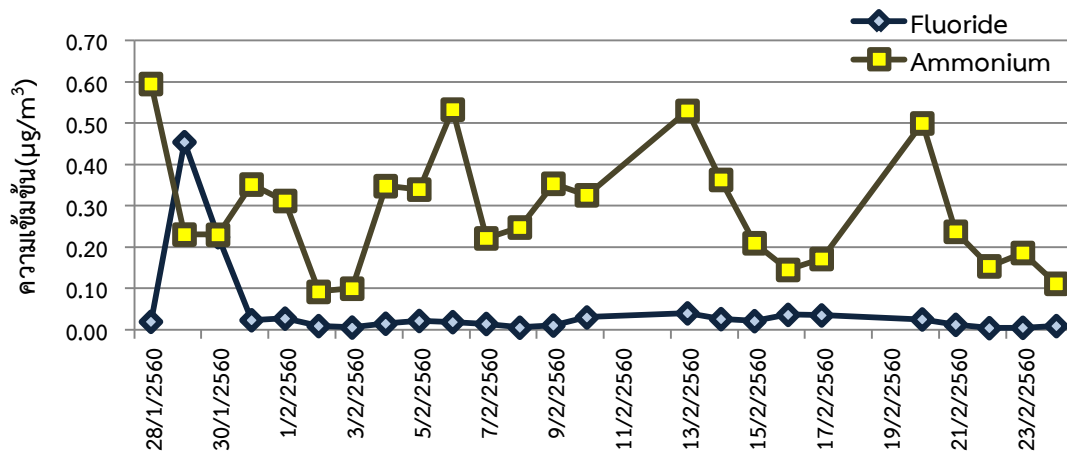
ผลจากการวิเคราะห์ไอออนที่ละลายน้ำในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศทั้งหมด 8 ไอออน ได้แก่ Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} แสดงในรูปที่ 4.9 (รายละเอียดตารางภาคผนวก ค-7) พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดของความเข้มข้นของ Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} เท่ากับ 0.72 ± 0.92 , 0.29 ± 0.14 , 3.60 ± 2.03 , 2.98 ± 2.51 , 0.05 ± 0.10 , 0.88 ± 1.09 , 3.02 ± 1.69 และ 4.38 ± 1.56 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)

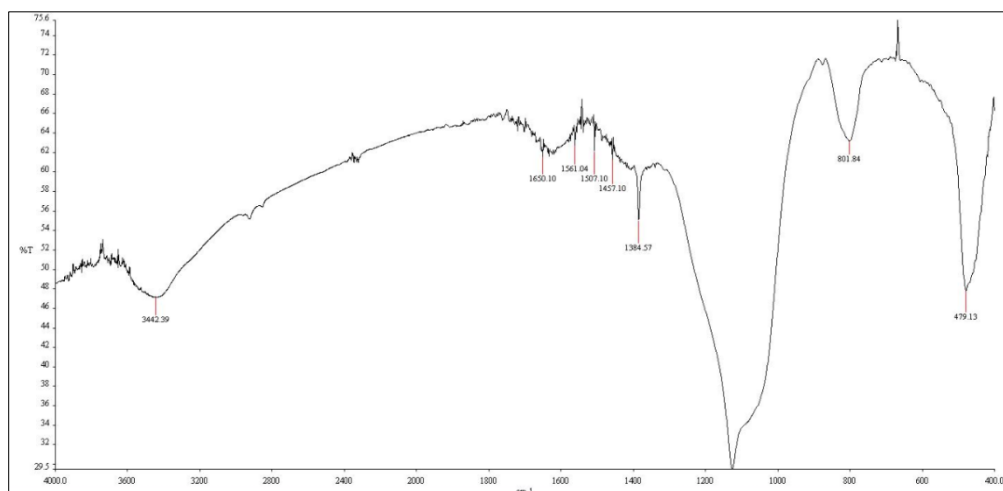
รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

การวิเคราะห์ปริมาณไอออนบวกและไอออนลบที่ละลายน้ำในฝุ่นละอองขนาดอนุภาคไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่าปริมาณไอออนแต่ละตัวมีค่าต่างกัน เนื่องจากอาจมีแหล่งที่มาของไอออนแต่ละตัวต่างกัน ซึ่งไอออนลบจะพบปริมาณความเข้มข้นของ SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , F^- ตามลำดับ เนื่องจาก

ซัลเฟตและไนเตรทเป็นสารกรดที่แขวนลอยในบรรยากาศ ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลและเกิดจากการจลาจล การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่จะเกิดจากการที่ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้แสง และเกิดการตกสะสมแบบแห้ง จึงพบว่ามีค่าความเข้มข้นมากที่สุดในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ส่วนคลอไรด์เกิดจากการระเหยของน้ำทะเลและกระแสนลมพัดพาจึงทำให้พบความเข้มข้นน้อย และฟลูออไรด์ เกิดจากฝุ่นดิน มักจะพบในรูปของแร่จึงไม่ค่อยพบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ส่วนไอออนบวกจะพบปริมาณความเข้มข้นของ K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , NH_4^+ ตามลำดับเนื่องจากโพแทสเซียม และแคลเซียมเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกที่อยู่ในดินและหิน โดยจะฟุ้งกระจายขึ้นอีกในถนน จึงพบว่ามีค่าความเข้มข้นมากในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ส่วนโซเดียมนั้น มีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการระเหยของน้ำทะเล และถูกกระแสนลมพัดพาจึงพบความเข้มข้นน้อย และแอมโมเนียม ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟต เกิดจากอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยเคมี การย่อยสลายของเสียของสัตว์ และแหล่งกำเนิดจากถนนรวมทั้งยานพาหนะ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยของ (วิศิษฐ, 2555) โดยค่าเฉลี่ยปริมาณไอออนในที่พบทั้งหมดเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ $SO_4^{2-} > K^+ > NO_3^- > Ca^{2+} > Cl^- > Na^+ > NH_4^+ > F^-$

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ โดยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดในภาคผนวก จ-9 ถึง จ-16) ในวันทำงานปกติ (n=8) กับวันหยุดราชการ (n=5) พบว่าค่าความเข้มข้นของโซเดียมไอออน แอมโมเนียมไอออน โพแทสเซียมไอออน แคลเซียมไอออน ฟลูออไรด์ไอออน คลอไรด์ไอออน ไนเตรต และซัลเฟต ในวันทำงานปกติ และวันหยุดราชการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกัน (โดยมีค่า p-value > 0.05)

4.6 ผลการศึกษาหุ้ฟงักชั้นในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน



รูปที่ 4.10 โครมาโทแกรมของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนด้วยเครื่อง FT-IR

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ด้วยเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรด พบว่า FT-IR สเปกตรัมทั้ง 24 ตัวอย่าง ส่วนใหญ่ปรากฏที่เลขคลื่นตั้งแต่ 4000 – 400 cm^{-1} ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และ ตารางที่ 4.2 ซึ่งเป็นผลจากหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ในองค์ประกอบของฝุ่นละอองเพราะในฝุ่นละอองประกอบไปด้วย คาร์บอนอินทรีย์ ผงฝุ่นคาร์บอนดำ ไนเตรต แอมโมเนียมซัลเฟต เป็นต้น

ตารางที่ 4.2 เลขคลื่นของพีคส่วนใหญ่ที่ปรากฏใน FT-IR สเปกตรัมจากฝุ่นละอองทั้ง 24 ตัวอย่าง

หมู่ฟังก์ชัน	Molecular Motion	เลขคลื่น
Alkane	-CH	2950-2800
	-CH ₃	1375
Alcohols	O-H	3600-3300
	C-O	1260-1000
Amides	N-H	3500-3180
	C=O	1680-1630
Nitro groups	-NO ₂ (aliphatic)	1600-1530 และ 1390-1306
Sulfones	S=O	1300-1150
Esters	C=O	1750-1735
	C-C(O)-C	1210-1160
Silicate		500-400
Nitrate		850-790

จากหมู่ฟังก์ชันที่พบสามารถสรุปได้ว่า หมู่ฟังก์ชัน Alkane และ Alcohols อาจเกิดจากน้ำมันและสารที่ใช้ทำน้ำมัน เช่น Ethyl Alcohol, Methyl Alcohol หมู่ฟังก์ชัน Amide และ Ester อาจเกิดจากองค์ประกอบของสารกันน้ำที่ประกอบด้วยออกซิเจนในน้ำมัน หมู่ฟังก์ชัน Nitro เป็นสารประกอบของไนโตรเจน มี 2 ประเภท คือ ประเภทที่เป็นต่าง และที่เป็นกลาง ซึ่งจะมีอยู่ในน้ำมันดิบ เช่นเดียวกับหมู่ฟังก์ชัน Sulfones ซึ่งเป็นสารประกอบกำมะถันซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำมัน หมู่ฟังก์ชัน Silicate อาจเกิดจากฝุ่นทราย และ Nitrate อาจเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงรถยนต์และการออกซิเดชันของออกไซด์ของไนโตรเจนโดยมีแสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Reff, 2006).

จากผลการวิเคราะห์พบว่าองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน คือ สารคาร์บอนอินทรีย์ 49.42% ตามด้วยซัลเฟต 12.29 % โพแทสเซียม 10.10% ไนเตรต 8.48% แคลเซียม 8.31% ผงเขม่าคาร์บอนดำ 5.87% คลอไรด์ 2.47% โซเดียม 2.02% แอมโมเนียม 0.81% ฟลูออไรด์ 0.14% และสารอนินทรีย์คาร์บอน 0.08% เนื่องจากสารคาร์บอนอินทรีย์ส่วน ซัลเฟต ไนเตรตเกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ และทำให้เกิดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน จากนั้นทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเกิดจากตกสะสมแบบแห้งใน

บรรยากาศ สำหรับโพแทสเซียมและแคลเซียม นั้น เป็นวัสดุเปลือกโลก อาจทำให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นได้โดยมีความเร็วลมเป็นปัจจัยสำคัญ ผงเขม่าคาร์บอนดำนั้นเกิดจากควันของท่อไอเสียรถยนต์ คลอไรด์และโซเดียมซึ่งเป็นเกลือทะเล มีปัจจัยสำคัญคือทิศทางลมและความเร็วลม แอมโมเนียจะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟต เกิดจากอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยเคมี และแหล่งกำเนิดจากถนนรวมทั้งยานพาหนะ ฟลูออไรด์เกิดจากฝุ่นดิน และจะพบในรูปของแร่ และสารอนินทรีย์คาร์บอนซึ่งเกิดจากฝุ่นทราย เส้นใยหิน จึงพบน้อยที่สุด ซึ่งผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Wu *et al.* (2013)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ ตั้งแต่วันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ เท่ากับ 66.85 ± 20.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐาน โดยความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนวันทำงานปกติและวันหยุดราชการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณรถยนต์และรถจักรยานยนต์

5.1.2 โครงสร้างของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศ

ลักษณะของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่าฝุ่นละอองมีลักษณะและรูปร่างที่ไม่แน่นอนแตกต่างกันไป โดยฝุ่นจะมีลักษณะเป็นแผ่นจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนไม่เป็นระเบียบ เป็นฟลื้อครวมตัวกันแบบหลวมๆ เป็นทรงกระบอกเรียวยาวปลายแหลม และเป็นรูปทรงกลม เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะพบแบบฟลื้อครวมตัวกันแบบหลวมๆ ซึ่งมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงรถยนต์

5.1.3 ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) และสารอินทรีย์ (IC) เท่ากับ 17.61 ± 6.28 และ 0.03 ± 0.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์วันทำงานปกติและวันหยุดราชการไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

5.1.4 ปริมาณของผงเขม่าคาร์บอนดำดำ (BC) ทั้งหมดในองค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ค่าเฉลี่ยทั้งหมดของปริมาณผงเขม่าดำ (BC) มีค่าเท่ากับ 2.09 ± 0.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยปริมาณของผงเขม่าดำ (BC) วันทำงานปกติกับวันหยุดราชการ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ปริมาณของผงเขม่าคาร์บอนดำมีความสัมพันธ์กับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด

5.1.5 ไอออนที่ละลายน้ำได้ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีดังนี้ Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , NO_3^- และ SO_4^{2-} ไอออนที่พบเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ $\text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^+ > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{F}^-$ ตามลำดับ พบว่าความเข้มข้นของ Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , NO_3^- และ SO_4^{2-} ในวันทำงานปกติ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับวันหยุดราชการ

5.1.6 หมู่ฟังก์ชันที่พบในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ประกอบด้วย หมู่ฟังก์ชัน Alkane, Alcohols, Amide, Nitro, Sulfones, Silicate, Nitrate

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรวิเคราะห์ PAHs เพื่อความสัมพันธ์กับปริมาณผงเขม่าดำ
2. ควรเก็บตัวอย่างฝุ่นในฤดูกาลที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2547. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ. 2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2549. รายงานการศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบและแหล่งที่มาของฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- กรมควบคุมมลพิษ. 2553. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (พ.ศ. 2553) เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไป.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2554. เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2556). มลพิษทางอากาศ. [Online]. Available: <http://www.deqp.go.th/knowledge>. สืบค้นวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2560
- กรมอนามัย. 2558. มาตรฐานค่าเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน. กรมอนามัย. กระทรวงสาธารณสุข.
- จรัญญู ยาสมุทร. 2555. อนามัยสิ่งแวดล้อม เรื่อง มลพิษทางอากาศ โลกร้อน และการจัดการ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กองทุนเผยแพร่วิชาการด้านสิ่งแวดล้อม และการสาธารณสุข เชียงใหม่.
- ตระวรรณ หาญกิจรุ่ง. 2556. อิทธิพลของปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและการจราจรต่อปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนของพื้นที่ริมถนนในเขตกรุงเทพมหานคร . วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นภาพร พานิช และแสงสันต์ พานิช. 2544. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นภาพร พานิช, แสงสันต์ พานิช, วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และวราวุธ เสือดี. 2550. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นภัทร ต้นศิริ, ปรียาภรณ์ เปรมใจ และพัชราภรณ์ ทิพย์ยา. 2553. การวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและสารคาร์บอนอินทรีย์ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณริมถนน ฉลองกรุง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี ทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิตยา วัจนะภูมิ. 2551. มลพิษอากาศและสุขภาพเด็ก. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพมหานคร
- นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิดา ตั้งคณานุกรักษ์. 2552. เคมีบรรยากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1.

- กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงศ์เทพ วิวัชรณะเดช. 2547. **การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ**. นนทบุรี: ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- พงศ์เทพ วิวัชรณะเดช. 2554. **คู่มือการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ**. กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.
- พัชรชาติ สุวรรณธาดา. 2557. **การวิเคราะห์มลพิษ: ฝุ่นละอองในบรรยากาศ**. คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ภัทริยา จันทร์ประสิทธิ์. 2554. **การพัฒนาเครื่องตรวจวัดปริมาณ Black Carbon ในบรรยากาศ**. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- มนตรี ชูติชัยศักดิ์ดา. 2546. **วิธีการตรวจวัด ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ระบบ VFC HIGH VOLUMN**. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ.
- มาริษา เพ็ญสุตภูฎิณกุล. 2542. ฝุ่นกับการจราจร: **กลไกการเกิดผลกระทบต่อสุขภาพ**. สถานการณ์ด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม. [Online]. Available: http://advisor1.anamai.moph.go.th/factsheet/envi4_6.htm. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2560
- รังสรรค์ อากาศพิภะกุล. 2547. **อุตุนิยมวิทยาเบื้องต้น**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพมหานคร.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล, และธีระ เกรอต. 2543. **มลภาวะอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วนิดา จินศาสตร์. 2551. **มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิศรุตดา ลีเขียน, วิราพร ธนรัฐพิงศ์ และอภิวิชญ์ สมบูรณ์ปัญญา. 2554. **องค์ประกอบทางเคมีของ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วิศิษฎ์ ขายอืด. 2555. **การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นและสารไอออนิกของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมโครเมตร ตามแนวเส้นทางเดินรถของระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ศิริวรรณ แก้วงาม. 2543. **สัณฐานและธาตุองค์ประกอบของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ศิวพันธ์์ ชูอินทร์. 2556. **มลพิษทางอากาศ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมรัฐ เกิดสุวรรณ. 2549. **การเผาไหม้และการควบคุมมลพิษ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทสกายบุ๊กส์ จำกัด. ปทุมธานี.
- สุชาติ เกียรติวัฒนเจริญ. 2555. **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก**. [Online]. Available: http://www.es-cmu.blogspot.com/2012/07/blog-post_2827.html สืบค้นเมื่อวันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2560
- สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2554. **รู้รอบทิศ มลพิษทางอากาศ บทเรียน แนวคิด และการจัดการ**. [Online]. Available: http://www.pcd.go.th/Public/Publications/print_air.cfm?task=air_pollution สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กุมภาพันธ์ 2560
- Cuccia, E., Piazzalunga, V., Bernardoni, V., Brambilla, L., Fermo, P., Massabo, D., Molteni, U., Prati, P., Valli, G. and Vecchi, R. 2011. **Carbonate measurements in PM₁₀ near the marble quarries of Carrara (Italy) by infrared spectroscopy (FT-IR) and source apportionment by positive matrix factorization (PMF)**. Atmospheric Environment. 45, 6481-6487
- Godec, R., Jakovljevic, I., Segar, K., Cackovic, M., Beslic, I., Davila, S. and Pehcec, G. 2016. **Carbon species in PM₁₀ particle fraction at different monitoring sites**. Environmental Pollution. 216, 700-710
- Kumar, S. and Rajkumar, P. 2014. **Characterization of minerals in air dust particles in the state of Tamilnadu, India through FTIR, XRD and SEM analyses**. Infrared Physics & Technology. 67, 30-41
- Rashid, M., Yunus, S., Mat, R., Baharun, S. and Lestari, P. 2014. **PM₁₀ black carbon and ionic species concentration of urban atmosphere in Makassar of South Sulawesi Province, Indonesia**. Atmospheric pollution research. 5, 610-615
- Reff, A., Turpin, B., Offenberg, J., Weisel, C., Zhang, J., Morandi, M., Stock, T., Colome, S., Winer, A. 2007. **A functional group characterization of organic PM_{2.5} exposure: Results from the RIOPA study**. Atmospheric Environment. 41, 4585-4598

United States Environmental Protection Agency. **National Ambient Air Quality**

Standards (NAAQS). [Online]. Available:

<https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naqs-table>.

สืบค้นวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2560

Viidanoja, J., Sillanpaa, M., Laakia, J., Kerminen, V., Hillamo, R., Aarnio, P., Koskentalo,

T. 2002. **Organic and black carbon in PM_{2.5} and PM₁₀: 1 year of data from an urban site in Helsinki, Finland.** Atmospheric Environment. 36, 3183-3193

World Health Organization. **WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogendioxide and sulfur dioxide Global update 2005.**

[Online]. Available: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/69477/1/WHO> สืบค้น

วันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2560

Wu, G., Du, X., Wu, X., Fu, X., Kong, S., Chen, J., Wang, Z., Bai, Z. 2013. **Chemical composition, mass closure and sources of atmospheric PM₁₀ from industrial sites in Shenzhen, China.** Environmental Sciences. 25, 1626–1635

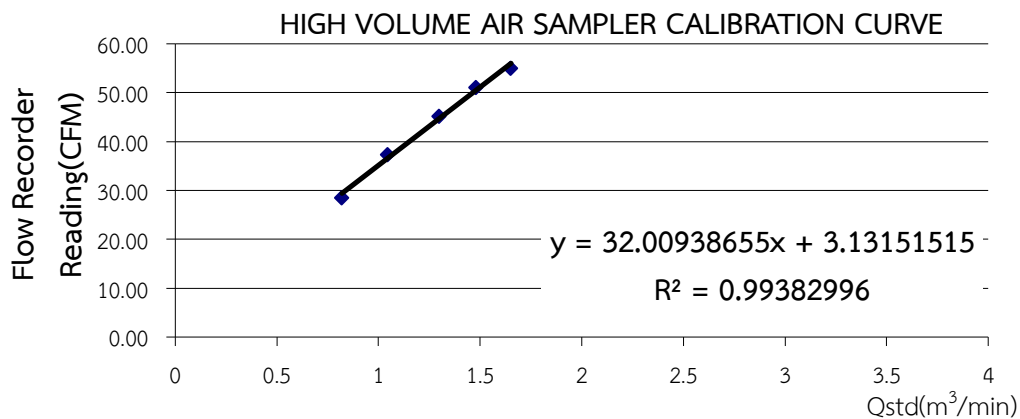
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

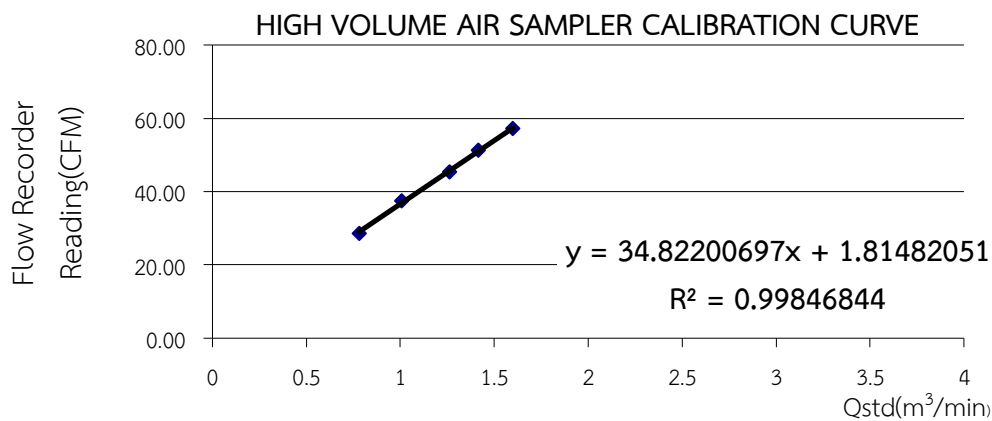
การเปรียบเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนแบบ ปริมาตรสูง

ขั้นตอนการเปรียบเทียบ

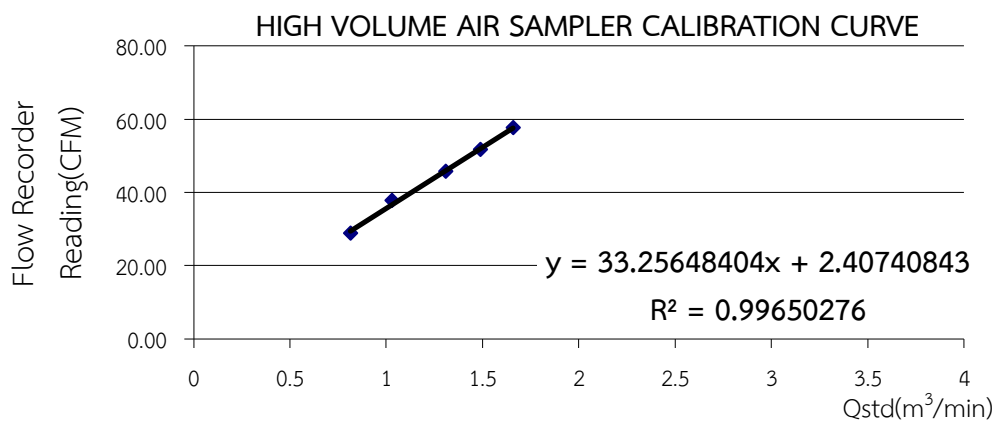
1. ติดตั้งชุดเปรียบเทียบโดยวางแผ่น Orifice Adapter ลงบน Filter Holder และขันน็อตทั้ง 4 ด้านให้แน่นโดยไม่ต้องใส่กระดาษกรอง
2. วางแผ่น Flow Calibrate (Orifice Plate) ทีละแผ่นโดยเลือกแผ่นที่มีปริมาตรมากที่สุดมาเริ่มต้นการเปรียบเทียบ วางแผ่นยางรองบน Orifice Adapter และวางแผ่น Flow Calibrate 1 แผ่นจากนั้นใช้ผ้าครอบแผ่น หมุนเกลียวให้แน่น
3. นำสาย Manometer ขวบนว้ข้างตัวถังของเครื่องใส่ น้ำและหยด Green Oil Grease 2 หยด เพื่อดูระดับน้ำ ให้ระดับ 2 ข้างของ Manometer อยู่ในระดับเดียวกัน
4. ต่อสายยางสีดำเข้าที่ปากครอบฝาแผ่น Flow Calibrate และนำปลายสายยางอีกข้างต่อเข้ากับท่อจาก Manometer
5. ต่อ Motor เข้ากับแหล่งจ่ายไฟโดยตรงเริ่มเดินเครื่องประมาณ 5 นาทีเพื่อเป็นการอุ่นเครื่อง
6. อ่านและบันทึกค่าต่างๆ ดังนี้
 - Ambient temperature, (Ta), °K
 - Station barometric pressure (Pa), mmHg
 - Sampler S/N, Model, Motor No.
 - Orifice S/N and Qa Relationship
 - Data and Location
7. อ่านและบันทึกค่า Manometer Deflection และความสัมพันธ์ของผลจาก Recorder
8. ทำซ้ำ โดยเปลี่ยนแผ่น Flow Calibrate ทีละแผ่นในระหว่างที่ใส่แผ่นต้องแน่ใจว่าได้วางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว โดยจะต้องวางแผ่นยางรองทุกครั้ง
9. ปิดเครื่องและนำแผ่น Flow Calibrate ออก
10. คำนวณหาค่าอันตรายการไหลที่แท้จริง



รูปที่ ก-1 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 1 วันที่ 27 มกราคม 2560



รูปที่ ก-2 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 2 วันที่ 1 กุมภาพันธ์ 2560



รูปที่ ก-3 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 3 วันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2560

ภาคผนวก ข การคำนวณและตัวอย่างการคำนวณ

ภาคผนวก ข-1 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

1. ปรับแก้อัตราการไหลของอากาศที่ใช้เก็บตัวอย่างให้เป็นอัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน

$$Q_{std} = Q_{a(sampler)} \times (P_a / P_{std}) \times (T_{std} / T_a)$$

เมื่อ Q_{std} = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน (ความกดของอากาศ 760 มิลลิเมตรของปรอทและอุณหภูมิ 298 องศาเซลเซียส) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที

$Q_{a(sampler)}$ = อัตราการไหลของอากาศที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที

P_a = ความกดของอากาศในบรรยากาศมีหน่วยเป็นมิลลิเมตรของปรอท

P_{std} = ความกดของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (760 มิลลิเมตรของปรอท)

T_{std} = อุณหภูมิในบรรยากาศมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

T_a = อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (298 องศาเซลเซียส)

2. คำนวณหาปริมาตรอากาศทั้งหมดในการเก็บตัวอย่าง

$$V_{std} = Q_{std} \times t$$

เมื่อ V_{std} = ปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยลูกบาศก์เมตร

Q_{std} = อัตราการไหลของอากาศมาตรฐานมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที

t = เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างมีหน่วยเป็นนาที

3. คำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

ความเข้มข้นของ PM₁₀ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

$$\frac{W_f - W_i}{V_{std}} \times 10^3$$

เมื่อ W_f = น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (mg)

W_i = น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (mg)

V_{std} = ปริมาตรอากาศมาตรฐาน (m³)

10³ = แปลงหน่วยจาก มิลลิกรัมเป็นไมโครกรัม

ตัวอย่างการคำนวณ

$$Q_{\text{std}} = 1.245941 \text{ (m}^3/\text{min)} \times (759.92/760 \text{ mmHg}) \times (298/298.73 \text{ K})$$

$$V_{\text{std}} = 1.241280 \text{ m}^3/\text{min} \times 1430 \text{ min}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ PM}_{10} &= \frac{4663.4 - 4526.2 \text{ (mg)}}{1775.03 \text{ (m}^3)} \times 10^3 \\ &= 77.2945 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข – 2 ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในตัวอย่างฝุ่นละอองฝุ่น

$$C = \frac{\frac{\%C - \%B}{100} \times W \times n}{V_{\text{std}}}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ของฝุ่นละอองในตัวอย่างอากาศ($\mu\text{g/m}^3$)

$\%C$ = ร้อยละของสารคาร์บอนอินทรีย์ในกระดาศกรองที่มีฝุ่นละออง

$\%B$ = ร้อยละของสารคาร์บอนอินทรีย์ในกระดาศกรองที่ไม่มีฝุ่นละออง

W = น้ำหนักของกระดาศกรองส่วนที่นำมาวิเคราะห์(μg)

n = พื้นที่กระดาศกรองทั้งหมด/พื้นที่กระดาศกรองส่วนที่นำมาวิเคราะห์

V_{std} = ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน(m^3)

ตัวอย่างการคำนวณ

วันที่ 28 มกราคม 2560

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด (TC)} &= \frac{\left(\frac{1.1303 - 0.0763}{100} \right) \times 1000 \times 101.4667 \times 36.4162}{1775.03} \\ &= 21.9459 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด (IC)} &= \frac{\left(\frac{0.0014 - 0.0000}{100} \right) \times 1000 \times 103.17 \times 35.59}{1775.03} \\ &= 0.0279 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดค่าข้างต้นแล้วจะได้ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด (TC) และอนินทรีย์คาร์บอน (IC)

ในหน่วย $\mu\text{g/m}^3$ นำไปหาค่าปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC)

ด้วยสูตร $\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$

$$\begin{aligned} \text{TOC} &= (21.95424 - 0.02793) \mu\text{g/m}^3 \\ &= 21.9263 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข -3 การคำนวณความเข้มข้นของ Black Carbon(ภัทธีรยา, 2554)

$$1. \text{Black Carbon}(\mu\text{g}/\text{cm}^2) = 8.1108 \times (-\ln(\text{reading})) - 45.353$$

เมื่อ reading คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง Lux Meter

$$2. \text{Black Carbon}(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{Black Carbon}(\mu\text{g}/\text{cm}^2) \times A(\text{cm}^2)}{V_{\text{std}}}$$

เมื่อ A = พื้นที่ของกระดาษกรองที่นำมาวิเคราะห์ (cm^2)

V_{std} = ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{Black Carbon}(\mu\text{g}/\text{cm}^2) = -8.111 \ln(50.67) + 45.354$$

$$= 13.51561577 (\mu\text{g}/\text{cm}^2)$$

$$\text{Black Carbon}(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{13.5156 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \times 81.07 \text{cm}^2}{1775.03 \text{m}^3}$$

$$= 0.617291522 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

จากพื้นที่กระดาษกรอง 81.07cm^2 มีปริมาณ Black carbon = $0.617291522 (\mu\text{g}/\text{m}^3)$

ถ้าพื้นที่กระดาษกรองทั้งหมด 399cm^2 จะมีปริมาณ Black carbon

$$= 0.617291522 (\mu\text{g}/\text{m}^3) \times 399 \text{cm}^2 / 81.07 \text{cm}^2$$

ภาคผนวก ข - 4 การคำนวณความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้

$$\text{ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้}(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{(A-B) \times V \times F}{V_{\text{std}}}$$

เมื่อ A = ความเข้มข้นของไอออนจากกระดาษกรองที่มีฝุ่น (ppm)

B = ความเข้มข้นของไอออนจากกระดาษกรองที่ไม่มีฝุ่น (ppm)

V = ปริมาตรที่ใช้ในการสกัด (25 มิลลิลิตร)

V_{std} = ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)

F = พื้นที่กระดาษกรองทั้งหมด/พื้นที่กระดาษกรองส่วนที่นำมาวิเคราะห์

ตัวอย่างการคำนวณ

- ตัวอย่างฝุ่นละอองวันที่ 28/1/2560

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ Na}^+ (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= \frac{(12.525 - 5.2321) \times 25 \times (399/35)}{1775.03} \\ &= 1.59 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ F}^- (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= \frac{(0.1474 - 0.0244) \times 25 \times (399/35)}{1775.03} \\ &= 0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ค
ภาคผนวก ค-1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ(มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม(กม./ชม.)	ฝน 3 ชม.(มิลลิเมตร)	เมฆ
28-ม.ค.-60	7.00 น.	23.4	14.4	57	1013.96	E	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	27	13	42	1015.62	E	18.3	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	13.00น.	29.8	12.2	34	1012.64	NE	18.5	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	16.00น.	31	12.4	32	1009.49	NE	9.3	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	19.00น.	28.1	15.7	47	1010.77	E	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	25.3	16.3	58	1013.56	SSE	3.7	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
29-ม.ค.-60	01.00น.	23.5	19.9	80	1013.12	ลมสงบ	ลมสงบ	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	04.00น.	22	17.1	74	1011.73	ENE	5.6	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	7.00 น.	22	18.7	81	1012.57	ENE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10.00น.	28.3	14.4	42	1014.81	S	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13.00น.	32	12.2	30	1012.15	S	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16.00น.	31.5	13.1	33	1010.45	S	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19.00น.	29.3	13.1	37	1011.45	WSW	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22.00น.	25.3	18.2	65	1012.08	S	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
30-ม.ค.-60	01.00น.	24.5	19.9	75	1011.86	SSE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	23.5	19.3	77	1010.97	SW	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	23.1	20	83	1012.57	E	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	27.9	21	66	1014.71	ENE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13.00น.	31.5	14.9	37	1011.77	ENE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16.00น.	32.2	13	31	1008.86	E	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19.00น.	29.4	13.7	38	1009.57	NNE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22.00น.	26.9	19	62	1011.29	SSW	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
31-ม.ค.-60	01.00น.	24.8	21.8	83	1011.26	SE	1.9	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	23.9	21.5	86	1010.45	NE	5.6	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	7.00 น.	23.6	18.2	72	1011.87	E	9.3	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	10.00น.	27.2	15	47	1013.78	ENE	5.6	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	13.00น.	31.5	13.1	33	1011.68	ENE	7.4	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	16.00น.	32.2	13.3	32	1009.77	E	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	39.2	12.3	35	1010.67	N	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22.00น.	25.7	16.5	57	1012.32	NE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
1-ก.พ.-60	01.00น.	24.3	16.9	64	1012.04	ENE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	04.00น.	23.9	15.8	61	1011.73	E	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7.00 น.	22.6	14.8	62	1012.74	N	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10.00น.	28.2	13.8	41	1015.33	E	16.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	33	10.6	25	1012.95	ENE	14.8	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	33.3	9.4	23	1010.93	E	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	30.1	10.2	29	1011.56	N	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22.00น.	29.2	13.9	39	1012.23	NNW	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
2-ก.พ.-60	01.00น.	26.3	15	50	1012.32	NNE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	04.00น.	23.9	16	61	1011.38	NNE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7.00 น.	24.2	16.2	61	1012.54	NE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10.00น.	28	18.1	55	1015.42	ENE	14.8	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13.00น.	31.3	17.3	43	1012.54	NE	18.5	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	31.5	17.6	44	1011.2	ENE	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19.00น.	28	19.6	60	1011.78	E	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22.00น.	27.2	18.8	60	1013.85	E	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
3-ก.พ.-60	01.00น.	26.3	19.2	65	1013.25	E	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	04.00น.	25.1	19.2	80	1012.94	E	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7.00 น.	23.7	20	70	1014.69	E	11.1	0.1	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10.00น.	24.8	21	79	1015.85	E	14.8	0.1	มีเมฆมาก
	13.00น.	25	20.1	74	1013.12	ENE	11.1	ฝนเล็กน้อย	มีเมฆมาก
	16.00น.	28.3	18.7	56	1011.04	ENE	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆมาก
	19.00น.	27.9	19.1	59	1012.05	NNE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22.00น.	26.9	20.5	68	1012.62	NE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆมาก
4-ก.พ.-60	01.00น.	24.5	20.7	79	1011.25	NE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	24.1	20.6	81	1010.49	ลมสงบ	ลมสงบ	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	23.5	20.3	82	1012.09	NNE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	29.5	19.6	55	1013.72	NNW	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	30.1	20.2	30	1012.83	NE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	33.9	18	28	1011.12	N	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	31.2	19	46	1009.95	N	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	30.3	21.7	60	1010.23	NNW	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
5-ก.พ.-60	01.00น.	27.2	21	69	1009.96	ลมสงบ	ลมสงบ	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	25	20.6	76	1009.11	W	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	24.5	20	76	1010.45	NNW	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	31.2	18.2	46	1011.91	N	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	34	16.3	35	1009.6	NNE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	35.3	11.8	24	1007.53	ENE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	30.8	18	47	1008.19	SSW	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	29	12	35	1009.58	N	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
6-ก.พ.-60	01.00น.	26.1	18	61	1009.25	ENE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	23.2	18.9	77	1007.97	NE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	24.3	19	72	1009.32	NE	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	31.8	16.4	40	1012.05	N	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	34.8	13.2	27	1009.72	N	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	33.8	13.6	30	1007.06	SSW	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	32.1	13.8	33	1007.91	WSW	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	27.5	17.7	55	1008.9	SSE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
7-ก.พ.-60	01.00น.	27	22.9	78	1008.87	SSW	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	24.4	19.8	75	1008.75	SW	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	22.5	18.5	78	1010.74	NNE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	31.3	16.3	41	1011.25	WNE	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	35	13.3	27	1009.42		7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	32.5	18.7	44	1007.27	S	20.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	29.7	17.2	47	1008.08	SSW	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	26.8	20.4	68	1010.46	S	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
8-ก.พ.-60	01.00น.	25.8	20.8	74	1009.84	SSW	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	25.6	20.1	72	1009.27	ลมสงบ	ลมสงบ	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	26.3	17.7	59	1011.06	WNW	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	29.6	17.7	49	1013.34	NW	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	34.3	16	40	1010.22	NE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	32.8	17.1	58	1011.98	NE	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	29.2	15.6	44	1008.58	SSW	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนใหญ่
	22.00น.	26.2	18.9	64	1010.65	S	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
9-ก.พ.-60	01.00น.	25	18.2	66	1010.24	S	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	23.7	20.3	81	1010.08	NE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	22.4	18.6	79	1011.56	E	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	28.9	18.7	54	1012.63	ESE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	32.7	17.6	41	1010.45	S	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	33.2	18.1	41	1007.58	S	13	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	28.6	19	56	1008.78	SSW	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	26.9	20.5	68	1010.16	SSW	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
10-ก.พ.-60	01.00น.	26.4	21.8	76	1010.87	S	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	26.4	22.4	79	1009.55	S	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7.00 น.	25.7	21.3	77	1011.31	E	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10.00น.	29.4	20.5	59	1014.03	E	13	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13.00น.	31.6	17.1	42	1012.07	E	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	32.9	16	36	1009.17	NE	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	31.8	16.4	40	1010.07	NE	14.8	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	27.9	17.4	53	1011.95	E	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
11-ก.พ.-60	01.00น.	25.3	18.4	65	1012.37	E	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	23.7	17.8	69	1011.97	E	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	25	17.1	62	1013.13	E	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
13-ก.พ.-60	7.00 น.	21	14.1	65	1018.3	E	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	24.2	14	53	1018.3	NE	16.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	28.5	13.6	40	1015.14	ENE	25.9	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	30.5	11.9	32	1015.14	ENE	16.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	27	13.5	43	1015.8	NNE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	24.5	13.4	50	1018.69	NE	13	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
14-ก.พ.-60	01.00น.	23.5	13.1	52	1018.02	NE	18.5	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	04.00น.	20.5	13.1	63	1016.95	NE	9.3	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	7.00 น.	21.2	13.6	62	1018.4	ENE	9.3	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	10.00น.	25.3	12.9	46	1020.74	E	13	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	13.00น.	29.4	12.8	36	1019.1	E	18.5	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	16.00น.	31.4	12	31	1015.83	NE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	28	13.5	41	1016.82	ENE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	25.2	14.9	53	1019.09	NE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
15-ก.พ.-60	01.00น.	22.9	14.6	60	1018.1	N	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	22	15.3	66	1017.18	NNE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	20.5	14.1	67	1018.32	ESE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	25.8	14	48	1020.38	E	20.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	30.4	12.2	33	1017.07	ENE	24.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	31.4	12.5	32	1014.3	E	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	27.5	13.9	43	1014.95	NE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	25.5	15	52	1016.5	ENE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
16-ก.พ.-60	01.00น.	24.1	14.7	56	1016.01	NNE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	22	14.9	64	1014.88	NE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	22.5	14.9	62	1015.53	NNE	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	28	14	42	1018.15	ESE	22.2	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	30.2	13.5	36	1015.11	E	27.8	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	31.9	13	32	1012.24	ENE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	28.7	12.5	37	1012.25	NNE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	27	15.5	49	1013.88	NNE	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง(°C)	ความชื้นสัมพัทธ์(%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
17-ก.พ.-60	01.00น.	23.6	15.1	59	1014.44	SSE	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	23.1	16.2	65	1014.13	NE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	22.1	16.7	71	1015.8	NE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	28.7	13.8	40	1015.83	E	16.7	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	13.00น.	32	11.7	29	1013.6	ESE	11.1	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง
	16.00น.	34	11.7	26	1010.9	SSE	18.5	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	30.5	12.8	34	1011.84	N	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	26	17.6	60	1014.27	S	1.9	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
18-ก.พ.-60	01.00น.	25.2	19.3	70	1014.14	S	1.9	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	24.1	20.9	80	1013.08	E	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	23.7	21.3	86	1014.67	ENE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
20-ก.พ.-60	7.00 น.	25.1	22.3	84	1010.69	S	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	10.00น.	30.3	22.7	64	1012.84	S	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	32.3	18.6	44	1010.12	S	16.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	32.6	18.4	43	1007.66	SSW	18.5	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	28.2	20.8	64	1008.47	S	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	26.8	22.5	77	1010	S	16.7	ไม่มีฝน	ท้องฟ้าโปร่ง

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์(%)	ความกด อากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
21-ก.พ.-60	01.00น.	26.5	23.6	84	1009.98	SSW	22.2	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	04.00น.	26.4	22.9	81	1010.56	S	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7.00 น.	26.1	23.2	84	1012.74	ESE	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10.00น.	30.3	22.5	63	1013.55	S	13	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	13.00น.	26.6	21.7	53	1010.65	SSW	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	16.00น.	33.6	17.6	39	1008.95	WSW	16.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	29.2	20.1	58	1009.24	S	18.5	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	27.8	22.3	72	1010.15	S	13	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
22-ก.พ.-60	01.00น.	26.7	22.6	78	1010.77	SSW	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	26.1	22.9	82	1010.84	SSW	7.4	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	26.6	23.1	81	1012.25	ลมสงบ	ลมสงบ	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10.00น.	30.9	22.2	60	1013.05	SSW	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13.00น.	32.7	20.8	50	1011.56	SW	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16.00น.	31.4	21	54	1008.94	SSW	18.5	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	29.1	21.2	62	1009.87	SSW	16.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	22.00น.	28.2	23.5	76	1011.58	SSW	13	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ(°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์(%)	ความกด อากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
23-ก.พ.-60	01.00น.	27.7	23.5	78	1010.99	SSW	7.9	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	26.9	23.4	81	1009.88	S	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	7.00 น.	27.8	23.9	79	1011.37	S	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆมาก
	10.00น.	31	22.8	62	1014.26	SSW	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13.00น.	33.5	21.8	50	1012.14	S	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16.00น.	34.3	19.7	42	1008.3	SSW	16.7	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	19.00น.	30.2	22.1	62	1009.79	S	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22.00น.	28.8	22.8	70	1011.88	S	14.8	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
24-ก.พ.-60	01.00น.	28.6	24	76	1011.88	S	13	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	04.00น.	27.7	23	76	1011.55	SSW	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7.00 น.	27.7	23.3	77	1012.63	S	5.6	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10.00น.	29.7	23.5	69	1014	S	13	มีฝนเล็กน้อย	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13.00น.	32.5	22.4	55	1012.22	SSW	13	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16.00น.	30.7	22	60	1010.45	S	16.7	ไม่มีฝน	มีเมฆมาก
	19.00น.	28.4	22.7	71	1011.66	S	20.4	ไม่มีฝน	มีเมฆมาก
	22.00น.	28.4	22.5	70	1012.61	SSE	11.1	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ความกด อากาศ (มิลลิบาร์)	ทิศทางลม	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ฝน 3 ชม. (มิลลิเมตร)	เมฆ
25-ก.พ.-60	01.00น.	27.3	22.7	76	1012.25	SE	9.3	ไม่มีฝน	มีเมฆบางส่วน
	04.00น.	25.9	22.9	84	1011.87	E	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7.00 น.	25.6	22.6	84	1011.91	E	3.7	ไม่มีฝน	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ภาคผนวก ค-2 ชนิดและปริมาณรถยนต์

ตาราง ค-2 ชนิดและปริมาณรถยนต์

วันที่ (7.00-9.00 น.)	รถยนต์ 4 ล้อ (คัน)	รถจักรยานยนต์ 2 ล้อ (คัน)	รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ (คัน)
28/1/2560	3830	1263	45
29/1/2560	2891	896	66
30/1/2560	5019	1827	42
31/1/2560	5135	1976	46
1/2/2560	5202	1786	40
2/2/2560	4987	1602	40
3/2/2560	5010	1566	53
ค่าเฉลี่ย	4582	1559.43	47.43
SD	880.66	371.11	9.34
ค่าสูงสุด	5202	1976	66
ค่าต่ำสุด	2891	896	40

ตาราง ค-2 ชนิดและปริมาณรถยนต์(ต่อ)

วันที่ (16.00-18.00 น.)	รถยนต์ 4 ล้อ (คัน)	รถจักรยานยนต์ 2 ล้อ (คัน)	รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ (คัน)
28/1/2560	4225	1372	80
29/1/2560	4096	1308	22
30/1/2560	5085	1666	58
31/1/2560	5008	1491	66
1/2/2560	5113	1600	99
2/2/2560	4885	1545	83
3/2/2560	5125	1361	69
ค่าเฉลี่ย	4791	1477.57	68.14
SD	439.88	134.60	24.33
ค่าสูงสุด	5125	1666	99
ค่าต่ำสุด	4096	1308	22

ตาราง ค-2 ชนิดและปริมาณรถยนต์(ต่อ)

วันที่(รวม)	รถยนต์ 4 ล้อ (คัน)	รถจักรยานยนต์ 2 ล้อ (คัน)	รถบรรทุกมากกว่า 4 ล้อ (คัน)
28/1/2560	8055	2635	125
29/1/2560	6987	2204	88
30/1/2560	10104	3493	100
31/1/2560	10143	3467	112
1/2/2560	10315	3386	139
2/2/2560	9872	3147	123
3/2/2560	10135	2927	122
ค่าเฉลี่ย	9373	3037	115.57
SD	1308.59	482.07	17.08
ค่าสูงสุด	10315	3493	139
ค่าต่ำสุด	6987	2204	88

ภาคผนวก ค-3 ผลการทดลองความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

ตาราง ค-3 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาษกรอง (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง		
Blank	1	4,497.7	4,498.6		
	2	4,497.6	4,498.5		
	3	4,497.6	4,498.5		
	เฉลี่ย	4,497.6	4,498.5	0.9	
28/1/2560	1	4,526.3	4,663.2		
	2	4,526.1	4,663.7		
	3	4,526.1	4,663.3		
	เฉลี่ย	4,526.2	4,663.4	137.2	77.29
29/1/2560	1	4,497.7	4,604.8		
	2	4,497.4	4,604.5		
	3	4,497.4	4,604.6		
	เฉลี่ย	4,497.5	4,604.6	125.1	69.14
30/1/2560	1	4,472.4	4,619.0		
	2	4,472.2	4,618.8		
	3	4,472.2	4,619.0		
	เฉลี่ย	4,472.3	4,618.9	146.6	81.16
31/1/2560	1	4,511.9	4,648.4		
	2	4,511.8	4,648.0		
	3	4,511.9	4,647.9		
	เฉลี่ย	4,511.9	4,648.1	136.2	82.97
1/2/2560	1	4,563.7	4,723.6		
	2	4,563.6	4,723.4		
	3	4,563.6	4,723.4		
	เฉลี่ย	4,563.6	4,723.5	159.9	93.74

ตาราง ค-3 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาชกรอง (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง		
2/2/2560	1	4,472.9	4,543.9		
	2	4,472.7	4,543.9		
	3	4,472.7	4,543.7		
	เฉลี่ย	4,472.8	4,543.8	71	45.92
3/2/2560	1	4,456.8	4,518.7		
	2	4,456.6	4,518.5		
	3	4,456.8	4,518.8		
	เฉลี่ย	4,456.7	4,518.3	61.6	37.20
4/2/2560	1	4,439.4	4,557.3		
	2	4,439.2	4,557.5		
	3	4,439.2	4,557.3		
	เฉลี่ย	4,439.3	4,557.4	118.1	73.39
5/2/2560	1	4,458.1	4,599.3		
	2	4,458.2	4,599.1		
	3	4,458.1	4,598.6		
	เฉลี่ย	4,458.1	4,599.0	140.9	88.46
6/2/2560	1	4,592.5	4,648.5		
	2	4,592.4	4,648.3		
	3	4,592.4	4,648.3		
	เฉลี่ย	4,592.4	4,648.4	156	97.20
7/2/2560	1	4,470.3	4,569.3		
	2	4,470.2	4,569.4		
	3	4,470.2	4,569.0		
	เฉลี่ย	4,470.2	4,569.2	99	62.06
8/2/2560	1	4,470.6	4,561.5		
	2	4,470.4	4,561.5		
	3	4,470.4	4,561.2		
	เฉลี่ย	4,470.5	4,561.4	90.9	56.37

ตาราง ค-3 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง		
9/2/2560	1	4,454.0	4,542.5		
	2	4,453.8	4,542.2		
	3	4,453.8	4,542.5		
	เฉลี่ย	4,453.9	4,542.4	88.5	55.35
10/2/2560	1	4,467.0	4,606.3		
	2	4,472.3	4,606.0		
	3	4,472.3	4,606.0		
	เฉลี่ย	4,470.5	4,606.1	135.6	84.76
13/2/2560	1	4,429.5	4,556.2		
	2	4,429.5	4,556.1		
	3	4,429.5	4,556.1		
	เฉลี่ย	4,429.5	4,556.1	126.6	74.03
14/2/2560	1	4,461.6	4,607.2		
	2	4,460.9	4,607.7		
	3	4,460.9	4,607.2		
	เฉลี่ย	4,461.1	4,607.4	146.3	85.68
15/2/2560	1	4,497.7	4,617.4		
	2	4,497.7	4,617.4		
	3	4,496.9	4,617.2		
	เฉลี่ย	4,497.4	4,617.3	119.9	73.95
16/2/2560	1	4,438.5	4,577.3		
	2	4,438.3	4,577.2		
	3	4,438.4	4,576.9		
	เฉลี่ย	4,438.4	4,577.1	138.7	84.13
17/2/2560	1	4,469.6	4,591.5		
	2	4,469.3	4,591.1		
	3	4,469.3	4,591.1		
	เฉลี่ย	4,469.4	4,591.2	121.8	75.84
20/2/2560	1	4,488.4	4,582.3		
	2	4,488.0	4,581.9		
	3	4,488.0	4,582.2		
	เฉลี่ย	4,488.0	4,582.1	94.1	58.93

ตาราง ค-3 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาชกรอง (mg)		น้ำหนัก ฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของ ฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บ ตัวอย่าง	หลังเก็บ ตัวอย่าง		
21/2/2560	1	4,475.1	4,547.9		
	2	4,475.0	4,547.3		
	3	4,475.0	4,547.3		
	เฉลี่ย	4,475.0	4,547.5	72.5	44.32
22/2/2560	1	4,491.6	4,559.7		
	2	4,491.6	4,559.1		
	3	4,491.8	4,559.1		
	เฉลี่ย	4,491.7	4,559.3	67.6	40.39
23/2/2560	1	4,439.9	4,482.8		
	2	4,439.6	4,482.5		
	3	4,439.7	4,482.3		
	เฉลี่ย	4,439.7	4,482.5	43.3	27.50
24/2/2560	1	4,472.8	4,528.2		
	2	4,472.8	4,527.9		
	3	4,472.8	4,528.0		
	เฉลี่ย	4,472.7	4,528.0	55.3	34.59
	ค่าเฉลี่ย				66.85
	SD				20.14
	ค่าสูงสุด				97.20
	ค่าต่ำสุด				27.50

ภาคผนวก ค-4 ข้อมูลสภาพบรรยากาศก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง

ตาราง ค-4 ข้อมูลสภาพบรรยากาศก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง

วันที่	อุณหภูมิ		ความดันบรรยากาศ		อัตราการไหล (Flow rate)	
	ก่อนเก็บ ตัวอย่าง	หลังเก็บ ตัวอย่าง	ก่อนเก็บ ตัวอย่าง	หลังเก็บ ตัวอย่าง	ก่อนเก็บ ตัวอย่าง (CFM)	หลังเก็บ ตัวอย่าง (CFM)
28/1/2560	23.4	22	1013.96	1012.57	44	44
29/1/2560	22	23.1	1012.57	1012.57	44	46
30/1/2560	23.1	23.6	1012.57	1011.87	44	46
31/1/2560	23.6	22.6	1011.87	1012.74	40	42
1/2/2560	22.6	24.2	1012.74	1012.54	41	44
2/2/2560	24.2	23.7	1012.54	1014.69	40	37
3/2/2560	23.7	23.5	1014.69	1012.09	40	42
4/2/2560	23.5	24.5	1012.09	1010.45	40	40.5
5/2/2560	24.5	24.3	1010.45	1009.32	40	40
6/2/2560	24.3	22.5	1009.32	1010.74	40	40.5
7/2/2560	22.5	26.3	1010.74	1011.06	40	40
8/2/2560	26.3	22.4	1011.06	1011.56	40	40.5
9/2/2560	22.4	25.7	1011.56	1011.31	40	40
10/2/2560	25.7	17.1	1011.31	1013.13	39.5	40.5
13/2/2560	21	21.2	1018.3	1018.4	42	42
14/2/2560	21.2	20.5	1018.4	1018.32	42	42
15/2/2560	20.5	22.5	1018.32	1015.53	40	40
16/2/2560	22.5	22.1	1015.53	1015.8	40	42
17/2/2560	22.1	23.7	1015.8	1014.67	40	40
20/2/2560	25.1	26.1	1010.69	1012.74	40	40
21/2/2560	26.1	26.6	1012.74	1012.25	40	41
22/2/2560	26.6	27.8	1012.25	1011.37	40	44
23/2/2560	27.8	27.7	1011.37	1012.63	43	43
24/2/2560	27.7	25.6	1012.63	1011.91	40	40

ภาคผนวก ค-5 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์และอนินทรีย์คาร์บอน

ตาราง ค-5 ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์และสารอนินทรีย์คาร์บอน

วัน/เดือน/ปี	ความเข้มข้นของ TOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ความเข้มข้นของ IC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
28/1/2560	21.93	0.03
29/1/2560	16.08	0.02
30/1/2560	21.00	0.00
31/1/2560	25.84	0.00
1/2/2560	26.62	0.57
2/2/2560	14.00	0.00
3/2/2560	12.90	0.00
4/2/2560	19.56	0.00
5/2/2560	24.68	0.10
6/2/1960	24.13	0.00
7/2/2560	17.42	0.00
8/2/2560	15.72	0.00
9/2/2560	14.24	0.00
10/2/2560	25.33	0.00
13/2/2560	18.41	0.00
14/2/2560	22.19	0.00
15/2/2560	18.87	0.00
16/2/2560	21.01	0.01
17/2/2560	21.75	0.00
20/2/2560	12.09	0.00
21/2/2560	8.13	0.00
22/2/2560	7.14	0.00
23/2/2560	5.83	0.00
24/2/2560	7.73	0.00
ค่าเฉลี่ย	17.61	0.03
SD	6.28	0.12
ค่าสูงสุด	26.62	0.57
ค่าต่ำสุด	5.83	0.00

ภาคผนวก ค-6 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ Black carbon

ตาราง ค-6 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ Black carbon

วันที่	ครั้งที่	Lux Meter	Black Carbon ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Black Carbon($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Black Carbon($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
28/1/2560	1	49.9	13.64	0.62	3.07
	2	50.6	13.53	0.62	3.04
	3	51.5	13.38	0.61	3.01
	เฉลี่ย	50.67	13.52	0.62	3.04
29/1/2560	1	72.5	10.61	0.48	2.34
	2	73.8	10.47	0.47	2.31
	3	74.3	10.41	0.47	2.30
	เฉลี่ย	73.53	10.50	0.47	2.31
30/1/2560	1	80.8	9.73	0.44	2.15
	2	87	9.13	0.41	2.02
	3	77.4	10.08	0.45	2.23
	เฉลี่ย	81.73	9.64	0.43	2.13
31/1/2560	1	67	11.25	0.56	2.73
	2	67	11.25	0.56	2.73
	3	67	11.25	0.56	2.73
	เฉลี่ย	67	11.25	0.56	2.73
1/2/2560	1	77.6	10.06	0.48	2.35
	2	77.7	10.05	0.48	2.35
	3	77.9	10.03	0.48	2.35
	เฉลี่ย	77.73	10.04	0.48	2.35
2/2/2560	1	125.4	6.17	0.32	1.59
	2	124.8	6.20	0.33	1.60
	3	124	6.26	0.33	1.61
	เฉลี่ย	124.73	6.21	0.33	1.60
3/2/2560	1	107.3	7.43	0.36	1.79
	2	107.7	7.40	0.36	1.78
	3	107.6	7.41	0.36	1.78
	เฉลี่ย	107.53	7.41	0.36	1.79
4/2/2560	1	98.6	8.12	0.41	2.01
	2	98.8	8.10	0.41	2.01
	3	99	8.08	0.41	2.00
	เฉลี่ย	98.8	8.10	0.41	2.01

ตาราง ค-6 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ Black carbon(ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	Lux Meter	Black Carbon($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Black Carbon($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Black Carbon($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
5/2/2560	1	98.5	8.12	0.41	2.04
	2	99.6	8.03	0.41	2.01
	3	100.3	7.98	0.41	2.00
	เฉลี่ย	99.47	8.04	0.41	2.02
6/2/2560	1	94.2	8.49	0.43	2.11
	2	93.9	8.51	0.43	2.12
	3	94	8.50	0.43	2.11
	เฉลี่ย	94.03	8.50	0.43	2.11
7/2/2560	1	133.1	5.68	0.29	1.42
	2	132.7	5.71	0.29	1.43
	3	133	5.69	0.29	1.42
	เฉลี่ย	132.93	5.69	0.29	1.42
8/2/2560	1	100.9	7.93	0.40	1.96
	2	100.8	7.94	0.40	1.96
	3	100.3	7.98	0.40	1.97
	เฉลี่ย	100.67	7.95	0.40	1.97
9/2/2560	1	102.5	7.80	0.40	1.95
	2	102.5	7.80	0.40	1.95
	3	102.8	7.78	0.39	1.94
	เฉลี่ย	102.6	7.79	0.40	1.94
10/2/2560	1	56.2	12.68	0.64	3.16
	2	55.8	12.73	0.65	3.18
	3	55.7	12.75	0.65	3.18
	เฉลี่ย	55.9	12.72	0.64	3.17
13/2/2560	1	79.5	9.86	0.42	2.06
	2	79.3	9.88	0.42	2.06
	3	79.9	9.82	0.42	2.05
	เฉลี่ย	79.57	9.86	0.42	2.06
14/2/2560	1	97.1	8.24	0.39	1.93
	2	96.7	8.27	0.39	1.93
	3	97.3	8.22	0.39	1.92
	เฉลี่ย	97.03	8.25	0.39	1.93

ตาราง ค-6 ข้อมูลปริมาณความเข้มข้นของ Black carbon(ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	Lux Meter	Black Carbon ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Black Carbon($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Black Carbon($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
15/2/2560	1	76	10.23	0.51	2.52
	2	76.3	10.20	0.51	2.51
	3	76.1	10.22	0.51	2.51
	เฉลี่ย	76.13	10.21	0.51	2.51
16/2/2560	1	70.3	10.86	0.53	2.63
	2	70.4	10.85	0.53	2.63
	3	70.4	10.85	0.53	2.63
	เฉลี่ย	70.37	10.85	0.53	2.63
17/2/2560	1	75.2	10.31	0.52	2.56
	2	75	10.33	0.52	2.57
	3	75.5	10.28	0.52	2.55
	เฉลี่ย	75.23	10.31	0.52	2.56
20/2/2560	1	88.1	9.03	0.46	2.26
	2	88.2	9.02	0.46	2.25
	3	88.6	8.98	0.46	2.24
	เฉลี่ย	88.3	9.01	0.46	2.25
21/2/2560	1	147.4	4.85	0.24	1.18
	2	147.4	4.85	0.24	1.18
	3	147.6	4.84	0.24	1.18
	เฉลี่ย	147.47	4.85	0.24	1.18
22/2/2560	1	113.2	7.00	0.34	1.67
	2	113.3	6.99	0.34	1.67
	3	113.5	6.97	0.34	1.66
	เฉลี่ย	113.33	6.99	0.34	1.67
23/2/2560	1	138	5.39	0.28	1.37
	2	139.1	5.32	0.27	1.35
	3	139	5.33	0.27	1.35
	เฉลี่ย	138.7	5.35	0.28	1.36
24/2/2560	1	129.8	5.89	0.30	1.47
	2	130	5.87	0.30	1.47
	3	130.4	5.85	0.30	1.46
	เฉลี่ย	130.07	5.87	0.30	1.46
ค่าเฉลี่ย					2.09
SD					0.52
ค่าสูงสุด					3.17
ค่าต่ำสุด					1.18

ภาคผนวก ค-7 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้

ตาราง ค-7.1 ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ (ไอออนบวก)

วันที่	ความเข้มข้นของไอออน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	sodium	Ammonium	Potassium	Calcium
28/1/2560	1.59	0.60	8.90	11.85
29/1/2560	3.53	0.23	5.30	2.32
30/1/2560	1.23	0.23	2.63	3.05
31/1/2560	0.35	0.35	3.38	5.40
1/2/2560	0.64	0.31	4.46	6.36
2/2/2560	0.07	0.09	1.88	1.18
3/2/2560	-0.06	0.10	1.25	1.82
4/2/2560	0.38	0.35	2.81	5.06
5/2/2560	0.26	0.34	4.51	4.69
6/2/2560	0.09	0.53	6.34	3.00
7/2/2560	0.17	0.22	1.54	1.78
8/2/2560	0.09	0.25	1.40	1.62
9/2/2560	-0.01	0.35	1.50	1.18
10/2/2560	0.18	0.33	2.36	2.36
13/2/2560	0.90	0.53	5.12	1.37
14/2/2560	-0.17	0.36	3.01	1.69
15/2/2560	0.43	0.21	6.21	3.27
16/2/2560	0.15	0.15	3.23	5.51
17/2/2560	0.65	0.17	1.29	2.13
20/2/2560	1.18	0.50	5.63	0.85
21/2/2560	1.45	0.24	1.60	1.36
22/2/2560	1.51	0.15	2.48	1.12
23/2/2560	2.69	0.19	3.65	1.25
24/2/2560	-0.06	0.11	5.89	0.83
เฉลี่ย	0.72	0.29	3.60	2.96
ค่าสูงสุด	3.53	0.60	8.90	11.85
ค่าต่ำสุด	-0.17	0.09	1.25	0.83
S.D.	0.92	0.14	2.03	2.51

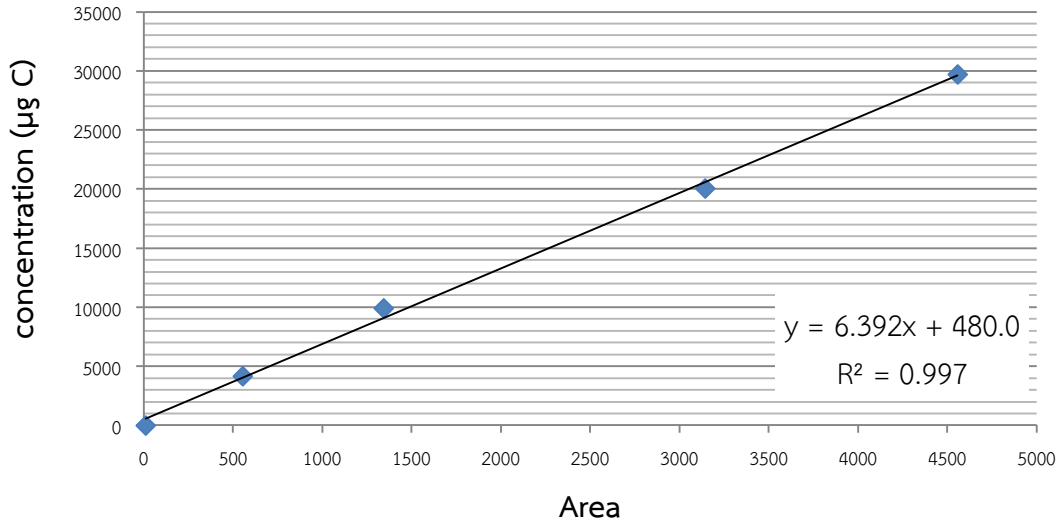
ตาราง ค-7.2 ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ (ไอออนลบ)

วันที่	ความเข้มข้นของไอออน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	Fluoride	Chloride	Nitrate	Sulphate
28/1/2560	0.02	0.72	4.25	5.56
29/1/2560	0.45	3.66	6.58	6.05
30/1/2560	0.22	4.90	5.50	5.35
31/1/2560	0.02	0.75	4.72	5.55
1/2/2560	0.03	0.86	2.84	4.34
2/2/2560	0.01	0.17	0.67	1.70
3/2/2560	0.01	0.41	1.10	1.05
4/2/2560	0.02	0.47	4.17	4.24
5/2/2560	0.02	0.70	3.14	3.56
6/2/2560	0.02	0.36	4.01	4.53
7/2/2560	0.01	0.30	1.68	3.38
8/2/2560	0.01	0.18	1.64	3.00
9/2/2560	0.01	0.24	1.97	3.69
10/2/2560	0.03	0.58	2.36	4.97
13/2/2560	0.04	0.48	1.90	7.77
14/2/2560	0.03	0.67	2.95	6.94
15/2/2560	0.02	0.75	3.32	5.31
16/2/2560	0.04	1.02	4.64	3.81
17/2/2560	0.04	0.73	6.42	4.39
20/2/2560	0.03	1.14	2.47	5.58
21/2/2560	0.01	0.67	2.29	4.40
22/2/2560	0.00	0.41	1.73	4.54
23/2/2560	0.01	0.46	0.80	2.84
24/2/2560	0.01	0.52	1.29	2.49
เฉลี่ย	0.05	0.88	3.02	4.38
ค่าสูงสุด	0.45	4.90	6.58	7.77
ค่าต่ำสุด	0.00	0.17	0.67	1.05
S.D.	0.10	1.09	1.69	1.56

ภาคผนวก ง

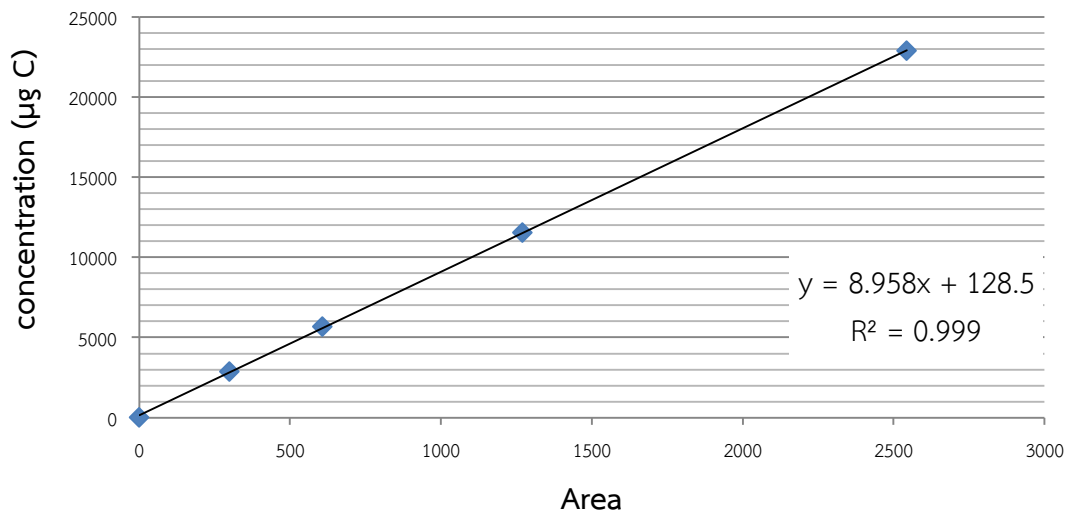
ภาคผนวก ง-1 กราฟมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์และสารอนินทรีย์ของฝุ่นละอองในตัวอย่างอากาศ

กราฟมาตรฐาน Total Carbon



รูปที่ ง-1.1 กราฟมาตรฐานคาร์บอนทั้งหมด

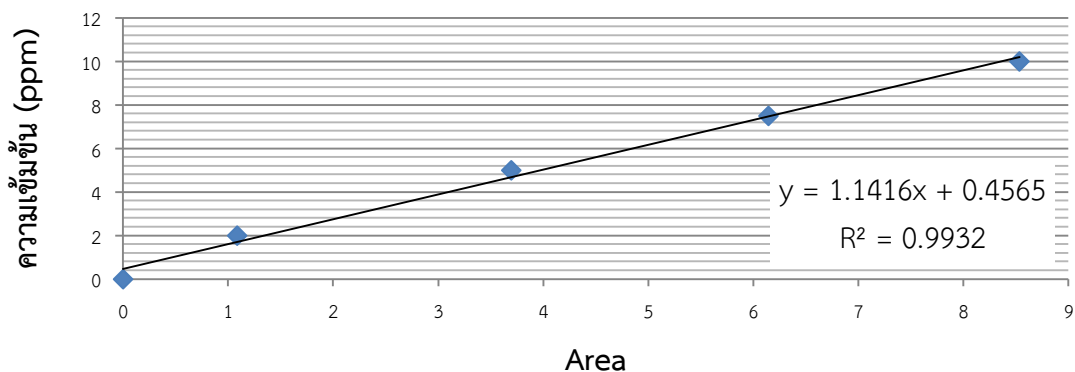
กราฟมาตรฐาน Inorganic Carbon



รูปที่ ง-1.2 กราฟมาตรฐานสารอนินทรีย์คาร์บอน

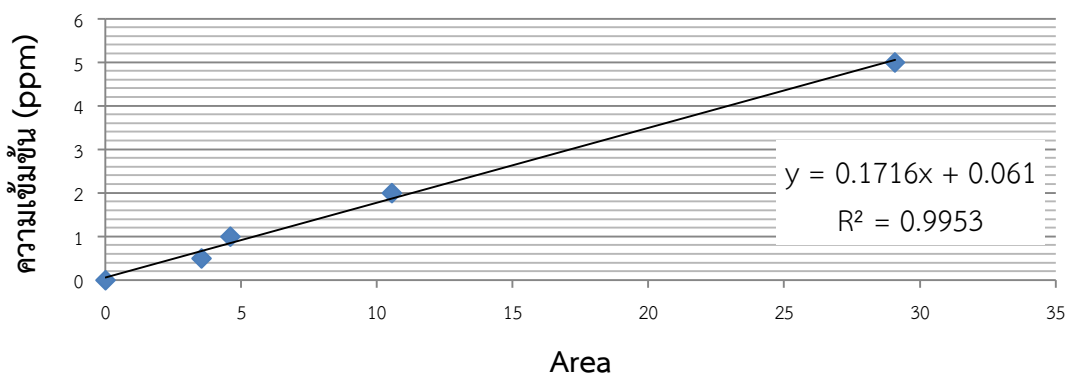
ภาคผนวก ง-2 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณไอออนที่ละลายน้ำได้

กราฟมาตรฐาน Sodium



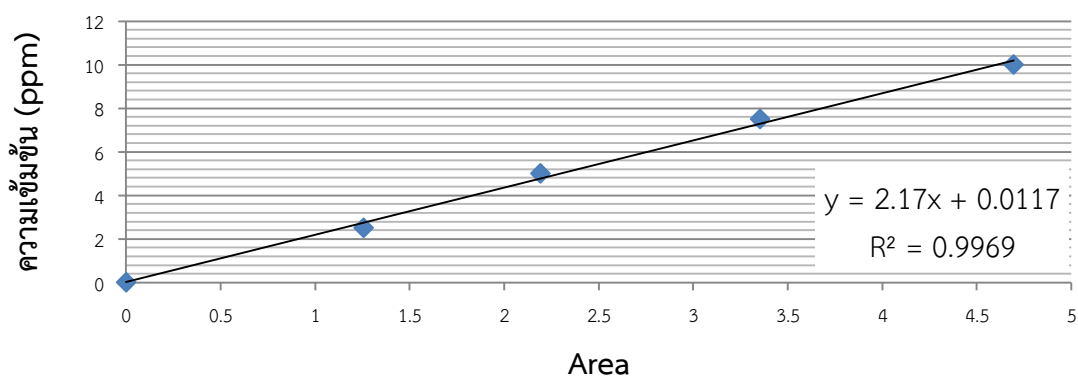
รูปที่ ง-2.1 กราฟมาตรฐานโซเดียมไอออน (Na^+)

กราฟมาตรฐาน Ammonium



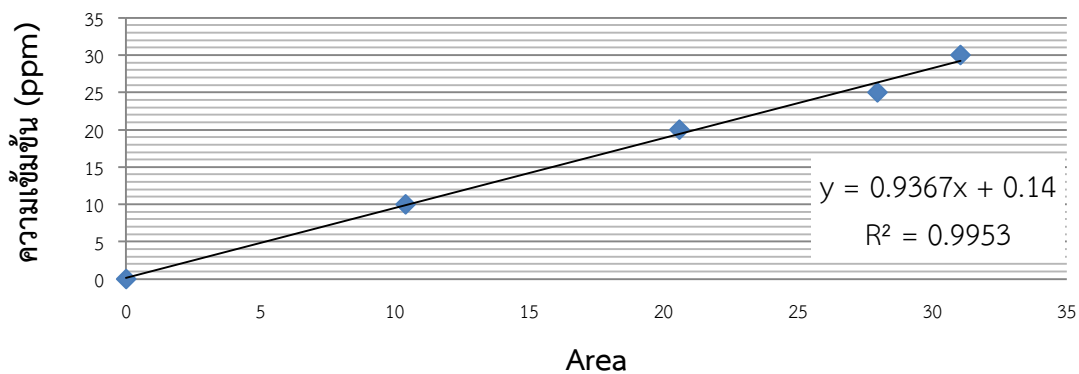
รูปที่ ง-2.2 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+)

กราฟมาตรฐาน Potassium

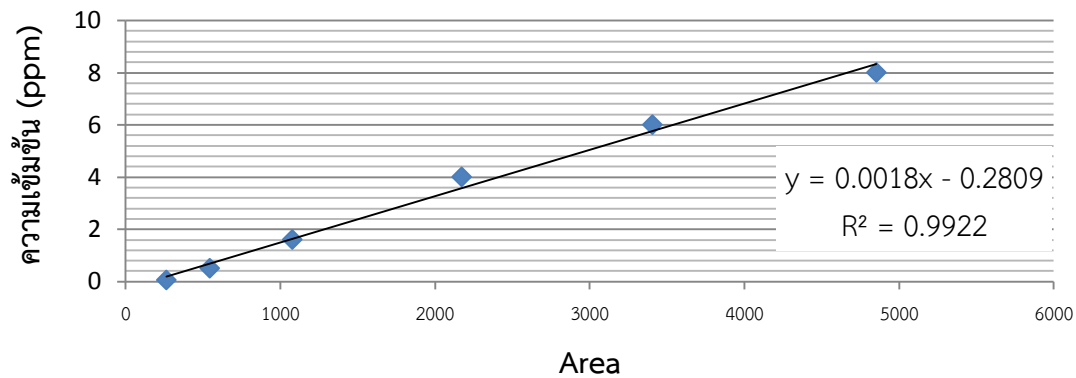


รูปที่ ง-2.3 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมไอออน (K^+)

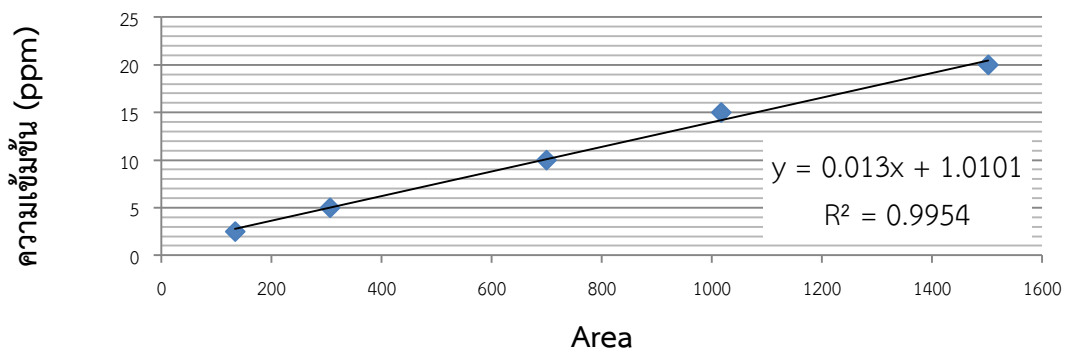
กราฟมาตรฐาน Calcium

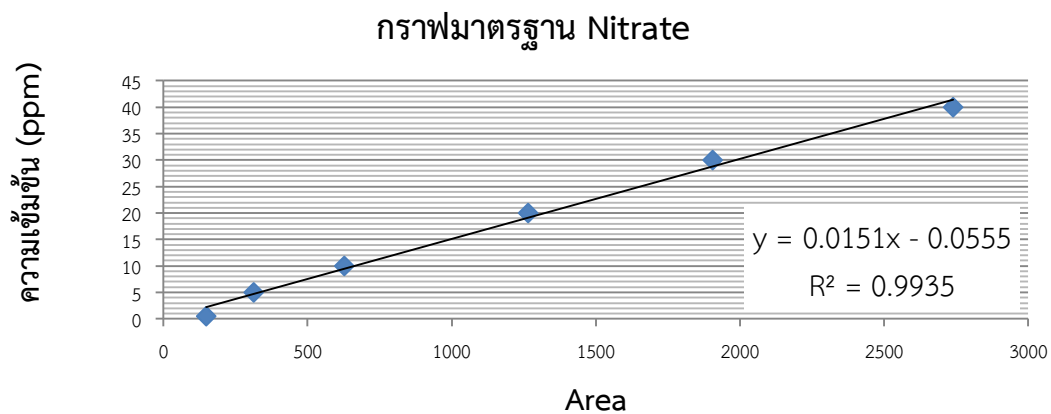
รูปที่ ง-2.4 กราฟมาตรฐานแคลเซียมไอออน (Ca^{2+})

กราฟมาตรฐาน Fluoride

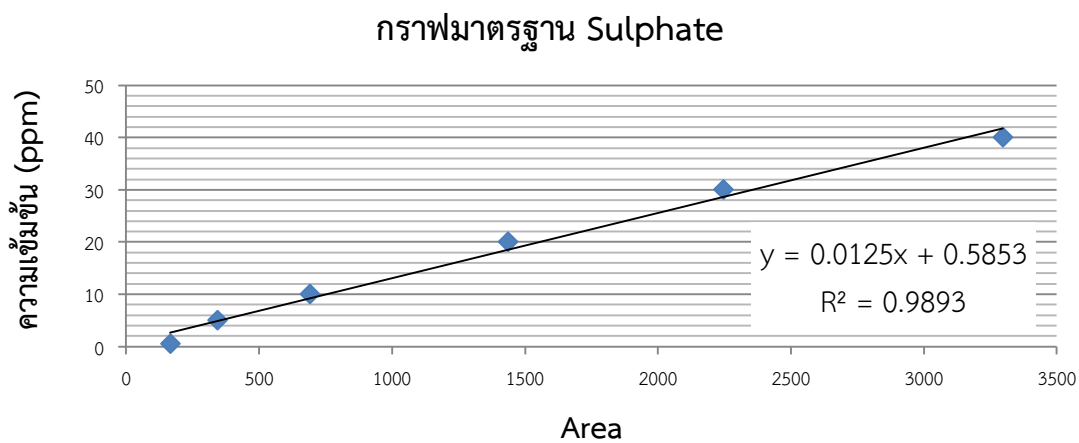
รูปที่ ง-2.5 กราฟมาตรฐานฟลูออไรด์ไอออน (F^-)

กราฟมาตรฐาน Chloride

รูปที่ ง-2.6 กราฟมาตรฐานคลอไรด์ไอออน (Cl^-)



รูปที่ ง-2.7 กราฟมาตรฐานไนเตรตไอออน (NO_3^-)



รูปที่ ง-2.8 กราฟมาตรฐานซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-})

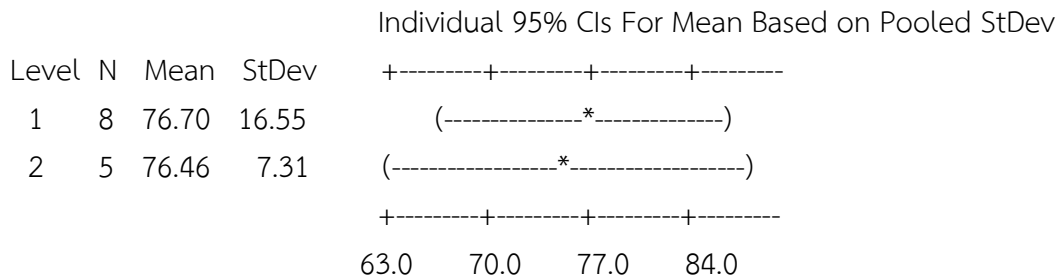
ภาคผนวก จ การวิจัยทางสถิติ

ภาคผนวก จ-1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
ในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	0	0	0.00	0.976
Error	11	2132	194		
Total	12	2132			

S = 13.92 R-Sq = 0.01% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 13.92

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

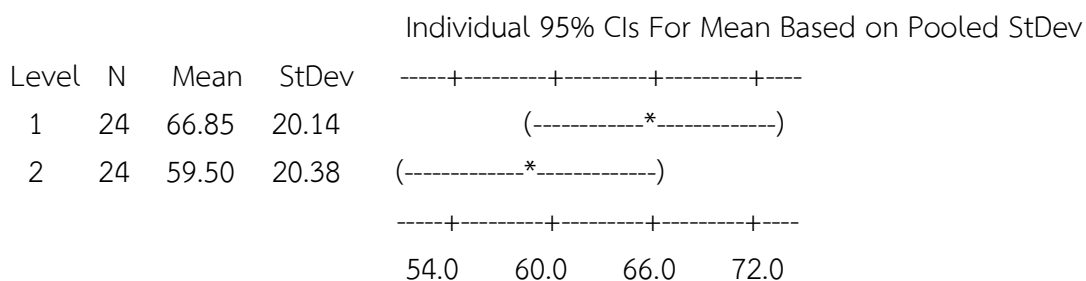
C2 คือ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

ภาคผนวก จ-2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณคณะวิทยาศาสตร์กับกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	648	648	1.58	0.215
Error	46	18888	411		
Total	47	19536			

S = 20.26 R-Sq = 3.32% R-Sq(adj) = 1.21%



Pooled StDev = 20.26

กำหนดให้

C1 คือ สถานที่เก็บฝุ่นละออง ได้แก่ บริเวณริมถนนฉลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง กับ กรมอุตุนิยมวิทยาบางนา

C2 คือ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

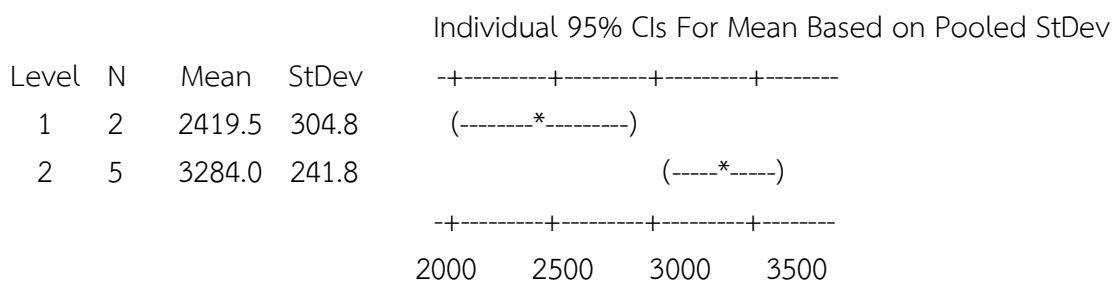
ภาคผนวก จ-3 ความสัมพันธ์ของจำนวนรถยนต์ในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

ภาคผนวก จ-3.1 ความสัมพันธ์ของจำนวนรถจักรยานยนต์ 2 ล้อ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	1067658	1067658	16.34	0.010
Error	5	326672	65334		
Total	6	1394330			

S = 255.6 R-Sq = 76.57% R-Sq(adj) = 71.89%



Pooled StDev = 255.6

Grouping Information Using Tukey Method

C1	N	Mean	Grouping
2	5	3284.0	A
1	2	2419.5	B

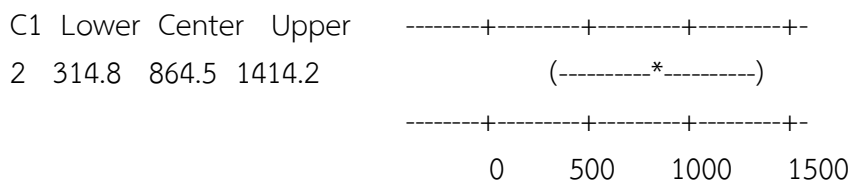
Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons among Levels of C1

Individual confidence level = 95.00%

C1 = 1 subtracted from:



กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

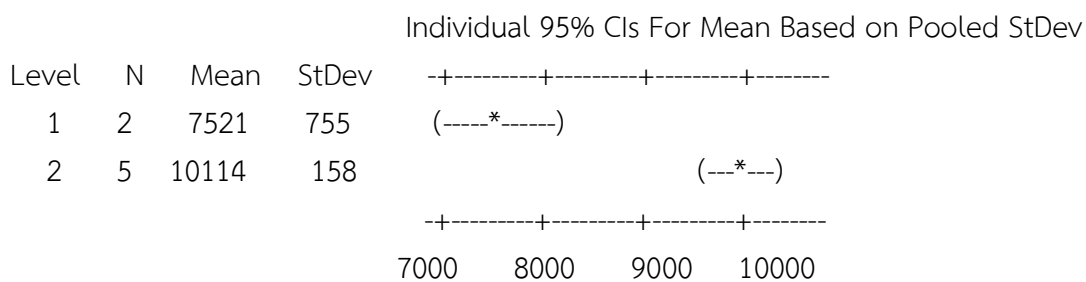
C2 คือ จำนวนรถจักรยานยนต์ 2 ล้อ

ภาคผนวก จ-3.2 ความสัมพันธ์ของจำนวนรถยนต์ 4 ล้อ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	9603731	9603731	71.60	0.000
Error	5	670659	134132		
Total	6	10274390			

S = 366.2 R-Sq = 93.47% R-Sq(adj) = 92.17%



Pooled StDev = 366

Grouping Information Using Tukey Method

C1	N	Mean	Grouping
2	5	10113.8	A
1	2	7521.0	B

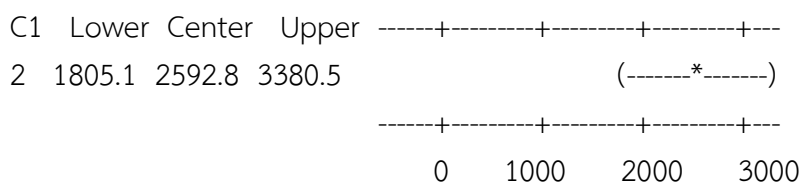
Means that do not share a letter are significantly different.

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals

All Pairwise Comparisons among Levels of C1

Individual confidence level = 95.00%

C1 = 1 subtracted from:



กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

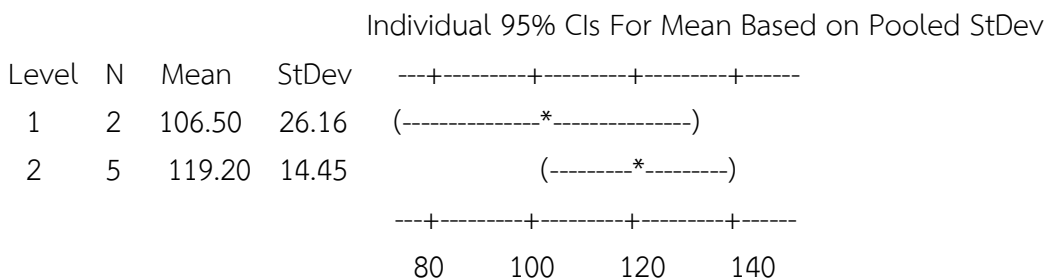
C2 คือ จำนวนรถยนต์ 4 ล้อ

ภาคผนวก จ-3.3 ความสัมพันธ์ของจำนวนรถยนต์มากกว่า 4 ล้อ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	230	230	0.76	0.424
Error	5	1519	304		
Total	6	1750			

S = 17.43 R-Sq = 13.17% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 17.43

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

C2 คือ จำนวนรถยนต์มากกว่า 4 ล้อ

ภาคผนวก จ-4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับจำนวนรถยนต์แต่ละประเภท

ประเภทรถ	Pearson correlation	P-value
รถจักรยานยนต์ 2 ล้อ	0.799	0.105
รถยนต์ 4 ล้อ	0.862	0.060
รถมากกว่า 4 ล้อ	0.805	0.100
รถทั้งหมด	0.850	0.068

ภาคผนวก จ-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับ สารคาร์บอนอินทรีย์ สารอินทรีย์คาร์บอนและ Black carbon

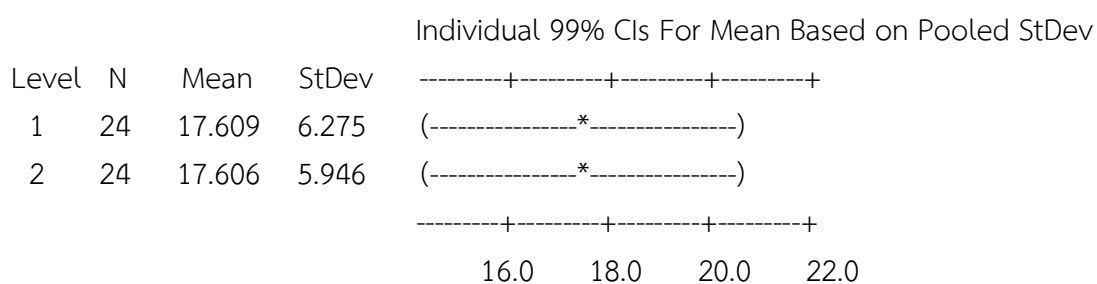
องค์ประกอบทางเคมี	Pearson correlation	P-value
สารคาร์บอนอินทรีย์	0.948	0.000
สารอินทรีย์คาร์บอน	0.334	0.111
Black carbon	0.689	0.000

ภาคผนวก จ-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ที่คำนวณได้จากจาก กราฟเส้นตรงและความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ที่วิเคราะห์ได้

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	0.0	0.0	0.00	0.999
Error	46	1718.9	37.4		
Total	47	1718.9			

S = 6.113 R-Sq = 0.00% R-Sq(adj) = 0.00%



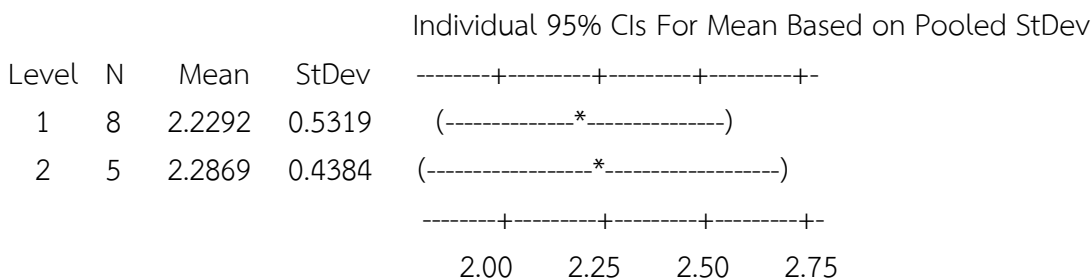
Pooled StDev = 6.113

ภาคผนวก จ-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ Black carbon ในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	0.010	0.010	0.04	0.843
Error	11	2.749	0.250		
Total	12	2.759			

S = 0.4999 R-Sq = 0.37% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 0.4999

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติ และวันหยุดราชการ

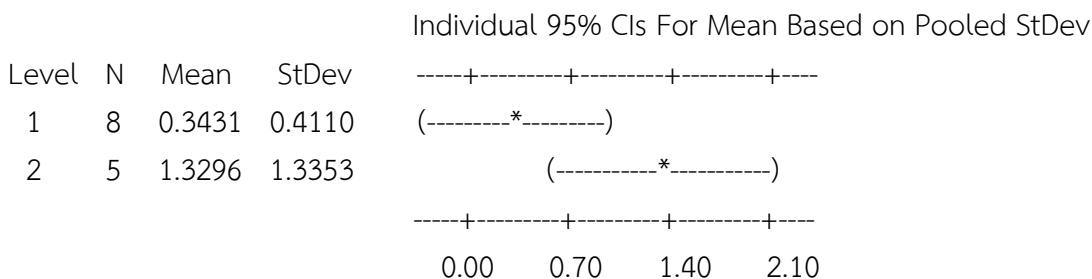
C2 คือ ความเข้มข้นของ Black Carbon

ภาคผนวก จ-9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมไอออนในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	2.994	2.994	3.96	0.072
Error	11	8.314	0.756		
Total	12	11.308			

S = 0.8694 R-Sq = 26.48% R-Sq(adj) = 19.79%



Pooled StDev = 0.8694

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

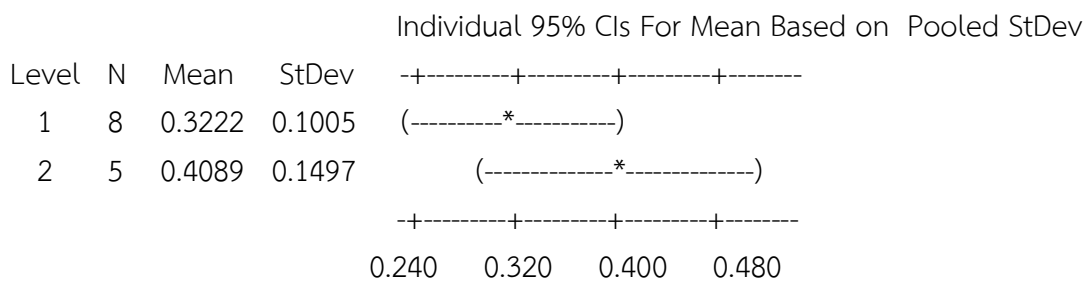
C2 คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไอออน

ภาคผนวก จ-10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	0.0231	0.0231	1.59	0.234
Error	11	0.1604	0.0146		
Total	12	0.1835			

S = 0.1207 R-Sq = 12.61% R-Sq(adj) = 4.66%



Pooled StDev = 0.1207

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

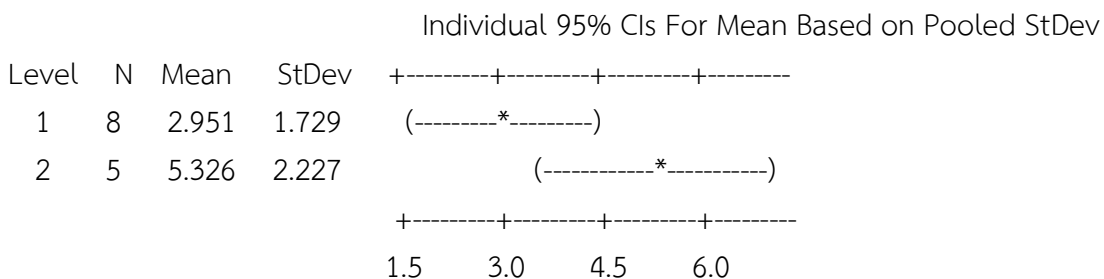
C2 คือ ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออน

ภาคผนวก จ-11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอออนในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	17.35	17.35	4.68	0.053
Error	11	40.76	3.71		
Total	12	58.11			

S = 1.925 R-Sq = 29.85% R-Sq(adj) = 23.47%



Pooled StDev = 1.925

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

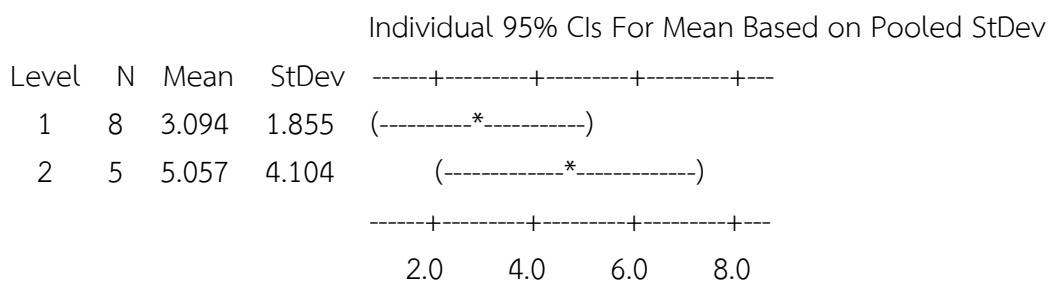
C2 คือ ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอออน

ภาคผนวก จ-12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	11.85	11.85	1.42	0.258
Error	11	91.47	8.32		
Total	12	103.32			

S = 2.884 R-Sq = 11.47% R-Sq(adj) = 3.42%



Pooled StDev = 2.884

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

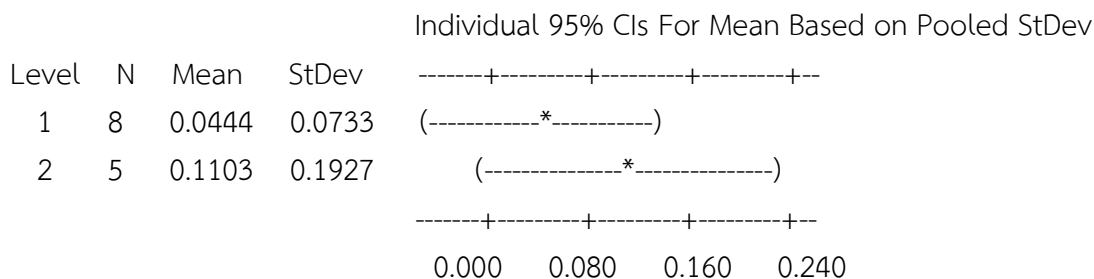
C2 คือ ความเข้มข้นของแคลเซียมไอออน

ภาคผนวก จ-13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออนในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	0.0133	0.0133	0.79	0.393
Error	11	0.1861	0.0169		
Total	12	0.1994			

S = 0.1301 R-Sq = 6.69% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 0.1301

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

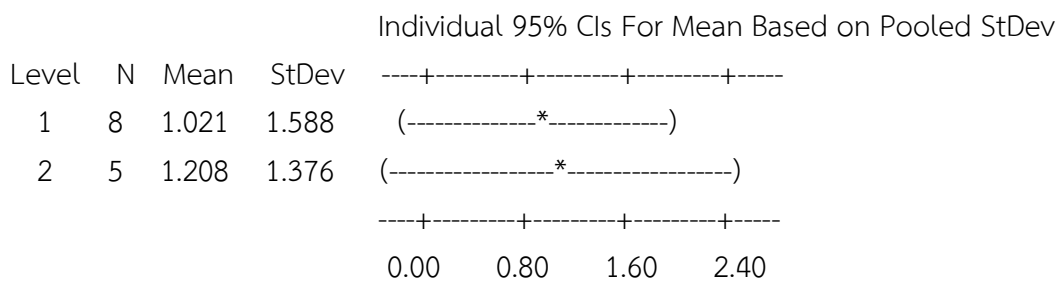
C2 คือ ความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออน

ภาคผนวก จ-14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	0.11	0.11	0.05	0.833
Error	11	25.23	2.29		
Total	12	25.34			

S = 1.515 R-Sq = 0.42% R-Sq(adj) = 0.00%



Pooled StDev = 1.515

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติ และวันหยุดราชการ

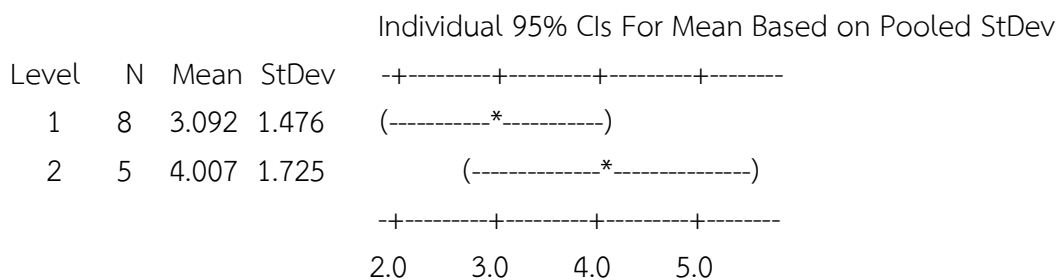
C2 คือ ความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออน

ภาคผนวก จ-15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเตรตในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	2.58	2.58	1.04	0.329
Error	11	27.16	2.47		
Total	12	29.73			

S = 1.571 R-Sq = 8.66% R-Sq(adj) = 0.36%



Pooled StDev = 1.571

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

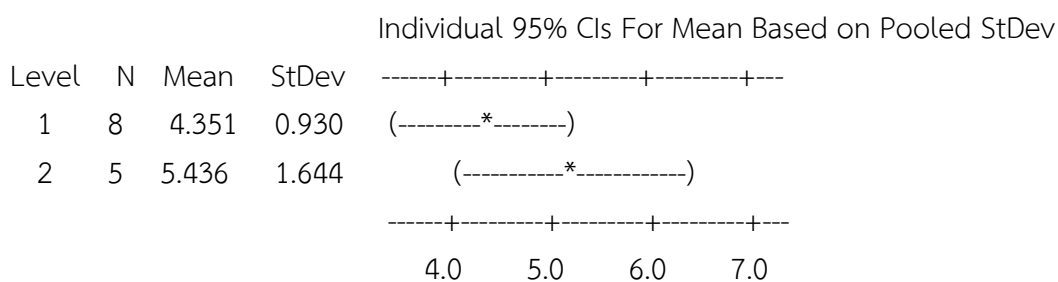
C2 คือ ความเข้มข้นของไนเตรต

ภาคผนวก จ-16 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซัลเฟตในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

One-way ANOVA: C2 versus C1

Source	DF	SS	MS	F	P
C1	1	3.62	3.62	2.36	0.153
Error	11	16.86	1.53		
Total	12	20.48			

S = 1.238 R-Sq = 17.67% R-Sq(adj) = 10.19%



Pooled StDev = 1.238

กำหนดให้

C1 คือ วัน ได้แก่ วันทำงานปกติและวันหยุดราชการ

C2 คือ ความเข้มข้นของซัลเฟต

รูปแบบ (สั้นปก)

การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละออง
ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณริมถนนคลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สจล.

ปีการศึกษา 2559