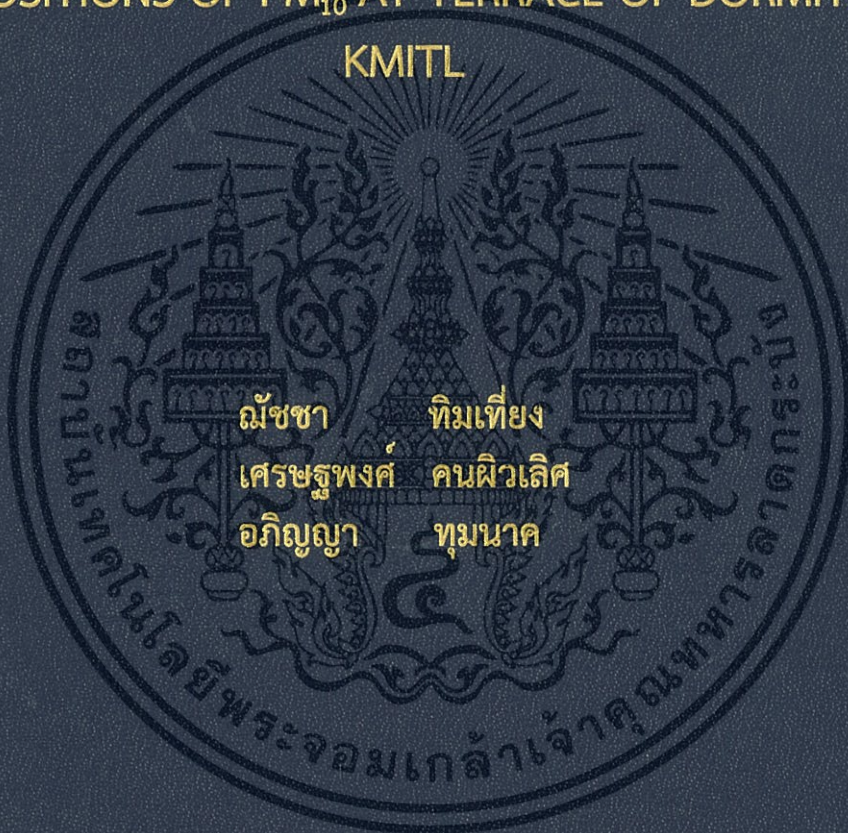


การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่น
ละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณดาดฟ้าอาคารที่พัก
บุคลากร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ANALYSIS OF CONCENTRATIONS AND CHEMICAL
COMPOSITIONS OF PM₁₀ AT TERRACE OF DORMITORY,

KMITL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่น
ละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณดาดฟ้าอาคารที่พัก
บุคลากร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง

ANALYSIS OF CONCENTRATIONS AND CHEMICAL
COMPOSITIONS OF PM₁₀ AT TERRACE OF DORMITORY,
KMITL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ANALYSIS OF CONCENTRATIONS AND CHEMICAL
COMPOSITIONS OF PM₁₀ AT TERRACE OF DORMITORY,
KMITL



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

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง
ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณดาดฟ้าอาคารที่พักบุคลากร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ANALYSIS OF CONCENTRATIONS AND CHEMICAL
COMPOSITIONS OF PM₁₀ AT TERRACE OF DORMITORY,
KMITL

ชื่อนักศึกษา

นางสาว ณัชชา ทิมเที่ยง รหัสนักศึกษา 57050587
นาย เศรษฐพงษ์ คนผิวเลิศ รหัสนักศึกษา 57050646
นางสาว อภิญญา ทูมนาค รหัสนักศึกษา 57050661

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี
สิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ดร. กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ กรรมการ	
ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณตลาดฟ้าอาคารที่พุกบุคลากร
ชื่อนักศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง นางสาวณัชชา ทิมเที่ยง รหัสนักศึกษา 57050587 นายเศรษฐพงศ์ คนผิวเลิศ รหัสนักศึกษา 57050646 นางสาวอภิญญา ทูมนาค รหัสนักศึกษา 57050661
ปริญญา ภาควิชา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ บริเวณตลาดฟ้าอาคารที่พุกบุคลากร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) โดยเก็บตัวอย่างอากาศบนกระดาดาชกรองใยแก้วด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูงระหว่างเดือนกันยายน – พฤศจิกายน พ.ศ.2560 จากนั้น ชั่งน้ำหนักฝุ่นละอองและวิเคราะห์รูปร่างฝุ่นละอองด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิก-แอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ วิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำได้ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี และวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและสารคาร์บอนอินทรีย์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณรวมของคาร์บอนอินทรีย์ จากผลการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของอนุภาคฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีค่าอยู่ในช่วง 46.02 ถึง 79.79 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ฝุ่นละอองมีรูปร่างแบบฟลอครวมตัวกันแบบหลวมๆ จับต่อนเป็นกลุ่มก้อนไม่เป็นระเบียบ และรูปทรงกลม ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีค่าเฉลี่ยร้อยละขององค์ประกอบของธาตุเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ $\text{SiO}_2 > \text{Na}_2\text{O} > \text{Al}_2\text{SO}_3 > \text{BaO} > \text{SO}_3 > \text{K}_2\text{O} > \text{CaO} > \text{ZnO} > \text{MgO}$ ความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Cu}$ และไอออนละลายน้ำได้เรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ $\text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{F}^-$ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในฝุ่นละอองมีค่าอยู่ในช่วง 0.12 ถึง 0.48 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และสารคาร์บอนอินทรีย์มีปริมาณเล็กน้อย

คำสำคัญ : ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ไอออนละลายน้ำได้ โลหะหนัก สารคาร์บอนอินทรีย์ ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Analysis of Concentrations and Chemical Compositions of PM ₁₀ at Terrace of Dormitory, KMITL
Students	Miss Chatcha Thimthieng Student ID 57050587 Mr. Sethapong Konphiwlerlert Student ID 57050646 Miss Apinya Toomnak Student ID 57050661
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year	2016
Advisor	Asst. Prof. Dr. Suwanee Junyapoon

Abstract

This special project studied concentrations and chemical compositions of PM₁₀ at Terrace of Dormitory, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL). Air samples were collected on glass fiber filter at flow rate of 1.02-1.24 m³/min for 24 hours using High Volume Air Sampler between September and November, 2017. The samples were weighed with 4-digit analytical balance and then analyzed chemical composition bound on PM₁₀. Structures of PM₁₀ were observed with Scanning Electron Microscope (SEM). Amount and type of elements were measured by X-ray Fluorescence Spectrometer. Heavy metals were analyzed with Atomic Absorption Spectrophotometer. Soluble ions were examined with Ion chromatograph. Total organic carbons (TOC) and inorganic carbons (IC) were determined by Total Organic Carbon Analyzer. The experimental results showed that average 24 hours concentrations of PM₁₀ were in the range of 46.02 and 79.79 and $\mu\text{g}/\text{m}^3$ at 25°C, 1 atm. Morphologies of PM₁₀ were flocculent, porous fluffy and spherical shapes. The average concentrations of elements were found in following order: SiO₂ > Na₂O > Al₂SO₃ > BaO > SO₃ > K₂O > CaO > ZnO > MgO. The average concentrations of heavy metals were found in following order: Fe > Zn > Pb > Ni > Cd > Cu, respectively whereas those of soluble ions were SO₄²⁻ > K⁺ > NO₃⁻ > Ca²⁺ > Cl⁻ > Na⁺ > NH₄⁺ > F⁻, respectively. Average concentrations of total organic carbons were ranged from 0.12 to 0.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ while only small amounts of inorganic carbons were found.

Keywords: PM₁₀, Soluble ions, Heavy metals, Total organic carbon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆมาโดยตลอด จนโครงการพิเศษเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ คณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และผู้ปกครอง ที่ให้การอบรมสั่งสอน และสนับสนุนใน ด้านการศึกษา คอยให้คำปรึกษาต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจเสมอมา

ขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่ให้ความรู้เพิ่มเติม และสนับสนุนเกี่ยวกับอุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีในการ ทำการศึกษาทดลอง รวมถึงให้ความช่วยเหลือในด้านอื่นๆอย่างเต็มที่

ขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยให้คำแนะนำ เอื้อเฟื้อ และอำนวยความสะดวก ในการขนย้ายอุปกรณ์ที่ ใช้ในการทำการทดลอง ตลอดระยะเวลาในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษหวังเป็นอย่างสูงว่าโครงการเล่มนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ สนใจได้ไม่มากนักน้อย

ณัชชา ทิมเที่ยง
เศรษฐพงษ์ศ์ คนผิวเลิศ
อภิญญา หุมนาค

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 อนุภาคฝุ่นละออง.....	3
2.1.1 สัณฐานของฝุ่นละออง.....	4
2.1.2 การแพร่กระจายของฝุ่นละออง.....	4
2.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM ₁₀).....	5
2.2.1 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง.....	5
2.2.2 องค์ประกอบของฝุ่นละออง.....	7
2.2.3 ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม.....	9
2.2.4 มาตรฐานของฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	11
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	16
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	16
3.2 สารเคมี.....	17
3.3 สถานที่และระยะเวลาการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง.....	17
3.3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง.....	17
3.3.2 ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง.....	18
3.3.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา.....	18
3.4 วิธีการทดลอง.....	19
3.4.1 การเตรียมกระดาศกรอง.....	20
3.4.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง.....	20
3.4.3 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	21
3.4.3.1 การวิเคราะห์รูปร่างของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	21
3.4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบในตัวอย่างฝุ่นละออง.....	21
3.4.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างฝุ่นละออง.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อประโยชน์ในทางวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนละลายน้ำได้.....	22
3.4.3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในรูปสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด และสารคาร์บอนอนินทรีย์ในตัวอย่างฝุ่นละออง.....	23
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	25
4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	25
4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	27
4.2.1 ผลการศึกษาสัณฐานของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนด้วย SEM.....	27
4.2.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนด้วย XRF	28
4.2.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	29
4.2.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	31
4.2.5 ผลการศึกษาปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) และสารคาร์บอนอนิ นทรีย์ (IC) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการวิจัย	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารอ้างอิง.....	37
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก	40
ภาคผนวก ข	42
ภาคผนวก ค	46
ภาคผนวก ง.....	67
ภาคผนวก จ.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการสันนิษฐานที่มาของฝุ่น.....	7
2.2 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	12
3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี.....	22
4.1 วันที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง และลักษณะภูมิอากาศ.....	26
ค-1 สภาพบรรยากาศทั่วไป.....	46
ค-2 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	57
ค-3 ข้อมูลสภาพบรรยากาศก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง.....	61
ค-4 ผลการคำนวณการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำได้.....	61
ค-5 ผลการคำนวณการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก.....	63
ค-6 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	65
ค-7 ผลการคำนวณปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) และสารคาร์บอนอินทรีย์ (IC) ในฝุ่น ละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ผุ่นละอองขนาดต่างๆ เปรียบเทียบกับสิ่งอ้างอิง.....	3
2.2 การแพร่กระจายของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด ตั้งแต่ 100 – 0.002 ไมครอน	4
3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างผุ่นละอองในบรรยากาศ.....	18
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	19
4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณตลาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนตุลาคมพ.ศ.2560.....	25
4.2 ลักษณะของผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	27
4.3 ร้อยละองค์ประกอบธาตุในผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	29
4.4 ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ในผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	30
4.5 ความเข้มข้นของโลหะหนักในผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	31
4.6 ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและสารคาร์บอนอินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	33
4.7 ความสัมพันธ์ของผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด.....	34
ก-1 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 1 วันที่ 11 กันยายน 2560.....	41
ก-2 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 2 วันที่ 9 ตุลาคม 2560.....	41
ก-3 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บผุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 2 วันที่ 13 พฤศจิกายน 2560.....	41
ง-1.1 กราฟมาตรฐานโซเดียมไอออน (Na ⁺).....	67
ง-1.2 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียมไอออน (NH ₄ ⁺).....	67
ง-1.3 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมไอออน (K ⁺).....	68
ง-1.4 กราฟมาตรฐานแคลเซียมไอออน (Ca ²⁺).....	68
ง-1.5 กราฟมาตรฐานฟลูออไรด์ไอออน (F ⁻).....	68
ง-1.6 กราฟมาตรฐานคลอไรด์ไอออน (Cl ⁻).....	69
ง-1.7 กราฟมาตรฐานไนเตรตไอออน (NO ₃ ⁻).....	69
ง-1.8 กราฟมาตรฐานซัลเฟตไอออน (SO ₄ ²⁻).....	69
ง-2.1 กราฟมาตรฐานแคดเมียม	70
ง-2.2 กราฟมาตรฐานคอปเปอร์	70
ง-2.3 กราฟมาตรฐานสังกะสี.....	70
ง-2.4 กราฟมาตรฐานเหล็ก	71
ง-2.5 กราฟมาตรฐานตะกั่ว.....	71
ง-2.6 กราฟมาตรฐานนิกเกิล	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง-3.1 กราฟมาตรฐานคาร์บอนอินทรีย์	72
ง-3.2 กราฟมาตรฐานคาร์บอนทั้งหมด.....	72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์

PM₁₀

IC

TC

TOC

SEM

AAS

XRF

°C

Ppm

µg/m³

Atm

คำอธิบาย

อนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

สารคาร์บอนอินทรีย์

สารคาร์บอนทั้งหมด

สารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด

กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

เครื่องอะตอมมิคซ์แอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์

เครื่องเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์สเปกโทรมิเตอร์

องศาเซลเซียส

ส่วนในหนึ่งล้านส่วน

ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

หน่วยความดันบรรยากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหามลพิษทางอากาศ นับเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญปัญหาหนึ่งของประเทศไทย โดยเฉพาะเมืองใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่นและอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จำนวนมาก ปัญหานี้ส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ สัตว์ พืช และสิ่งปลูกสร้าง ปัจจุบันมีแนวโน้มของประชากรที่ป่วยด้วยระบบทางเดินหายใจหรือเสียชีวิตเนื่องจากมลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้น โดยมลพิษทางอากาศมีทั้งมลพิษทางอากาศภายในอาคาร และนอกอาคาร สารมลพิษทางอากาศที่เป็นปัญหาหลักของประเทศไทยคือฝุ่นละอองขนาดเล็กหรือฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มักพบในความเข้มข้นที่สูงกว่าค่ามาตรฐาน โดยเฉพาะในช่วงเปลี่ยนฤดูกาลจากฤดูหนาวเข้าสู่ฤดูร้อน โดยแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนส่วนใหญ่เกิดจากยานพาหนะ อุตสาหกรรม สิ่งก่อสร้าง การเผาในที่โล่ง และมลพิษจากหมอกควันข้ามแดนในบางพื้นที่ (ประกาย, 2556) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจโดยตรง นอกจากนี้ โลหะหนัก สารคาร์บอนอินทรีย์ สารคาร์บอนอนินทรีย์ ไอออนที่ละลายน้ำ สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่จับอยู่กับฝุ่นละออง ยังเป็นสาเหตุทำให้เกิดการระคายเคืองและทำลายเนื้อเยื่อในระบบทางเดินหายใจ หากได้รับในปริมาณมากและเป็นระยะเวลานาน จะทำให้อวัยวะต่างๆ เสื่อมประสิทธิภาพติดเชื้อได้ อาจส่งผลให้เกิดมะเร็งปอดได้ นอกจากนี้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กยังสามารถแพร่กระจายขึ้นไปในระดับสูงและแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศเป็นเวลานาน ส่งผลกระทบต่อผู้อาศัยอยู่ในอาคารสูงในเมืองใหญ่ซึ่งมีจำนวนมากในปัจจุบัน

โครงการพิเศษนี้ จึงได้ศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศบริเวณตาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล) โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยเครื่องเก็บฝุ่น High Volume Air Sampler ชนิด Mass Flow Controlled ในช่วงเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 วิเคราะห์ค่าไอออนละลายน้ำในฝุ่นละออง ค่าสารคาร์บอนอินทรีย์และสารคาร์บอนอนินทรีย์ และปริมาณโลหะหนัก เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการหาแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองและประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของประชาชนและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผู้ที่อาศัยในอาคารสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศบริเวณตาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2) เพื่อศึกษาชนิดและองค์ประกอบทางเคมีที่จับอยู่กับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศบริเวณตาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากตาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในช่วงเดือนกันยายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 โดยเก็บตัวอย่างอากาศ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ในแต่ละเดือน

2) วิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน โดยคำนวณจากน้ำหนักฝุ่นละออง หารด้วยปริมาตรอากาศทั้งหมดเทียบที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ

3) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังนี้

3.1) วิเคราะห์รูปร่างของฝุ่นละออง โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.2) วิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบ โดยใช้เครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)

3.3) วิเคราะห์หาชนิดและปริมาณไอออนที่ละลายน้ำได้ ได้แก่ Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , NO_3^- , และ SO_4^{2-} ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี

3.4) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของคาร์บอนในรูปสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด และสารคาร์บอนอินทรีย์ ด้วยเครื่อง TOC-Analyzer

3.5) วิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก ได้แก่ Fe, Zn, Cu, Pb และ Cd ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

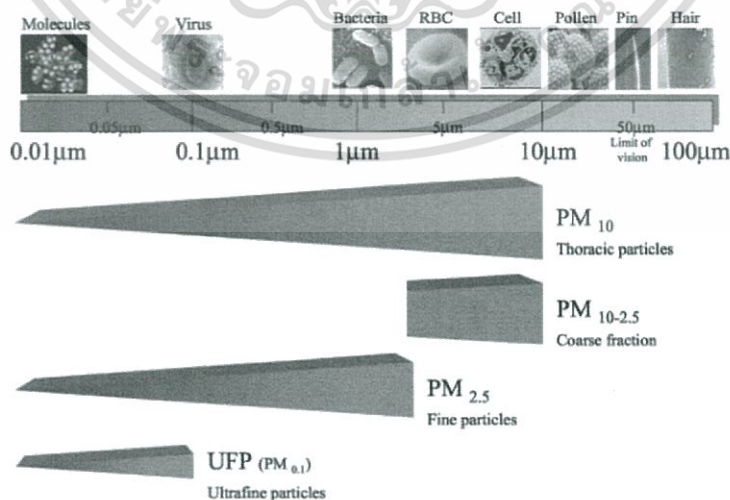
1) เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการป้องกันและจัดการฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศที่มีผลกระทบต่อผู้อาศัยในอาคารสูง

2) ทราบแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองโดยเทียบจากค่าตัวบ่งชี้แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุภาคฝุ่นละออง

อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่อยู่ในอากาศ หรือเรียกว่า ฝุ่น อาจเกิดจากแหล่งกำเนิดที่มีทั้งตามธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองน้ำทะเล ไฟป่า และจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การก่อสร้าง การเผาไหม้เชื้อเพลิงตามอาคารบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศมีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า เรียกว่า ละอองลอย (aerosol) จนถึงฝุ่นขนาดใหญ่ที่มองเห็นด้วยตาเปล่า โดยทั่วไปมักจะนิยมแบ่งอนุภาคออกเป็น 3 ช่วงขนาด ได้แก่ ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate, TSP) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 ไมครอน ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (Particulate Matter, PM₁₀) มีขนาดเล็กกว่าเส้นผม ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Particulate Matter, PM_{2.5}) มีขนาดเท่าเชื้อโรคไปจนถึงระดับโมเลกุล ฝุ่นขนาดเล็กจะตกสะสมได้ช้ากว่าขนาดใหญ่ ยิ่งขนาดเล็กมากๆ จะคงอยู่ในอากาศได้นาน และเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจไปถึงชั้นถุงลมปอดได้ รูปที่ 2.1 แสดงฝุ่นขนาดต่างๆ เปรียบเทียบกับสิ่งอ้างอิงที่มีขนาดใกล้เคียงกัน จะเห็นได้ว่าฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ขนาดประมาณละอองเกสรดอกไม้ไม่สามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมได้ มีผลทำให้เกิดการระคายเคือง แสบจุก ไอ จาม มีเสมหะ เยื่อหุ้มปอดถูกทำลายเนื่องจากการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมลง เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ โรคในระบบหลอดเลือดหัวใจ มีรายงานจากการศึกษาพบว่า อาการเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ และโรคในระบบหลอดเลือดหัวใจมีความสัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของปริมาณฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (วนิดา, 2551)



รูปที่ 2.1 ฝุ่นละอองขนาดต่างๆ เปรียบเทียบกับสิ่งอ้างอิง (พงศเทพ, 2554)

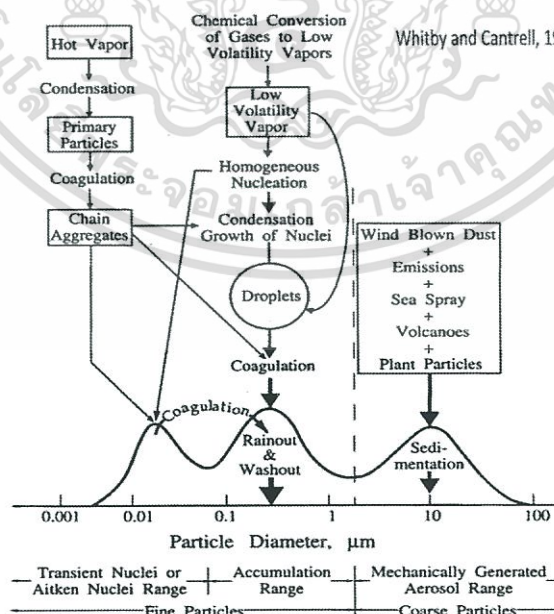
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ลักษณะของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในอากาศ มีลักษณะพื้นฐานของอนุภาคแตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะขึ้นกับแหล่งกำเนิดของอนุภาคนั้นๆ ของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น ฝ้ายลอย (fly ash) เกสรดอกไม้ จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์ต่างๆ มักเป็นทรงกระบอก สีนแร่โดยปกติอาจมีรูปร่างไม่เป็นระเบียบ เป็นปุยสะเก็ด (flakelike) หรือก้อนรวม (agglomerates) อนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกัน ในขณะที่ลอยอยู่ในอากาศหรือเกิดจากการเย็นตัวของก๊าซร้อน รูปร่างจะเหมือนลูกโซ่ (chainlike) และเป็นฟล็อก (flocs) กลุ่มอนุภาครวมตัวหลวมๆ เช่น ฝุ่นละอองจากท่อไอเสียรถยนต์ เกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งผลิตอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก (Jinsart *et al.*, 2005)

2.1.2 การแพร่กระจายของฝุ่นละออง

สมบัติของฝุ่นละอองขึ้นกับขนาด มักอยู่ในรูปร่างที่ซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ โดยทั่วไปมักเทียบให้มีรูปร่างทรงกลม และเคลื่อนที่แบบแอโรไดนามิกส์ (Aerodynamic) ขนาดของอนุภาคกำหนดตามความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม มีหน่วยเป็นไมโครเมตร หรือ ไมครอน Whitby and Sverdrup (1980) ได้เสนอแบบจำลองการกระจายตัวของอนุภาคในอากาศแบ่งเป็น 3 กลุ่ม (Trimodal size distribution) ซึ่งยังมีการอ้างอิงและใช้อยู่ในปัจจุบัน วิธีที่ง่ายที่สุดในการแจกแจงฝุ่นละอองคือ การแบ่งขนาดอนุภาคออกเป็นขนาดฝุ่นละอองในอากาศ ได้แก่ 1) Mechanically generated aerosol range มีขนาด 2-100 ไมครอน 2) Accumulation range มีขนาด 0.09-2 ไมครอน 3) Transient Nuclei มีขนาด 0.002-0.09 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การแพร่กระจายของอนุภาคในแต่ละช่วงขนาด ตั้งแต่ 100 – 0.002 ไมครอน (วนิดา, 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM₁₀)

PM₁₀ เป็นสารมลพิษทางอากาศที่มีความสำคัญ มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น (dust) ควัน (smoke) ฟุ้ง (fume) เขม่า (soot) ประกอบด้วยมลสารหลายชนิดผสมผสานกันและมียังประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนเมตร เกิดจากแหล่งกำเนิดหลายชนิด ฝุ่นที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากละอองไอของทะเล (sea spray) ส่วนฝุ่นที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยเฉพาะจากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซล การเผาไหม้แบบเปิด เช่น การเผาขยะ การเผาของเสียจากเกษตรกรรม (หญ้า ฟาง) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Indoor particles) จากกระบวนการอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง เช่น โรงโม่หิน โรงงานซีเมนต์ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน มักจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการเผาไหม้ และรวมกับขี้เถ้าปลิว (Fly ash) จากโรงไฟฟ้า ควันดำจากรถยนต์หรือเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซล และเขม่าจากเตาเผา และการเผาไม้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จากแหล่งกำเนิดเหล่านี้จะมีปริมาณคาร์บอนสูงที่เป็นทั้งธาตุคาร์บอน คาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอนินทรีย์ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เมื่อมนุษย์ได้รับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจ (Respirable particulates) และสามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงขนาด คืออนุภาคส่วนหยาบ (Coarse fraction particulates) และอนุภาคส่วนละเอียด (Fine fraction particles) ซึ่งโดยทั่วไปอนุภาคแต่ละส่วนจะมีแหล่งกำเนิด องค์ประกอบทางเคมี และพฤติกรรมในอากาศที่แตกต่างกัน

อนุภาคส่วนหยาบ (Coarse fraction particulates) คือ อนุภาคที่มีขนาดระหว่าง 2.5 – 10 ไมครอน ส่วนใหญ่เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น อนุภาคที่มาจากฝุ่นดิน (Windblown soil dust) เป็นฝุ่นละอองปฐมภูมิซึ่งถูกปล่อยออกสู่อากาศโดยตรง และไม่ถูกเปลี่ยนรูปโดยปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นอนุภาคส่วนหยาบนี้สามารถหาแหล่งกำเนิดจากองค์ประกอบทางเคมีได้ง่าย เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออยู่ในบรรยากาศ อนุภาคส่วนหยาบบางส่วนเกิดจากกระบวนการเชิงกล (Mechanical process) เช่น การบด การโม่ หรือการทำให้เป็นผงจากการก่อสร้าง การรื้อถอนทำลาย การระเบิดหิน และอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ฝุ่นจากถนนที่ไม่ได้ปูพื้นยาง และการสึกกร่อนของดินโดยการพัดพาของลม อนุภาคนี้โดยทั่วไปมาจากเปลือกโลก สิ่งเหล่านี้สะท้อนให้เห็นว่าอนุภาคส่วนหยาบมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากธรรมชาติ องค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคส่วนหยาบส่วนใหญ่จะเป็นผลึกออกไซด์ (Crystalline oxide) ของโลหะ เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม ซิลิกอน แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ส่วนสารประกอบอินทรีย์มักประกอบด้วย ซี้ผึ้ง แวกซ์ และกรดไขมัน ส่วนธาตุที่พบส่วนใหญ่จะเป็นซิลิกอน อะลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียม

2.2.1 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ (นิพนธ์และคณิตา, 2552)

2.2.1.1) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural particles)

เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศโดยกระบวนการทางธรรมชาติ ไม่มีการกระทำของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องแบ่งออกได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ภูเขาไฟระเบิด จะมีเถ้าและควันจำนวนมากถูกปล่อยสู่บรรยากาศ และคงอยู่ในอากาศได้นานนับปีกว่าจะตกกลับมาสู่พื้นโลก

2. ไฟป่า เป็นการเพิ่มปริมาณสารพิษให้กับอากาศ และทำให้ทัศนวิสัยลดลง

3. อนุภาคจากดิน ถูกพัดพาโดยลมหรือพายุจากผิวดินขึ้นไปในบรรยากาศ เรียกว่า การกระดอน (saltation) อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะสามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ แต่อนุภาคเหล่านี้จะตกกลับลงมาสู่ผิวดินเมื่อมีน้ำหนักมากขึ้นเนื่องจากอนุภาคดูดความชื้นเข้าไปหรือเกิดการรวมตัวกับอนุภาคอื่นๆ ที่แขวนลอยอยู่ในบรรยากาศ

4. ละอองเกสรจากพืช เกิดจากวัชพืช ต้นไม้ และหญ้า เป็นอนุภาคขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบาสามารถลอยอยู่และฟุ้งกระจายไปได้ไกลในอากาศ อาจทำให้เกิดโรคภูมิแพ้ได้

5. จุลินทรีย์ เช่น ไวรัส เชื้อรา และสปอร์ พบได้ในอากาศ สิ่งมีชีวิตนี้จะล่องลอยอยู่ด้วยตัวเองหรือติดอยู่กับอนุภาคอื่นๆ

6. การเน่าเปื่อยผุพังของสารอินทรีย์ อินทรีย์วัตถุต่างๆ ที่ทับถมกันอยู่จะสลายโดยจุลินทรีย์ในดิน การย่อยสลายทำให้เกิดอนุภาคขนาดเล็ก และก๊าซต่างๆ เช่น แอมโมเนียไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งมีกลิ่นเหม็น

2.2.1.2) ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Man-made particles)

เป็นแหล่งกำเนิดที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ในบริเวณที่ใกล้ถนนที่มีการจราจรติดขัด จะมีปัญหาฝุ่นละอองที่รุนแรงกว่าในบริเวณที่มีการจราจรคล่องตัว สารมลพิษที่ระบายนเข้าสู่บรรยากาศที่เกิดจากการคมนาคมขนส่ง ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน สารตะกั่ว เป็นต้น

แหล่งกำเนิดสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

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

2. แหล่งกำเนิดที่อยู่กับที่ (Stationary sources) 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 พรอทและธาตุอื่นๆ 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 นอกจากนี้โลหะที่พบในฝุ่นละอองยังสามารถบอกแหล่งกำเนิดได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการสันนิษฐานที่มาของฝุ่น

แหล่งที่มา (Sources)	ตัวบ่งชี้ (Marker Elements)
ดิน ถนน อุตสาหกรรมซีเมนต์ โรงโม่ ถ้ำลอย	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
การเผา น้ำมันเตา โรงกลั่นน้ำมัน	Cr, La, Ni, Sm, S, V
อุตสาหกรรมเหล็ก	Mn, Fe, Zn
อุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุเหลือใช้เป็นเชื้อเพลิง	K, EC
อุตสาหกรรมที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง	OC
อุตสาหกรรมเซรามิก	Si, Al, Fe, K, F
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

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

1) ธาตุคาร์บอน (Elemental carbons, EC)

เป็นสารประกอบที่ใช้ติดตามตรวจสอบ (tracer) ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาไหม้ต่างๆ มักจะเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ และมีสมบัติที่ไม่สามารถระเหยได้

2) คาร์บอนอินทรีย์ (Organic carbons, OC)

สารอินทรีย์ที่พบในฝุ่นละอองเป็นการรวมตัวของสารประกอบต่างๆ ประกอบด้วยสารประกอบของคาร์บอนมากกว่า 20 อะตอม แหล่งกำเนิดของคาร์บอนเกิดขึ้นโดยธรรมชาติ จากพืชและสัตว์แล้วยังรวมถึงสารที่สังเคราะห์ขึ้นด้วย เช่น สีย้อม ยาฆ่าแมลง วัตถุระเบิด เป็นต้น สำหรับคาร์บอนอินทรีย์ที่มาจากสิ่งมีชีวิต ได้แก่ พวกเชื้อรา และแบคทีเรีย เป็นต้น นอกจากนี้ยังเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ฝุ่นจากถนน และสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ต่างๆโดยตรง และจากปฏิกิริยาทางเคมีของสารต่างๆในบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) คาร์บอนอนินทรีย์ (Inorganic carbons, IC)

เช่น ฝุ่นซิลิกา จากทราย หิน และใยหิน ซึ่งมีอนุภาคแข็งคมจะเป็นอันตรายแก่เนื้อในหลอดลมและปอด

4) ผงเขม่าคาร์บอนดำ (Black carbon, BC)

คือ อนุภาคหรือผงเขม่าที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ ได้แก่ การเผาเศษวัสดุชีวมวลจำพวกเศษวัชพืชและต้นไม้ การเผาเชื้อเพลิงแข็ง (ถ่าน ไม้ ฟืน) เพื่อการประกอบอาหารหรือกิจกรรมอื่นๆ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โดยเฉพาะไอเสียการจากเผาไหม้ของน้ำมันดีเซล คาร์บอนที่อยู่ในรูปของอนุภาคคอลลอยด์ที่เกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ หรือจากการแยกส่วนประกอบด้วยความร้อนของไฮโดรคาร์บอนที่เป็นก๊าซ หรือของเหลวภายใต้สภาวะควบคุม ลักษณะทางกายภาพจะมีสีดำ เป็นผงละเอียด

5) ไนเตรต (Nitrate)

ที่พบมากที่สุดเนื่องจากผันกลับได้หรือปรับสมดุลเองได้ ระหว่างก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ก๊าซกรดไนตริก (HNO_3) และอนุภาคของแอมโมเนียมไนเตรต ดังสมการที่ (2.1) และขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ



6) แอมโมเนียม (Ammonium)

ที่พบมากในอากาศในรูปของแอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และแอมโมเนียมไนเตรต โดยแอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟตเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดซัลฟิวริกและแอมโมเนียมที่ไม่สามารถผันกลับได้ แอมโมเนียมในอากาศเป็นก๊าซปฐมภูมิพื้นฐาน แหล่งกำเนิดสำคัญของแอมโมเนีย เช่น ของเสียจากสัตว์ การปลดปล่อยจากดิน การแพร่ของ ก๊าซแอมโมเนียของปุ๋ยดิน

7) ฟลูออไรด์ (Fluoride)

สามารถพบฟลูออไรด์ได้ทั้งหมด 2 ชนิด คือ ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) และซิลิกอนฟลูออไรด์ (SiF_4) ซึ่งมีผลกระทบต่อพืชและเป็นพิษต่อสัตว์ที่กินพืชเหล่านี้เป็นอาหาร แหล่งกำเนิดสารประกอบฟลูออไรด์ที่พบมีทั้งโรงงานอลูมิเนียม โรงงานเซรามิก การผลิตปุ๋ย กระบวนการจัดการผิวโลหะ และยางสังเคราะห์ฟลูออไรด์

8) ซัลเฟต (Sulfate)

ในบรรยากาศ ซัลเฟตจะอยู่ในรูปที่เป็นอนุภาคปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยทั่วไปสารประกอบซัลเฟตพบมากที่สุดในฝุ่นละออง คือ แอมโมเนียมซัลเฟต แอมโมเนียมไบซัลเฟต และกรดซัลฟิวริก สารประกอบนี้สามารถละลายน้ำได้ และส่วนใหญ่ถูกผลิตโดยปฏิกิริยาออกซิเดชันของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ไปเป็นซัลเฟตในฝุ่นละออง ออกไซด์ของซัลเฟอร์เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเป็นองค์ประกอบ เช่น ถ่านหิน และน้ำมัน โดยออกไซด์ของซัลเฟอร์ที่ปล่อยออกมาเกือบทั้งหมดเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และบางส่วนเป็นซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) และเมื่อถูกแสงอาทิตย์ SO_3 จะถูกดูดกลืนโดยฝนหรือเมฆกลายเป็นกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ดังสมการที่ 2.2–2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แหล่งกำเนิดออกไซด์ของซัลเฟอร์เกิดจากการใช้หม้อน้ำที่ใช้ถ่านหินหรือน้ำมันเชื้อเพลิง เตาให้ความร้อน เตาเผาถ่านหิน เตาเผาขยะ เครื่องยนต์ดีเซล และการเดินทางในอากาศโดยใช้อากาศยานเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับการขยายตัวของอุตสาหกรรม ทำให้มีการปลดปล่อยละอองซัลเฟตในบรรยากาศระดับสูง ที่มีผลต่อเมฆระดับสูงด้วย

9) โบรไมด์ (Bromide)

แหล่งกำเนิดเกิดจากรถยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีน เนื่องจากใช้โบรไมด์ในการเติมเพื่อทำให้แก๊สโซลีนมีเลขออกเทนสูงขึ้น

10) ตะกั่ว (Pb)

เป็นโลหะอ่อนสีเทาเงิน หรือแกมมน้ำเงินอยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ และอนินทรีย์ที่อยู่ในอากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากยานพาหนะที่ใช้น้ำมันเบนซิน เนื่องจากในน้ำมันเบนซินจะมีสารเตตระเอทิลเลด (Tetraethyllead, TELPb (C₂H₅)₄) ผสมอยู่เพื่อเพิ่มค่าออกเทน ให้แก่ม้ำมันเบนซินสำหรับป้องกันการน็อคของเครื่องยนต์ ตะกั่วถูกระบายออกมาทางท่อไอเสียในรูปของอนุภาคของแข็งและไอตะกั่ว ตะกั่วเป็นโลหะที่มีความเป็นพิษสูง และจะรุนแรงมากในเด็กก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ เช่น ทำลายไขกระดูกและเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง นอกจากนี้ ยังทำอันตรายต่อระบบประสาทส่วนกลาง ตับ หัวใจ และระบบสืบพันธุ์

11) อะลูมิเนียม (Al)

เป็นโลหะที่มีมากที่สุดในโลก พบทั่วไปในดิน น้ำดื่ม อาหาร ภาชนะบรรจุต่างๆ ยา สารระงับกลิ่นตัว ตลอดจนฝุ่นละอองในอากาศ ซึ่งมีอาการเป็นพิษที่เกิดจากอะลูมิเนียม ได้แก่ เกิดก๊าซมากในลำไส้ ลำไส้ใหญ่อักเสบ เสียดท้อง โลหิตจาง ปวดศีรษะ ความจำเสื่อม แก่เกินวัย ร่างกายดูตึงแข็ง แคลเซียมได้น้อยลง กระดูกบาง กล้ามเนื้อไม่มีแรง

12) สังกะสี (Zn)

สังกะสีที่พบในอากาศส่วนใหญ่อยู่ในรูปของ ZnO, ZnS และ ZnSO₄ จากอุตสาหกรรมทำเหมืองแร่ เช่น การบัด ย่อยแร่ ส่วนประกอบรื้อบ้านหลังคา หรือวัสดุอื่นที่ใช้สังกะสีเป็นโลหะผสม นอกจากนี้ยังเกิดจากสารประกอบของสังกะสีที่นำมาทำยาฆ่าเชื้อรา เช่น Zinc dimethyl dithiocarbamate อันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ คือ ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย วิงเวียนศีรษะ และอาการท้องร่วง ถ้าได้รับไอฝุ่นของ Zn เข้าร่างกายมาก ๆ จะเกิดอาการไข้ที่เรียกว่า Zinc chills ซึ่งมีอาการจับไข้ หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน

2.2.3 ผลกระทบของฝุ่นละอองต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

อนุภาคฝุ่นมีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ในลักษณะเรื้อรัง โดยสามารถสะสมในร่างกายได้ เมื่อมีปริมาณมากจึงจะปรากฏอาการ ผลกระทบที่เกิดขึ้นมี 3 รูปแบบ ดังนี้ (ศิวพันธุ์, 2556)

1. อนุภาคฝุ่นเป็นพิษเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมี หรือลักษณะทางกายภาพ เช่น มีขนาดเล็ก มีลักษณะแหลม คม มีการปนเปื้อนของสารเคมี มีฤทธิ์เป็นกรด-ด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อนุภาคฝุ่นเข้าไปรบกวนระบบทางเดินหายใจโดยตรง ทำให้หายใจลำบากมากขึ้น

3. อนุภาคฝุ่นเป็นตัวพาหรือดูดซับสารมลพิษและพาเข้าสู่ร่างกาย เช่น แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และเชื้อโรคประเภทต่างๆ ทำให้ร่างกายเกิดโรคจากสารเหล่านั้น

หลักฐานการวิจัยในต่างประเทศหลายฉบับระบุว่า ฝุ่นขนาดเล็กมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการป่วย การเข้ารับรักษาในสถานพยาบาล และอัตราการเสียชีวิตของประชาชน ทั้งนี้ประชากรกลุ่มที่มีความเสี่ยงสูงจะเป็นกลุ่มที่มีโรคประจำตัวบางอย่างอยู่แล้ว เช่น หืดหอบ โรคหลอดเลือดเรื้อรัง เหตุการณ์เหล่านี้ เกิดขึ้นแม้ว่าระดับของฝุ่นในอากาศจะต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ปัญหาของฝุ่นต่อสุขภาพยังสามารถแยกออกเป็นผลกระทบอย่างเฉียบพลัน (acute) หรือเรื้อรัง (chronic) อย่างไม่กี่ตาม ยังไม่มีหลักฐานที่บ่งชี้ชัดเจนว่าจริงๆ แล้วอะไรเป็นสาเหตุที่แท้จริง ไม่ว่าจะเป็นตัวของฝุ่นเองหรือสารบางประเภทในฝุ่น เช่น โลหะหนัก สารก่อมะเร็งบางชนิด (carcinogen เช่น polycyclic aromatic hydrocarbons ที่มีอยู่ในเขม่า หรือ soot) อันตรายของโลหะหนักในฝุ่นต่อร่างกายมีดังนี้

1) อันตรายของสารตะกั่ว

1. สารตะกั่วจะขัดขวางการสังเคราะห์ฮีม (heam) และโกลบิน (globin) โดยการขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์ฮีโมโกลบินของร่างกาย ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ทำให้เม็ดเลือดแดงมีวงจรชีวิตที่สั้นลง

2. สารตะกั่วอินทรีย์ทั้งแบบเรื้อรังและถึงเฉียบพลัน ทำให้สมองเสื่อม มีอาการมึนงง นอนไม่หลับ ตื่นตระหนก กล้ามเนื้อสั่น และความจำเสื่อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเด็ก พบว่าเด็กที่มีปริมาณตะกั่วในเลือด 40-80 ไมโครกรัมต่อเลือด 100 มิลลิลิตร จะเรียนรู้ช้าและคิดช้า

3. ตะกั่วอินทรีย์ที่มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง มีผลต่อจิตใจ ทำให้เกิดโรคสมองอักเสบ มีอาการเห็นภาพหลอน กระตุก เพ้อ นอนไม่หลับ ปวดศีรษะ อารมณ์รุนแรง และไม่แน่นอน

4. สารตะกั่วมีผลทำลาย และทำลายพรอกซิมอลทิบูลในไต ซึ่งทำหน้าที่กรองของเสียแล้วดูดซึมสารบางอย่างกลับมาใช้ ทำให้สารพวกกลูโคส กรดอะมิโน และฟอสเฟต ไม่สามารถดูดกลับเข้าสู่ร่างกายตามปกติได้ ก่อนจะระบายออกนอกร่างกายในรูปของปัสสาวะ หากร่างกายรับสารตะกั่วอย่างเรื้อรัง จะมีอาการไตหดย่างช้าๆ เซลล์ไตแข็งตัว และเซลล์ต่างๆ ผิดปกติ จัดเป็นโรคไตเรื้อรัง และอาจมีอาการไตวายได้ ตะกั่วสามารถทำให้ส่วนของทิบูลและโกลเมอรูลัสเกิดพังผืด อาการนี้มักเกิดกับคนที่ดื่มเหล้าจัด การเกิดพังผืดนี้จะทำให้ไตวายและตายได้

2) อันตรายของสารแคดเมียม

ความเป็นพิษแบบเรื้อรังมักจะปรากฏที่ไต และปอดเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้อาจพบที่กระดูก เม็ดโลหิต

1. ความเป็นพิษต่อปอด เกิดจากการหายใจเอาฝุ่น หรือฟุ้งของแคดเมียมเข้าไป จะทำให้เกิดอาการบวมหรือฟองของเนื้อเยื่อปอด และเกิดอาการหายใจขัด

2. ความเป็นพิษต่อไต ทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า “โรคอิไต-อิไต” จะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนปอด คือจะเกิดผลที่ไต รวมถึงการที่ไตขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ

3. ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจ คือเกิดความดันโลหิตสูง

4. ความเป็นพิษที่กระดูก เช่น ที่ปรากฏที่เด่นชัดคือกรณีเกิดโรคอิไต-อิไต โรคที่ปรากฏคือโรคกระดูกผุ ปวดกล้ามเนื้อขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) อันตรายของสารทองแดง

หากร่างกายได้รับสารประกอบทองแดงหรือไอทองแดงโดยการหายใจ จะทำให้เกิดการระคายเคือง และอักเสบในระบบทางเดินหายใจ และถ้าร่างกายได้รับเข้าไปในปริมาณมาก จะทำให้เกิดอาการคลื่นเหียน อาเจียน เป็นไข้ และบางครั้งทำให้ผมและผิวหนังเปลี่ยนสีได้ การหายใจเอาฝุ่นของสารประกอบทองแดงปริมาณมากพอเข้าสู่ร่างกาย สามารถทำให้เกิดอาการเลือดคั่งในเนื้อเยื่อจมูก และช่องติดต่อระหว่างจมูกและปาก เมื่อสารประกอบทองแดงเข้าตาจะทำให้เกิดอาการระคายเคือง ตาอักเสบ และตาขุ่นมัวได้

4) อันตรายจากสังกะสี

การสูดหายใจเอาฝุ่นละอองของสังกะสี จะมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ จะทำให้ระบบทางเดินหายใจอุดตัน ปอดอักเสบ และถ้าหายใจเอาสังกะสีออกไซด์มากๆ จะทำให้มีอาการอ่อนเพลีย หนาวสั่น ปวดตามแขนขา และปวดศีรษะอย่างรุนแรงได้

2.2.4 มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

1) ค่าระบายออก

เป็นการวัดค่าปริมาณฝุ่นละอองหรือก๊าซที่ปล่อยออกทางปล่องเพื่อให้เจือจางลงมาจนกว่าจะตกถึงพื้น ซึ่งจะเป็นค่าจำกัดสูงสุดของปริมาณสารที่จะปล่อยออกทางปล่องได้ โดยต้องมีส่วนสัมพันธ์กับความเร็วลม ความสูงของปล่อง สิ่งแวดล้อมรอบข้าง ค่าปริมาณสารที่มีอยู่ดั้งเดิมโดยรอบโรงงาน และค่า TLV

2) ค่าปริมาณฝุ่นละออง

ประเทศสหรัฐอเมริกา US. EPA (United State Environmental Protection Agency) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่นรวม (Total suspended particulate) และฝุ่น PM_{10} แต่เนื่องจากมีการศึกษาวิจัยฝุ่นขนาดเล็กนั้นเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง และมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นรวม ดังนั้น US. EPA จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นรวม และกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็กแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในปี ค.ศ. 2006 องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้จัดทำ Air Quality Guidelines (AQGs) โดยเก็บข้อมูลมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 และทำการทบทวนในปี ค.ศ. 1997 และล่าสุดได้จัดประชุมผู้เชี่ยวชาญ เมื่อวันที่ 18-20 ตุลาคม ค.ศ. 2005 ที่เมืองบอนน์ (Bonn) ประเทศเยอรมนี เพื่อทำการทบทวน WHO AQG โดยใช้หลักฐานทางวิชาการล่าสุด และได้ทำการเผยแพร่ WHO Quality Guideline ค.ศ. 2006 สำหรับประเทศไทยได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นรวมและฝุ่นขนาดเล็กแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ TSP และ PM_{10} ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ ที่ยังไม่มีกำหนดค่ามาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ฝุ่นละออง	ประเทศไทย ¹		WHO ²	
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ย 1 ปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ค่าเฉลี่ย 1 ปี ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
TSP	330	100	-	-
PM ₁₀	120	50	50	20
PM _{2.5}	-	-	25	10

หมายเหตุ - ไม่ได้กำหนดมาตรฐาน

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

²WHO Air Quality Guideline Global Update 2005 (2006)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริวรรณ (2543) ศึกษาปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยในกรุงเทพมหานครบางพื้นที่ที่มีค่าเกินมาตรฐานและบริเวณริมถนนมีปริมาณฝุ่นละอองเฉลี่ยมากกว่าบริเวณพื้นที่ทั่วไป ฝุ่นละอองส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ค่าเฉลี่ยในช่วงฤดูฝนเท่ากับ 65.60 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ฤดูหนาวเท่ากับ 97.65 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สัดส่วนการกระจายตัวของฝุ่น PM₁₀ ในฝุ่นรวม TSP มากกว่าร้อยละ 50 คาร์บอนอินทรีย์ในฝุ่น PM₁₀ เฉลี่ยในช่วงฤดูฝนมีค่า 31.21 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่ามากกว่าในช่วงฤดูหนาวที่มีค่า 26.49 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ลักษณะทางสัณฐานและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น PM₁₀ ใช้หาชนิดของแหล่งกำเนิดได้พบว่าฝุ่นจากเครื่องยนต์ดีเซล มีลักษณะเป็นปุย จับตัวกันแบบหลวมๆ มีรูพรุนมากไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต มีขนาด 7-10 ไมครอน มีธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และซิลเฟอร์เป็นองค์ประกอบหลักฝุ่นที่มาจากเครื่องยนต์เบนซินมีลักษณะเป็นก้อนที่เกิดจากการรวมตัว เนื้อฟู มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต มีขนาด 4-5 ไมครอน มีธาตุคาร์บอน ออกซิเจน และซิลเฟอร์เป็นองค์ประกอบหลัก ฝุ่นที่มาจากการก่อสร้างมีสัณฐานเป็นก้อนคล้ายรูปสี่เหลี่ยม เนื้ออนุภาคมีความหนาแน่น ขนาด 8-10 ไมครอน มีธาตุแคลเซียมเป็นธาตุหลักฝุ่นจากโรงไฟฟ้ามีลักษณะเป็นแผ่นบาง เรียบ ซ้อนทับกันเนื้ออนุภาคเบาบาง ขนาดประมาณ 10 ไมครอน ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนออกซิเจน และซิลเฟอร์ ส่วนฝุ่นดินจะมีลักษณะเป็นก้อน ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิตเนื้ออนุภาคมีความหนาแน่น มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมครอน มีธาตุซิลิกา แคลเซียม และอลูมิเนียมเป็นธาตุหลัก ในเขตกรุงเทพมหานคร พบว่าส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองที่มาจากเครื่องยนต์ดีเซลและเครื่องยนต์เบนซินมากที่สุด รองลงมาคือฝุ่นจากการก่อสร้าง

วริศศรุต และคณะ (2554) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร โดยได้รับตัวอย่างฝุ่นละอองจากกรมควบคุมมลพิษ จากสถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาและสถานีกรมประชาสัมพันธ์ ซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดบรรยากาศโดยทั่วไป และสถานีเคหะชุมชนดินแดงซึ่งเป็นสถานีตรวจวัดบรรยากาศริมถนน โดยศึกษาชนิดและปริมาณของไอออนละลายน้ำที่จับอยู่กับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ด้วย

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้

แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องไอออนโครมาโทกราฟีและศึกษาปริมาณคาร์บอนในรูปสารอินทรีย์ทั้งหมดและสารคาร์บอนอินทรีย์ด้วยเครื่อง TOC-SSM Analyzer จากผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยรายปีของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศริมถนน ที่สถานีเคหะชุมชนดินแดงมีปริมาณเท่ากับ 64.73 ± 20.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศเฉลี่ยรายปี ส่วนสถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา และสถานีกรมประชาสัมพันธ์มีปริมาณเท่ากับ 41.82 ± 19.30 และ 37.76 ± 17.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยพบว่าปริมาณอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศในช่วงฤดูหนาวสูงกว่าฤดูร้อนและฤดูฝน ไอออนละลายน้ำที่พบ คือ Li^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , Br^- , NO_3^- , PO_4^{3-} และ SO_4^{2-} พบว่าอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีสภาพเป็นกรด จากการวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนทั้งหมดพบว่าในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนมีปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดสูงกว่าสารคาร์บอนอินทรีย์ โดยความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

กิตติชัย และคณะ (2548) ศึกษาการแพร่กระจายของฝุ่นละอองรวม และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร ในฤดูฝนพื้นที่ริมถนนมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 140.6 ถึง 2,140 และ 95.2 ถึง 1,120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในฤดูแล้งพื้นที่ริมถนนมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 72 ถึง 108.2 และ 45 ถึง 81.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในฤดูแล้งพื้นที่ริมถนนมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 120 ถึง 380 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพื้นที่ทั่วไปมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 102 ถึง 138 และ 68 ถึง 94 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ผลการตรวจวัดฝุ่นละออง พบว่าพื้นที่ริมถนนมีความเข้มข้นของฝุ่นละอองมากกว่าพื้นที่ทั่วไป และฤดูฝนมีค่าน้อยกว่าฤดูแล้ง เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองรวม และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตร คือพื้นที่ อุดุณิยมวิทยา การจราจร

ปัทมา และคณะ (2542) งานวิจัยนี้ศึกษาชนิดและปริมาณสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และอินทรีย์คาร์บอนที่ดูดซับบนฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยใช้เครื่อง GC-MS/SIM และ TOC Analyzer เก็บตัวอย่างฝุ่นบนกระดาษกรองควอตซ์ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างแบบปริมาตรมาก ที่อัตราไหลประมาณ 67.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2553 ถึง เดือน มีนาคม พ.ศ. 2554 จากผลการทดลองพบว่า มีความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนระหว่าง $79.58-115.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐาน $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และในฝุ่นละอองพบแนฟทาซีนมีความเข้มข้นระหว่าง $7.86-17.21 \mu\text{g}/\text{g}$ และมีค่า TOC 49.36-54.82% โดยความเข้มข้นแนฟทาซีนและร้อยละ TOC มีความสัมพันธ์กันแบบถดถอย

นภัทร และคณะ (2553) ในการศึกษาฝุ่นละอองในอากาศได้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น 3 วิธี คือ ฝุ่นขนาดน้อยกว่า 10 ไมครอน (TSP) เก็บโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก พร้อมหลังคายอดแหลมแยกขนาดฝุ่น ขนาดน้อยกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) เก็บโดยแยกขนาดแบบการตกกระทบโดยเครื่องแอนเดอร์สัน ในขณะที่ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 5 ไมครอน ที่บุคคลหายใจเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนปลายได้ (PM_5) แยกขนาดโดยใช้ไซโคลอน และเก็บด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดติดตัวบุคคล สถานที่ทำการเก็บตัวอย่างอยู่บริเวณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเก็บ 3 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ระหว่างเดือนสิงหาคมถึงเดือนกันยายน ช่วงที่ 2 ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนธันวาคม และช่วงที่ 3 ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนมีนาคม พบว่าปริมาณ TSP เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ทั้ง 3 ช่วง เป็น 71, 118 และ 144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ซึ่งยังต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่กำหนดได้ ($330 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ส่วนปริมาณ PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ทั้ง 3 ช่วง เป็น 44, 54 และ 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ยังต่ำกว่ามาตรฐาน ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ปริมาณ $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ย 8 ชั่วโมงทั้ง 3 ช่วง เป็น 0.0013, 0.0034 และ 0.0015 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ นอกจากนี้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก 3 ชนิด คือ แคดเมียม, ตะกั่ว และโครเมียม ในฝุ่นพบว่าปริมาณน้อยมาก นอกจากนี้ได้ทำการศึกษารูปร่างของฝุ่นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเฟส-คอนทราสต์ พบว่าส่วนมากมีลักษณะอสังฐาน แต่ไม่พบแบบเส้นใยหรือแบบเข็ม

ชนิดา และคณะ (2559) โครงการพิเศษนี้ศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) โดยเก็บตัวอย่างอากาศบนกระดาดชกรองโยหินด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศปริมาตรสูงระหว่างเดือนมกราคม – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 จากนั้น ชั่งน้ำหนักฝุ่นละอองด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและสารคาร์บอนอินทรีย์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณรวมของคาร์บอนอินทรีย์ วิเคราะห์ผงเขม่าคาร์บอนดำด้วยเครื่องวัดปริมาณผงเขม่าคาร์บอนดำ วิเคราะห์ไอออนที่ละลายน้ำได้ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี วิเคราะห์โครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและเครื่องวิเคราะห์สารด้วยอินฟราเรดตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนมีค่าเท่ากับ 66.85 ± 20.14 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในวันทำงานปกติและวันหยุดราชการมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 17.61 ± 6.28 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบสารคาร์บอนอินทรีย์ปริมาณเล็กน้อย ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของผงเขม่าคาร์บอนดำมีค่าเท่ากับ 2.09 ± 0.52 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบไอออนละลายน้ำได้ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เรียงลำดับจากความเข้มข้นมากไปน้อยดังนี้ $\text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{F}^-$ และโครงสร้างของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนพบหมู่ฟังก์ชันอัลเคน อัลกอฮอล์ เอไมด์ ไนโตร ซัลโฟน เอสเทอร์ ซิลิเกต และไนเตรท โดยพบฝุ่นละอองมีรูปร่างลักษณะเป็นฟลัคโครมตัวกันแบบหลวมๆ และมีรูพรุน เป็นก้อนจับตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ รูปทรงกระบอก ปลายแหลม และรูปทรงกลม

Mohammed *et al.* (2016) เครื่องวัดระบบ Dichotomous รุ่น 241 ใช้เก็บตัวอย่าง PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ จากเที่ยงคืนไปจนถึงเที่ยงคืนในทุกๆ วัน ตั้งแต่เดือนธันวาคม ค.ศ. 2009 ไปจนถึงเดือนธันวาคม ค.ศ. 2010 วิเคราะห์ Ca, K, Mg, Na, Al, Pb, Cr, Ni, Zn, Cu, Cd, และ Fe โดยเทคนิค Atomic absorption Spectrometer (AAS) สำหรับ PM_{10} ความเข้มข้นเชิงมวลตั้งแต่ 18.0 – 83.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย 37.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ต่อปี และความเข้มข้นเชิงมวลของ $\text{PM}_{2.5}$ มีค่าตั้งแต่ 3.0 – 36.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเฉลี่ย $14.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ต่อปี ส่วนใหญ่ธาตุทั้งสองของ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ มีสัดส่วนพบมากในฤดูหนาว พบความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ค่า Enrichment factor (EF) สำหรับ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ คำนวณและแสดงธาตุอื่นๆ ได้จากแหล่งกำเนิดของมนุษย์ เช่น Zn, Pb, Cu, Cr และ Cd มีมากเมื่อเทียบกับธาตุ Al, Fe และ Ca

Laura *et al.* (2016) ตัวอย่าง PM_{10} ที่เก็บในเขตชานเมืองทางตอนเหนือของสเปนซึ่งเป็นสถานีคมนาคมขนส่งรถไฟชานเมือง (TIS) ตั้งอยู่ในเมือง Gijón และสถานีชานเมืองอุตสาหกรรมในเมือง Langreo ซึ่งอยู่ห่างจากที่ทำการอุทยานแห่งชาติประมาณ 25 กิโลเมตร ตัวอย่างของละอองลอยในบรรยากาศที่วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเพื่อหาค่าความเข้มข้นของ As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Se, V และ Zn ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของ As, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb และ Se ที่ถูกบันทึกที่สถานีชานเมืองอุตสาหกรรม มีค่าสูงกว่าสถานีคมนาคมขนส่งรถไฟชานเมือง ระดับ Fe และ Zn ใน PM_{10} สูงกว่าธาตุอื่นๆ ทั้งใน สถานีคมนาคมขนส่งรถไฟชานเมือง และสถานีชานเมืองอุตสาหกรรม โดยสุ่มตัวอย่าง $467, 353 \text{ ng Fe}/\text{m}^3$ และ $46, 282 \text{ ng Zn}/\text{m}^3$ ตามลำดับ การได้รับสารดังกล่าวทั้ง 12 ชนิดที่เป็นพิษใน PM_{10} ได้รับการประเมินทั้งในเด็กและผู้ใหญ่โดยใช้วิธีการของ U.S.EPA โดยพิจารณาจากสามทาง คือการกิน การสัมผัสทางผิวหนัง และการสูดดม โดยทั่วไปสถานีชานเมืองอุตสาหกรรมมีความเสี่ยงสูงกว่าพื้นที่ของสถานีคมนาคมขนส่งรถไฟชานเมือง อย่างไรก็ตามทั้งสองสถานี ค่าความเสี่ยงมะเร็ง และความเสี่ยงที่ไม่เป็นมะเร็งอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ สำหรับผู้ใหญ่พบข้อบกพร่องบางประการ ในกรณีของเด็กมีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากขึ้น ในส่วนนี้ของประชากรจากการกิน การสัมผัสทางผิวหนัง และการสูดดม As, Pb และ Zn ใน PM_{10} อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพเนื่องจากมีผลต่อการก่อมะเร็งหรือไม่ก่อให้เกิดมะเร็ง

Wu *et al.* (2013) ศึกษาความเข้มข้นของ PM_{10} ในบรรยากาศและองค์ประกอบทางเคมี ในพื้นที่อุตสาหกรรมของเซินเจิ้นประเทศจีน 5 แห่ง ในปี 2005 ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} แสดงค่าสูงสุดที่ 264 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พื้นที่ที่ตั้งอยู่ใกล้กับท่าเรือ กิจกรรมบนท่าเรือส่งผลให้ซัลเฟอร์แสดงความเข้มข้นสูงสุด (2,419–3,995 นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) องค์ประกอบที่ศึกษาซึ่งอาจเกี่ยวข้องกับอิทธิพลของถ่านหินที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในพื้นที่สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม การตรวจสอบโดยร้อยละมวลของ SO_4^{2-} ซึ่งคิดเป็น 34.3%–39.7% ของไอออนทั้งหมด $\text{NO}_3^- / \text{SO}_4^{2-}$ 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 PM_{10} โดยองค์ประกอบหลักของ PM_{10} 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 ที่เกิด

จากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมและการจราจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอนแบบปริมาตรสูง (PM₁₀ High-Volume Air Sampler แบบ Mass Flow Controlled) รุ่น DVS AIR & SEA บริษัท Thermo Fisher Scientific ประเทศสหรัฐอเมริกา

2. เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี (Ion Chromatograph) ยี่ห้อ Metrohm ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ คอลัมน์แคตไอออน (METROSEPC2_150 ขนาด 4.0 × 250 มิลลิเมตร) คอลัมน์แอนไอออน (METROSEP ASUPP5_150 ขนาด 4.0 × 250 มิลลิเมตร)

3. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณรวมของคาร์บอนอินทรีย์ (Total Organic Carbon Analyzer) แบบการวิเคราะห์ตัวอย่างของแข็ง (Solid Sample Module, SSM) รุ่น TOC-VCSH บริษัท Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น

4. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก (Atomic Absorption Spectrophotometer) รุ่น AAS-200 บริษัท PerkinElmer ประเทศสหรัฐอเมริกา

5. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุองค์ประกอบ (X-ray Fluorescence Spectrometry) รุ่น SRS 3400 ประเทศเยอรมนี

6. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) รุ่น LEO 1455 VP บริษัท LEO ประเทศเยอรมนี

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. กระดาษกรองใยแก้ว ขนาด 203×254 มิลลิเมตร Grade QR-100 บริษัท Toyo Roshi Kaisha, Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

12. กระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาดรพูน 0.45 ไมครอน บริษัท Whatman ประเทศเยอรมนี

13. ไมโครปิเปต

14. มีดตัดพีชซ่า

15. Paper Punches

16. ที่รองตัดกระดาษกรอง

17. ปากคีบกระดาษกรองพลาสติก

18. ถุงมือไนล่อนไม่มีแป้ง

19. ถุงซีปและซองสีน้ำตาล

20. เครื่องแก้วต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ สำหรับการให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. กรดไดพิโคลนิก (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. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
8. อะซิโตน (CH_3COCH_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
9. สารละลายสตัดด์มาตรฐานโซเดียม (Na^+) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
10. สารละลายสตัดด์มาตรฐานแอมโมเนียม (NH_4^+) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
11. สารละลายสตัดด์มาตรฐานโพแทสเซียม (K^+) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
12. สารละลายสตัดด์มาตรฐานแคลเซียม (Ca^{2+}) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
13. สารละลายสตัดด์มาตรฐานผสม ประกอบด้วย คลอไรด์ (Cl^-) ไนเตรต (NO_3^-) ฟลูออไรด์ (F^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) IC-grade บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
14. สารละลายสตัดด์มาตรฐานเหล็ก เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lobal chemie ประเทศอินเดีย
15. สารละลายสตัดด์มาตรฐานสังกะสี เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty ประเทศออสเตรเลีย
16. สารละลายสตัดด์มาตรฐานคอปเปอร์ เกรดวิเคราะห์ บริษัท Scharlab S.L. ประเทศสเปน
17. สารละลายสตัดด์มาตรฐานตะกั่ว เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty ประเทศออสเตรเลีย
18. สารละลายสตัดด์มาตรฐานแคดเมียม เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty ประเทศออสเตรเลีย
19. กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส
20. เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) เกรดการค้า บริษัท Carlo Erba ประเทศฝรั่งเศส

3.3 สถานที่และระยะเวลาการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

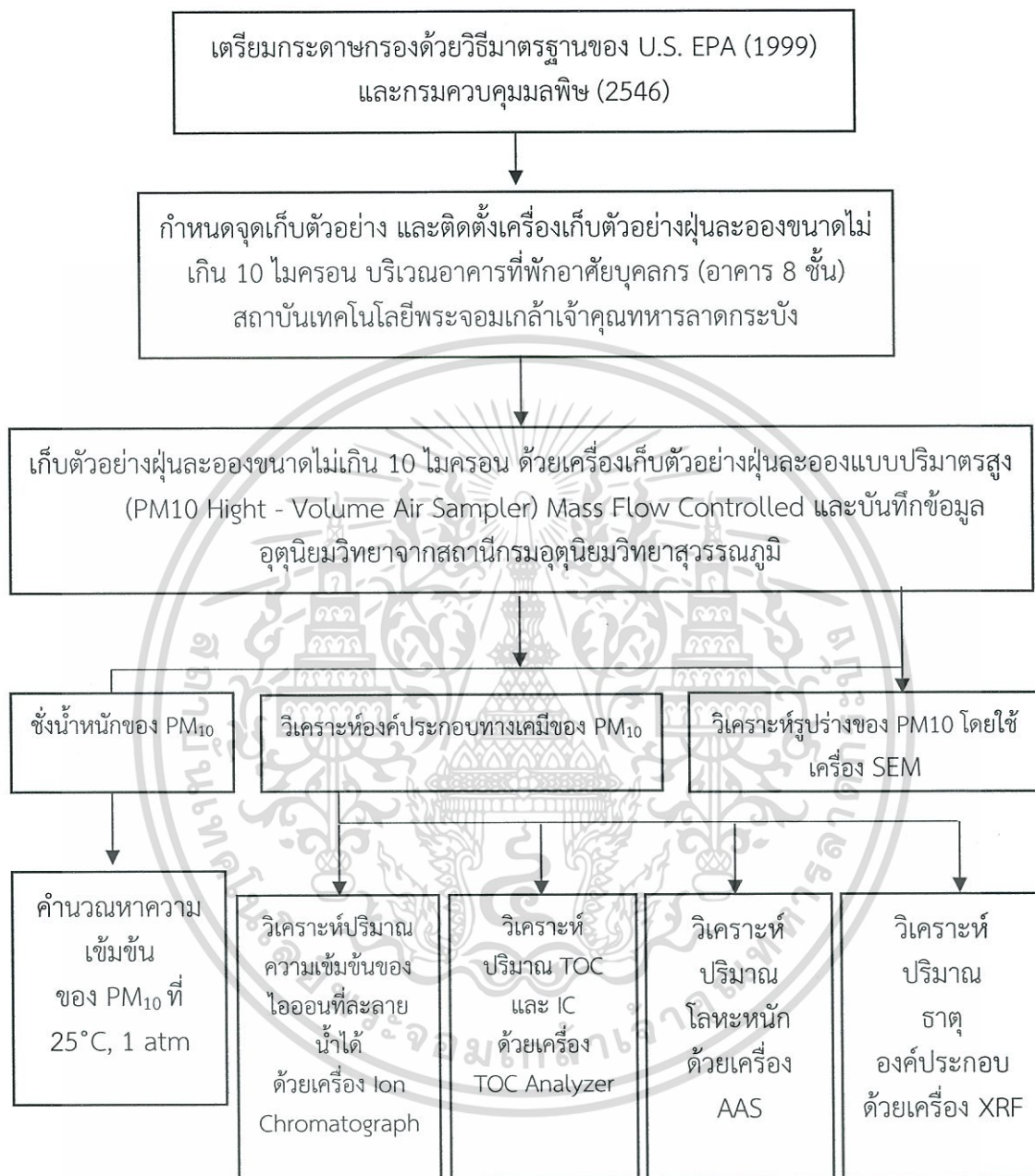
3.3.1 สถานที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ บริเวณดาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จุดเก็บตัวอย่างตั้งอยู่ที่พิกัด 13.725128, 100.771450 (รูปที่ 3.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วิธีการทดลอง

สรุปขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การเตรียมกระดาศกรอง

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ใช้วิธีมาตรฐานของ U.S. EPA (1999) และกรมควบคุมมลพิษ (2546) มีวิธีเตรียมกระดาศกรองดังนี้

1. ตรวจสอบกระดาศกรองใยแก้วขนาด 203×254 มิลลิเมตร โดยส่องกับแสงไฟ เพื่อตรวจดูความไม่สมบูรณ์ของกระดาศกรอง (โดยทำความสะอาดกล่องไฟด้วยเอทานอลก่อนใช้งาน ใช้ถุงมือไวโนลที่ไม่มีแป้ง และปากคีบพลาสติกในการจับกระดาศกรอง)

2. เก็บกระดาศกรองในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ ที่ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า $50\% \pm 5\%$ อุณหภูมิระหว่าง $15-30 \pm 3$ 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. กำหนดจุดเก็บตัวอย่างโดยให้ติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างที่บริเวณดาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. เปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนแบบปริมาตรสูงโดยเปรียบเทียบกับชุดเปรียบเทียบ Orifice (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)

3. จากนั้นใส่กระดาศกรองใยแก้วขนาด 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 พบกระดาศกรองครึ่งหนึ่งตามแนวยาวให้ด้านที่มีฝุ่นละอองเข้าหากัน บันทึกข้อมูลหลังการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ เวลาที่เก็บตัวอย่าง อัตราการไหลจากกราฟวงกลม อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ

6. เก็บกระดาศกรองใส่ในถุงซิปล และนำไปดูดความชื้นในตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ โดยควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้น้อยกว่า $50 \pm 5\%$ (ก่อนใส่ตู้ดูดความชื้นให้คลี่กระดาศกรองออก) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

7. ซั่งกระดาศกรองตัวอย่างด้วยเครื่องซั่งกระดาศกรอง 4 ตำแหน่ง

8. ทำ Trip blank โดยนำกระดาศกรองไปยังภาคสนาม แต่ไม่ต้องเก็บตัวอย่างอากาศ

9. นำไปคำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ ดังสมการใน ภาคผนวก ข-1 และนำไปวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

3.4.3.1 การวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละออง

1. ตัดตัวอย่างกระดาษกรองให้มีขนาด 4×4 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF)

3.4.3.2 การวิเคราะห์รูปร่างของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

1. ตัดตัวอย่างกระดาษกรองให้มีขนาด 1×1 เซนติเมตร
2. นำตัวอย่างไปเคลือบทอง และติดลงบน Stub แล้วนำตัวอย่างไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า

3.4.3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณไอออนละลายน้ำได้ (ชนิดา และคณะ, 2560)

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 ⁻	:	0.0, 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0	ppm
NO ₃ ⁻	:	0.5, 5.0, 10.0, 20.0, 30.0, 40.0	ppm
SO ₄ ²⁻	:	0.5, 5.0, 10.0, 20.0, 30.0, 40.0	ppm

2) การเตรียมตัวอย่างกระดาษกรองที่มีฝุ่นละอองด้วยการสกัดด้วยน้ำ

1. ตัดแผ่นกระดาษกรองเป็นแถบยาวขนาด 0.75×8 นิ้ว จากนั้นตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำ Ultra pure 25 มิลลิลิตร ให้แผ่นกระดาษกรองเปียกทั้งหมด และปิดบีกเกอร์ด้วยกระดาษกรอง
3. นำไปสกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิกที่ความถี่ 44 กิโลเฮิร์ต เป็นเวลา 15 นาที นำบีกเกอร์ออกและทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร
5. ล้างกระดาษกรองและบีกเกอร์ด้วยน้ำ Ultra pure ปริมาณเล็กน้อย จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 25 มิลลิลิตร ด้วยน้ำ Ultra pure เขย่าให้เข้ากัน
6. กรองสารละลายที่ได้ผ่านตัวกรองไนลอนรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร ลงในขวดพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโทกราฟี โดยใช้สภาวะในตารางที่ 3.1
8. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ซ้ำ และทำ Trip blank เช่นเดียวกันกับตัวอย่างฝุ่นละออง
9. คำนวณค่าความเข้มข้นของไอออนดังสมการในภาคผนวก ข-2

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ไอออนโครมาโทกราฟี

ข้อมูลทางเทคนิค	แคทไอออน	แอนไอออน
คอลัมน์ที่ใช้	Metrosep C2-150 (6.1010.220)	Metrosep A Supp (6.1006.520)
วัสดุที่ใช้เป็นตัวพา	ซิลิกาเจลกับหมู่คาร์บอกซิล	พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ กับหมู่ควอเทอนารีแอมโมเนียม
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
สารละลายวัฏภาคเคลื่อนที่	สารละลายกรดทาร์ทาริก กับกรด ไดฟิโคลินิก	สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) กับ โซเดียมไฮโดรเจน คาร์บอเนต (NaHCO_3)

3.4.3.4 การวิเคราะห์หาปริมาณคาร์บอนในรูปสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดและสารคาร์บอนอนินทรีย์ในตัวอย่างฝุ่นละออง (ชนิดา และคณะ, 2560)

1) การทำกราฟมาตรฐาน

กราฟมาตรฐาน Total Carbon (TC) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง-3)

- สารมาตรฐานคือ 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 โดยเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของออกซิเจน 500 มิลลิลิตรต่อนาที

3. สร้างกราฟมาตรฐาน Total Carbon

กราฟมาตรฐาน Inorganic Carbon (IC) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ง-3)

- สารมาตรฐานคือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่มีปริมาณคาร์บอนเท่ากับ 11.3 %

1. ชั่งน้ำหนัก Na_2CO_3 202.40 มิลลิกรัม, 50.12 มิลลิกรัม, 24.8 มิลลิกรัม, 10.43 มิลลิกรัม, 0 มิลลิกรัม ตามลำดับ ใส่ลงใน Ceramic combustion boat

2. นำไปวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง TOC Analyzer โดยเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของออกซิเจน 500 มิลลิลิตรต่อนาที

3. สร้างกราฟมาตรฐาน Inorganic Carbon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การวิเคราะห์หาค่า Total Carbon

1. ตัดตัวอย่างกระดาษกรองที่มีฝุ่นละอองให้มีขนาด 2×20 เซนติเมตร จากนั้นพับด้านที่มีฝุ่นเข้าหากัน แล้วตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ
2. ใส่ตัวอย่างฝุ่นละอองลงใน Ceramic combustion boat โดยต้องชั่งน้ำหนักก่อนใส่ตัวอย่าง และน้ำหนักหลังใส่ตัวอย่าง
3. นำไปวิเคราะห์ค่า Total Carbon โดยใส่ในเครื่อง TOC-SSM โดยเผาที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของออกซิเจน 500 มิลลิลิตรต่อนาที
4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ซ้ำ และทำ Trip blank เช่นกันกับตัวอย่างฝุ่นละออง

3) การวิเคราะห์หาค่า Inorganic Carbon

1. ตัดตัวอย่างกระดาษกรองที่มีฝุ่นละอองให้มีขนาด 2×20 เซนติเมตร จากนั้นพับด้านที่มีฝุ่นเข้าหากัน แล้วตัดให้เป็นชิ้นเล็กๆ
2. ใส่ตัวอย่างฝุ่นละอองลงใน Ceramic combustion boat โดยต้องชั่งน้ำหนักก่อนใส่ตัวอย่าง และน้ำหนักหลังใส่ตัวอย่าง
3. นำไปวิเคราะห์ค่า Inorganic Carbon โดยใส่ในเครื่อง TOC-SSM โดยเผาที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของออกซิเจน 500 มิลลิลิตรต่อนาที และเติมกรดฟอสฟอริกเจือจาง ($\text{H}_3\text{PO}_4: \text{H}_2\text{O} 2:1$) จำนวน 1 มิลลิลิตร ด้วย Reaction Solution Injector
4. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ซ้ำ และทำ Trip blank เช่นเดียวกับตัวอย่างฝุ่นละออง
5. คำนวณค่าความเข้มข้นของ TOC ดังสมการในภาคผนวก ข-3

3.4.3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในตัวอย่างฝุ่นละออง (กรองแก้ว และคณะ, 2559)

1) การทำกราฟมาตรฐาน

ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

Fe	:	0, 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 5, 6	ppm
Zn	:	0, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1, 1.5	ppm
Cu	:	0, 0.03, 0.06, 0.09, 0.3, 0.6, 0.9, 1.3, 1.6	ppm
Pb	:	0, 0.1, 0.5, 1, 3, 5, 7, 9, 11	ppm
Cd	:	0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1, 2	ppm

2) การเตรียมตัวอย่างกระดาษกรองที่มีฝุ่นละออง

1. ตัดแผ่นกระดาษกรองเป็นแถบยาว 2×20 เซนติเมตร จากนั้นตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ในหลอดย่อย
2. เติมกรดไนตริก 65% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และกรดซัลฟิวริก 96% ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ในหลอดย่อย
3. ย่อยกระดาษกรองจนสารละลายใส ใส่ขวดวัดปริมาตรชนิดพลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริก 1%

4. กรองสารละลายที่ได้ผ่านตัวกรองไนลอนรูพรุนขนาด 0.45 ไมโครเมตร ลงในขวดพลาสติก

5. วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักโดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ซ้ำ และทำ Trip blank เช่นกันกับตัวอย่างฝุ่นละออง
7. คำนวณค่าความเข้มข้นของโลหะหนักดังสมการในภาคผนวก ข-4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การวิเคราะห์หาความเข้มข้น รูปร่าง และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ที่เก็บตัวอย่างอากาศบริเวณดาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ระหว่างเดือนกันยายน ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 โดยเก็บตัวอย่างเดือนละ 1 สัปดาห์ ได้แก่ สารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด และ สารคาร์บอนอินทรีย์ ชนิดและปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก ชนิดและปริมาณไอออนที่ละลายน้ำได้ รูปร่างของฝุ่นละออง และปริมาณและองค์ประกอบธาตุ ได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เก็บตัวอย่างฝุ่นตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 บริเวณดาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) สจล. โดยเดือนที่หนึ่งเก็บตัวอย่างฝุ่นวันจันทร์ถึงวันศุกร์ เดือนที่สองและเดือนที่สามเก็บตัวอย่างวันจันทร์ถึงวันอาทิตย์ ได้ความเข้มข้นของ PM_{10} ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในตาราง ค-2 ภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณดาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร สจล. ระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2560

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วงวันที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสุวรรณภูมิ

สัปดาห์ที่	วันที่	วัน	ลักษณะภูมิอากาศ	ปริมาณน้ำฝน (มม.)	ความเร็วลม (กม./ชม.)	ทิศทางลม
1	11/9/2560	จันทร์	มีฝนตก	1.3	13.0	SSW
	12/9/2560	อังคาร	มีฝนตก	0.5	5.9	SE
	13/9/2560	พุธ	ไม่มีฝนตก	-	7.9	WNW
	14/9/2560	พฤหัสบดี	ไม่มีฝนตก	-	8.1	SSW
	15/9/2560	ศุกร์	ไม่มีฝนตก	-	12.3	WSW
2	9/10/2560	จันทร์	ไม่มีฝนตก	-	6.5	NE
	10/10/2560	อังคาร	มีฝนตก	0.1	8.6	S
	11/10/2560	พุธ	มีฝนตก	0.1	12.7	SSW
	12/10/2560	พฤหัสบดี	มีฝนตก	0.1	8.0	W
	13/10/2560	ศุกร์	มีฝนตก	20.2	8.1	W
	14/10/2560	เสาร์	มีฝนตก	0.8	6.0	E
	15/10/2560	อาทิตย์	มีฝนตก	0.2	7.2	NE
3	13/11/2560	จันทร์	ไม่มีฝนตก	-	7.2	NE
	14/11/2560	อังคาร	มีฝนตก	0.1	9.3	NE
	15/11/2560	พุธ	มีฝนตก	0.2	6.2	NE
	16/11/2560	พฤหัสบดี	ไม่มีฝนตก	-	7.1	SW
	17/11/2560	ศุกร์	ไม่มีฝนตก	-	10.4	NE
	18/11/2560	เสาร์	ไม่มีฝนตก	-	5.8	SSW
	19/11/2560	อาทิตย์	ไม่มีฝนตก	-	6.5	ENE

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ (PM₁₀) อยู่ในช่วง 22-80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 พ.ศ. 2547) โดยเดือนกันยายนและเดือนตุลาคมมีความเข้มข้นอยู่ในช่วงระหว่าง 22.24 ถึง 40.72 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากเป็นช่วงฤดูฝน (ตารางที่ 4.1) ส่วนเดือนพฤศจิกายนเป็นเดือนที่มีความเข้มข้นสูงกว่าเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 46.02 ถึง 79.79 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว มีปริมาณฝนลดลง และมีสภาพบรรยากาศปิด (ตารางที่ 4.1) ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นละออง สอดคล้องกับงานวิจัยของศิริวรรณ (2543) ที่พบว่าฤดูกาลมีผลต่อความเข้มข้นของฝุ่นละออง

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ทั้ง 3 เดือน พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM₁₀ ในเดือนกันยายน (n=5) มีค่าเท่ากับ 32.49±7.89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เดือนตุลาคม (n=7) มีค่า 27.40±5.63 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเดือนพฤศจิกายน (n=7) มีค่า 66.43±13.91 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้

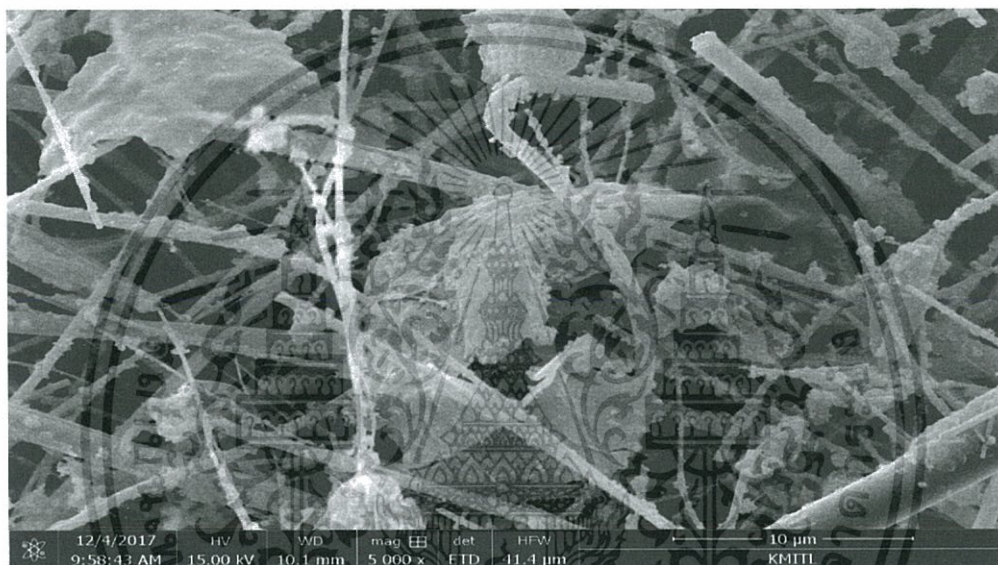
ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดดังภาคผนวก ก.1) พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ อนุภาค PM₁₀ ในเดือนกันยายนและเดือนตุลาคมมีค่าต่ำกว่าเดือนพฤศจิกายนอย่างมีนัยสำคัญ (p < 0.05) อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มข้นของอนุภาค PM₁₀ ในเดือนพฤศจิกายนมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ (120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งอาจเกิดจากการสะสมของอนุภาค PM₁₀ ในบรรยากาศในช่วงฤดูหนาว เนื่องจากเป็นช่วงที่สภาพอากาศปิดและมีการสะสมของอนุภาค PM₁₀ ในบรรยากาศได้มากกว่าในช่วงฤดูฝน อย่างไรก็ตาม ข้อมูลนี้ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าค่าความเข้มข้นของอนุภาค PM₁₀ ในเดือนพฤศจิกายนมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ เนื่องจากข้อมูลนี้ยังไม่ครอบคลุมถึงพื้นที่อื่น ๆ ในพื้นที่ศึกษา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝุ่นละอองในเดือนพฤศจิกายนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม และพบว่าเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า $p\text{-value} = 0.000$

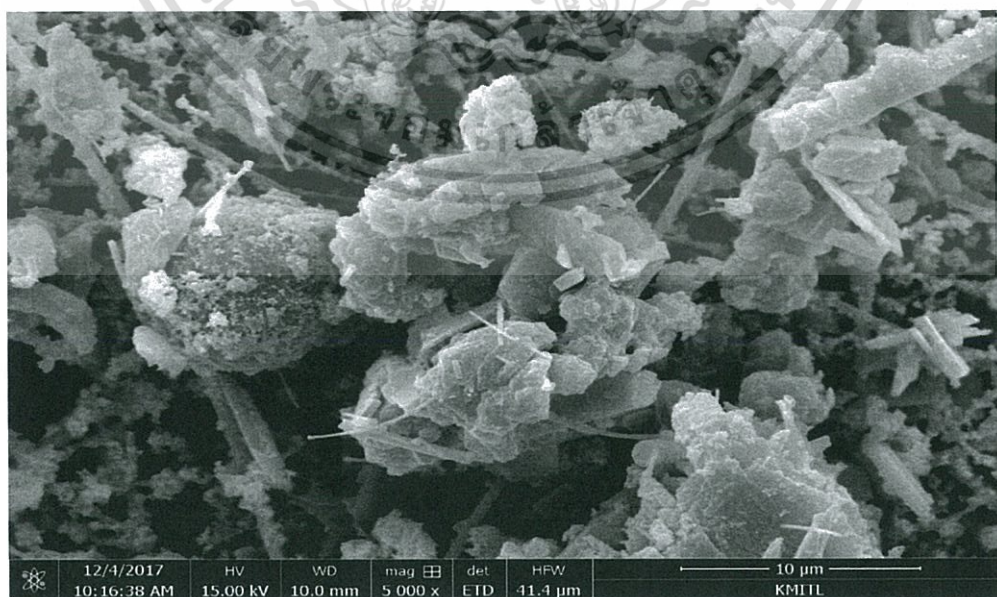
4.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

4.2.1 ผลการศึกษาสัณฐานของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนด้วย SEM

ผลการศึกษาสัณฐานของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า แสดงดังรูปที่ 4.2



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.2 ลักษณะของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้ในการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.2 (ต่อ) ลักษณะของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ก) ฝุ่นละอองที่มีลักษณะเป็นแผ่นจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนไม่เป็นระเบียบ (ข) ฝุ่นที่มีลักษณะเรียวยาวทรงกลม (ค) ฝุ่นที่มีลักษณะเป็นฟลอครวมตัวกันแบบหลวมๆ

จากผลการศึกษาพบฝุ่นละอองมีลักษณะรูปร่างที่ไม่แน่นอนแตกต่างกันไป โดยฝุ่นละอองมีลักษณะเป็นแผ่นจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนไม่เป็นระเบียบ อาจเป็นฝุ่นที่มาจากกากก่อสร้าง (รูปที่ 4.2 ก) ฝุ่นที่มีลักษณะทรงกลมจับตัวกันอาจเกิดจากซีเมนต์ปลิว (รูปที่ 4.2 ข) และฝุ่นที่มีลักษณะเป็นฟลอครวมตัวกันแบบหลวมๆ อาจเป็นฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล (รูปที่ 4.2 ค) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิริวรรณ (2543) ที่พบว่าฝุ่นจากเครื่องยนต์ดีเซล มีลักษณะเป็นปุย จับตัวกันแบบหลวมๆ มีรูพรุนมากไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ฝุ่นที่มาจากเครื่องยนต์เบนซินมีลักษณะเป็นก้อนที่เกิดจากการรวมตัว เนื้อฟู มีรูพรุนคล้ายฟองน้ำ ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ฝุ่นที่มาจากกากก่อสร้างมีลักษณะเป็นก้อนคล้ายรูปสี่เหลี่ยม

4.2.2 ผลการศึกษาองค์ประกอบธาตุของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนด้วย XRF

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน โดยทำการสุ่มตัวอย่างฝุ่นละอองในแต่ละเดือนๆ ละ 1 ตัวอย่าง พบองค์ประกอบทั้งหมด 9 ชนิด เรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ SiO_2 , Na_2O , Al_2SO_3 , BaO , SO_3 , K_2O , CaO , ZnO และ MgO แสดงดังรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในตาราง ค-6 ภาคผนวก ค-6) โดยมีค่าเฉลี่ยร้อยละทั้งหมดขององค์ประกอบเท่ากับ 61.73 ± 2.71 , 11.77 ± 1.47 , 6.75 ± 0.11 , 5.58 ± 0.21 , 5.05 ± 3.05 , 3.95 ± 0.28 , 2.85 ± 0.44 , 1.73 ± 0.11 และ 0.56 ± 0.13 ตามลำดับ พบ SiO_2 มีค่าสูงสุด อาจเนื่องจาก SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักที่มีในแก้ว ส่วน Na_2O , Al_2SO_3 , BaO , SO_3 , K_2O , CaO , ZnO และ MgO เป็นองค์ประกอบเพียงเล็กน้อยที่ช่วยปรับคุณสมบัติของแก้ว ซึ่งกระดาษกรองที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองเป็นกระดาษกรองใยแก้วและไม่ได้มีการวิเคราะห์กระดาษกรองเปล่าเพื่อหักลบจึงพบ SiO_2 ในปริมาณมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

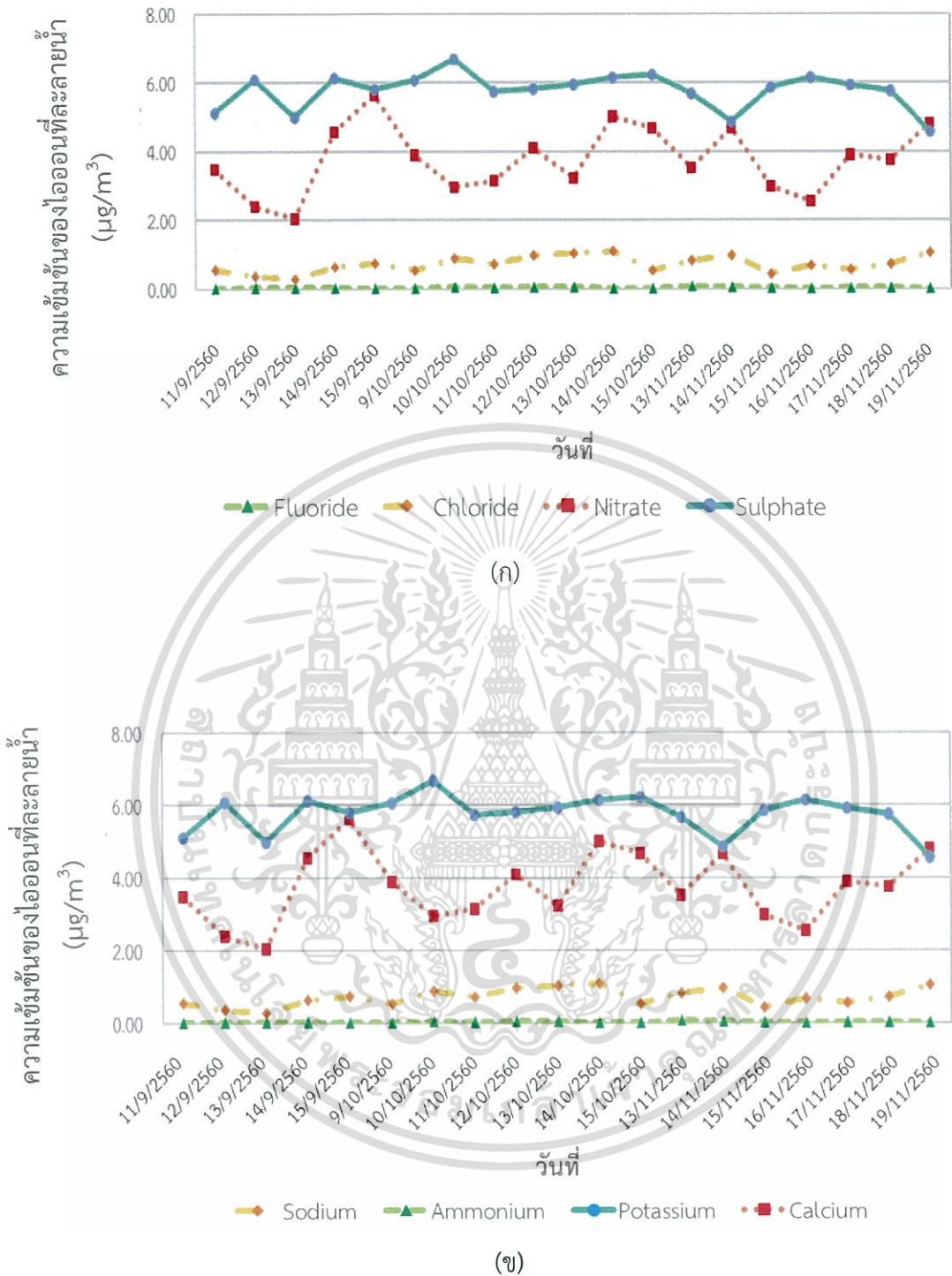


รูปที่ 4.3 ร้อยละองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

4.2.3 ผลการศึกษาความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน

ผลจากการวิเคราะห์ไอออนที่ละลายน้ำในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศ พบค่าความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมดของ Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} เท่ากับ 0.72 ± 0.18 , 0.28 ± 0.08 , 3.76 ± 0.61 , 2.80 ± 0.39 , 0.03 ± 0.02 , 0.71 ± 0.23 , 3.75 ± 3.95 และ 5.76 ± 0.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 (รายละเอียดในตาราง ค-4.1 และ ค-4.2 ภาคผนวก ค-4)

การวิเคราะห์ปริมาณไอออนบวกและไอออนลบที่ละลายน้ำในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนพบว่าปริมาณไอออนแต่ละตัวมีค่าต่างกัน เนื่องจากอาจมีแหล่งที่มาของไอออนแต่ละตัวต่างกัน ซึ่งไอออนลบจะพบปริมาณความเข้มข้นของ $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ น่าจะเกิดจากแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล และเกิดจากการจราจร เนื่องจากซัลเฟตและไนเตรทเป็นสารกรดที่แขวนลอยในบรรยากาศ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง ส่วนใหญ่จะเกิดจากก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยใช้แสง และเกิดการตกสะสมแบบแห้ง ส่วนคลอไรด์น่าจะเกิดจากการระเหยของน้ำทะเลและกระแสน้ำพัดพาจึงทำให้พบความเข้มข้นน้อย และฟลูออไรด์น่าจะเกิดจากฝุ่นดิน มักพบในรูปของแร่จึงไม่พบในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ส่วนไอออนบวกจะพบปริมาณความเข้มข้นของ $\text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+$ เนื่องจากโพแทสเซียมและแคลเซียมเป็นองค์ประกอบของเปลือกโลกที่อยู่บนดินและหิน โดยจะฟุ้งกระจายจากผิวดินจึงพบว่ามีค่าความเข้มข้นมาก ส่วนโซเดียมมีแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการระเหยของน้ำทะเลและถูกกระแสน้ำพัดพาจึงพบความเข้มข้นน้อย และแอมโมเนียมส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแอมโมเนียมไนเตรทและแอมโมเนียมซัลเฟต เกิดจากอุตสาหกรรมผลิตปุ๋ยเคมี การย่อยสลายของเสียของสัตว์ โดยค่าเฉลี่ยปริมาณไอออนที่พบทั้งหมด เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ $\text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+$ สอดคล้องกับงานวิจัยของชนิดาและคณะ (2559)

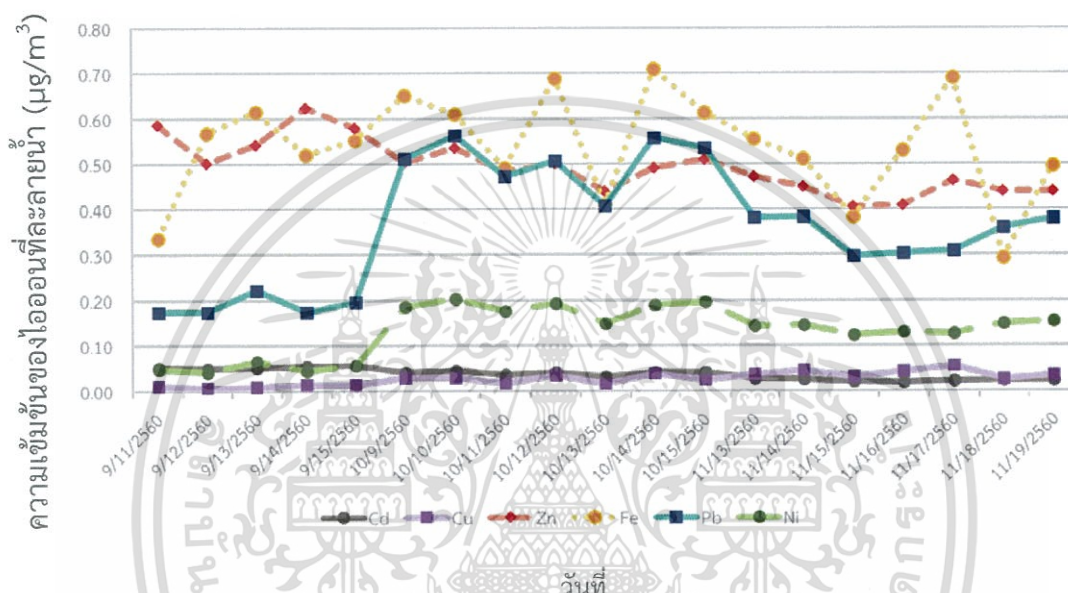


รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
(ก) ไอออนลบที่ละลายน้ำ (ข) ไอออนบวกที่ละลายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

ผลจากการวิเคราะห์ชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศ ได้แก่ Cd, Cu, Zn, Fe, Pb และ Ni แสดงในรูปที่ 4.5 (รายละเอียดดังแสดงในตาราง ค-5 ภาคผนวก ค-5) พบว่าค่าความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมดของ Cd, Cu, Zn, Fe, Pb และ Ni เท่ากับ 0.04 ± 0.01 , 0.03 ± 0.01 , 0.49 ± 0.06 , 0.54 ± 0.12 , 0.36 ± 0.14 และ 0.13 ± 0.06 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

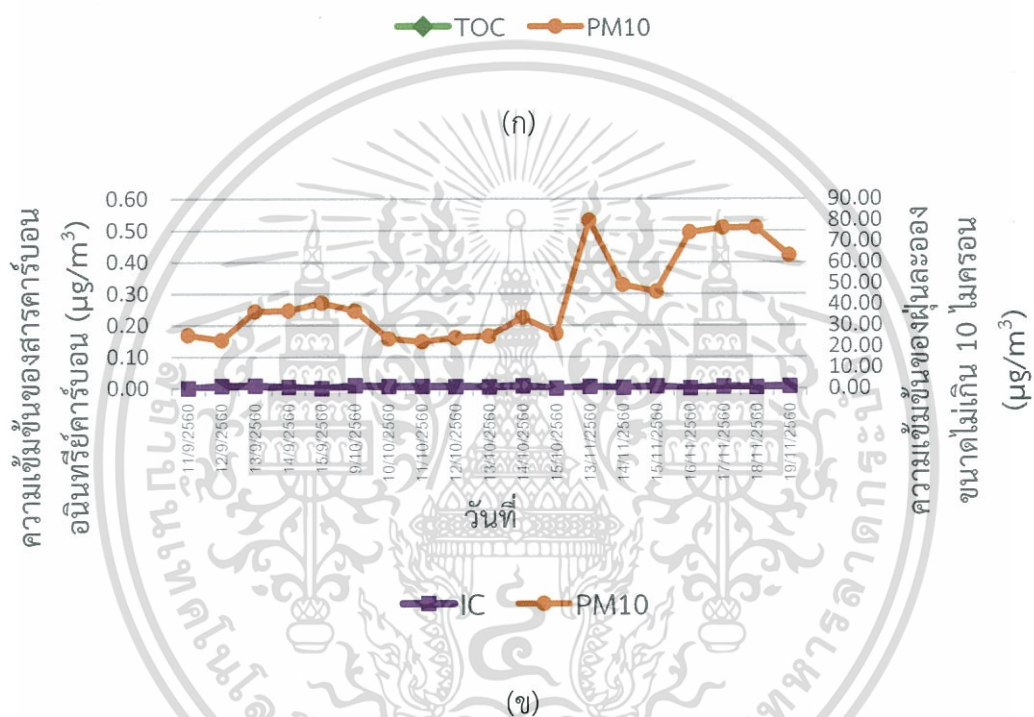
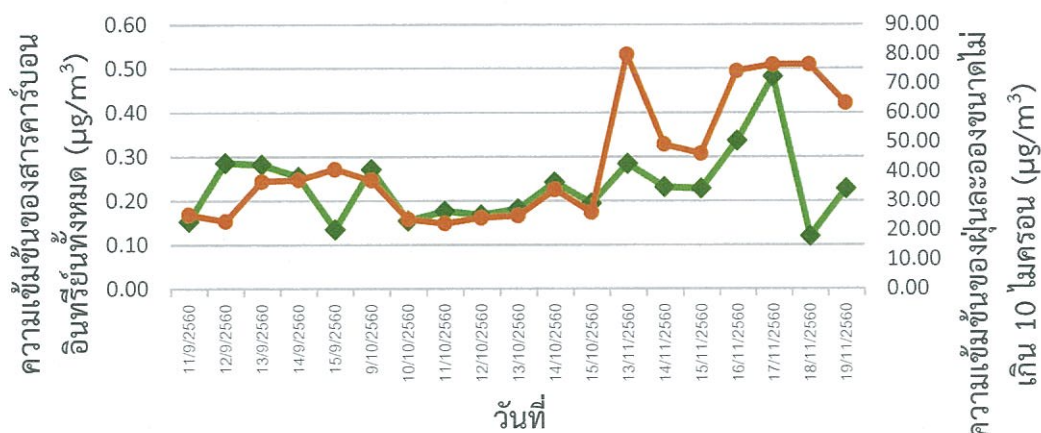
การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน พบว่าปริมาณโลหะหนักแต่ละตัวมีค่าต่างกัน เนื่องจากอาจมีแหล่งที่มาของโลหะหนักแต่ละตัวต่างกัน ซึ่งจะพบความเข้มข้นเรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Cu}$ ซึ่งพบ Fe ในปริมาณมากที่สุด น่าจะเกิดจากฝุ่นดินหรือฝุ่นจากถนนที่เกิดจากการจราจร ทั้งยังเป็นธาตุที่พบมากในเปลือกโลก พบ Zn และ Pb รองลงมา น่าจะเกิดจากการขุดเจาะจากกิจกรรมก่อสร้างบริเวณใกล้เคียงกับสถานที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง และการจราจรบริเวณชุมชน หอพักนักศึกษา ตามลำดับ และพบโลหะตัวอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นธาตุโลหะที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักส่วนใหญ่อาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การก่อสร้าง เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางการเก็บข้อมูลจากอดุณิยมวิทยา สถานีสุวรรณภูมิ (แสดงดังตาราง ค-1 ภาคผนวก ค-1) และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mohammed *et al.* (2016) ที่พบว่าโลหะหนักส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

4.2.5 ผลการศึกษาปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) และสารคาร์บอนอินทรีย์ (IC) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

ผลการศึกษาคาร์บอนในรูปสารคาร์บอนอินทรีย์ และสารคาร์บอนอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณตาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคกลางกร สจล. แสดงในรูปที่ 4.6 (ดูรายละเอียดในตาราง ค-7 ภาคผนวก ค-7) พบว่าค่าเฉลี่ยทั้งหมดของปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) (n=19) เท่ากับ 0.23 ± 0.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่าเฉลี่ยในเดือนกันยายน (n=5) เท่ากับ 0.22 ± 0.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยในเดือนตุลาคม (n=7) เท่ากับ 0.20 ± 0.04 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยในเดือนพฤศจิกายน (n=7) เท่ากับ 0.27 ± 0.11 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนค่าเฉลี่ยทั้งหมดของสารคาร์บอนอินทรีย์ (IC) (n=19) เท่ากับ 0.00 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยค่าเฉลี่ยในเดือนกันยายน (n=5) เท่ากับ 0.00 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าเฉลี่ยในเดือนตุลาคม (n=7) เท่ากับ 0.01 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ยในเดือนพฤศจิกายน (n=7) เท่ากับ 0.00 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะเห็นได้ว่า พบสารคาร์บอนอินทรีย์ในปริมาณที่น้อยมาก อาจเนื่องมาจากสารคาร์บอนอินทรีย์ไม่ได้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของยานพาหนะ แต่เกิดจากฝุ่นถนน ทราย และเส้นใยหิน จากผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์มีค่าสูงกว่าสารคาร์บอนอินทรีย์ อาจเกิดจากบริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นบริเวณตาดฟ้าของอาคารสูงซึ่งมีเครื่องบินบินผ่านตลอดทั้งวันและมีการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงขณะขับเคลื่อน จึงทำให้พบความเข้มข้นของสารอินทรีย์คาร์บอนในปริมาณที่สูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชนิดา และคณะ (2559) ที่พบว่าคาร์บอนอินทรีย์เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์โดยการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (รายละเอียดในภาคผนวก จ-4) ในเดือนกันยายน (n=5), เดือนตุลาคม (n=7) และ เดือนพฤศจิกายน (n=7) พบว่าความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้ง 3 เดือน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่า p-value = 0.259

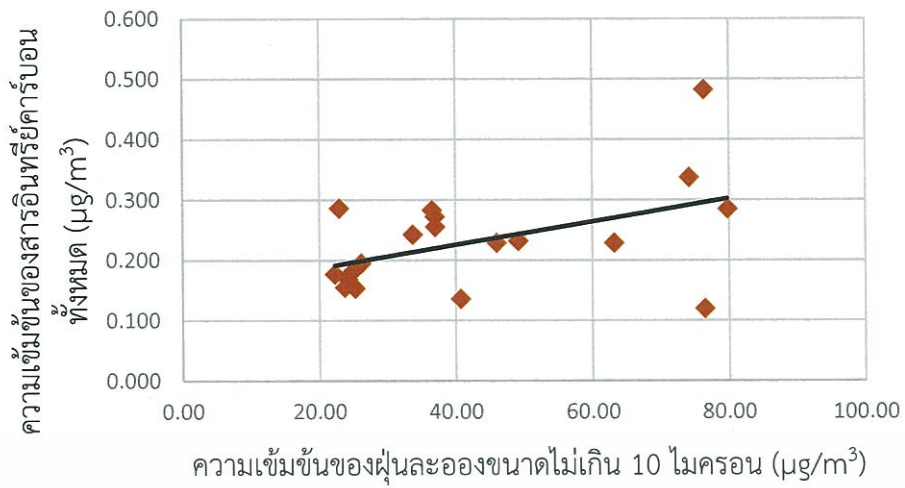
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 (ก) ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (ข) สารคาร์บอนอินทรีย์เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณตลาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) สจล.

จากการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (รูปที่ 4.7) พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงบวกแสดงให้เห็นว่าสารคาร์บอนอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศตั้งแต่เดือน กันยายน - พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 (เก็บตัวอย่างเดือนละ 1 สัปดาห์) บริเวณตลาดฟ้าอาคารที่พักอาศัยบุคลากร (อาคาร 8 ชั้น) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. ความเข้มข้นของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนระหว่างเดือนกันยายนถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 มีค่าไม่เกินมาตรฐาน โดยค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ระหว่างเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 22.24 ถึง 40.72 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งความเข้มข้นของฝุ่นทั้งสองเดือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนเดือนพฤศจิกายน มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 46.02 ถึง 79.79 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเดือนกันยายนและเดือนตุลาคม

2. ลักษณะสีฐานของอนุภาคของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในบรรยากาศ พบว่าฝุ่นละอองมีลักษณะและรูปร่างที่ไม่แน่นอนแตกต่างกันไป โดยฝุ่นจะมีลักษณะเป็นแผ่นจับตัวเป็นกลุ่มก้อนไม่เป็นระเบียบ เป็นฟลอครวมตัวกันแบบหลวมๆ และเป็นรูปทรงกลมเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดแตกต่างกันออกไป ซึ่งส่วนใหญ่จะพบแบบจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนไม่เป็นระเบียบ

3. ปริมาณธาตุและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ค่าเฉลี่ยร้อยละขององค์ประกอบธาตุทั้งหมดตั้งแต่เดือนกันยายน ถึงพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบ SiO_2 มีค่าสูงสุด คือ 61.73 ± 2.71 % และ MgO มีค่าต่ำสุด คือ 0.56 ± 0.13 %

4. ไอออนที่ละลายน้ำได้ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่พบ เรียงจากมากไปน้อยได้ ดังนี้ $\text{SO}_4^{2-} > \text{K}^+ > \text{NO}_3^- > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{F}^-$ และพบว่าความเข้มข้นของ SO_4^{2-} , K^+ , NO_3^- , Ca^{2+} , Cl^- , Na^+ , NH_4^+ และ F^- ทั้งสามเดือนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5. ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่พบ เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ $\text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Cu}$ และพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ Zn, Pb, Ni, Cd และ Cu ทั้งสามเดือนมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน Fe มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งสามเดือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

6. ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) และสารคาร์บอนอินทรีย์ (IC) ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เท่ากับ 0.23 ± 0.08 และ 0.01 ± 0.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งสามเดือนไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างมีนัยสำคัญ ความเข้มข้นเฉลี่ยของปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่ระดับพื้นดิน เพื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นที่ระดับอาคารสูง
2. ควรเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ตลอดทั้งปี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2547. ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 24 (พ.ศ.2547) เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป
- กรมควบคุมมลพิษ. 2549. รายงานการศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบและแหล่งที่มาของฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ.กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์, กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และสุวรรณี จรรยาพูน. 2559. ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อมสำหรับดินและอากาศ. โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- กิตติชัย จำรูญ. 2548. การแพร่กระจายของฝุ่นละอองตามแนวเส้นทางโครงการขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชนิดา พงศ์ธิติปัญญากร, วชิรวิทย์ ฉิมกุล, สุธาวัลย์ ดลกุล และสุรางคณา สำหรับาย. 2559. การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนบริเวณริมถนนฉลองกรุง คณะวิทยาศาสตร์ สจล. ปริญญาโทวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นภาพร พานิช, แสงสันต์ พานิช, วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และวราวุธ เสือดี. 2550. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นภัทร ต้นศิริ, ปิยาภรณ์ เปรมใจ และพัชราภรณ์ ทิพย์ยา. 2553. การวิเคราะห์สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนและสารอินทรีย์คาร์บอนในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนบริเวณริมถนนฉลองกรุง. ปริญญาโทวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- นิพนธ์ ตั้งคณานุกรักษ์ และคณิตา ตั้งคณานุกรักษ์. 2552. เคมีบรรยากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พงศ์เทพ วิศวกรรมเดช. 2554. การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพ. นนทบุรี: ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประกาย ชีระวัฒนากุล. 2556. ฝุ่นละอองขนาดเล็ก สร้างปัญหาขนาดใหญ่. [Online]. Available: <https://prachatai.com/journal/2013/03/46030>. สืบค้นวันที่ 14 กันยายน 2560
- ปัทมา สุระสินธุ์นันต์, พลนิกร เขียวลงยา และสุนันทา บัวกลิ่นหอม. 2542. สถานการณ์ฝุ่นละอองในอากาศบริเวณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. ปริญญาโทวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, นิตยา มหาผล, และธีระ เกรอด. 2543. มลภาวะอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วนิดา จินาศาสตร์. 2551. มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วริศศรุตตา สีเขียน, วิราพร ธนฐิติพงษ์ และอภิวิชญ์ สมบูรณ์ปัญญา. 2554. องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศของกรุงเทพมหานคร. ปรินญาณินท์ วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ศิริวรรณ แก้วงาม. 2543. สัมฐานและธาตุองค์ประกอบของฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ศิวพันธุ์ ซูอินทร์. 2556. มลพิษทางอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Green Report. 2559. อาคารสูงแหล่งสะสมฝุ่นละออง. [Online]. Available: http://www.ch7.com/watch/203062/green_report_อาคารสูงแหล่งสะสมฝุ่นละออง.html. สืบค้นวันที่ 14 กันยายน 2560
- Jinsart, W., Pimpisut, D. and Hooper, M. 2005. Modeling of the BTX Species based on an Emission Inventory of Sources at the Map Ta Phut Industrial Estate in Thailand. *Science Asia*. 31, 103-112
- Laura Megido, Beatriz Suarez-Pena, Luis Negral, Leonor Castrillon, Yolanda Fernandez-Nava. 2016. Suburban air quality: Human health hazard assessment of potentially toxic elements in PM10. *Chemosphere*. 177, 284-291
- Mohammed, G., Karani, G., Mitchell, D. 2016. Trace Elemental Composition in PM10 and PM2.5 Collected in Cardiff, Wales. *Energy Procedia*. 111, 540-547
- 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> สืบค้นวันที่ 11 พฤศจิกายน 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

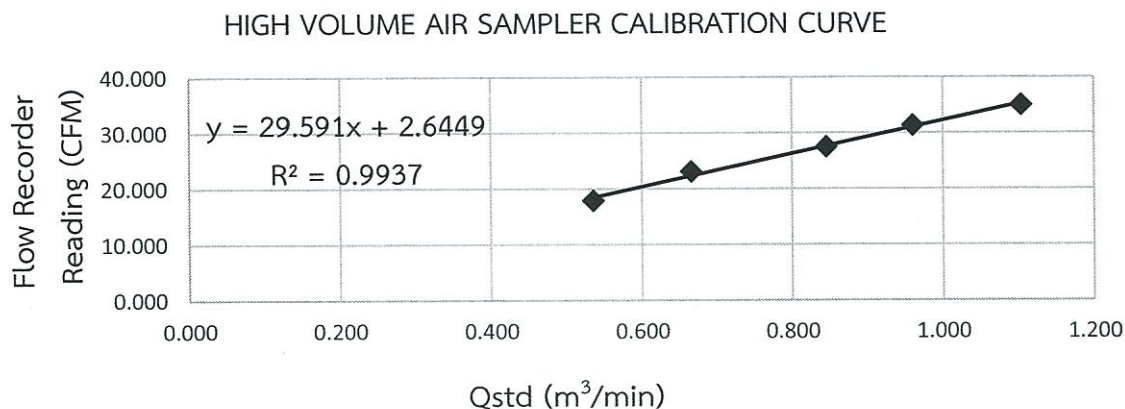
ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนแบบ ปริมาตรสูง

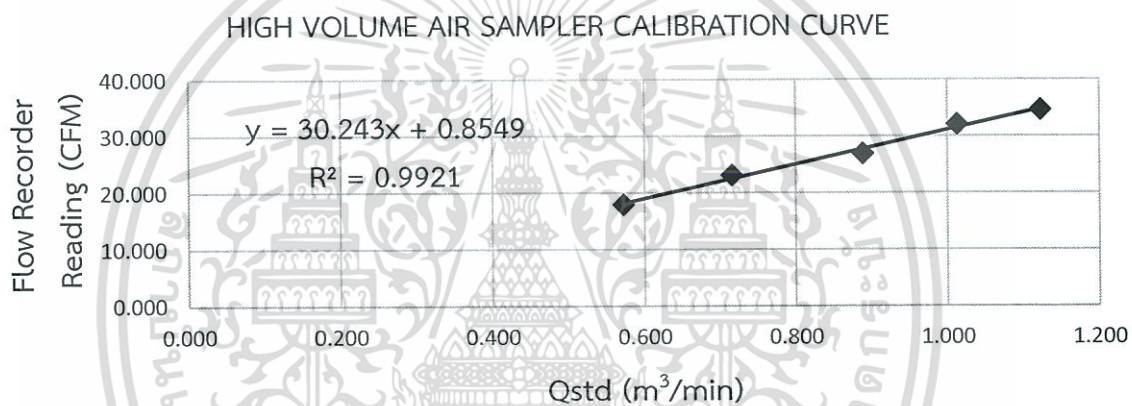
ขั้นตอนการเปรียบเทียบ (กรมควบคุมมลพิษ)

1. ติดตั้งชุดเปรียบเทียบโดยวางแผ่น Orifice Adapter ลงบน Filter Holder และชั้นน็อตทั้ง 4 ด้านให้แน่นโดยไม่ต้องใส่กระดาษกรอง
2. วางแผ่น Flow Calibrate (Orifice Plate) ทีละแผ่นโดยเลือกแผ่นที่มีปริมาตรมากที่สุด มาเริ่มต้นการเปรียบเทียบ วางแผ่นยางรองบน Orifice Adapter และวางแผ่น Flow Calibrate 1 แผ่น จากนั้นใช้ฝาคกรอบแผ่นหมุนเกลียวให้แน่น
3. นำสาย Manometer แขนงไว้ข้างตัวเครื่องใส่น้ำและหยด 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 (T_a), K
 - Station barometric pressure (Pa), mmHg
 - Sampler S/N, Model, Motor No.
 - Orifice S/N and Q_a Relationship
 - Data and Location
7. อ่านและบันทึกค่า Manometer Deflection และความสัมพันธ์ของผลจาก Recorder
8. ทำซ้ำ โดยเปลี่ยนแผ่น Flow Calibrate ทีละแผ่นในระหว่างที่ใส่แผ่นต้องแน่ใจว่าได้วางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว โดยจะต้องวางแผ่นยางรองทุกครั้ง
9. ปิดเครื่องและนำแผ่น Flow Calibrate ออก
10. คำนวณหาค่าอัตราการไหลที่แท้จริง

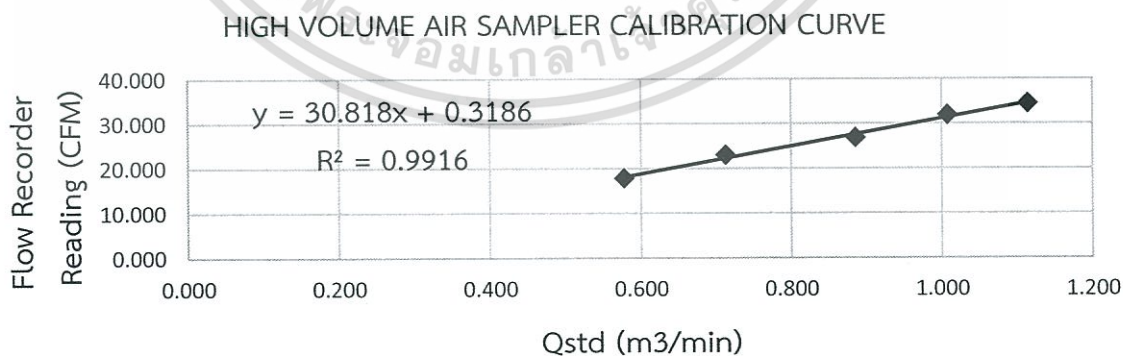
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-1 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 1 วันที่ 11 กันยายน 2560



รูปที่ ก-2 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 2 วันที่ 9 ตุลาคม 2560



รูปที่ ก-3 อัตราการไหลที่แท้จริงที่ได้จากการปรับเทียบเครื่องเก็บฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ครั้งที่ 2 วันที่ 13 พฤศจิกายน 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณและตัวอย่างการคำนวณ

ภาคผนวก ข-1 การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

1. ปรับแก้อัตราการไหลของอากาศที่ใช้เก็บตัวอย่างให้เป็นอัตราการไหลมาตรฐาน

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

เมื่อ Q_{std} คือ อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน (ความกดอากาศ 760 mmHg และอุณหภูมิ 273.15 องศาเซลเซียส) มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที

P_a คือ ความกดของอากาศในบรรยากาศ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตรของปรอท

P_{std} คือ ความกดของอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

T_a คือ อุณหภูมิในบรรยากาศ มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

T_{std} คือ อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน

2. คำนวณหาปริมาตรอากาศทั้งหมดในการเก็บตัวอย่าง

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

เมื่อ V_{std} คือ ปริมาตรอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

Q_{std} คือ อัตราการไหลของอากาศมาตรฐาน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที

t คือ เวลาที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง มีหน่วยเป็นนาที

3. คำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

$$\text{ความเข้มข้นของ PM}_{10} \text{ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)} = \frac{(W_f - W_i)}{V_{std}} \times 10^3$$

เมื่อ W_f คือ น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (mg)

W_i คือ น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (mg)

V_{std} คือ ปริมาตรอากาศมาตรฐาน (m^3)

10^3 คือ แปลงหน่วยจาก มิลลิกรัมเป็นไมโครกรัม

ตัวอย่างการคำนวณ

$$Q_{std} = 1.403 (m^3/min) \times (756.4/760 \text{ mmHg}) \times (298.15/307.2 \text{ K})$$

$$V_{std} = 1.417 m^3/min \times 1440 \text{ min}$$

$$\text{ความเข้มข้น PM}_{10} = \frac{2886.4 - 2723.6}{2040.4 (m^3)} \times 10^3 = 79.7883 \mu g/m^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-2 การคำนวณความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำได้

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

- เมื่อ A คือ ความเข้มข้นของไอออนจากกระดาษกรองที่มีฝุ่น (ppm)
 B คือ ความเข้มข้นของไอออนจากกระดาษกรองที่ไม่มีฝุ่น (ppm)
 V คือ ปริมาตรที่ใช้สกัด (25 มิลลิลิตร)
 V_{std} คือ ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)
 F คือ พื้นที่กระดาษกรองทั้งหมด/พื้นที่กระดาษกรองส่วนที่นำมาวิเคราะห์

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างฝุ่นละอองวันที่ 13/11/2560

$$\text{ความเข้มข้นของ } \text{Na}^+ (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{(12.524 - 5.2321) \times 25 \times \left(\frac{399}{35}\right)}{2040.4} = 1.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\text{ความเข้มข้นของ } \text{F} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{(0.1474 - 0.0244) \times 25 \times \left(\frac{399}{35}\right)}{2040.4} = 0.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-3 การคำนวณความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์และสารคาร์บอนอินทรีย์ในตัวอย่างฝุ่นละออง

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

เมื่อ C	คือ	ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์ของฝุ่นละอองในตัวอย่างอากาศ
%C	คือ	ร้อยละของสารคาร์บอนอินทรีย์ในกระดาศกรองที่มีฝุ่นละออง
%B	คือ	ร้อยละของสารคาร์บอนอินทรีย์ในกระดาศกรองที่ไม่มีฝุ่นละออง
W	คือ	น้ำหนักของกระดาศกรองส่วนที่นำมาวิเคราะห์
N	คือ	พื้นที่กระดาศกรองทั้งหมด/พื้นที่กระดาศกรองส่วนที่นำมาวิเคราะห์
V _{std}	คือ	ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างฝุ่นละอองวันที่ 13/11/2560

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด (TC)} &= \frac{1.0010 - 0.1360}{100} \times 50.4 \times \frac{203 \times 254}{2 \times 20} \\ &= 1935.4 \\ &= 0.2904 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (IC)} &= \frac{0.0253 - 0.0000}{100} \times 50.7 \times \frac{203 \times 254}{2 \times 20} \\ &= 1935.4 \\ &= 0.0085 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

เมื่อคำนวณค่าข้างต้นแล้วจะได้ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนทั้งหมด (TC) และคาร์บอนอินทรีย์ (IC) ในหน่วย $\mu\text{g}/\text{m}^3$ นำไปหาค่าปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) ด้วยสูตร $\text{TOC} = \text{TC} - \text{IC}$

$$\begin{aligned} \text{TOC} &= (0.2904 - 0.0075) \\ &= 0.2818 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-4 การคำนวณปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละออง

$$C = \frac{(C_s - C_b) \times \frac{1}{n} \times 25 \text{ mL}}{V_s}$$

เมื่อ	C	คือ	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์ในตัวอย่างอากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	C_s	คือ	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์ในสารละลาย ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
	C_b	คือ	ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ต้องการวิเคราะห์ในแบลนด์ ($\mu\text{g}/\text{mL}$)
	n	คือ	สัดส่วนพื้นที่ของแถบกระดาษกรองที่ใช้วิเคราะห์/พื้นที่กระดาษกรองทั้งหมด
	V_s	คือ	ปริมาตรอากาศที่สภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน 25°C , 1 atm (m^3)

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างฝุ่นละอองวันที่ 13/11/2560

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ Cd } (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= \frac{(0.1465 - 0.0128) \times \frac{1}{\frac{2 \times 20}{21 \times 29.7}} \times 25 \text{ mL}}{2040.4 \text{ m}^3} \\ &= 0.0255 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ภาคผนวก ค-1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ตาราง ค-1.1 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนกันยายน

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว (กม./ ชม.)			
11 กันยายน 2560	1:00 น.	27.2	24.0	83	1009.83	ลมสงบ		10	-	มีเมฆเป็นบางส่วน
	4:00 น.	26.3	23.2	83	1008.93	NNW	5.6	10	-	มีเมฆมาก
	7:00 น.	27.6	23.8	80	1009.11	N	3.7	8	-	มีเมฆเป็นบางส่วน
	10:00 น.	31.6	24.5	66	1010.87	SSW	5.6	9	-	มีเมฆเป็นส่วนใหญ่
	13:00 น.	33.2	22.8	54	1008.61	S	20.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนใหญ่
	16:00 น.	32.6	23.7	60	1006.80	SSW	18.5	10	-	มีเมฆเป็นส่วนใหญ่
	19:00 น.	26.4	22.9	81	1009.48	SSW	25.9	7	0.4	มีเมฆมาก
	22:00 น.	28.8	25.7	83	1011.79	S	11.1	10	0.9	มีเมฆเต็มท้องฟ้า

ตาราง ค-1.1 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนกันยายน (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว (กม./ ชม.)			
12 กันยายน 2560	1:00 น.	28.1	25.5	86	1010.91	ลมสงบ		10	0.3	มีเมฆมาก
	4:00 น.	27.3	25.3	89	1011.04	ENE	7.4	10	0.2	มีเมฆมาก
	7:00 น.	26.3	23.4	84	1012.28	E	3.7	10	-	มีเมฆมาก
	10:00 น.	32.0	24.3	64	1010.85	SE	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	33.0	25.6	65	1008.76	SE	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	33.4	24.0	58	1006.49	S	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19:00 น.	31.7	23.3	61	1007.57	SSW	9.3	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22:00 น.	30.8	24.5	69	1007.83	ลมสงบ		10	-	มีเมฆบางส่วน
13 กันยายน 2560	1:00 น.	28.6	24.9	80	1010.03	SW	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	27.6	21.1	68	1009.27	NW	3.7	10	-	มีเมฆบางส่วน
	7:00 น.	27.9	21.0	66	1009.85	NE	3.7	10	-	มีเมฆบางส่วน
	10:00 น.	33.1	23.6	58	1010.61	NNE	7.4	10	-	มีเมฆบางส่วน
	13:00 น.	34.4	22.5	50	1008.51	ENE	5.6	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	31.5	21.9	57	1007.21	WNW	18.5	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19:00 น.	30.7	22.3	61	1006.9	WSW	9.3	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22:00 น.	29.8	23.6	69	1008.58	SSW	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1.1 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนกันยายน (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว (กม./ ชม.)			
14 กันยายน 2560	1:00 น.	29.8	21.8	62	1007.84	WSW	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	26.9	22.5	77	1007.35	W	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	28.1	22.2	70	1008.05	NNW	9.3	10	-	มีเมฆบางส่วน
	10:00 น.	32.1	21.6	54	1008.08	N	3.7	10	-	มีเมฆบางส่วน
	13:00 น.	34.9	22.8	50	1005.62	N	13.0	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	33.2	24.5	61	1002.32	SSW	9.3	10	-	มีเมฆมาก
	19:00 น.	31.5	24.2	65	1003.84	SSW	7.4	10	-	มีเมฆเต็มท้องฟ้า
	22:00 น.	31.1	24.7	69	1006.05	SSW	11.1	10	-	มีเมฆมาก
15 กันยายน 2560	1:00 น.	29.8	22.6	80	1006.45	W	11.1	10	-	มีเมฆเต็มท้องฟ้า
	4:00 น.	26.9	23.3	83	1004.18	SSE	11.1	10	-	มีเมฆมาก
	7:00 น.	28.1	23.8	79	1005.22	E	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	32.1	23.9	66	1005.38	WSW	13.0	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	34.9	23.9	61	1003.85	WSW	13.0	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	33.2	23.7	65	1001.29	S	20.4	10	-	มีเมฆมาก
	19:00 น.	31.5	24.4	71	1002.93	S	16.7	10	-	มีเมฆมาก
	22:00 น.	31.1	23.2	77	1005.32	W	9.3	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1.2 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนตุลาคม

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว (กม./ ชม.)			
9 ตุลาคม 2560	1:00 น.	24.8	26.6	84	1003.50	ENE	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	24.4	26.0	83	1002.83	E	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	23.6	26.1	87	1003.62	ENE	3.7	10	-	มีเมฆบางส่วน
	10:00 น.	27.5	25.7	82	1004.67	E	11.1	10	-	มีเมฆบางส่วน
	13:00 น.	31.3	27.0	55	1002.26	NNE	9.3	10	-	มีเมฆบางส่วน
	16:00 น.	32.0	26.0	61	1001.62	NE	3.7	10	-	มีเมฆบางส่วน
	19:00 น.	28.5	28.3	78	1002.64	SSW	5.6	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22:00 น.	26.2	28.3	86	1003.81	WNW	3.7	9	-	มีเมฆบางส่วน
10 ตุลาคม 2560	1:00 น.	26.8	23.0	80	1005.59	ESE	7.4	10	0.1	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	26.4	23.9	86	1005.32	W	5.6	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	26.7	24.2	86	1006.47	NNW	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	31.1	24.1	66	1006.49	S	9.3	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	32.6	23.0	57	1004.57	S	16.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	31.5	24.5	67	1002.38	SSW	9.3	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19:00 น.	29.8	25.0	75	1003.51	S	9.3	10	-	มีเมฆเต็มท้องฟ้า
	22:00 น.	29.3	25.8	81	1006.82	S	7.5	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1.2 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนตุลาคม (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว (กม./ ชม.)			
11 ตุลาคม 2560	1:00 น.	28.6	24.9	80	1006.48	SSE	14.8	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	27.8	25.1	85	1004.41	ESE	13.0	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	28.4	25.1	82	1006.69	E	9.3	8	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	30.6	23.0	64	1009.30	SSW	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	32.7	23.7	59	1006.63	SSW	11.1	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	30.2	23.4	67	1004.82	S	16.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19:00 น.	29.4	24.1	73	1007.04	SE	11.1	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22:00 น.	25.3	21.7	80	1006.35	NW	22.2	10	0.1	มีเมฆมาก
12 ตุลาคม 2560	1:00 น.	28.0	22.1	70	1008.04	W	9.3	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	28.2	21.3	66	1006.15	ลมสงบ		10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	26.7	22.6	78	1007.28	WSW	5.6	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	31.0	20.5	54	1008.54	W	5.6	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	33.3	20.1	46	1006.02	W	9.3	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	32.3	21.7	54	1004.73	WSW	11.1	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19:00 น.	29.9	22.7	66	1005.99	SSW	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22:00 น.	27.9	23.7	78	1008.48	S	7.4	10	0.1	มีเมฆมาก

ตาราง ค-1.2 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนตุลาคม (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว (กม./ ชม.)			
13 ตุลาคม 2560	1:00 น.	27.6	23.4	78	1007.41	W	9.3	10	0.1	มีเมฆมาก
	4:00 น.	26.1	23.5	85	1006.34	ลมสงบ		10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	26.5	24.0	86	1007.74	ลมสงบ		8	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	30.7	22.7	62	1013.43	SW	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	32.0	21.7	54	1007.1	W	9.3	10	0.1	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	31.1	22.3	60	1005.59	SSW	7.4	10	-	มีเมฆมาก
	19:00 น.	26.6	21.5	74	1008.47	W	5.6	10	20.0	มีเมฆเต็มท้องฟ้า
	22:00 น.	26.5	22.8	80	1009.78	NNE	9.3	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
14 ตุลาคม 2560	1:00 น.	25.7	23.2	86	1009.48	E	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	25.9	23.7	88	1008.64	E	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	26.5	23.4	83	1009.98	E	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	28.8	22.9	71	1011.93	ESE	7.4	10	-	มีเมฆมาก
	13:00 น.	31.5	22.8	60	1009.79	N	9.3	8	-	มีเมฆมาก
	16:00 น.	24.8	21.8	83	1009.07	SSW	5.6	8	0.6	มีเมฆมาก
	19:00 น.	27.3	23.4	79	1010.16	NE	7.4	10	0.2	มีเมฆมาก
	22:00 น.	26.4	23.0	82	1011.44	N	7.4	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1.2 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนตุลาคม (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว (กม./ ชม.)			
15 ตุลาคม 2560	1:00 น.	24.6	24.0	88	1011.84	ENE	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	23.8	22.3	83	1010.44	E	11.1	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	25.1	23.7	81	1009.46	NE	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	28.5	25.1	70	1009.61	E	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	26.9	23.5	63	1010.89	SSW	5.6	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	27.5	22.4	89	1009.70	NNE	9.3	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19:00 น.	25.6	21.9	72	1008.39	N	9.3	10	0.2	มีเมฆมาก
	22:00 น.	27.5	23.3	86	1007.97	N	7.4	10	-	มีเมฆมาก

ตาราง ค-1.3 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนพฤศจิกายน

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว(กม./ชม.)			
13 พฤศจิกายน 2560	1:00 น.	29.8	25.2	70	1009.87	SSW	5.6	8	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	28.7	22.4	78	1010.04	NE	7.4	8	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	32.7	23.4	50	1009.85	NE	11.1	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	28.4	22.5	70	1010.81	NNE	5.6	9	-	มีเมฆมาก
	13:00 น.	31.3	23.7	65	1008.41	NE	3.7	9	-	มีเมฆมาก
	16:00 น.	31.3	22.5	60	1006.02	ESE	9.3	8	-	มีเมฆมาก
	19:00 น.	28.0	24.1	79	1006.91	SW	7.4	7	-	มีเมฆมาก
	22:00 น.	27.6	24.3	82	1008.64	SSW	7.4	7	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
14 พฤศจิกายน 2560	1:00 น.	26.9	23.7	83	1008.72	SSW	5.6	8	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	26.8	24.0	85	1007.78	ลมสงบ		9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	27.2	24.0	83	1009.31	ENE	1.9	5	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	30.7	24.4	69	1011.52	NE	7.4	8	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	32.8	20.7	49	1008.59	E	14.8	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	34.0	20.6	46	1007.07	NE	11.1	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19:00 น.	29.1	23.6	72	1008.10	SSE	18.5	9	-	มีเมฆมาก
	22:00 น.	26.6	22.5	78	1010.33	SSW	5.6	9	0.1	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1.2 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนพฤศจิกายน (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว(กม./ชม.)			
15 พฤศจิกายน 2560	1:00 น.	27.1	23.6	81	1010.03	S	3.7	8	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	26.7	24.2	86	1008.97		ลมสงบ	7	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	26.5	24.3	88	1011.04		ลมสงบ	2	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	30.3	23.3	66	1012.34	E	5.6	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	33.3	21.0	49	1009.45	ESE	3.7	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	28.7	23.2	72	1007.64	E	13.0	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19:00 น.	27.6	22.9	76	1008.91	ENE	5.6	10	0.2	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22:00 น.	27.0	23.2	80	1011.62	NNE	5.6	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
16 พฤศจิกายน 2560	1:00 น.	26.0	24.0	80	1011.09	SSW	5.6	8	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	26.6	25.5	88	1008.32		ลมสงบ	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	26.4	27.1	89	1009.48		ลมสงบ	7	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	31.3	22.4	70	1009.24	NE	11.1	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	32.5	24.0	63	1010.11	E	7.4	5	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	16:00 น.	27.6	21.7	74	1010.38	ESE	3.7	2	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	19:00 น.	26.9	22.2	80	1011.06	SW	7.4	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22:00 น.	28.1	25.3	85	1011.05	SW	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก

ตาราง ค-1.2 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนพฤศจิกายน (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว(กม./ชม.)			
17 พฤศจิกายน 2560	1:00 น.	23.6	24.2	80	1009.67	ลมสงบ		7	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	22.7	23.9	85	1010.42	ลมสงบ		9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	26.8	22.4	86	1010.52	NE	11.1	5	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	10:00 น.	31.2	20.1	69	1010.31	NE	7.4	9	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	13:00 น.	33.0	24.0	52	1010.64	NE	7.4	9	-	มีเมฆมาก
	16:00 น.	31.5	24.0	70	1011.10	SE	11.1	10	-	มีเมฆบางส่วน
	19:00 น.	28.9	21.7	77	1011.01	SSE	14.8	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22:00 น.	26.1	21.6	82	1010.93	ลมสงบ		10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
18 พฤศจิกายน 2560	1:00 น.	25.8	20.0	70	1012.62	ลมสงบ		8	-	มีเมฆบางส่วน
	4:00 น.	24.6	21.4	83	1011.16	SE	3.7	6	-	มีเมฆบางส่วน
	7:00 น.	24.0	21.3	85	1012.44	ENE	5.6	2.5	-	มีเมฆบางส่วน
	10:00 น.	22.6	22.7	82	1010.98	NNE	5.6	9	-	มีเมฆบางส่วน
	13:00 น.	23.8	25.2	70	1011.54	E	7.4	8	-	มีเมฆบางส่วน
	16:00 น.	25.7	21.4	52	1011.32	SSW	5.6	10	-	มีเมฆบางส่วน
	19:00 น.	25.3	23.9	74	1011.64	SSW	7.4	10	-	มีเมฆบางส่วน
	22:00 น.	26.3	20.8	50	1011.54	SSW	5.6	9	-	มีเมฆบางส่วน

ตาราง ค-1.2 สภาพบรรยากาศทั่วไปเดือนพฤศจิกายน (ต่อ)

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (°C)	จุดน้ำค้าง (°C)	ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ความกดอากาศ (มิลลิบาร์)	ลม		ทัศนวิสัย (กม.)	ฝน 3 ชม. (มม.)	เมฆ
						ทิศ	ความเร็ว(กม./ชม.)			
19 พฤศจิกายน 2560	1:00 น.	24.8	17.6	64	1013.50	ENE	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	4:00 น.	24.4	17.0	63	1011.83	E	7.4	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	7:00 น.	23.6	17.1	67	1013.62	ENE	3.7	10	-	มีเมฆบางส่วน
	10:00 น.	27.5	16.8	52	1014.67	E	11.1	10	-	มีเมฆบางส่วน
	13:00 น.	31.3	18.1	45	1012.26	NNE	9.3	10	-	มีเมฆบางส่วน
	16:00 น.	32.0	17.1	41	1010.62	NE	3.7	10	-	มีเมฆบางส่วน
	19:00 น.	28.5	19.4	58	1012.64	SSW	5.6	10	-	มีเมฆเป็นส่วนมาก
	22:00 น.	26.2	19.4	66	1013.81	WNW	3.7	9	-	มีเมฆบางส่วน

ภาคผนวก ค-2 ผลการคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
ตาราง ค-2 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาชกรอง (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง		
Blank	1	2753.9	2754.7		
	2	2753.7	2754.5		
	3	2753.7	2754.5		
	เฉลี่ย	2753.8	2754.6	0.8	
11/9/2560	1	2777.8	2826.9		
	2	2777.6	2826.8		
	3	2777.6	2826.8		
	เฉลี่ย	2777.7	2826.8	49.2	25.25
12/9/2560	1	2788.2	2830.9		
	2	2788.1	2830.8		
	3	2788.1	2830.8		
	เฉลี่ย	2788.1	2830.8	42.7	22.91
13/9/2560	1	2814.6	2886.8		
	2	2814.5	2886.7		
	3	2814.5	2886.7		
	เฉลี่ย	2814.5	2886.7	72.2	36.55
14/9/2560	1	2769.4	2840.9		
	2	2769.2	2840.8		
	3	2769.2	2840.8		
	เฉลี่ย	2769.3	2840.8	71.6	37.01
15/9/2560	1	2788.9	2870.5		
	2	2788.9	2870.4		
	3	2788.9	2870.4		
	เฉลี่ย	2788.9	2870.4	81.5	40.72
X \pm SD (ก.ย.)					32.49 \pm 7.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-2 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง		
9/10/2560	1	2756.2	2830.8		
	2	2756.1	2830.7		
	3	2756.1	2830.7		
	เฉลี่ย	2756.1	2830.7	74.6	36.96
10/10/2560	1	2765.6	2813.9		
	2	2765.5	2813.8		
	3	2765.5	2813.8		
	เฉลี่ย	2765.5	2813.8	48.3	23.70
11/10/2560	1	2749.3	2794.4		
	2	2749.1	2794.3		
	3	2749.1	2794.3		
	เฉลี่ย	2749.2	2794.3	45.2	22.24
12/10/2560	1	2737.7	2787.2		
	2	2737.6	2787.1		
	3	2737.6	2787.1		
	เฉลี่ย	2737.6	2787.1	49.5	24.17
13/10/2560	1	2765.4	2816.9		
	2	2765.3	2816.8		
	3	2765.3	2816.8		
	เฉลี่ย	2765.3	2816.8	51.5	24.91
14/10/2560	1	2764.3	2834.9		
	2	2764.3	2834.8		
	3	2764.3	2834.8		
	เฉลี่ย	2764.3	2834.8	70.5	33.72
15/10/2560	1	2761.9	2815.9		
	2	2761.9	2815.7		
	3	2761.9	2815.7		
	เฉลี่ย	2761.9	2815.8	53.9	26.12
X \pm SD (ต.ค.)					27.40 \pm 5.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-2 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระดาศกรอง (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง		
13/11/2560	1	2723.6	2886.5		
	2	2723.6	2886.4		
	3	2723.5	2886.4		
	เฉลี่ย	2723.6	2886.4	162.9	79.79
14/11/2560	1	2760.6	2860.8		
	2	2760.5	2860.6		
	3	2760.5	2860.6		
	เฉลี่ย	2760.5	2860.7	100.1	49.16
15/11/2560	1	2769.4	2863.7		
	2	2769.4	2863.6		
	3	2769.4	2863.6		
	เฉลี่ย	2769.4	2863.6	94.2	46.02
16/11/2560	1	2740.8	2892.7		
	2	2740.7	2892.7		
	3	2740.7	2892.7		
	เฉลี่ย	2740.7	2892.7	152.0	74.13
17/11/2560	1	2767.9	2924.5		
	2	2767.9	2924.4		
	3	2767.9	2924.4		
	เฉลี่ย	2767.9	2924.4	156.5	76.32
18/11/2560	1	2739.6	2806.8		
	2	2739.5	2896.7		
	3	2739.5	2896.7		
	เฉลี่ย	2739.5	2896.7	157.2	76.42
19/11/2560	1	2728.2	2858.6		
	2	2728.1	2858.5		
	3	2728.1	2858.5		
	เฉลี่ย	2728.1	2858.5	130.4	63.19
X \pm SD (พ.ย.)					66.43 \pm 13.91

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-2 ข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (ต่อ)

วันที่	ครั้งที่	น้ำหนักกระตาศกรอง (mg)		น้ำหนักฝุ่น (mg)	ความเข้มข้นของฝุ่น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง		
รวม	ค่าเฉลี่ย				43.12
	SD				20.13
	Max				79.79
	Min				22.24

ภาคผนวก ค-3 ข้อมูลสภาพบรรยากาศก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง

ตาราง ค-3 ข้อมูลสภาพบรรยากาศก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง

วันที่	อุณหภูมิ (K)		ความดันบรรยากาศ (mmHg)		อัตราการไหล (Flow rate)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	
11/9/2560	308.65	307.15	755.3	756.0	45
12/9/2560	314.15	308.15	754.5	754.5	44
13/9/2560	308.15	308.65	754.5	751.5	46
14/9/2560	308.65	306.15	751.5	750.8	45
15/9/2560	306.15	304.15	750.8	752.3	46
9/10/2560	309.15	306.15	751.5	753.0	46
10/10/2560	306.15	306.15	753.0	753.8	46
11/10/2560	306.15	308.15	753.8	753.0	46
12/10/2560	306.15	305.15	754.5	754.5	46
13/10/2560	305.15	303.15	754.5	756.8	46
14/10/2560	303.15	301.65	756.8	756.8	46
15/10/2560	301.65	308.15	756.8	756.0	46
13/11/2560	307.15	307.15	756.8	756.0	46
14/11/2560	307.15	308.15	756.0	757.5	46
15/11/2560	308.15	305.15	757.5	756.0	46
16/11/2560	305.15	307.15	756.0	756.8	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-3 ข้อมูลสภาพบรรยากาศก่อนและหลังเก็บตัวอย่าง

วันที่	อุณหภูมิ (K)		ความดันบรรยากาศ (mmHg)		อัตราการไหล (Flow rate)
	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	ก่อนเก็บตัวอย่าง	หลังเก็บตัวอย่าง	
17/11/2560	307.15	305.15	756.8	756.0	46
18/11/2560	305.15	306.15	756.0	757.5	46
19/11/2560	304.15	306.15	757.5	756.8	46

ภาคผนวก ค-4 ผลการคำนวณการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำได้

ตาราง ค-4.1 ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำได้ (ไอออนลบ)

วันที่	ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	Fluoride	Chloride	Nitrate	Sulphate
11/9/2560	0.01	0.56	3.48	5.11
12/9/2560	0.03	0.37	2.39	6.08
13/9/2560	0.04	0.29	2.04	4.99
14/9/2560	0.04	0.64	4.56	6.12
15/9/2560	0.02	0.73	5.64	5.80
X \pm SD	0.03 \pm 0.01	0.52 \pm 0.18	3.62 \pm 1.50	5.62 \pm 0.54
9/10/2560	0.01	0.54	3.88	6.06
10/10/2560	0.05	0.88	2.95	6.68
11/10/2560	0.03	0.71	3.14	5.73
12/10/2560	0.06	0.96	4.09	5.81
13/10/2560	0.05	1.02	3.23	5.94
14/10/2560	0.02	1.09	5.01	6.14
15/10/2560	0.02	0.53	4.67	6.23
X \pm SD	0.03 \pm 0.02	0.82 \pm 0.23	3.85 \pm 0.79	6.08 \pm 0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-4.1 ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำได้ (ไอออนลบ) (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	Fluoride	Chloride	Nitrate	Sulphate
13/11/2560	0.07	0.82	3.52	5.67
14/11/2560	0.05	0.96	4.67	4.86
15/11/2560	0.03	0.43	2.98	5.85
16/11/2560	0.02	0.67	2.54	6.14
17/11/2560	0.04	0.55	3.89	5.92
18/11/2560	0.03	0.71	3.75	5.76
19/11/2560	0.02	1.05	4.81	4.57
X \pm SD	0.04 \pm 0.02	0.74 \pm 0.22	3.74 \pm 0.83	5.54 \pm 0.59

ตาราง ค-4.2 ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำได้ (ไอออนบวก)

วันที่	ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	Sodium	Ammonium	Potassium	Calcium
11/9/2560	1.01	0.29	4.17	2.91
12/9/2560	0.64	0.37	3.26	3.32
13/9/2560	0.79	0.41	5.15	3.07
14/9/2560	0.56	0.25	3.99	2.99
15/9/2560	0.71	0.33	4.04	3.04
X \pm SD	0.74 \pm 0.15	0.33 \pm 0.06	4.12 \pm 0.06	3.07 \pm 0.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-4.2 ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำได้ (ไอออนบวก) (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำได้ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	Sodium	Ammonium	Potassium	Calcium
9/10/2560	0.68	0.38	3.67	3.11
10/10/2560	0.52	0.46	3.85	2.78
11/10/2560	1.07	0.21	4.01	2.83
12/10/2560	0.60	0.19	3.12	2.91
13/10/2560	0.58	0.23	3.40	2.67
14/10/2560	0.62	0.34	3.61	2.55
15/10/2560	1.02	0.16	3.58	3.01
X \pm SD	0.73 \pm 0.22	0.28 \pm 0.11	3.61 \pm 0.29	2.84 \pm 0.19
13/11/2560	0.66	0.28	4.22	2.75
14/11/2560	0.59	0.19	5.09	2.98
15/11/2560	0.49	0.23	3.01	3.40
16/11/2560	0.98	0.31	3.06	1.99
17/11/2560	0.75	0.25	3.15	2.06
18/11/2560	0.72	0.28	3.79	2.80
19/11/2560	0.63	0.18	3.28	2.10
X \pm SD	0.69 \pm 0.15	0.25 \pm 0.05	3.66 \pm 0.77	2.58 \pm 0.54

ภาคผนวก ค-5 ผลการคำนวณการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก

ตาราง ค-5 ความเข้มข้นของโลหะหนัก

วันที่	ความเข้มข้นของโลหะหนัก ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	Cd	Cu	Zn	Fe	Pb	Ni
11/9/2560	0.0516	0.0100	0.5865	0.3364	0.1740	0.0471
12/9/2560	0.0500	0.0063	0.5018	0.5677	0.1742	0.0414
13/9/2560	0.0511	0.0088	0.5421	0.6151	0.2219	0.0641
14/9/2560	0.0539	0.0138	0.6241	0.5195	0.1745	0.0444

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-5 ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ug/m ³)					
	Cd	Cu	Zn	Fe	Pb	Ni
15/9/2560	0.0566	0.0138	0.5801	0.5532	0.1961	0.0557
X±SD	0.05±0.00	0.01±0.00	0.57±0.05	0.52±0.11	0.19±0.02	0.05±0.01
9/10/2560	0.0402	0.0297	0.5038	0.6518	0.5117	0.1859
10/10/2560	0.0446	0.0284	0.5350	0.6106	0.5632	0.2027
11/10/2560	0.0364	0.0171	0.4831	0.4919	0.4725	0.1763
12/10/2560	0.0413	0.0334	0.5018	0.6889	0.5067	0.1922
13/10/2560	0.0314	0.0146	0.4396	0.4108	0.4070	0.1487
14/10/2560	0.0406	0.0383	0.4911	0.7086	0.5576	0.1900
15/10/2560	0.0401	0.0246	0.5101	0.6137	0.5362	0.1957
X±SD	0.04±0.00	0.03±0.01	0.49±0.03	0.60±0.11	0.51±0.05	0.18±0.02
13/11/2560	0.0268	0.0354	0.4731	0.5563	0.3821	0.1429
14/11/2560	0.0252	0.0445	0.4496	0.5114	0.3836	0.1448
15/11/2560	0.0212	0.0308	0.4051	0.3835	0.2974	0.1232
16/11/2560	0.0192	0.0420	0.4094	0.5304	0.3031	0.1288
17/11/2560	0.0216	0.0545	0.4642	0.6910	0.3089	0.1269
18/11/2560	0.0241	0.0254	0.4404	0.2928	0.3606	0.1476
19/11/2560	0.0243	0.0337	0.4399	0.4958	0.3807	0.1542
X±SD	0.02±0.00	0.04±0.01	0.44±0.03	0.49±0.13	0.35±0.04	0.14±0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค-6 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

ตาราง ค-6 ร้อยละธาตุองค์ประกอบในฝุ่นละออง

เดือน	ร้อยละธาตุองค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน								
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	ZnO	BaO
กันยายน	12.9	0.529	6.66	63.3	3.23	3.76	2.51	1.65	5.42
ตุลาคม	12.3	0.442	6.87	63.3	3.35	3.82	2.70	1.68	5.50
พฤศจิกายน	10.1	0.694	6.71	58.6	8.57	4.27	3.35	1.85	5.82
ค่าเฉลี่ย	11.77	0.56	6.75	61.73	5.05	3.95	2.85	1.73	5.58
S.D.	1.47	0.13	0.11	2.71	3.05	0.28	0.44	0.11	0.21
Max	12.90	0.69	6.87	63.30	8.57	4.27	3.35	1.85	5.82
Min	10.10	0.44	6.66	58.60	3.23	3.76	2.51	1.65	5.42

ภาคผนวก ค-7 ผลการทดลองการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอนินทรีย์

ตาราง ค-7 ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์และสารคาร์บอนอนินทรีย์

วันที่	TOC	IC
11/9/2560	0.15	0.00
12/9/2560	0.29	0.01
13/9/2560	0.28	0.01
14/9/2560	0.25	0.00
15/9/2560	0.13	0.00
X±SD	0.22±0.07	0.00±0.00
9/10/2560	0.27	0.01
10/10/2560	0.15	0.01
11/10/2560	0.18	0.01
12/10/2560	0.17	0.01
13/10/2560	0.18	0.00
14/10/2560	0.24	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-7 ความเข้มข้นของสารคาร์บอนอินทรีย์และสารคาร์บอนอินทรีย์ (ต่อ)

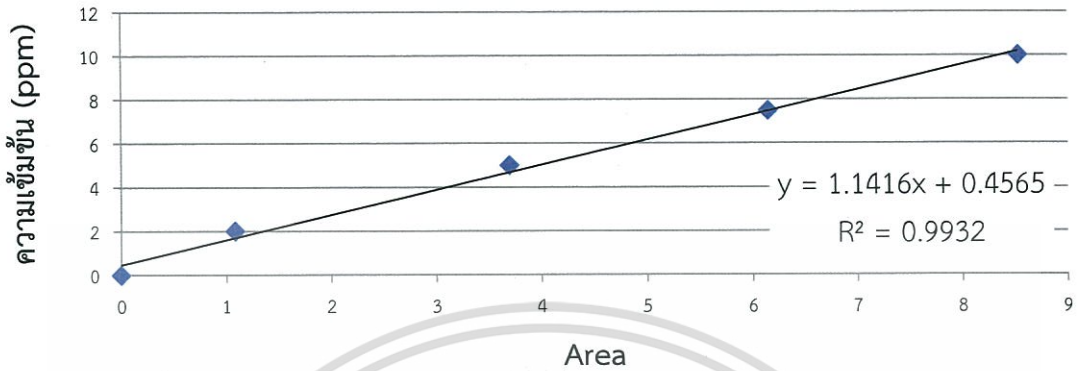
วันที่	TOC	IC
15/10/2560	0.19	0.00
X±SD	0.20±0.04	0.01±0.00
13/11/2560	0.28	0.00
14/11/2560	0.23	0.00
15/11/2560	0.23	0.01
16/11/2560	0.34	0.00
17/11/2560	0.48	0.00
18/11/2560	0.12	0.00
19/11/2560	0.23	0.01
X±SD	0.27±0.11	0.00±0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

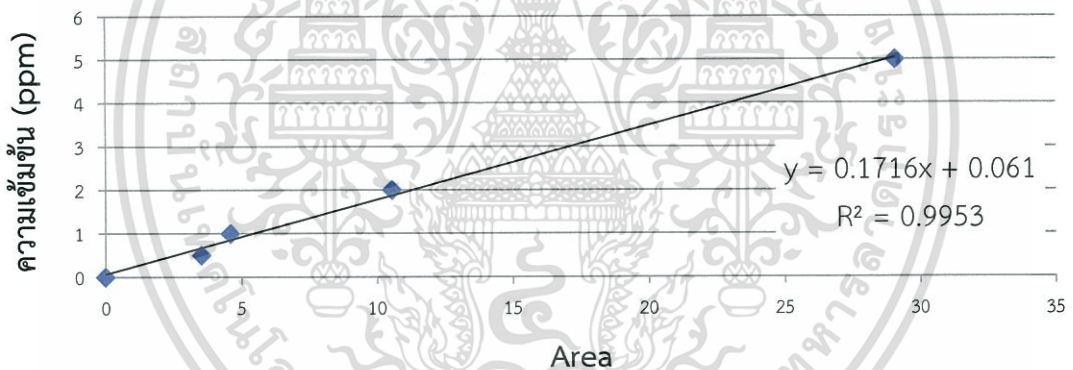
ภาคผนวก ง-1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณไอออนละลายน้ำได้

กราฟมาตรฐาน Sodium



รูปที่ ง-1.1 กราฟมาตรฐานโซเดียมไอออน (Na^+)

กราฟมาตรฐาน Ammonium

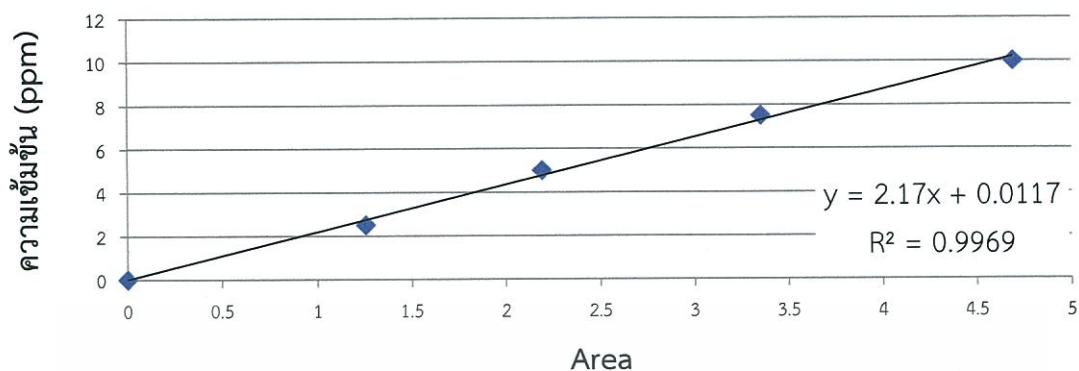


รูปที่ ง-1.2 กราฟมาตรฐานแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

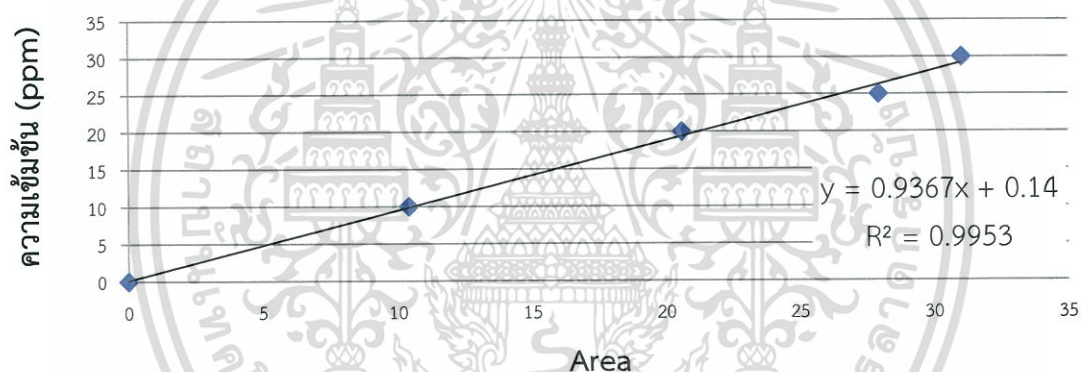
ภาคผนวก ง-1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณไอออนละลายน้ำได้ (ต่อ)

กราฟมาตรฐาน Potassium



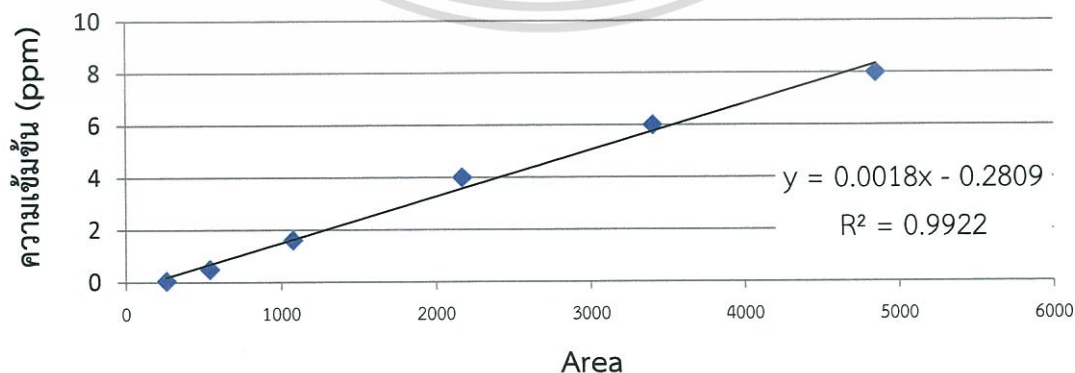
รูปที่ ง-1.3 กราฟมาตรฐานโพแทสเซียมไอออน (K^+)

กราฟมาตรฐาน Calcium



รูปที่ ง-1.4 กราฟมาตรฐานแคลเซียมไอออน (Ca^{2+})

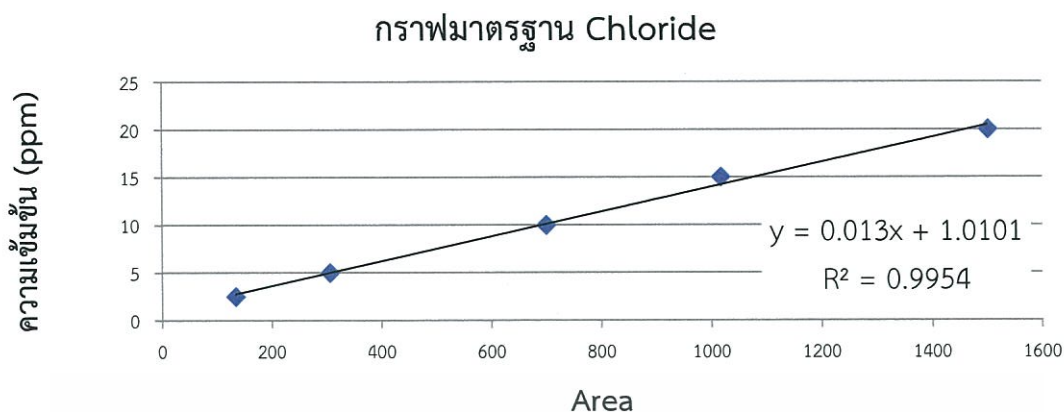
กราฟมาตรฐาน Fluoride



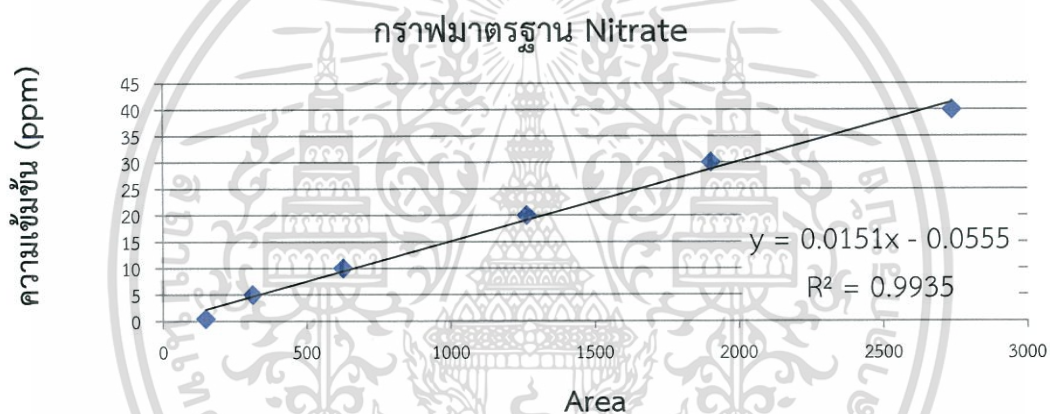
รูปที่ ง-1.5 กราฟมาตรฐานฟลูออไรด์ไอออน (F^-)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

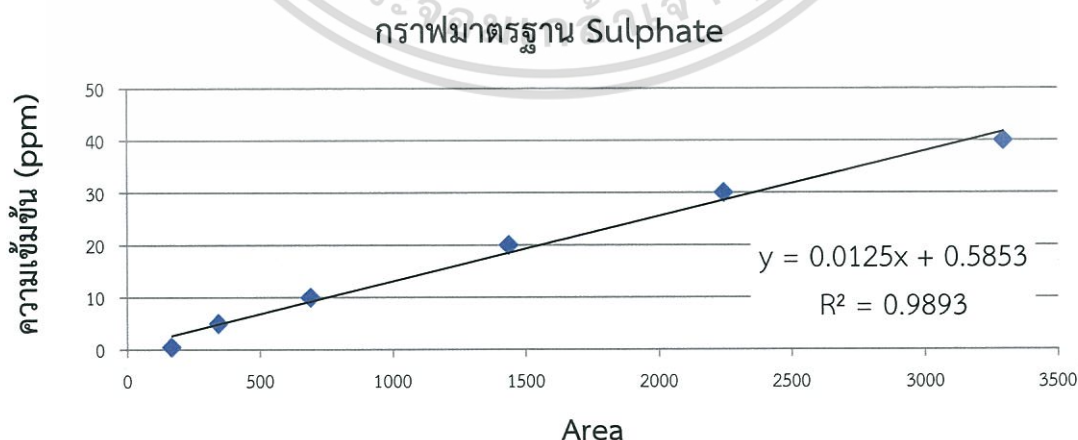
ภาคผนวก ง-1 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณไอออนละลายน้ำได้ (ต่อ)



รูปที่ ง-1.6 กราฟมาตรฐานคลอไรด์ไอออน (Cl)



รูปที่ ง-1.7 กราฟมาตรฐานไนเตรตไอออน (NO₃⁻)

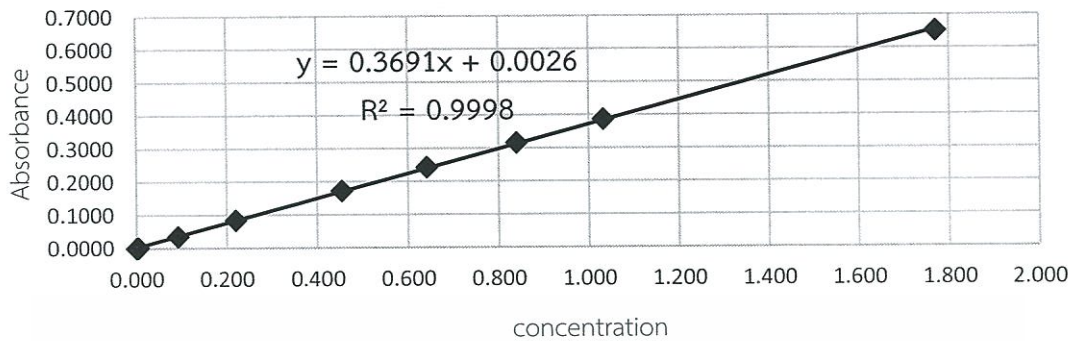


รูปที่ ง-1.8 กราฟมาตรฐานซัลเฟตไอออน (SO₄²⁻)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

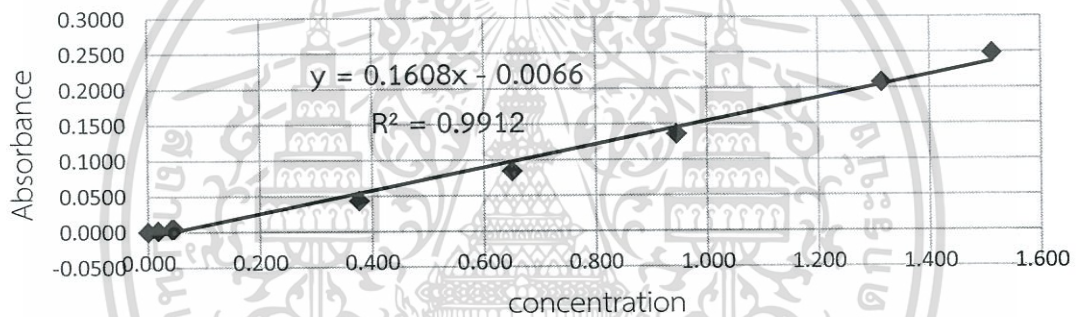
ภาคผนวก ง-2 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก

กราฟมาตรฐานแคดเมียม (Cd)



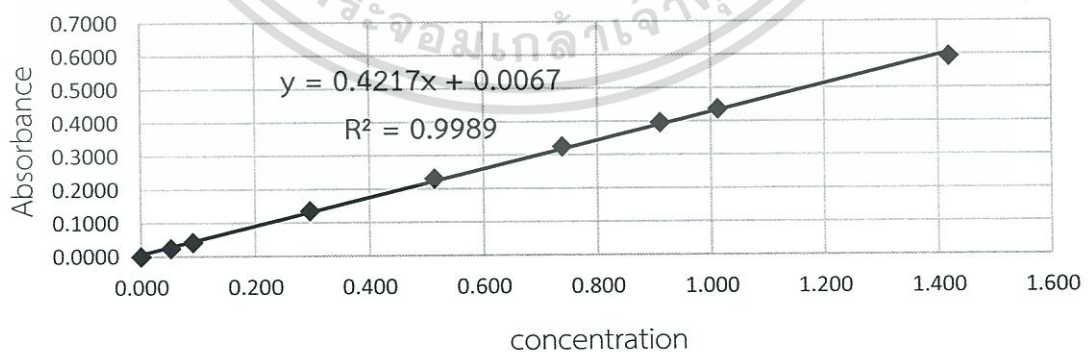
รูปที่ ง-2.1 กราฟมาตรฐานแคดเมียม

กราฟมาตรฐานคอปเปอร์ (Cu)



รูปที่ ง-2.2 กราฟมาตรฐานคอปเปอร์

กราฟมาตรฐานสังกะสี (Zn)

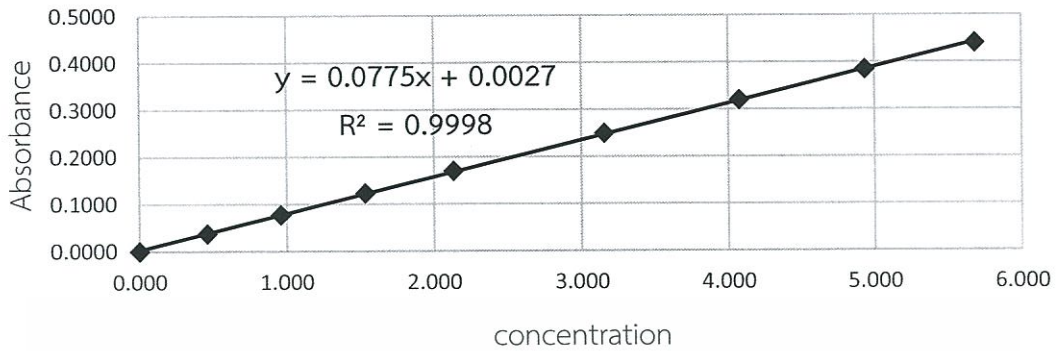


รูปที่ ง-2.3 กราฟมาตรฐานสังกะสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

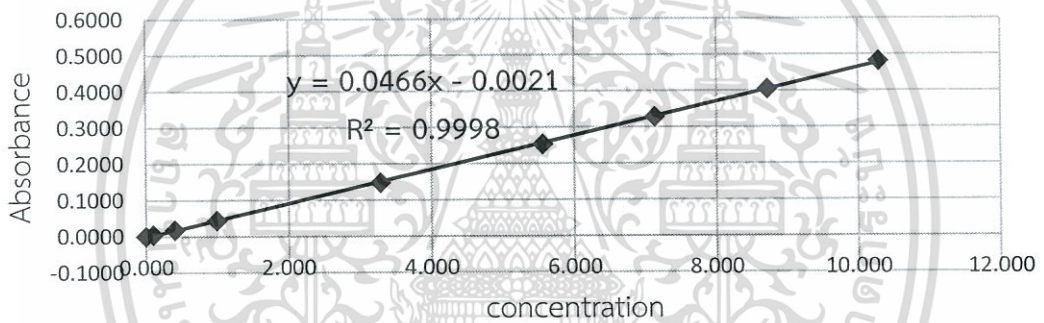
ภาคผนวก ง-2 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนัก (ต่อ)

กราฟมาตรฐานเหล็ก (Fe)



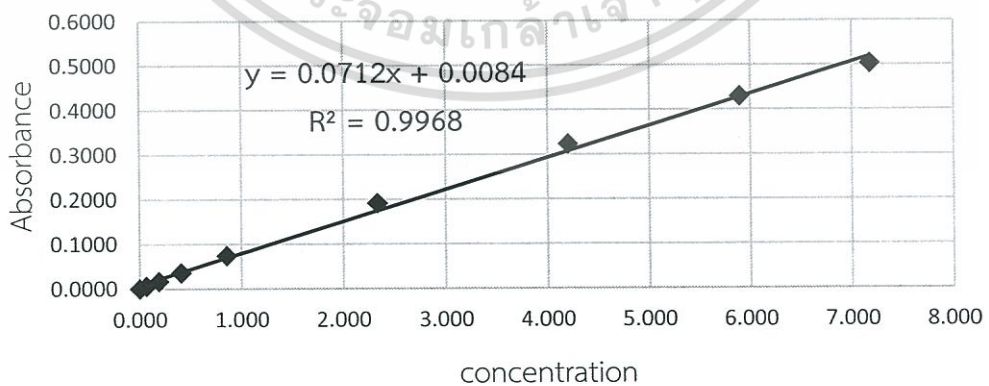
รูปที่ ง-2.4 กราฟมาตรฐานเหล็ก

กราฟมาตรฐานตะกั่ว (Pb)



รูปที่ ง-2.5 กราฟมาตรฐานตะกั่ว

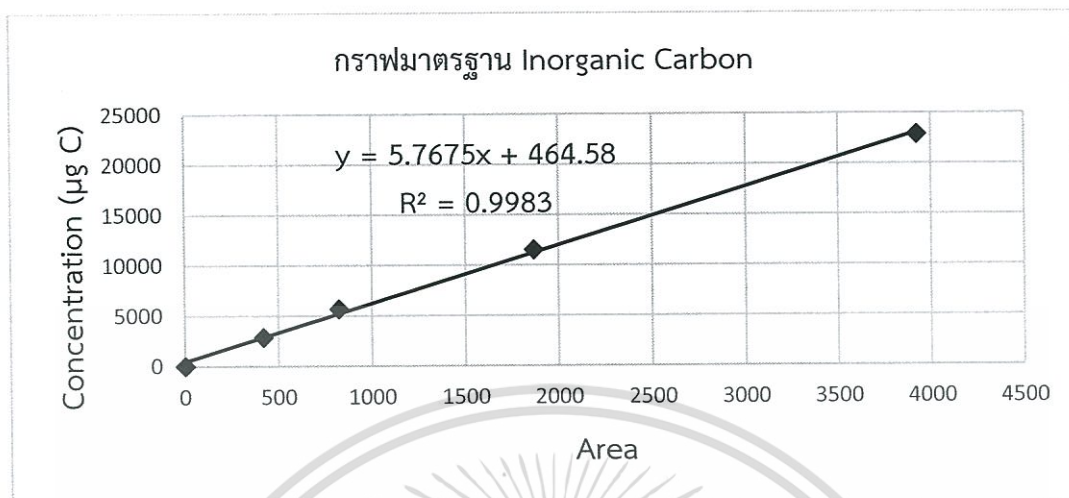
กราฟมาตรฐานนิกเกิล (Ni)



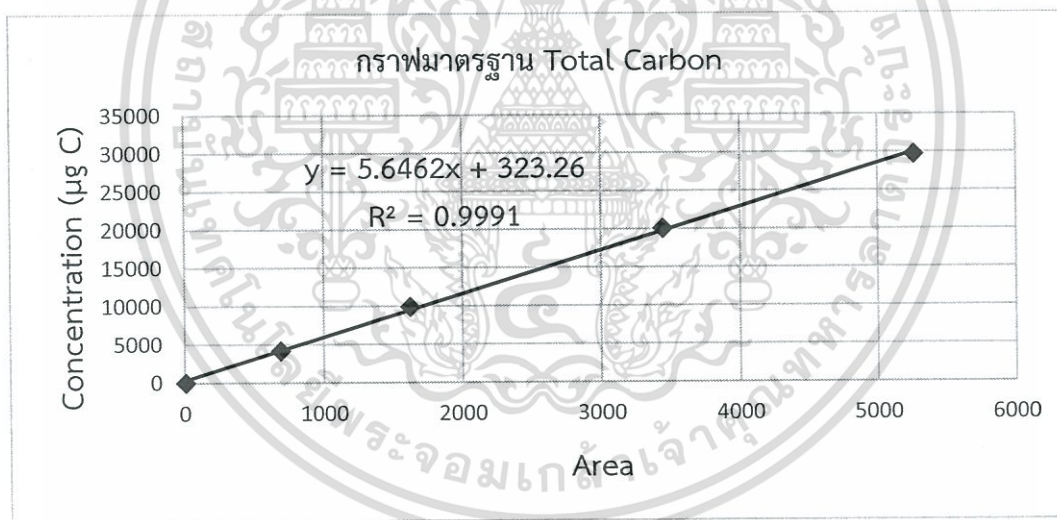
รูปที่ ง-2.6 กราฟมาตรฐานนิกเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง-3 กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์หาปริมาณความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์และสารคาร์บอนอินทรีย์ของฝุ่นละอองในตัวอย่างอากาศ



รูปที่ ง-3.1 กราฟมาตรฐานคาร์บอนอินทรีย์



รูปที่ ง-3.2 กราฟมาตรฐานคาร์บอนทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การวิจัยทางสถิติ

ภาคผนวก จ-1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	6099	3049.41	30.50	0.000
Error	16	1599	99.97		
Total	18	7698			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
9.99836	79.22%	76.63%	71.07%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	66.43	13.91	(58.42, 74.44)
oct	7	27.40	5.63	(19.39, 35.41)
sep	5	32.49	7.89	(23.01, 41.97)

Pooled StDev = 9.99836

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
nov	7	66.43	A
sep	5	32.49	B
oct	7	27.40	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำได้ในอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในแต่ละเดือน

ภาคผนวก จ-2.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโซเดียมไอออนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.009502	0.004751	0.14	0.874
Error	16	0.559509	0.034969		
Total	18	0.569011			

Model Summary

	S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
	0.187001	1.67%	0.00%	0.00%

Means

Month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.6886	0.1544	(0.5387, 0.8384)
oct	7	0.7271	0.2228	(0.5773, 0.8770)
sep	5	0.7420	0.1722	(0.5647, 0.9193)

Pooled StDev = 0.187001

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
sep	5	0.7420	A
oct	7	0.7271	A
nov	7	0.6886	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-2.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.02072	0.010361	1.56	0.240
Error	16	0.10606	0.006629		
Total	18	0.12678			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0814160	16.34%	5.89%	0.00%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.2457	0.0486	(0.1805, 0.3109)
oct	7	0.2814	0.1125	(0.2162, 0.3467)
sep	5	0.3300	0.0632	(0.2528, 0.4072)

Pooled StDev = 0.0814160

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
sep	5	0.3300	A
oct	7	0.2814	A
nov	7	0.2457	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-2.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอออนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.8959	0.4480	1.22	0.322
Error	16	5.8948	0.3684		
Total	18	6.7907			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.606980	13.19%	2.34%	0.00%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	3.657	0.771	(3.171, 4.143)
oct	7	3.606	0.290	(3.119, 4.092)
sep	5	4.122	0.676	(3.547, 4.697)

Pooled StDev = 0.606980

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
sep	5	4.122	A
nov	7	3.657	A
oct	7	3.606	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-2.4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคลเซียมไอออนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.6932	0.3466	2.67	0.100
Error	16	2.0772	0.1298		
Total	18	2.7704			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.360313	25.02%	15.65%	0.00%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	2.583	0.541	(2.294, 2.872)
oct	7	2.8371	0.1929	(2.5484, 3.1258)
sep	5	3.0660	0.1544	(2.7244, 3.4076)

Pooled StDev = 0.360313

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
sep	5	3.0660	A
oct	7	2.8371	A
nov	7	2.583	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-2.5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของฟลูออไรด์ไอออนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.000248	0.000124	0.41	0.668
Error	16	0.004794	0.000300		
Total	18	0.005042			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0173102	4.92%	0.00%	0.00%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.03714	0.01799	(0.02327, 0.05101)
oct	7	0.03429	0.01902	(0.02042, 0.04816)
sep	5	0.02800	0.01304	(0.01159, 0.04441)

Pooled StDev = 0.0173102

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
nov	7	0.03714	A
oct	7	0.03429	A
sep	5	0.02800	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-2.6 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.2737	0.13686	2.98	0.079
Error	16	0.7351	0.04594		
Total	18	1.0088			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.214338	27.13%	18.03%	0.00%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.7414	0.2194	(0.5697, 0.9132)
oct	7	0.8186	0.2276	(0.6468, 0.9903)
sep	5	0.5180	0.1840	(0.3148, 0.7212)

Pooled StDev = 0.214338

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
oct	7	0.8186	A
nov	7	0.7414	A
sep	5	0.5180	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-2.7 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของไนเตรตไอออนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.1571	0.07856	0.07	0.929
Error	16	16.8662	1.05414		
Total	18	17.0233			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
1.02671	0.92%	0.00%	0.00%

Means

Month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	3.737	0.826	(2.914, 4.560)
oct	7	3.853	0.793	(3.030, 4.676)
sep	5	3.622	1.499	(2.649, 4.595)

Pooled StDev = 1.02671

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
oct	7	3.853	A
nov	7	3.737	A
sep	5	3.622	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-2.8 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของซัลเฟตไอออนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	1.177	0.5887	2.46	0.117
Error	16	3.821	0.2388		
Total	18	4.999			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.488714	23.55%	14.00%	0.00%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	5.539	0.587	(5.147, 5.930)
oct	7	6.084	0.317	(5.693, 6.476)
sep	5	5.620	0.536	(5.157, 6.083)

Pooled StDev = 0.488714

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
oct	7	6.084	A
sep	5	5.620	A
nov	7	5.539	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในอนุภาคฝุ่นละออง
ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในแต่ละเดือน

ภาคผนวก จ-3.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคดเมียมในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.002588	0.001294	118.01	0.000
Error	16	0.000175	0.000011		
Total	18	0.002763			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0033111	93.65%	92.86%	91.16%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.023215	0.002637	(0.020562, 0.025868)
oct	7	0.03923	0.00420	(0.03658, 0.04188)
sep	5	0.05264	0.00263	(0.04950, 0.05578)

Pooled StDev = 0.00331113

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
sep	5	0.05264	A
oct	7	0.03923	B
nov	7	0.023215	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-3.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคอปเปอร์ในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.002207	0.001103	16.93	0.000
Error	16	0.001043	0.000065		
Total	18	0.003250			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0080737	67.91%	63.90%	56.05%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.03805	0.00971	(0.03158, 0.04452)
oct	7	0.02659	0.00851	(0.02012, 0.03305)
sep	5	0.01054	0.00326	(0.00289, 0.01819)

Pooled StDev = 0.00807372

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
nov	7	0.03805	A
oct	7	0.02659	B
sep	5	0.01054	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-3.3 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสังกะสีในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.04682	0.023410	21.06	0.000
Error	16	0.01779	0.001112		
Total	18	0.06461			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0333433	72.47%	69.03%	59.82%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.44024	0.02558	(0.41353, 0.46696)
oct	7	0.4949	0.0294	(0.4682, 0.5216)
sep	5	0.5669	0.0466	(0.5353, 0.5985)

Pooled StDev = 0.0333433

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
sep	5	0.5669	A
oct	7	0.4949	B
nov	7	0.44024	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-3.4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเหล็กในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.03924	0.01962	1.47	0.259
Error	16	0.21321	0.01333		
Total	18	0.25245			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.115437	15.54%	4.99%	0.00%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.4945	0.1272	(0.4020, 0.5870)
oct	7	0.5966	0.1081	(0.5041, 0.6891)
sep	5	0.5184	0.1074	(0.4089, 0.6278)

Pooled StDev = 0.115437

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
oct	7	0.5966	A
sep	5	0.5184	A
nov	7	0.4945	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-3.5 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของตะกั่วในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.30194	0.150971	82.52	0.000
Error	16	0.02927	0.001829		
Total	18	0.33121			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0427718	91.16%	90.06%	87.86%

Means

Month	N	Mean	StDev	95% CI
Nov	7	0.3452	0.0402	(0.3109, 0.3795)
Oct	7	0.5078	0.0544	(0.4736, 0.5421)
Sep	5	0.18814	0.02112	(0.14759, 0.22869)

Pooled StDev = 0.0427718

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
oct	7	0.5078	A
nov	7	0.3452	B
sep	5	0.18814	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-3.6 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของนิกเกิลในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.052753	0.026376	136.51	0.000
Error	16	0.003092	0.000193		
Total	18	0.055844			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0139004	94.46%	93.77%	92.34%

Means

month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.13834	0.01191	(0.12721, 0.14948)
oct	7	0.18450	0.01778	(0.17336, 0.19564)
sep	5	0.05054	0.00927	(0.03736, 0.06372)

Pooled StDev = 0.0139004

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
oct	7	0.18450	A
nov	7	0.13834	B
sep	5	0.05054	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ-4 การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของคาร์บอนอินทรีย์ในอนุภาคฝุ่น
ละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในแต่ละเดือน

Factor Information

Factor	Levels	Values
month	3	nov, oct, sep

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
month	2	0.02008	0.010040	1.47	.0259
Error	16	0.10930	0.006831		
Total	18	0.12938			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0826503	15.52%	4.96%	0.00%

Means

Month	N	Mean	StDev	95% CI
nov	7	0.2725	0.1136	(0.2063, 0.3388)
oct	7	0.1981	0.0426	(0.1319, 0.2643)
sep	5	0.2218	0.0725	(0.1434, 0.3001)

Pooled StDev = 0.0826503

Tukey Pairwise Comparisons Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

month	N	Mean	Grouping
nov	7	0.2725	A
sep	5	0.2218	A
oct	7	0.1981	A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้