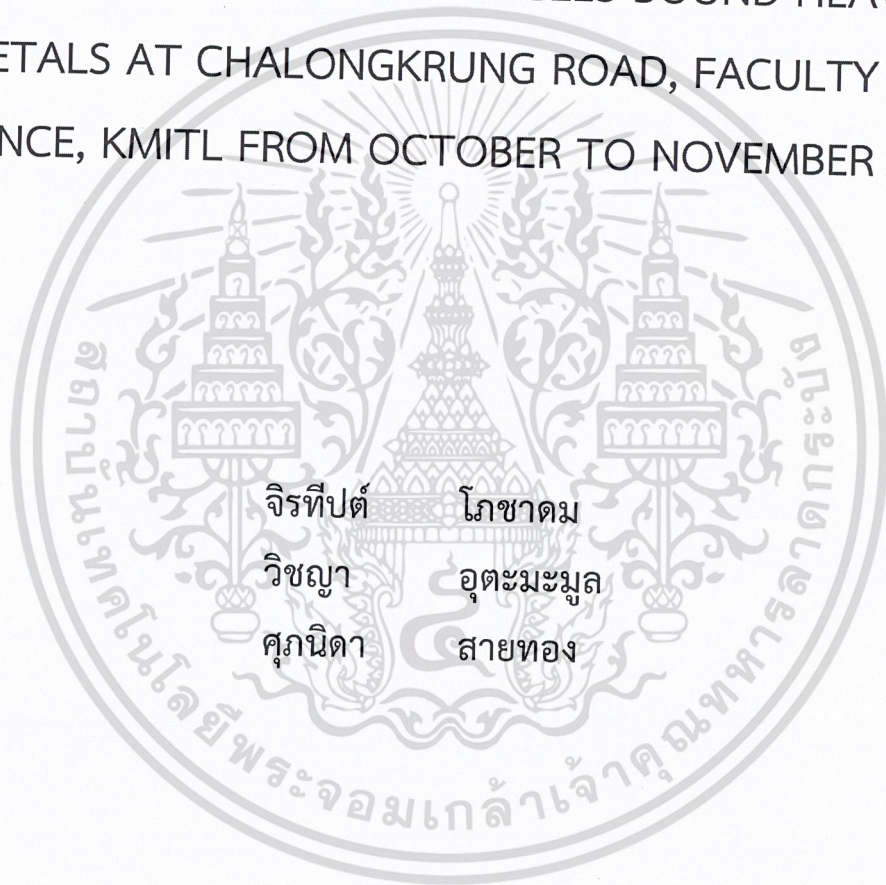


การศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$, PM_{10} และโลหะหนัก
ที่จับกับอนุภาคฝุ่นละอองบริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะ
วิทยาศาสตร์ สจล. ระหว่างเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน 2562

STUDY ON CONCENTRATIONS OF $PM_{2.5}$, PM_{10} AND
THEIR ATMOSPHERIC PARTICLES BOUND HEAVY
METALS AT CHALONGKRUNG ROAD, FACULTY OF
SCIENCE, KMITL FROM OCTOBER TO NOVEMBER 2019



จิรทีปต์ โภชาตม
วิชญา อุตมะมมูล
ศุภนิดา สายทอง

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่เห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปะลงในเอกสารอื่นใด และขอสงวนลิขสิทธิ์ไว้ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ปีการศึกษา 2562

STUDY ON CONCENTRATIONS OF PM_{2.5}, PM₁₀ AND
THEIR ATMOSPHERIC PARTICLES BOUND HEAVY
METALS AT CHALONGKRUNG ROAD, FACULTY OF
SCIENCE, KMITL FROM OCTOBER TO NOVEMBER 2019



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคนที่ลงทะเบียนเรียนเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2019

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5}, PM₁₀ และโลหะหนักที่จับกับอนุภาคฝุ่นละอองบริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ระหว่างเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน 2562

STUDY ON CONCENTRATIONS OF PM_{2.5}, PM₁₀ AND THEIR ATMOSPHERIC PARTICLES BOUND HEAVY METALS AT CHALONGKRUNG ROAD, FACULTY OF SCIENCE, KMITL FROM OCTOBER TO NOVEMBER 2019

ชื่อนักศึกษา

นายจิรทีปต์	โกชาตม	รหัสนักศึกษา 59050536
นางสาววิชญา	อุตะมะมุล	รหัสนักศึกษา 59050612
นางสาวศุภนิดา	สายทอง	รหัสนักศึกษา 59050621

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

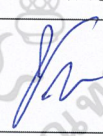


ปีการศึกษา

2562

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2562

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

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$, PM_{10} และโลหะหนักที่จับกับอนุภาคฝุ่นละอองบริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ระหว่างเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน 2562		
ชื่อนักศึกษา	นายจิรทีปต์ โภชาตม	รหัสนักศึกษา	59050536
	นางสาววิชญา อุดมะมมูล	รหัสนักศึกษา	59050612
	นางสาวศุภนิดา สายทอง	รหัสนักศึกษา	59050621
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2562		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และโลหะหนักที่จับกับอนุภาคฝุ่นละอองเหล่านี้บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. เก็บตัวอย่างด้วยเทคนิคการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างทุก 3 วัน ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึง 30 พฤศจิกายน 2562 วิเคราะห์หาความเข้มข้นฝุ่นด้วยเทคนิคกราวิเมตริก และวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละออง 6 ชนิด ได้แก่ นิกเกิล (Ni), สังกะสี (Zn), ทองแดง (Cu), โครเมียม (Cr), แมงกานีส (Mn) และตะกั่ว (Pb) โดยใช้วิธีการสกัดด้วยกรด และวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ศึกษาสัมพันธภาพของอนุภาคฝุ่นโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จากผลการศึกษาพบว่าตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่เก็บในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน 2562 มีลักษณะเป็นฟล็อก หรือมีลักษณะปุย กลุ่มอนุภาครวมตัว หลวม ๆ ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต ค่าความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน 2562 มีค่าในช่วง 1.59-37.44 และ 6.05-54.35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ สำหรับค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน 2562 มีค่าในช่วง 9.86-59.65 และ 36.50-92.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ โดยพบความเข้มข้นของโลหะหนักที่จับกับฝุ่น $PM_{2.5}$ ในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน 2562 มีดังนี้ นิกเกิล 9.76 ± 17.80 และ 4.48 ± 6.64 mg/g สังกะสี 9.18 ± 10.86 และ 2.81 ± 2.88 mg/g ทองแดง 2.12 ± 1.72 และ 1.10 ± 1.49 mg/g โครเมียม 0.46 ± 1.39 และ 2.69 ± 1.43 mg/g แมงกานีส 0.19 ± 0.57 และ 0.33 ± 0.44 mg/g ตะกั่ว 0.05 ± 0.16 mg/g และไม่พบตะกั่ว ตามลำดับ สำหรับค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่จับกับฝุ่น PM_{10} ในเดือนตุลาคมและพฤศจิกายน 2562 มีดังนี้ สังกะสี 0.46 ± 0.31 และ 1.62 ± 0.54 mg/g ทองแดง 1.03 ± 0.36 และ 0.57 ± 0.15 mg/g นิกเกิล 0.68 ± 0.53 และ 0.02 ± 0.01 mg/g แมงกานีส 0.23 ± 0.13 และ 0.36 ± 0.14 mg/g โครเมียม 0.13 ± 0.19 และ 0.46 ± 0.31 mg/g ตะกั่ว 0.15 ± 0.15 mg/g และไม่พบตะกั่ว ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่มีผู้ใดเห็นชอบใช้ประโยชน์ด้านการค้า

คำสำคัญ : ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน, ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน, โลหะหนัก, ริมถนน

Special Project Title	Study on Concentrations of PM _{2.5} , PM ₁₀ and their Atmospheric Particles bound Heavy Metals at Chalongkrung Road, Faculty of Science, KMITL from October to November 2019		
Students	Mr. Jirateep Pochadom	Student ID. 59050536	
	Miss Wichaya Autamamoon	Student ID. 59050612	
	Miss Supanida Saithong	Student ID. 59050621	
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2019		
Advisor	Assoc. Prof. Suwanee Junyapoon		

Abstract

This special project studied concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ including heavy metals bound on the particles at Chalongkrung Road, Faculty of Science, KMITL. Air samples were collected for 24 hours using systematic completely randomized design (once every three days) between 1st October and 30th November, 2019. Concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ were measured by gravimetric method whereas concentrations of heavy metals bound on the particles were extracted with hot acid extraction and then analyzed with Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Morphologies of PM_{2.5} and PM₁₀ were observed with Scanning Electron Microscope (SEM). Flocs or fluffy appearance, soot aggregation and irregular shapes were observed in PM_{2.5} and PM₁₀. The concentrations of PM_{2.5} between October and November 2019 were ranged from 1.59 to 37.44 µg/m³ and 6.05 to 54.35 µg/m³, respectively. While the concentrations of PM₁₀ between October and November 2019 were ranged from 9.86 to 59.65 µg/m³ and 36.50 to 92.10 µg/m³, respectively. The concentrations of heavy metals bound on PM_{2.5} between October and November 2019 were found as follows: Ni 9.76±17.80, 4.48±6.64 mg/g, Zn 9.18±10.86, 2.81±2.88 mg/g, Cu 2.12±1.72, 1.10±1.49 mg/g, Cr 0.46±1.39, 2.69±1.43 mg/g, Mn 0.19±0.57, 0.33±0.44 mg/g, Pb 0.05±0.16 mg/g, and non-detected, respectively. The concentrations of heavy metals bound on PM₁₀ between October and November 2019 were found as follows: Zn 0.46±0.31, 1.62±0.54 mg/g, Cu 1.03±0.36, 0.57±0.15 mg/g, Ni 0.68±0.53, 0.02±0.01 mg/g, Mn 0.23±0.13, 0.36±0.14 mg/g, Cr 0.13±0.19, 0.46±0.31 mg/g, Pb 0.15±0.15 mg/g, and non-detected, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไวสำหรับกรใช้งานเพื่การศึกษาเท่านั้น เมื่อผูยืมไดเห็นใบรับประโยชน์ด้านการค้า

Keywords: PM_{2.5}, PM₁₀, Heavy Metals, Roadside ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีได้รับคำปรึกษาและแนะนำจาก รศ.ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ในการช่วยเหลือ การจัดหาอุปกรณ์ที่จำเป็นในการทดลอง ตลอดจนได้รับคำปรึกษาเสนอแนะ และคอยแก้ไขข้อบกพร่อง ปรับปรุงโครงการพิเศษนี้ให้เหมาะสม และถูกต้อง

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

ขอขอบคุณ คุณณัฐพล ไกรธรรม, คุณสาคร สอนพงษ์, คุณชัชชัย ลัทธิลักขณา, คุณศรัณย์ สมบัติจิราภรณ์ และคุณพีรพัฒน์ ไกรวัฒนวงศ์ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเคมี ภาควิชาเคมีที่ให้ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

ขอขอบคุณ คุณภาณุวัฒน์ ภัคดีโชติ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ช่วยเหลือในการซักระดาดากรองที่ใช้เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ขอขอบคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ช่วยเหลือในการดูแล และการช่วยเหลือการใช้เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาทุกท่านที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนการทำโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

จิรทีปต์ โภชาดม

วิชญา อุตมะมุล

ศุภนิดา สายทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 อนุภาคฝุ่นละออง.....	4
2.1.1 ความหมายของอนุภาคฝุ่นละออง.....	4
2.1.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง.....	6
2.1.3 สัณฐานของฝุ่นละออง.....	8
2.1.4 การแพร่กระจายของฝุ่นละออง.....	10
2.1.5 ผลกระทบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	11
2.1.6 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ.....	13
2.2 โลหะหนัก.....	13
2.2.1 ความหมายของโลหะหนัก.....	13
2.2.2 ความเป็นพิษของโลหะหนัก.....	15
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	27
3.2 พื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง.....	28
3.3 วิธีการเก็บตัวอย่าง PM _{2.5} ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง PQ 200.....	30
3.4 วิธีการเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่าง High Volume Air Sampler.....	31
3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง PM _{2.5} และ PM ₁₀	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	33
4.1 ผลการศึกษาสัณฐานของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองด้วยเครื่อง SEM	33
4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้น PM _{2.5} และ PM ₁₀	35
4.3 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของโลหะหนักในฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	44
5.1 สรุปผลการวิจัย	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	45
เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	50
ภาคผนวก ก.....	51
ภาคผนวก ข.....	53
ภาคผนวก ค.....	56
ภาคผนวก ง.....	92
ภาคผนวก จ.....	104
ภาคผนวก ฉ.....	105
ภาคผนวก ช.....	121
ภาคผนวก ซ.....	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภาพเปรียบเทียบขนาดของอนุภาคชนิด PM ₁₀ และ PM _{2.5}	6
2.2 ลักษณะสัณฐานของอนุภาค.....	9
2.3 การแพร่กระจายของอนุภาคแบบ Trimodal Size Distribution.....	11
2.4 ขนาดของอนุภาคฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจระดับต่าง ๆ	12
3.1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างในคณะวิทยาศาสตร์.....	29
3.2 แผนที่แสดงตำแหน่งตัวอย่างฝุ่นของกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง, เขตนิคมอุตสาหกรรม	29
4.1 วิเคราะห์สัณฐานของอนุภาคด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า	34
4.2 วิเคราะห์สัณฐานของอนุภาคด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 25,000 เท่า	35
4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM _{2.5})	36
4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM ₁₀).....	36
4.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง PM _{2.5} หน้าคณะวิทยาศาสตร์ และความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM _{2.5} หน้าโรงพยาบาลลาดกระบัง.....	38
4.6 สัดส่วน PM _{2.5} ต่อ PM ₁₀ ความเข้มข้น 24 ชั่วโมงของ PM _{2.5}	39
4.7 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่จับกับ PM _{2.5} ในเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562	40
4.8 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่จับกับ PM ₁₀ ในเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562	43
ง-1 กราฟมาตรฐานทองแดง (วันที่วิเคราะห์ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562).....	92
ง-2 กราฟมาตรฐานทองแดง (วันที่วิเคราะห์ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2562).....	93
ง-3 กราฟมาตรฐานโครเมียม (วันที่วิเคราะห์ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562).....	94
ง-4 กราฟมาตรฐานโครเมียม (วันที่วิเคราะห์ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2562).....	95
ง-5 กราฟมาตรฐานสังกะสี (วันที่วิเคราะห์ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)	96
ง-6 กราฟมาตรฐานสังกะสี (วันที่วิเคราะห์ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2562).....	97
ง-7 กราฟมาตรฐานแมงกานีส (วันที่วิเคราะห์ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562).....	98
ง-8 กราฟมาตรฐานแมงกานีส (วันที่วิเคราะห์ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2562)	99
ง-9 กราฟมาตรฐานนิกเกิล (วันที่วิเคราะห์ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562).....	100
ง-10 กราฟมาตรฐานนิกเกิล (วันที่วิเคราะห์ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2562).....	101
ง-11 กราฟมาตรฐานตะกั่ว (วันที่วิเคราะห์ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562).....	102
ง-12 กราฟมาตรฐานตะกั่ว (วันที่วิเคราะห์ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2562).....	103
ช-1 Filter Holder และชุดทดสอบรยั่ว.....	122

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

ช-2 ชุดอุปกรณ์สำหรับการ Calibration 122



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการสันนิษฐานที่มาของฝุ่น.....	10
2.2 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก	13
4.1 ปริมาณรถยนต์ต่อวัน บริเวณริมถนนคลองกรุง	39
ค-1 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง โดยเครื่อง PQ200	56
ค-2 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Sampler).....	74
ค-1.1 ความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน.....	59
ค-1.2 ความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน.....	61
ค-1.3 ความเข้มข้นนิกเกิลในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน	63
ค-1.4 ความเข้มข้นโครเมียมในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน.....	65
ค-1.5 ความเข้มข้นแมงกานีสในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน	67
ค-1.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนตุลาคม.....	71
ค-1.1.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนพฤศจิกายน.....	73
ค-2.1 ความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน.....	76
ค-2.2 ความเข้มข้นสังกะสีในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน.....	78
ค-2.3 ความเข้มข้นนิกเกิลในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน.....	80
ค-2.4 ความเข้มข้นโครเมียมในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน.....	82
ค-2.5 ความเข้มข้นแมงกานีสในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน.....	84
ค-2.6 ความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน.....	86
ค-2.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนตุลาคม.....	88
ค-2.1.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนพฤศจิกายน.....	90
ง-1 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานทองแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	92
ง-2 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานทองแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	93
ง-3 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานโครเมียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	94
ง-4 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานโครเมียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	95
ง-5 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	96
ง-6 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	97
ง-7 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานแมงกานีสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	98
ง-8 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานแมงกานีสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	99
ง-9 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	100
ง-10 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง- 11 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	102
ง-12 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่าง ๆ	103
จ-1 ตารางแสดงทิศทางลมและสภาพอากาศ	104



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
PM ₁₀	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
PM _{2.5}	ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน
Cu	ทองแดง
Cr	โครเมียม
Mn	แมงกานีส
Pb	ตะกั่ว
Ni	นิกเกิล
Zn	สังกะสี
AAS	เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
SEM	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
ppm	ส่วนหนึ่งในล้านส่วน
ml/min	มิลลิลิตรต่อนาที
mg/g	มิลลิกรัมต่อกรัม
mg/m ³	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
SO ₂	ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
NO _x	ออกไซด์ของไนโตรเจน
VOCs	สารอินทรีย์ระเหยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของโครงการวิจัย

ปัจจุบันสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในบรรยากาศเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่สำคัญในเมืองใหญ่ของหลาย ๆ ประเทศ รวมถึงกรุงเทพมหานครที่กำลังเผชิญกับปัญหามลพิษทางอากาศอย่างต่อเนื่อง โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑลมีสาเหตุหลักมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของรถยนต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีสภาพอากาศนิ่งและลมสงบทำให้ฝุ่นละอองเหล่านี้ไม่สามารถกระจายตัวในบรรยากาศส่งผลให้เกิดการสะสมจนมีค่าความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐาน แหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ของประเทศไทยเกิดจากยานพาหนะเครื่องยนต์ดีเซล (52 %) การเผาในที่โล่งแจ้ง (35 %) ฝุ่นจากพื้นที่อื่น (7 %) และอื่น ๆ เช่น ฝุ่นดิน โรงงานอุตสาหกรรม (6 %) (Oanh, 2007) ฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่าง โดยเฉพาะ $PM_{2.5}$ สามารถซึมผ่านผนังปอดเข้าสู่กระแสเลือด โดยความเป็นอันตรายของฝุ่นละอองขนาดเล็กยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่จับอยู่กับอนุภาคของฝุ่นละออง เช่น โลหะหนักต่าง ๆ สารประกอบพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) เป็นสถาบันการศึกษาที่ตั้งอยู่บนถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีการจราจรหนาแน่นทั้งทางถนน ทางรถไฟ และทางอากาศ บริเวณทิศเหนือของสถาบันฯ มีนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบัง ตั้งอยู่ห่างจากสถาบันฯ ประมาณ 3 กิโลเมตร โดยนิคมอุตสาหกรรมลาดกระบังมีอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ และชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์เป็นอุตสาหกรรมหลัก รองลงมาคืออุตสาหกรรมผลิตและประกอบรถยนต์ นอกจากนี้พื้นที่โดยรอบสถาบันฯ ยังมีพื้นที่เกษตรกรรมบางส่วนที่มีการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในที่โล่งแจ้ง รวมทั้งภายในสถาบันฯ ยังมีการก่อสร้างอาคารเรียนและอาคารสำนักงานต่าง ๆ จากสภาพแวดล้อมดังกล่าวอาจก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของนักศึกษา คณาจารย์ และบุคลากรในสถาบันฯ

โครงการพิเศษนี้เป็นการตรวจวัดปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) รวมทั้งมีการตรวจวัดชนิดและปริมาณของโลหะหนักที่จับอยู่กับอนุภาคของฝุ่นขนาดเล็ก บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนป้องกันฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในการลดปัญหามลพิษทางอากาศให้กับนักศึกษา คณาจารย์ และบุคลากรของสถาบันฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันฯ หากท่านนั้นไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.
- 2) เพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณโลหะหนักที่จับอยู่กับอนุภาคฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ได้แก่ ทองแดง (Cu), โครเมียม (Cr), สังกะสี (Zn), แมงกานีส (Mn), นิกเกิล (Ni), และตะกั่ว (Pb)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 2.5 ไมครอน รุ่น PQ200 ยี่ห้อ BGI (MESA LAB) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Air Sampler) บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล.
- 2) เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 โดยเก็บตัวอย่าง 24 ชั่วโมง ด้วยวิธี Gravimetric Method โดยซั่งด้วยเครื่องซั่ง 6 ตำแหน่ง โดยเก็บตัวอย่างแบบสุ่มสมบูรณ์ (Complete Randomized Design, CRD) วันเว้นสองวัน
- 3) วิเคราะห์หาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})
- 4) ตรวจสอบลักษณะรูปร่างของฝุ่นละออง โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
- 5) วิเคราะห์หาชนิดและความเข้มข้นของโลหะหนักที่จับอยู่กับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ได้แก่ ทองแดง (Cu), โครเมียม (Cr), สังกะสี (Zn), แมงกานีส (Mn), นิกเกิล (Ni), และตะกั่ว (Pb) โดยสกัดด้วยกรดตามวิธีมาตรฐาน US.EPA (Method IO-3.1) และตรวจวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ปชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS)
- 6) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) กับปริมาณรถยนต์ โดยนับจำนวนรถยนต์ที่ผ่านถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึง วันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2562
- 7) เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ที่ได้จากการทดลองกับความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ที่ได้ข้อมูลที่ได้จากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียงกรุงเทพมหานคร บริเวณหน้าโรงพยาบาลลาดกระบัง ในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) เพื่อทราบแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละออง ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. จากการศึกษา สันฐานของฝุ่นละออง

2) สามารถนำข้อมูลที่ได้มาเป็นข้อมูลพื้นฐานในการกำหนดแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และโลหะหนักที่จับกับอนุภาคฝุ่นละออง ผู้ศึกษาได้รวบรวมแนวคิดทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางในการศึกษาโดยแบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

2.1 อนุภาคของฝุ่นละออง

2.2 โลหะหนัก

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุภาคฝุ่นละออง

2.1.1 ความหมายของอนุภาคฝุ่นละออง

อนุภาคฝุ่นละออง หมายถึง อนุภาคของแข็งและหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายตัวในอากาศ ซึ่งไม่ใช่สารที่มีโมเลกุลเดี่ยว ขนาดของอนุภาคฝุ่นละอองมีผลต่ออัตราการคงอยู่ของฝุ่นละอองในอากาศ อนุภาคฝุ่นละอองที่มีขนาดระหว่าง 0.1-1 ไมครอน มีความเร็วในการตกลงสู่พื้นน้อยมากเมื่อเทียบกับความเร็วลม ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปกับกระแสลมได้ดี โดยอาจคงอยู่ตั้งแต่ 2-3 วินาที ไปจนถึงหลาย ๆ เดือน ส่วนอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมครอน มีความเร็วการตกสู่พื้นเพียงพอที่จะตกลงสู่พื้นโดยน้ำหนักและแรงเฉื่อย ฝุ่นละอองบางชนิดมีขนาดใหญ่และสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่าและควัน แต่บางชนิดมีขนาดเล็กมากจนมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า ฝุ่นละอองที่แขวนลอยในบรรยากาศ โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมา (มลพิษทางอากาศ, 2556)

การจำแนกประเภทของอนุภาคฝุ่นละอองตามขนาดของอนุภาคฝุ่น มี 3 ประเภท (มลพิษทางอากาศ, 2556) ดังนี้

1) ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulates, TSP) คือ อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน United State Environmental Protection Agency (US.EPA) ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าฝุ่นขนาดเล็กจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองรวม เนื่องจากสามารถผ่านเข้าไปในระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและมีผลต่อสุขภาพมากกว่าฝุ่นละอองรวม จึงได้มีการยกเลิกค่ามาตรฐานฝุ่นละอองรวม

2) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) หมายถึง ฝุ่นหยาบ (Course Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-10 ไมครอน (US.EPA, 1999) เป็นอนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็ง ได้แก่ ฝุ่น (Dust) ควัน (Smoke) ฟุ้ง (Fume) เขม่า (Soot) ประกอบด้วยมวลสารหลายชนิดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมผสานกัน และมีองค์ประกอบเคมีแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิด (Brook *et al.*, 2004) ส่วนใหญ่เกิดจากการรวมตัวกันของอนุภาคที่มีแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติ เช่น อนุภาคที่มาจากฝุ่นดิน โดยการพัดพาของลม และเกิดจากกิจกรรมมนุษย์ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงโดยเฉพาะจากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันดีเซล การเผาไหม้ในที่โล่งแจ้ง เช่น การเผาขยะ การเผาวัสดุเหลือทิ้งจากเกษตรกรรม ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นภายในอาคาร (Indoor Particles) จากกระบวนการอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดฝุ่นละออง เช่น โรงโม่หิน โรงงานปูนซีเมนต์ โรงไฟฟ้า หรือการทำให้เป็นผงจากการก่อสร้าง การรื้อถอนทำลาย PM₁₀ ส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองปฐมภูมิที่ถูกปล่อยออกสู่อากาศโดยตรงและไม่ถูกเปลี่ยนรูปโดยปฏิกิริยาเคมี สามารถหาแหล่งกำเนิดจากองค์ประกอบทางเคมีได้ง่าย เนื่องจากองค์ประกอบมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออยู่ในอากาศ องค์ประกอบทางเคมีส่วนใหญ่จะเป็นผลึกออกไซด์ (Crystalline Oxides) ของโลหะ เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม ซิลิกอน แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ส่วนสารประกอบอินทรีย์ ประกอบด้วยซีผึ้ง แวกซ์ และกรดไขมัน ธาตุที่พบส่วนใหญ่จะเป็นซิลิกอน อะลูมิเนียม เหล็ก และแคลเซียม นอกจากนี้ ยังมีธาตุคาร์บอน คาร์บอนอินทรีย์ และคาร์บอนอนินทรีย์ ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ

3) อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) หมายถึง ฝุ่นละเอียด (Fine Particles) เป็นอนุภาคที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (US.EPA, 1999) มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับเส้นผมของมนุษย์ที่มีขนาดโดยทั่วไปประมาณ 70 ไมครอน (รูปที่ 2.1) เป็นอนุภาคของแข็งหรือกึ่งของแข็งที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-Volatile) ประกอบด้วยอนุภาคส่วนละเอียดปฐมภูมิ (Primary Fine Particles) และอนุภาคส่วนละเอียดส่วนทุติยภูมิ (Secondary Fine Particles) มีแหล่งกำเนิดจากไอเสียของรถยนต์ โรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม ควันที่เกิดจากหุงต้มอาหารโดยใช้ฟืน

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจาก 3 กระบวนการ (มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ, 2551) คือ

3.1) การเกิดปฏิกิริยากันระหว่างโมเลกุลก๊าซแล้วเปลี่ยนรูปเป็นอนุภาคชนิดใหม่ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂), ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) และสารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ถูกเปลี่ยนรูปในอากาศโดยทำปฏิกิริยาเคมีและฟิสิกส์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิธจากก๊าซไปอยู่ในรูปของอนุภาค

3.2) การรวมตัว (Coagulation) ของอนุภาคสองอนุภาคขึ้นไปรวมตัวเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

3.3) อันตรกิริยา (Interaction) ของอนุภาคก๊าซ (Gas-Particle) กับก๊าซที่ถูกดูดซับและดูดซึมลงบนผิวอนุภาค ปฏิกิริยานี้เกี่ยวข้องกับก๊าซเริ่มต้น

จากปฏิกิริยาการเกิด PM_{2.5} จึงเป็นการยากที่จะสำรวจย้อนกลับไปหาแหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Carburetor) โดยการระเหยจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของบรรยากาศ อุณหภูมิของเครื่องยนต์ และความสามารถในการระเหยของน้ำมัน

2.1.2) การระบายจากอ่างน้ำมันเครื่อง (Crankcase) ในห้องแครงค์เคสจะมีบางส่วนของไอดีซึมผ่านลูกสูบออกมาในจังหวะอัดและซึมออกมาเล็กน้อย โดยทั่วไปเรียกก๊าซพวกนี้ว่า “ก๊าซโบลว์บาย (Blow By Gas)” ซึ่งมักจะเป็นสารไฮโดรคาร์บอน

2.1.3) การระบายออกจากระบบไอเสีย (Exhaust Gas) สารมลพิษทางอากาศส่วนนี้เป็นสารที่มีอันตรายและมีปริมาณมากที่สุด ซึ่งมาจากการสันดาปของเชื้อเพลิงและสารต่าง ๆ เช่น สารไฮโดรคาร์บอนที่ยังไม่เผาไหม้ และส่วนที่เผาไหม้แล้วบางส่วน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของไนโตรเจนกับอากาศที่มีการเติมเข้าไปสันดาปที่อุณหภูมิสูง

การปล่อยสารมลพิษทางอากาศจากรถยนต์แต่ละประเภทแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องยนต์ ได้แก่ รถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิง เครื่องยนต์เบนซิน หรือเครื่องยนต์แก๊สโซลีน (Gasoline Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน หรือแก๊สโซลีน (Gasoline) หรือก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas, LPG) เป็นเชื้อเพลิง ใช้หัวเทียนช่วยจุดไฟในการจุดระเบิดต้องมีคาร์บูเรเตอร์เป็นอุปกรณ์ผสมเชื้อเพลิงและอากาศให้มีอัตราส่วนที่เหมาะสมก่อนส่งเข้าสู่เครื่องยนต์ ส่วนผสมดังกล่าวเรียกว่า “ไอดี” มีอัตราส่วนของเชื้อเพลิงต่ออากาศที่เหมาะสม คือ 10-17, รถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง เครื่องยนต์ดีเซลมีการปล่อยก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนและอนุภาคของแข็ง หรือควันดำเป็นส่วนใหญ่ อาจมีสารไฮโดรคาร์บอนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ในบางกระบวนการเกิดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนในเครื่องยนต์ดีเซลมีส่วนคล้ายคลึงกับการเกิดในเครื่องยนต์เบนซิน เครื่องยนต์ดีเซลถ้าความเร็วรอบสูงและภาระสูงจะมีปริมาณความเข้มข้นของก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนที่ปล่อยออกมามาก รถบรรทุกซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซลแม้ว่าจะมีความเร็วรอบต่ำแต่ต้องใช้ภาระสูงตลอดเวลา ส่งผลให้มีก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนปล่อยออกมามากขึ้นด้วย

ปริมาณการปล่อยสารมลพิษทางอากาศจากรถขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ประเภทของรถยนต์ ตำแหน่งปล่อยสารมลพิษทางอากาศ จำนวนรถยนต์ รูปแบบการเคลื่อนที่ของรถยนต์บนถนน อายุการใช้งานของเครื่องยนต์ การบำรุงรักษาเครื่องยนต์ สภาพถนน รวมทั้งการติดตั้งอุปกรณ์ลดการปล่อยสารมลพิษทางอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2) โรงงานอุตสาหกรรม

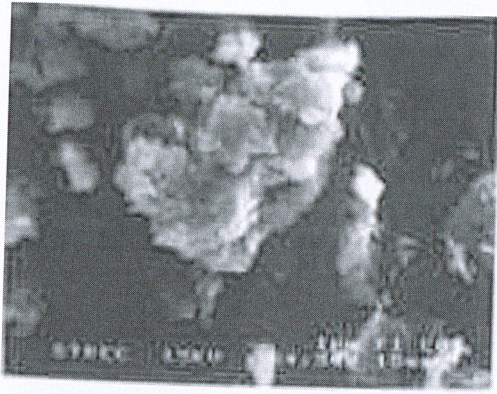
การปล่อยสารมลพิษทางอากาศจากโรงงานอุตสาหกรรมขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมบางประเภทมีการปล่อยสารมลพิษค่อนข้างมาก เช่น อุตสาหกรรมซีเมนต์ อุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้า อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ อุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า เป็นต้น โรงงานอุตสาหกรรมเป็นตัวการสำคัญที่ปล่อยสารมลพิษทางอากาศออกสู่บรรยากาศ โดยเฉพาะจากกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง สารมลพิษทางอากาศส่วนใหญ่ที่ปล่อยออกจากอุตสาหกรรม (มลพิษทางอากาศ, 2556) มีดังนี้

- 1) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ เช่น ในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าจากการเผาไหม้ถ่านหิน การเผาไหม้น้ำมันเตาของหม้อไอน้ำ
- 2) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) จากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง
- 3) อนุภาคฝุ่นและควันดำจากการเผาไหม้ทั้งเชื้อเพลิงที่เป็นถ่านหิน น้ำมันเตา ไม้ โดยอนุภาคฝุ่นและควันดำถูกปล่อยออกมามาก เมื่อมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์และใช้อุณหภูมิในการเผาไหม้ต่ำ
- 4) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่ไม่สมบูรณ์
- 5) สารโลหะหนักจากอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น สารโครเมียมจากโรงงานชุบโลหะสารตะกั่วจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่

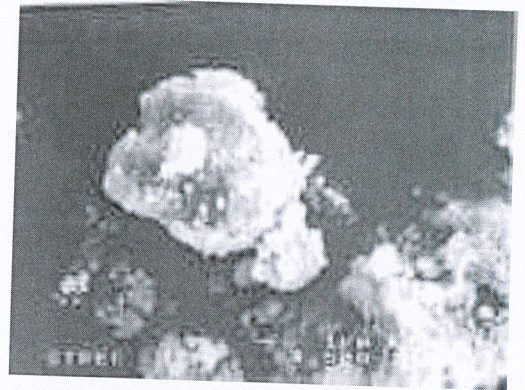
2.1.3 สัณฐานของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในอากาศโดยทั่วไปจะไม่ใช่ทรงกลม โดยลักษณะสัณฐานของอนุภาคแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของอนุภาคฝุ่นละอองนั้น ๆ (ดังแสดงในรูปที่ 2.2) ของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) เกสรดอกไม้ จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้วแอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์ต่าง ๆ มักจะเป็นทรงกระบอก สีนแร่โดยทั่วไปอาจจะมีรูปทรงไม่เป็นระเบียบ เป็นปุยสะเก็ด (Flakelike) หรือก้อนรวม (Agglomerates) อนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกันในขณะลอยตัวอยู่ในอากาศหรือเกิดจากการเย็นตัวของก๊าซร้อนจะมีรูปร่างเหมือนลูกโซ่ (Chainlike) และฟล็อก (Flocs) กลุ่มอนุภาครวมตัวหลวม ๆ เช่น ฝุ่นละอองจากท่อไอเสียรถยนต์และเกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง ซึ่งผลิตอนุภาคจำพวกที่มีสารคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเป็นจำนวนมาก

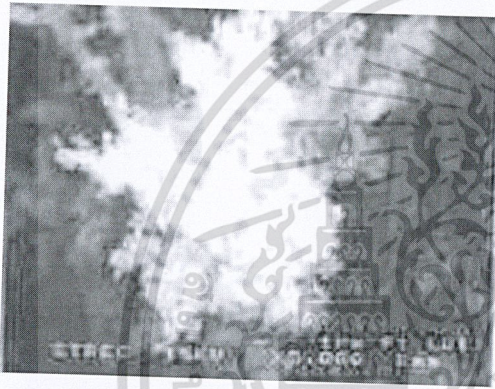
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



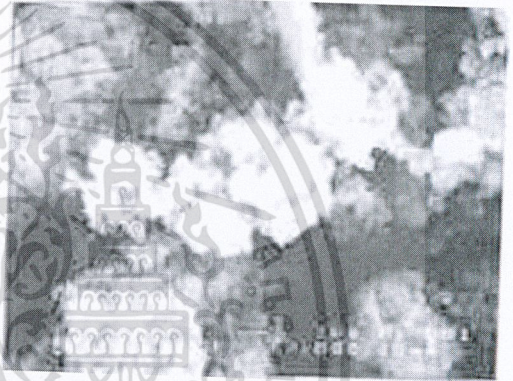
ก. ฝุ่นดิน



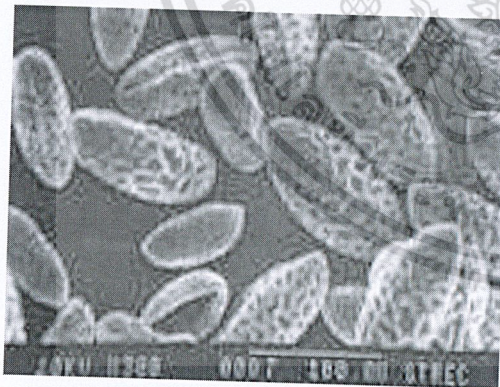
ข. ฝุ่นหินจากการก่อสร้าง



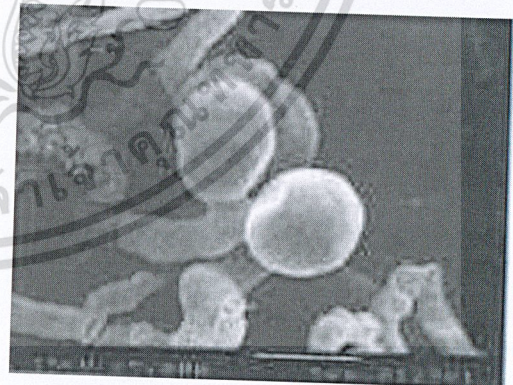
ค. ฝุ่นจากท่อไอเสียรถยนต์เครื่องดีเซล



ง. ฝุ่นจากท่อไอเสียรถยนต์เครื่องเบนซิน



จ. ละอองเกสรดอกลิลลี่



ช. แบคทีเรีย *Thermophilic Streptococci*

รูปที่ 2.2 ลักษณะสัณฐานของอนุภาค

ที่มา : มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ, 2551

(ที่มา : รูป ก-ง Jinsart et al., 2006. รูป จ-ฉ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งกำเนิดที่เกิดจากการเผาไหม้เหล่านี้มีปริมาณธาตุคาร์บอนที่เป็นทั้งคาร์บอนอินทรีย์และคาร์บอนอินทรีย์ในปริมาณสูง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ นอกจากนี้โลหะที่พบในฝุ่นละอองยังสามารถบอกแหล่งกำเนิดได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวบ่งชี้ที่ใช้ในการสันนิษฐานที่มาของฝุ่น

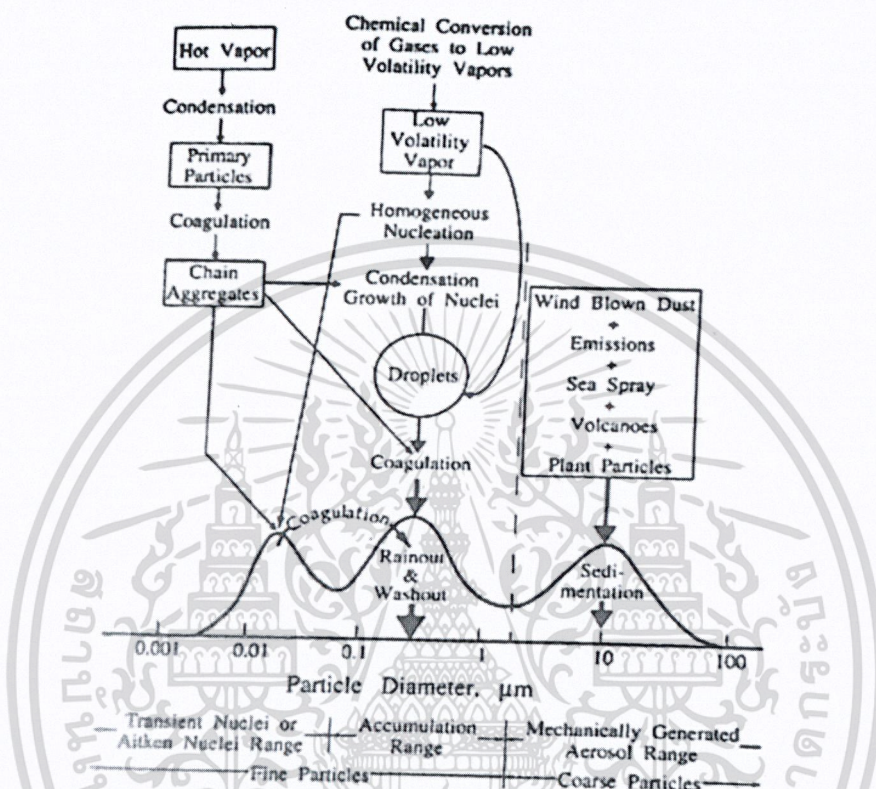
แหล่งที่มา (Sources)	ตัวบ่งชี้ (Marker Elements)
ดิน ถนน อุตสาหกรรมซีเมนต์ โรงไม้ แก้วลอย	Al, Si, K, Ca, Mn, Fe
ละอองทะเล	Na, Cl
การเผาไหม้ชีวมวล และการเผาฟางข้าว	OC, EC, K
การเผาถ่านหิน	SO ₄ ²⁻ , EC, Ag, As, Cr, K, Mo, Pb, Sb, Se, S, Zn
การเผาน้ำมันเตา โรงกลั่นน้ำมัน	Cr, La, Ni, Sm, S, V
อุตสาหกรรมเหล็ก	Mn, Fe, Zn
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

2.1.4 การแพร่กระจายของฝุ่นละออง

สมบัติของอนุภาคฝุ่นละอองขึ้นอยู่กับขนาด มักอยู่ในรูปร่างที่ซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ โดยทั่วไปมักอนุมานว่าอนุภาคฝุ่นมีรูปร่างเป็นทรงกลมและเคลื่อนที่แบบแอโรไดนามิก (Aerodynamic) ขนาดของอนุภาคกำหนดตามความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางของทรงกลม Whitby and Sverdrup 1980 ได้เสนอแบบจำลองการกระจายตัวไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอนุภาคฝุ่นละอองในอากาศแบ่งเป็น 3 กลุ่ม เรียกว่า Trimodal Size Distribution โดยยังมีการอ้างอิงและใช้อยู่ในปัจจุบัน วิธีที่ง่ายที่สุดในการแจกแจงฝุ่นละออง คือ การแบ่งขนาดของอนุภาคออกเป็นช่วง ๆ ตามลำดับของขนาดฝุ่นละอองในอากาศที่มีขนาดตั้งแต่ประมาณ 0.002-100 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การแพร่กระจายของอนุภาคแบบ Trimodal Size Distribution
ที่มา : มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ, 2551

การแพร่กระจายอนุภาคฝุ่นละอองในบรรยากาศและกลไกการเกิดฝุ่นละอองพบว่า ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีสัดส่วนประมาณ 60-80 % โดยฝุ่นละอองขนาด 5-10 ไมครอน สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้ ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กมาก < 0.1 ไมครอน จะแทรกซึมลงไปในปอดด้วยกลไกการแพร่ (Wilson and Spengler, 1996) โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กจะแพร่กระจายอยู่ในอากาศเป็นระยะเวลายาวนานเป็นวัน หรือสัปดาห์ และสามารถเคลื่อนที่ได้ในระยะไกล (100-1,000 กิโลเมตร) (US.EPA, 1999)

2.1.5 ผลกระทบของฝุ่นละอองในบรรยากาศ

1) ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

เมื่อหายใจเอาฝุ่นละอองในอากาศเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 15 ไมครอน จะถูกดักจับที่ระบบทางเดินหายใจส่วนต้นในส่วนของจมูกและลำคอซึ่งจะถูกขับออกมาพร้อมเสมหะ ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) หรือ inhalable Dust จะเป็นอันตราย

ต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เพราะสามารถแทรกตัวลึกเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างสู่เนื้อเยื่อปอดและนำสารอันตรายเข้าสู่ร่างกาย ส่วนฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}) ในบรรยากาศจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเพิ่มของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจและโรคปอด ที่เข้ามารักษาตัวในห้องฉุกเฉินเพิ่มขึ้น อาการของโรคทางเดินหายใจลดประสิทธิภาพการทำงานของปอด และเกี่ยวข้องกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะผู้ป่วยสูงอายุ ผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคหอบหืด และเด็กจะมีอัตราเสี่ยงสูงกว่าคนปกติ (มลพิษทางอากาศ, 2556)



รูปที่ 2.4 ขนาดของอนุภาคฝุ่นที่เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจระดับต่าง ๆ

ที่มา : Tisch Environmental, Inc. (2005)

2) ผลกระทบต่อทัศนวิสัย

ฝุ่นละอองในบรรยากาศจะลดความสามารถในการมองเห็น เนื่องจากฝุ่นละอองในบรรยากาศที่เป็นทั้งของแข็งและของเหลวสามารถดูดซับ และหักเหแสงได้ ทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็นลดลง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองแต่ละประเภท (มลพิษทางอากาศ, 2556)

3) ผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้าง

ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกัน ส่งผลกระทบต่อวัตถุและสิ่งก่อสร้างได้ เช่น การสึกกร่อนของโลหะ การทำลายผิวหน้าของสิ่งก่อสร้าง การเสื่อมคุณภาพของผลงานทางศิลปะ และความสกปรกต่อวัตถุ เป็นต้น (มลพิษทางอากาศ, 2556)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ

ค่ามาตรฐานรายปีและค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละออง PM_{2.5} และ PM₁₀ ของประเทศไทย กับค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลกดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ค่ามาตรฐานของอนุภาคฝุ่นละออง		PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
ประเทศไทย	ค่าเฉลี่ยรายปี	25	50
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	50	120
องค์การอนามัยโลก	ค่าเฉลี่ยรายปี	10	20
	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	25	50

ที่มา : มลพิษทางอากาศ, 2556

2.2 โลหะหนัก

2.2.1 ความหมายของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ มีจำนวนทั้งหมด 68 ธาตุ โลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง (ยกเว้นปรอทที่เป็นของเหลวเมื่ออยู่ในสภาวะอุณหภูมิปกติ) สมบัติทางกายภาพของโลหะหนัก คือนำไฟฟ้า และความร้อนได้ดี มีความมันวาว เหนียว สามารถนำมาตีเป็นแผ่นบางๆ ได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนสมบัติทางเคมีที่สำคัญของโลหะหนัก คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้น โลหะหนักจึงสามารถที่จะรวมกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex Compounds) ได้หลายรูปซึ่งเสถียรกว่าโลหะอิสระ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ (Organo-Metallic Compounds) ซึ่งสามารถแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อม โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ และอากาศ และถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้โดยผ่านห่วงโซ่อาหาร (Food Chain) โลหะหนักหลายชนิดมีสมบัติเป็นอันตรายร้ายแรงเมื่อเข้าไปสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจมีผลทำให้สิ่งมีชีวิตเจ็บป่วย หรือตายได้ (อนุรักษ์, 2543)

1) ทองแดง (Cu)

มีลักษณะเป็นก้อนโลหะสีแดง ไม่มีกลิ่น ส่วนมากพบทั้งในรูปไอและเกลือของทองแดง มีน้ำหนักโมเลกุล 63.55 กรัมต่อโมล จุดเดือด 2,595 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,083 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 8.92 มักใช้ในการทำอัลลอยด์ชนิดบรอนซ์ (Bronze) และทองเหลือง (Brass) เป็นส่วนผสมในตัวนำอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical Conductors) เป็น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบในการสร้างวัสดุเครื่องมืองหลังคาและสายดิ่ง กระสุนปืน การเตรียมเกลือทองแดง การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า และอุตสาหกรรมผลิตสารกำจัดศัตรูพืช (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2017)

2) โครเมียม (Cr)

โครเมียมเป็นโลหะเงินสีขาว มันวาว มีความแข็งแรงทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้ดี หากมีความบริสุทธิ์สูงจะมีสีขาวยอกฟ้าอ่อน ไม่มีกลิ่น อาจมีลักษณะเป็นก้อน แท่ง หรือผง พบได้ตามธรรมชาติ ทั้งในดิน หิน น้ำ และอากาศ สามารถละลายในน้ำได้เล็กน้อย (< 0.1 %) มีน้ำหนักโมเลกุล 52.00 กรัมต่อโมล จุดเดือด 2,200 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,900 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 7.19 มักใช้เป็นส่วนประกอบของเหล็กกล้าและอัลลอยด์ ใช้เป็นสารเคลือบผิวโลหะและพลาสติก ใช้สังเคราะห์สารให้สีชนิดอนินทรีย์ (Inorganic Pigments) ใช้ในอุตสาหกรรม ผลิตโลหะหนัก การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2019)

3) สังกะสี (Zn)

สังกะสีเป็นโลหะเงิน มันวาว ไม่มีกลิ่น นิยมนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมมากมาย สำหรับเป็นโลหะโครงสร้าง หรือโลหะผสมกับโลหะอื่น สังกะสีที่พบในธรรมชาติไม่พบในรูปของธาตุอิสระ โดยทั่วไปมักพบสังกะสีในดิน โดยอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (ZnS) มีน้ำหนักโมเลกุล 65.37 กรัมต่อโมล จุดเดือด 907 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 419.5 องศาเซลเซียส นิยมนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมเพื่อเป็นโลหะโครงสร้าง หรือโลหะผสมกับโลหะอื่นสำหรับประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ นอกจากนี้สังกะสียังเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่สามารถพบได้ในร่างกายมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากจัดเป็นแร่ที่ร่างกายต้องการชนิดหนึ่ง (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2018)

4) แมงกานีส (Mn)

แมงกานีสเป็นของแข็ง มีสีเขาคัลายเงิน แข็ง และเปราะ พบได้ในธรรมชาติ แต่จะเกิดรวมกับธาตุอื่น ๆ ได้หลายรูปแบบสามารถละลายตัวในน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุล 54.9 กรัมต่อโมล ความถ่วงจำเพาะ 7.47 ความดันไอ 1 บรรยากาศ จุดเดือด 2,061 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,246 องศาเซลเซียส การใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม ใช้ในการผลิตเหล็ก ถ่านไฟฉาย และโปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2015)

5) นิกเกิล (Ni)

นิกเกิล เป็นโลหะแข็ง สีเงิน ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ มีน้ำหนักโมเลกุล 58.7 กรัมต่อโมล จุดเดือด 2,837 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 1,555 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 8.9 โลหะนิกเกิลไม่พบในสิ่งแวดล้อมทั่วไป แต่อาจพบในโรงงานถลุงแร่ นิกเกิล โลหะนิกเกิลใช้ทำเป็นโลหะผสมมีความแวววาว ใช้ในการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า ผลิตเหรียญกษาปณ์ แบตเตอรี่ สารเร่งปฏิกิริยา และอัลลอยด์ของโลหะ เช่น สแตนเลสสตีล (เหล็กกล้า) (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2017)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วเป็นโลหะหนัก สีเงินอมเทา ละลายน้ำได้น้อยมาก หรืออาจไม่ละลายน้ำ เกิดขึ้นตามธรรมชาติ สามารถพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม มีน้ำหนักโมเลกุล 207.2 กรัมต่อโมล จุดเดือด 1,740 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 327 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 11.3 มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในวงการอุตสาหกรรม เนื่องจากคุณสมบัติของตะกั่ว ซึ่งมีความหนาแน่นสูง มีความอ่อนตัว จุดหลอมเหลวต่ำ ทนต่อการกัดกร่อน และสามารถหยุดรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ได้ (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2018)

2.2.2 ความเป็นพิษของโลหะหนัก

ความเป็นพิษของโลหะหนักเกิดจากโลหะหนักที่ร่างกายได้รับทางระบบต่าง ๆ ของร่างกายไปรบกวนการทำงานของระบบเอนไซม์ของเซลล์ และจับยึดกับเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การควบคุมการลำเลียงของสารต่าง ๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์ผิดปกติไป โลหะหนักบางชนิดมีผลต่อสมบัติทางด้านโครงสร้าง หรือเคมีไฟฟ้าของเซลล์ ความเป็นพิษของโลหะหนักขึ้นอยู่กับรูปแบบทางเคมีของสารประกอบของโลหะหนักแต่ละชนิด และเส้นทางที่ร่างกายได้รับเข้าไป เช่น ทางระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และผิวหนัง ผลของความเป็นพิษของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตเกิดจากกลไกระดับเซลล์ 5 แบบ (ทรงพลได้ขารี, 2555) คือ

- 1) ทำให้เซลล์ตาย
- 2) เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์
- 3) เป็นตัวการชักนำให้เกิดมะเร็ง
- 4) เป็นตัวการทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม
- 5) ทำความเสียหายต่อโครโมโซม ซึ่งเป็นปัจจัยทางพันธุกรรม

นอกจากนี้สารโลหะหนักยังแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ตามความเป็นพิษต่อร่างกาย ดังนี้

- 1) กลุ่มที่ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบการหายใจ ส่วนใหญ่เป็นอนุภาคของโลหะหนักที่แขวนลอยในอากาศ ได้แก่ เหล็ก หินสแตน และไนโอเบียม
- 2) กลุ่มที่ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับอวัยวะภายใน เช่น ตับ ไต และหัวใจ ธาตุโลหะหนักที่เป็นพิษ ได้แก่ โครเมียม โมลิบดีนัม วาเนเดียม นิกเกิล โคบอลต์ ทองแดง และแคดเมียม
- 3) กลุ่มโลหะหนักที่มีพิษร้ายแรงจนเกินความสามารถที่จะรักษาให้หายได้ ได้แก่ พรอท ตะกั่ว แมงกานีส สารหนู และพลวง (พรพรรณ, 2549)

สำหรับการสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมีหลายรูปแบบ ตั้งแต่รูปแบบที่สามารถปลดปล่อยออกมาได้ง่าย และเข้าไปสะสมอยู่ในตะกอน หรืออยู่ในสิ่งมีชีวิต ไปจนกระทั่งรูปแบบที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะที่แข็งแรงและถูกปลดปล่อยออกมาได้ยาก สามารถแบ่งรูปแบบการสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตเรียงลำดับจากง่ายไปยาก ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) โลหะหนักที่อยู่ในรูปของไอออน รูปสารประกอบอินทรีย์ หรือสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำอยู่ จะเป็นรูปแบบที่เข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ง่ายที่สุด

2) โลหะหนักที่อยู่ในรูปแลกเปลี่ยนไอออนได้ ที่อยู่ร่วมกับสารประกอบเชิงซ้อนอินทรีย์ และอินทรีย์จะเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ง่าย

3) โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน หรือพวกคีเลตกับสารอินทรีย์จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้น้อย

4) สารประกอบที่ตกตะกอนไม่ละลาย และสารประกอบการตกตะกอนร่วมของโลหะบนพื้นผิวของของแข็ง จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมเท่านั้น

5) โลหะหนักที่อยู่ในรูปของของแข็งในองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต โลหะหนักในรูปแบบนี้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเคมี โดยมีการเนาเปื่อยผุพังเสียก่อนจึงจะอยู่ในรูปที่นำเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้

6) โลหะที่อยู่ในรูปผลึก แร่ทั้งแร่ปฐมภูมิ และแร่ทุติยภูมิ จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ก็ต่อเมื่อมีการผุพังของแร่ธาตุด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางอุตุนิยมภายใต้ความร้อนและความดันร่วมกับกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ

โดยกระบวนการนำโลหะหนักเหล่านี้เข้าสู่สิ่งมีชีวิตจะมีการดูดซึมผ่านเข้าทางผิวหนัง หรือดูดซึมเข้าสู่เซลล์หรือร่างกาย หากเป็นอนุภาคขนาดใหญ่จะเข้าสู่กระบวนการย่อยอาหารผ่านทางระบบทางเดินอาหาร และถูกดูดซึมเข้าไปยังเนื้อเยื่ออวัยวะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต และเมื่อสิ่งมีชีวิตขับถ่ายของเสียซึ่งอาจอยู่ในรูปของแข็ง หรือของเหลว หรือเกิดการตาย โลหะหนักในรูปแบบต่าง ๆ ก็จะถูกปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมอีกครั้ง

โลหะหนักสามารถจัดแบ่งโดยอาศัยแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มโลหะที่มีความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงมาก ได้แก่ As, Au, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Sb, Sn, Te และ Zn และกลุ่มโลหะที่มีแนวโน้มความเป็นพิษต่อสภาวะแวดล้อมสูงรองลงมา ได้แก่ Ba, Bi, Fe, Mo, Ti และ U (Culp และ Culp, 1974) ความเป็นพิษของโลหะเหล่านี้ขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะหนักและปริมาณที่มนุษย์ได้รับเข้าไปความเป็นพิษของโลหะหนัก

พิษของโลหะหนักเกิดจากการที่โลหะเข้าไปรบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยกระบวนการที่สำคัญ คือ การรบกวนการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งโลหะหนักที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity) สูง เช่น พรอท เจน และทองแดง เป็นต้น จะยึดติดกับกลุ่มของอะมิโนและกลุ่มซัลไฟไฮดริล (Sulphydryl: -SH) ของเอนไซม์ และขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่มีกลุ่มเหล่านี้เป็นองค์ประกอบ

อันตรายของโลหะหนักแต่ละชนิดที่มีผลต่อร่างกาย มีดังนี้

1) ทองแดง (Cu)

เอกสารนี้เป็นองค์ประกอบที่ขาดไม่ได้ของร่างกายทั้งการหายใจและการกิน สำหรับอันตรายเฉียบพลัน ทำให้ระคายเคืองผิวหนัง ผื่น หรือผงทองแดงอาจมีผลระคายเคืองตาและทำให้ตาบอดได้ เมื่อหายใจเอาไอ

โลหะ หรือฟุ้งของทองแดงเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจอาจทำให้เกิดไข้โลหะ (Metal Fume Fever) ได้ ซึ่งจะมีอาการมีรสขมโลหะในปาก เป็นไข้ หนาวสั่น ปวดศีรษะ ไอ เจ็บหน้าอก ซึ่งอาการอาจแสดงในเวลา 2-3 ชั่วโมง หรือภายใน 1-2 วัน ภายหลังได้รับสารนี้ ส่วนอันตรายเรื้อรัง เมื่อสะสมในร่างกายทำให้เกิดการระคายเคือง อักเสบที่ตา ระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหาร และประสาท รสสัมผัสเสีย ถ้าร่างกายได้รับไอทองแดงมาก ๆ จะทำให้เกิดการคลื่นไส้ อาเจียน เป็นไข้ ทำให้เป็นโรครกภูมิแพ้ที่ผิวหนัง โดยจะมีอาการผื่นแดงและคัน ผิวหนังบาง ผสม และผิวหนังอาจเปลี่ยนเป็นสีเขียวคล้ำ อาจทำให้ผมเปลี่ยนสีได้หากได้รับในปริมาณมาก ทำเนื่อเยื่อจมูกอักเสบ และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ถ้าได้รับทองแดงเป็นระยะเวลาและในระดับความเข้มข้นสูงมากจะมีผลทำลายตับได้ (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2017)

2) โครเมียม (Cr)

โครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ การสัมผัส และการกิน สำหรับอันตรายเฉียบพลัน โครเมียมไม่ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายผ่านทางระบบทางเดินอาหาร และมีพิษต่อระบบทางเดินอาหารน้อยมาก ดังนั้นโครเมียมจึงถูกขจัดออกจากร่างกายโดยปะปนมากับอุจจาระได้ ฟุนโครเมียมไม่มีผลระคายเคืองผิวหนังโดยตรง แต่อาจเกิดการระคายเคืองได้จากน้ำยาล้างฟุนโครเมียม (Rigorous) และมีพิษน้อยต่อระบบทางเดินหายใจ อันตรายที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากฟุน หรือไอโลหะ หรือฟุ้งของโครเมียม ส่วนอันตรายเรื้อรัง เมื่อสัมผัสผิวหนังเป็นระยะเวลานานอาจมีผลทำให้เป็นโรครกภูมิแพ้จากพิษของโครเมียม เรียกว่า Chrome Allergy สำหรับการหายใจเอาฟุนของโครเมียมเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ พบว่า อาจมีอันตรายต่อปอดแต่ยังไม่มีรายงานชัดเจน ฟุนของโครเมียมจะไปสะสมในปอด และทำให้เกิดภูมิแพ้ได้ การสูดเอาละอองของโครเมียม เช่น โครเมียมออกไซด์ โครเมียมฟลูออไรด์ เป็นเวลานานจะทำให้เป็นมะเร็งปอด ในกรณีที่ดื่มกรดโครมิก หรือโครเมต โดยจะเป็นอันตรายต่อดับ ไต และระบบประสาททันทีจนอาจถึงตายได้ (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2019)

3) สังกะสี (Zn)

การสูดหายใจเอาฟุนละอองของสังกะสีมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ จะทำให้ระบบทางเดินหายใจอุดตัน ปวดอักเสบ และถ้าหายใจเอาสังกะสีออกไซด์มาก ๆ จะทำให้มีอาการอ่อนเพลีย หนาวสั่น ปวดตามแขนขา และปวดศีรษะอย่างรุนแรง สำหรับอันตรายเฉียบพลัน อาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง และระคายเคืองตาได้ อาจเป็นอันตรายหากสูดดม สังกะสีจะทำให้เกิดการระคายเคืองที่แผ่นเยื่อเมือก และบริเวณทางเดินหายใจส่วนบน ส่วนอันตรายเรื้อรัง เมื่อสัมผัสสังกะสีเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดการสะสมในร่างกาย อาจทำให้เป็นไข้ มีอาการทางกล้ามเนื้อ เจ็บปวด หลอดเลือดเลี้ยงหัวใจผิดปกติ คลื่นไส้ อาเจียน (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2018)

4) แมงกานีส (Mn)

เอกสารนี้เป็นเอกสารนี้แมงกานีสสามารถเข้าสู่ร่างกายทางการหายใจ การสัมผัส และการกิน สำหรับอันตรายการค้ำไม่เฉียบพลัน อาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง และตา เมื่อหายใจเอาฟุ้งของโลหะแมงกานีสที่ถูกทำ

ให้ร้อนเข้าสู่ร่างกายจะทำให้เกิดอันตราย ส่วนอันตรายเรื้อรัง เมื่อหายใจเข้าไปในรูปของฝุ่นจะไปมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยจะมีอาการอ่อนเพลียต่อสมอง ไม่อยากอาหาร ง่วงนอน สูญเสียการควบคุมการพูด สูญเสียการทรงตัว การควบคุมใบหน้า และมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม เป็นตะคริวกล้ามเนื้ออ่อนสั้น อาการคล้ายโรคพาร์กินสัน (Parkinson's Disease) และอาจมีผลระยะยาวคือท้องปอดเม็ดเลือดแดงลดลง ทำลายตับ และไตได้ (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2015)

5) นิกเกิล (Ni)

นิกเกิลสามารถเข้าสู่ร่างกายทางการสัมผัส การหายใจ และการกิน สำหรับอันตรายเฉียบพลัน เมื่อร่างกายรับเข้าไปจะมีอาการในระยะแรก คือ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ และเจ็บหน้าอก ทำให้เกิดระคายเคืองผิวหนัง คัน เป็นผื่นแดง และมีอาการแพ้ ทำให้เกิดการระคายเคืองตา เมื่อหายใจเข้าไปจะเกิดอาการแพ้สารเคมีของปอด ทำให้มีอาการคล้ายหอบหืด มีอาการเกี่ยวกับโรคปอดอย่างร้ายแรง หัวใจเต้นเร็ว อ่อนเพลีย และอาจเสียชีวิตได้ภายใน 4-13 วัน ส่วนอันตรายเรื้อรังจากการสัมผัสนิกเกิล ได้แก่ เกิดการแพ้ของผิวหนังซึ่งประกอบด้วยอาการมีแผลไหม้ คัน เป็นผื่นแดง มีอาการแพ้ของปอด คล้ายการเป็นหอบหืด และแน่นหน้าอก ฝุ่นนิกเกิลถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็งในท้องทดลอง อาจเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งปอดในสัตว์ทดลอง และอาจมีผลต่อระบบสืบพันธุ์ด้วย (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2017)

6) ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วมีพิษต่อร่างกาย ปกติเรามักพบตะกั่วปนอยู่กับกำมะถัน ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง ทั้งทางบริโภค การหายใจ และทางผิวหนัง เมื่อได้รับโลหะตะกั่วแล้วร่างกายจะเกิดการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด และสะสมที่ตับ ไต และกระดูก ถ้าได้รับในปริมาณไม่มากนักจะเกิดอาการวิงเวียนศีรษะ อ่อนเพลีย เป็นตะคริว หากได้รับในปริมาณมาก ๆ จะเกิดอาการประสาทหลอน เป็นอัมพาต และกลายเป็นคนวิกลจริตได้ สำหรับอันตรายเฉียบพลัน ผงของโลหะอาจทำให้เกิดการระคายเคืองผิวหนัง ระคายเคืองตา และระคายเคืองระบบทางเดินอาหารได้ เมื่อหายใจเอาตะกั่วที่ปริมาณสูงๆจะทำให้เกิดเป็นลมหมดสติได้ แต่ส่วนใหญ่แล้วอาการต่าง ๆ ที่เกิดจากการสัมผัสตะกั่วมักเกิดขึ้นภายหลังจากการสัมผัสในหลายสัปดาห์ หรือหลายเดือนต่อมา ส่วนอันตรายเรื้อรัง การสัมผัสสารเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้เกิดการสะสมของตะกั่วในร่างกาย อาจพบเส้น Lead Line ที่เหงือก หรือมีการสะสมตะกั่วที่ไขกระดูก ถ้ามีปริมาณต่ำอาจทำให้เกิดการอ่อนเพลีย เหนื่อยง่าย อารมณ์เปลี่ยนแปลง ปวดศีรษะ มีปัญหาเกี่ยวกับกระเพาะอาหาร ปวดท้อง (Colic) ท้องผูก นอนไม่หลับ ถ้ามีการสะสมของตะกั่วในร่างกายในปริมาณสูง เช่น ตะกั่วซัลไฟด์จะทำให้เกิดอาการปวดเมื่อยตัว อ่อนเพลีย มีปัญหาเกี่ยวกับความทรงจำ สมาธิ และอาจมีผลทำลายสมองและไตอย่างถาวรได้ รวมทั้งยังมีผลทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้นและโลหิตจางส่วนตะกั่วอนินทรีย์ เช่น โลหะตะกั่วทำให้เป็นโรคเก๊าท์ (Gout) ได้ นอกจากนี้ตะกั่วยังเป็นสารที่มีผลต่อทารกในครรภ์ (Teratogen) (หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี, 2018)นี้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รวิวรรณ (2558) ศึกษาปริมาณฝุ่นละอองรวม และปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ และปริมาณการจราจร ภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โดยทำการเก็บตัวอย่างในช่วง 07.00–15.00 น. ของวันทำการในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2558 โดยเก็บตัวอย่างในเขตพื้นที่การจราจรและการก่อสร้างภายในมหาวิทยาลัยนเรศวรทั้ง 6 จุด คือ บริเวณคณะบริหารธุรกิจเศรษฐศาสตร์และการสื่อสาร, บริเวณโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยนเรศวร, บริเวณหอพักอาจารย์, บริเวณตึกเอกาทรศร, การก่อสร้างบริเวณหอสมุด และการก่อสร้างบริเวณระบบบำบัดน้ำเสีย ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝุ่นละอองรวมในอากาศของจุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่การจราจร มีค่าอยู่ในช่วง 0.208–0.417 mg/m³ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.316 mg/m³ และพบว่า มี 2 จุดที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 0.33 mg/m³ ที่เวลา 24 ชั่วโมง คือ บริเวณคณะบริหารธุรกิจ เศรษฐศาสตร์ และการสื่อสาร และบริเวณหอพักอาจารย์มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งมีค่า 0.347 mg/m³ และ 0.417 mg/m³ ตามลำดับ สำหรับจุดเก็บตัวอย่างในพื้นที่การก่อสร้างพบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 0.556–1.528 mg/m³ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.042 mg/m³ และพบว่า มี 2 จุดที่มีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 0.33 mg/m³ ที่เวลา 24 ชั่วโมง คือ การก่อสร้างบริเวณหอสมุด และการก่อสร้างบริเวณระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งมีค่า 0.556 mg/m³ และ 1.528 mg/m³ ตามลำดับ สำหรับผลการศึกษาปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ซึ่งตรวจวัดในวันราชการพบว่าจุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ที่มีการจราจร มีค่าอยู่ในช่วง 13.89–41.67 µg/m³ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29.52 µg/m³ โดยพบว่า มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศโดยทั่วไปที่ 120 µg/m³ ที่เวลาเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จุดเก็บตัวอย่างของพื้นที่ที่มีการก่อสร้างมีค่าอยู่ในช่วง 48.61–83.33 µg/m³ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 65.97 µg/m³ พบว่า มีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานของฝุ่น PM₁₀ ในบรรยากาศโดยทั่วไปที่ 120 µg/m³ ที่เวลาเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาปริมาณการจราจรพบว่า มีค่าเฉลี่ยต่อชั่วโมง เท่ากับ 354.35 PCU/Hrs คิดเป็นค่า V/C Ratio เท่ากับ 0.118 ซึ่งบ่งชี้ว่าระดับการให้บริการของถนน Level Of Service (LOS) อยู่ในระดับ A คือ สถานภาพการจราจรเคลื่อนที่ได้ดีโดยไม่มีการติดขัด

กาญจนา และคณะ (2559) งานวิจัยนี้ศึกษาโลหะหนักในฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) บริเวณสถานีขนส่งผู้โดยสาร จังหวัดพิษณุโลกแห่งที่ 1 และ 2 โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM₁₀ ด้วยเครื่องเก็บอากาศแบบปริมาตรต่ำ (Air Metrics) เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และศึกษาทัศนคติด้านมลพิษทางอากาศโดยการเก็บแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม คือ ประชาชนทั่วไป ผู้อยู่อาศัย และพนักงาน จำนวน 940 คน การศึกษาพบว่าสถานีขนส่งผู้โดยสารแห่งที่ 1 และ 2 มีค่า PM₁₀ อยู่ในช่วง 82.72–280.90 µg/m³ และ 73.62–299.84 µg/m³ ตามลำดับ

การวิเคราะห์โลหะหนักใน PM₁₀ พบว่าเหล็กมีค่าสูงสุด (ND-32.05, ND-5.10 µg/m³) รองลงมาคือ ตะกั่ว (ND-1.29, ND-1.25 µg/m³) สังกะสี (ND-0.55, ND-0.92 µg/m³) ทองแดง (ND-0.38, ND-0.38 µg/m³)

ไม่พบสารพิษอันตรายอื่น ๆ ที่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

0.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) และแคดเมียม (ND-0.04, ND-0.06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับการศึกษาด้านทัศนคติพบว่าผู้ อยู่อาศัยมีทัศนคติเกี่ยวกับมลพิษทางอากาศอยู่ในระดับสูงสุดซึ่งได้แก่ มีความรู้เกี่ยวกับมลพิษด้านฝุ่น ละอองร้อยละ 33.33 แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองภายในสถานี่ชนส่งเกิดมาจากจำนวนรถโดยสารขา เข้าและขาออกร้อยละ 42.11 ส่วนทัศนคติของพนักงานและประชาชนมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับสูง และ ปานกลาง ตามลำดับ ด้านปัญหาสุขภาพพบว่าผู้อาศัยมีอาการระคายเคือง ตาแดง คันทา เมื่อถูกฝุ่น ละอองร้อยละ 26.32 และมีอาการผิดปกติของระบบทางเดินหายใจร้อยละ 24.56 โดยกลุ่มตัวอย่าง ทั้ง 3 กลุ่ม มีอาการผื่นคันตามร่างกายหรือมีอาการไอ เจ็บคอ จากการแพ้ฝุ่นละออง

สาวิตรี (2559) ศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และ ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} จำนวน 15 ชนิด ได้แก่ Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn และ V บริเวณภายในอาคาร และนอกอาคาร ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในพื้นที่โรงเรียน วัดเจติยาราม จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ชุมชน และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้าน ถ้ำหิน จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ชนบท ผลการศึกษาความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณ โรงเรียนวัดเจติยารามในฤดูฝน และฤดูแล้ง พบว่าภายในอาคารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.67 และ 46.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และภายนอกอาคารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.70 และ 78.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินในฤดูฝน และ ฤดูแล้ง ภายในอาคารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.24 และ 27.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ภายนอกอาคารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.47 และ 52.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่า ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศทั้งภายในอาคาร และภายนอกอาคาร เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย PM_{10} ระหว่างโรงเรียนวัดเจติยารามกับโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินด้วยสถิติ t-test ที่ ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นสูงสุดของ โลหะใน PM_{10} 4 ลำดับแรกของโรงเรียนวัดเจติยาราม ได้แก่ Fe, Zn, Mg และ Al และของโรงเรียน ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ได้แก่ Zn, Fe, Mg และ Al นอกจากนั้น พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะหลายๆ ชนิดมีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ Fe กับ Mn, Fe กับ Mg, Mg กับ Mn, Mn กับ Zn, Al กับ Fe, Al กับ Mg, Al กับ Mn และ Mg กับ Zn ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีแหล่งกำเนิดร่วมกัน และพบว่าทั้ง 2 บริเวณมีค่า Indoor to Outdoor ratio (I/O ratio) ของความเข้มข้นของ PM_{10} ต่ำกว่า 1 ส่วนความเข้มข้นโลหะทุกชนิดใน PM_{10} มีค่าสูงกว่า 1

ธนาพร และคณะ (2560) การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของ โลหะหนักที่ปนเปื้อนในฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate Matter) ในพื้นที่บริเวณริม ทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 34 (ถนนบางนา-ตราด) บริเวณหลักกิโลเมตรที่ 18 ในช่วงเวลาระหว่าง 08.00-16.00 น. โดยทำการตรวจวัดความเข้มข้นของโลหะที่สะสมในฝุ่นละอองทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ แคดเมียม (Cd), เหล็ก (Fe), โครเมียม (Cr), ตะกั่ว (Pb), แมงกานีส (Mn) และสังกะสี (Zn) ซึ่ง วิเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer โดยการใช้เทคนิค graphite

furnace ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีปริมาณสูงสุด คือ สังกะสี โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ย เท่ากับ 0.18063 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และโลหะหนักที่มีความเข้มข้นน้อยที่สุด คือ ตะกั่ว โดยมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.00164 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตาม เมื่อนำความเข้มข้นของโลหะทั้งหมดไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงทางสุขภาพ พบว่ามีโลหะบางชนิดที่มีค่าเกินค่าอ้างอิง คือ โครเมียม แคดเมียม ตะกั่ว และแมงกานีส ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของผู้ที่อยู่บริเวณริมทางหลวงดังกล่าวได้

ภักวีวัฒน์ และคณะ (2562) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาฝุ่น $PM_{2.5}$ และองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ Black Carbon สารไอออนิก และธาตุในพื้นที่เมืองและพื้นที่อุตสาหกรรมของเมืองนครราชสีมา ทำการเก็บตัวอย่างพื้นที่ละ 1 จุด จุดละ 41 ตัวอย่าง ในระยะเวลา 4 เดือนต่อเนื่อง (พ.ย.59 - ก.พ. 60) ผลการศึกษาพบว่าระดับความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในพื้นที่อุตสาหกรรมสูงกว่าพื้นที่เมืองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในทางตรงกันข้ามความเข้มข้นของ Black Carbon ในพื้นที่เมืองสูงกว่าพื้นที่อุตสาหกรรมส่วนผลการวิเคราะห์ของสารไอออนิก ชนิด และธาตุ 20 ชนิด พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของสารไอออนิก 3 ชนิด ได้แก่ Cl^- , NO_3^- และ K^+ และความเข้มข้นของธาตุ 9 ชนิด ได้แก่ Ag, Al, Cd, Fe, Mn, Ni, Ti, V, และ Zn ในพื้นที่อุตสาหกรรมสูงกว่าพื้นที่เมือง นอกจากนี้สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่เมืองมีสัดส่วนเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ แอนไอออน แคทไอออน Black Carbon และธาตุ ตามลำดับ ส่วนพื้นที่อุตสาหกรรมมีสัดส่วนเรียงจากมากไปน้อย ได้แก่ แอนไอออน แคทไอออน ธาตุ และ Black Carbon ตามลำดับ ผลการศึกษาของเมืองนครราชสีมาในการศึกษานี้มีความใกล้เคียงกับผลที่ได้จากเมืองอื่น และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ในแบบจำลองเพื่อทำนายแหล่งกำเนิดมลสารในอนาคต

Lough et al., (2005) การปล่อยโลหะและชนิดของอนุภาคอื่น ๆ จากยานยนต์บนถนน โดยวัดที่อุโมงค์ 2 แห่ง ในเมืองมิลวอกี รัฐวิสคอนซินในช่วงฤดูร้อนปี 2000 (2543) และฤดูหนาวปี 2001 (2544) คำนวณค่าการปล่อยมลพิษจากการวัดค่าอนุภาคฝุ่นละเอียด ($PM_{2.5}$) และอนุภาคหยาบ (PM_{10}) ที่ทางเข้าและทางออกของอุโมงค์ วิเคราะห์หาผลกระทบขององค์ประกอบของยานพาหนะ และฤดูกาล ใช้วิธีการวัดขนาดอนุภาคจากแรงเฉื่อย Cascade Impactors (MOUDI) ถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้อัตราการปล่อยโลหะขนาดที่แตกต่างกัน หาปริมาณโลหะด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS) และเครื่อง X-Ray Fluorescence (XRF) พบว่า อัตราการปล่อย PM_{10} อยู่ระหว่าง 38.7 ถึง 201 mg/km และประกอบด้วยคาร์บอนอินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ (OC) 30 %, ไอออนอนินทรีย์ (ซัลเฟต, คลอไรด์, ไนเตรต และแอมโมเนียม) 20 %, โลหะ 19 % และธาตุคาร์บอน (EC) 9.3 % ในอนุภาคของฝุ่น PM_{10} พบโลหะที่เป็นองค์ประกอบ ได้แก่ Si, Fe, Ca, Na, Mg, Al, และ K องค์ประกอบที่เกิดจากการปล่อยไอเสีย เบรก และยางที่สึกหรอ ได้แก่ Cu, Zn, Sb, Ba, Pb และ S ปริมาณโลหะที่อยู่ในฝุ่น $PM_{2.5}$ มีค่าต่ำมาก (11.6 % ของมวล) ฝุ่นละอองบนถนนขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ สภาพผิวถนน การจราจรที่ติดขัด และรถบรรทุกที่บรรทุกของหนัก สิ่งผลให้มี

การเพิ่มขึ้นของฝุ่นละออง ซึ่งการปล่อยโลหะส่วนใหญ่มาจากท่อไอเสียของยานพาหนะที่มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน การลดลงของปริมาณฝุ่นขึ้นอยู่กับการศึกษาหรือของผ้าเบรก แต่องค์ประกอบใน PM_{2.5} บ่งบอกว่าธาตุที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการเบรกของยานพาหนะ ได้แก่ Pb, Ca, Fe และ Cu

Geller *et al.*, (2006) ฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องเกี่ยวข้องกับปัญหาสุขภาพเป็นอย่างมาก ตั้งแต่โรคมะเร็ง โรคหัวใจ โรคปอด และปัญหาสิ่งแวดล้อมมากมาย รวมถึงภาวะโลกร้อนและฝนกรด อย่างไรก็ตามยังไม่มีการระบุว่าลักษณะทางกายภาพหรือองค์ประกอบทางเคมีของ PM เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดความเสียด้านสุขภาพ การศึกษานี้ต้องการที่จะตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของฝุ่นละออง โดยทำการวัดตัวอย่างในเชิงปริมาณตัวอย่างสำหรับกิจกรรมรีดอกซ์ของการปล่อยมลพิษดีเซลและเบนซินจากยานพาหนะซึ่งมักจะใช้ในยุโรป วัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อเชื่อมโยงคุณสมบัติทางเคมีของฝุ่นละอองกับกิจกรรมรีดอกซ์เกี่ยวกับประเภทของยานพาหนะและรถจักรยานยนต์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง หลายรูปแบบ ทั้งธาตุคาร์บอน ธาตุอินทรีย์ โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โลหะที่อยู่ในกลุ่มที่มีในปริมาณน้อย (trace metals) เช่น ลิเทียม เบริลเลียม นิกเกิล และสังกะสี กิจกรรมรีดอกซ์ของฝุ่นละออง วัดจากการทดสอบปริมาณสารเคมีด้วยการทดสอบ dithiothreitol (DTT) ปัจจัยการปล่อยจำนวนของฝุ่นละออง ที่เป็นผลมาจากเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ประเภทต่าง ๆ อย่างไรก็ตามไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับการลดลงของกิจกรรมรีดอกซ์ ในขณะที่อัตราการปลดปล่อยมวลฝุ่นละออง จากตัวกรองอนุภาคดีเซล (DPF) ในยานพาหนะที่ติดตั้งโดยเฉลี่ยต่ำกว่าของดีเซลทั่วไปประมาณ 25 เท่า ซึ่งศักยภาพรีดอกซ์ลดลงเพียงแปดเท่า จะทำให้ศักยภาพการเกิดฝุ่นละออง มีปริมาณลดลงต่อมวลของยานพาหนะ DPF สูงขึ้นประมาณสามเท่า ดังนั้นกลยุทธ์ที่มุ่งปกป้องสุขภาพของประชาชนและสวัสดิการ โดยลดจำนวนยานพาหนะทั้งหมดส่งผลให้จำนวนการปล่อยมลพิษอาจไม่บรรลุเป้าหมายที่ต้องการในการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากการได้รับสารฝุ่นละออง นอกจากนี้การศึกษายังองค์ประกอบทางเคมีและปฏิกิริยาระหว่างสารเคมีชนิดต่าง ๆ อาจให้ข้อมูลเชิงลึกมากขึ้นเกี่ยวกับความเป็นพิษของ PM ของไอเสียรถยนต์

Thorpe *et al.*, (2008) ในขณะที่มีการควบคุมการปล่อยมลพิษของท่อไอเสียจากการจราจรบนถนนให้มีความการปล่อยมลพิษลดลง ปัจจุบันการปล่อยไอเสียที่ไม่ใช่ไอเสียจากยานพาหนะบนท้องถนนยังคงไม่เปลี่ยนแปลง รวมถึงอนุภาคจากการสึกหรอของเบรก การสึกหรอของยาง การสึกหรอของพื้นผิวถนน และการจอดของยานพาหนะเมื่อการจราจรติดขัด ปริมาณของการปล่อยก๊าซดังกล่าวเป็นปัญหาทั้งในท้องปฏิบัติการและภาคสนาม อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับความรู้ของคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคที่ไม่ใช่ไอเสีย บทความนี้จะดูที่แหล่งข้อมูลแต่ละแห่ง แหล่งกำเนิดของอนุภาคและวัสดุต่าง ๆ ที่ได้จากการศึกษาในห้องปฏิบัติการ ในส่วนสุดท้ายการวัดในเอกซมิงค์และสภาพแวดล้อมที่การตรวจสอบ สรุปได้ว่ามีข้อยกเว้นของอนุภาคฝุ่นของเบรก ซึ่งไม่อาจระบุได้จากปริมาณของทองแดง (Cu) และพลวง (Sb) การระบุชนิดของอนุภาคจากแหล่งอื่นมี

แนวโน้มที่จะพิสูจน์ยากมาก เนื่องจากการขาดองค์ประกอบหรือสารที่เหมาะสม หรือเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างแหล่งกำเนิดก่อนกระบวนการปล่อย แม้ในกรณีที่มีฝุ่นจากการเบรกปัญหาจะเกิดขึ้นในการจำแนกอนุภาคที่ปล่อยออกมาโดยตรงจากสิ่งที่เกิดขึ้น จากการแขวนลอยของฝุ่นที่สะสมอยู่บนพื้นผิวถนน หรือที่ได้มาจากดินริมถนนที่ปนเปื้อนโดยตรงหรือเป็นส่วนประกอบของฝุ่นผิวถนน

Srimuruganandam *et al.*, (2012) อนุภาคฝุ่นละอองโดยรอบ 24 ชั่วโมงโดยเฉลี่ย (PM_{10} และ $PM_{2.5}$) จะถูกเก็บตัวอย่างพร้อมกันในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2551 ถึงเมษายน พ.ศ.2552 ที่ริมถนนในเมืองเจนไน ประเทศอินเดีย ศึกษาองค์ประกอบของโลหะ (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Rb, Se, Sr, Te, Tl, V และ Zn) ไอออน (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , F^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- และ SO_4^{2-}) และองค์ประกอบของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ โดยใช้สเปกโตรมิเตอร์การแผ่รังสีของพลาสมาแบบส่องกราด (ICP-OES)) และไอออนโครมาโตกราฟี (IC) ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีการทำรายการการปล่อยมลพิษในพื้นที่ศึกษาเพื่อระบุแหล่งที่มาของการปล่อย PM มีการนำ U.S. EPA's-CMB (chemical mass balance) version 8.2 มาใช้เพื่อระบุการมีส่วนร่วมของแหล่งกำเนิดของความเข้มข้น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ โดยรอบในพื้นที่ศึกษา ผลการวิจัยพบว่า ไอเสียดีเซล (43–52 % ใน PM_{10} และ 44–65 % ใน $PM_{2.5}$) และไอเสียน้ำมันเบนซิน (6–16 % ใน PM_{10} และ 3–8 % ใน $PM_{2.5}$) พบว่าแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากฝุ่นจากถนนลาดยาง ($PM_{10} = PM_{2.5} = 0-2.3$ %), ฝุ่นเบรกกันฝุ่น (0.1 % ใน PM_{10} และ 0.2 % ใน $PM_{2.5}$), ฝุ่นจากผ้าเบรกที่สึกหรอ (0.1 % ใน PM_{10} และ 0.01 % ใน $PM_{2.5}$), ละอองลอย ($PM_{10} = PM_{2.5} = 0.1$ %) และการปรุงอาหาร (~ 0.8 % ใน PM_{10} และ ~ 1.5 % ใน $PM_{2.5}$)

Wang *et al.*, (2013) ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ค.ศ.2009 ถึงกันยายน ค.ศ.2010 ได้มีการเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ที่เขต Baoshan, เขตอุตสาหกรรม, และเขต Putuo ซึ่งเป็นพื้นที่ใช้งานผสมของที่อยู่อาศัยเชิงพาณิชย์และสถานศึกษา ในเมืองเซี่ยงไฮ้ ในการวิเคราะห์ของเรานั้นมีการพิจารณา 15 องค์ประกอบโดยสเปกโตรสโกปีของการปลดปล่อยอะตอม 710-ES (ICP-AES) มีการวิเคราะห์ปริมาณของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} และองค์ประกอบโลหะในสองสถานที่ที่แตกต่างกัน ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นต่อปีของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ (149.22 และ 103.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) ในเขต Baoshan สูงกว่าในเขต Putuo อย่างมีนัยสำคัญ (97.44 และ 62.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ) ความเข้มข้นของ PM_{10} และ $PM_{2.5}$ นั้นสูงที่สุดในฤดูหนาวและต่ำสุดในฤดูร้อน ด้วยสองสถานที่ที่ต่างกันจึงแสดงฤดูกาลที่แตกต่างกัน พบว่าสัดส่วนของธาตุโลหะ 15 ชนิดใน PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในเขต Baoshan เท่ากับ 20.49 % และ 20.56 % ตามลำดับ ในขณะที่สัดส่วนในเขต Putuo สูงกว่า (25.98 % และ 25.93 % ตามลำดับ) นอกจากนี้สัดส่วนของโลหะหนัก 8 ชนิดใน PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ในเขต Baoshan เท่ากับ 5.50 % และ 3.07 % ตามลำดับ, แอกลินในขณะที่สุดส่วนในเขต Putuo อยู่ที่ 3.18 % และ 2.77 % ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามลพิษโลหะหนักในเขต Baoshan มีค่ามากกว่าเขต Putuo เปรียบเทียบกับเมืองในประเทศที่พัฒนาแล้วระดับ

รวมของ PM₁₀ และ PM_{2.5} และโลหะหนักในเซียงไฮ้ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนนิ่ง (SEM) และการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ซึ่งให้เห็นว่าแหล่งที่มาของ PM₁₀ ที่เป็นไปได้ในเขต Baoshan คือ ฝุ่นในระดับพื้นดิน, การจราจร และกิจกรรมในโรงงานอุตสาหกรรม ในขณะที่ PM_{2.5} ส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมในโรงงานอุตสาหกรรม, การเผาไหม้ถ่านหิน และการจราจร แหล่งที่มาเดียวกันสำหรับ PM₁₀ และ PM_{2.5} ในภูมิภาค Putuo ซึ่งมีต้นกำเนิดมาจากการจราจรและฝุ่นในระดับพื้นดิน

Pan *et al.*, (2017) การศึกษาการปนเปื้อนของโลหะหนักในฝุ่นถนนจาก 4 ภูมิภาคของเมืองซีอาน ประเทศจีน ศึกษาหาความเข้มข้นของโลหะหนัก 8 ชนิด ได้แก่ Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn และ V โดย X-Ray Fluorescence (XRF) จากการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักที่ทำการศึกษา คือ : Co 30.9 mg/kg, Cr 145.0 mg/kg, Cu 54.7 mg/kg, Mn 510.5 mg/kg, Ni 30.8 mg/kg, Pb 124.5 mg/kg, V 69.6 mg/kg และ Zn 268.6 mg/kg มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของ Pb, Zn, Co, Cu และ Cr ตามค่า geoaccumulation index (I_{geo}) การวิเคราะห์ทางสถิติหลายตัวแปรพบว่าความเข้มข้นของ Cu, Pb, Zn, Co และ Cr มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ในขณะที่ความเข้มข้นของ Mn, Ni และ V มาจากแหล่งธรรมชาติ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการถดถอยเชิงเส้นหลายครั้งถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบการหาแหล่งที่มา ผลการวิจัยพบว่าปริมาณการใช้ข้อมูลเป็นแหล่งที่มาหลักโดยมีส่วนร่วม 53.4 %, แหล่งธรรมชาติมีส่วนร่วม 26.5 % และแหล่งกำเนิดมลภาวะทางมานุษยวิทยาอื่น ๆ มีส่วนร่วม 20.1 % มลพิษโลหะหนักที่ชัดเจนถูกระบุโดยการทำแผนที่ GIS โดยตำแหน่งของแหล่งกำเนิดมลพิษและทิศทางลมที่พบนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการกระจายตัวของโลหะหนักในอากาศ

Shirmohammadi *et al.*, (2017) การศึกษานี้อธิบายการตรวจวัดฝุ่นแบบละเอียดบนถนน (PM_{2.5}) ใช้แพลตฟอร์มเครื่องมือวัดแบบเคลื่อนที่เพื่อประเมินองค์ประกอบทางเคมีและศักยภาพออกซิเดชันของ PM_{2.5}, ใช้การทดสอบ dithiothreitol (DTT), เก็บตัวอย่างริมถนนใน Los Angeles Basin มากกว่า 3 ตัวอย่าง คือ ทางด่วน I-110 และ I-710, ถนน Wilshire / Sunset รวมทั้งวิทยาเขตหลักของ University of Southern California (USC), ใช้ข้อมูลในเมืองเป็นตัวอ้างอิง วิเคราะห์ตัวอย่างทางเคมีสำหรับธาตุคาร์บอน (EC), คาร์บอนอินทรีย์ (OC), โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) และองค์ประกอบอีก 50 องค์ประกอบ สัดส่วนมวลรวมของ PAHs ที่วัดได้สูงที่สุดบนทางด่วน (0.16±0.01 และ 0.15±0.01 ng / mg PM บนทางด่วน I-110 และ I-710 ตามลำดับ) ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าสูงกว่าที่ Wilshire/Sunset และ USC 3 และ 3.3 เท่า ตามลำดับ เศษส่วนมวลของ Ba, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb และ Zn, จากการสีหรือของยานพาหนะ มีค่าสูงกว่า 3.8±0.8 เท่าของทั้งสองทางด่วนเมื่อเปรียบเทียบกับ Wilshire/Sunset กิจกรรม DTT ที่แท้จริง (ตามปกติต่อมวลฝุ่นละออง) กิจกรรม DTT ของทางด่วนนั้นมีค่ามากที่สุด ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 30.13±3.15 ไม่นโมล/วินาที mg ฝุ่นละอองและอยู่ที่ 1.9 และ 2.1 เท่าสูงกว่าค่าที่ได้จาก Wilshire/Sunset และ

USC ตามลำดับ นอกจากนี้การเปรียบเทียบผลกับการศึกษาบนถนนที่ดำเนินการในทศวรรษที่ผ่านมา ในลอสแอนเจลิส พบว่า การลดลงโดยรวมของคาร์บอนและ PAHs (การปล่อยไอเสียเป็นแหล่งที่สำคัญ) ไปสู่มวลฝุ่นละออง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบนทางหลวง I-710 ที่มีค่ามากที่สุด

Talbi *et al.*, (2017) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 1 ไมครอน (PM_{10}), 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$), 10 ไมครอน (PM_{10}). และปริมาณของโลหะหนักมีการเก็บตัวอย่างในสถานี่ต่าง ๆ สองแห่ง คือ เมืองและริมถนนที่แอลเจียร์ (แอลจีเรีย) การสุ่มตัวอย่างดำเนินการเป็นเวลาสองปี โดยเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาณสูง (HVS) ที่มาพร้อมกับเครื่องลดแรงกระแทกที่ขั้นตอนสี่ระดับสำหรับการสุ่มตัวอย่างหนึ่งปี การศึกษาคุณสมบัติของโลหะหนักที่เกี่ยวข้องกับอนุภาค (PM) ดำเนินการโดยการวิเคราะห์ด้วย X-Ray Fluorescence (XRF) ความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของ PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในทั้งสองสถานี่เท่ากับ 18.24, 32.23 และ 60.01 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในถนนนั้นมีค่า 13.46-25.59 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, 20.82-49.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 45.90-77.23 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความเข้มข้นของ PM_{10} , $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในเมืองมีค่า 10.45-26.24 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร, 18.53-47.58 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และ 43.8-91.62 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โลหะหนักที่พบใน PM ได้นำไปวิเคราะห์โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดอิเล็กตรอนพลังงาน (SEM-EDX) จุดที่แตกต่างของการวิเคราะห์ $PM_{2.5}$ โดย SEM-EDX แสดงจำนวนของธาตุ 19 ชนิดที่มีต้นกำเนิดจากมนุษย์และธรรมชาติ โลหะหนักที่ตรวจพบ มีตะกั่วสูงสุด 5 % (โดยน้ำหนัก) เพื่อกำหนดแหล่งที่มาของปริมาณ PM ในการสุ่มตัวอย่างทั้งสองสถานี่ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ถูกนำไปใช้กับข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ การวิเคราะห์ทางสถิติยืนยันแหล่งที่มาจากมนุษย์และการจราจรเป็นแหล่งสำคัญ และมีแหล่งที่มาจากมลพิษทางธรรมชาติ ที่สถานี่ทั้งสองแห่งอัตราส่วน ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ ต่ำกว่าที่บันทึกไว้ในประเทศที่พัฒนาแล้ว การศึกษาวิถีของมลอากาศเริ่มต้นจากทะเลทรายซาฮาราแสดงให้เห็นว่าฝุ่นทะเลทรายมีผลต่อความเข้มข้นและองค์ประกอบของ PM ที่วัดในแอลเจียร์

Quijano *et al.*, (2019) คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของอนุภาคละเอียด ($PM_{2.5}$) เกี่ยวข้องกับแหล่งที่มาของการปล่อย เพื่อตรวจสอบความแตกต่างทางเคมีและทางกายภาพเก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ ที่เมือง, เขตชนบทและอุตสาหกรรมของเขตนครหลวงของริโอเดอจาเนโร (RJ) ประเทศบราซิล การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของตัวอย่างได้ดำเนินการโดยใช้ไอออนโครมาโตกราฟี (IC) และเครื่อง Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (ICP-MS) ในขณะที่ลักษณะทางกายภาพนั้นทำโดยการสแกนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน-พลังงานกระจายสเปกตรัม (SEM-EDS) ผ่านการใช้ไฮบริด Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectories (HYSPLIT) พบว่าทุกพื้นที่ที่ทำการศึกษานำเสนออิทธิพลของมลอากาศในมหาสมุทร โรงงานอุตสาหกรรมและการค้าในพื้นที่ชนบทแสดงให้เห็นว่ามีอิทธิพลต่อมลอากาศในทวีปยุโรปด้วยเช่นกัน ซึ่งมีละอองลอยที่มีการดูดซับใช้

ซักรังสียูวีได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับที่พบในเส้นทางการเคลื่อนที่ในมหาสมุทรแอตแลนติก องค์ประกอบที่วิเคราะห์นั้นไอออน NO_3^- และ SO_4^{2-} และธาตุ V, Pb และ Sn นั้นมีความโดดเด่นในพื้นที่เขตเมืองในขณะที่ในพื้นที่ชนบท และเขตอุตสาหกรรม Na^+ และ SO_4^{2-} นั้นเป็นไอออนหลักและของธาตุ Na, Zn และ Ba เป็นองค์ประกอบที่มีค่าสูงสุด การวิเคราะห์ SEM-EDS อนุภาคถูกแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ ความคล้ายคลึงกันทางสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ ICP-MS ตรวจพบองค์ประกอบ K, Al, Ca, Fe, Cu, Zn, Ba และ Mg ในการวิเคราะห์แต่ละอนุภาคด้วย SEM-EDS ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่า C, O และ Si เป็นองค์ประกอบสำคัญ การวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยาและเคมีระบุว่าอิทธิพลของการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะเป็นแหล่งที่พบได้ทั่วไปในทุกพื้นที่ การวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่าในเมืองมีอนุภาคที่มีสัณฐานที่หลากหลายมากเมื่อเทียบกับพื้นที่ในชนบทและอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น Analyst (AAS-200) บริษัท Perkin Elmer ประเทศอังกฤษ
- 2) เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น QUANTA 250 ยี่ห้อ FEI ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 3) เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Sampler) รุ่น 2100 ยี่ห้อ ECOTECH ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 4) เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 2.5 ไมครอน รุ่น PQ200 ยี่ห้อ BGI (MESA LAB) บริษัท ไคเนติกส์ คอร์ปอเรชั่น ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 5) เครื่องออดูนิยมวิทยา รุ่น Vanyage Pro บริษัท Davis Instruments ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 6) กระดาษกราฟวงกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ (Recorder chart)
- 7) เครื่องชั่ง (ทศนิยม 6 ตำแหน่ง) รุ่น XP6 ยี่ห้อ METTLER TOLEDO บริษัท MATTLE TOLEDO ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 8) เครื่องชั่ง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) รุ่น AB204 Mettler Toledo บริษัท Metrology Technical Co., Ltd. ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 9) ตู้ดูดความชื้นอัตโนมัติ (Desiccator auto dry box) รุ่น CM-3 บริษัท Samplatec Crop ประเทศเยอรมนี
- 10) ชุดเก็บกระดาษกรองสำหรับใส่กระดาษกรอง 47 มิลลิเมตร
- 11) บารอมิเตอร์ (Barometer)
- 12) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)
- 13) มานอมิเตอร์น้ำ (Manometer)
- 14) เครื่องกวนสารให้ความร้อน (Hotplate Stirrer) รุ่น MR Hei-Tec ยี่ห้อ Heidolph
- 15) กระดาษกรองใยหิน (Quarz Fiber Filter) ขนาด 203 x 254 มิลลิเมตร สำหรับตรวจวัด PM₁₀ บริษัท Toyo Roshi Kaisha., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น
- 16) กระดาษกรองใยหิน (Quarz Fiber Filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42 มิลลิเมตร สำหรับตรวจวัด PM_{2.5} บริษัท Toyo Roshi Kaisha., Ltd. ประเทศญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 17) ที่ตัดพืชมั่ว
- 18) แผ่นรองสำหรับตัดกระดาษกรอง
- 19) ถังซีพีพลาสติก และช่องกระดาษสีน้ำตาล
- 20) ถังมือชนิดไว้นิลที่ไม่มีแป้น
- 21) คีมคีบปากแบน (Forcep) ชนิดพลาสติก
- 22) ขวดวัดปริมาตรพลาสติก ขนาด 25 มิลลิลิตร
- 23) อุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ

3.1.2 สารเคมี

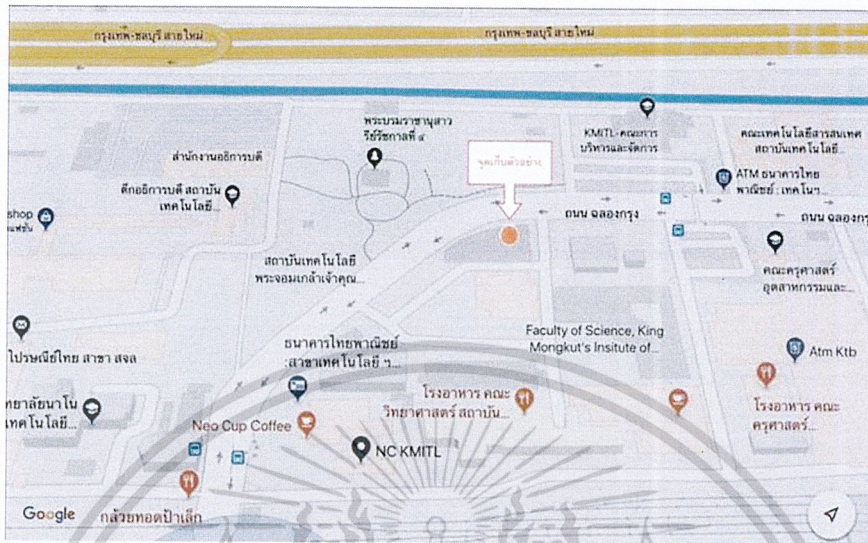
- 1) กรดไนตริก 65 % เกรดวิเคราะห์ บริษัท ITW Reagents ประเทศสเปน
- 2) กรดไฮโดรคลอริก 35.4 % เกรดวิเคราะห์ บริษัท LOBA Chemie ประเทศอินเดีย
- 3) กรดไนตริก 1 %
- 4) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว สต็อก 1,000 ส่วนหนึ่งในล้านส่วน เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty., Ltd. ประเทศออสเตรเลีย
- 5) สารละลายมาตรฐานนิกเกิล สต็อก 1,000 ส่วนหนึ่งในล้านส่วน บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 6) สารละลายมาตรฐานสังกะสี สต็อก 1,000 ส่วนหนึ่งในล้านส่วน เกรดวิเคราะห์ บริษัท Ajax Finechem Pty., Ltd. ประเทศออสเตรเลีย
- 7) สารละลายมาตรฐานทองแดง สต็อก 1,000 ส่วนหนึ่งในล้านส่วน บริษัท Scharlab S.L. ประเทศสเปน
- 8) สารละลายมาตรฐานแคดเมียม สต็อก 1,000 ส่วนหนึ่งในล้านส่วน บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 9) สารละลายมาตรฐานแมงกานีส สต็อก 1,000 ส่วนหนึ่งในล้านส่วน บริษัท Merck ประเทศเยอรมนี
- 10) เอทานอล บริษัท Liquor ประเทศไทย
- 11) น้ำกลั่น

3.2 พื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละออง

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (ละติจูด 13.7304 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.7796 องศาตะวันออก) ระยะห่างจากถนนที่มีการจราจรประมาณ 6 เมตร โดยเก็บตัวอย่างอากาศ 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Systematic Completely Randomized Design: CRD) ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนที่จุดเก็บตัวอย่างในคณะวิทยาศาสตร์



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงตำแหน่งตัวอย่างฝุ่นของกองจัดการคุณภาพอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส และเสี่ยงบริเวณริมถนนลาดกระบัง (A), ตำแหน่งเก็บตัวอย่างไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีหน้าคณะวิทยาศาสตร์ (C), แสดงเขตนิคมอุตสาหกรรม (B)

3.3 วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 2.5 ไมครอน

การเตรียมกระดาศกรอง PM_{2.5}

1) ตรวจสอบความพร้อมของกระดาศกรอง

1.1) ใช้กระดาศกรองที่ทำด้วยใยหิน (Quartz Filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 42 มิลลิเมตร ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5})

1.2) ตรวจสอบความพร้อมของกระดาศกรอง เพื่อตรวจสอบรอยฉีกขาด รูพรุน สีของกระดาศกรองที่เปลี่ยนไป เป็นต้น หากพบว่ากระดาศกรองมีความไม่สมบูรณ์จะไม่นำมาใช้ในการเก็บตัวอย่าง

1.3) กำหนดรหัสหมายเลขกระดาศกรอง ควรกำหนดรหัสเป็นตัวเลขที่แสดงถึงรายละเอียดของกระดาศโดยระบุ วันที่ น้ำหนักกระดาศกรองก่อนเก็บ-หลังเก็บ และช่วงระยะเวลาที่เก็บ

2) การอบกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง

2.1) นำกระดาศไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นรอให้เย็น แล้วนำไปใส่ในตู้ดูดความชื้น

2.2) ก่อนใส่กระดาศกรองให้ทำความสะอาดตู้ดูดความชื้นด้วยเอทานอลทุกครั้ง

2.3) วางกระดาศกรองในตู้ดูดความชื้นโดยหงายด้านที่เก็บตัวอย่างขึ้น

2.4) อบกระดาศกรองในตู้ดูดความชื้นอย่างน้อย 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิระหว่าง 15–30 °C±3°C ความชื้นสัมพัทธ์น้อยกว่า 50 %±5 %

2.5) เมื่อครบ 48 ชั่วโมง ใส่กระดาศกรองลงในถุงพลาสติกและเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้นเพื่อรอชั่งน้ำหนักก่อนเก็บตัวอย่าง

3) การชั่งน้ำหนักกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง

3.1) เปิดเครื่องชั่งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที

3.2) ปรับเครื่องชั่งให้เป็น 0.000000 กรัม (ทศนิยม 6 ตำแหน่ง)

3.3) นำกระดาศกรองที่ผ่านการอบแล้วมาชั่งน้ำหนัก

3.4) ใส่กระดาศในตลับ เพื่อเตรียมสำหรับการเก็บตัวอย่างภาคสนามต่อไป

วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ต้องมีทำการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) อย่างน้อย 1 ครั้งต่อเดือน (ดังแสดงในภาคผนวก ข)

1) เก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Systematic Completely Randomized Design : CRD)

2) เก็บกระดาศกรองเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ที่คืบพลาสติกหยาบกระดาศกรองด้านที่มีฝุ่นขึ้นเก็บตัวอย่างใส่ในตลับกระดาศกรอง แล้วเก็บใส่ในถุงซิปล็อคและซองกระดาศสีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารลับสำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาระดับปริญญาโทขึ้นไปโดยไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) นำกระดาษกรองมาดูดความชื้นที่ตู้ดูดความชื้นควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ 15 – 30 °C ± 3 °C และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) < 50 % ± 5 % (ตู้เดียวกับการเตรียมกระดาษกรองเก็บตัวอย่าง) ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังจากเก็บตัวอย่างในหน่วยกรัม (ทศนิยม 6 ตำแหน่ง)

3.4 วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 10 ไมครอน

การเตรียมกระดาษกรอง PM₁₀

1) การตรวจสอบแผ่นกรอง โดยวางกระดาษกรองบนพื้นที่ผิวกระจกของกล่องแสงที่ทำความสะอาดด้วยเอทานอล จากนั้นส่องกระดาษกรองกับแสงไฟเพื่อตรวจสอบรอยร้าว (ในการเคลื่อนย้ายกระดาษกรอง ควรใช้ปากคีบโลหะที่มีส่วนปลายเป็นไม้ หรือพลาสติกเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของโลหะและใช้ถุงมือที่ไม่มีแป้ง เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากไขมันและสิ่งสกปรกบนมือ)

2) ทำหมายเลขการเก็บตัวอย่างไว้ที่มุมขวาบนของถุงซิปลง และช่องกระดาษสีน้ำตาลที่ใช้บรรจุ (ระวังอย่าให้กระดาษกรองชำรุด Log Book)

3) นำแผ่นกรองมาดูดความชื้นที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ที่อุณหภูมิ 15–30 °C ± 3 °C และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) < 50 % ± 5 % เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ใส่กระดาษกรองในถุงซิปลงแล้วเก็บในตู้ดูดความชื้นอีก 2–3 ชั่วโมง เพื่อให้มีการดูดความชื้นที่ถุงซิปลงอีกครั้ง

4) เปิดเครื่องชั่งทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที ก่อนชั่งน้ำหนัก

5) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองในหน่วยมิลลิกรัม (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) ปิดถุงซิปลงที่บรรจุกระดาษกรอง โดยชั่งน้ำหนักอย่างน้อย 3 ครั้ง

6) นำกระดาษกรองใส่ถุงซิปลงปิดถุงซิปลง ที่บรรจุกระดาษกรองที่ชั่งน้ำหนักแล้วใส่ Flow chart recorder ที่มีหมายเลขเดียวกับกระดาษกรองไว้ในช่องกระดาษสีน้ำตาล เพื่อใช้สำหรับเก็บตัวอย่างในภาคสนามต่อไป

ในการเปรียบเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Sampler) รุ่น 2100 ยี่ห้อ ECOTECH ประเทศสหรัฐอเมริกา ต้องทำการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) (ดังแสดงในภาคผนวก ข) และวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดำเนินการตามวิธีเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เว้นแต่การเก็บกระดาษกรองเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยหยาด้านที่มีฝุ่นขึ้นเก็บตัวอย่างให้ใส่ในถุงซิปลงและช่องกระดาษสีน้ำตาล

3.5 การวิเคราะห์ตัวอย่างฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

1) การวิเคราะห์หาลักษณะรูปร่างของฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

การวิเคราะห์หาลักษณะรูปร่างของฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) โดยใช้หลักการยิงอิเล็กตรอนให้ไปตกกระทบกับวัตถุแล้วจึงใช้ Detector และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เปลี่ยนไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ให้เห็นลักษณะรูปร่างของตัวอย่าง โดยทำการเตรียมตัวอย่างดังนี้

- 1.1) ตัดกระดาษกรองตัวอย่างฝุ่นละออง ขนาด 1 เซนติเมตร x 1 เซนติเมตร
- 1.2) แปะคาร์บอนเทป บนมินิตลับ
- 1.3) นำตัวอย่างวางบนคาร์บอนเทปที่แปะอยู่บนมินิตลับ
- 1.4) นำตัวอย่างไปทำการเคลือบด้วยทอง (Au Coating) วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

2) วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) โดยใช้วิธีมาตรฐาน US.EPA (Method IO-3.1)

1) นำกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่าง $PM_{2.5}$ ทั้งหมด ไปตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ สำหรับกระดาษกรองที่เก็บตัวอย่าง PM_{10} ให้ตัดกระดาษกรองเป็นแถบขนาด 0.5 นิ้ว x 8 นิ้ว จำนวน 3 แถบ จากนั้นนำแต่ละแถบไปตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร

2) เติมกรดไนตริก 65 % และไฮโดรคลอริก 35.4 % ในอัตราส่วน 1 : 3 (1 HNO_3 : 3 HCl) ลงในบีกเกอร์จนกรดท่วมกระดาษปิดด้วยกระดาษฟิวส์ จากนั้นแช่ตัวอย่างทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

3) นำบีกเกอร์จากข้อ 2 ที่ปิดด้วยกระดาษฟิวส์ โดยใส่น้ำบนกระดาษฟิวส์เพื่อป้องกันการระเหยของไอสาร นำไปให้ความร้อนด้วย Hot Plate ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (ระวังอย่าให้สารละลายในบีกเกอร์แห้ง)

4) เทสารละลายลงในขวดวัดปริมาตรพลาสติกขนาด 25 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยกรดไนตริกเข้มข้น 1 %

5) นำสารที่สกัดได้มากรองด้วยกระดาษกรองชนิดไนลอน ขนาดรูพรุน 0.45 μm ลงในขวดพลาสติก

6) วิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง (Cu), โครเมียม (Cr), สังกะสี (Zn), แมงกานีส (Mn), นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว (Pb) โดยใช้ เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

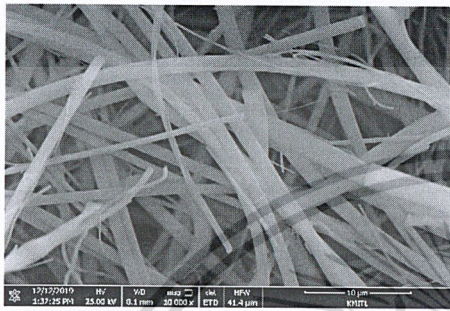
การทดลองนี้เป็นการตรวจวัดความเข้มข้นของฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และความเข้มข้นของโลหะหนักที่จับกับฝุ่นละอองในบรรยากาศ บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำการเก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 2.5 ไมครอน และเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก เพื่อศึกษาลักษณะสัณฐานของอนุภาคฝุ่นละออง ความเข้มข้นของฝุ่นละออง ชนิด และความเข้มข้นโลหะหนักที่จับกับฝุ่นละอองที่อาจมีผลกระทบต่อสุขภาพของนักศึกษา คณาจารย์ บุคลากรภายในสถาบันฯ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการศึกษาสัณฐานของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

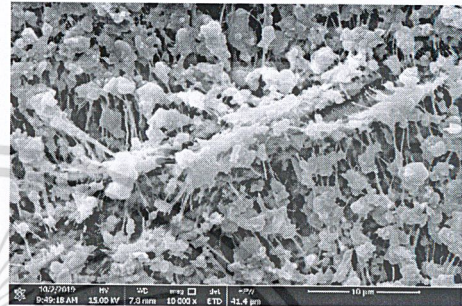
การศึกษาสัณฐานของอนุภาคที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า และ 25,000 เท่า โดยสุ่มตัวอย่างในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 และตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในวันที่เกิดเหตุการณ์การเผาหญ้าใกล้เคียงกับบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ตามลำดับ

จากผลการศึกษาพบว่า ตัวอย่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่เก็บในเดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีลักษณะเป็นฟล็อกหรือมีลักษณะปุย กลุ่มอนุภาครวมตัวหลวม ๆ (Soot Aggregation) ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต (ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2) ซึ่งงานวิจัยของ Fernanda *et al.*, (2019) และ Wang *et al.*, (2013) พบว่า สัณฐานฝุ่นละอองดังกล่าว เป็นฝุ่นที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ เช่น ท่อไอเสียรถยนต์ การเผาไหม้ถ่านหิน และการเผาไหม้ชีวมวล จากสัณฐานของอนุภาคฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในงานวิจัยนี้ สัณนิษฐานได้ว่าแหล่งกำเนิดอนุภาคฝุ่นละอองอาจมาจากท่อไอเสียรถยนต์ เนื่องจากเก็บตัวอย่างฝุ่นห่างจากริมถนน ประมาณ 6 เมตร และในช่วงเวลาดังกล่าวทิศทางลมที่พัดมาจากทิศตะวันออก ซึ่งต้องผ่านแหล่งกำเนิดจากรถยนต์ในถนนฉลองกรุง และถนนมอเตอร์เวย์ (ตารางที่ จ-1 ในภาคผนวก จ) นอกจากนี้ ในวันที่เกิดเหตุการณ์การเผาหญ้าพบฝุ่นมีลักษณะเป็นฟล็อกหรือมีลักษณะปุย (รูปที่ 4.2 ข) ซึ่งจากสัณฐานของอนุภาคฝุ่น สัณนิษฐานได้ว่า อาจมีแหล่งกำเนิดจากทั้งท่อไอเสียรถยนต์และการเผาวัสดุชีวมวล ซึ่งจำเป็นต้องการศึกษาองค์ประกอบของฝุ่น เพื่อหาแหล่งกำเนิด (Source Apportionment) ต่อไป อย่างไรก็ตาม ฝุ่น

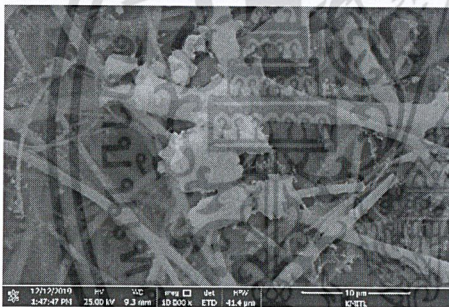
PM₁₀ ที่เก็บในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีลักษณะเป็นแผ่นจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนไม่เป็นระเบียบ (Regular Mineral Particles) (รูปที่ 4.2 ง) ซึ่งงานวิจัยของ Wang *et al.*, (2013) พบว่า ลักษณะของอนุภาคดังกล่าว มีแหล่งกำเนิดจากฝุ่นถนน หรือฝุ่นจากการก่อสร้าง ซึ่งสอดคล้องกับในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีการเร่งก่อสร้างอาคารเรียนของคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล. จึงมีรถบรรทุกขนส่งวัสดุก่อสร้างวิ่งเข้าออกเป็นจำนวนมาก และในช่วงเวลาดังกล่าวทิศทางลมที่พัดมาจากทิศตะวันออก ซึ่งเป็นที่ตั้งของอาคารที่กำลังก่อสร้าง



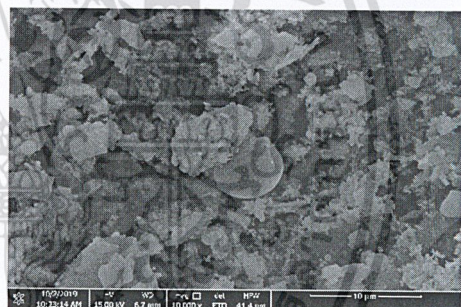
(ก)



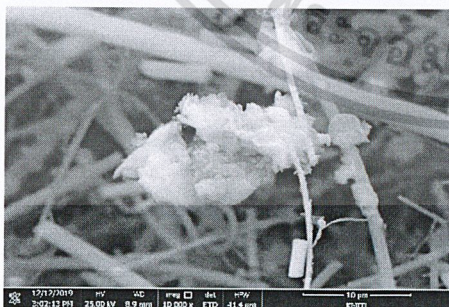
(ข)



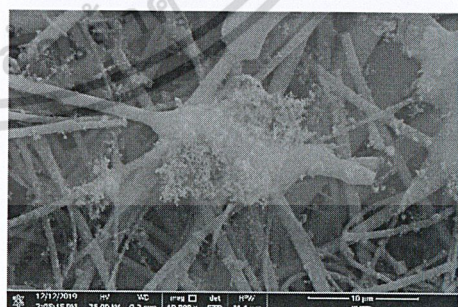
(ค)



(ง)

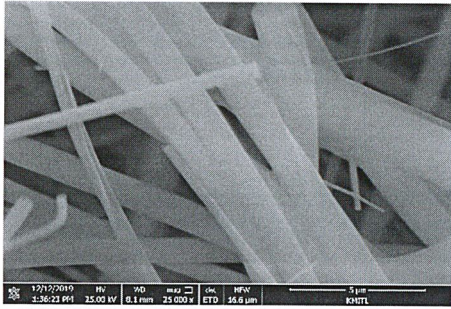


(จ)

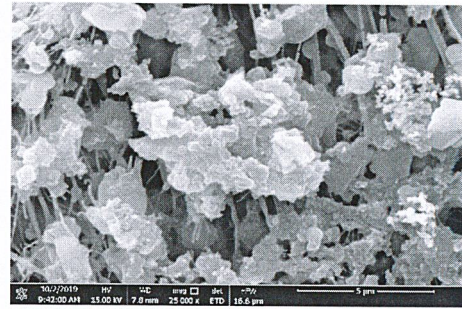


(ฉ)

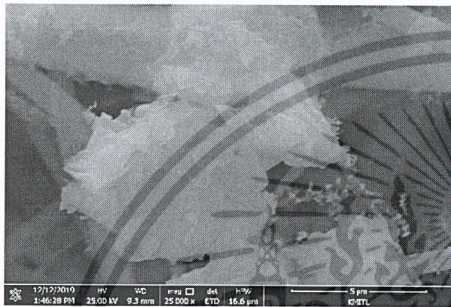
รูปที่ 4.1 วิเคราะห์ลักษณะของอนุภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 10,000 เท่า (ก) กระจาดขรองควอตซ์ (ข) PM_{2.5} เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 (ค) เอกสา PM_{2.5} เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 (ง) PM₁₀ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 (จ) PM₁₀ เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2562 (ฉ) PM_{2.5} ในวันที่เกิดเหตุการณ์การเผาหญ้าใกล้เคียงกับบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง



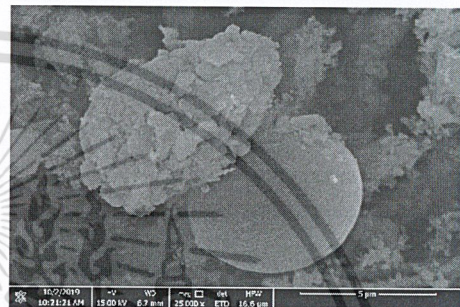
(ก)



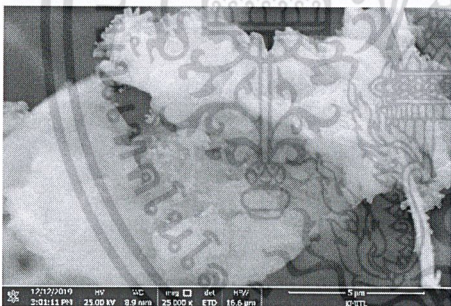
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



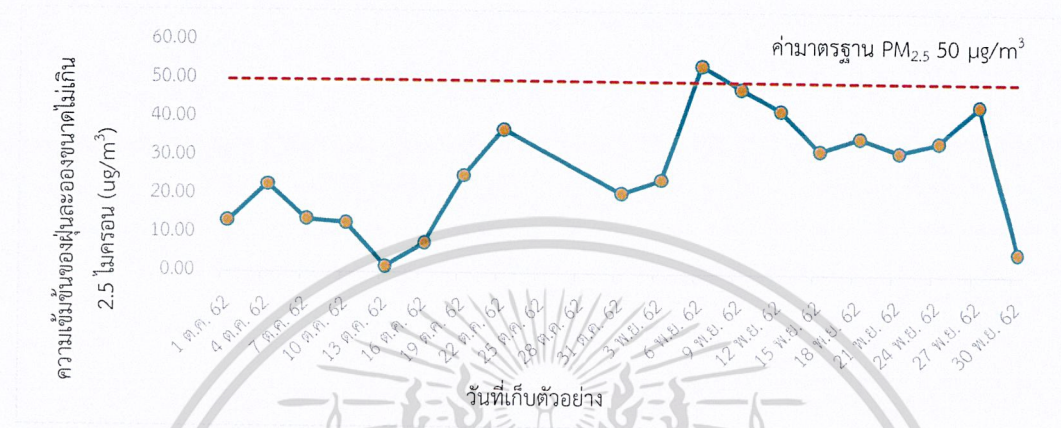
(ฉ)

รูปที่ 4.2 วิเคราะห์สัณฐานของอนุภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 25,000 เท่า (ก) กระจกกรองควอตซ์ (ข) $PM_{2.5}$ เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 (ค) $PM_{2.5}$ เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 (ง) PM_{10} เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 (จ) PM_{10} เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 (ฉ) $PM_{2.5}$ ในวันที่เกิดเหตุการณ์การเผาหญ้าใกล้เคียงกับบริเวณจุดเก็บ

4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

จากการวิเคราะห์ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) เก็บตัวอย่างฝุ่นตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงเดือนมิถุนายนปีเป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ (สจล.) โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศแบบการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Systematic Completely Randomized Design ; CRD) โดยเก็บตัวอย่างวันเว้นสองวัน ได้ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-1 และ ค-2 ในภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ (สจล.) ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

หมายเหตุ : ตัวอย่างวันที่ 25 และวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ. 2562 ไม่มีผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง เนื่องจากเครื่องมีปัญหา จึงไม่มีผลการชั่งน้ำหนักกระดาษหลังเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ (สจล.) ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

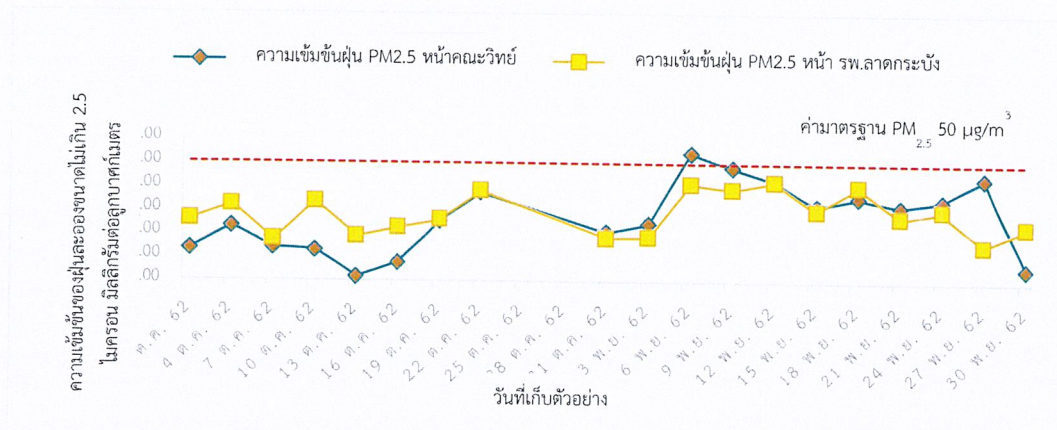
หมายเหตุ : ตัวอย่างวันที่ 13 ตุลาคม และวันที่ 27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่มีผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง เนื่องจากเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองหยุดทำงานในขณะที่เก็บตัวอย่าง และเครื่องชั่ง

น้ำหนักกระดาษชั่งมี 4 ตำแหน่งชำรุด. ตามลำดับฯ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ระหว่างเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 พบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองเท่ากับ $17.33 \pm 10.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ความเข้มข้นในช่วง $1.59-37.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และ $35.52 \pm 13.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ความเข้มข้นในช่วง $6.05-54.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับ สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ระหว่างเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 พบว่ามีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นละอองเท่ากับ $42.79 \pm 17.35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ความเข้มข้นในช่วง $9.86-59.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และ $62.34 \pm 17.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ความเข้มข้นในช่วง $36.50-92.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ตามลำดับ

จากการทดสอบความแตกต่างความเข้มข้นความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ด้วยวิธีทางสถิติโดยวิเคราะห์ด้วย t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ค่า p-value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ฉ-1 ถึงภาคผนวก ฉ-4) นั่นคือ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในเดือนพฤศจิกายนมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 เนื่องจากในช่วงเดือนตุลาคมเป็นช่วงฤดูฝน ทำให้ฝุ่นละอองบางส่วนถูกฝนชะออกจากบรรยากาศ ดังจะเห็นได้จากในวันที่ 7 และ 10 ตุลาคม พ.ศ. 2562 มีฝนตก จะมีความเข้มข้นของฝุ่นน้อยกว่าวันที่ไม่มีฝน อย่างไรก็ตาม ในวันที่ 28 และ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึงแม้ว่าจะมีฝนตก แต่มีความเข้มข้นของฝุ่นค่อนข้างสูงกว่าในวันที่มีฝนตกในเดือนตุลาคม เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเปลี่ยนสภาพอากาศเข้าสู่ต้นฤดูหนาว (ดูรายละเอียดในตารางที่ ฉ-1 ภาคผนวก ฉ) ทำให้เกิดสภาพอากาศปิดส่งผลให้เกิดการสะสมตัวของฝุ่นละออง จากผลการวิเคราะห์ฝุ่นละอองในบรรยากาศ พบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่ $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ยกเว้นวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ที่ฝุ่น $PM_{2.5}$ มีค่าเกินมาตรฐานเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในช่วงวันดังกล่าวมีสภาวะอากาศปิดเนื่องจากมีอากาศเย็นลง ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นในบรรยากาศ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ $PM_{2.5}$ บริเวณริมถนนหน้าโรงพยาบาลลาดกระบังของกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรุงเทพมหานคร (2562) ที่พบว่ามีค่าความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ในวันดังกล่าวมีค่าค่อนข้างสูง (รูปที่ 4.5) ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่ $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ซึ่งผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srimuruganandam and Shiva Nagendra (2012) ที่พบว่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ในช่วงฤดูหนาวมีค่าสูงกว่าในช่วงฤดูฝนและฤดูร้อน

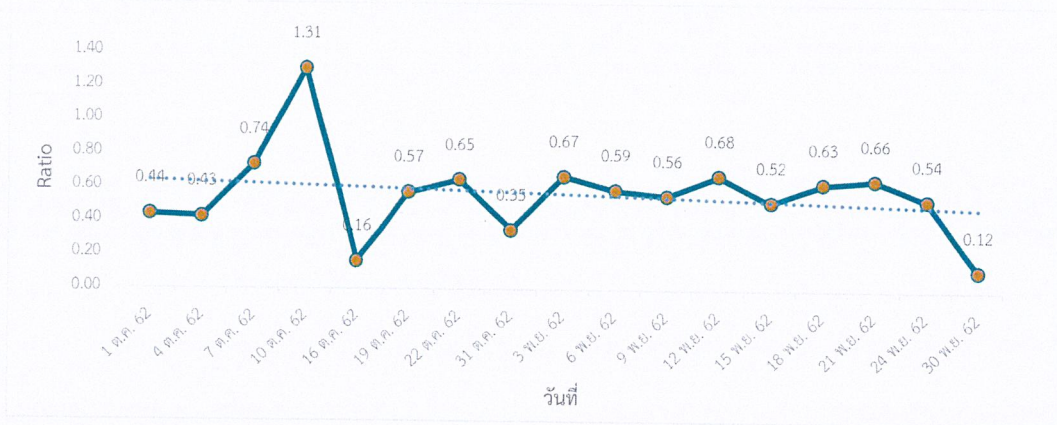
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น $PM_{2.5}$ บริเวณริมถนนลาดกระบัง ซอยลาดกระบัง 15 หน้าโรงพยาบาลลาดกระบัง ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรุงเทพมหานคร (2562)

รูปที่ 4.5 (ดังแสดงในตารางที่ ค-3 ภาคผนวก ค) แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการทดลองกับความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น $PM_{2.5}$ บริเวณริมถนนลาดกระบัง หน้าโรงพยาบาลลาดกระบัง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรุงเทพมหานคร (2562) ในระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในแต่ละวันทั้งสองบริเวณจะมีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นที่สอดคล้องกัน จากการทดสอบความแตกต่างด้วยวิธีทางสถิติโดยวิเคราะห์ด้วย t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า ค่า p-value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ (0.05) (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ-5 และภาคผนวก ฉ-6) นั่นคือ ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ทั้งสองบริเวณแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากทั้งสองบริเวณอยู่ไม่ห่างจากกัน และมีจุดเก็บตัวอย่างอากาศอยู่ริมถนนที่มีปริมาณรถยนต์หนาแน่น ถึงแม้ว่าจุดเก็บตัวอย่างอากาศบริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. จะมีข้อจำกัดคือมีด้านหนึ่งตั้งอยู่ใกล้อาคารเรียนที่มีระยะห่างทำมุมกับยอดอาคารมากกว่า 30 องศา อย่างไรก็ตาม ผลความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ จากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้งสองแห่ง ก็มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (ดังแสดงในภาคผนวก ฉ-5 และภาคผนวก ฉ-6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัดส่วน $PM_{2.5}$ ต่อ PM_{10} ความเข้มข้น 24 ชั่วโมงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

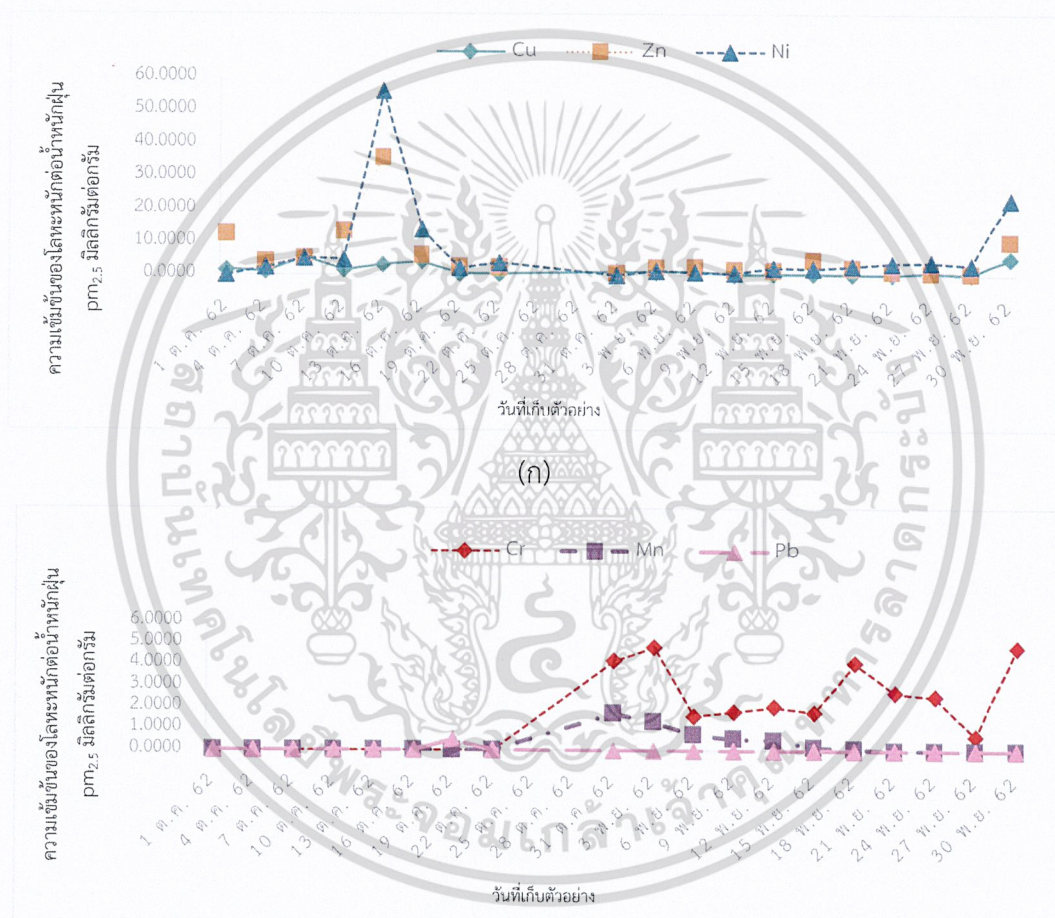
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการสุ่มนับจำนวนรถยนต์ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 ตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 11.00 น. ของวันถัดไป พบว่าในวันจันทร์ถึงศุกร์ มีจำนวนรถจักรยานยนต์ 2 ล้อ รถยนต์ 4 ล้อ รถบัสและรถบรรทุก 6 ล้อขึ้นไป ในแต่ละวันค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยพบสัดส่วนรถจักรยานยนต์ 2 ล้อ 25.37 % รถยนต์ 4 ล้อ 72.99 % รถบัส และรถบรรทุก 6 ล้อขึ้นไป 1.64 % จากการสำรวจพบว่า ที่บริเวณถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ จะมีปัญหาการติดในช่วงเวลาประมาณ 7.00-9.00 น. และ 15.00-18.00 น

ตารางที่ 4.1 ปริมาณรถยนต์ต่อวัน บริเวณริมถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 (ตั้งแต่เวลา 11.00 น. ถึง 11.00 น. ของวันถัดไป)

วันที่	จำนวนรถยนต์ (คัน)			
	รถจักรยานยนต์ 2 ล้อ	รถยนต์ 4 ล้อ	รถบัสและ รถบรรทุก 6 ล้อ ขึ้นไป	รวม
วันอังคารที่ 1 ต.ค. 2652	12,413	33,621	697	46,731
วันศุกร์ที่ 4 ต.ค. 2652	10,916	33,555	777	45,248
วันพฤหัสบดีที่ 10 ต.ค. 2652	12,116	33,196	686	45,998
วันพุธที่ 16 ต.ค. 2652	11,481	34,521	675	46,677
วันจันทร์ที่ 28 ต.ค. 2652	11,689	33,706	945	46,340
เฉลี่ยต่อวัน	11,723	33,720	756	46,199
ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	579.1196	488.2107	113.031	607.493
ค่าสัมประสิทธิ์แปรผัน (%)	25.37	72.99	1.64	

4.3 ผลการศึกษาชนิดและปริมาณของโลหะหนักในฝุ่นละอองในบรรยากาศ

ผลการศึกษาชนิดของโลหะหนัก และความเข้มข้นของโลหะหนักที่จับกับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ในงานวิจัยนี้ วิเคราะห์ชนิดโลหะหนักที่จับกับอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ได้แก่ ทองแดง (Cu), สังกะสี (Zn), นิกเกิล (Ni), โครเมียม (Cr), แมงกานีส (Mn) และตะกั่ว (Pb) ซึ่งในงานวิจัยของ Liu *et al.*, (2018) และ Srimuruganandam and Shiva Nagendra (2012) พบว่าโลหะหนักเหล่านี้พบมากในอนุภาคฝุ่นที่มีแหล่งกำเนิดจากรถยนต์



รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่จับกับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 (ก) ความเข้มข้นของ Cu, Zn, Ni ที่จับกับฝุ่น $PM_{2.5}$ (ข) ความเข้มข้นของ Cr, Mn, Pb ที่จับกับฝุ่น $PM_{2.5}$

รูปที่ 4.7 (ก) (ดังแสดงในตารางที่ ค-1.1 ถึง ค-1.3 ภาคผนวก ค) แสดงความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ Cu, Zn, Ni ที่จับกับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และรูปที่ 4.7 (ข) (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค-1.4 ถึง ค-1.6 ภาคผนวก ค) แสดงความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ Cr, Mn, Pb ที่จับกับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) โดยพบความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะหนักในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ Ni (9.76 ± 17.80 mg/g; ช่วง ก.ด. 55.93

mg/g) > Zn (9.18±10.86 mg/g; 0.68-35.71 mg/g) > Cu (2.12±1.72 mg/g; 0.43-5.40 mg/g) > Cr (0.46±1.39 mg/g; n.d.-4.17 mg/g) > Mn (0.19±0.57 mg/g; n.d.-1.72 mg/g) > Pb (0.05±0.16 mg/g; n.d.-0.49 mg/g) และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ Ni (4.48±6.64 mg/g; 0.73-23.09 mg/g) > Zn (2.81±2.88 mg/g; 0.52-10.34 mg/g) > Cr (2.69±1.43 mg/g; 0.66-4.83 mg/g) > Cu (1.10±1.49 mg/g; 0.30-5.22 mg/g) > Mn (0.33±0.44 mg/g; n.d.-1.34 mg/g) และไม่พบ Pb

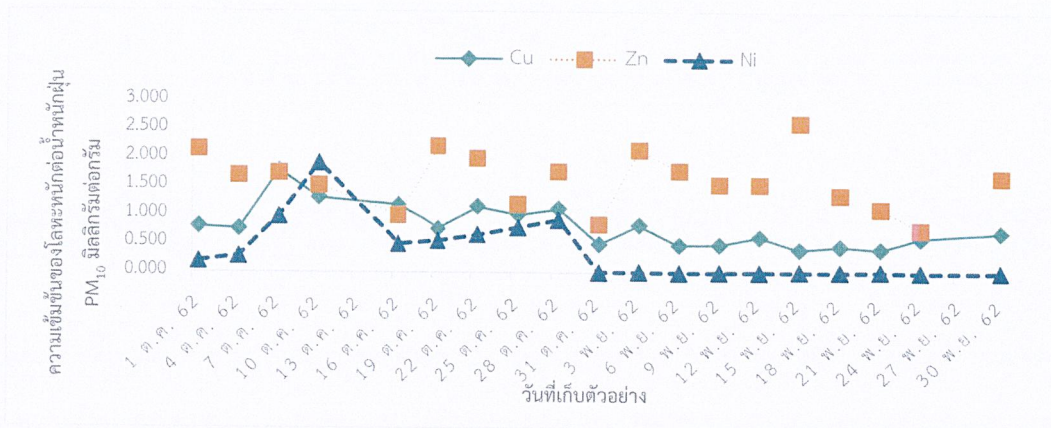
จากผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของ Cu, Ni, Zn และ Pb ที่จับอนุภาค PM_{2.5} ในเดือนตุลาคมกับเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (ดูรายละเอียดการทดสอบความแตกต่างด้วย t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในภาคผนวก ฉ-7 ถึง ภาคผนวก ฉ-14) ทั้งนี้แหล่งกำเนิดของโลหะหนักอาจมีสาเหตุมาจากท่อไอเสียรถยนต์ การสึกกร่อนของผ้าเบรก และการสึกหรอของยางรถยนต์ จากถนนฉลองกรุงและถนนมอเตอร์เวย์ที่มีสภาพการจราจรหนาแน่น นอกจากนี้ยังมีอาคารก่อสร้างที่ยังไม่แล้วเสร็จ ทำให้มีการขนส่งอุปกรณ์ก่อสร้างผ่านบริเวณดังกล่าว จากผลการวิเคราะห์ พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วที่จับกับอนุภาคฝุ่น PM_{2.5} ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีค่าในช่วง n.d.-0.013 µg/m³ และในเดือนพฤศจิกายนไม่พบตะกั่ว ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานรายเดือน ที่กำหนดไว้ที่ 1.5 µg/m³ (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เนื่องจากปัจจุบันน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์เป็นน้ำมันไร้สารตะกั่ว ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srimuruganandam and Shiva Nagendra (2012) ที่พบว่าโลหะหนักหลักที่พบในฝุ่น PM_{2.5} จากท่อไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล คือ Ba และ Zn ส่วนโลหะหนักหลักพบในฝุ่น PM_{2.5} จากท่อไอเสียเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนคือ Zn และ Al รองลงมาคือ Pb, Mn, Cr, Fe, Ni, และ Cu นอกจากนี้ งานวิจัยก่อนหน้านี้ยังพบว่า As, Cd, Cu, Ni, V และ Zn มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่นรถยนต์ (Shirmohammadi *et al.*, 2017; Geller *et al.*, 2006; Schauer *et al.*, 2006; Lough *et al.*, 2005; Sternbeck *et al.*, 2002). และ Cu ที่ปล่อยออกจากการสึกหรอของผ้าเบรก (Brake Wear Emission) และ Zn ปล่อยออกมาจากการสึกหรอของยางรถยนต์ (Tire Wear Emission) (Thorpe and Harrison, 2008; Pant and Harrison, 2013). อย่างไรก็ตาม Cr และ Mn ที่จับอนุภาค PM_{2.5} ในช่วงเดือนพฤศจิกายนมีความเข้มข้นสูงกว่าเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากช่วงปลายเดือนตุลาคมถึงต้นเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2652 มีการปรับปรุงเส้นทางการจราจรโดยทาสีบริเวณริมถนนฉลองกรุง ใกล้กับบริเวณจุดเก็บตัวอย่าง ประกอบกับสภาพอากาศในช่วงเดือนพฤศจิกายนมีสภาพอากาศแบบปิด ทำให้ Cr และ Mn มีความเข้มข้นสูง

รูปที่ 4.8 (ก) (ดังแสดงในตารางที่ ค-2.1 ถึง ค-2.3 ภาคผนวก ค) แสดงความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ Cu, Zn, และ Ni ที่จับกับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) และรูปที่ 4.8 (ข) (ดังแสดงในตารางที่ ค-2.4 ถึง ค-2.6 ภาคผนวก ค) แสดงความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ Cr, Mn, และ Pb ที่จับกับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) โดยพบความเข้มข้นเฉลี่ยของโลหะ

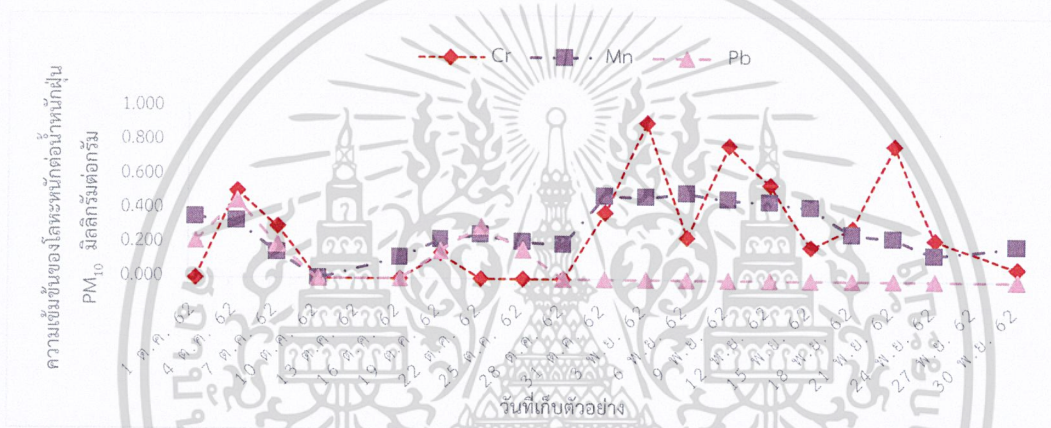
หนักในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ Cu (1.03 ± 0.36 mg/g; 0.50-1.77 mg/g) > Ni (0.68 ± 0.53 mg/g; 0.01-1.91 mg/g) > Zn (0.46 ± 0.31 mg/g; ช่วง 0.84-2.20 mg/g) > Mn (0.23 ± 0.13 mg/g; n.d.-0.49 mg/g) > Pb (0.15 ± 0.15 m/g; n.d.-0.45 mg/g) > Cr (0.13 ± 0.19 mg/g; n.d.-0.51 mg/g) และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ Zn (1.62 ± 0.54 mg/g; 0.77-2.62 mg/g) > Cu (0.57 ± 0.15 mg/g; 0.42-0.84 mg/g) > Cr (0.46 ± 0.31 mg/g; 0.07-0.92 mg/g) > Mn (0.36 ± 0.14 mg/g; 0.15-0.51 mg/g) > Ni (0.02 ± 0.01 mg/g; 0.01-0.04 mg/g) และไม่พบ Pb

จากผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของ Mn, Cr และ Zn ที่จับอนุภาค PM₁₀ ในเดือนตุลาคมกับเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วน Cu และ Ni ที่จับอนุภาค PM₁₀ ในเดือนตุลาคมมีค่าสูงกว่าในเดือนพฤศจิกายน (ดูรายละเอียดการทดสอบความแตกต่างด้วย t-test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังแสดงในภาคผนวก ฉ-7 ถึง ภาคผนวก ฉ-14) ซึ่งพบ Zn ในปริมาณมากที่สุด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก Zn เป็นส่วนประกอบชนิดหนึ่งในการผลิตยางรถยนต์ 1 เส้น มีส่วนประกอบของ ZnO 1.9-3.3 % เมื่อยางรถยนต์สัมผัสกับถนนเกิดการเสียดสีขึ้น Zn จะถูกปล่อยออกมาจากการสึกกร่อนของยาง (Serio et al., 1996) และพบโลหะตัวอื่น ๆ ในปริมาณรองลงมา เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นโลหะที่เกิดจากการจราจรบนท้องถนน แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักส่วนใหญ่อาจเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การก่อสร้าง เป็นต้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) จากผลการวิเคราะห์ พบว่าความเข้มข้นของตะกั่วที่จับกับ อนุภาคฝุ่น PM₁₀ ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีค่าในช่วง n.d.-0.024 µg/m³ และในเดือนพฤศจิกายนไม่พบตะกั่ว ซึ่งมีค่าไม่เกินมาตรฐานรายเดือนที่กำหนดไว้ที่ 1.5 µg/m³ (กรมควบคุมมลพิษ, 2538) เนื่องจากปัจจุบัน น้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์เป็นน้ำมันไร้สารตะกั่ว ผลงานวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Srimuruganandam and Shiva Nagendra (2012) ที่พบว่า Ba และ Zn เป็นโลหะหนักหลักที่พบในฝุ่น PM₁₀ จากท่อไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล รองลงมาคือ Fe, และ Al ส่วนโลหะหนักหลักพบในฝุ่น PM₁₀ จากท่อไอเสียเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนคือ Zn, Al และ Pb รองลงมาคือ Mn, Cr, Cu, Fe, และ Ni

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่จับกับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ในเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 (ก) ความเข้มข้นของ Cu, Zn, และ Ni ที่จับกับฝุ่น PM₁₀ (ข) ความเข้มข้นของ Cr, Mn, และ Pb ที่จับกับฝุ่น PM₁₀

จากผลการวิจัยพบว่า แหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} และ PM₁₀ รวมถึงโลหะหนักที่จับกับฝุ่น PM_{2.5} และ PM₁₀ บริเวณริม-ถนนฉลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สจล. อาจจะมีแหล่งกำเนิดหลักจากรถยนต์ที่ใช้ใช้น้ำมันเบนซิน ซึ่งสอดคล้องจำนวนรถยนต์ 4 ล้อที่ขับผ่านบริเวณดังกล่าวมีสัดส่วนร้อยละ 72.99 นอกจากนี้ ทิศทางลมในช่วงเวลาเก็บตัวอย่างอากาศเป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือ (ดังแสดงในตาราง จ-1 ในภาคผนวก จ) ซึ่งพัดผ่านถนนฉลองกรุง และถนนมอเตอร์เวย์เข้ามาในคณะวิทยาศาสตร์ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และโลหะหนักที่จับกับอนุภาคฝุ่นละอองบริเวณริมถนนคลองกรุง หน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) (พิกัด ละติจูด 13.7304 องศาเหนือ ลองจิจูด 100.7796 องศาตะวันออก) เก็บตัวอย่างอากาศด้วยเทคนิคการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ โดยเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง วันเว้นสองวัน ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2562 ถึง 30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ได้ผลการศึกษา ดังนี้

1) ตัวอย่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และ PM_{10} ที่เก็บในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีลักษณะเป็นฟล็อกหรือมีลักษณะปุย กลุ่มอนุภาครวมตัวหลวม ๆ ไม่เป็นรูปทรงเรขาคณิต

2) ค่าความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีค่าในช่วง 1.59-37.44 และ 6.05-54.35 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ทั้งสองเดือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในเดือนพฤศจิกายนสูงกว่าในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น $PM_{2.5}$ ทั้งสองเดือนมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ยกเว้นวันที่ 6 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562

3) ค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} ในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีค่าในช่วง 9.86-59.65 และ 36.50-92.10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ทั้งสองเดือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยความเข้มข้นของฝุ่น PM_{10} ในเดือนพฤศจิกายนสูงกว่าในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 อย่างไรก็ตาม ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของฝุ่น PM_{10} ทั้งสองเดือนมีค่าไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในฝุ่น $PM_{2.5}$ ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ $Ni > Zn > Cr > Cu > Mn > Pb$ โดยความเข้มข้นของ Zn, Ni, Cu, และ Pb ในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วน Cr และ Mn แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยในเดือนตุลาคมสูงกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

5) ความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบในฝุ่น PM_{10} ระหว่างเดือนตุลาคมถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 เรียงจากมากไปน้อย ดังนี้ $Zn > Cu > Ni > Mn > Cr > Pb$ โดยความเข้มข้นของ Zn, Cr, และ Mn ในเดือนตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ส่วน Cu, Ni และ Pb แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยในเดือนตุลาคมสูงกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ควรเพิ่มระยะเวลาในเก็บตัวอย่างให้มากขึ้น เพื่อเป็นตัวแทนในการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างฤดูกาล
- 2) ควรติดตั้งอุปกรณ์ในการนับรถยนต์อัตโนมัติ แทนการนับรถยนต์โดยใช้คนนับ เพื่อเพิ่มจำนวนวันในการนับรถยนต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2549. รายงานการศึกษาสัดส่วนองค์ประกอบและแหล่งที่มาของฝุ่นละอองขนาดเล็กในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรองแก้ว ทิพย์ศักดิ์, กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์ และสุวรรณีจรรยาพูน. 2559. ปฏิบัติการเคมีสิ่งแวดล้อมสำหรับดินและอากาศ. โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ. 2562. ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ.

[Online]. Available : http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php

กาญจนา มะนาวหวาน, พาณิษย์ โปะตะกาว, ประภุชญ์ จันทรรักษ์ และธันวดี ศรีธาวรัตน์.

2016. โลหะหนักในฝุ่นละออง PM₁₀ บริเวณสถานีขนส่งผู้โดยสารจังหวัดพิษณุโลก.

[Online]. Available : <https://www.tci-thaijo.org>

ชิตีพัทธ์ อูสาหกิจ, จูตินันท์ ตันวงศ์เลิศ และพรสุเทพ พรหมคุณ. 2558. “การศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 4 ไมครอนและโลหะหนักในฝุ่นละอองจากการเดินทางโดยรถไฟระหว่างสถานีกรุงเทพถึงสถานีชุมทางฉะเชิงเทรา”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ณัชชา ทิมเที่ยง, เศรษฐพงศ์ คนผิวเลิศ และอภิญา ทูมนาค. 2560. “การวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน บริเวณตลาดฟ้าอาคารที่พักบุคลากร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธนาพร มณีรัตน์, วรางคณา วิเศษมณี, ธีร์วิทย์ ปูผ้า, ยิงเจริญ คุณสกุลรัตน์ และธวัช เพชรไทย.

2560. ปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละอองรวมบริเวณริมทางหลวง (ถนนบางนา-ตราด)

กิโลเมตรที่ 18. [Online]. Available : <http://scijournal.hcu.ac.th>

นรากร นันทไตรภพ. 2562. กรุงเทพมหานครกับปัญหามลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM_{2.5}). [Online]. Available :

<https://library2.parliament.go.th>

ภักวีวัฒน์ ทองแสง, สุตจิต ครุจิต และประพันธ์ พงษ์เกียรติกุล. 2562. ระดับความเข้มข้นและ

องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่เมืองนครราชสีมา. [Online]. Available :

<https://www.tci-yhaijo.org>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รพีพัฒน์ เกริกโกวิท. 2543. องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กรุงเทพมหานคร. [Online]. Available : <http://cuir.car.chula.ac.th>
- รวีวรรณ ลิ้มพิบูลย์. 2558. การศึกษาปริมาณฝุ่นละอองรวมและฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอนในบรรยากาศ ภายในมหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก. [Online]. Available : <http://ithesis-ir.su.ac.th>
- วนิดา จินศาสตร์. 2551. มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศิวพันธ์์ ชูอินทร์. 2556. มลพิษทางอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สาวิตรี จำปาหอม. 2559. ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ภายในและภายนอกอาคาร ในจังหวัดราชบุรี. [Online]. Available : <http://ithesis-ir.su.ac.th>
- สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ. 2546. คู่มือการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- หน่วยปฏิบัติการวิจัยหลักการจัดการสารเคมี. 2562. ฐานความรู้ด้านความปลอดภัยด้านสารเคมี. [Online]. Available : <http://www.chemtrack.org/>
- Aldabe, J., Elustondo, D., Santamaria, C., Lasheras, E., Pandolfi, M., Alastuey, A., Querol, X. and Santamaria, J.M. 2011. "Chemical Characterization and Source Apportionment of PM_{2.5} and PM₁₀ at Rural, Urban and Traffic Sites in Navarra (North of Spain)."
- BGI by Mesa Labs. 2562. PQ 200 Air Sampler User Manual. [Online]. Available : <http://www.intecconinc.com/>
- Brook, R.D., Franklin, B., Casio, W., Hong, Y., Howard, G., Lipsett, M., Russell Luepker, R., and Mittleman, M. "Air Pollution and Cardiovascular Disease". *Circulation*. 109: 2655-2671, 2004.
- Compendium of Methods for Inorganic Air Pollutants. 1999. *Compendium Method IO-3.1*. [Online]. Available : <https://www.epa.gov>
- Geller, M.D., Ntziachristos, L., Mamakos, A., Samaras, Z., Schmitz, D.A., Froines, J.R., Sioutas, C., 2006. Physicochemical and redox characteristics of particulate matter (PM) emitted from gasoline and diesel passenger cars. *Atmos. Environ.*40, 6988e7004. [Online]. Available : <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.06.018>
- Jinsart, W., Buadong, D., and Yano, E. "Association of Fine Particulate Matters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

with Cardiovascular Disease (CVD) in Bangkok Residents”. 4th International Congress of Asian Society of Toxicology (ASIATOX-IV) June 18-21, 2006, in Zhuhai, Guangdong, China, 2006.

Lough, G.C., Schauer, J.J., Park, J.-S., Shafer, M.M., DeMinter, J.T., Weinstein, J.P., 2005. Emissions of metals associated with motor vehicle roadways. *Environ. Sci. Technol.* 39, 826e836. [Online]. Available : <http://dx.doi.org/10.1021/es048715f>.

Maria Fernanda C. Quijano, Vinicius L. Mateus, Tatiana D. Saint'Pierre, I.S. Bott, Adriana Gioda. 2019. Exploratory and comparative analysis of the morphology and chemical composition of PM_{2.5} from regions with different socioeconomic characteristics. [Online]. Available : <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.071>

Oanh, K. (2007) Particulate matter source apportionment for BMR in 2007 Asian Institute of Technology (AIT).

Pan, H., Lu, X., and Lei, K., 2017. A Comprehensive analysis of heavy metals in urban road dust of Xi'an, China: Contamination, source apportionment and spatial distribution. [Online]. Available : <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.004>

Schauer, J.J., Lough, G.C., Shafer, M.M., Christensen, W.F., Arndt, M.F., DeMinter, J.T., Park, J.S., 2006. Characterization of metals emitted from motor vehicles. *Res. Rep. Health Eff. Inst.* 1e76, 77e88.

Serio, M. A., W6jtowicz, H. T., Pines, D. S., and Solomon, P. R. 1996. A Multiple-product approach to the processing of used tires. *Advance fuel research, Inc.* pp 906-913.

Shirmohammadi, F., Wang, D., Hasheminassab, S., Verma, V., Schauer, J.J., Shafer, M.M., and Sioutas, C. 2017. Oxidative potential of on-road fine particulate matter (PM_{2.5}) measured on major freeways of Los Angeles, CA, and a 10-year comparison with earlier roadside studies. [Online]. Available : <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.10.042>

Srimuruganandam, B. and Shiva Nagendra, S.M. 2012. “Source Characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} Mass using a Chemical Mass Balance Model at Urban

เอกสารนี้เป็น Roadside. *Science of the Total Environment*, 433, 8-19.” ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ Sternbeck, B., Sjödin, Å., and Ericsson, K., 2002. Metal emissions from road ที่มีการนำไปใช้

traffic and the influence of resuspension results from two tunnel studies. *Atmos. Environ.* 36, 4735e4744. [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(02\)00561-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(02)00561-7)

Talbi, A., Kerchich, Y., Kerbachi, R. and Boughedaoui, M. 2018. “**Assessment of annual air pollution levels with PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀ and associated heavy metals in Algiers, Algeria.** *Environmental Pollution*, 232, 252-263.”

Thorpe, A., Harrison, R.M., 2008. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review. *Sci. Total Environ.* 400, 270e282. [Online]. Available : <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.06.007>

Wang, J., Hu, Z., Chen, Y., Chen, Z., and Xu, S. 2013. **Contamination characteristics and possible sources of PM₁₀ and PM_{2.5} in different functional areas of Shanghai, China.** [Online]. Available : <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.10.070>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนัก

การเตรียมสารละลายมาตรฐาน ทำการเตรียมความเข้มข้นให้อยู่ในช่วงที่เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์สามารถตรวจวัดได้ และในทางปฏิบัติการกำหนดค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานต้องครอบคลุมความเข้มข้นของสารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์

ก-1 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานของโลหะแต่ละชนิด

1) สารละลายมาตรฐานทองแดง (Cu)

1.1) เตรียมสารละลายมาตรฐานสต็อกทองแดง 10 ส่วนในล้านส่วน โดยปิเปตสารมาตรฐานทองแดงจาก 100 ส่วนในล้านส่วน มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 %

1.2) เตรียมกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 0.03, 0.35, 0.67, 0.99, 1.31, 1.63 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานทองแดงที่เตรียมจากข้อที่ 1.1) มา 0, 0.15, 1.75, 3.35, 4.95, 6.55, 8.15 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1% จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ตามลำดับ นำสารละลายทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อทำกราฟมาตรฐาน

2) สารละลายมาตรฐานโครเมียม (Cr)

2.1) เตรียมสารละลายมาตรฐานสต็อกโครเมียม 10 ส่วนในล้านส่วน โดยปิเปตสารมาตรฐานโครเมียมจาก 100 ส่วนในล้านส่วน มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 %

2.2) เตรียมกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 0.08, 1.08, 2.08, 3.08, 4.08, 5.08 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโครเมียมที่เตรียมจากข้อที่ 2.1) มา 0, 0.4, 5.4, 10.4, 15.4, 20.4, 25.4 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 % จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ตามลำดับ นำสารละลายทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อทำกราฟมาตรฐาน

3) สารละลายมาตรฐานสังกะสี (Zn)

3.1) เตรียมสารละลายมาตรฐานสต็อกสังกะสี 10 ส่วนในล้านส่วน โดยปิเปตสารมาตรฐานสังกะสีจาก 100 ส่วนในล้านส่วน มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2) เตรียมกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.20, 0.35, 0.50, 0.65, 0.80 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานสังกะสีที่เตรียมจากข้อที่ 3.1) มา 0, 0.25, 1.00, 1.75, 2.50, 3.25, 4.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 % จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ตามลำดับ นำสารละลายทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อทำกราฟมาตรฐาน

4) สารละลายมาตรฐานแมงกานีส (Mn)

4.1) เตรียมสารละลายมาตรฐานสต็อกแมงกานีส 10 ส่วนในล้านส่วน โดยปิเปตสารมาตรฐานแมงกานีสจาก 100 ส่วนในล้านส่วน มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 %

4.2) เตรียมกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 0.05, 0.25, 0.45, 0.65, 0.85, 1.05 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานแมงกานีสที่เตรียมจากข้อที่ 4.1) มา 0, 0.25, 1.25, 2.25, 3.25, 4.25, 5.25 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 % จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ตามลำดับ นำสารละลายทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อทำกราฟมาตรฐาน

5) สารละลายมาตรฐานนิกเกิล (Ni)

5.1) เตรียมสารละลายมาตรฐานสต็อกนิกเกิล 10 ส่วนในล้านส่วน โดยปิเปตสารมาตรฐานนิกเกิลจาก 100 ส่วนในล้านส่วน มา 10 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 ml ปรับด้วยกรดไนตริก 1 %

5.2) เตรียมกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 0.08, 0.88, 1.68, 2.48, 3.28, 4.08 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานนิกเกิลที่เตรียมจากข้อที่ 5.1) มา 0, 0.40, 4.40, 8.40, 12.40, 16.40, 20.40 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 % จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ตามลำดับ นำสารละลายทั้งหมดที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อทำกราฟมาตรฐาน

6) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว (Pb)

6.1) เตรียมสารละลายมาตรฐานสต็อกตะกั่ว 10 ส่วนในล้านส่วน โดยปิเปตสารมาตรฐานตะกั่วจาก 100 ส่วนในล้านส่วน มา 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 %

6.2) เตรียมกราฟมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0, 0.10, 1.60, 3.10, 4.60, 6.10, 7.60 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานตะกั่วที่เตรียมจากข้อที่ 6.1) มา 0, 0.50, 8.00, 15.50, 23.00, 30.5, 38.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับด้วยกรดไนตริก 1 % จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ ตามลำดับ นำสารละลายทั้งหมดที่ได้มา

วิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เพื่อทำกราฟมาตรฐาน ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การคำนวณและตัวอย่างการคำนวณ

ภาคผนวก ข-1 คำนวณความเข้มข้นฝุ่น

- 1) การหาอัตราการไหลเฉลี่ยจากสมการที่ ข-1

$$Q_a = Q \times 10^{-3} \quad (\text{ข-1})$$

เมื่อ

- Q_a = อัตราการไหลเฉลี่ย (m^3/min)
 Q = อัตราการไหลขณะเก็บตัวอย่าง (L/min)
 10^{-3} = การเปลี่ยนหน่วยจากลิตรเป็นลูกบาศก์เมตร

- 2) การหาปริมาณอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (V_i) จากสมการที่ ข-2

$$V_i = Q_a \times t \quad (\text{ข-2})$$

เมื่อ

- V_i = ปริมาตรอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (m^3)
 Q_a = อัตราการไหลเฉลี่ย (m^3/min)
 t = ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่าง (min)

- 3) การหาปริมาณตัวอย่างอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน และอุณหภูมิมาตรฐานจากสมการที่ ข-3

$$V_{\text{std}} = \frac{P_i \times V_i \times T_{\text{std}}}{P_{\text{std}} \times T_i} \quad (\text{ข-3})$$

เมื่อ

- V_{std} = ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน (m^3)
 P_{std} = ความดันอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (kPa)
 T_{std} = อุณหภูมิอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (K)
 P_i = ความดันบรรยากาศขณะเก็บตัวอย่าง (kPa)
 T_i = อุณหภูมิอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (K)

- 4) หาความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งหมดจากสมการที่ ข-4

$$C_t = \frac{W_f - W_i}{V_{\text{std}}} \times 1000 \quad (\text{ข-4})$$

เมื่อเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด C_t ทั้งสิ้น = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- W_f = น้ำหนักเฉลี่ยหลังเก็บตัวอย่าง (mg)
 W_i = น้ำหนักเฉลี่ยก่อนเก็บตัวอย่าง (mg)
 1000 = การเปลี่ยนหน่วยจากมิลลิกรัมเป็นไมโครกรัม

ตัวอย่างการคำนวณที่ ข-1.1 การคำนวณน้ำหนักฝุ่นละอองที่เกิดจากการจราจรหน้าคณะ
วิทยาศาสตร์

1) การหาอัตราการไหลเฉลี่ย

$$Q_a = Q \times 10^{-3}$$

จากตัวอย่าง $Q = 16.6 \text{ L/min}$

แทนค่า $Q_a = 16.6 \text{ L/min} \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{L}$

$$Q_a = 0.0166 \text{ m}^3/\text{min}$$

2) การหาปริมาณอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (V_i)

$$V_i = Q_a \times t$$

จากตัวอย่าง $Q_a = 0.0166 \text{ m}^3/\text{min}$, $t = 23.59 \text{ hr}$

แทนค่า $V_i = 0.0166 \text{ m}^3/\text{min} \times 23.59 \text{ hr} \times 60 \text{ min/hr}$

$$V_i = 23.4956 \text{ m}^3$$

3) การหาปริมาตรตัวอย่างอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน และอุณหภูมิมาตรฐาน

$$V_{std} = \frac{P_i \times V_i \times T_{std}}{P_{std} \times T_i}$$

จากตัวอย่าง $P_i = 755 \text{ kPa}$, $V_i = 23.4956 \text{ m}^3$, $T_{std} = 298.15 \text{ K}$, $P_{std} = 760 \text{ kPa}$,

$$T_i = 303.25 \text{ K}$$

แทนค่า $V_{std} = \frac{755 \text{ kPa} \times 23.4956 \text{ m}^3 \times 298.15 \text{ K}}{760 \text{ kPa} \times 303.25 \text{ K}}$

$$V_{std} = 22.9485 \text{ m}^3$$

4) หาความเข้มข้นของฝุ่นละอองทั้งหมด

$$C_t = \frac{W_f - W_i}{V_{std}} \times 1000$$

จากตัวอย่าง $W_f = 147.1350 \text{ mg}$, $W_i = 146.8300 \text{ mg}$, $V_{std} = 22.9485 \text{ m}^3$

แทนค่า $C_t = \frac{147.1350 \text{ mg} - 146.8300 \text{ mg}}{22.9485} \times 1000$

$$C_t = 13.2906 \text{ } \mu\text{g}/\text{m}^3$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข-2 คำนวณความเข้มข้นโลหะหนัก

1. คำนวณหาความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจวัดได้ A มิลลิกรัมต่อลิตร

$$\begin{array}{rclcl} 1000 \text{ ml} & \text{มีโลหะหนัก} & A & \text{mg} & \\ & & & & \\ 25 \text{ ml} & \text{มีโลหะหนัก} & \frac{A \times 25}{1000} & = & B \text{ mg} \end{array}$$

2. คำนวณอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักต่อน้ำหนักฝุ่นที่ซั่ง C มิลลิกรัม

$$D = \frac{B}{C} \text{ (mg/g)}$$

3. คำนวณหามวลของโลหะหนักในฝุ่นละออง

$$\begin{aligned} \text{มวลโลหะหนักในฝุ่นละออง (mg/m}^3\text{)} &= \frac{C}{V_{\text{std}}} \text{ mg/m}^3 \\ &= \frac{C}{V_{\text{std}}} \times 1000 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

ตัวอย่างการคำนวณที่ ข-2.1 การคำนวณน้ำหนักฝุ่นละอองที่เกิดจากการจราจรหน้าคณะ
วิทยาศาสตร์ (ตัวอย่างที่ 1)

1. คำนวณหาความเข้มข้นของโลหะหนักที่ตรวจวัดได้ 0.1530 มิลลิกรัม

$$\begin{array}{rclcl} 1000 \text{ ml} & \text{มีโลหะหนัก} & 0.1530 \text{ mg} & & \\ & & & & \\ 25 \text{ ml} & \text{มีโลหะหนัก} & \frac{0.1530 \times 25}{1000} & = & 0.0004 \text{ mg} \end{array}$$

2. คำนวณอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักต่อน้ำหนักฝุ่นที่ซั่ง C มิลลิกรัม

$$\begin{aligned} D &= \frac{0.004 \text{ mg}}{0.3050 \text{ mg}} \times 1000 \text{ mg/g} \\ &= 12.5700 \text{ mg/g} \end{aligned}$$

3. คำนวณหาความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นละออง

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นโลหะหนักในฝุ่นละออง (mg/m}^3\text{)} &= \frac{0.3050 \text{ mg}}{22.949 \text{ m}^3} \\ &= \frac{0.3050 \text{ mg}}{22.949 \text{ m}^3} \times 1000 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \\ &= 13.2906 \text{ } \mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ

ค-1 ปริมาณของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม – 31 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562

ตารางที่ ค-1 ข้อมูลการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง โดยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน รุ่น PQ200 ยี่ห้อ BGI (MESA LAB)

บริษัทไคเนติกส์ คอร์ปอเรชั่น ประเทศสหรัฐอเมริกา

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	เวลาในการเก็บ ตัวอย่าง (hr)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (mmHg)	อัตราการไหล Q_a (m^3/min)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อน (mg)	น้ำหนักตัวอย่าง หลัง (mg)	น้ำหนักฝุ่น ที่ได้ (mg)	ความเข้มข้น ฝุ่น ($\mu g/m^3$)
1	1 ต.ค. 2562	23.59	303.25	755	0.0166	146.830	147.135	0.305	13.291
2	4 ต.ค. 2562	23.59	301.65	755	0.0166	149.462	149.991	0.529	22.943
3	7 ต.ค. 2562	24.02	305.05	756	0.0166	145.948	146.271	0.322	13.861
4	10 ต.ค. 2562	27.43	300.55	755	0.0166	147.633	147.980	0.347	12.899
5	13 ต.ค. 2562	23.59	301.55	755	0.0166	148.256	148.293	0.037	1.590
6	16 ต.ค. 2562	23.59	303.05	756	0.0166	147.791	147.968	0.177	7.711
*7	19 ต.ค. 2562	47.26	302.75	756	0.0166	141.847	143.015	1.168	25.330
8	22 ต.ค. 2562	24.00	306.35	755	0.0166	147.955	148.820	0.865	37.441
*9	25 ต.ค. 2562	23.59	304.35	755	0.0166	141.763	0.000	0.000	0.000

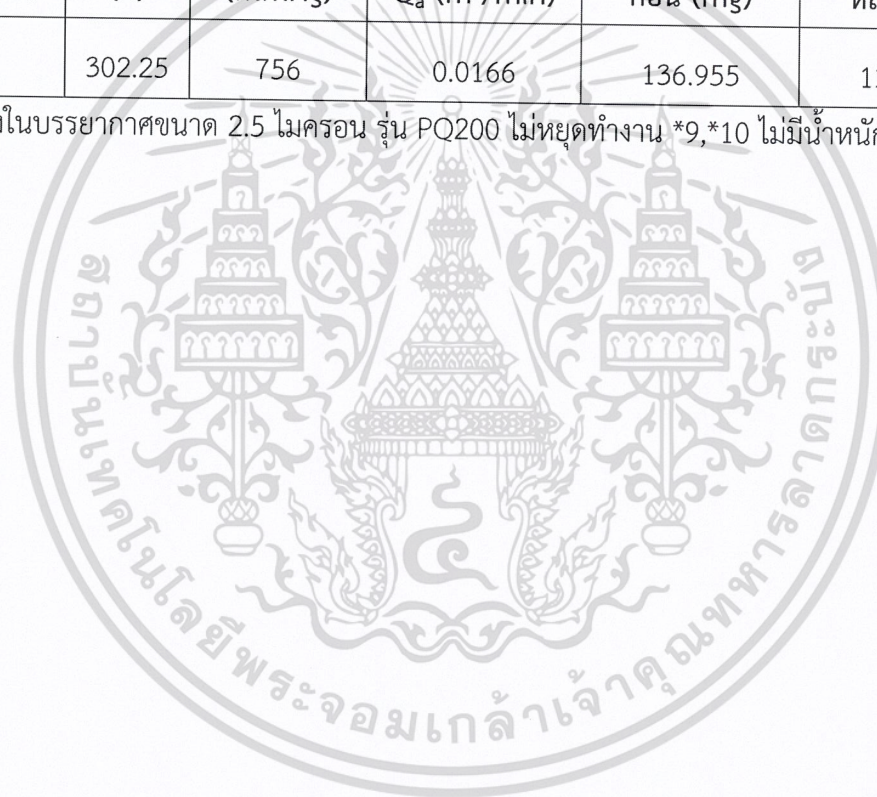
ตารางที่ ค-1 (ต่อ) ข้อมูลการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดย เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 2.5 ไมครอน รุ่น PQ200 ยี่ห้อ BGI (MESA LAB) บริษัท ไคเนติกส์ คอร์ปอเรชั่น

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	เวลาในการเก็บ ตัวอย่าง (hr)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (mmHg)	อัตราการไหล Q_a (m^3/min)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อน (mg)	น้ำหนักตัวอย่าง หลัง (mg)	น้ำหนักฝุ่น ที่ได้ (mg)	ความเข้มข้น ฝุ่น (ug/m^3)
*10	28 ต.ค. 2562	24.00	302.85	755	0.0166	142.763	0.000	0.000	0.000
11	31 ต.ค. 2562	24.00	300.65	754	0.0166	143.494	143.987	0.492	20.937
12	3 พ.ย. 2562	23.59	300.45	755	0.0166	145.776	146.343	0.567	24.492
13	6 พ.ย. 2562	24.00	302.65	754	0.0166	146.288	147.558	1.270	54.347
14	9 พ.ย. 2562	23.59	299.65	756	0.0166	134.502	135.625	1.124	48.317
15	12 พ.ย. 2562	24.00	302.05	755	0.0166	135.250	136.254	1.004	42.833
16	15 พ.ย. 2562	24.00	301.35	756	0.0166	140.831	141.592	0.762	32.373
17	18 พ.ย. 2562	24.00	303.05	755	0.0166	138.401	139.238	0.837	35.813
18	21 พ.ย. 2562	24.00	300.75	757	0.0166	141.816	142.575	0.758	32.130
19	24 พ.ย. 2562	24.00	301.85	756	0.0166	142.579	143.394	0.815	34.700
20	27 พ.ย. 2562	24.00	303.05	756	0.0166	136.515	137.549	1.034	44.187

ตารางที่ ค-1 (ต่อ) ข้อมูลการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองโดย เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 2.5 ไมครอน รุ่น PQ200 ยี่ห้อ BGI (MESA LAB) บริษัท ไคเนติกส์ คอร์ปอเรชั่น

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	เวลาในการเก็บ ตัวอย่าง (hr)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (mmHg)	อัตราการไหล Q_a (m ³ /min)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อน (mg)	น้ำหนักตัวอย่าง หลัง (mg)	น้ำหนักฝุ่น ที่ได้ (mg)	ความเข้มข้น ฝุ่น (ug/m ³)
21	30 พ.ย. 2562	24	302.25	756	0.0166	136.955	137.097	0.142	6.054

หมายเหตุ : *7 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 2.5 ไมครอน รุ่น PQ200 ไม่หยุดทำงาน *9,*10 ไม่มีน้ำหนักตัวอย่างหลังเก็บ



ค-1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ วิเคราะห์โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ ค-1.1 ความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ทองแดง (mg/L)	ความเข้มข้นของ ทองแดง (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของทองแดงต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)
1	1 ต.ค. 2562	0.020	0.000	0.0005	18.81	0.305	1.605
2	4 ต.ค. 2562	0.024	0.001	0.0009	24.48	0.529	1.147
3	7 ต.ค. 2562	0.070	0.002	0.0011	11.42	0.322	5.404
4	10 ต.ค. 2562	0.022	0.001	0.0002	8.87	0.347	1.578
5	13 ต.ค. 2562	0.005	0.000	0.0004	76.70	0.037	3.201
6	16 ต.ค. 2562	0.029	0.001	0.0003	7.36	0.177	4.085
7	19 ต.ค. 2562	0.022	0.001	0.0002	6.02	1.168	0.469
8	22 ต.ค. 2562	0.015	0.000	0.0001	5.69	0.865	0.430
9	25 ต.ค. 2562	0.013	0.000	0.0003	18.28	0.000	ND
10	28 ต.ค. 2562	0.021	0.001	0.0003	11.11	0.000	ND

ตารางที่ ค-1.1 (ต่อ) ความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ทองแดง (mg/L)	ความเข้มข้นของ ทองแดง (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของทองแดงต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)
11	31 ต.ค. 2562	0.023	0.001	0.0002	4.52	0.492	1.191
12	3 พ.ย. 2562	0.024	0.001	0.0001	3.12	0.567	1.061
13	6 พ.ย. 2562	0.065	0.002	0.0004	3.31	1.270	1.288
14	9 พ.ย. 2562	0.014	0.000	0.0008	23.42	1.124	0.302
15	12 พ.ย. 2562	0.023	0.001	0.0002	4.27	1.004	0.584
16	15 พ.ย. 2562	0.016	0.000	0.0004	13.59	0.762	0.527
17	18 พ.ย. 2562	0.011	0.000	0.0002	9.38	0.837	0.332
18	21 พ.ย. 2562	0.010	0.000	0.0003	15.07	0.758	0.346
19	24 พ.ย. 2562	0.030	0.001	0.0002	4.37	0.815	0.909
20	27 พ.ย. 2562	0.017	0.000	0.0003	10.83	1.034	0.403
21	30 พ.ย. 2562	0.030	0.001	0.0002	2.93	0.142	5.217

ตารางที่ ค-1.2 ความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ สังกะสี (mg/l)	ความเข้มข้นของ สังกะสี (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของสังกะสีต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)
1	1 ต.ค. 2562	0.153	0.004	0.0007	0.85	0.305	12.570
2	4 ต.ค. 2562	0.088	0.002	0.0011	2.24	0.529	4.139
3	7 ต.ค. 2562	0.067	0.002	0.0011	2.76	0.322	5.157
4	10 ต.ค. 2562	0.184	0.005	0.0012	1.32	0.347	13.236
5	13 ต.ค. 2562	0.052	0.001	0.0010	2.98	0.037	35.708
6	16 ต.ค. 2562	0.043	0.001	0.0010	3.16	0.177	6.067
7	19 ต.ค. 2562	0.123	0.003	0.0008	1.29	1.168	2.629
8	22 ต.ค. 2562	0.083	0.002	0.0009	1.86	0.865	2.396
9	25 ต.ค. 2562	0.043	0.001	0.0003	1.09	0.000	ND
10	28 ต.ค. 2562	0.083	0.002	0.0009	1.87	0.000	ND

ตารางที่ ค-1.2 (ต่อ) ความเข้มข้นสังกะสีในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ สังกะสี (mg/L)	ความเข้มข้นของ สังกะสี (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของสังกะสีต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)
11	31 ต.ค. 2562	0.013	0.000	0.0009	3.80	0.492	0.677
12	3 พ.ย. 2562	0.053	0.001	0.0004	0.91	0.567	2.352
13	6 พ.ย. 2562	0.125	0.003	0.0011	1.70	1.270	2.470
14	9 พ.ย. 2562	0.080	0.002	0.0012	2.41	1.124	1.781
15	12 พ.ย. 2562	0.061	0.002	0.0009	2.16	1.004	1.528
16	15 พ.ย. 2562	0.141	0.004	0.0012	1.71	0.762	4.643
17	18 พ.ย. 2562	0.080	0.002	0.0013	2.66	0.837	2.392
18	21 พ.ย. 2562	0.035	0.001	0.0009	2.89	0.758	1.144
19	24 พ.ย. 2562	0.029	0.001	0.0002	0.79	0.815	0.901
20	27 พ.ย. 2562	0.021	0.001	0.0003	1.07	1.034	0.516
21	30 พ.ย. 2562	0.059	0.001	0.0005	1.32	0.142	10.337

ตารางที่ ค-1.3 ความเข้มข้นนิกเกิลในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ นิกเกิล (mg/l)	ความเข้มข้นของ นิกเกิล (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)
1	1 ต.ค. 2562	0.033	0.001	0.0013	11.39	0.3050	ND
2	4 ต.ค. 2562	0.049	0.001	0.0028	18.29	0.5293	2.327
3	7 ต.ค. 2562	0.033	0.001	0.0010	6.36	0.3224	5.093
4	10 ต.ค. 2562	0.098	0.002	0.0007	4.35	0.3473	4.728
5	13 ต.ค. 2562	0.066	0.002	0.0004	2.10	0.0367	55.928
6	16 ต.ค. 2562	0.098	0.002	0.0009	5.09	0.1773	13.892
7	19 ต.ค. 2562	0.115	0.003	0.0014	7.75	1.1680	2.109
8	22 ต.ค. 2562	0.131	0.003	0.0015	7.35	0.8653	3.795
9	25 ต.ค. 2562	0.131	0.003	0.0014	6.13	0.0000	ND
10	28 ต.ค. 2562	0.131	0.003	0.0005	1.92	0.0000	ND

ตารางที่ ค-1.3 (ต่อ) ความเข้มข้นนิกเกิลในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของนิกเกิล (mg/l)	ความเข้มข้นของ นิกเกิล (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)
11	31 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.0014	20.17	0.4924	0.000
12	3 พ.ย. 2562	0.033	0.001	0.0023	24.93	0.5673	1.445
13	6 พ.ย. 2562	0.049	0.001	0.0007	6.62	1.2697	0.968
14	9 พ.ย. 2562	0.033	0.001	0.0008	8.49	1.1236	0.730
15	12 พ.ย. 2562	0.098	0.002	0.0018	14.58	1.0040	2.449
16	15 พ.ย. 2562	0.066	0.002	0.0012	10.66	0.7616	2.153
17	18 พ.ย. 2562	0.098	0.002	0.0004	3.17	0.8367	2.939
18	21 พ.ย. 2562	0.115	0.003	0.0014	10.16	0.7584	3.783
19	24 พ.ย. 2562	0.131	0.003	0.0008	5.10	0.8150	4.023
20	27 พ.ย. 2562	0.131	0.003	0.0015	10.21	1.0337	3.172
21	30 พ.ย. 2562	0.131	0.003	0.0013	8.45	0.1420	23.089

ตารางที่ ค-1.4 ความเข้มข้นโครเมียมในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ โครเมียม (mg/l)	ความเข้มข้นของ โครเมียม (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของโครเมียมต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)
1	1 ต.ค. 2562	-0.035	-0.001	0.0003	14.96	0.305	ND
2	4 ต.ค. 2562	-0.035	-0.001	0.0005	25.42	0.529	ND
3	7 ต.ค. 2562	-0.035	-0.001	0.0010	39.84	0.322	ND
4	10 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.0005	33.49	0.347	ND
5	13 ต.ค. 2562	-0.071	-0.002	0.0006	21.29	0.037	ND
6	16 ต.ค. 2562	-0.071	-0.002	0.0004	15.04	0.177	ND
7	19 ต.ค. 2562	-0.035	-0.001	0.0001	3.94	1.168	ND
8	22 ต.ค. 2562	-0.035	-0.001	0.0005	19.20	0.865	ND
9	25 ต.ค. 2562	0.459	0.011	0.0007	5.64	0.000	ND
10	28 ต.ค. 2562	-0.035	-0.001	0.0006	36.10	0.000	ND

ตารางที่ ค-1.4 (ต่อ) ความเข้มข้นโครเมียมในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของโครเมียม (mg/l)	ความเข้มข้นของโครเมียม (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)
11	31 ต.ค. 2562	0.082	0.002	0.0004	26.91	0.492	4.173
12	3 พ.ย. 2562	0.110	0.003	0.0001	4.18	0.567	4.829
13	6 พ.ย. 2562	0.082	0.002	0.0003	13.27	1.270	1.618
14	9 พ.ย. 2562	0.082	0.002	0.0005	29.34	1.124	1.829
15	12 พ.ย. 2562	0.082	0.002	0.0002	7.73	1.004	2.047
16	15 พ.ย. 2562	0.055	0.001	0.0007	59.65	0.762	1.799
17	18 พ.ย. 2562	0.137	0.003	0.0006	14.92	0.837	4.093
18	21 พ.ย. 2562	0.082	0.002	0.0004	20.91	0.758	2.709
19	24 พ.ย. 2562	0.082	0.002	0.0000	1.24	0.815	2.521
20	27 พ.ย. 2562	0.027	0.001	0.0003	979.48	1.034	0.663
21	30 พ.ย. 2562	0.027	0.001	0.0006	>999.9	0.142	4.823

ตารางที่ ค-1.5 ความเข้มข้นแมงกานีสในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ แมงกานีส (mg/l)	ความเข้มข้นของ แมงกานีส (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของแมงกานีส ต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)
1	1 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.0002	6.84	0.305	ND
2	4 ต.ค. 2562	-0.018	0.000	0.0002	55.13	0.529	ND
3	7 ต.ค. 2562	-0.018	0.000	0.0004	114.47	0.322	ND
4	10 ต.ค. 2562	-0.029	-0.001	0.0014	64.94	0.347	ND
5	13 ต.ค. 2562	-0.047	-0.001	0.0015	31.87	0.037	ND
6	16 ต.ค. 2562	-0.041	-0.001	0.0010	23.85	0.177	ND
7	19 ต.ค. 2562	-0.035	-0.001	0.0010	39.15	1.168	ND
8	22 ต.ค. 2562	-0.047	-0.001	0.0007	14.33	0.865	ND
9	25 ต.ค. 2562	-0.041	-0.001	0.0003	8.16	0.000	ND
10	28 ต.ค. 2562	-0.053	-0.001	0.0006	9.45	0.000	ND

ตารางที่ ค-1.5 (ต่อ) ความเข้มข้นแมงกานีสในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ แมงกานีส (mg/l)	ความเข้มข้นของ แมงกานีส (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของแมงกานีส ต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)
11	31 ต.ค. 2562	0.034	0.001	0.0003	6.16	0.492	1.722
12	3 พ.ย. 2562	0.030	0.001	0.001	18.37	0.567	1.335
13	6 พ.ย. 2562	0.037	0.001	0.0009	13.85	1.270	0.725
14	9 พ.ย. 2562	0.025	0.001	0.0006	14.25	1.124	0.546
15	12 พ.ย. 2562	0.019	0.000	0.0004	15.35	1.004	0.467
16	15 พ.ย. 2562	0.004	0.000	0.0004	39.44	0.762	0.142
17	18 พ.ย. 2562	0.002	0.000	0.0007	69.62	0.837	0.065
18	21 พ.ย. 2562	-0.017	0.000	0.0013	187.78	0.758	ND
19	24 พ.ย. 2562	-0.014	0.000	0.0009	75.55	0.815	ND
20	27 พ.ย. 2562	-0.030	-0.001	0.0011	37.88	1.034	ND
21	30 พ.ย. 2562	-0.025	-0.001	0.0005	17.91	0.142	ND

ตารางที่ ค-1.6 ความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ความเข้มข้นของ ตะกั่ว (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของตะกั่วต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)
1	1 ต.ค. 2562	-0.046	-0.001	0.0008	18.04	0.305	ND
2	4 ต.ค. 2562	-0.023	-0.001	0.0001	2.94	0.529	ND
3	7 ต.ค. 2562	-0.023	-0.001	0.0010	22.06	0.322	ND
4	10 ต.ค. 2562	-0.023	-0.001	0.0008	16.41	0.347	ND
5	13 ต.ค. 2562	-0.046	-0.001	0.0005	10.50	0.037	ND
6	16 ต.ค. 2562	-0.046	-0.001	0.0009	20.35	0.177	ND
7	19 ต.ค. 2562	0.023	0.001	0.0024	34.53	1.168	0.494
8	22 ต.ค. 2562	-0.023	-0.001	0.0028	54.38	0.865	ND
9	25 ต.ค. 2562	-0.023	-0.001	0.0010	20.06	0.000	ND
10	28 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.0005	8.36	0.000	ND

ตารางที่ ค-1.6 (ต่อ) ความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอน

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของตะกั่ว (mg/l)	ความเข้มข้นของ ตะกั่ว (mg)	SD	% RSD	น้ำหนักฝุ่นที่ได้ (mg)	ความเข้มข้นของตะกั่วต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)
11	31 ต.ค. 2562	-0.179	-0.004	0.0009	19.34	0.492	ND
12	3 พ.ย. 2562	-0.030	-0.001	0.0021	465.47	0.567	ND
13	6 พ.ย. 2562	-0.149	-0.004	0.0008	17.53	1.270	ND
14	9 พ.ย. 2562	-0.208	-0.005	0.0038	64.72	1.124	ND
15	12 พ.ย. 2562	-0.268	-0.007	0.0025	31.89	1.004	ND
16	15 พ.ย. 2562	-0.238	-0.006	0.0029	41.31	0.762	ND
17	18 พ.ย. 2562	-0.476	-0.012	0.0027	17.44	0.837	ND
18	21 พ.ย. 2562	-0.476	-0.012	0.0030	20.36	0.758	ND
19	24 พ.ย. 2562	-0.476	-0.012	0.0037	24.74	0.815	ND
20	27 พ.ย. 2562	-0.565	-0.014	0.0014	7.67	1.034	ND
21	30 พ.ย. 2562	-0.536	-0.013	0.0031	17.99	0.142	ND

ค-1.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิด ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม - 31 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562

ตารางที่ ค-1.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนตุลาคม

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของแมงกานีสต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของตะกั่วต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	หมายเหตุ
1 ต.ค. 2562	1.605	ND	12.570	ND	ND	ND	
4 ต.ค. 2562	1.147	ND	4.139	ND	ND	2.330	
7 ต.ค. 2562	5.404	ND	5.157	ND	ND	5.090	
10 ต.ค. 2562	1.578	ND	13.236	ND	ND	4.730	
13 ต.ค. 2562	3.201	ND	35.708	ND	ND	55.930	
16 ต.ค. 2562	4.086	ND	6.067	ND	ND	13.890	
19 ต.ค. 2562	0.469	ND	2.629	ND	0.490	2.110	
22 ต.ค. 2562	0.430	ND	2.396	ND	ND	3.800	
25 ต.ค. 2562	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ไม่มีข้อมูลน้ำหนัก
28 ต.ค. 2562	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
31 ต.ค. 2562	1.191	4.173	0.678	1.722	ND	ND	

ตารางที่ ค-1.1.1 (ต่อ) ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนตุลาคม

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ทองแดงต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของ โครเมียมต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของ สังกะสีต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของ แมงกานีสต่อ น้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของ ตะกั่วต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของ นิกเกิลต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย	2.123	0.464	9.176	0.191	0.055	9.764	
SD	1.724	1.391	10.864	0.574	0.165	17.803	

ตารางที่ ค-1.1. 2 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนพฤศจิกายน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของแมงกานีสต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของตะกั่วต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	หมายเหตุ
3 พ.ย. 2562	1.061	4.829	2.352	1.335	ND	1.445	
6 พ.ย. 2562	1.288	1.618	2.470	0.725	ND	0.968	
9 พ.ย. 2562	0.302	1.829	1.781	0.546	ND	0.730	
12 พ.ย. 2562	0.584	2.047	1.528	0.467	ND	2.449	
15 พ.ย. 2562	0.527	1.799	4.643	0.142	ND	2.153	
18 พ.ย. 2562	0.332	4.093	2.392	0.065	ND	2.939	
21 พ.ย. 2562	0.346	2.709	1.144	ND	ND	3.783	
24 พ.ย. 2562	0.909	2.521	0.901	ND	ND	4.023	
27 พ.ย. 2562	0.403	0.663	0.516	ND	ND	3.172	
30 พ.ย. 2562	5.217	4.824	10.337	ND	ND	23.089	
ค่าเฉลี่ย	1.097	2.693	2.806	0.328	ND	4.475	
SD	1.487	1.427	2.885	0.444	ND	6.635	

ค-2 ปริมาณของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม – 31 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562

ตารางที่ ค-2 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Sampler) รุ่น 2100 ยี่ห้อ ECOTECH ประเทศสหรัฐอเมริกา

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	เวลาในการเก็บ ตัวอย่าง (hr)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (mmHg)	Q _{std} (m ³ /min)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อน (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลัง (g)	น้ำหนักฝุ่น ที่ได้ (g)	ความเข้มข้น ฝุ่น (ug/m ³)
1	1 ต.ค. 2562	27.52	303.64	757.16	1.132	4.5163	4.5727	0.0564	30.167
2	4 ต.ค. 2562	27.47	302.03	756.92	1.134	4.4721	4.5723	0.1002	53.606
3	7 ต.ค. 2562	24.04	300.62	757.62	1.137	4.4731	4.5039	0.0308	18.803
4	10 ต.ค. 2562	26.93	301.77	760.07	1.137	4.4841	4.5022	0.0181	9.856
*5	13 ต.ค. 2562	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
6	16 ต.ค. 2562	24.33	303.57	757.72	1.270	4.507	4.5942	0.0872	47.024
7	19 ต.ค. 2562	28.14	303.83	760.31	1.271	4.4985	4.59307	0.0946	44.070
8	22 ต.ค. 2562	24.71	304.69	758.25	1.268	4.49873	4.6071	0.1084	57.644
9	25 ต.ค. 2562	27.19	304.90	757.07	1.299	4.52337	4.6307	0.1074	50.645
10	28 ต.ค. 2562	23.96	303.37	756.86	1.270	4.4847	4.5878	0.1031	56.474
11	31 ต.ค. 2562	24.34	300.68	756.29	1.274	4.4664	4.5774	0.1110	59.654

ตารางที่ ค-2 (ต่อ) เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Sampler) รุ่น 2100 ยี่ห้อ ECOTECH ประเทศสหรัฐอเมริกา

ตัวอย่างที่	วันที่เก็บตัวอย่าง	เวลาในการเก็บตัวอย่าง (hr)	อุณหภูมิ (K)	ความดัน (mmHg)	Q _{std} (m ³ /min)	น้ำหนักตัวอย่าง ก่อน (g)	น้ำหนักตัวอย่าง หลัง (g)	น้ำหนักฝุ่น ที่ได้ (g)	ความเข้มข้นฝุ่น (ug/m ³)
12	3 พ.ย. 2562	25.33	301.17	757.58	1.275	4.4577	4.5284	0.0707	36.499
13	6 พ.ย. 2562	24.16	302.92	758.54	1.305	4.4723	4.6465	0.1742	92.100
14	9 พ.ย. 2562	22.11	299.80	761.37	1.314	4.4540	4.6050	0.1510	86.667
15	12 พ.ย. 2562	27.25	302.69	759.81	1.306	4.4462	4.5814	0.1352	63.317
16	15 พ.ย. 2562	24.48	302.00	758.08	1.222	4.4206	4.5321	0.1116	62.175
17	18 พ.ย. 2562	24.14	303.42	759.06	1.280	4.4923	4.5974	0.1051	56.677
18	21 พ.ย. 2562	25.28	301.03	760.59	1.287	4.4720	4.5677	0.0957	49.031
19	24 พ.ย. 2562	24.12	302.42	760.16	1.283	4.3536	4.4732	0.1196	64.411
*20	27 พ.ย. 2562	0.00	0.00	0.00	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.000
21	30 พ.ย. 2562	25.16	302.69	759.55	1.282	4.3594	4.4566	0.0972	50.213

หมายเหตุ : *5 เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Sampler) รุ่น 2100 ยี่ห้อ ECOTECH เกิดการถ่านหมดทำให้เครื่องไม่สามารถทำงานได้

*20 เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่งมีปัญหาทำให้ไม่สามารถชั่งน้ำหนักได้

ค-2.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดต่างๆ วิเคราะห์โดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอบชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

ตารางที่ ค-2.1 ความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Cu				SD	ความเข้มข้น ของ ทองแดง (mg)	ความเข้มข้นของ ทองแดงต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	มวลของทองแดงบนฝุ่น ละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Cu}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
1	1 ต.ค. 2562	0.020	0.011	0.013	0.015	0.005	0.003	0.802	0.024203
2	4 ต.ค. 2562	0.019	0.018	0.037	0.025	0.011	0.005	0.759	0.040690
3	7 ต.ค. 2562	0.019	0.018	0.016	0.018	0.002	0.003	1.767	0.033219
4	10 ต.ค. 2562	0.008	0.009	0.006	0.008	0.002	0.002	1.306	0.012872
5	13 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ND	ND
6	16 ต.ค. 2562	0.035	0.033	0.032	0.033	0.002	0.007	1.179	0.055447
7	19 ต.ค. 2562	0.022	0.024	0.024	0.023	0.001	0.005	0.761	0.033517
8	22 ต.ค. 2562	0.044	0.038	0.039	0.040	0.003	0.008	1.148	0.066154
9	25 ต.ค. 2562	0.036	0.034	0.036	0.035	0.001	0.007	1.015	0.051390
10	28 ต.ค. 2562	0.040	0.035	0.037	0.037	0.003	0.007	1.117	0.063074

ตารางที่ ค-2.1 (ต่อ) ความเข้มข้นทองแดงในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Cu				SD	ความเข้มข้น ของ ทองแดง (mg)	ความเข้มข้นของ ทองแดงต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	มวลของทองแดงบนฝุ่น ละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Cu}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
11	31 ต.ค. 2562	0.024	0.022	0.022	0.023	0.001	0.003	0.496	0.029599
12	3 พ.ย. 2562	0.024	0.024	0.025	0.024	0.001	0.004	0.837	0.030533
13	6 พ.ย. 2562	0.035	0.033	0.037	0.035	0.002	0.005	0.488	0.044977
14	9 พ.ย. 2562	0.034	0.031	0.028	0.031	0.003	0.005	0.499	0.043236
15	12 พ.ย. 2562	0.038	0.029	0.039	0.035	0.006	0.005	0.635	0.040209
16	15 พ.ย. 2562	0.020	0.020	0.018	0.019	0.001	0.003	0.421	0.026188
17	18 พ.ย. 2562	0.020	0.019	0.023	0.021	0.002	0.003	0.478	0.027088
18	21 พ.ย. 2562	0.017	0.016	0.018	0.017	0.001	0.003	0.432	0.021169
19	24 พ.ย. 2562	0.030	0.030	0.033	0.031	0.002	0.005	0.630	0.040567
20	27 พ.ย. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0	0.000	ND	ND
21	30 พ.ย. 2562	0.031	0.030	0.028	0.030	0.002	0.005	0.742	0.037250

ตารางที่ ค-2.2 ความเข้มข้นสังกะสีในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Zn				SD	ความเข้มข้น ของ สังกะสี (mg)	ความเข้มข้นของ สังกะสีต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	มวลของสังกะสีบนฝุ่น ละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Zn}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
1	1 ต.ค. 2562	0.147	0.129	0.173	0.150	0.022	0.008	2.143	0.064637
2	4 ต.ค. 2562	0.200	0.196	0.206	0.201	0.005	0.011	1.676	0.089832
3	7 ต.ค. 2562	0.079	0.080	0.071	0.077	0.005	0.003	1.729	0.032504
4	10 ต.ค. 2562	0.056	0.048	0.042	0.049	0.007	0.002	1.515	0.014931
5	13 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	ND	ND
6	16 ต.ค. 2562	0.116	0.111	0.108	0.112	0.004	0.005	0.983	0.046206
7	19 ต.ค. 2562	0.225	0.250	0.256	0.244	0.016	0.013	2.195	0.096740
8	22 ต.ค. 2562	0.262	0.245	0.250	0.252	0.009	0.014	1.990	0.114723
9	25 ต.ค. 2562	0.160	0.154	0.158	0.157	0.003	0.008	1.191	0.060312
10	28 ต.ค. 2562	0.222	0.207	0.217	0.215	0.008	0.012	1.761	0.099433

ตารางที่ ค-2.2 (ต่อ) ความเข้มข้นสังกะสีในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Zn				SD	ความเข้มข้น ของ สังกะสี (mg)	ความเข้มข้นของ สังกะสีต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	มวลของสังกะสีบนฝุ่น ละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Zn}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
11	31 ต.ค. 2562	0.114	0.108	0.102	0.108	0.006	0.006	0.842	0.050248
12	3 พ.ย. 2562	0.161	0.162	0.166	0.163	0.003	0.010	2.140	0.078120
13	6 พ.ย. 2562	0.319	0.312	0.312	0.314	0.004	0.020	1.782	0.164082
14	9 พ.ย. 2562	0.243	0.238	0.241	0.241	0.003	0.015	1.542	0.133665
15	12 พ.ย. 2562	0.218	0.213	0.222	0.218	0.005	0.013	1.544	0.097745
16	15 พ.ย. 2562	0.293	0.294	0.305	0.297	0.007	0.019	2.622	0.162999
17	18 พ.ย. 2562	0.049	0.203	0.214	0.155	0.092	0.009	1.363	0.077258
18	21 พ.ย. 2562	0.124	0.116	0.125	0.122	0.005	0.007	1.127	0.055274
19	24 พ.ย. 2562	0.105	0.105	0.111	0.107	0.003	0.006	0.773	0.049788
20	27 พ.ย. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	ND	ND
21	30 พ.ย. 2562	0.183	0.176	0.169	0.176	0.007	0.010	1.697	0.085229

ตารางที่ ค-2.3 ความเข้มข้นนิกเกิลในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Ni				SD	ความเข้มข้นของ นิกเกิล (mg)	ความเข้มข้นของ นิกเกิลต่อน้ำหนัก ฝุ่น(mg/g)	มวลของนิกเกิลบนฝุ่น ละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Ni}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
1	1 ต.ค. 2562	0.012	0.014	0.015	0.014	0.002	0.001	0.191	0.005767
2	4 ต.ค. 2562	0.015	0.016	0.018	0.016	0.002	0.002	0.280	0.014989
3	7 ต.ค. 2562	0.016	0.018	0.016	0.017	0.001	0.002	0.979	0.018400
4	10 ต.ค. 2562	0.018	0.018	0.016	0.017	0.001	0.002	1.905	0.018777
5	13 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.005	ND	ND
6	16 ต.ค. 2562	0.020	0.018	0.018	0.019	0.001	0.003	0.494	0.023253
7	19 ต.ค. 2562	0.020	0.020	0.020	0.020	0.000	0.003	0.547	0.024096
8	22 ต.ค. 2562	0.022	0.024	0.023	0.023	0.001	0.005	0.656	0.037832
9	25 ต.ค. 2562	0.024	0.025	0.026	0.025	0.001	0.005	0.783	0.039647
10	28 ต.ค. 2562	0.028	0.026	0.026	0.027	0.001	0.006	0.920	0.051959

ตารางที่ ค-2.3 (ต่อ) ความเข้มข้นนิกเกิลในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Ni				SD	ความเข้มข้นของ นิกเกิล (mg)	ความเข้มข้นของ นิกเกิลต่อน้ำหนัก ฝุ่น(mg/g)	มวลของนิกเกิลบนฝุ่น ละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Ni}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
11	31 ต.ค. 2562	0.010	0.010	0.009	0.010	0.001	0.000	0.009	0.000564
12	3 พ.ย. 2562	0.009	0.009	0.010	0.009	0.001	0.000	0.013	0.000474
13	6 พ.ย. 2562	0.010	0.010	0.011	0.010	0.001	0.000	0.008	0.000694
14	9 พ.ย. 2562	0.014	0.012	0.013	0.013	0.001	0.000	0.016	0.001356
15	12 พ.ย. 2562	0.013	0.013	0.015	0.014	0.001	0.000	0.019	0.001229
16	15 พ.ย. 2562	0.014	0.014	0.014	0.014	0.000	0.000	0.025	0.001536
17	18 พ.ย. 2562	0.014	0.014	0.015	0.014	0.001	0.000	0.027	0.001557
18	21 พ.ย. 2562	0.016	0.016	0.015	0.016	0.001	0.000	0.036	0.001748
19	24 พ.ย. 2562	0.014	0.015	0.016	0.015	0.001	0.000	0.026	0.001696
20	27 พ.ย. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ND	ND
21	30 พ.ย. 2562	0.016	0.017	0.016	0.016	0.001	0.000	0.038	0.001898

ตารางที่ ค-2.4 ความเข้มข้นโครเมียมในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Cr				SD	ความเข้มข้นของ โครเมียม (mg)	ความเข้มข้นของ โครเมียมต่อ น้ำหนักฝุ่น(mg/g)	มวลของโครเมียมบน ฝุ่นละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Cr}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
1	1 ต.ค. 2562	-0.001	-0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	ND	-0.002482
2	4 ต.ค. 2562	0.002	0.001	0.008	0.004	0.004	0.003	0.509	0.027293
3	7 ต.ค. 2562	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.301	0.005657
4	10 ต.ค. 2562	-0.002	-0.002	0.000	-0.001	0.001	-0.001	ND	-0.010101
5	13 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ND	ND
6	16 ต.ค. 2562	-0.002	-0.002	-0.001	-0.002	0.001	-0.001	ND	-0.012510
7	19 ต.ค. 2562	0.001	0.000	0.002	0.001	0.001	0.001	0.147	0.006482
8	22 ต.ค. 2562	0.000	-0.001	-0.001	-0.001	0.001	-0.001	ND	-0.004934
9	25 ต.ค. 2562	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.000	-0.001	ND	-0.006563
10	28 ต.ค. 2562	0.001	0.000	-0.001	0.000	0.001	0.000	ND	0.000000

ตารางที่ ค-2.4 (ต่อ) ความเข้มข้นโครเมียมในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Cr				SD	ความเข้มข้น ของ โครเมียม (mg)	ความเข้มข้นของ โครเมียมต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	มวลของโครเมียมบน ฝุ่นละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Cr}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
11	31 ต.ค. 2562	0.003	0.005	0.004	0.004	0.001	0.003	0.389	0.023183
12	3 พ.ย. 2562	0.006	0.006	0.006	0.006	1.06×10^{-18}	0.004	0.916	0.033415
13	6 พ.ย. 2562	0.003	0.003	0.006	0.004	0.002	0.003	0.248	0.022814
14	9 พ.ย. 2562	0.018	0.012	0.003	0.011	0.008	0.008	0.786	0.068093
15	12 พ.ย. 2562	0.007	0.003	0.011	0.007	0.004	0.005	0.558	0.035356
16	15 พ.ย. 2562	0.001	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.193	0.012024
17	18 พ.ย. 2562	0.003	0.003	0.003	0.003	5.31×10^{-19}	0.002	0.308	0.017452
18	21 พ.ย. 2562	0.003	0.013	0.005	0.007	0.005	0.005	0.789	0.038688
19	24 พ.ย. 2562	0.003	0.002	0.003	0.003	0.001	0.002	0.240	0.015488
20	27 พ.ย. 2562	0.0000	0.0000	0.0000	0.000	0.000	0.000	ND	ND
21	30 พ.ย. 2562	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.074	0.003715

ตารางที่ ค-2.5 ความเข้มข้นแมงกานีสในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Mn				SD	ความเข้มข้น ของ แมงกานีส (mg)	ความเข้มข้นของ แมงกานีสต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	มวลของแมงกานีสบน ฝุ่นละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Mn}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
1	1 ต.ค. 2562	0.012	0.011	0.012	0.012	0.001	0.001	0.356	0.010730
2	4 ต.ค. 2562	0.017	0.018	0.017	0.017	0.001	0.002	0.331	0.017740
3	7 ต.ค. 2562	0.006	0.005	0.004	0.005	0.001	0.000	0.150	0.002822
4	10 ต.ค. 2562	-0.001	-0.002	-0.001	-0.001	0.001	-0.001	-0.554	-0.005459
5	13 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ND	ND
6	16 ต.ค. 2562	0.008	0.007	0.008	0.008	0.001	0.001	0.124	0.005824
7	19 ต.ค. 2562	0.010	0.013	0.014	0.012	0.002	0.001	0.228	0.010059
8	22 ต.ค. 2562	0.017	0.014	0.014	0.015	0.002	0.002	0.256	0.014767
9	25 ต.ค. 2562	0.012	0.014	0.013	0.013	0.001	0.001	0.215	0.010913
10	28 ต.ค. 2562	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.001	0.202	0.011409

ตารางที่ ค-2.5 (ต่อ) ความเข้มข้นแมงกานีสในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Mn				SD	ความเข้มข้น ของ แมงกานีส (mg)	ความเข้มข้นของ แมงกานีสต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	มวลของแมงกานีสบน ฝุ่นละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Mn}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
11	31 ต.ค. 2562	0.024	0.023	0.022	0.023	0.001	0.003	0.486	0.029000
12	3 พ.ย. 2562	0.015	0.017	0.016	0.016	0.001	0.002	0.482	0.017599
13	6 พ.ย. 2562	0.037	0.034	0.034	0.035	0.002	0.006	0.506	0.046562
14	9 พ.ย. 2562	0.030	0.028	0.029	0.029	0.001	0.005	0.470	0.040755
15	12 พ.ย. 2562	0.026	0.025	0.026	0.026	0.001	0.004	0.455	0.028819
16	15 พ.ย. 2562	0.020	0.021	0.021	0.021	0.001	0.003	0.424	0.026387
17	18 พ.ย. 2562	0.014	0.014	0.014	0.014	0.000	0.002	0.270	0.015320
18	21 พ.ย. 2562	0.013	0.011	0.013	0.012	0.001	0.002	0.247	0.012129
19	24 พ.ย. 2562	0.010	0.010	0.011	0.010	0.001	0.001	0.150	0.009687
20	27 พ.ย. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.001	ND	ND
21	30 พ.ย. 2562	0.013	0.010	0.010	0.011	0.002	0.001	0.205	0.010273

ตารางที่ ค-2.6 ความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Pb				SD	ความเข้มข้น ของ ตะกั่ว (mg)	ความเข้มข้นของ ตะกั่วต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	มวลของตะกั่วบนฝุ่น ละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Pb}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
1	1 ต.ค. 2562	0.008	0.007	0.007	0.007	0.001	0.001	0.215	0.006489
2	4 ต.ค. 2562	0.010	0.012	0.011	0.011	0.001	0.003	0.454	0.024325
3	7 ต.ค. 2562	0.006	0.006	0.008	0.007	0.001	0.000	0.197	0.003697
4	10 ต.ค. 2562	0.005	0.006	0.005	0.005	0.001	0.000	ND	-0.003301
5	13 ต.ค. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.003	ND	ND
6	16 ต.ค. 2562	0.006	0.006	0.005	0.006	0.001	0.000	ND	-0.001635
7	19 ต.ค. 2562	0.008	0.008	0.007	0.008	0.001	0.001	0.160	0.007061
8	22 ต.ค. 2562	0.008	0.009	0.012	0.010	0.002	0.002	0.308	0.017736
9	25 ต.ค. 2562	0.007	0.007	0.010	0.008	0.002	0.001	0.169	0.008579
10	28 ต.ค. 2562	0.006	0.006	0.006	0.006	0.000	0.000	ND	0.000000

ตารางที่ ค-2.6 (ต่อ) ความเข้มข้นตะกั่วในฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอน

ตัวอย่าง ที่	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	Abs Pb				SD	ความเข้มข้น ของ ตะกั่ว (mg)	ความเข้มข้นของ ตะกั่วต่อน้ำหนัก ฝุ่น (mg/g)	มวลของตะกั่วบนฝุ่น ละอองในบรรยากาศ ($\mu\text{g-Pb}/\text{m}^3$)
		ซ้ำ 1	ซ้ำ 2	ซ้ำ 3	ค่าเฉลี่ย				
11	31 ต.ค. 2562	-0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	ND	-0.000282
12	3 พ.ย. 2562	-0.004	-0.002	-0.006	-0.004	0.002	0.000	ND	-0.001016
13	6 พ.ย. 2562	0.001	-0.003	-0.002	-0.001	0.002	0.000	ND	-0.000486
14	9 พ.ย. 2562	-0.004	-0.004	-0.005	-0.004	0.001	0.000	ND	-0.001205
15	12 พ.ย. 2562	-0.009	-0.003	-0.004	-0.005	0.003	0.000	ND	-0.001168
16	15 พ.ย. 2562	-0.011	-0.012	-0.008	-0.010	0.002	0.000	ND	-0.002487
17	18 พ.ย. 2562	-0.009	-0.012	-0.011	-0.011	0.002	0.000	ND	-0.002477
18	21 พ.ย. 2562	-0.011	-0.015	-0.009	-0.012	0.003	0.000	ND	-0.002555
19	24 พ.ย. 2562	-0.014	-0.015	-0.015	-0.015	0.001	0.000	ND	-0.003321
20	27 พ.ย. 2562	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	ND	ND
21	30 พ.ย. 2562	-0.014	-0.017	-0.018	-0.016	0.002	0.000	ND	-0.003526

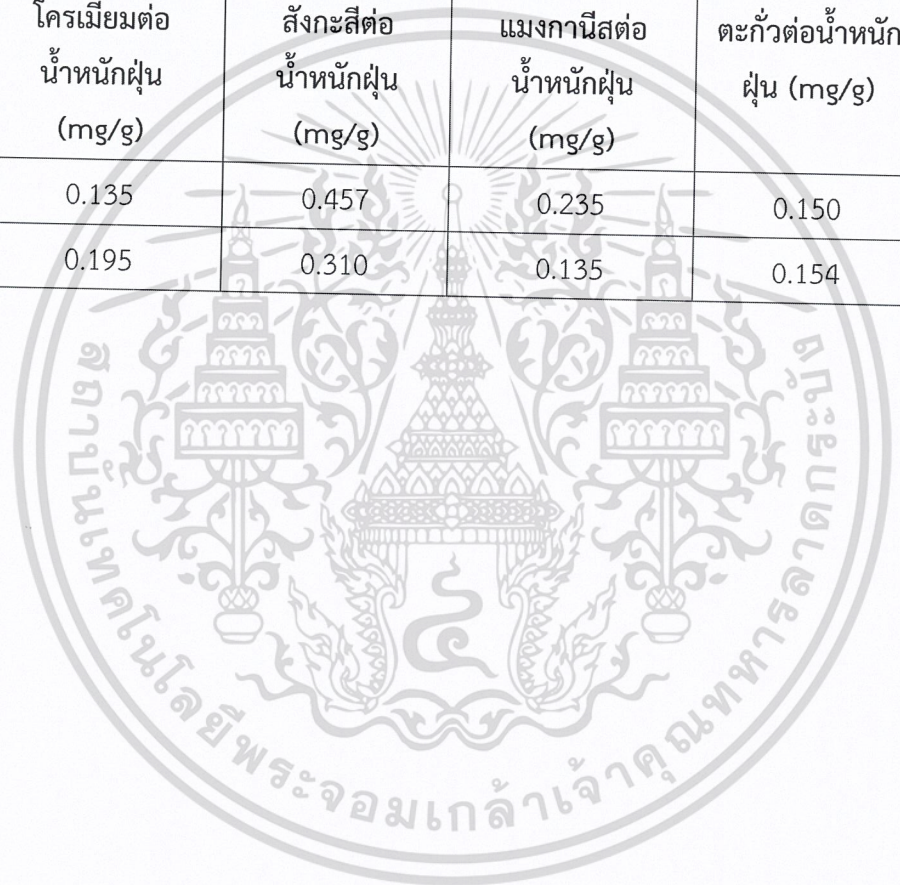
ค-2.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิด ในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ระหว่างวันที่ 1 ตุลาคม – 31 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562

ตารางที่ ค-2.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนตุลาคม

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของแมงกานีสต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของตะกั่วต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	หมายเหตุ
1 ต.ค. 62	0.802	ND	2.143	0.356	0.215	0.191	
4 ต.ค. 62	0.759	0.509	1.676	0.331	0.454	0.280	
7 ต.ค. 62	1.767	0.301	1.729	0.150	0.197	0.979	
10 ต.ค. 62	1.306	ND	1.515	-0.554	ND	1.905	
13 ต.ค. 62	ND	ND	ND	ND	ND	0.494	หยุดทำงาน
16 ต.ค. 62	1.179	ND	0.983	0.124	0.000	0.547	
19 ต.ค. 62	0.761	0.147	2.195	0.228	0.160	0.656	
22 ต.ค. 62	1.148	ND	1.990	0.256	0.308	0.783	
25 ต.ค. 62	1.015	ND	1.191	0.215	0.169	0.920	
28 ต.ค. 62	1.117	ND	1.761	0.202	ND	0.009	
31 ต.ค. 62	0.496	0.389	0.842	0.486	ND	0.013	

ตารางที่ ค-2.1.1 (ต่อ) ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนตุลาคม

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของแมงกานีสต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของตะกั่วต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	หมายเหตุ
ค่าเฉลี่ย	1.035	0.135	0.457	0.235	0.150	0.676	
SD	0.357	0.195	0.310	0.135	0.154	0.533	



ตารางที่ ค-2.1.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักแต่ละชนิดในเดือนพฤศจิกายน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของแมงกานีสต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของตะกั่วต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อน้ำหนักฝุ่น (mg/g)	หมายเหตุ
3 พ.ย. 62	0.837	0.916	2.140	0.482	ND	0.008	
6 พ.ย. 62	0.488	0.248	1.782	0.506	ND	0.016	
9 พ.ย. 62	0.499	0.786	1.542	0.470	ND	0.019	
12 พ.ย. 62	0.635	0.558	1.544	0.455	ND	0.025	
15 พ.ย. 62	0.421	0.193	2.622	0.424	ND	0.027	
18 พ.ย. 62	0.478	0.308	1.363	0.270	ND	0.036	
21 พ.ย. 62	0.432	0.789	1.127	0.247	ND	0.026	
24 พ.ย. 62	0.630	0.240	0.773	0.150	ND	0.038	
27 พ.ย. 62	ND	ND	ND	ND	ND	ND	เครื่องชั่งชำรุด
30 พ.ย. 62	0.742	0.074	1.697	0.205	ND	0.038	
ค่าเฉลี่ย	0.573	0.457	1.621	0.357	0.000	0.023	
SD	0.146	0.310	0.541	0.137	0.000	0.010	

ค-3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน หน้าโรงพยาบาลลาดกระบัง และหน้าคณะวิทยาศาสตร์

ตารางที่ ค-3 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาด 2.5 ไมครอน หน้ารพ.ลาดกระบัง และหน้าคณะวิทยาศาสตร์

วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นฝุ่น PM _{2.5} (ug/m ³)	ความเข้มข้นฝุ่น PM _{2.5} -รพ (ug/m ³)	ค่ามาตรฐาน (ug/m ³)	วันที่เก็บ ตัวอย่าง	ความเข้มข้นฝุ่น PM _{2.5} (ug/m ³)	ความเข้มข้นฝุ่น PM _{2.5} -รพ (ug/m ³)	ค่ามาตรฐาน (ug/m ³)
1 ต.ค. 62	13.29	25.92	50	31 ต.ค. 62	20.94	18.35	50
4 ต.ค. 62	22.94	32.19	50	3 พ.ย. 62	24.49	18.73	50
7 ต.ค. 62	13.86	17.38	50	6 พ.ย. 62	54.35	41.50	50
10 ต.ค. 62	12.90	33.62	50	9 พ.ย. 62	48.32	39.27	50
13 ต.ค. 62	1.59	18.73	50	12 พ.ย. 62	42.83	42.54	50
16 ต.ค. 62	7.71	22.54	50	15 พ.ย. 62	32.37	30.27	50
19 ต.ค. 62	25.33	26.05	50	18 พ.ย. 62	35.81	40.58	50
22 ต.ค. 62	37.44	38.27	50	21 พ.ย. 62	32.13	27.42	50
25 ต.ค. 62	0.00	19.92	50	24 พ.ย. 62	34.70	30.42	50
28 ต.ค. 62	0.00	19.46	50	27 พ.ย. 62	44.19	15.77	50
				30 พ.ย. 62	6.05	23.65	50

ภาคผนวก ง

กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นโลหะหนัก

ง-1 กราฟมาตรฐานทองแดง (วันที่วิเคราะห์ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)

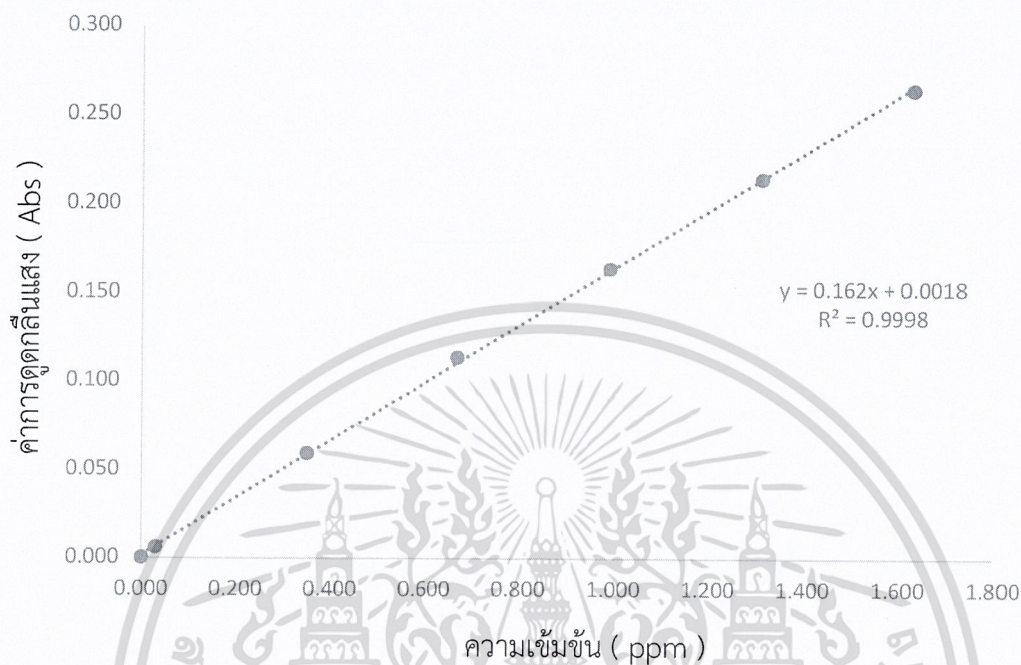


รูปที่ ง-1 กราฟมาตรฐานทองแดง (วันที่วิเคราะห์ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-1 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานทองแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.000
0.030	0.003
0.350	0.046
0.670	0.090
0.990	0.128
1.310	0.167
1.630	0.208

ง-2 กราฟมาตรฐานทองแดง (วันที่วิเคราะห์ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2562)



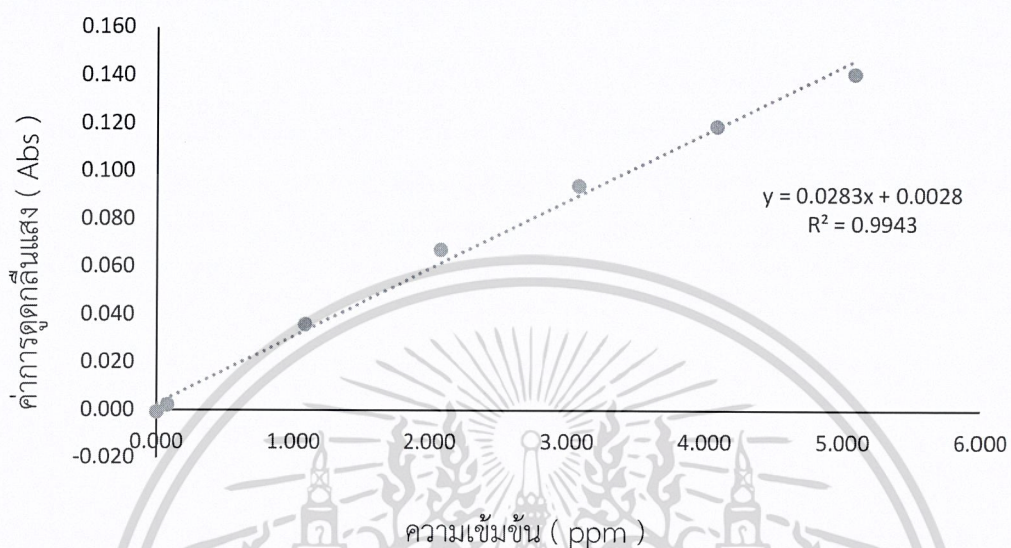
รูปที่ ง-2 กราฟมาตรฐานทองแดง (วันที่วิเคราะห์ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-2 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานทองแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.000
0.030	0.006
0.350	0.059
0.670	0.113
0.990	0.163
1.310	0.214
1.630	0.264

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-3 กราฟมาตรฐานโครเมียม (วันที่วิเคราะห์ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)



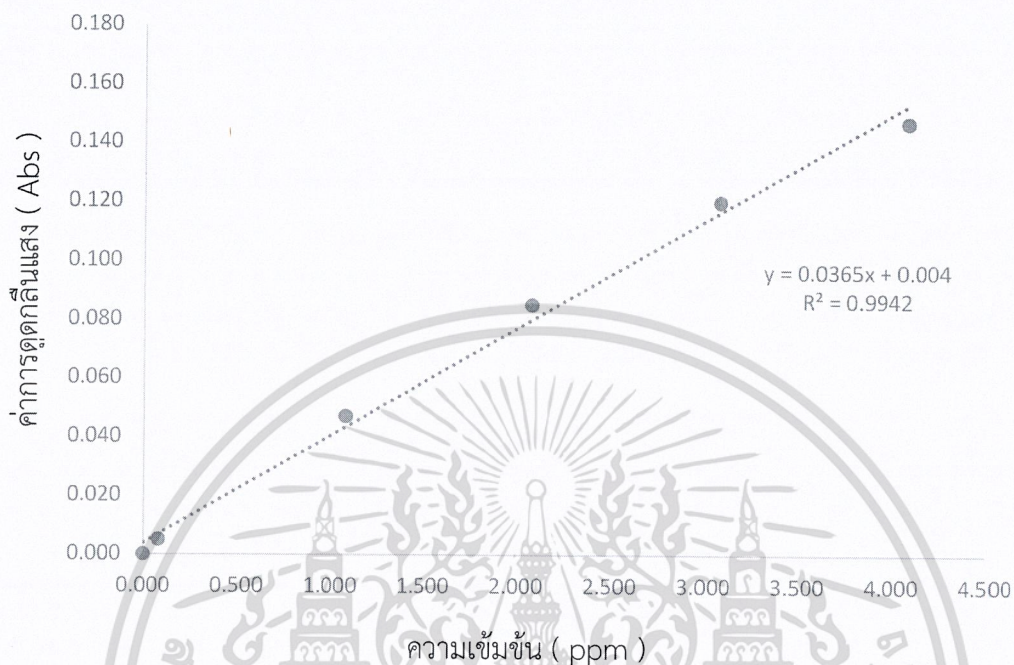
รูปที่ ง-3 กราฟมาตรฐานโครเมียม (วันที่วิเคราะห์ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-3 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานโครเมียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	-0.001
0.080	0.002
1.080	0.036
2.080	0.067
3.080	0.094
4.080	0.119
5.080	0.141

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-4 กราฟมาตรฐานโครเมียม (วันที่วิเคราะห์ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2562)



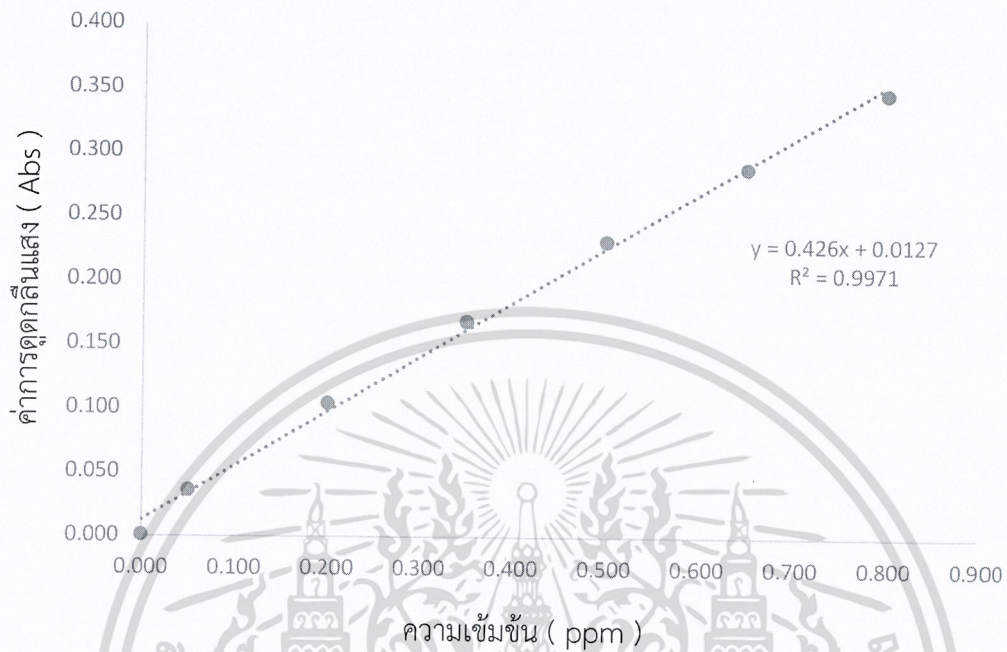
รูปที่ ง-4 กราฟมาตรฐานโครเมียม (วันที่วิเคราะห์ 13 ธันวาคม พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-4 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานโครเมียมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.000
0.080	0.005
1.080	0.047
2.080	0.085
3.080	0.120
4.080	0.147

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-5 กราฟมาตรฐานสังกะสี (วันที่วิเคราะห์ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)



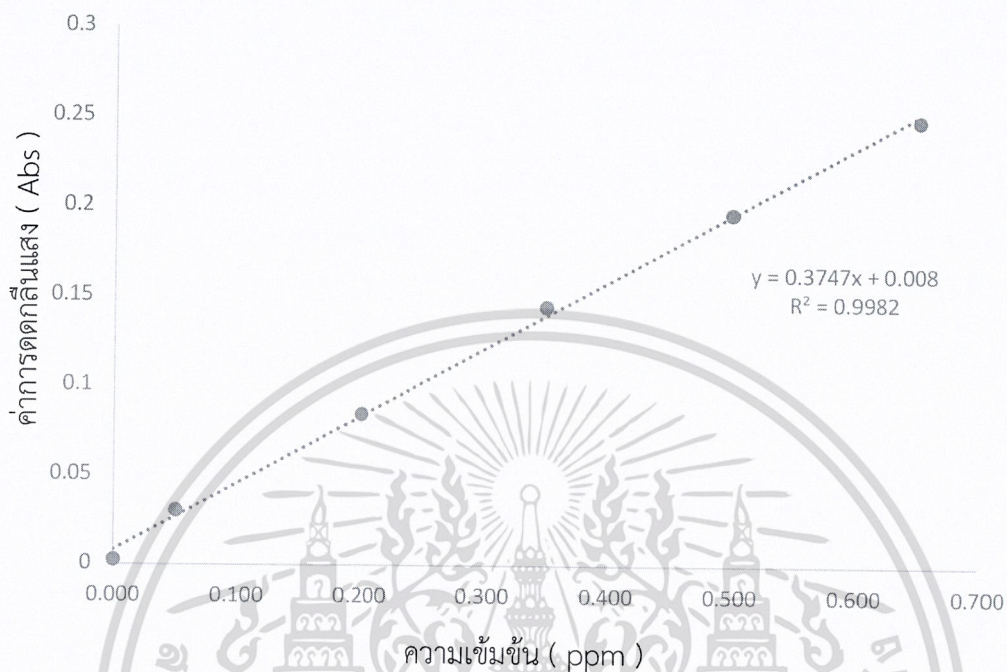
รูปที่ ง-5 กราฟมาตรฐานสังกะสี (วันที่วิเคราะห์ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-5 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.001
0.050	0.036
0.200	0.104
0.350	0.168
0.500	0.231
0.650	0.288
0.800	0.347

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-6 กราฟมาตรฐานสังกะสี (วันที่วิเคราะห์ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2562)



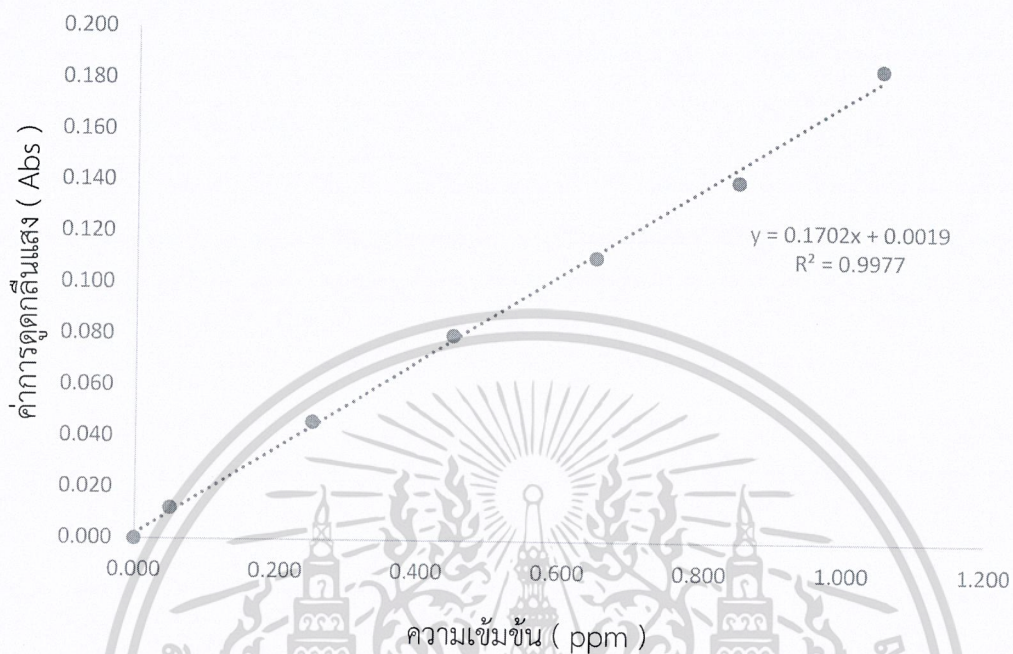
รูปที่ ง-6 กราฟมาตรฐานสังกะสี (วันที่วิเคราะห์ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-6 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานสังกะสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.002
0.050	0.030
0.200	0.084
0.350	0.144
0.500	0.196
0.650	0.248

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-7 กราฟมาตรฐานแมงกานีส (วันที่วิเคราะห์ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)



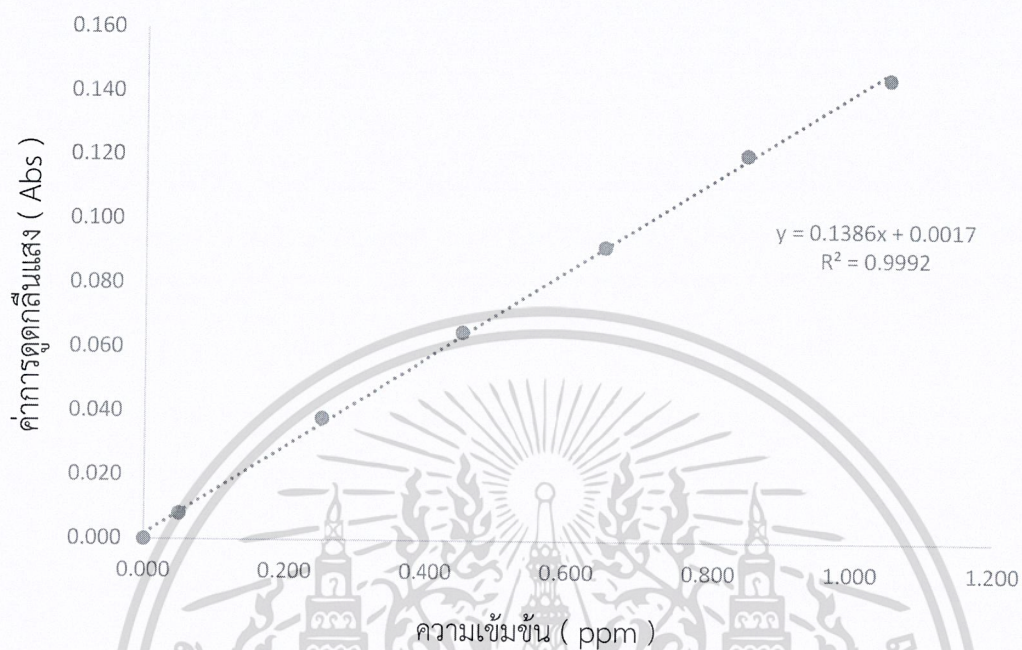
รูปที่ ง-7 กราฟมาตรฐานแมงกานีส (วันที่วิเคราะห์ 19 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-7 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานแมงกานีสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.000
0.050	0.012
0.250	0.046
0.450	0.080
0.650	0.111
0.850	0.141
1.050	0.185

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-8 กราฟมาตรฐานแมงกานีส (วันที่วิเคราะห์ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2562)



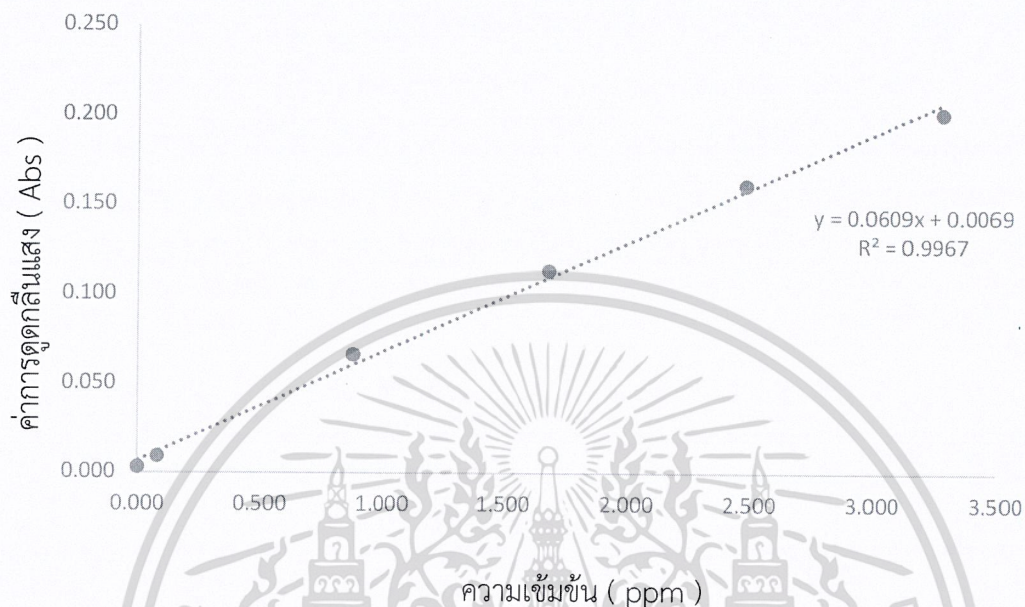
รูปที่ ง-8 กราฟมาตรฐานแมงกานีส (วันที่วิเคราะห์ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-8 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานแมงกานีสที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.000
0.050	0.008
0.250	0.038
0.450	0.065
0.650	0.092
0.850	0.121
1.050	0.145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-9 กราฟมาตรฐานนิกเกิล (วันที่วิเคราะห์ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)



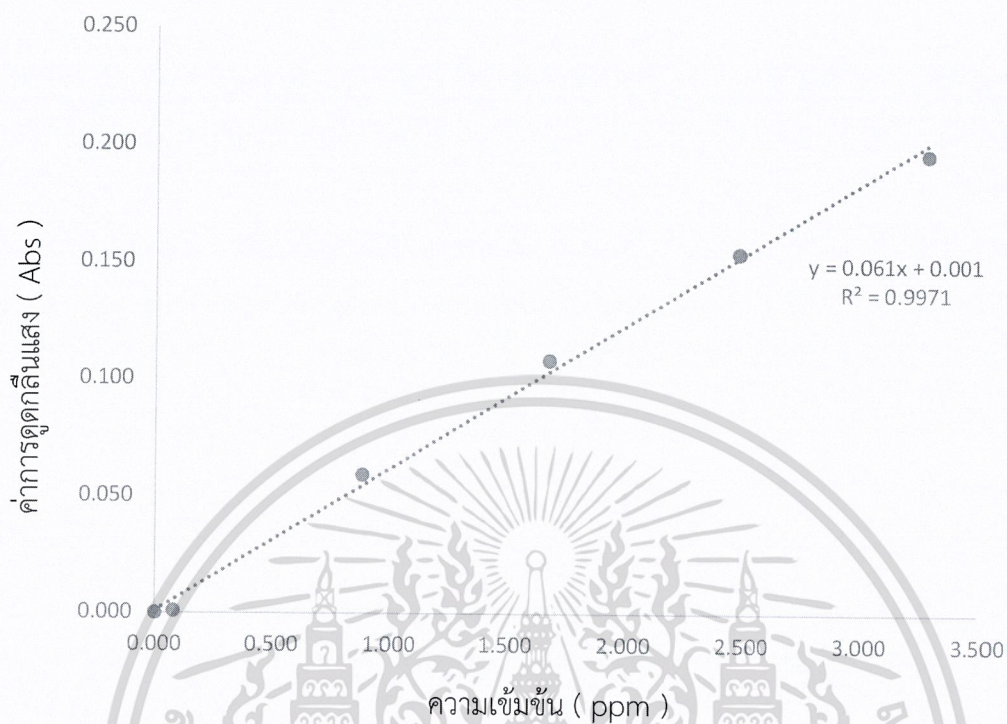
รูปที่ ง-9 กราฟมาตรฐานนิกเกิล (วันที่วิเคราะห์ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-9 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.003
0.080	0.009
0.880	0.066
1.680	0.113
2.480	0.161
3.280	0.201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-10 กราฟมาตรฐานนิกเกิล (วันที่วิเคราะห์ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2562)



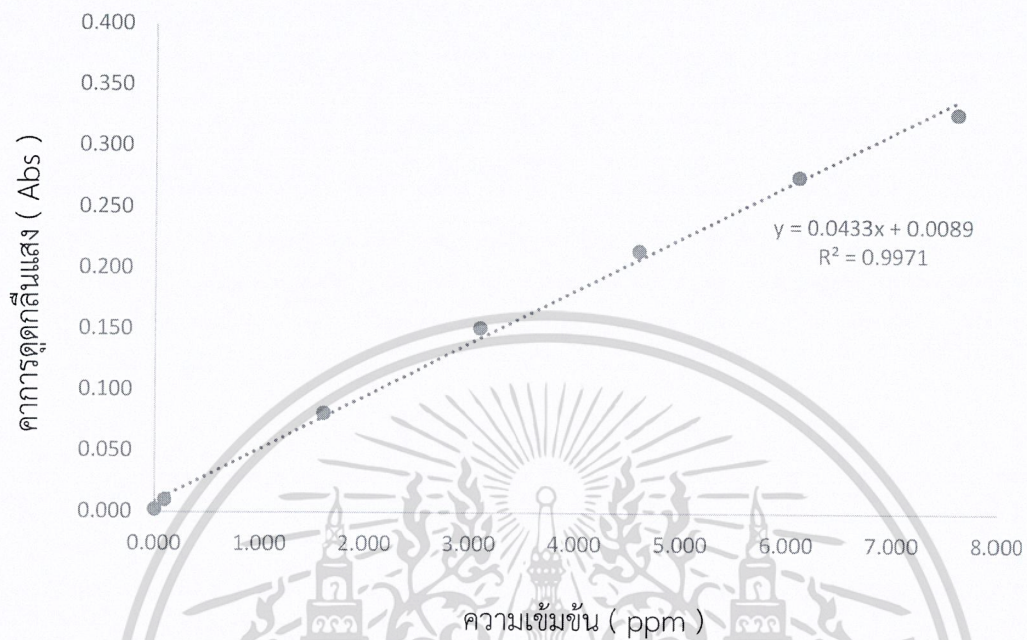
รูปที่ ง-10 กราฟมาตรฐานนิกเกิล (วันที่วิเคราะห์ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-10 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานนิกเกิลที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.000
0.080	0.001
0.880	0.059
1.680	0.108
2.480	0.154
3.280	0.196

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-11 กราฟมาตรฐานตะกั่ว (วันที่วิเคราะห์ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)



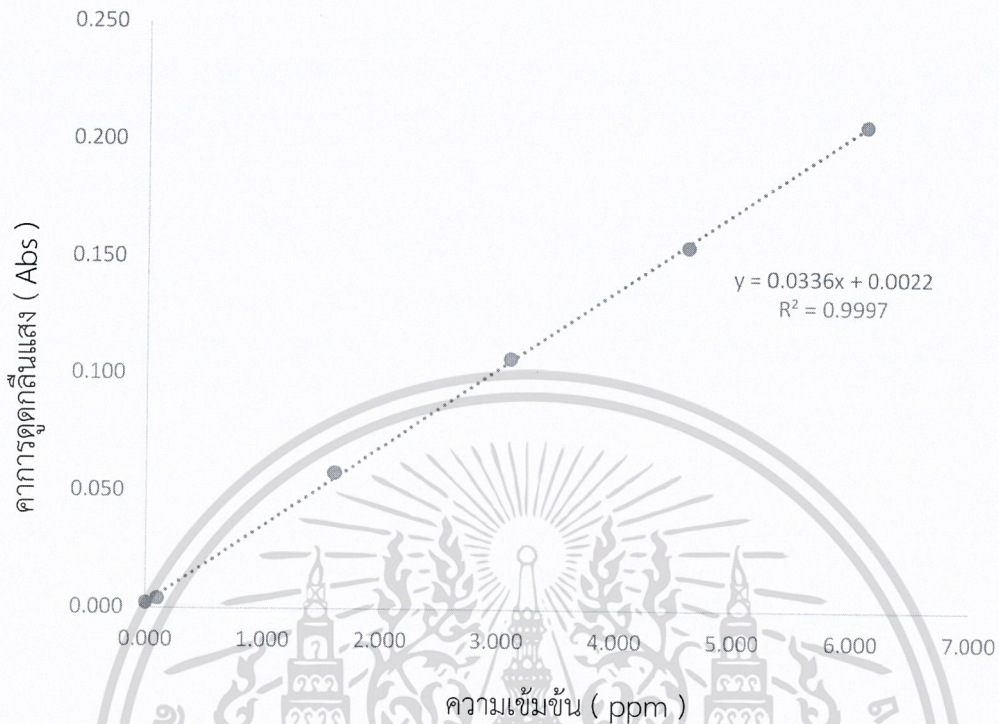
รูปที่ ง-11 กราฟมาตรฐานตะกั่ว (วันที่วิเคราะห์ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง- 11 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.002
0.100	0.010
1.600	0.081
3.100	0.151
4.600	0.215
6.100	0.276
7.600	0.328

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง-12 กราฟมาตรฐานตะกั่ว (วันที่วิเคราะห์ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2562)



รูปที่ ง-12 กราฟมาตรฐานตะกั่ว (วันที่วิเคราะห์ 11 ธันวาคม พ.ศ. 2562)

ตารางที่ ง-12 ค่าดูดกลืนแสงของสารมาตรฐานตะกั่วที่ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (ppm)	ค่าดูดกลืนแสง (Abs)
0.000	0.002
1.600	0.058
3.100	0.107
4.600	0.155
6.100	0.207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ-1 ตารางแสดงทิศทางลมและสภาพอากาศ

วันที่เก็บตัวอย่าง	วัน	ลักษณะภูมิอากาศ	ความเร็วลม (m/s)	ทิศทางลม	หมายเหตุ
1 ต.ค. 2562	อังคาร	ไม่มีฝนตก	0.5	S	
4 ต.ค. 2562	ศุกร์	ไม่มีฝนตก	0.9	E	
7 ต.ค. 2562	จันทร์	มีฝนตก	0.4	E	1. มีการแข่งขันกีฬภายในคณะวิทยาศาสตร์ เนื่องในวันมหกรรมกีฬา วิทยาวิทยา ครั้งที่ 15 ทำให้มีการสัญจรขอยานพาหนะผ่านจุดติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นมากขึ้น 2. มีการทาสีบนถนนฉลองกรุง 1
10 ต.ค. 2562	พฤหัสบดี	มีฝนตก	0.4	ENE	
13 ต.ค. 2562	อาทิตย์	ไม่มีฝนตก	0.4	ENE	
16 ต.ค. 2562	พุธ	ไม่มีฝนตก	1.8	E	
19 ต.ค. 2562	เสาร์	ไม่มีฝนตก	0.7	NE	
22 ต.ค. 2562	อังคาร	ไม่มีฝนตก	0.2	SW	
25 ต.ค. 2562	ศุกร์	ไม่มีฝนตก	0.5	E	
28 ต.ค. 2562	จันทร์	มีฝนตก	0.3	E	
31 ต.ค. 2562	พฤหัสบดี	มีฝนตก	1	E	
3 พ.ย. 2562	อาทิตย์	ไม่มีฝนตก	0.5	ESE	
6 พ.ย. 2562	พุธ	ไม่มีฝนตก	0.4	ENE	
9 ต.ค. 2562	เสาร์	ไม่มีฝนตก	0.6	NE	
12 พ.ย. 2562	อังคาร	ไม่มีฝนตก	0.5	ENE	
15 พ.ย. 2562	ศุกร์	ไม่มีฝนตก	0.4	ENE	
18 พ.ย. 2562	จันทร์	ไม่มีฝนตก	0.4	E	
21 พ.ย. 2562	พฤหัสบดี	ไม่มีฝนตก	0.4	NE	
24 พ.ย. 2562	อาทิตย์	ไม่มีฝนตก	0.4	ENE	
27 พ.ย. 2562	พุธ	ไม่มีฝนตก	0.6	ENE	
30 พ.ย. 2562	เสาร์	ไม่มีฝนตก	0.5	ENE	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จ-1 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ oct และ nov

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>oct= c (13.29,22.94,13.86,12.90,1.59,7.71,25.33,37.44,20.94)
```

```
>nov= c (20.94,24.49,54.35,48.32,42.83,32.37,35.81,32.13,34.70,44.19,6.05)
```

```
>t.test (oct,nov,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: oct and nov

t = -3.1125, df = 17.976, p-value = 0.00602

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: -28.249594 -5.480103

sample estimates:mean of x mean of y

17.33333 34.19818

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = -3.112

p-value = 0.00602

เนื่องจาก p-value = 0.00602 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

ฉ-2 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 หรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นมากกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

H_1 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ oct และ nov

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>oct= c (13.29,22.94,13.86,12.90,1.59,7.71,25.33,37.44,20.94)
```

```
>nov= c (20.94,24.49,54.35,48.32,42.83,32.37,35.81,32.13,34.70,44.19,6.05)
```

```
> t.test(oct,nov,mu=0,alternative = "less",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: oct and nov

t = -3.1125, df = 17.976, p-value = 0.00301

alternative hypothesis: true difference in means is less than 0

95 percent confidence interval:

-Inf -7.468301

sample estimates:mean of x mean of y

17.33333 34.19818

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = -3.1125

p-value = 0.00301

เนื่องจาก p-value = 0.00301 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-3 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ pm10oct และ pm10nov

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>pm10oct = c(30.17,53.61,18.80,9.86,47.02,44.07,57.64,50.64,56.47,59.65)
```

```
>pm10nov = c(36.50,92.10,86.67,63.32,62.18,56.68,49.03,64.41,50.21)
```

```
>t.test(pm10oct,pm10nov,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: pm10oct and pm10nov

t = -2.4265, df = 16.71, p-value = 0.02687

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: -36.573562 -2.529327

sample estimates:

mean of x mean of y

42.79300 62.34444

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = -2.4265

p-value = 0.02687

เนื่องจาก p-value = 0.02687 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

ฉ-4 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 หรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นมากกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

H_1 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ pm10oct และ pm10nov

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>pm10oct = c(30.17,53.61,18.80,9.86,47.02,44.07,57.64,50.64,56.47,59.65)
```

```
>pm10nov = c(36.50,92.10,86.67,63.32,62.18,56.68,49.03,64.41,50.21)
```

```
> t.test(pm10oct,pm10nov,mu=0,alternative = "less",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: pm10oct and pm10nov

t = -2.4265, df = 16.71, p-value = 0.01343

alternative hypothesis: true difference in means is less than 0

95 percent confidence interval:

-Inf -5.520734

sample estimates: mean of x mean of y

42.79300 62.34444

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = 16.71

p-value = 0.01343

เนื่องจาก p-value = 0.01343 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน เดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-5 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณริมถนนหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณหน้าโรงพยาบาลลาดกระบังมีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองแตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณริมถนนหน้าคณะวิทยาศาสตร์ และปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณหน้าโรงพยาบาลไม่แตกต่างกัน

H_1 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณริมถนนหน้าคณะวิทยาศาสตร์ และปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณหน้าโรงพยาบาลแตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ pm2.5kmitl และ pm2.5hospital

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>pm2.5kmitl=c(13.29,22.94,13.86,12.90,1.59,7.71,25.33,37.44,20.94,20.94,24.49,
54.35,48.32,42.83,32.37,35.81,32.13,34.70,44.19,6.05)
```

```
>pm2.5hospital=c(25.92,32.19,17.38,33.62,18.73,22.54,26.05,38.27,19.92,19.46,
18.35,18.73,41.50,39.27,42.54,30.27,40.58,27.42,30.42,15.77,23.65)
```

```
>t.test(pm2.5kmitl,pm2.5hospital,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-
0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: pm2.5kmitl and pm2.5hospital

t = -0.29568, df = 30.752, p-value = 0.7695

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: -8.949856 6.684047

sample estimates:mean of x mean of y

26.6090 27.7419

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการตัดสินใจที่ทดสอบอีกทั้ง $t^* = -0.29568$ ลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p-value = 0.7695

เนื่องจาก p-value = 0.7695 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณริมถนนหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณหน้าโรงพยาบาลลาดกระบังไม่แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-6 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณริมถนนหน้าคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังมีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าและปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณหน้าโรงพยาบาลลาดกระบังหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณริมถนนหน้าคณะวิทยาศาสตร์ มีปริมาณความเข้มข้นมากกว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณหน้าโรงพยาบาลลาดกระบัง

H_1 : ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณริมถนนหน้าคณะวิทยาศาสตร์ มีปริมาณความเข้มข้นน้อยกว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณหน้าโรงพยาบาล

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ pm2.5kmitl และ pm2.5hospital

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>pm2.5kmitl=c(13.29,22.94,13.86,12.90,1.59,7.71,25.33,37.44,20.94,20.94,24.49,
54.35,48.32,42.83,32.37,35.81,32.13,34.70,44.19,6.05)
```

```
>pm2.5hospital=c(25.92,32.19,17.38,33.62,18.73,22.54,26.05,38.27,19.92,19.46,1
8.35,18.73,41.50,39.27,42.54,30.27,40.58,27.42,30.42,15.77,23.65)
```

```
>t.test(pm2.5kmitl,pm2.5hospital,mu=0,alternative = "less",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: pm2.5kmitl and pm2.5hospital

t = -0.29568, df = 30.752, p-value = 0.3847

alternative hypothesis: true difference in means is less than 0

95 percent confidence interval:

-Inf 5.365091

sample estimates:mean of x mean of y

26.6090 27.7419

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ $p\text{-value} < \alpha$

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ $t = -0.29568$

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้ง $p\text{-value} = 0.3847$ ไม่หาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก $p\text{-value} = 0.3847 > 0.05$ จึงยอมรับ H_0 ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณริมถนนหน้าคณะวิทยาศาสตร์ มีปริมาณความเข้มข้นมากกว่าปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน บริเวณหน้าโรงพยาบาลลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-7 ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือน ตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือน ตุลาคมและเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ cu1pm2.5 และ cu2pm2.5

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>cu1pm2.5=c(1.6047,1.1466,5.4044,1.5783,3.2006,4.0855,0.4693,0.4299,1.1909)
```

```
>cu2pm2.5=c(1.0609,1.2883,0.3022,0.5841,0.5268,0.3320,0.3459,0.9089,0.4031,
```

```
5.2165)
```

```
> t.test (cu1pm2.5,cu2pm2.5,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: cu1pm2.5 and cu2pm2.5

t = 1.3826, df = 15.945, p - value = 0.1858

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: -0.5477924 2.6007635

sample estimates: mean of x mean of y

2.123356 1.096870

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = 1.3826

p-value = 0.1858

เนื่องจาก p-value = 0.1858 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่น ละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-8 ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ zn1pm2.5 และ zn2pm2.5

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>zn1pm2.5=c(12.5704,4.1390,5.1570,13.2360,35.7081,6.0674,2.6293,2.3962,0.6775)
```

```
>zn2pm2.5=c(2.3522,2.4698,1.7814,1.5284,4.6431,2.3923,1.1437,0.9005,0.5164,10.336)
```

```
> t.test(zn1pm2.5,zn2pm2.5,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: zn1pm2.5 and zn2pm2.5

t = 1.7055, df = 9.0153, p-value = 0.1222

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: -2.07651 14.81488

sample estimates: mean of x mean of y

9.175656 2.806470

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = 1.7055

p-value = 0.1222

เนื่องจาก p-value = 0.1222 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

ไม่แตกต่างกัน เอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-9 ความเข้มข้นของตะกั่วต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ความเข้มข้นของตะกั่วต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความเข้มข้นของตะกั่วต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ Pb1pm2.5 และ Pb2pm2.5

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

>Pb1pm2.5=c(2.3267,5.0932,4.7280,55.9277,13.8920,2.1088,3.7953)

>Pb2pm2.5=c(1.4449,0.9683,0.7295,2.4492,2.1525,2.9389,3.7828,4.0229,3.1718,
23.089)

> t.test(Pb1pm2.5,Pb2pm2.5,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-0.05)

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: Pb1pm2.5 and Pb2pm2.5

t = 1.0522, df = 6.9776, p-value = 0.3278

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: -10.08689 26.24305

sample estimates: mean of x mean of y

12.55310 4.47502

3. การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = 1.0522

p-value = 0.3278

เนื่องจาก p-value = 0.3278 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 ความเข้มข้นของตะกั่วต่อน้ำหนักฝุ่น ละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-10 ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ Ni1pm2.5 และ Ni2pm2.5

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

>Ni1pm2.5=c(2.33,5.09,4.73,55.93,13.89,2.11,3.80)

>Ni2pm2.5=c(1.4449,0.9683,0.7295,2.4492,2.1525,2.9389,3.7828,4.0229,3.1718,23.0894)

>t.test(Ni1pm2.5,Ni2pm2.5,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-0.05)

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: Ni1pm2.5 and Ni2pm2.5

t = 1.0524, df = 6.9776, p-value = 0.3277

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: -10.08584 26.24437

sample estimates: mean of x mean of y

12.55429 4.47502

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = 1.0524

p-value = 0.3277

เนื่องจาก p-value = 0.3277 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 ความเข้มข้นของนิกเกิลต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-11 ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ cu1pm10 และ cu2pm10

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>cu1pm10=c(0.8023,0.7591,1.7667,1.3060,1.1791,0.7605,1.1476,1.0147,1.1169,0.4962)
```

```
>cu2pm10=c(0.8365,0.4883,0.4989,0.6350,0.4212,0.4779,0.4318,0.6298,0.7418)
```

```
>t.test(cu1pm10,cu2pm10,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: cu1pm10 and cu2pm10

t = 3.7574, df = 12.172, p-value = 0.002669

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: 0.1942820 0.7286047

sample estimates: mean of x mean of y

1.0349100 0.5734667

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = 3.7574

p-value = 0.002669

เนื่องจาก p-value = 0.002669 < 0.05 จึงปฏิเสธ H_0 ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-12 ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีค่าน้อยกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 หรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีค่ามากกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

H_1 : ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีค่าน้อยกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ cu1pm10 และ cu2pm10

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>cu1pm10=c(0.8023,0.7591,1.7667,1.3060,1.1791,0.7605,1.1476,1.0147,1.1169,0.4962)
```

```
>cu2pm10=c(0.8365,0.4883,0.4989,0.6350,0.4212,0.4779,0.4318,0.6298,0.7418)
```

```
>t.test(cu1pm10,cu2pm10,mu=0,alternative = "less",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: cu1pm10 and cu2pm10

t = 3.7574, df = 12.172, p-value = 0.9987

alternative hypothesis: true difference in means is less than 0

95 percent confidence interval: -Inf 0.6800689

sample estimates: mean of x mean of y

1.0349100 0.5734667

3. การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = 3.7574

p-value = 0.9987

เนื่องจาก p-value = 0.9987 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 ความเข้มข้นของทองแดงต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 มีค่ามากกว่าเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฉ-13 ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ cr1pm10 และ cr2pm10

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>cr1pm10=c(0.5091,0.3008,0.1471,0.3889)
```

```
>cr2pm10=c(0.9155,0.2477,0.7857,0.5584,0.1934,0.3079,0.7891,0.2405,0.0740)
```

```
>t.test(cr1pm10,cr2pm10,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: cr1pm10 and cr2pm10

t = -0.93838, df = 10.658, p-value = 0.3688

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: -0.4040327 -0.1631604

sample estimates: mean of x mean of y

0.3364750 0.4569111

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = -0.93838

p-value = 0.3688

เนื่องจาก p-value = 0.3688 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 ความเข้มข้นของโครเมียมต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

ฉ-14 ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้วิธีทดสอบ (t-test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

1) การสมมติฐาน

H_0 : ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

H_1 : ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 แตกต่างกัน

2) การใช้โปรแกรม R

ตัวแปรที่ต้องการทดสอบค่าเฉลี่ยคือ ชื่อ zn1pm10 และ zn2pm10

2.1) คำสั่งที่ใช้ทดสอบโดย t-test คือ

```
>zn1pm10=c(2.143,1.6767,1.729,1.515,0.983,2.195,1.990,1.191,1.761,0.842)
```

```
>zn2pm10=c(2.140,1.782,1.542,1.544,2.622,1.363,1.127,0.773,1.697)
```

```
>t.test(zn1pm10,zn2pm10,mu=0,alternative = "two.sided",conf.level=1-0.05)
```

2.2) การอ่าน Output

Welch Two Sample t-test

data: zn1pm10 and zn2pm10

t = -0.079379, df = 15.976, p-value = 0.9377

alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0

95 percent confidence interval: -0.5137643 -0.4766820

sample estimates: mean of x mean of y

1.602570 1.621111

3) การตัดสินใจและสรุปผล

การตัดสินใจ ปฏิเสธ H_0 เมื่อ p-value < α

ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

สถิติทดสอบ t = -0.079379

p-value = 0.9377

เนื่องจาก p-value = 0.9377 > 0.05 จึงยอมรับ H_0 ความเข้มข้นของสังกะสีต่อน้ำหนักฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2562 และเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ไม่แตกต่างกัน

ภาคผนวก ข

เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศขนาด 2.5 ไมครอน รุ่น PQ200

ยี่ห้อ BGI

การปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่าง

1) เปิดเครื่อง PQ 200 ให้ทำงานประมาณ 3 หรือ 4 ชั่วโมง เพื่อให้ Sensor และ Thermometer ทำงานได้อย่างเต็มที่และมีค่าความแม่นยำ

2) ตั้งค่าเวลาและวันที่ (Setting Data and Time) ที่ต้องการเก็บตัวอย่างอากาศ ดังนี้

2.1) จากเมนูหลักกดปุ่มเลือกคำสั่ง Set-ups and Download และกดปุ่ม SELECT เพื่อเข้าสู่คำสั่ง Set-ups และ Download Menu

2.2) จากเมนู Set-ups และ Download เลือกคำสั่ง More Selections และกดปุ่ม DOWN จนกระทั่งพบคำสั่ง Set Date and Time กดปุ่ม SELECT

2.3) ตั้งค่าวันที่และเวลา ซึ่งจะปรากฏขึ้นมาเป็นตัวกระพริบ

2.4) กดปุ่ม SELECT (NEXT) ในข้อมูลแรกจะหยุดกระพริบ (ซึ่งพร้อมจะรับการแก้ไข)

2.5) ใช้ปุ่มลูกศร (EDIT) เพื่อเพิ่มหรือลดข้อมูล เมื่อเสร็จแล้วกดปุ่ม SELECT (NEXT)

2.6) กดปุ่ม SELECT (NEXT) และปุ่มลูกศร (EDIT) ไปจนกระทั่งใส่ข้อมูลที่ต้องการจนครบและกดปุ่ม (EXIT) เพื่อกลับไปสู่เมนูหลัก จากคำสั่ง More Selections และ Return to main Screen และกดปุ่ม (EXIT)

3) ตรวจสอบเช็ครอยรั่ว

3.1) ใส่ Filter Holder โดยไม่ใส่กระดาษกรอง (ในเครื่องที่เก็บฝุ่นขนาด 2.5 ไมครอน การเช็ครอยรั่วจะไม่ใส่กระดาษกรอง แต่จะใส่เมื่อทำการปรับเทียบอัตราการไหล)

3.2) ถอดหัว Inlet ออกจากท่อส่งอากาศ และติดตั้งชุดทดสอบรอยรั่วแทนที่ด้านบนปิดวาล์วของชุดทดสอบให้สนิท ดังแสดงในรูปที่ 3.2

3.3) จากเมนูของเครื่องใช้ปุ่มลูกศรเลือกคำสั่ง Test Menu กดปุ่ม SELECT เพื่อเข้าสู่เมนูต่อไป

3.4) จากคำสั่ง Test Menu กดปุ่มลูกศรจนพบคำสั่ง Leak Test และกดปุ่ม SELECT เครื่องจะปรากฏข้อความ In Progress และกดปุ่ม SELECT เพื่อเริ่มทดสอบ

3.5) เครื่อง PQ 200 จะทดสอบระบบและบันทึกผลโดยอัตโนมัติ และแจ้งเตือนว่า Pass หรือ Failed ซึ่งใช้เวลา 2 นาทีในการทดสอบ

3.6) ถ้ามีรอยรั่วต้องทำการตรวจเช็คและทดสอบใหม่ ถ้าไม่มีรอยรั่วการทดสอบจะผ่านและระบบพร้อมจะใช้งาน

3.7) ปิดเครื่องและถอดชุดทดสอบออกจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. Filter Holder



ข. ชุดทดสอบบรอยรั่ว

รูปที่ ช-1 Filter Holder และชุดทดสอบบรอยรั่ว

4) ทำการสอบเทียบเครื่องมือ (Calibration) ต้องทำก่อนการเก็บตัวอย่างโดยมีขั้นตอน ดังนี้

4.1) ปรับค่าอัตราการไหลของอากาศ

การปรับอัตราการไหลของอากาศสามารถทำได้โดยอ้างอิงตาม EPA QA Handbook ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- ถอดหัวคัดแยกขนาดฝุ่น (Inlet) จากท่อนำอากาศทางด้านบนของเครื่อง
- ติดตั้งชุด Calibration แทนในตำแหน่งเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.3
- จากเมนูหลักใช้ปุ่มลูกศรเลือกคำสั่ง Test and Calibration Menu และกดปุ่ม SELECT
- จากหน้าจอ Test เมนูกดปุ่ม ลูกศรเลือกคำสั่ง Select and Calibrate a Flow Rate กดปุ่ม SELECT จะปรากฏข้อความ Check Flow Now และ Pump เริ่มทำงาน
- อ่านค่าจากชุด Calibrate เพื่อเปรียบเทียบ Flow ใช้เวลาทดสอบประมาณ 10 นาที ถ้าค่าที่อ่านได้ไม่เกิน 2 % ของ 16.6 LPM (16.34 หรือ 17.00 LPM) ให้เช็ค Leak และทำการปรับเทียบใหม่
- เมื่อทดสอบเสร็จแล้วกดปุ่ม ON/OFF เพื่อออกจากคำสั่ง และกด MENU เพื่อเข้าเมนูหลัก
- ถ้าค่าที่ตรวจวัดยอมรับได้ค่า Q จะถูกเก็บบันทึกไว้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
รูปที่ ช-2 ชุดอุปกรณ์สำหรับการ Calibration

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สำหรับการเก็บตัวอย่างจากช่วงเที่ยงคืนถึงเที่ยงคืน มีข้อกำหนดที่เวลาเริ่มทำงานของ เครื่อง ณ เวลา (00.00) และจะหยุดการทำงานที่เวลาเดิมของวันถัดไป ข้อมูลจากการทำงานล่าสุดจะสามารถดึงข้อมูลได้ โดยคำสั่ง Download ผ่านคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตามเครื่องมือจะพร้อมใช้งานตลอดเวลาแม้จะไม่มี การดึงข้อมูล โดยมีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

5.1) จากเมนูหลักใช้ปุ่มลูกศรกดจนกระทั่งพบคำสั่ง Run Sampler From Midnight to Midnight

5.2) กดปุ่ม SELECT ถ้าเครื่องได้ทำการดึงข้อมูลล่าสุดแล้วจะปรากฏคำสั่งดังนี้

“Cleaning Memory Please Wait Time Event Triggered Run, Saving Data PQ 200 Powering Down” เครื่อง PQ 200 จะถูก Programed ไว้ปิดเครื่องและเปิดเมื่อเวลาเที่ยงคืน

5.3) Run the Sampler with USES Defined Start/Stop Time ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าเวลา Start และ Stop อื่น ๆ ตามต้องการดังนี้

- จากเมนูหลัก ใช้ปุ่มลูกศรกดจนกระทั่งพบคำสั่ง Setup and Download กดปุ่ม SELECT
- จากคำสั่ง Set-ups and Download ใช้ปุ่มลูกศรกดจนพบข้อความ Run the Sampler with User Defined Start/Stop และกดปุ่ม SELECT
- จะพบข้อความ Set the Sample start Date and Time บนบรรทัดที่ 2
- กดปุ่ม SELECT (NEXT) ข้อมูลและกดปุ่ม SELECT (NEXT)
- กดปุ่ม SELECT (NEXT) และปุ่มลูกศร (EDIT) เพื่อตั้งค่าวันและเวลา
- เมื่อทำการตั้งค่าเสร็จแล้วกดปุ่ม (EXIT) เพื่อออกจากคำสั่งและจะมีข้อความปรากฏ
- ข้อความ Set the Sample stop Date and Time จะปรากฏขึ้น และกระพริบในบรรทัดที่ 2 ของหน้าจอ
- ใช้วิธีการเดิมในการตั้งค่าเวลาและวันที่ในการ หยุดการทำงานของเครื่อง เมื่อดำเนินการเสร็จแล้วให้กดปุ่ม (EXIT) เพื่อออกไปที่คำสั่ง Set-ups and Download เลือกคำสั่ง More Selections และคำสั่ง Return to main Screen

6) เก็บกระดาษกรองเพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ โดยหยาด้านที่มีฝุ่นขึ้นเก็บตัวอย่างใส่ในตลับกระดาษกรอง แล้วเก็บใส่ในถุงซิปล็อคและซองกระดาษสีน้ำตาล

7) นำกระดาษกรองมาดูความชื้นที่ตู้อบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่อุณหภูมิ $15 - 30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) (RH) $< 50 \pm 5\%$ (คู่เดียวกับการเตรียมกระดาษก่อนเก็บตัวอย่าง) ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

8) ชั่งน้ำหนักกระดาษกรองหลังจากเก็บตัวอย่าง ในหน่วยกรัม (ทศนิยม 6 ตำแหน่ง)

9) คำนวณหาความเข้มข้นของฝุ่นละออง PM_{2.5} ในหน่วย มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะอุณหภูมิและความดันบรรยากาศที่ 25 องศาเซลเซียส 1 บรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาเอกสารนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10) เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่ได้จากการทดลองกับความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ บริเวณหน้าโรงพยาบาลลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ของกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียงกรุงเทพมหานคร (กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรุงเทพมหานคร, 2562)

11) เก็บแบลงค์ภาคสนาม (field blank) โดยนำกระดาษเปล่าที่ทราบน้ำหนักแน่นอนไปยังภาคสนาม และนำกลับไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

เครื่องเก็บตัวอย่างอากาศแบบปริมาตรมาก (High Volume Sampler)

รุ่น 2100 ยี่ห้อ ECOTECH

การปรับเทียบเครื่องเก็บตัวอย่างที่ไม่มีอุปกรณ์ควบคุมอัตราการไหลของอากาศ

เป็นการปรับเทียบเครื่องวัดอัตราการไหลของอากาศสำหรับเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ ด้วยชุดปรับเทียบ Orifice มีขั้นตอนการปรับเทียบดังนี้

- 1) เปิดฝาเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ คลายน็อตที่ยึดแผ่นหน้าของกระดาศกรอง (Face Plate) แล้วเอาแผ่นหน้าที่ยึดกระดาศกรองออก
- 2) ติดตั้งชุดปรับเทียบ โดยวางแผ่น Orifice Adapter ลงบน Filter Holder และขันน็อตทั้ง 4 ด้านให้แน่น โดยไม่ต้องใส่กระดาศกรอง
- 3) วางแผ่น Flow Calibration (Orifice Plate) ทีละแผ่นจนครบ 5 จุด โดยเริ่มจากแผ่นที่มีปริมาตรรูน้อยที่สุดมาเริ่มต้นการปรับเทียบ วางแผ่นยางรองลงบน Orifice Adapter จากนั้นใช้ฝาคาบแผ่น Flow Calibrate หมุนเกลียวให้แน่น
- 4) นำสาย Manometer แขนงไว้ข้างตัวถังของเครื่องใส่น้ำ และหยด Green Oil Grease 2 หยด เพื่อดูระดับน้ำ ให้ระดับน้ำทั้ง 2 ข้างอยู่ในระดับเดียวกัน
- 5) ต่อสายยางสีดำเข้ากับปากฝาคาบแผ่น Flow Calibrator และนำปลายสายอีกข้างต่อกับท่อจาก Manometer
- 6) ตรวจสอบเช็คการหักงอของจุดเชื่อมต่อของ Manometer โดยหมุนเปิดปลายท่อของ Manometer ให้อากาศไหลผ่าน แล้วสังเกตการไหลของของเหลวในท่อ เลื่อนสเกลของ Manometer ให้ระดับศูนย์อยู่ตรงกับระดับของเหลวในท่อ จากนั้นต่อ Manometer เข้ากับ Orifice และต่อเครื่องบันทึกอัตราการไหลของอากาศเข้ากับ Pressure Tap ที่อยู่ด้านล่างของมอเตอร์
- 7) ใส่กระดาศกรองฟองกลมสำหรับบันทึกอัตราการไหลของอากาศ
- 8) จดบันทึก วัน เวลา สถานที่ เลขที่การเก็บตัวอย่างไว้ด้านหลังกระดาศกรองฟองกลม
- 9) ต่อมอเตอร์เข้ากับแหล่งโดยตรง เริ่มเดินเครื่องประมาณ 3-5 นาที เป็นการอุ่นเครื่องตรวจเช็คการรั่วไหลของอากาศทั้งระบบ โดยใช้ฝามือปิดทางเข้าออกของอากาศของ Orifice แล้วใช้นิ้วโป้งปิดปลายท่อที่ใช้สำหรับต่อกับ Manometer แล้วเปิดมอเตอร์ สังเกตการณ์รั่วไหลของอากาศที่ผ่านกระบอกใส่มอเตอร์ด้านล่างของเครื่อง
- 10) เปิดมอเตอร์ทิ้งไว้ประมาณ 3-5 นาที จดบันทึกค่าต่างๆลงบน MFC Calibration Data Sheet ดังนี้

- หมายเลข Orifice

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- อุณหภูมิ หน่วย เคลวิน (K)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่รับผิดชอบเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความกดอากาศที่ผ่านชั้นวางกระดาษกรอง (P_f) โดยอ่านจาก Manometer ที่ต่อกับ Pressure Tap ได้ชั้นวางกระดาษกรอง หน่วย mmHg

- ระดับน้ำที่อ่านได้จาก Manometer ที่ต่อกับ Orifice (Pressure drop, ΔH) หน่วย in H_2O

11) ปิดมอเตอร์ แล้ววางแผ่นต้านทานการไหลของอากาศแผ่นอื่นลงไป ทำเช่นเดียวกันกับข้างต้นจนครบทุกแผ่น

12) ปิดมอเตอร์ แล้วนำเอา Orifice ออกจากเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้