

การจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในพื้นที่เขตเมือง  
นครราชสีมา โดยใช้แบบจำลอง PMF



นายภักดิ์วัฒน์ ทองแสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2560

**SOURCE APPORTIONMENT OF PARTICULATE  
MATTERS SIZE LESS THAN 2.5 MICRON  
IN NAKHON RATCHASIMA CITY  
AREA BY PMF MODEL**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering**

**Suranaree University of Technology**

**Academic Year 2017**

การจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา  
โดยใช้แบบจำลอง PMF

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์




(อ. ดร.อภิชน วัชรเรนทร์วงศ์)

ประธานกรรมการ



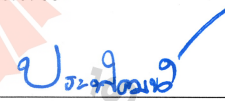
(ผศ. ดร.สุตจิต คุรุจิต)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



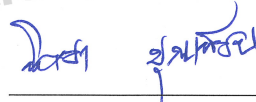
(ผศ. ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล)

กรรมการ



(ผศ. ดร.ประพัฒน์ เป็นตามวา)

กรรมการ



(ผศ. ดร.นิตยา บุญเทียน)

กรรมการ



(ศ. ดร.สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร.กนัตถ์ร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ภักดิ์วัฒน์ ทองแสง : การจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในพื้นที่เขตเมือง นครราชสีมา โดยใช้แบบจำลอง PMF (SOURCE APPORTIONMENT OF PARTICULATE MATTER SIZE LESS THAN 2.5 MICRON IN NAKHON RATCHASIMA CITY AREA BY PMF MODEL) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตต์ กระจิต, 182 หน้า

การศึกษานี้เป็นการศึกษาฝุ่นละออง  $PM_{2.5}$  และองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ สารไอออนิกธาตุ และ Black carbon ในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม ในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีและเพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดโดยใช้แบบจำลอง PMF จากการศึกษพบว่าเขตอุตสาหกรรมมีปริมาณ  $PM_{2.5}$  สูงกว่าเมืองนครราชสีมา และเมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีที่ตรวจวัดใน  $PM_{2.5}$  ทั้ง 2 พื้นที่ พบว่าในเขตเมืองมีปริมาณแอนไอออนมากที่สุด รองลงมาเป็นแคทไอออน Black carbon และปริมาณธาตุพบน้อยสุด ตามลำดับ รวมทั้งหมดคิดเป็น 33.78% ของปริมาณ  $PM_{2.5}$  เหลือทั้งหมด ส่วนในเขตอุตสาหกรรมพบว่ามีปริมาณแอนไอออนมากที่สุด รองลงมาเป็นแคทไอออน ปริมาณธาตุ และ Black carbon พบน้อยสุด ตามลำดับ รวมทั้งหมดคิดเป็น 31.32% ของปริมาณ  $PM_{2.5}$  เหลือทั้งหมด นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่ไม่ได้ทำการศึกษา ทั้ง 2 พื้นที่ ซึ่งเป็นส่วนองค์ประกอบส่วนมากใน  $PM_{2.5}$  โดยเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม พบ 66.21% และ 68.66% ตามลำดับ ส่วนการจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง  $PM_{2.5}$  โดยใช้แบบจำลอง PMF พบว่า เขตเมืองมีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Traffic emission, Biomass burning, Soil dust, Construction dust และ Industry โดยมีสัดส่วน 35%, 31%, 15%, 14% และ 5% ตามลำดับ และเขตอุตสาหกรรมมีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Traffic emission, Industry, Soil dust, Biomass burning และ Residual oil combustion โดยมีสัดส่วน 42%, 25%, 18%, 13% และ 1% ตามลำดับ โดยผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้ในวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ได้ตรงจุดของแหล่งกำเนิด และมีประสิทธิภาพ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2560

ลายมือชื่อนักศึกษา ภักดิ์วัฒน์ ทองแสง  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา สมชาย  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อลง



PHAKKAWAT THONGSAENG : SOURCE APPORTIONMENT OF  
PARTICULATE MATTER SIZE LESS THAN 2.5 MICRON IN NAKHON  
RATCHASIMA CITY AREA BY PMF MODEL. THESIS ADVISOR :  
ASST. PROF. SUDJIT KARUCHIT, Ph.D., 182 PP.

PM<sub>2.5</sub>/URBAN AREA/INDUSTRIAL AREA/CHEMICAL COMPOSITION/  
SOURCE APPORTION

This study is a study of PM<sub>2.5</sub> and chemical compositions such as ion, elements and black carbon in urban and industrial areas in Nakhon Ratchasima city area. The objective of this study was to determine the concentration and chemical composition and to identify the source apportionment using the PMF model. The study found that industrial area had a PM<sub>2.5</sub> concentration higher than urban area. When considering the chemical composition were analyzed in the PM<sub>2.5</sub> of two areas, The result found that the in urban area had the highest amount of anion was found, followed by cation, black carbon and elements, respectively, over all accounted for 33.78% of the average PM<sub>2.5</sub> concentration. In the industrial area, the highest amount of anion was found, followed by the cation, elements and black carbon respectively, over all accounted for 31.32% of the average PM<sub>2.5</sub> concentration. There are also other chemical compositions which not studied. In both areas, 66.21% and 68.66% of the urban areas and industrial areas were found. Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> by PMF the result found that in urban area has 5 factors such as Traffic emission, Biomass burning, Soil dust, Construction dust and Industry, which account for 35%, 31%, 15%, 14% and 5% respectively. In industrial area has 5 factors such as Traffic emission, Industry, Soil dust, Biomass burning and Residual oil combustion, which accounts for 42%, 25%, 18%, 13% and 1%, respectively. The result of this study can

be used in air quality management planning to protect the effect on the health of people in the area at the source pollution correctly and effective.



School of Environmental Engineering

Academic Year 2017

Student's Signature Phakkawat Thongsang

Advisor's Signature [Signature]

Co-Advisor's Signature [Signature]

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งทางด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตต์ ครุจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงาน วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนมีความบริบูรณ์พร้อมทางด้านวิชาการ รวมทั้งอบรมสั่งสอนและแนะแนวทางอันเป็นประโยชน์ในการดำเนินชีวิตแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงศภุญเกียรติกุล ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม จากคณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย อีกทั้งได้รับความอนุเคราะห์ให้ยืมอุปกรณ์ในการทำงานวิจัย

อาจารย์ ดร.อภิชน วัชรนทร์วงศ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำปรึกษาคำแนะนำทางด้านวิชาการและเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตยา บุญเทียน และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัฒน์ เป็นตามวาทกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนเงินทุนทางการศึกษาแก่ผู้วิจัยอย่างดียิ่งมาโดยตลอดจนได้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณนารี กลิ่นกลาง ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาและแจ้งให้ทราบเรื่องเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และการแจ้งเพื่อสำเร็จการศึกษา

ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกที่คอยเป็นกำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ภักดิ์วัฒน์ ทองแสง

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฎ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
<b>2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>4</b>
2.1 สถานการณ์มลพิษทางอากาศ.....	4
2.2 ฝุ่นละอองในอากาศ.....	8
2.2.1 ขนาดของฝุ่นละออง.....	8
2.2.2 ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ.....	9
2.2.3 ผลกระทบของมลพิษทางอากาศ.....	9
2.3 การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศโดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ.....	10
2.3.1 ประเภทของแบบจำลองผู้รับมลพิษ.....	11
2.3.2 ลักษณะทางด้านกายภาพของแบบจำลองผู้รับสัมผัส.....	13
2.3.3 หลักการพื้นฐานของแบบจำลองผู้รับมลพิษ.....	14
2.3.4 การตรวจวัดข้อมูลในการป้อนเข้าไปในแบบจำลอง.....	15
2.3.5 Source profile.....	16

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.4.1 การใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ ในพื้นที่บริเวณเขตเมือง.....	23
2.4.2 การใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ ในพื้นที่บริเวณเขตอุตสาหกรรม.....	25
<b>3 วิธีดำเนินการวิจัย.....</b>	<b>27</b>
3.1 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
3.2 พื้นที่ศึกษา.....	28
3.2.1 พื้นที่เขตเมือง.....	29
3.2.2 พื้นที่เขตอุตสาหกรรม.....	31
3.3 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้.....	32
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ.....	32
3.3.2 อุปกรณ์เครื่องในห้องปฏิบัติการสำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างฝุ่นละออง.....	34
3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา.....	36
3.5 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและหาความเข้มข้นของฝุ่นละออง.....	37
3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี.....	41
3.6.1 วิเคราะห์หาสารไอออนิก.....	42
3.6.2 วิเคราะห์หาธาตุโลหะ.....	44
3.6.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ Black Carbon.....	46
3.7 การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดโดยใช้แบบจำลอง PMF.....	47
3.7.1 Input files.....	49
3.7.2 Output files.....	53
<b>4 ผลการดำเนินการ.....</b>	<b>54</b>
4.1 ความเข้มข้นของ PM <sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา.....	54
4.2 ความเข้มข้นของ Black carbon.....	56
4.3 ความเข้มข้นของสารไอออนิก.....	57
4.4 ความเข้มข้นของธาตุ.....	61

## สารบัญ (ต่อ)

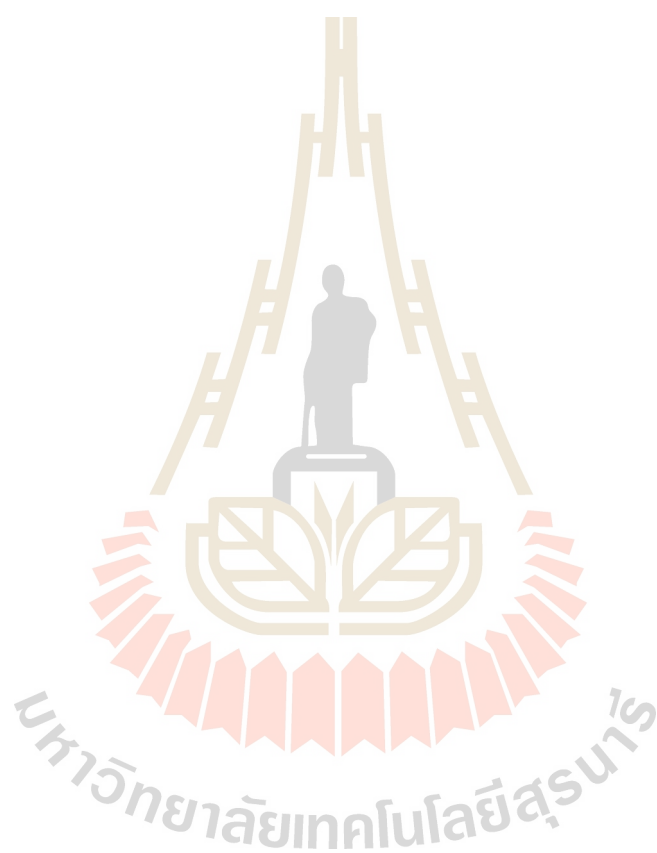
หน้า

4.5	การวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ PM <sub>2.5</sub> .....	65
4.6	สหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของ PM <sub>2.5</sub> .....	73
4.7	การจำแนกแหล่งกำเนิด PM <sub>2.5</sub> ด้วยแบบจำลองผู้รับสัมผัส PMF.....	77
4.7.1	พื้นที่เขตเมืองเทศบาลนครราชสีมา.....	77
4.7.2	พื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี.....	80
4.7.3	การคำนวณสัดส่วนจากแต่ละแหล่งกำเนิด.....	82
4.7.3.1	พื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา.....	82
4.7.3.2	พื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี.....	83
4.8	ข้อมูลอุตุนิยมิวิทยา.....	88
<b>5</b>	<b>สรุปผลการศึกษา.....</b>	<b>91</b>
5.1	สรุปผลการศึกษา.....	91
5.1.1	ความเข้มข้นของ PM <sub>2.5</sub> และองค์ประกอบทางเคมีของ PM <sub>2.5</sub> .....	91
5.1.2	การจำแนกแหล่งกำเนิด PM <sub>2.5</sub> ด้วยแบบจำลองผู้รับสัมผัส PMF.....	91
5.2	การนำไปใช้ประโยชน์.....	94
5.3	ปัญหาและอุปสรรค.....	94
5.4	ข้อเสนอแนะ.....	95
	รายการอ้างอิง.....	96
	ภาคผนวก.....	
	ภาคผนวก ก.....	104
	ภาคผนวก ข.....	116
	ภาคผนวก ค.....	121
	ภาคผนวก ง.....	140
	ภาคผนวก จ.....	152
	ภาคผนวก ฉ.....	166
	ภาคผนวก ช.....	173

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ประวัติผู้เขียน.....	182
----------------------	-----





## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
2.1	สรุปการปล่อยมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ปี 2013.....	6
2.2	สรุปการปล่อยมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ ปี 2013.....	7
2.3	สรุปการรับสัมผัสและผลกระทบเกิดขึ้นจากมลพิษอากาศ.....	10
2.4	ความแตกต่างของแบบจำลองผู้รับมลพิษต่าง ๆ ที่มีพื้นฐานมาจากสมการสมดุลมวล.....	11
2.5	การตรวจวัดชนิดของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์สำหรับใช้ในแบบจำลองผู้รับมลพิษ.....	15
2.6	ชนิดของสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษในฝุ่นละออง.....	18
2.7	Source profile และ Source fingerprint ของฝุ่น $PM_{2.5}$ แต่ละการศึกษา.....	19
3.1	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด.....	38
3.2	การเปรียบเทียบชนิดกระดาศกรองในภาวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ.....	39
3.3	สรุปการกำหนดค่าก่อนการประมวลผลและผลของค่า Q หลังการประมวลผล.....	53
4.1	ตารางสถิติพรรณนาของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ .....	56
4.2	ตารางสถิติพรรณนาของความเข้มข้น Black carbon (BC).....	57
4.3	ตารางสถิติพรรณนาของความเข้มข้นสารไอออนิก.....	58
4.4	ตารางสถิติพรรณนาของความเข้มข้นธาตุ.....	62
4.5	การเปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ต่าง ๆ.....	66
4.6	สรุปการเปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{2.5}$ (%).....	68
4.7	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ขององค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตเมือง.....	75
4.8	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ขององค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม.....	76

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ขนาดต่าง ๆ ของฝุ่นละอองเมื่อเทียบกับสิ่งอ้างอิง.....8
3.1	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....27
3.2	จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 2 จุด.....29
3.3	จุดเก็บตัวอย่างเขตเมือง (พิกัด UTM X188082 Y1657947).....30
3.4	การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM <sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตเมือง.....31
3.5	จุดเก็บตัวอย่างเขตอุตสาหกรรม (พิกัด UTM X197678 Y1651488).....31
3.6	การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM <sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม.....32
3.7	เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ BGI PQ 200 Particulate Sampler.....33
3.8	อุปกรณ์ตัดกระดาศกรอง.....33
3.9	Syringe filters Nylon membrane.....34
3.10	Plastic centrifuge tube.....34
3.11	เครื่อง Agilent 7700 Series ICP-MS.....35
3.12	เครื่อง Dionex ICS-5000.....35
3.13	เครื่อง Ultrasonic cleaner.....36
3.14	เครื่อง EELS M43D Digital Smoke Stain Reflectometer.....36
3.15	แผนการเตรียมกระดาศกรองควอตซ์ก่อนการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM <sub>2.5</sub> .....39
3.16	แผนการเตรียมกระดาศกรองควอตซ์หลังการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM <sub>2.5</sub> .....39
3.17	การแบ่งกระดาศกรองเพื่อวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมี.....41
3.18	แผนภาพการสกัดสารตัวอย่างจากกระดาศกรองควอตซ์ เพื่อวิเคราะห์หาสารไอออนิก.....43
3.19	แผนภาพการสกัดสารตัวอย่างจากกระดาศกรอง เพื่อวิเคราะห์หาธาตุ.....45
3.20	แผนภาพการสอบเทียบเครื่อง Smoke Stain Reflectometer.....47
3.21	ตัวอย่างการป้อนข้อมูล.....50
3.22	ตัวอย่างการใส่จำนวน Factor.....51
3.23	ตัวอย่างการข้อมูลการปรับค่า Fpeak.....52
3.24	ตัวอย่างการจัดรูปแบบของไฟล์ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารเคมีที่ตรวจวัดได้.....52

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ความเข้มข้นของ PM <sub>2.5</sub> ในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมในแต่ละวันที่ตรวจวัด	55
4.2 Box plot ความเข้มข้นเฉลี่ยของ PM <sub>2.5</sub> ในแต่ละพื้นที่	56
4.3 Box plot ความเข้มข้นเฉลี่ยของ Black carbon ในแต่ละพื้นที่	57
4.4 กราฟแท่งของความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกที่ตรวจวัดในแต่ละพื้นที่	59
4.5 แผนที่การแพร่กระจายดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	60
4.6 Box plot ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุที่ตรวจวัดในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญ	64
4.7 องค์ประกอบทางเคมีของ PM <sub>2.5</sub>	65
4.8 สัดส่วนองค์ประกอบสารไอออนิกของ PM <sub>2.5</sub> ในเขตเมือง	69
4.9 สัดส่วนองค์ประกอบ Black carbon ของ PM <sub>2.5</sub> ในเขตเมือง	70
4.10 สัดส่วนองค์ประกอบตัวอย่างธาตุบางชนิดของ PM <sub>2.5</sub> ในเขตเมือง	70
4.11 สัดส่วนองค์ประกอบสารไอออนิกของ PM <sub>2.5</sub> ในเขตอุตสาหกรรม	71
4.12 สัดส่วนองค์ประกอบ Black carbon ของ PM <sub>2.5</sub> ในเขตอุตสาหกรรม	72
4.13 สัดส่วนองค์ประกอบตัวอย่างธาตุบางชนิดของ PM <sub>2.5</sub> ในเขตอุตสาหกรรม	73
4.14 Source profiles ของ PM <sub>2.5</sub> ในเขตเมือง	79
4.15 Source profiles ของ PM <sub>2.5</sub> ในเขตอุตสาหกรรม	81
4.16 สัดส่วนแหล่งกำเนิด PM <sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา	83
4.17 สัดส่วนแหล่งกำเนิด PM <sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี	84
4.18 การเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลาของความเข้มข้นของแหล่งกำเนิด PM <sub>2.5</sub> ที่เหมือนกัน ในพื้นที่ศึกษา	86
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด PM <sub>2.5</sub> กับผลการคำนวณ PM <sub>2.5</sub> จากแบบจำลอง PMF ในแต่ละพื้นที่ศึกษา	87
4.20 Wind rose ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ	88
4.21 Wind rose ณ จุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุด โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ	89

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

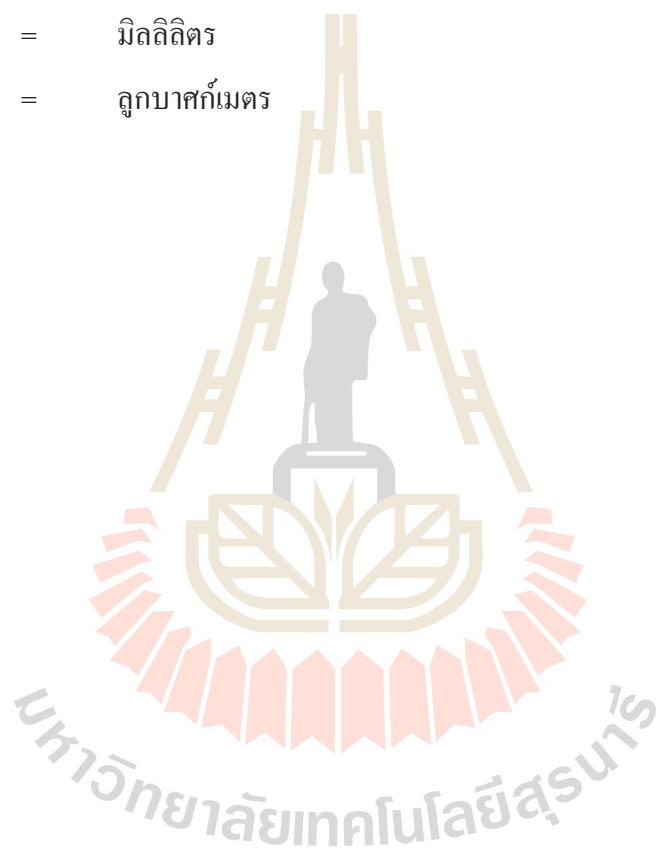
Ag	=	เงิน (Silver)
Al	=	อะลูมิเนียม (Aluminium)
As	=	สารหนู (Arsenic)
Ba	=	แบเรียม (Barium)
BC	=	เขม่าควันดำ (Black carbon)
C°	=	องศาเซลเซียส (Celsius)
Ca <sup>2+</sup>	=	แคลเซียม (Calcium)
Cd	=	แคดเมียม (Cadmium)
Cl <sup>-</sup>	=	คลอรีน (Chlorine)
CMB	=	Chemical Mass Balance
Co	=	โคบอลต์ (Cobalt)
Cr	=	โครเมียม (Chromium)
Cu	=	ทองแดง (Copper)
EC	=	ธาตุคาร์บอน (Elemental carbon)
Fe	=	เหล็ก (Iron)
GIZ	=	องค์กรความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมัน (The Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
HNO <sub>3</sub>	=	กรดไนตริก (Nitric acid)
ICP-MS	=	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
IC	=	Ion Chromatography
K	=	เคลวิน (Kelvin)
K <sup>+</sup>	=	โพแทสเซียม (Potassium)
m <sup>3</sup>	=	ลูกบาศก์เมตร
Mg	=	แมกนีเซียม (Magnesium)
mg	=	มิลลิกรัม
ml	=	มิลลิลิตร

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Mn	=	แมงกานีส (Manganese)
Na <sup>+</sup>	=	โซเดียม (Sodium)
Ni	=	นิกเกิล (Nickel)
OC	=	อินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon)
Pb	=	ตะกั่ว (Lead)
PM <sub>2.5</sub>	=	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Particulate Matter Size Less Than 2.5 Micron)
PM <sub>10</sub>	=	ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (Particulate Matter Size Less Than 10 Micron)
PMF	=	Positive Matrix Factorization
ppb	=	หนึ่งในพันล้านส่วน
ppm	=	หนึ่งในล้านส่วน
R <sup>2</sup>	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of determination)
RSD	=	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (Relative standard deviation)
Sb	=	พลวง (Antimony)
SD	=	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)
Se	=	ซีลีเนียม (Selenium)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	=	ซัลเฟต (Sulphate)
Sr	=	สตรอนเทียม (Strontium)
Ti	=	ไทเทเนียม (Titanium)
Tl	=	แทลเลียม (Thallium)
TSP	=	ฝุ่นละอองรวม (Total Suspended Particulate)
US.EPA	=	องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US. Environmental Protection Agency)
V	=	วานาเดียม (Vanadium)
VOCs	=	สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds)
WHO	=	องค์การอนามัยโลก (World Health Organization)
World Bank	=	ธนาคารโลก

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

Zn	=	สังกะสี (Zinc)
ซม.	=	เซนติเมตร
มก.	=	มิลลิกรัม
มค.ก.	=	ไมโครกรัม
มม.	=	มิลลิเมตร
มล.	=	มิลลิลิตร
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากการพัฒนาและการเจริญของเศรษฐกิจแบบก้าวกระโดดที่เพิ่มขึ้นในภูมิภาคเอเซีย นำไปสู่การขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็วและขาดการวางแผนเมืองที่ดี ส่งผลให้เกิดปัญหาหมอกพิษอากาศที่มาพร้อมกับการพัฒนา ซึ่งเป็นภัยคุกคามที่สำคัญต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม จากการรายงานขององค์การอนามัยโลกในปี 2012 พบว่า ประชากรกว่า 7 ล้านคนได้เสียชีวิตเพราะมลพิษอากาศ โดยกว่า 3.7 ล้านคนที่เสียชีวิต เนื่องจากมลพิษอากาศในบรรยากาศทั่วไป ซึ่งมากกว่าปี 2008 ซึ่งมีประชากรที่เสียชีวิต จากเหตุดังกล่าวจำนวน 1.3 ล้านคน โดยประชากรที่เสียชีวิตในปี 2012 มาจากแถบมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกและภูมิภาคอาเซียน (ASEAN) จำนวนประชากรที่เสียชีวิตคือ 1.67 ล้านคน และ 936,000 คน ตามลำดับ (WHO, 2014) โดยปัญหาของคุณภาพอากาศในเขตเมืองได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเขตเมืองไม่ได้เป็นศูนย์กลางของเศรษฐกิจเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งศูนย์กลางมลพิษอากาศและเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศอีกด้วย (Parrish and Zhu, 2009)

จากการศึกษาของ Forouzanfar et al. (2015) จากสถาบัน Institute for Health and evaluation, University of Washington ซึ่งร่วมกับ World bank พบว่า กลุ่มความเสี่ยงจากมลพิษอากาศเป็นปัจจัยที่มีความเสี่ยงในการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในลำดับที่ 4 โดยมลพิษทางอากาศเป็นปัจจัยร่วมที่เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เนื่องจากในฝุ่นละอองมีองค์ประกอบทางสารเคมีหลายชนิด ซึ่งฝุ่นขนาดใหญ่จะตกลงสู่พื้นตามแรงดึงดูดของโลก แต่ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) จะสามารถลอยอยู่ในชั้นบรรยากาศได้นานและปะปนกับมลพิษอื่นในอากาศ หากเข้าจมูกหรือปาก จะสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ถุงลมในปอด และผ่านเข้าสู่กระแสเลือดไปยังอวัยวะต่าง ๆ ได้ ซึ่งจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเรื้อรังและมะเร็งหากสะสมอยู่ในอวัยวะใด ๆ เป็นเวลานาน ซึ่งจากรายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศและเสียงประเทศไทย (สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2560) พบว่าข้อมูลการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) ในปี พ.ศ. 2558 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรทั้งหมด 12 แห่งทั่วประเทศ มีพื้นที่ 8 แห่ง ที่มีความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  เกินค่ามาตรฐาน ในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี ตามข้อกำหนดของไทย (ไม่เกิน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และพื้นที่ทั้งหมด 12 แห่งนี้ มีความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  เกินค่า



มาตรฐานในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี ตามข้อกำหนดขององค์การอนามัยโลก (ไม่เกิน 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) และในปี พ.ศ.2559 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร ทั้งหมด 19 แห่ง ทั่วประเทศ ซึ่งสถานีตรวจวัดคุณภาพแบบถาวรได้เพิ่มขึ้น 7 แห่ง จากปี 2558 พบว่ามีพื้นที่ 11 แห่ง ที่มีความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  เกินค่ามาตรฐาน ในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี ตามข้อกำหนดของประเทศไทย และพื้นที่ทั้งหมด 19 แห่งนี้ มีความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  เกินค่ามาตรฐานในบรรยากาศทั่วไปในเวลา 1 ปี ตามข้อกำหนดขององค์การอนามัยโลก จะเห็นได้ว่าข้อมูลการตรวจวัด ใน 2 ปี ย้อนหลัง ส่วนมากยังมีค่าเกินมาตรฐานตามข้อกำหนดของประเทศไทย และทุกสถานีตรวจวัดในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วประเทศ ยังมีค่าเกินมาตรฐานตามข้อกำหนดขององค์การอนามัยโลก ดังนั้น เพื่อป้องกันไม่ให้ประชาชนได้รับผลกระทบต่อสุขภาพ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเพื่อระบุหาแหล่งกำเนิด เพื่อลดและป้องกันการปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ทำให้ประชาชนมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคทางเดินหายใจได้

แบบจำลองผู้รับมลพิษ (Receptor modeling) เป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กและจัดทำแผนคุณภาพอากาศ ซึ่งแบบจำลองผู้รับมลพิษจะใช้ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของก๊าซและอนุภาคฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ในการประเมิน โดยแบบจำลองผู้รับมลพิษที่องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ยอมรับและพัฒนา มี 3 แบบจำลอง (US.EPA, 2013) คือ Chemical Mass Balance (CMB) UNMIX models และ Positive Matrix Factorization (PMF) และจากฐานข้อมูลการจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองในอากาศโดยการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษขององค์การอนามัยโลก (WHO, 2015) ซึ่งครอบคลุมงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ ตั้งแต่ปี 1990-2014 พบว่า มีข้อมูลการใช้แบบจำลอง PMF มากกว่า 45% ซึ่งมากที่สุด และยังพบว่า มีการใช้ในพื้นที่เมืองมากกว่า 77% โดยจากฐานข้อมูลดังกล่าวพบว่า ประเทศไทยได้ใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF ในจังหวัดปทุมธานีและกรุงเทพมหานคร ซึ่งได้ใช้จำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษในเขตเมือง โดยประเทศไทยได้มีการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษครั้งแรก เมื่อปี 2534 ในการจัดทำแผนคุณภาพอากาศจังหวัดสมุทรปราการ ต่อมาหลังจากนั้น หน่วยงานราชการและนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยและสถาบันวิชาการต่าง ๆ ก็ได้ให้ความสนใจแบบจำลองผู้รับมลพิษ เพื่อประยุกต์ใช้ในการจัดทำแผนคุณภาพอากาศ (อาภา หวังเกียรติ, 2550) อย่างไรก็ตามสำหรับเขตเทศบาลนครนครราชสีมาซึ่งเป็นเมืองที่มีประชากรมากเป็นอันดับ 5 ของประเทศ จากข้อมูลในปี 2558 มีจำนวนประชากรในเขตเทศบาลทั้งหมด 133,005 คน (สำนักงานเทศบาลนครนครราชสีมา, 2558) อีกทั้งมีแหล่งกำเนิดมลพิษที่หลากหลาย เช่น การจราจร การก่อสร้าง การประกอบอาหาร การเผาขยะ โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมอื่น ๆ แต่จากการทบทวนยังไม่มีการศึกษาแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง โดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ

งานวิจัยนี้จึงได้เลือกศึกษาการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ในการจำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษจากฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนก แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยใช้แบบจำลอง PMF ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลชี้วัดว่าประชาชนที่อยู่ในเขตบริเวณที่ทำการศึกษานั้น ได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดใด เพื่อที่จะให้หน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้อง เช่น สาธารณสุขจังหวัดนครราชสีมา สำนักงาน อุตสาหกรรมจังหวัดนครราชสีมา สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 11 (จังหวัดนครราชสีมา) และ เทศบาลนครนครราชสีมา ได้ใช้ประโยชน์จากการศึกษานี้ ร่วมกันหาแนวทางมาตรการการปกป้อง และลดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนที่อยู่ในเขตเมืองได้ถูกจุดของแหล่งกำเนิดมลพิษนั้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา
2. เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในพื้นที่เขตเมือง นครราชสีมา โดยใช้แบบจำลอง PMF

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา คือ เขตเทศบาลนครนครราชสีมาและพื้นที่ใกล้เคียงเขตอุตสาหกรรมสุรนารี
2. การศึกษาปริมาณความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในพื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 พื้นที่ คือพื้นที่แหล่งชุมชนหนาแน่นและพื้นที่แหล่ง นิคมอุตสาหกรรม โดยการเก็บตัวอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน ในทุก ๆ 7 วัน ระยะเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2559 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2560 โดยใช้เครื่อง BGI PQ200 Particulate Sampler ในการเก็บตัวอย่าง
3. วิเคราะห์แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยใช้แบบจำลองผู้รับ สัมผัส PMF version 5.0 ของ US.EPA
4. วิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน โดยการ วิเคราะห์ปริมาณธาตุด้วยเครื่อง ICP-MS วิเคราะห์ปริมาณไอออนิกด้วยเครื่อง IC และ วิเคราะห์ปริมาณ Black carbon ด้วยเครื่อง Reflectometer

## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 สถานการณ์มลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์และเกิดจากธรรมชาติ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ เป็นปัจจัยร่วมที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่าง ๆ และมีความเสี่ยงที่ทำให้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรได้ จากการศึกษาของ Forouzanfar et al. (2015) จากสถาบัน Institute for Health and evaluation, University of Washington ซึ่งร่วมกับ World Bank ได้ทำการศึกษาระบาดวิทยาภาวะโรค โดยทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความเสี่ยงจาก 79 ความเสี่ยงของกลุ่มความเสี่ยง ใน 188 ประเทศ ตั้งแต่ปี 1990-2013 พบว่า กลุ่มความเสี่ยงจากมลพิษทางอากาศเป็นปัจจัยที่มีความเสี่ยงในการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในลำดับที่ 4 โดยมลพิษทางอากาศเป็นปัจจัยร่วมที่เป็นสาเหตุของโรคต่าง ๆ เนื่องจากในฝุ่นละอองมีองค์ประกอบทางสารเคมีหลายชนิด ทั้งที่เป็นสารระคายเคืองและสารก่อมะเร็ง ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรค เช่น โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคหลอดเลือดสมอง โรคหัวใจขาดเลือด โรคมะเร็งปอดและโรคติดเชื้อเฉียบพลันระบบหายใจส่วนล่าง สำหรับก๊าซโอโซน เป็นสารเคมีระคายเคืองปอด จึงทำให้ปอดติดเชื้อได้ง่าย จึงเป็นปัจจัยร่วมอันก่อให้เกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ซึ่งในกลุ่มความเสี่ยงจากมลพิษทางอากาศ อาจมีประชากรที่เสียชีวิตก่อนวัยอันควรจำนวน 5.5 ล้านคน โดยประเทศจีนมีจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรมากที่สุด คือ ประมาณ 1.6 ล้านคน รองลงมา คือ ประเทศอินเดีย คือ ประมาณ 1.2 ล้าน ส่วนประเทศไทยมีผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรจำนวนประมาณ 48,800 คน

จากรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2558 โดยกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2559) พบว่า ในส่วนของสถานการณ์คุณภาพอากาศ ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศ ปี 2558 ใน 29 จังหวัด จังหวัดสระบุรี มีจำนวนวันที่มลพิษทางอากาศเกินค่ามาตรฐานมากที่สุด 169 วัน รองลงมาคือ สมุทรปราการ 97 วัน ลำปาง 89 วัน กรุงเทพมหานคร 85 วัน และพระนครศรีอยุธยา 74 วัน โดยสารมลพิษที่เป็นปัญหาสำคัญคือฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน 2.5 ไมครอน และก๊าซโอโซน สำหรับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เกินมาตรฐานเฉลี่ยรายปี 2 สถานีตรวจวัดในกรุงเทพมหานคร ส่วนสารมลพิษที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตลอดทั้งปี ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ทั้งนี้ปริมาณสารมลพิษทางอากาศ จะขึ้นอยู่กับปริมาณมลพิษจากแหล่งกำเนิดและแปรผันตามสภาพอากาศ โดยเฉพาะความเร็วลมและความกดอากาศดังนั้นช่วงเวลาที่มีปัญหาหมอกมลพิษทางอากาศ ประเทศไทย จึงมักไม่พบปัญหาหมอกมลพิษทางอากาศในช่วงฤดูมรสุม (เดือน

พฤษภาคม-กันยายน) เนื่องจากกระแสลมในช่วงฤดูมรสุมทำให้อากาศเคลื่อนตัวได้ดีและความกดอากาศในช่วงนี้เอื้ออำนวยให้อากาศหมุนเวียนไปยังบรรยากาศชั้นสูงได้ ทำให้มลพิษอากาศเจือจางออกไปจากแหล่งกำเนิด สำหรับช่วงต้นปีและปลายปี หลายพื้นที่ในประเทศไทยประสบปัญหา มลพิษทางอากาศ ทั้งนี้มลพิษทางอากาศทั้งฝุ่นละอองและก๊าซโอโซน มักจะเกินค่ามาตรฐานในช่วงเวลาเดียวกัน สาเหตุมาจากสภาพอากาศที่กระแสลมอ่อนกำลังลงและความกดอากาศที่เกิดการ ผกผัน (Inversion) ในระดับใกล้พื้นดิน ทำให้อากาศถูกกักอยู่ในพื้นที่ ยกเว้นภาคเหนือ ประสบปัญหา มลพิษทางอากาศในช่วงต้นปี เนื่องจากมีการเผาในที่โล่งจำนวนมาก ช่วงเดือน มกราคม-เมษายน โดยสาเหตุและแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ จะมีลักษณะเฉพาะในแต่ละพื้นที่ เช่น พื้นที่ภาคเหนือตอนบน สาเหตุของมลพิษทางอากาศมาจากไฟป่าและการเผาไหม้ในพื้นที่ การเกษตร ในพื้นที่เขตควบคุมมลพิษมาตาพุด จังหวัดระยอง พบสารอินทรีย์ระเหยง่าย มาจาก กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีและอุตสาหกรรมในพื้นที่ร่วมกับแหล่งกำเนิดอื่น ๆ หรือในเขต ควบคุมมลพิษหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี พบฝุ่นละอองจากกิจกรรมการผลิตปูนขาวและ ปูนซีเมนต์ในพื้นที่ เป็นต้น โดยในภาพรวมของทั้งประเทศ สาเหตุสำคัญของมลพิษอากาศคือ กิจกรรมการใช้พลังงาน รวมถึงการหุงอาหารโดยใช้ถ่านไม้หรือก๊าซหุงต้ม โดยเฉพาะการใช้ พลังงานเพื่อการคมนาคมขนส่ง เช่น น้ำมันเบนซิน ดีเซล ไบโอดีเซล ก๊าซโซฮอล และอื่น ๆ การใช้ พลังงานเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น ถ่านหิน ปิโตรเลียม ชีวมวล เป็นต้น และการอุตสาหกรรม ซึ่งโดยภาพรวมของสถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศแล้ว มีแนวโน้มที่ดีขึ้นจากปี 2557

ทั้งนี้ปัญหา มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่มาพร้อมการพัฒนาเศรษฐกิจ โดยเฉพาะเขต เมืองที่มีแนวโน้มการเจริญเติบโตของเศรษฐกิจ ต้องมีการจัดทำแผนการพัฒนาคุณภาพอากาศ เพื่อ เตรียมพร้อมรับมือและแก้ไขปัญหา มลพิษทางอากาศที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต ดังนั้น สำนักงาน เลขาธิการอาเซียนจึงได้คัดเลือกเทศบาลนครเชียงใหม่และเทศบาลนครนครราชสีมา เป็นเมืองที่เป็น ตัวแทนของประเทศไทย เข้าร่วมโครงการ Clean Air for Smaller Cities in the ASEAN Region ซึ่ง เป็นส่วนหนึ่งของแผนงาน Cities Environment and Transport (CET) โครงการนี้จัดขึ้นโดยองค์กร ความร่วมมือระหว่างประเทศของเยอรมนี (GIZ) มีระยะเวลาดำเนินโครงการตั้งแต่ ปี 2552 - 2555 และขยายระยะเวลาจนถึง ปี 2558 มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ความช่วยเหลือทางวิชาการแก่เมืองหรือ เทศบาลขนาดกลางและเล็กของประเทศสมาชิกอาเซียนในการพัฒนาขีดความสามารถในการจัดทำ และดำเนินแผนงานอากาศสะอาด (Clean Air Plan) (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 1, 2558)

จากการดำเนินงานการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษทางอากาศของเทศบาลนครนครราชสีมา ในปี 2553 โดยโครงการนี้ได้รับความร่วมมือจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและกรมควบคุม มลพิษ ซึ่งมีมลพิษที่ทำการศึกษา 6 ชนิด คือ ฝุ่นละออง  $\text{NO}_x$   $\text{CO}$   $\text{SO}_2$  Non-methane volatile organic compound และ  $\text{CO}_2$  (GIZ, 2012) แสดงผลการศึกษาดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปการปล่อยมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา ปี 2013

ประเภทแหล่งกำเนิด	อัตราการปล่อยมลพิษ (ตัน/ปี)					
	PM	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NMVOC	CO <sub>2</sub>
<b>1. Point Source</b>						
1) เตาเผาขยะ	-	-	-	-	-	-
2) เมรุ	1.184	0.447	7.942	0.215	1.709	3,118.57
3) หม้อไอน้ำของโรงพยาบาล	0.034	0.209	0.052	2.962	0.004	236.08
4) หม้อไอน้ำของโรงแรม	0.044	0.266	0.0665	3.776	0.0045	301.00
5) โรงงานอุตสาหกรรม	101.52	0.521	0.243	0.856	75.845	407.53
รวม	102.787	1.443	8.303	7.809	77.556	4,063.18
<b>2. Area Source</b>						
1) สถานบริการน้ำมัน	-	-	-	-	0.028	-
2) อนุสาวรีย์และศาลเจ้า	39.90	39.90	39.90	39.90	39.90	39.90
3) การก่อสร้าง	46.62	-	-	-	-	-
4) การเผาไหม้ทางการเกษตร	0.168	0.09	1.004	0.058	0.182	42.25
5) ที่พักอาศัยและพาณิชยกรรม	62.7	33.1	265.83	1.78	88.47	37,696
รวม	149.387	33.902	352.413	1.838	93.119	37,840
<b>3. Road Transport</b>						
1) ถนนสายหลัก	39.03	1,179.04	5,579.33	0.78	963.42	153,469
2) ตรอก ซอย	12.31	129.87	2,611.8	0.21	570.51	38,333
3) ข้างถนน	25.26	25.26	7,332.0	0.47	1,659.2	88,001
4) สถานีขนส่ง	2.19	2.19	12.43	0.012	2.36	4,542.2
รวม	78.79	1,600.21	15,535	1.47	3,195.5	284,346
<b>4. Non-Road Transport</b>						
1) รถไฟ	1.184	0.447	7.942	0.215	1.709	3,118.57
รวม	1.184	0.447	7.942	0.215	1.709	3,118.57
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>332.06</b>	<b>1,696.15</b>	<b>15,914</b>	<b>11.22</b>	<b>3,370.7</b>	<b>329,280</b>

จากการดำเนินงานการจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษทางอากาศของเทศบาลนครเชียงใหม่ ในปี 2553 โดยโครงการนี้ได้รับความร่วมมือจากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่และกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งมีมลพิษที่ทำการศึกษา 6 ชนิด คือ PM<sub>10</sub> NO<sub>x</sub> CO SO<sub>2</sub> Non-methane volatile organic compound และ CO<sub>2</sub> (GIZ, 2012) แสดงผลการศึกษาดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สรุปการปล่อยมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ ในเขตเทศบาลนครเชียงใหม่ปี 2013

ประเภทแหล่งกำเนิด	อัตราการปล่อยมลพิษ (ตัน/ปี)					
	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	NM VOC	CO <sub>2</sub>
<b>1. Point Source</b>						
1) เตาเผาขยะของโรงพยาบาล	0.361	1.163	1.597	0.804	0.524	-
2) เมรุ	0.025	0.33	0.394	0.137	0.022	101.69
3) หม้อไอน้ำของโรงแรม	0.164	1.278	0.488	5.739	0.094	1,051.98
4) หม้อไอน้ำของโรงพยาบาล	0.885	4.191	1.673	38.81	0.414	3,248.45
5) โรงงานอุตสาหกรรม	26.07	3.95	2.73	1.9	39.37	2,674.17
รวม	27.52	10.91	6.88	47.42	40.42	7,076.28
<b>2. Area Source</b>						
1) สถานบริการน้ำมัน	-	-	-	-	190.82	-
2) ศาลเจ้า	0.23	0.004	0.50	0.00	0.03	0.60
3) การก่อสร้าง	17.16	-	-	-	-	-
4) ตู้ซ่อมรถ/ โรงรถ	-	-	-	-	9.82	-
5) ที่พักอาศัย	67.23	34.58	537.99	2.20	89.39	45,376.71
รวม	84.62	34.58	538.49	2.20	290.05	45,377.31
<b>3. Mobile Source</b>						
1) รถยนต์ส่วนบุคคล	6.43	335.06	4,914.30	31.08	590.65	93,532.60
2) ยานพาหนะงานเบา	91.18	426.08	431.25	19.40	87.79	84,682.89
3) มอเตอร์ไซค์และรถตุ๊กตุ๊ก	2.66	2.66	5,337.03	10.34	306.80	31,134.76
4) ยานพาหนะงานหนัก	1.30	1.30	7.74	0.70	2.72	2,944.80
5) รถบัส	0.43	0.43	2.73	0.25	0.96	1,065.43
5) สถานีขนส่ง	0.59	0.59	0.1866	2.64	0.45	837.21
รวม	102.58	929.35	10,695.7	61.96	989.37	214,197.69
<b>4. Non-Road Mobile Source</b>						
1) สะพาน	0.453	0.852	14.232	0.043	6.852	149.04
2) ทางรถไฟ	0.0827	4.2967	1.2261	0.0409	0.3315	217.03
3) ท่าอากาศยาน	1.269	127.94	181.67	8.985	29.657	26,601.38
รวม	1.80	133.09	197.33	9.07	36.84	26,967.45
<b>รวมทั้งหมด</b>	<b>216.52</b>	<b>1,107.93</b>	<b>11,438.40</b>	<b>120.65</b>	<b>1,356.68</b>	<b>293,618.73</b>

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้ จะเห็นว่าทั้ง 2 เทศบาลนคร มีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่คล้ายกัน แต่มีปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น สภาพสังคม สภาพเศรษฐกิจ สภาพภูมิประเทศ และสภาพภูมิอากาศ โดยจากผลการศึกษาสามารถนำไป

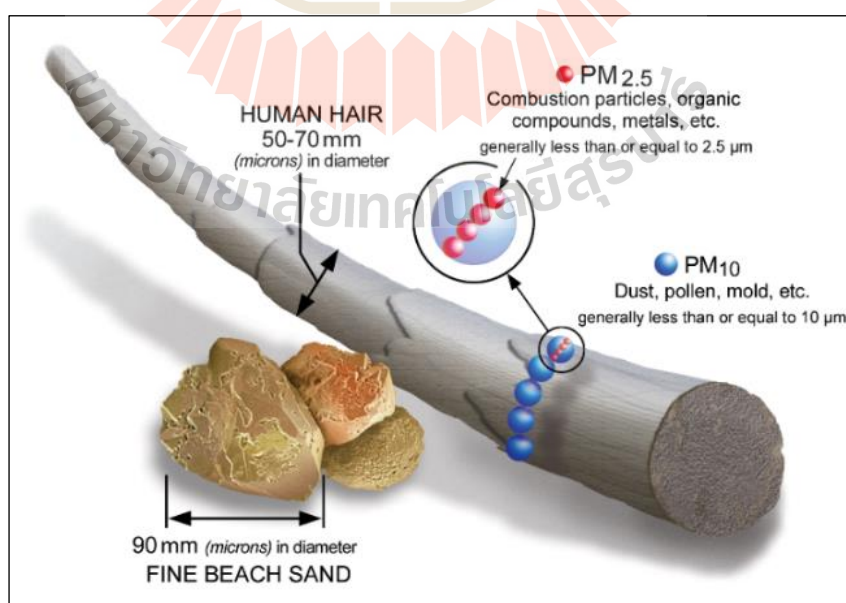


ประกอบการจัดทำแผนการจัดการคุณภาพอากาศ เพื่อเป็นตัวอย่างเมืองนำร่องในการจัดการคุณภาพอากาศในเขตเทศบาลของประเทศไทยต่อไป

## 2.2 ฝุ่นละอองในอากาศ

### 2.2.1 ขนาดของฝุ่นละออง

อนุภาคของแข็งขนาดเล็กที่อยู่ในอากาศ หรือเรียกว่า ฝุ่น อาจเกิดขึ้นในอากาศ หรือถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟ ฝุ่นดินที่มากับลม ฝุ่นจากละอองน้ำทะเล ไฟป่า และจากกิจกรรมมนุษย์ เช่น การจราจร การก่อสร้าง จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงตามอาคาร บ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ฝุ่นละอองจำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในอากาศมีขนาดเล็กไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เรียกว่า ละอองลอย (aerosol) เมื่อละอองลอยมีมากขึ้นจะรวมตัวกันตกลงสู่พื้นดิน ฝุ่นละอองมีขนาดต่าง ๆ กัน โดยทั่วไปมักนิยมแบ่งอนุภาคออกเป็น 3 ช่วงขนาดได้แก่ ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate, TSP) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง < 100 ไมครอน ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (Particulate Matter, PM<sub>10</sub>) ฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Particulate Matter, PM<sub>2.5</sub>) ฝุ่นขนาดเล็กจะตกสะสมได้ช้ากว่าขนาดใหญ่ ยังมีขนาดเล็กมาก ยังคงอยู่ในอากาศได้นาน และยังสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ ไปจนถึงชั้นถุงลมปอดได้ มีผลทำให้เกิดการระคายเคือง แสบจมูก ไอ จาม มีเสมหะ เยื่อหุ้มปอดถูกทำลายเนื่องจากมีการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอด ทำให้การทำงานของปอดเสื่อมลง เกิดโรคในระบบทางเดินหายใจและโรคในระบบหลอดเลือดหัวใจ



รูปที่ 2.1 ขนาดต่าง ๆ ของฝุ่นละอองเมื่อเทียบกับสิ่งอ้างอิง (ที่มา: <https://bit.ly/2LrPwpD>)



## 2.2.2 ประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ

ข้อมูลระดับมลพิษจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ มีความสำคัญในการรวบรวมและนำไปจัดทำบัญชีการปล่อยมลพิษของเขตพื้นที่ศึกษาเพื่อใช้ในการควบคุมคุณภาพอากาศต่อไป โดยทั่วไปแหล่งกำเนิดของมลพิษอากาศจำแนกตามลักษณะที่มา 2 แหล่ง คือ (วนิดา จินศาสตร์, 2551)

1. แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ (Natural sources) เป็นแหล่งกำเนิดที่ก่อให้เกิดสารมลพิษทางอากาศตามกระบวนการทางธรรมชาติ หรือไม่มีการกระทำหรือกิจกรรมของมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง เช่น ภูเขาไฟ ระเบิด แผ่นดินไหว ไฟป่าตามธรรมชาติ การปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากพืชซากสัตว์โดยจุลินทรีย์

2. แหล่งกำเนิดจากมนุษย์ (Anthropogenic sources) มี 3 แบบ คือ

1) แหล่งกำเนิดจากปล่องควัน (Stationary source) มลพิษเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากบ้านเรือน โรงงานอุตสาหกรรม การก่อสร้าง โรงงานปูนซีเมนต์ เตาเผาขยะ เมรุเผาศพจากวัด เป็นต้น

2) แหล่งกำเนิดที่อยู่ในพื้นที่ (Area sources) เป็นบริเวณพื้นที่ที่มีการปล่อยมลพิษต่อเนื่องมีอาณาเขตกว้าง ระบุจุดที่ปล่อยแน่นอนไม่ได้ เช่น สถานีบริการน้ำมัน เขตทิ้งขยะ การเผาขยะและเศษวัสดุในพื้นที่ทั่วไป การเผาไร่ การพ่นยาปราบศัตรูพืช ฯลฯ

3) แหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile source) ได้แก่ ยานพาหนะที่ใช้ในการคมนาคมทางบก ทางน้ำ ทางอากาศ ส่วนใหญ่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ เช่น รถ เรือ เครื่องบิน

## 2.2.3 ผลกระทบของมลพิษอากาศ

มลพิษทางอากาศสามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งต่าง ๆ ได้มากมาย เช่น เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของคนและสัตว์ ทำลายพืช ทำให้วัตถุเสียหาย ทำให้เกิดผลเสียต่อสภาพภูมิอากาศ และเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศวิทยา โดยลักษณะความรุนแรงของผลเสียหายที่เกิดขึ้นนั้น จะขึ้นอยู่กับประเภทและความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ และความยาวนานของการสัมผัสกับสารมลพิษทางอากาศ นอกจากนี้ สารมลพิษทางอากาศบางชนิด ยังอาจมีผลที่เสริมกัน (Synergism) ทำให้ผลเสียหายที่เกิดขึ้นทวีความรุนแรงมากขึ้นกว่าผลเสียหายที่เกิดขึ้นหากเพียงสารมลพิษทางอากาศเพียงบางชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้นหรืออาจมีผลหักล้างซึ่งกันและกัน (Antagonism) ทำให้ผลเสียหายที่เกิดขึ้นมีความรุนแรงน้อยลง (นภาพพร พานิชและแสงสันต์ พานิช , 2544)

ตารางที่ 2.3 สรุปการรับสัมผัสและผลกระทบเกิดขึ้นจากมลพิษอากาศ (Wayne et al., 2007: 83)

มลพิษ	อวัยวะที่ได้รับสัมผัส	ผลที่เกิดขึ้น	ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศไทย	เวลาโดยเฉลี่ย
PM <sub>10</sub>	ระบบทางเดินหายใจ	ทำให้ตอบสนองมากยิ่งขึ้น ต่อมลพิษชนิดอื่นที่เป็นพิษมากกว่า	50 µg/m <sup>3</sup> 120 µg/m <sup>3</sup>	1 ปี 24 ชั่วโมง
PM <sub>2.5</sub>	ระบบทางเดินหายใจและหัวใจ (อนุภาคฝุ่นที่ละเอียด)	อาจทำให้ปอดอักเสบ เร่งการแข็งตัวของระบบเลือด อัตราการเร่งของหัวใจลดลง	25 µg/m <sup>3</sup> 50 µg/m <sup>3</sup>	1 ปี 24 ชั่วโมง
ตะกั่ว (Pb)	ไต ดับ สมอ ระบบสืบพันธุ์	ซีโมโกลบินลดลง โลหิตจาง สติปัญญาเสื่อม	1.5 µg/m <sup>3</sup>	1 เดือน
ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO <sub>2</sub> )	หลอดลมและถุงลมทางเดินหายใจของปอด	เกิดการระคายเคือง อักเสบ การสะสมของของเหลว โรคหลอดลมอักเสบ	0.03 ppm (0.057mg/m <sup>3</sup> ) 0.17 ppm (0.32 mg/m <sup>3</sup> )	1 ปี 1 ชั่วโมง
โอโซน (O <sub>3</sub> )	หลอดลมและถุงลมทางเดินหายใจของปอดส่วนปลาย	เกิดการระคายเคือง อักเสบ หายใจลำบากและเกิดฟองฝืด	0.07 ppm (0.14 mg/m <sup>3</sup> ) 0.10 ppm (0.20 mg/m <sup>3</sup> )	8 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO <sub>2</sub> )	หลอดลม	กระตุ้นการทำงานของหลอดลม ผู้รับสัมผัส หายใจลำบาก เกิดโรคหลอดลมอักเสบ	0.04 ppm (0.10 mg/m <sup>3</sup> ) 0.12 ppm (0.30 mg/m <sup>3</sup> ) 0.30 ppm (0.78 mg/m <sup>3</sup> )	1 ปี 24 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	เลือดและเซลล์ที่มีชีวิตในอวัยวะทั้งหมดของร่างกาย	เกิดรูปของคาร์บอนมอนอกไซด์ในเซลล์เม็ดเลือดแดง จึงไม่สามารถรับออกซิเจนจากปอดไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกายได้	9 ppm (10.26 mg/m <sup>3</sup> ) 30 ppm (34.2 mg/m <sup>3</sup> )	8 ชั่วโมง 1 ชั่วโมง

## 2.3 การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศโดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ

หลังจากเกิดเหตุการณ์ London fog ในปี 1952 ส่งผลให้เกิดผู้เสียชีวิตนับพันคนและในช่วงปี 1940 เป็นต้นมา ได้เกิดเหตุการณ์ปัญหาหมอกควันในทางตอนใต้ของ California ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งส่งผลต่อพืชพันธุ์ของเกษตรกร ส่งผลต่อทัศนวิสัย และทำให้เกิดปัญหาหากลั่นควัน จึงทำให้นักวิชาการมีพยายามอย่างมากในการจัดการคุณภาพอากาศ จึงทำให้เกิดเครื่องมือในการจัดการคุณภาพอากาศ โดยได้เกิดแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับประเมินการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศ โดยอาศัยข้อมูลการปล่อยมลพิษ ข้อมูลอุณหภูมิมิถวิทยา และข้อมูลทางด้านกายภาพและเคมีในบรรยากาศเพื่อใช้ประมาณการแพร่กระจายของมลพิษ ซึ่งนอกจากแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับประเมินการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศ จะทำให้ทราบถึงการประมาณการแพร่กระจายของมลพิษทางอากาศแล้ว แต่ยังมีข้อจำกัดในการระบุแหล่งกำเนิดมลพิษที่แท้จริงได้ อย่างไรก็ตามการระบุแหล่งกำเนิดที่แท้จริงจะมีความสัมพันธ์กับตัวอย่างอากาศที่ได้จากการตรวจวัด ณ ผู้รับมลพิษ

โดยข้อมูลนี้จะถูกประมวลผลอย่างมีประสิทธิภาพและแม่นยำ โดยเครื่องมือที่จะใช้ในการประมวลผลได้คือ แบบจำลองผู้รับมลพิษ (Hopke, 2016)

### 2.3.1 ประเภทของแบบจำลองผู้รับมลพิษ

แบบจำลองผู้รับมลพิษ สามารถใช้ประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษได้ในพื้นที่ที่เป็นเขตเมือง เขตชานเมือง เขตชนบท เขตอุตสาหกรรม ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะข้อดี-ข้อเสีย ของแบบจำลองผู้รับมลพิษประเภทหลัก ๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความแตกต่างของแบบจำลองผู้รับมลพิษต่าง ๆ (Watson and Chow, 2004)

แบบจำลองผู้รับมลพิษ	คุณลักษณะ	ข้อดี	ข้อเสีย
Non-Negative Least Squares (Positive Matrix Factorization [PMF])	PMF สามารถประมาณสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมลพิษในบรรยากาศที่จับได้ด้วยวิธีที่ได้ ซึ่งอธิบายได้โดยผลลัพธ์จากสมการเส้นตรงของ Source matrix (F) และ Contribution matrix (G) โดยทั้ง 2 เมทริกซ์ จะถูกทำการทำให้ลดลงโดยวิธีการต่าง ๆ ที่อยู่ในแบบจำลอง และค่าสัดส่วนแหล่งกำเนิดและ Source profile จะต้องไม่ติดลบและมากกว่าศูนย์เสมอและการเลือก Factor จะต้องถูกแปลผลเป็น Source profile โดยการเปรียบเทียบกับ การตรวจวัดที่แหล่งกำเนิด	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีโปรแกรมคำนวณ</li> <li>- มีสัดส่วนแหล่งกำเนิดโดยประมาณการในแต่ละตัวอย่าง</li> <li>- ต้องมีค่าความไม่แน่นอนในการตรวจวัดความเข้มข้นมลพิษในบรรยากาศ ซึ่งจะสามารถจัดการกับข้อมูล MDL ได้</li> <li>- จำกัดค่าของความเข้มข้นของสารเคมีหรือสัดส่วนของแหล่งกำเนิดไม่ให้ติดลบหรือเท่ากับศูนย์</li> <li>- มีเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินแบบจำลอง</li> <li>- ได้ Source profile จากการตรวจวัดมลพิษในบรรยากาศ ณ จุดตรวจวัด</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องมีจำนวนชุดข้อมูลการตรวจวัดในบรรยากาศทั่วไปมาก (&gt;100)</li> <li>- จำเป็นต้องกำหนดจำนวนของแหล่งกำเนิด (Factor)</li> <li>- จำกัดใน ความแม่นยำที่ตรงและชนิดของสารเคมีที่ตรวจวัด ณ จุดตรวจวัด</li> <li>- ต้องการ Source profile เพื่อยืนยันการเป็นตัวแทนของ Source profile ที่คาดคะเนไว้ และค่าความไม่แน่นอนของสัดส่วนแหล่งกำเนิด</li> <li>- ขึ้นอยู่กับหลายพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดหรือสภาวะแวดล้อมเริ่มต้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้า ซึ่ง ชุด ข้อมูลพารามิเตอร์แรกเริ่มนี้มีความอ่อนไหวมาก</li> </ul>
Chemical Mass Balance (CMB)	ความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศจะแสดงผลเป็นผลรวมของชนิดสารเคมีกับสัดส่วนของแหล่งกำเนิด โดยสมการสมดุลมวลสามารถประมวลผลเป็นสัดส่วนของแหล่งกำเนิด ซึ่งประมาณได้เมื่อมีความเข้มข้นของมลพิษในบรรยากาศและ Source profile ใช้เป็นข้อมูลป้อนเข้าซึ่งมีหลายวิธีที่ใช้ในการจำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษ แต่การใช้วิธีการประมาณ least squares เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและใช้โดยทั่วไป เนื่องจากเป็นวิธีการประมาณที่ตรงสำหรับความเข้มข้นของมลพิษในบรรยากาศและแหล่งกำเนิดที่เข้าข้อมูลป้อนเข้าและแบบจำลองยังให้ข้อมูลค่าความคลาดเคลื่อนออกมา ซึ่งในแต่ละประเภทของแหล่งกำเนิด จะมีองค์ประกอบทางเคมีไม่ซ้ำกัน	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีโปรแกรมคำนวณ</li> <li>- ให้ปริมาณค่าความไม่แน่นอนของสัดส่วนแหล่งกำเนิดซึ่งประมาณได้จากข้อมูลที่ป้อนเข้า ค่าความไม่แน่นอนของการตรวจวัดและ collinearity ของ Source profile</li> <li>- บอกจำนวนสัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษ ในตัวอย่างฝุ่นละออง ด้วย ธาตุ ไอออน การตรวจวัดคาร์บอนและสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)</li> <li>- บอกปริมาณสัดส่วนจากชนิดของแหล่งกำเนิดจากการตรวจวัดสารอนุภาคเดี่ยวและการตรวจวัดสารอินทรีย์</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ต้องมี Source profiles มาเป็นตัวแทน ซึ่งไม่สามารถใช้ได้ตลอด</li> <li>- การที่แหล่งกำเนิดที่เข้ากันได้ อย่างสมบูรณ์และการตรวจวัดผู้รับมลพิษสามารถทำได้ยาก</li> <li>- ไม่สามารถระบุแหล่งกำเนิดใหม่ (New source) หรือแหล่งกำเนิดที่ไม่ทราบ (Unknown source) ได้โดยตรง</li> <li>- การสันนิษฐานแหล่งกำเนิดของของมลพิษ ใช้ความคิดของผู้ทดลองเป็นตัวกำหนด</li> <li>- แหล่งกำเนิดมลพิษที่มีสารเคมีลักษณะคล้ายกันอาจทำให้เกิด collinearity โดยทำให้สารเคมีระบุแหล่งกำเนิดลดลงโดยปกติ</li> </ul>

ตารางที่ 2.4 ความแตกต่างของแบบจำลองผู้รับมลพิษต่าง ๆ (Watson and Chow, 2004) (ต่อ)

แบบจำลองผู้รับมลพิษ	คุณลักษณะ	ข้อดี	ข้อเสีย
Chemical Mass Balance (CMB) (ต่อ)		- มีความเป็นไปได้ในการบอกสัดส่วนของสารพิษทุกชนิดที่ปลดปล่อย	จะไม่มีสัดส่วนแหล่งกำเนิดของมลพิษทุกชนิด ซึ่งจะต้องรวมกันกับแบบจำลอง profile aging จึงสามารถประมาณได้
Eigenvectors (Principal Components Analysis [PCA], Factor Analysis [FA], Empirical Orthogonal Functions [EOF])	Temporal correlations เป็นผลลัพธ์จากการคำนวณองค์ประกอบทางเคมีที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันจากจุดเก็บตัวอย่าง โดยค่า Eigenvectors ของสสารสัมพันธ์เมทริกซ์นี้ หาได้จากการหมุนแกนของ subset เพื่อทำให้ค่าของสสารสัมพันธ์เปลี่ยนไปในแต่ละ Factor ด้วยชนิดสารเคมีที่ตรวจวัดได้ ซึ่ง Factor จะถูกแปลผลเป็น Source profile	- นำไปใช้ในโปรแกรมทางสถิติได้ - แบบจำลองทางสถิติ เช่น PCA และ FA สามารถจำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษได้และสามารถจำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษทุกชนิดได้จากสสารสัมพันธ์หรือความแปรปรวนร่วม - มีความอ่อนไหวต่ออิทธิพลของแหล่งกำเนิดมลพิษที่ไม่สามารถระบุแหล่งที่มาได้	- ต้องมีจำนวนข้อมูลในปริมาณมาก (>100 ตัวอย่าง) - มีความอ่อนไหวต่อค่า extreme ในชุดข้อมูล - ส่วนมากแบบจำลองจะมีพื้นฐานการคำนวณหลักสถิติ - เวกเตอร์หรือองค์ประกอบส่วนมากจะสัมพันธ์กับชนิดของแหล่งกำเนิดซึ่งจะเป็นประเภทหรือแหล่งกำเนิดที่เฉพาะเจาะจง - การระบุแหล่งกำเนิดจะใช้การตัดสินใจของผู้ใช้แบบจำลองมากกว่าการแปรผลของค่า eigenvectors - จำเป็นต้องใช้การหมุนแกนเชิงประจักษ์เพื่อระบุผลลัพธ์ของ Factor
Multiple Linear Regression (MLR)	ค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีจะแสดงเป็นผลรวมในสมการเชิงเส้นของสัมประสิทธิ์การลดถอย ซึ่งค่าความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละชนิดจะเป็นสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษ (source fingerprint) ที่ตรวจวัดได้ที่จุดผู้รับมลพิษ โดยชนิดของสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษ (source fingerprint) ต้องมีที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ได้จัดเตรียมไว้โดยใช้พื้นฐานจากทฤษฎีและสัมประสิทธิ์การลดถอยจะแสดงถึงความผกผันของปริมาณสารเคมีของชนิดของสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษ (source fingerprint) ในแหล่งกำเนิดที่ปล่อยมลพิษออกมา ซึ่งผลของสัมประสิทธิ์การลดถอยและความเข้มข้นของสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษ (source fingerprint) จะถูกนำไปคำนวณในสมการสมมูลมวลเพื่อให้ได้แหล่งกำเนิดของมลพิษ	- นำไปใช้ในโปรแกรมทางสถิติได้ - สามารถทำได้โดยไม่มี source profile - จำนวนชนิดของสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษ (source fingerprint) ในแต่ละแหล่งจะถูกกำหนดโดยการผกผันของสัมประสิทธิ์การลดถอย - สามารถแบ่งมลพิษทุกชนิดออกเป็นมลพิษปฐมภูมิได้ เมื่อสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษปฐมภูมิเป็นตัวแปรอิสระและสารประกอบทุติยภูมิ (เช่น Sulfate) เป็นตัวแปรตาม	- ต้องมีจำนวนข้อมูลการตรวจวัดในบรรยากาศทั่วไปมาก (>100) - ชนิดของสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษจะต้องมาจากแหล่งกำเนิดที่ถูกต้องตรวจสอบมาแล้ว - จำนวนของชนิดของสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษในการปล่อยมลพิษเป็นค่าคงที่ไม่มี ความแปรปรวน - ข้อจำกัดของแหล่งที่มาของมลพิษ
Enrichment Factor (EF)	เป็นค่าที่คำนวณได้จากอัตราส่วนความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศกับสารเคมีอ้างอิงในฝุ่นละออง โดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนเดียวกัน ในวัตถุทางธรณีวิทยา ละอองทะเลหรือการปล่อยปฐมภูมิของก๊าซคาร์บอน (อัตราส่วนของอินทรีย์คาร์บอนกับธาตุคาร์บอน [OC/EC]) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะถูกกำหนดเป็นแหล่งกำเนิดที่มา ซึ่งอาจจะเป็นแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์หรืออาจจะเป็นแหล่งกำเนิดจากธรรมชาติได้แก่ การสะสมตัวของโลหะหนักจะถูกกำหนดมาจากการปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม การสะสมตัวของโพ	- ไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมคำนวณ - ไม่มีข้อมูลผู้ปล่อยมลพิษ - ประหยัดค่าใช้จ่าย - มีที่มาของการก่อตัวของมลพิษทุติยภูมิ และการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของมลพิษในบรรยากาศ	- วิธี Semi-Quantitative (วิธีการเชิงกึ่งปริมาณ) และโดยส่วนมากไม่เฉพาะเจาะจง - ต้องมีข้อมูลองค์ประกอบของแหล่งกำเนิด - ใช้ในการระบุแหล่งกำเนิดมากกว่าการหาปริมาณของแหล่งกำเนิด

ตารางที่ 2.4 ความแตกต่างของแบบจำลองผู้รับมลพิษต่าง ๆ (Watson and Chow, 2004) (ต่อ)

แบบจำลองผู้รับมลพิษ	คุณลักษณะ	ข้อดี	ข้อเสีย
Enrichment Factor (EF) (ต่อ)	แพสซีแรมจะถูกกำหนดมาจากการเผาไหม้และการปรุงอาหาร การสะสมตัวของซัลเฟอร์ จะถูกกำหนดมาจากสารพิษอื่นๆ ซัลเฟต การสะสมตัวของ OC/EC จะถูกกำหนดมาจากสารพิษที่มีอินทรีย์คาร์บอน (OC)		
Edge Detection (RMAPS, UNMIX)	Edge เป็นค่าอัตราส่วนคงที่ระหว่างองค์ประกอบทางเคมีซึ่งตรวจพบในพื้นที่หลายมิติ โดยชุดข้อมูลจะต้องมีหลายตัวอย่างและข้อมูลการตรวจวัดจะต้องมีหลายตัวแปรและในตัวอย่างบางส่วนจะต้องมีข้อมูลการไม่มีส่วนจากแหล่งกำเนิดที่ระบุ Edge โดย Edges สามารถตรวจได้จากแบบจำลอง เช่น UNMIX ซึ่งเป็นการขยายของเส้นโค้ง โดย Edges สามารถตรวจได้จากแบบจำลอง UNMIX ซึ่งเป็นการขยายของเส้นโค้งโดยการสร้างแบบจำลองด้วยตนเอง โดยการแก้สมการ n มิติ (แหล่งกำเนิด)	- มีโปรแกรมคำนวณ - ไม่ต้องตั้งสันนิษฐานเกี่ยวกับจำนวนหรือองค์ประกอบของแหล่งกำเนิด	- ต้องมีจำนวนชุดข้อมูลการตรวจวัดในบรรยากาศทั่วไปมาก (>100) - จำเป็นต้องตั้งสันนิษฐานจำนวน Factor ก่อน

จากตารางที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าแบบจำลองผู้รับมลพิษแต่ละชนิดนั้นมีคุณลักษณะและข้อดี ข้อเสียที่แตกต่าง ดังนั้นการใช้งานแบบจำลองผู้รับมลพิษขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผู้ใช้งาน ซึ่งจากฐานข้อมูลการจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองในอากาศโดยการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ 14 ประเภท ขององค์การอนามัยโลก ตั้งแต่ปี 1990-2014 พบว่าแบบจำลอง PMF มีการใช้งานมากที่สุด 45% รองลงมาเป็นแบบจำลอง CMB มีการใช้งาน 19% (WHO, 2015) และจากการศึกษาของ Karagulian และ Belis ในปี 2012 ซึ่งได้ทำการสำรวจการใช้งานแบบจำลองผู้รับมลพิษในทวีปยุโรปโดยมีตัวอย่างที่เป็นตัวแทนทั้งหมด 18 ประเทศ โดยทำการสำรวจตั้งแต่ปี 2001-2010 ได้จำนวน 79 กรณีศึกษา และมีการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ 11 ประเภท ที่แตกต่างกัน พบว่า แบบจำลอง PMF มีการใช้งานมากที่สุด 24% รองลงมาเป็นแบบจำลอง CMB มีการใช้งาน 20% ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแบบจำลอง PMF เป็นแบบจำลองที่นิยมใช้มากที่สุดและในปัจจุบัน US.EPA ได้พัฒนาเป็นแบบจำลอง PMF version 5.0 ซึ่งสามารถคำนวณโหลดมาใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย

### 2.3.2 ลักษณะทางด้านกายภาพของแบบจำลองผู้รับสัมผัส

แบบจำลองผู้รับมลพิษมีพื้นฐานมาจากหลักการอนุรักษ์มวลจากจุดกำเนิดถึงผู้รับมลพิษ โดยสมการจะแสดงความเข้มข้นของสารเคมีในบรรยากาศเป็นผลรวมของชนิดของสารเคมีที่มีอยู่ในแหล่งกำเนิดที่ปล่อยมลพิษออกมาและสัดส่วนการปล่อยมลพิษ ส่วน Source profile จะมีมวลของส่วนที่มีคุณสมบัติที่เป็นอนุภาคและแก๊สที่ปล่อยออกมาในแหล่งกำเนิดมลพิษที่ปล่อยออกมา ส่วนในแบบจำลองคุณภาพอากาศทุกแบบจำลองจะมีสมมูลมวล (CMB) เป็นพื้นฐานของแบบจำลองผู้รับมลพิษ เพื่อให้เข้าใจง่ายมากขึ้น มีหลักการสันนิษฐานที่ง่ายดังนี้ (1) องค์ประกอบของแหล่งกำเนิดที่ปล่อยมลพิษจะคงที่ตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่างทั้งในใน

บรรยากาศและในแหล่งกำเนิดมลพิษ (2) ชนิดของสารเคมีจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น (3) แหล่งกำเนิดมลพิษทั้งหมดมีความเป็นไปได้ที่การกระจายตัวของมลพิษไปสู่ผู้รับจะได้มีการระบุ และมีคุณลักษณะการปล่อยสารออกมา (4) จำนวนของแหล่งกำเนิดมลพิษหรือประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนชนิดของสารเคมีที่ตรวจวัด (5) Source profile แต่ละชนิดจะมีความสัมพันธ์เส้นตรงอิสระ (6) การตรวจวัดค่าความไม่แน่นอนจะเป็นการสุ่ม ไม่มีสหสัมพันธ์กันและการแจกแจงแบบปกติ (Watson and Chow, 2004)

### 2.3.3 หลักการพื้นฐานของแบบจำลองผู้รับมลพิษ

การศึกษาหาแหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศโดยใช้แบบจำลองทางสถิติ จะใช้ข้อมูลลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคฝุ่นในการวิเคราะห์ โดยจะใช้หลักการพื้นฐานของการสมมูลมวล ดังสมการ (2.1) (Paatero et al., 2014)

$$x_{ij} = \sum_{k=1}^p g_{ik} f_{kj} + e_{ij} \quad (2.1)$$

โดยที่	$x_{ij}$	คือ	ความเข้มข้นของสารเคมี (X) ชนิด j ในตัวอย่างที่ i
	$g_{ik}$	คือ	source contribution (G) ของแหล่งกำเนิดที่ k ในตัวอย่างที่ i
	$f_{kj}$	คือ	source profiles (F) หรือความเข้มข้นของสารเคมีชนิด j ในแหล่งกำเนิดที่ k
	$e_{ij}$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่า residual ของสารเคมี (E) ชนิด j ในตัวอย่างที่ i
	p	คือ	จำนวนแหล่งกำเนิด
	k	คือ	แหล่งกำเนิด

หรืออาจทำให้อยู่ในรูปอย่างง่าย  $X = GF + E$

จากสมการ (2.1) ค่าเมทริกซ์ X จะได้มาจากค่าเมทริกซ์ source contribution (G) คูณกับค่าเมทริกซ์ source profiles (F) และบวกด้วยเมทริกซ์ค่าความคลาดเคลื่อน (E) โดยค่า X เป็นค่าที่ได้จากการศึกษา ส่วนค่า source contribution (G) ค่า source profiles (F) และค่าความคลาดเคลื่อน (E) สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้แบบจำลอง



### 2.3.4 การตรวจวัดข้อมูลในการป้อนเข้าไปในแบบจำลอง

แบบจำลองผู้รับมลพิษจำเป็นต้องมีการตรวจวัดจากแหล่งกำเนิดมลพิษซึ่งต้องเจาะเจาะจง ทั้งในแก๊สที่เป็นสารตั้งต้น ขนาดอนุภาค คุณสมบัติทางเคมีหรือกายภาพหรือการมองเห็น รูปแบบชั่วคราวของสารและตำแหน่งที่ตั้งของแหล่งกำเนิดมลพิษ โดยการเก็บตัวอย่างและวิธีการวิเคราะห์ฝุ่นละอองและสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จะต้องเก็บในพื้นที่และทำการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ตารางที่ 2.3 จะแสดงการตรวจวัดอนุภาคและสารอินทรีย์ระเหยง่ายด้วยวิธีการต่าง ๆ สำหรับตัวอย่างในรูปของแก๊สและในรูปของอนุภาค โดยปกติต้องกำหนดชนิดสารเคมีที่ต้องทำการตรวจวัดสำหรับแหล่งกำเนิดมลพิษและผู้รับมลพิษ อีกหนึ่งสิ่งที่ยากคือการตรวจวัดสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งผู้วิจัยจะใช้วิธีการตรวจวัดที่แตกต่างกันไปและความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ในบรรยากาศทั่วไปจะไม่สอดคล้องกันเสมอไปกับความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ในแหล่งกำเนิดมลพิษ และถ้าได้ตรวจวัดความเข้มข้นมลพิษในบรรยากาศพร้อมด้วยการตรวจวัดทิศทางลม จะเป็นการตรวจวัดที่มีข้อมูลที่น่าเชื่อถือมากขึ้น ปัจจุบันการพัฒนาการตรวจวัดที่อยู่กับที่ในแหล่งกำเนิดแบบต่อเนื่องและกึ่งแบบต่อเนื่องของการตรวจวัดธาตุ ไอออน อินทรีย์คาร์บอน (OC) ธาตุคาร์บอน (EC) และ Black carbon ซึ่งสารเคมีเหล่านี้จะถูกตรวจวัดในมวลของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 และ 10 ไมครอน ซึ่งสามารถใช้ในแบบจำลองผู้รับมลพิษที่เป็นรายชั่วโมงได้ (Watson and Chow, 2004)

ตารางที่ 2.5 การตรวจวัดชนิดของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์สำหรับใช้ในแบบจำลองผู้รับมลพิษ (Watson and Chow, 2004)

ตัวอย่างที่ตรวจวัด	วิธีการตรวจวิเคราะห์
ปริมาณฝุ่นละอองในกระดวยกรอง	Gravimetry
ฝุ่นละอองธาตุในกระดวยกรอง (ตั้งแต่ธาตุ Na ถึงธาตุ U)	X-ray fluorescence (XRF) Proton-induced X-ray emission (PIXE) Instrumental neutron activation analysis (INAA) Inductively coupled plasma/atomic emission spectroscopy (ICP-AES) Inductively coupled plasma/mass spectroscopy (ICP-MS) Inductive coupled plasma/optical emission spectroscopy (ICP-OES)
ฝุ่นละอองไอออนประจุลบในกระดวยกรอง (F <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	Ion chromatography (IC) Automated colorimetry (AC)
ฝุ่นละอองไอออนประจุบวกในกระดวยกรอง (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> )	Ion chromatography (IC) Atomic absorption spectrophotometry (AAS) [flame หรือ graphite] Automated colorimetry (AC)
ฝุ่นละอองคาร์บอน (OC, EC, คาร์บอนเนต และสารคาร์บอนอื่น ๆ ที่ถูกโดยลักษณะของ Thermal หรือ Optical)	Thermal/optical reflectance (TOR) Thermal/optical transmission (TOT) Thermal manganese oxidation (TMO)



ตารางที่ 2.5 การตรวจวัดชนิดของสารอินทรีย์และสารอินทรีย์สำหรับใช้ในแบบจำลองผู้รับมลพิษ (Watson and Chow, 2004) (ต่อ)

ตัวอย่างที่ตรวจวัด	วิธีการตรวจวิเคราะห์
สารอินทรีย์คาร์บอน C <sub>2</sub> -C <sub>10</sub> , สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs)	Canister และตรวจวัดด้วยเทคนิค gas chromatography
สารอินทรีย์คาร์บอน C <sub>11</sub> -C <sub>20</sub> , สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) และสารกึ่งอินทรีย์ระเหยง่าย (SVOCs)	Thermal desorption และเทคนิค gas chromatography
Polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)	กระดาษกรอง/ polyurethane foam (PUF)/XAD จะถูกสกัดด้วยตัวทำละลายที่มีขั้วไฟฟ้าที่แตกต่างกันและตรวจวัดด้วยเทคนิค gas chromatography
สารอินทรีย์ระเหยง่ายกลุ่มสารประกอบ Carbonyl	Dinitrophenylhydrazone (DNPH) ที่เคลือบด้วย C <sub>18</sub> cartridge และวิเคราะห์ด้วยเทคนิค gas หรือ liquid chromatography
สารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น Alcohol, Ethers, Esters	Carbotrap canister (หลอดที่บรรจุตัวดูดซับ) จากนั้นนำไปสกัดด้วยตัวทำละลายและเตรียมปฏิกิริยานูพันธ์ เพื่อทำให้เกิดสารอนุพันธ์ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ช่วยให้สามารถตรวจวัดหาสารตัวอย่างได้ง่ายขึ้น และยังเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกสารตัวอย่างและตรวจวัดด้วยเทคนิค gas chromatography
ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของอนุภาคฝุ่นละอองเดี่ยวในกระดาษกรอง	Computer-controlled electron microscopy (CCSEM) Electron Microscope Transmission Electron Microscopy (TEM)

### 2.3.5 Source profile

Source profile คือ ตัวแทนประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษ โดยแบบจำลองผู้รับมลพิษทั้งหมดต้องการข้อมูลของ Source profile เช่น แบบจำลองผู้รับมลพิษ Positive Matrix Factorization (PMF) โดยในแต่ละประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษนั้นจะมีสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิด (Source fingerprints) ที่เฉพาะเจาะจง เพื่อระบุแหล่งกำเนิดของมลพิษที่เกิดขึ้น ตัวอย่างดังตารางที่ 2.6 โดยแบบจำลองผู้รับมลพิษนั้นสามารถระบุแหล่งกำเนิดมลพิษได้ แต่ไม่สามารถระบุอัตราการปล่อยมลพิษแต่ละแหล่งกำเนิดได้ ซึ่งประเภทของแหล่งกำเนิดมลพิษของฝุ่นละอองและสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) มีดังนี้ (Watson and Chow, 2004)

- **Gasoline exhaust:** ประกอบด้วยรถที่ใช้ภาระงานหนัก รถที่ใช้ภาระงานน้อย รถบรรทุก รวมไปถึงเครื่องยนต์ขนาดเล็ก โดยโปรไฟล์เครื่องยนต์ 2 จังหวะ อาจมีความแตกต่างจากโปรไฟล์เครื่องยนต์ 4 จังหวะ และในส่วนของโปรไฟล์ประเภทนี้ สามารถจะแยกออกมาได้เมื่อมีความเหมาะสมของสารประกอบอินทรีย์ที่ได้ตรวจวัด

- **Diesel exhaust:** ประกอบด้วยรถที่ใช้ภาระงานหนัก รถที่ใช้ภาระงานน้อยและรถบรรทุก รวมไปถึงอุปกรณ์ เครื่องมือที่ไม่ได้ใช้ในท้องถนน เครื่องยนต์ปั๊มและเครื่องเจเนอเรเตอร์ชนิดที่ใช้อยู่กับที่ เครื่องเจเนอเรเตอร์ของเรือและหัวรถจักร โพรไฟล์ของ Diesel และ Gasoline exhaust เมื่อรวมเข้าด้วยกันจะเป็นโพรไฟล์ของ Mobile source emission เพื่อที่จะลดการ Collinearity
- **Gasoline evaporative VOC emissions:** ประกอบด้วยสถานีบริการน้ำมัน รถที่ติดเครื่องยนต์ไว้และแหล่งกักเก็บสะสมเชื้อเพลิงอื่น ๆ
- **Vegetative burning and cooking:** ประกอบด้วยการปล่อยมลพิษจากเตาไฟ เตาไม้ฟืน การเผาไหม้วัชพืชหรือการเผาเพื่อให้พื้นที่โล่งและไฟฟ้า ส่วนหนึ่งของโพรไฟล์ประเภทนี้ สามารถแยกออกมาได้เมื่อมีความเหมาะสมของสารประกอบอินทรีย์ที่ได้ตรวจวัดได้ และในโพรไฟล์ของ Charbroiling และ meat cooking จะมีความคล้ายกันมากหรือเกิด Collinear แต่ก็สามารถแยกได้ด้วยการตรวจวัดสารอินทรีย์ เช่น cholesterol
- **Fugitive dust:** ประกอบด้วยถนนทางลาดยาง ถนนทางดินหรือหินกรวด การไถพรวนทางการเกษตร การก่อสร้าง การขุดดิน การพัดทลายจากลมและแหล่งรวมอุตสาหกรรม โพรไฟล์ประเภทนี้สามารถแยกแบ่งย่อยไปได้อีกจากการตรวจวัดอนุภาคหรือองค์ประกอบของแร่ธาตุที่เฉพาะเจาะจง
- **Aggregate handling:** ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ การระเบิดหินและการทำเหมือง โดยเฉพาะสินแร่ ซึ่งสามารถสกัดได้เร็วกว่าและสามารถแยกออกจากโพรไฟล์ประเภทนี้ได้แล้วแต่ประเภทของแร่ที่สนใจวิเคราะห์
- **Metals:** ประกอบด้วย โรงหลอมทองแดง (Copper smelter) โรงหลอมตะกั่ว (Lead smelter) โรงงานผลิตเหล็กและโรงงานผลิตอะลูมิเนียม โพรไฟล์ประเภทนี้มีความคล้ายกันของการปล่อยมลพิษที่เป็นโลหะ แต่ก็มีปริมาณที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และสามารถแยกออกจากโพรไฟล์ประเภทนี้ได้แล้วแต่ประเภทของโลหะที่สนใจวิเคราะห์
- **Solvents and coating:** ประกอบด้วย สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) จากการทาสี น้ำยาล้างไขมันและสารตัวทำละลาย อีกทั้งสารเหล่านี้สามารถแยกออกมาได้แล้วแต่ประเภทของโพรไฟล์ได้ เมื่อได้กำหนดชนิดของตัวทำละลายที่เฉพาะเจาะจงไว้แล้ว

สำหรับ Source profile ที่มีความสำคัญน้อย ควรมีการจัดการเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสม โดยมีรายละเอียดดังนี้

- **No hot stack samples or hot stack/impinger analysis:** จากผลของ Method 201/202 สำหรับฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน ซึ่งการควบคุม การปล่อย อนุภาค จะไม่สามารถเป็นตัวแทนที่แท้จริงได้ แต่ผลของการเก็บตัวอย่างที่เจือจาง เท่านั้นที่ใกล้เคียงจะเป็นตัวแทนความเข้มข้นของอากาศในบรรยากาศทั่วไปได้
- **Species available at receptor:** โพรไฟล์ของสารอินทรีย์ระเหยง่ายควร จะประกอบด้วยสารอินทรีย์ระเหยง่ายขั้นต่ำสุด 56 ชนิด ส่วนโพรไฟล์ของอนุภาคฝุ่น ละออง ส่วนใหญ่จะเป็นธาตุและไอออนที่อยู่ในฝุ่นละออง (เช่น  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$  และ  $\text{PO}_4^{3-}$ ) และสัดส่วนของคาร์บอน (เช่น คาร์บอน รวม [Total carbon] อินทรีย์คาร์บอน [OC] และธาตุคาร์บอน [EC]) ส่วนสาร จำพวกหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ สารประกอบอินทรีย์ ปริมาณไอโซโทป และ คุณสมบัติของอนุภาคเชิงเดี่ยว สารเหล่านี้ควรทำการ normalized ให้เป็นมวลของ อนุภาคฝุ่นละอองหรือรวมเป็นสารอินทรีย์ระเหยง่าย
- **Chemical abundances and variabilities:** การที่จะกำหนดโพรไฟล์ควรพิจารณา จากค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละตัวอย่างเป็นตัวกำหนด และค่า ความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์ในแต่ละ Source profile ควรระบุในโพรไฟล์ ซึ่ง โดยปกติจะมีค่าน้อยกว่าความแปรปรวนของตัวอย่างที่เก็บมาในแต่ละครั้ง

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างชนิดของสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดมลพิษในฝุ่นละออง (Kim Oanh, 2013: 69)

แหล่งกำเนิด	Source fingerprint
<b>ธรรมชาติ</b>	
- Soil	Al, Si, Ti, Fe, Sr, Ca, OC
- Sea spray	Na, Cl
- Secondary aerosol	$\text{NH}_4^+$ , Na, $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , OC
<b>มนุษย์</b>	
- Road dust	Al, Si, Ti, Fe, Sr, Ca, K, OC, EC
- Diesel vehicles	EC, OC, $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , Cu, Fe, Zn
- Gasoline vehicles	OC, EC, Ca
- Refuse incineration	K, Zn, Pb, EC, OC
- Cement industry	Ca, Si, Al, Fe
- Biomass burning	OC, EC, K, $\text{Cl}^-$ , $\text{NH}_4^+$
- Ferrous industry	Fe, Cr, Zn
- Non ferrous industry	Zn, Cu, Pb, Al

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาแต่ละพื้นที่ที่จะมีความแตกต่างทางด้านภูมิประเทศ จึงทำให้สภาพภูมิอากาศมีความแตกต่างกันด้วย ดังนั้น การกำหนดหรือระบุ source fingerprint ของแหล่งที่มาของมลพิษของแบบจำลอง PMF จึงแตกต่างกัน แม้จะมีแหล่งกำเนิดที่เหมือนกัน ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 Source profile และ Source fingerprint ของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> แต่ละการศึกษา

อ้างอิง	สถานที่	จำนวนตัวอย่าง	กระดวยกรงที่ใช้	Source profiles (%)	Source fingerprint
<b>พื้นที่เขตเมือง</b>					
Wimolwat tanapum et al. (2011)	จังหวัดปทุมธานี และ กรุงเทพมหานคร	- จังหวัดปทุมธานี 425 ตัวอย่าง - กรุงเทพมหานคร 508 ตัวอย่าง	- Polycarbonate (วิเคราะห์ธาตุและ Black carbon)	<b>กรุงเทพมหานคร</b> 1. Zn rich (4%) 2. Traffic (33%) 3. Biomass burning (20%) 4. Secondary sulfate (10%) 5. Soil (10%) 6. Aged sea salt (23%) <b>ปทุมธานี</b> 1. Soil (7%) 2. Aged sea salt (1%) 3. Traffic (43%) 4. Biomass burning (32%) 5. Secondary sulfate (16%)	<b>กรุงเทพมหานคร</b> 1. Zn BC Fe Pb Mn Mg Ca Si 2. BC S Ca Si Fe 3. K BC S 4. S As Pb Si Ca P Zn 5. Al Ca Fe K Mg Si Ti 6. Na S Cl BC <b>ปทุมธานี</b> 1. Al Ca Fe K Mg Si Ti 2. Na S Cl BC 3. BC S Ca Si Fe 4. K BC S 5. S As Pb Si Ca P Zn
Han et al. (2017)	เมือง Baton Rouge รัฐ Louisiana ประเทศสหรัฐอเมริกา	656 ตัวอย่าง	- Teflon (วิเคราะห์ธาตุ) - Quartz (วิเคราะห์ OC และ EC) - Nylon (วิเคราะห์สารไอออนิก)	1. Secondary sulfate (38%) 2. Industry (19%) 3. Crustal dust (6%) 4. Traffic emission (11%) 5. Road dust (4%) 6. Sea salt (4%) 7. Secondary nitrate (18%)	1. S SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 2. Sr Pb Mg V Cu Ni Cr 3. Si Al As Fe Ca 4. Zn Ca EC Fe OC Br 5. Cr As Al Ni 6. Na Cl SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 7. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Choi et al. (2013)	เมือง Incheon ประเทศเกาหลีใต้	365 ตัวอย่าง	- Teflon (วิเคราะห์ธาตุ) - Quartz (วิเคราะห์ OC/EC และ	1. Combustion + Cu related (6%) 2. Soil (6%) 3. Industry (sea port) (9%) 4. Motor vehicle (15%) 5. Biomass burning (6%) 6. Motor vehicle 2 (8%)	1. Ni V Se As 2. Mg Al Si Ca Fe 3. Na <sup>+</sup> Ca Cr Fe 4. OC EC NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Ca Fe Zn Pb 5. OC K <sup>+</sup> Na <sup>+</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Cl <sup>-</sup> 6. OC EC NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Ca Fe Zn Pb 7. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> OC

ตารางที่ 2.7 Source profile และ Source fingerprint ของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> แต่ละการศึกษา (ต่อ)

อ้างอิง	สถานที่	จำนวน ตัวอย่าง	กระดาษ กรองที่ใช้	Source profiles (%)	Source fingerprint
<b>พื้นที่เขตเมือง</b>					
Choi et al. (2013) (ต่อ)	เมือง Incheon ประเทศเกาหลีใต้	365 ตัวอย่าง	สาร ไอ อ อ นิก)	7. Secondary nitrate (25%) 8. Sea salt (6%) 9. Secondary sulfate (19%)	8. Na <sup>+</sup> Cl <sup>-</sup> 9. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Landis et al. (2017)	เมือง Fort McKay รัฐ Alberta ประเทศแคนาดา	100 ตัวอย่าง	- Teflon (วิเคราะห์ ธาตุและสาร ไอออนิก)	1. Fugitive dust (17%) 2. Lead factor (6%) 3. Oil combustion (21%) 4. Biomass burning (27%) 5. Road salt (3%) 6. Unexplained (26%)	1. Al Ca Ce Fe La Nb Nd Si Ti 2. Pb As Cs Zn Cd 3. SO <sub>2</sub> S Mo V Ni 4. As Cd K Rb Zn NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 5. Na Mg Cl 6. -
Murillo et al. (2012)	เมือง Salamanca รัฐ Guanajuato ประเทศเม็กซิโก	183 ตัวอย่าง	- Teflon (วิเคราะห์ ธาตุ) - Quartz (วิเคราะห์ OC/EC และ สาร ไอ อ อ นิก)	1. Vehicle exhaust (14%) 2. Crustal soil (20%) 3. Secondary aerosol (12%) 4. Brick rudimentary manufacture (27%) 5. Heavy fuel combustion (14%) 6. Secondary organic compound (6%)	1. EC OC SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 2. Al Ca Fe Si 3. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> OC 4. Al Si Ca Fe Zn OC EC SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 5. Ni OC EC V SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 6. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> OC
Lestari and Mauliadi (2009)	เมือง Bandung ประเทศ อินโดนีเซีย	367 ตัวอย่าง	- Teflon (วิเคราะห์ ธาตุและ Black carbon) - Quartz (วิเคราะห์ สาร ไอ อ อ นิก)	<b>ฤดูแล้งของ PM<sub>2.5</sub></b> 1. Diesel vehicle (12%) 2. Biomass burning (16%) 3. Gasoline vehicle (3%) 4. Aged sea salt (13%) 5. Electroplating industry (24%) 6. Motorcycle (7%) 7. Secondary aerosol (25%) <b>ฤดูฝนของ PM<sub>2.5</sub></b> 1. Lime dust (10%) 2. Gasoline vehicle (9%) 3. Biomass burning (13%) 4. Industry (6%) 5. Motorcycle (9%) 6. (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (14%) 7. Secondary aerosol (12%) 8. Diesel vehicle (17%) 9. Soil dust (10%)	<b>ฤดูแล้งของ PM<sub>2.5</sub></b> 1. BC SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 2. BC K 3. Pb 4. Na SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 5. Al Cr 6. BC Cl Mg Ca 7. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <b>ฤดูฝนของ PM<sub>2.5</sub></b> 1. Ca Si K Fe 2. BC Zn Pb 3. BC K 4. Fe Zn 5. BC Cl Ca 6. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 7. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 8. BC SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Fe Zn 9. Al Ca Fe Si K

ตารางที่ 2.7 Source profile และ Source fingerprint ของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> แต่ละการศึกษา (ต่อ)

อ้างอิง	สถานที่	จำนวน ตัวอย่าง	กระดาษ กรองที่ใช้	Source profiles	Source fingerprint
<b>พื้นที่เขตอุตสาหกรรม</b>					
Mansha et al. (2012)	เมือง Karachi ประเทศปากีสถาน	402 ตัวอย่าง	- Teflon (วิเคราะห์ธาตุและสารไอออนิก)	1. Road dust (16%) 2. Steel industry (13%) 3. Vehicles (19%) 4. Secondary aerosols (12%) 5. Vehicular/ Industrial oil burning (40%)	1. Al Ca K 2. Co Cr Fe Mo Ni Sn 3. Cd Pb Sb Zn Ba 4. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 5. V As Sr Ba
Orogade et al. (2016)	เมือง Kaduna ประเทศไนจีเรีย	278 ตัวอย่าง	- Polycarbonate	1. Residual oil (49%) 2. Soil (29%) 3. Continental dust (18%) 4. Vehicular emission/motor vehicles (4%)	1. Na K V Ni Cu Zn As Br Pb BC 2. Na Mg Al Si K Ca Ti Mn Fe 3. Na Mg Al Si K Ca Ti Mn Fe Cu Zn Br Sr 4. Na S Cl V Zn Cu As Br Rb Pb BC
Murillo et al. (2013)	เมือง Belen ประเทศคอสตาริกา	65 ตัวอย่าง	- Quartz (วิเคราะห์ธาตุ OC/EC และสารไอออนิก)	1. Vehicle emission (8%) 2. Residual oil combustion (12%) 3. Sea salt (6%) 4. Crustal dust (10%) 5. Secondary organic aerosol (27%) 6. Secondary sulfate (16%) 7. Secondary nitrate (12%) 8. Industrial emission (10%)	1. EC OC SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 2. Ni V 3. Cl <sup>-</sup> Na Mg 4. Al Ca Fe Mg 5. OC SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 6. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> OC 7. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> OC 8. Cu K Pb OC
Geng et al. (2013)	เมือง Zhengzhou ประเทศจีน	52 ตัวอย่าง	- Quartz (วิเคราะห์ธาตุ OC/EC)	1. Industry (4%) 2. Soil dust (26%) 3. Secondary aerosol (24%) 4. Biomass combustion/ oil combustion/ incineration (13%) 5. Vehicle (10%) 6. Coal combustion (23%)	1. Ni Pb Cr 2. Mg Al Ca Fe Sr Ba 3. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 4. EC Cl <sup>-</sup> K <sup>+</sup> Na <sup>+</sup> Ni V Mn 5. Zn Pb EC Cu Cd 6. Cl <sup>-</sup> OC NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Cd Se As Cu
Cesari et al. (2014)	เมือง Brindisi ประเทศอิตาลี	100 ตัวอย่าง	- Quartz (วิเคราะห์ธาตุ) - Teflon	1. Oil combustion (15%) 2. Crustal contribution (16%)	1. V Ni C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 2. Al Fe Mn 3. K <sup>+</sup> 4. Cu Pb WSOC

ตารางที่ 2.7 Source profile และ Source fingerprint ของฝุ่น PM<sub>2.5</sub> แต่ละการศึกษา (ต่อ)

อ้างอิง	สถานที่	จำนวนตัวอย่าง	กระดาษกรองที่ใช้	Source profiles	Source fingerprint
พื้นที่เขตอุตสาหกรรม					
Cesari et al. (2014) (ต่อ)			(วิเคราะห์สารไอออนิก)	3. Biomass combustion (12%) 4. Vehicular traffic emission (16.4%) 5. Industrial contribution 2 (0.4%) 6. Sea spray (3%) 7. Secondary ammonium sulfate (27%) 8. Crustal carbonate (8%)	5. Sb Cr 6. Cl <sup>-</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Na <sup>+</sup> Mg <sup>2+</sup> 7. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 8. WSIC Ca <sup>2+</sup> Mg <sup>2+</sup>
Ledoux et al. (2017)	เมือง Saint-Omer ประเทศฝรั่งเศส	103 ตัวอย่าง	- Cellulose (วิเคราะห์ธาตุและสารไอออนิก) - Quartz (วิเคราะห์ Total carbon)	1. Sea salt (1%) 2. Heavy fuel oil combustion (2%) 3. Aged sea salts (3%) 4. Combustion 2 (19%) 5. Crustal dust (0.26%) 6. Traffic emission (0.18%) 7. Secondary sulfate (18%) 8. Glassmaking (0.03%) 9. Secondary nitrate (56%) 10. Intergrated steel work distance source (0.16%)	1. Na Cl <sup>-</sup> 2. Ni V SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> TC NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Ca K Fe Sb 3. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> Na Mg Ca SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Cl <sup>-</sup> K Sr 4. TC NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> K Cl <sup>-</sup> Ca Fe 5. Cl Ca Fe Ti Ba 6. Zn Pb Fe Al Ca Sb Mn 7. SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 8. Sn Cu Pb Zn Ca Sb Cr As Ba Cd SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 9. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> TC 10. Fe Mg Ca Pb Mn SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> Ni V

โดยในแต่ละการศึกษาจะแตกต่างกัน ทั้งในเรื่องเทคนิคการเก็บตัวอย่าง การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ระยะเวลาการเก็บตัวอย่างและจำนวนตัวอย่าง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เพียงพอต่อการประมวลผลของแบบจำลอง PMF ซึ่งจากตารางที่ 2.7 จะเห็นได้ว่า มีงานวิจัยบางพื้นที่ ที่มีจำนวนตัวอย่างน้อยกว่า 100 ตัวอย่าง ซึ่งเป็นจำนวนตัวอย่างที่ไม่เหมาะสมสำหรับการประมวลผลของแบบจำลอง PMF แต่ผลการศึกษาที่ได้ ก็เป็นที่ยอมรับ ทั้งนี้รายละเอียดการศึกษา แบ่งเป็น 2 เขตพื้นที่ที่ตรวจวัด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



#### 2.4.1 การใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษในพื้นที่บริเวณเขตเมือง

Sharma et al. (2016) คุณลักษณะทางเคมีและการจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง ในเขตกลางเมืองกรุงนิวเดลี ประเทศอินเดีย ได้ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองเล็กกว่า 10 ไมครอนที่ CSIR-National Physical Laboratory เมืองกรุงนิวเดลี เก็บต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เดือนมกราคม 2013-มิถุนายน 2014 รวม 1 ปี 6 เดือน โดยใช้เครื่อง Fine Particulate Sampler อัตราการดูดอากาศ 1 ลบ.ม./ชั่วโมง หรือ 16.7 ลิตร/นาที และใช้กระดวยกรองควอตซ์ขนาด 47 มม. ซึ่งเครื่องเก็บตัวอย่างตั้งอยู่สูงจากพื้นประมาณ 10 เมตร ได้ตัวอย่างทั้งหมด 86 ตัวอย่าง (เก็บตัวอย่างได้ 5-6 ตัวอย่างต่อเดือน) โดยตัวอย่างที่เป็นโลหะจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Wavelength Dispersive X-ray fluorescence spectrometer ส่วนตัวอย่างที่เป็นไอออนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IC จากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  ตั้งแต่เดือนมกราคม 2013-มิถุนายน 2014 เท่ากับ  $249.7 \pm 103.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  โดยถ้าแบ่งตามฤดูกาลจะได้ ฤดูหนาวเท่ากับ  $293.89 \pm 95.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฤดูร้อนเท่ากับ  $228.45 \pm 78.86 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และฤดูมรสุมเท่ากับ  $143.86 \pm 36.27 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อป้อนข้อมูลเข้าในแบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF พบว่ามีแหล่งกำเนิด 7 แหล่ง ได้แก่ Fossil fuel combustion, Soil dust, Industrial combustion, Biomass burning, Vehicle emissions, Secondary aerosol และ Aged sea salt

Gugamsetty et al. (2012) การศึกษาลักษณะและสัดส่วนของการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน 2.5 ไมครอนและ 0.1 ไมครอน โดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ Positive Matrix Factorization model ได้ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างที่สถานีตรวจวัด Shinjung ซึ่งตั้งอยู่ที่มหาวิทยาลัย Fu Jen Catholic ในเมืองไทเป ประเทศไต้หวัน โดยใช้ Cascade impactors และ Dichotomous sampler ซึ่งใช้อัตราการดูดอากาศ 30 และ 16.7 l/min ตามลำดับ เก็บต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2011-พฤศจิกายน 2011 รวม 6 เดือน ได้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 18 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่เป็นโลหะจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS ส่วนตัวอย่างที่เป็นไอออนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IC จากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{0.1}$  เท่ากับ  $39.45 \pm 11.58$ ,  $21.82 \pm 7.50$  และ  $1.42 \pm 0.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ตามลำดับ และเมื่อป้อนข้อมูลเข้าในแบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF พบว่ามีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Soil dust, Vehicle emission, Sea salt, Industrial emission และ Secondary aerosols

Gu et al. (2011) การจำแนกแหล่งฝุ่นละอองในบรรยากาศทั่วไป: การเปรียบเทียบการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF ระหว่างการกระจายของขนาดฝุ่นละอองกับองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง ได้ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 4 จุด ในเมือง Augsburg ประเทศเยอรมันนี ดังนี้ จุดที่ 1 คือ Bavarian Environment Agency (เป็นจุดที่อยู่นอกเมือง ซึ่งห่างจากจุดที่ 2 ทางทิศใต้ประมาณ 4 กิโลเมตร) จุดที่ 2 Koenigsplatz ซึ่งเป็นจุดที่เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก 10 ไมครอนเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (เป็นจุดที่อยู่ใจกลางเมืองและมีการจราจรหนาแน่น) จุดที่ 3



Bourgesplatz (เป็นจุดที่อยู่ในเมือง โดยห่างจากจุดที่ 2 ทางทิศเหนือประมาณ 1.5 กิโลเมตร) และจุดที่ 4 University of Applied Sciences (เป็นจุดที่ห่างจากจุดที่ 2 ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 1 กิโลเมตร) เก็บต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ในฤดูหนาวระหว่างปี 2006/2007 โดยใช้เครื่อง High Volume Sampler อัตราการดูดอากาศ 500 ลิตร/นาทีก และใช้กระดาษกรองควอทซ์ขนาด 47 มม. ได้ตัวอย่างทั้งหมด 93 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่เป็นโลหะจะถูกระดมด้วยเครื่อง ICP-MS ส่วนตัวอย่างที่เป็นไอออนจะถูกระดมด้วยเครื่อง IC และตัวอย่างที่เป็นกลุ่มธาตุคาร์บอนและกลุ่มอินทรีย์คาร์บอนจะถูกระดมด้วยเครื่อง Direct thermal desorption gas chromatography-time-of flight mass spectrometry จากการศึกษาการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษของการวิเคราะห์ห้องปฏิบัติการเฉพาะในจุดที่ 2 พบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{10}$  เท่ากับ  $37.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อป้อนข้อมูลเข้าในแบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF พบว่า มีแหล่งกำเนิด 6 แหล่ง ได้แก่ de-icing agent, Secondary sulfate, Residential and commercial combustion, Secondary nitrate, Traffic emission และ Re-suspended dust

Wimolwattanapun et al. (2011) การจำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษของฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน และฝุ่นขนาด 2.5-10 ไมครอน ในเขตพื้นที่อยู่อาศัย ในเมืองกรุงเทพฯและเขตปริมณฑล ได้ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างในเขตพื้นที่อยู่อาศัย ในเขตจตุจักร กรุงเทพฯและเขตปริมณฑล และเขตพื้นที่ชานเมือง ในตำบลคลองห้า อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี เก็บต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยการเก็บตัวอย่าง 2 วันต่อสัปดาห์ (วันพุธและวันอาทิตย์) ตั้งแต่ปี 2003-2007 รวม 4 ปี โดยใช้เครื่อง Two Gent Stacked Filter Units อัตราการดูดอากาศ 16 ลิตร/นาทีก และใช้กระดาษกรอง Polycarbonate ขนาด 47 มม. ซึ่งเครื่องที่ใช้เก็บตัวอย่างจะถูกตั้งไว้บนหลังสูง 3 เมตร ได้ตัวอย่างทั้งหมด 933 ตัวอย่าง แบ่งเป็น ตัวอย่างฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน 508 ตัวอย่าง และฝุ่นขนาดเล็กระหว่าง 2.5 – 10 ไมครอน 425 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่เป็นโลหะจะถูกระดมด้วยเครื่อง Instrumental Neutron Activation Analysis (INAA) และเครื่อง Particle Induced X-ray Emission (PIXE) รวมธาตุที่ทำการศึกษาวิเคราะห์ 28 ธาตุ ส่วนการวิเคราะห์ Black Carbon จะวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Smoke Stain Reflectometer จากการศึกษาพบว่า  $PM_{2.5}$  ในเขตพื้นที่อยู่อาศัย ในเขตจตุจักร มีแหล่งกำเนิด 6 แหล่ง ได้แก่ Zinc rich, Traffic, Biomass burning, Secondary Sulfate, Soil และ Aged sea salt ส่วน  $PM_{2.5-10}$  มีแหล่งกำเนิด 4 แหล่ง ได้แก่ Soil, Road dust, Sea salt และ Construction/Soil และในเขตพื้นที่ชานเมือง ในตำบลคลองห้า พบว่า  $PM_{2.5}$  มีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Soil, Aged sea salt, Traffic, Biomass burning และ Secondary sulfate ส่วน  $PM_{2.5-10}$  มีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Construction soil, Soil, Road dust, Aged sea salt และ Sea salt

Lestari and Mauliadi (2009) การจำแนกแหล่งกำเนิดของฝุ่นละออง ในเขตเมืองผสม ประเทศอินโดนีเซียโดยการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF ได้ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างที่

อาคาร เมือง Bandung ประเทศอินโดนีเซีย เก็บต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างตั้งแต่ปี 2001-2007 รวม 6 ปี โดยใช้เครื่อง Dichotomous samplers และ Mini-volume samplers โดยตัวอย่างจากเครื่อง Dichotomous sampler จะถูกนำมาวิเคราะห์ Black carbon และ ธาตุ ส่วนตัวอย่างจาก Mini-volume sampler จะถูกนำมาวิเคราะห์ไอออนและเครื่องที่ใช้เก็บตัวอย่างจะถูกตั้งเก็บไว้บนหลังคาสูง 3 เมตรและรวมกับความสูงของเครื่อง 1.5 เมตร จะได้ความสูงที่อยู่สูงจากพื้นทั้งหมด 4.5 เมตร ได้ตัวอย่างทั้งหมด 367 ตัวอย่าง ซึ่งในการศึกษาได้แบ่งเป็น 2 ฤดู คือ ฤดูแล้ง และฤดูฝน จากการศึกษาพบว่า ฤดูแล้งมีค่าความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  เท่ากับ  $48 \pm 11 \mu g/m^3$  และ  $19 \pm 6 \mu g/m^3$  ตามลำดับ ส่วนฤดูฝนมีค่าความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  เท่ากับ  $39 \pm 10 \mu g/m^3$  และ  $16 \pm 4 \mu g/m^3$  ตามลำดับ และเมื่อป้อนข้อมูลเข้าในแบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF พบว่า ในฤดูฝนของ  $PM_{2.5}$  มีแหล่งกำเนิด 9 แหล่ง ได้แก่ Soil dust, Secondary aerosol, Lime dust, Gasoline vehicle, Biomass burning, Industry, Motorcycle,  $NH_4SO_4$  และ Diesel vehicle และของ  $PM_{10}$  มีแหล่งกำเนิด 6 แหล่ง ได้แก่ Soil dust, Industry, Sulphate-rich industry, Volcanic dust, Lime dust และ Construction dust ส่วนในฤดูแล้งของ  $PM_{2.5}$  มีแหล่งกำเนิด 7 แหล่ง ได้แก่ Diesel vehicle, Biomass burning, Gasoline vehicle, Aged sea salt, Electroplating industry, Motorcycle และ Secondary aerosol และของ  $PM_{10}$  มีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Soil dust, Lime dust, Aged sea salt, Electroplating industry และ Sulphate-rich industry

#### 2.4.2 การใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษในพื้นที่บริเวณเขตอุตสาหกรรม

Alleman et al. (2010) ความเข้มข้นของโลหะใน  $PM_{10}$  และการจำแนกแหล่งกำเนิด โดยการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษในเขตอุตสาหกรรมประเทศฝรั่งเศส ได้ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างที่เขตอุตสาหกรรมท่าเรือ เมือง Dunkirk ซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมที่ใหญ่ที่สุดในประเทศฝรั่งเศส เก็บต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างตั้งแต่ มิถุนายน 2003 - มีนาคม 2005 รวมประมาณ 1 ปี 9 เดือน โดยใช้เครื่อง Partisol อัตราการดูดอากาศ 10 ลิตร/นาที และใช้กระดาษกรอง Teflon ขนาด 47 มม. ซึ่งเครื่องที่ใช้เก็บตั้งอยู่บนหลังคาโรงเรียนประถมศึกษา สูงจากพื้นประมาณ 6 เมตร และห่างจากเขตอุตสาหกรรมหลักประมาณ 2 กิโลเมตร ได้ตัวอย่างทั้งหมด 108 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่เป็นโลหะจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS, ICP-MS-DRC และ ICP-AES ส่วนตัวอย่างที่เป็นไอออนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IC รวมธาตุที่ทำการวิเคราะห์ 35 ธาตุ จากการศึกษาพบว่า เมื่อป้อนข้อมูลเข้าในแบบจำลองการรับสัมผัส PMF พบว่า  $PM_{10}$  มีแหล่งกำเนิด 8 แหล่ง ได้แก่ Crustal dust, Marine aerosols, Petrochemistry, Metallurgical sintering plant, Metallurgical coke plant, Ferromanganese plant, Road transport และ Re-suspension dust

Mansha et al. (2012) คุณลักษณะและการจำแนกแหล่งกำเนิด  $PM_{2.5}$  ในเมือง Karachi ได้ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างที่สำนักงานใหญ่ Space and Upper Atmosphere

Research Commission เมือง Karachi ประเทศปากีสถาน ซึ่งเป็นเมืองที่มีฐานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงผลิตกระแสไฟฟ้า โรงผลิตเหล็กกล้า โรงปูนซีเมนต์ โรงกลั่นน้ำมัน โรงผลิตเส้นใยผ้า อุตสาหกรรมปิโตรเลียมและโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กต่าง ๆ โดยจะเก็บตัวอย่าง 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (ขึ้นอยู่กับความสะดวกของผู้เก็บตัวอย่าง) เก็บต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 16 มกราคม 2006 - 30 มกราคม 2008 รวมประมาณ 2 ปี โดยใช้เครื่อง Reference Ambient Air Sampler และให้เครื่องที่ใช้เก็บตัวอย่างนี้ สูงจากพื้นประมาณ 2 เมตร ซึ่งเป็นความสูงที่ใกล้เคียงกับระดับหายใจของคนที่เดินตามถนน ได้จำนวนตัวอย่างทั้งหมด 402 ตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่เป็นโลหะจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS ส่วนตัวอย่างที่เป็นไอออนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IC จากการศึกษาพบว่า ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ  $PM_{2.5}$  ตั้งแต่เดือนมกราคม 2006- มกราคม 2008 เท่ากับ  $83.53 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ถ้าแบ่งตามฤดูกาลจะได้ ฤดูฝนเท่ากับ  $98.44 \pm 11.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฤดูร้อนเท่ากับ  $55.89 \pm 10.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ฤดูมรสุมเท่ากับ  $46.476 \pm 4.94 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และฤดูหลังมรสุมเท่ากับ  $116.976 \pm 50.74 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และเมื่อป้อนข้อมูลเข้าในแบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF พบว่า มีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Soil/road dust, Industrial emission (iron and steel industry or ferrous smelters), Vehicular emission, Secondary aerosol และ Vehicular/ Industrial oil burning

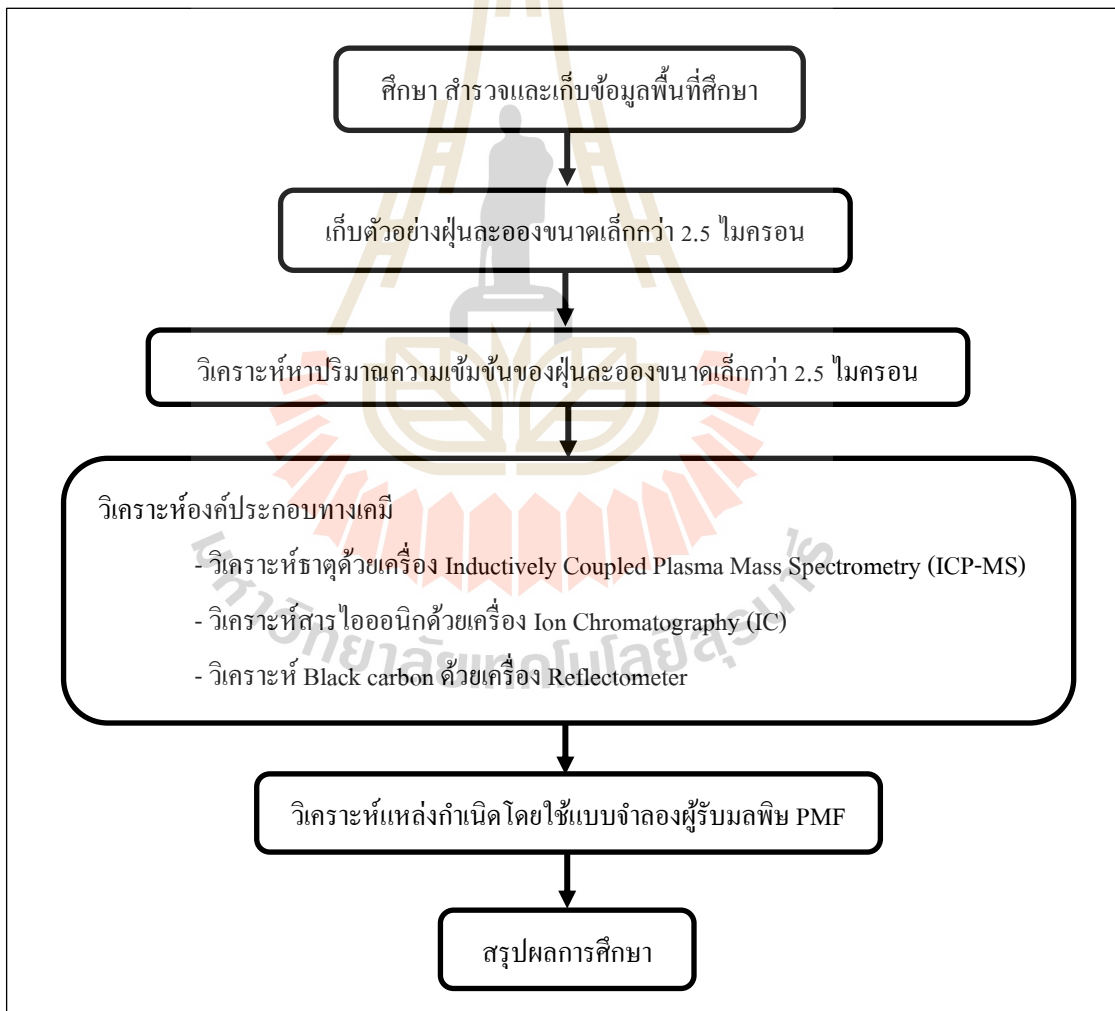
Farao et al. (2014) แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม: การเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองผู้รับสัมผัสมลพิษกับการคำนวณแบบ semiempirical ของการจำแนกแหล่งกำเนิด ได้ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างที่เขตอุตสาหกรรม เมือง Ferrara ประเทศอิตาลี 3 จุด เก็บต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง โดยการเก็บตัวอย่างแบ่งเป็นช่วงเวลาดังนี้ เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2011 เดือนมิถุนายน 2011 เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ 2012 และเดือนพฤษภาคม-มิถุนายน 2012 โดยใช้กระดาษกรอง Teflon ขนาด 47 มม.กับเครื่อง SWAM 5A Dual Channel Monitor เพื่อวิเคราะห์หาธาตุและสารอนินทรีย์ไอออน และใช้กระดาษกรองควอทซ์ กับเครื่อง HYDRA Dual Sampler เพื่อวิเคราะห์หาธาตุคาร์บอน และอินทรีย์คาร์บอน ได้ตัวอย่างทั้งหมด 720 ตัวอย่าง แบ่งเป็น  $PM_{2.5}$  และ  $PM_{10}$  360 ตัวอย่าง ตามลำดับ โดยตัวอย่างที่เป็นโลหะจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP-MS และ ICP-OES ส่วนตัวอย่างที่เป็นไอออนจะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง IC และธาตุอื่น ๆ จะถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง EPD-XRF จากการศึกษาพบว่า เมื่อป้อนข้อมูลเข้าในแบบจำลองการรับสัมผัส PMF พบว่า  $PM_{10}$  มีแหล่งกำเนิด 6 แหล่ง ได้แก่ Crustal matter, Marine aerosol, Industry, Secondary/oil combustion, Secondary nitrate/biomass burning/exhaust particles และ Brake/tyre wear/re-suspended road dust ส่วน  $PM_{2.5}$  พบว่า มีแหล่งกำเนิด 7 แหล่ง ได้แก่ Crustal matter, Marine aerosol, Industry, Secondary nitrate, Biomass burning, Other secondary components และ Secondary sulphate/oil combustion

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่ก่อให้เกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ที่อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้รับสัมผัสที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ศึกษา โดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

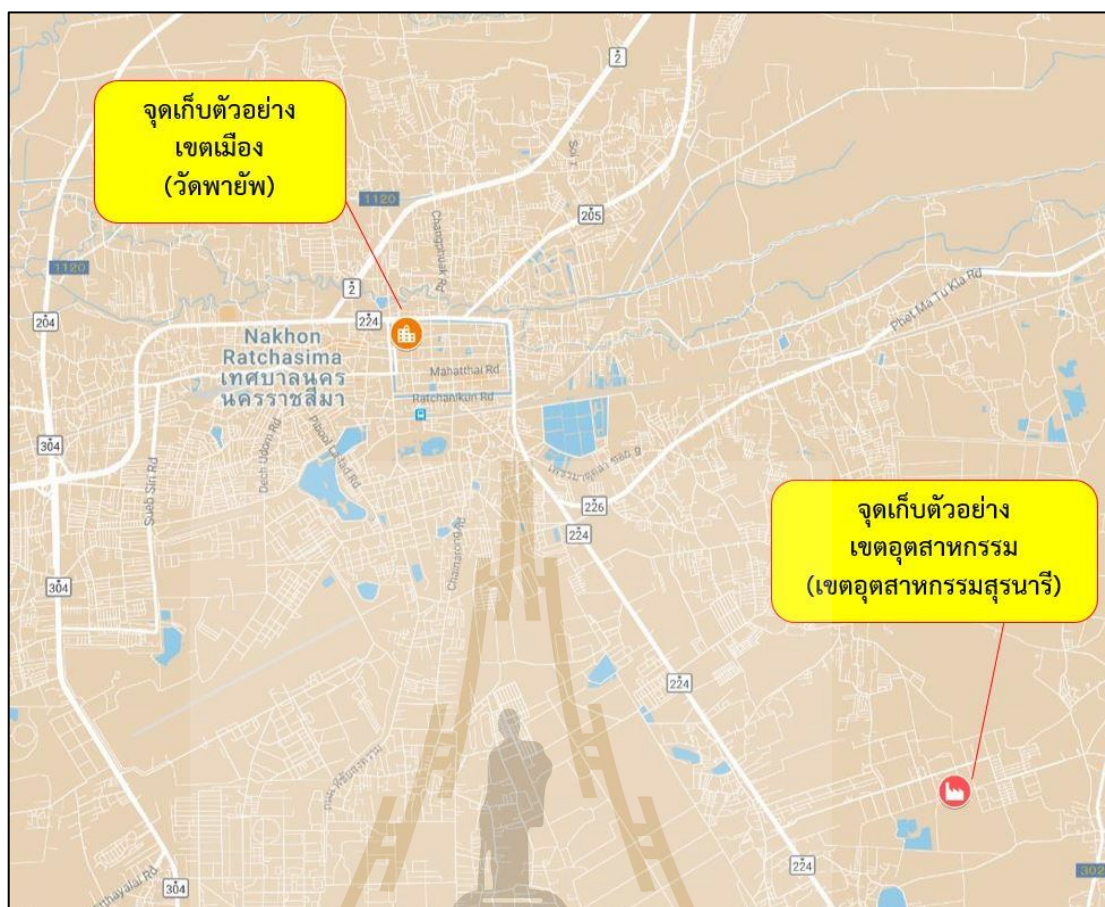
### 3.2 พื้นที่ศึกษา

เกณฑ์ในการเลือกพื้นที่เก็บตัวอย่างเพื่อเป็นตัวแทนของเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมจะพิจารณากิจกรรมที่เกิดขึ้นในพื้นที่ โดยในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมาจะมีการคมนาคมที่หนาแน่นเนื่องจากมีหน่วยงานราชการที่เป็นศูนย์กลางและยังมีสถานที่ท่องเที่ยว เช่น อนุสาวรีย์ย่าโม วัดศาลาลอย ห้างสรรพสินค้า The mall โคราช ห้างสรรพสินค้า Terminal 21 นอกจากนี้ยังมีตลาดที่ประชาชนมาใช้บริการอีกจำนวนมาก ได้แก่ ตลาด 100 ปี เมืองย่า ตลาดใหม่แม่กิมเฮง ตลาดสดเพชรสีมา ตลาดผ้าสามัคคี ตลาดไนท์บาร์ซ่า ตลาดหัวรถไฟ ตลาดประตู่ผี ตลาดย่าโม ตลาดสุรนคร และนอกจากนั้น ยังมีพื้นที่ก่อสร้าง ได้แก่ ห้องสมุดประชาชนของเทศบาลนครราชสีมา โรงพยาบาลมหาราช และมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และบริเวณรอบเขตเมืองนครราชสีมา มี 2 เขตอุตสาหกรรมตั้งอยู่ ได้แก่ เขตส่งเสริมอุตสาหกรรมนวนคร นครราชสีมาและเขตอุตสาหกรรมสุรนารี และมีโรงงานที่ไม่ได้ตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรมดังกล่าว อยู่โดยรอบเขตเมืองด้วยเช่นกัน

ส่วนเขตอุตสาหกรรม จะมีโรงงานอุตสาหกรรม และเมื่อจำแนกตามลักษณะของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปแล้ว ส่วนมากจะเป็นอุตสาหกรรมเบา ซึ่งอุตสาหกรรมเบา ได้แก่ โรงงานผลิตพลาสติก ลิปต์โดยสาร แบตเตอรี่รถยนต์ ผ้าเบรก เจียรไนขพลอย ท่อ PVC หลอมพลาสติก แม่พิมพ์โลหะ เส้นใยสังเคราะห์ พิมพ์ผ้าและกระดาษ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ส่วนอุตสาหกรรมหนัก ได้แก่ โรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหนัก เครื่องจักรโรงงานมันสำปะหลัง หม้อกำเนิดไอน้ำ ส่วนประกอบรถยนต์ ทั้งนี้ในเขตอุตสาหกรรมยังมีชุมชนอาศัยอยู่ภายในและโดยรอบเขตอุตสาหกรรมด้วยและอีกทั้งมีตลาด ได้แก่ ตลาดเอ.เอส. โคราช อุตสาหกรรม ตลาดชุมทรัพย์ย่าโม และตลาดสด ส.สมหมาย จึงทำให้การคมนาคมในเขตอุตสาหกรรมค่อนข้างหนาแน่น และโดยรอบเขตอุตสาหกรรมเป็นพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่ดินทำการเกษตร

การศึกษานี้มีจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (Receptor sites) ในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมของอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา พื้นที่ละ 1 จุด ดังรูปที่ 3.2 โดยพื้นที่เก็บตัวอย่าง เป็นบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์และเก็บตัวอย่างได้สะดวกและห่างจากถนนอย่างน้อย 1.5 เมตร (Alleman et al., 2010) เพื่อเป็นการลดผลกระทบจากความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นจากการจราจรและการติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างทั้ง 2 พื้นที่นี้ ได้กำหนดให้ตั้งอยู่สูงจากพื้นดินประมาณไม่เกิน 6 เมตร (US EPA, 2016)





รูปที่ 3.2 จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 2 จุด

### 3.2.1 พื้นที่เขตเมือง

ในการศึกษานี้ทำการเก็บตัวอย่างที่วัดพ่ายซึ่งเป็นจุดอยู่ใกล้กับสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร ของกรมควบคุมมลพิษที่บริเวณ โรงสูบน้ำเสีย ตรงข้ามโรงเรียนเมืองนครราชสีมา ถนนราชสีมา-โชคชัย ดังรูปที่ 3.3 โดยพื้นที่ดังกล่าวมีบริเวณใกล้เคียงมีที่พักอาศัยหนาแน่น สถานที่ราชการ รวมถึงศูนย์การค้าซึ่งเป็นสถานที่ที่ประชาชนมาใช้บริการ นอกจากนี้ในพื้นที่เขตเมือง ยังมีสถานที่ก่อสร้างในช่วงเวลาการเก็บตัวอย่าง ได้แก่ โรงพยาบาลมหาราชนางสรรพสินค้า Terminal 21 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา และห้องสมุดประชาชน







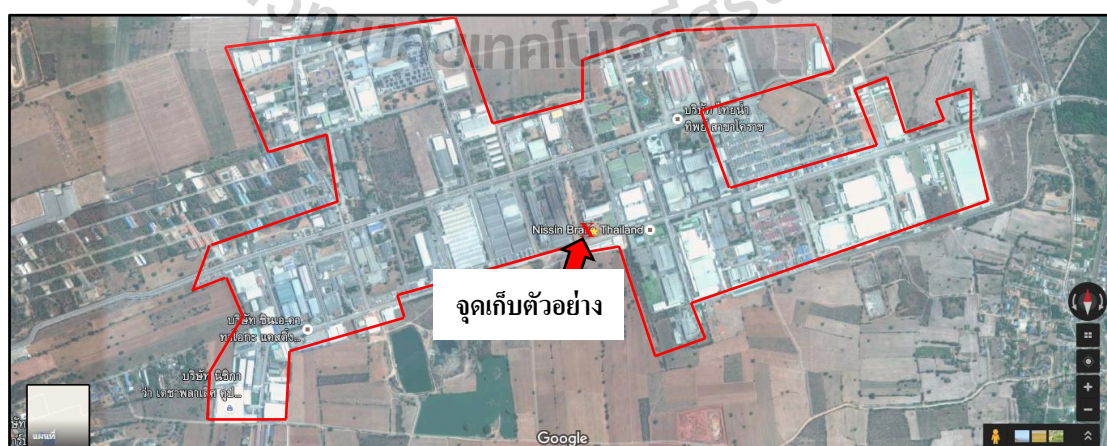
ในการเก็บตัวอย่างได้ทำการตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างบนหลังคาชั้น 2 ซึ่งเมื่อรวมกับความสูงของเครื่องมือแล้วสูงจากพื้นดินประมาณ 5 เมตร และในการเก็บตัวอย่างได้ใช้เครื่องป้องกันไฟฟ้ากระชาก แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตเมือง

### 3.2.2 พื้นที่เขตอุตสาหกรรม

ในการเก็บเขตอุตสาหกรรมนั้น ได้ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณสนามหญ้าด้านหลังหอพักแพนด้าลือดจิ้ง ซึ่งเป็นหอพักเอกชน ที่ตั้งอยู่ภายในเขตอุตสาหกรรมสุนารี โดยบริเวณดังกล่าว เป็นจุดกึ่งกลางของเขตอุตสาหกรรมสุนารีและบริเวณใกล้เคียงมีโรงงานอยู่โดยรอบ แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างเขตอุตสาหกรรม (พิกัด UTM X197678 Y1651488)

ในการเก็บตัวอย่างได้ทำการตั้งนั่งร้านสูงจากพื้นดิน ซึ่งเมื่อรวมกับความสูงของเครื่องมือแล้วสูงจากพื้นดินประมาณ 4 เมตร และในการเก็บตัวอย่างได้ใช้เครื่องป้องกันไฟฟ้ากระชาก แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม

### 3.3 อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้

อุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศและอุปกรณ์เครื่องในห้องปฏิบัติการสำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างฝุ่นละออง

#### 3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ

- 1) กระดาษกรองควอตซ์ขนาด 47 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman™ 1851-047 QM-A Quartz Air-Sampling Filters
- 2) เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ BGI PQ 200 Particulate Sampler จากบริษัท Clean Air Engineering, Inc ดังรูปที่ 3.7 โดยเครื่องมือนี้สามารถตั้งเวลาเริ่มและหยุดเก็บตัวอย่างได้อัตโนมัติ



รูปที่ 3.7 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ BGI PQ 200 Particulate Sampler

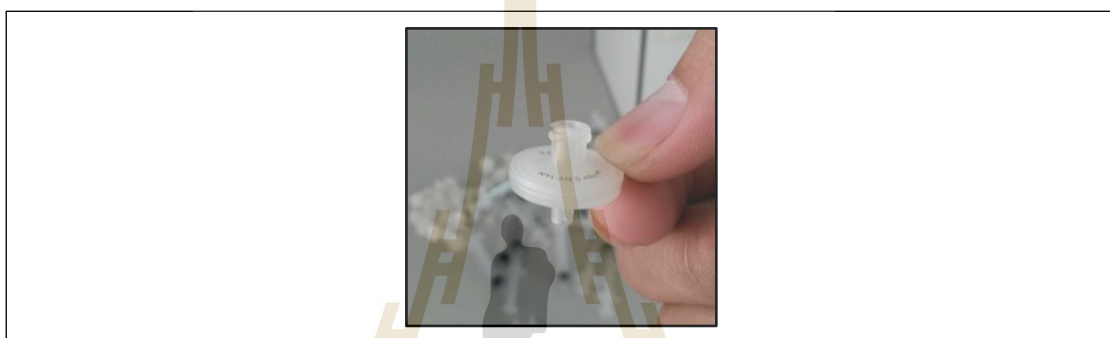
- 3) เครื่องป้องกันไฟกระชากยี่ห้อ Leonic รุ่น TVSS COMPACT TPS-ADSL จากบริษัท ลีโอนิก จำกัด
- 4) อุปกรณ์ตัดกระดาศกรองควอตซ์



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ตัดกระดาศกรอง

### 3.3.2 อุปกรณ์เครื่องในห้องปฏิบัติการสำหรับการวิเคราะห์หาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างฝุ่นละออง

- 1) เครื่องชั่ง ซึ่งมีค่าการอ่านน้ำหนักละเอียดระดับ 1 ไมโครกรัม
- 2) ตู้ดูดความชื้น
- 3) ปากคีบ (Forceps)
- 4) เตาเผา (Incinerator)
- 5) Syringe filters Nylon membrane ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน



รูปที่ 3.9 Syringe filters Nylon membrane

- 6) Plastic centrifuge tube



รูปที่ 3.10 Plastic centrifuge tube



7) เครื่อง Agilent 7700 Series ICP-MS ใช้ในการวิเคราะห์หาชนิดธาตุโลหะที่อยู่ใน  $PM_{2.5}$



รูปที่ 3.11 เครื่อง 3.10 เครื่อง Agilent 7700 Series ICP-MS

8) เครื่อง Dionex ICS-5000 ใช้ในการวิเคราะห์สารไอออนิก



รูปที่ 3.12 เครื่อง Ion Chromatography (IC)

9) เครื่อง Ultrasonic cleaner ใช้สำหรับสกัดฝุ่นละอองออกจากกระดาษกรอง



รูปที่ 3.13 เครื่อง Ultrasonic cleaner

10) เครื่อง EELS M43D Digital Smoke Stain Reflectometer



รูปที่ 3.14 เครื่อง EELS M43D Digital Smoke Stain Reflectometer

### 3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน มีทั้งหมด 29 พารามิเตอร์ ดังตารางที่ 3.1 โดยพารามิเตอร์ทั้งหมดจะอยู่ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ยกเว้น ธาตุ ที่อยู่ในหน่วย นาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) และเมื่อได้ผลการวิเคราะห์ จะนำไปเป็นข้อมูลในการประมวลผลของแบบจำลอง PMF ต่อไป

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด

พารามิเตอร์	เทคนิคการวิเคราะห์
ความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$	การชั่งน้ำหนัก
ไอออนประจุบวก ได้แก่ $\text{NH}_4^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$	Ion Chromatography (IC)
ไอออนประจุลบ ได้แก่ $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Cl}^-$	Ion Chromatography (IC)
ธาตุ ได้แก่ Ag Al As Ba Cd Co Cr Cu Fe Mg Mn Ni Pb Sb Se Sr Ti Tl V และ Zn	Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)
Black Carbon (BC)	Reflectometer

### 3.5 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและหาความเข้มข้นของฝุ่นละออง

ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง เก็บด้วยวิธีการวิเมตริก (Gravimetric method) โดยจะใช้วิธีการเก็บตัวอย่างตาม “Quality Assurance Guidance Document 2.12; Monitoring  $\text{PM}_{2.5}$  in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods” ซึ่งเป็นวิธีเทียบเท่าวิธีมาตรฐานของ US.EPA ซึ่งวิธีมาตรฐานของ US.EPA มีข้อกำหนดใน 40 CFR part 50, Appendix L โดยใน Class I Equivalent Methods จะเป็นวิธีการในการเก็บตัวอย่างที่ไม่แตกต่างจากวิธีการมาตรฐานมาก (US.EPA, 2006) โดยในการศึกษานี้จะใช้กระดวยกรองควอตซ์ขนาด 47 มิลลิเมตร ซึ่งแตกต่างจากวิธีการมาตรฐานเพียงอย่างเดียว เนื่องจากวิธีการมาตรฐานใช้กระดวยกรอง TEFLON และการควบคุมคุณภาพ (QC) คือ การสอบเทียบอัตราการไหลของอากาศ การปรับสภาพกระดวยกรองรวมทั้งการชั่งกระดวยกรอง และการเก็บรักษากระดวยกรอง และก่อนการเก็บตัวอย่างทุกครั้งจะทำการสอบเทียบอัตราการไหลของอากาศด้วยเครื่องปรับเทียบ ซึ่งทั้งหมดล้วนดำเนินการเป็นไปตามวิธีการตามข้อกำหนดใน 40 CFR part 50, Appendix L ทั้งหมด

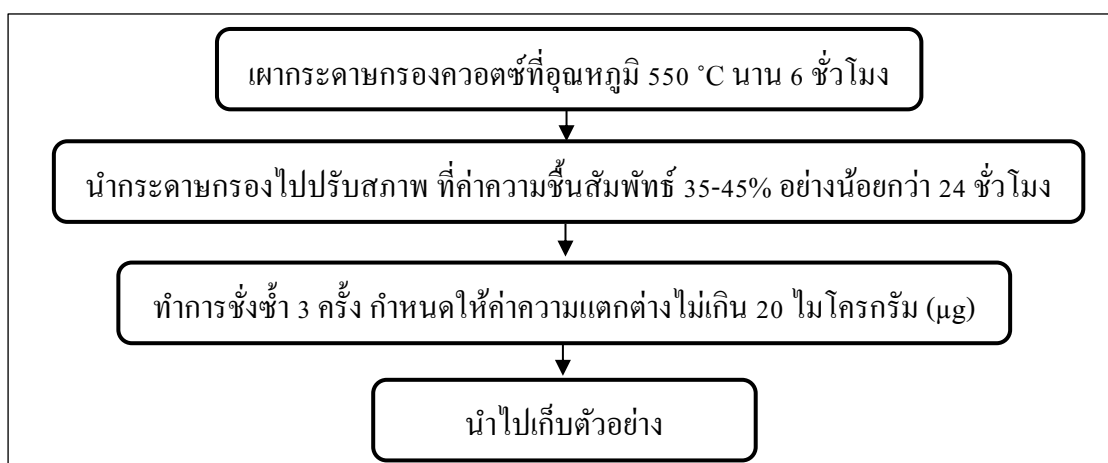
สำหรับพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ เมื่อใช้กระดวยกรองเก็บตัวอย่างอากาศที่ไม่เหมาะสม ซึ่งในการศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่าง  $\text{PM}_{2.5}$  โดยใช้กระดวยกรองควอตซ์ขนาด 47 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman™ 1851-047 QM-A Quartz Air-Sampling Filters โดยจากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า กระดวยกรองควอตซ์มีความเหมาะสมในการตรวจวัดกลุ่มสารคาร์บอนที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น Organic carbon, Elemental carbon, Black carbon และ Total carbon กลุ่มสารไอออนิก อีกทั้งกลุ่มธาตุโลหะ ซึ่งก่อนนำไปใช้เก็บตัวอย่าง ได้นำกระดวยกรอง



ควอตซ์ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ (Chow, 1995) หลังจากนั้น นำกระดาษกรองไปปรับสภาพในตู้ควบคุมความชื้น ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 35-45% ภายในห้องซึ่ง อย่างน้อยกว่า 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง ซึ่งมีค่าการอ่านน้ำหนักละเอียดระดับ 1 ไมโครกรัม โดยทำการชั่งซ้ำ 3 ครั้ง กำหนดให้ค่าความแตกต่างไม่เกิน 20 ไมโครกรัม หลังจากผ่านการชั่งเสร็จแล้ว นำไปเก็บตัวอย่างต่อไป ซึ่งขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3.15

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบชนิดกระดาษกรองในภาวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีของ PM<sub>2.5</sub> ในบรรยากาศ (Chow 1995; Chow and Watson 1998; EMEP, 2002; Pramod et al., 2011)

กระดาษกรอง	ข้อดี	ข้อจำกัด
Quartz fiber	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีประสิทธิภาพในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองสูง</li> <li>- ดูดซับความชื้นได้ต่ำ</li> <li>- เหมาะกับการตรวจวัดกลุ่มสารคาร์บอน สารไอออนิกและธาตุ</li> <li>- ราคาถูก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มี Si เป็นองค์ประกอบ ดังนั้น การวิเคราะห์หาปริมาณ Si อาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้</li> <li>- เปราะ</li> </ul>
Teflon membrane (Zeflour™)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มีประสิทธิภาพในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองสูง</li> <li>- ดูดซับความชื้นได้ต่ำ</li> <li>- เหมาะกับการตรวจวัดธาตุ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มี C เป็นองค์ประกอบ ดังนั้น ไม่เหมาะกับกลุ่มสารคาร์บอน ยกเว้น Black carbon เนื่องจากตรวจวัดด้วยวิธี Reflectometer</li> <li>- ไม่เหมาะกับการตรวจวัด NO<sub>3</sub><sup>-</sup> เพราะจะระเหยออกไปได้</li> <li>- ราคาแพง</li> </ul>
Cellulose membrane	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เหมาะกับการตรวจวัดธาตุ</li> <li>- ราคาถูก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ทนความชื้นได้ไม่ดี</li> </ul>
Nylon membrane	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เหมาะกับการตรวจวัดสารไอออนิก</li> <li>- ราคาถูก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ธาตุและกลุ่มสารคาร์บอน</li> </ul>
Polycarbonate (Nuclepore™)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เหมาะกับการตรวจวัดธาตุ</li> <li>- ราคาถูก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มี C เป็นองค์ประกอบ ดังนั้น ไม่เหมาะกับการวิเคราะห์กลุ่มสารคาร์บอน ยกเว้น Black carbon เนื่องจากตรวจวัดด้วยวิธี Reflectometer</li> <li>- Pressure drop สูง</li> <li>- มีประสิทธิภาพในการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองต่ำ</li> <li>- เกิดไฟฟ้าสถิตได้</li> </ul>



รูปที่ 3.15 แผนภาพการเตรียมกระดาษกรองควอตซ์ก่อนการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub>

หลังจากที่กระดาษกรองที่ผ่านการเก็บตัวอย่างเสร็จแล้ว ต้องนำไปเก็บไว้ในตู้ควบคุมความชื้นภายในห้องชั่งอย่างน้อย 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาชั่งน้ำหนักภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับการชั่งน้ำหนักก่อนทำการเก็บตัวอย่าง โดยค่าความแตกต่างของน้ำหนักกระดาษกรองจะใช้เป็นข้อมูลน้ำหนักของฝุ่นละอองที่เก็บได้ในหน่วย ไมโครกรัม (µg) ซึ่งขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แผนภาพการเตรียมกระดาษกรองควอตซ์หลังการเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PM<sub>2.5</sub>

การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM<sub>2.5</sub> ใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศ BGI PQ 200 Particulate Sampler จากบริษัท Clean Air Engineering, Inc ดังรูปที่ 3.7 จำนวน 2 เครื่อง โดย

นำเครื่องมือไปตั้งไว้จุดละ 1 เครื่อง เพื่อทำการเก็บตัวอย่างพร้อมกัน ซึ่งเครื่องเก็บตัวอย่างนี้สามารถตั้งเวลาเปิด-ปิดอัตโนมัติได้ 24 ชั่วโมง โดยในการเก็บตัวอย่างนี้เป็นแบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ต่อ 1 ตัวอย่าง ดำเนินการตั้งแต่วันที่ 18 พฤศจิกายน 2559 – วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2560 ซึ่งจะตั้งเครื่องมือเพื่อเก็บตัวอย่างเป็นช่วง ช่วงละ 7 วันต่อเนื่อง โดยเริ่มเก็บตัวอย่างตั้งแต่ เวลา 06.00 น. เป็นต้นไป จนถึงเวลา 06.00 น. ของอีกวันถัดไป สาเหตุที่เลือกเวลา 06.00 น. ในการเก็บตัวอย่าง เนื่องจากเวลาดังกล่าวเป็นเวลาที่เกิดกิจกรรมที่ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศน้อย สาเหตุมาจากประชาชนมีการใช้ยานพาหนะน้อย ศูนย์การค้าและสถานที่ราชการยังไม่เปิดบริการ และ โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ยังไม่มีการเดินระบบการผลิต โดยใช้เวลาในการติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างประมาณ 30 นาทีต่อจุด ซึ่งจะทำการเก็บตัวอย่าง ในทุก ๆ 7 วัน เป็นระยะเวลารวมทั้งหมด 3 เดือน ตั้งแต่วันที่ 18 พฤศจิกายน 2559 – กุมภาพันธ์ 2560 ซึ่งเป็นช่วงที่ครอบคลุมทั้งฤดูหนาว โดยช่วงเวลาดังกล่าวจะเป็นช่วงเวลาที่เกิดปัญหามลพิษทางอากาศมากที่สุดของประเทศไทย เมื่อพิจารณาจากจำนวนวันที่มลพิษทางอากาศเกินค่ามาตรฐานต่อเดือน ในแต่ละสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของแต่ละภูมิภาคของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งช่วงต้นปี (มกราคม-เมษายน) และปลายปี (พฤศจิกายน-ธันวาคม) จะเกิดปัญหามลพิษทางอากาศมากที่สุด (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) ซึ่งในการเก็บตัวอย่างทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นตัวแทนฤดูหนาว รวมตลอดระยะเวลาสามารถเก็บตัวอย่างได้ทั้งสิ้น 41 ตัวอย่างต่อจุด รวมตัวอย่างหมด 2 จุด 82 ตัวอย่าง โดยในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งใช้อัตราการดูดอากาศ 16.7 ลิตรต่อ นาที ปริมาตรอากาศ อุณหภูมิเฉลี่ยและความกดอากาศเฉลี่ยจะถูกบันทึกไว้เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  ในบรรยากาศ ดังสมการ (3.1)

$$PM_{2.5} (\mu g/m^3) = \frac{W_f - W_i}{V_{std}} \times 1,000 \quad (3.1)$$

โดยที่	$W_f$	คือ	น้ำหนักกระดาศกรองหลังเก็บตัวอย่าง (g)
	$W_i$	คือ	น้ำหนักกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (g)
	$V_{std}$	คือ	ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน ( $m^3$ )

ทั้งนี้ปริมาตรที่เก็บจะถูกปรับแก้ให้เป็นที่สภาวะมาตรฐาน ที่อุณหภูมิ  $25^\circ C$  (298 K) ความดัน 760 mmHg ดังสมการ (3.2)

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

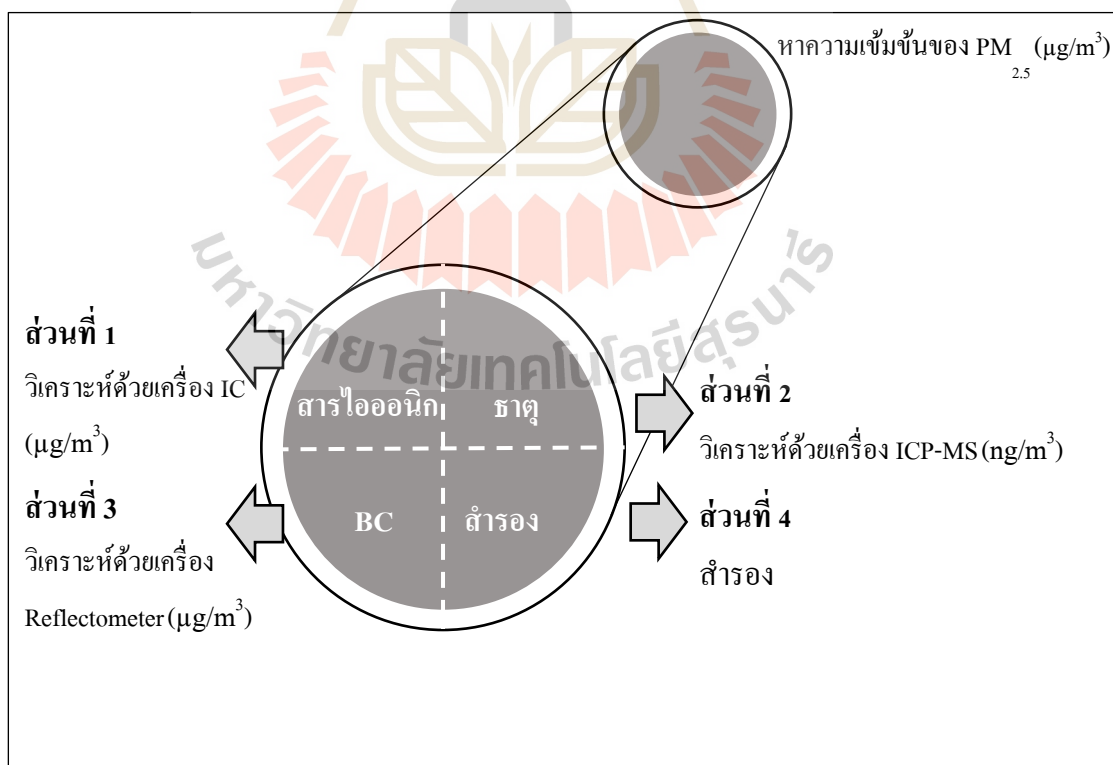
$$\frac{P_T V_T}{T_T} = \frac{P_{std} V_{std}}{T_{std}}$$

$$V_{std} = \frac{P_T \times V_T}{T_T} \times \frac{T_{std}}{P_{std}} \quad (3.2)$$

โดยที่	$V_{std}$	คือ	ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ( $m^3$ )
	$V_T$	คือ	ปริมาตรอากาศที่เก็บ ( $m^3$ )
	$T_{std}$	คือ	อุณหภูมิที่สภาวะมาตรฐาน (298 K)
	$T_T$	คือ	อุณหภูมิเฉลี่ย ณ จุดเก็บ (K)
	$P_T$	คือ	ความดันบรรยากาศ ณ จุดเก็บตัวอย่าง (mmHg)
	$P_{std}$	คือ	ความดันบรรยากาศที่สภาวะมาตรฐาน (760 mmHg)

### 3.6 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมี

หลังจากการหาน้ำหนักของฝุ่นละอองแล้ว กระจายจะถูกนำมาแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 3.17 เพื่อให้มีจำนวนเพียงพอต่อการวิเคราะห์หาค่าประกอบทางเคมี



รูปที่ 3.17 การแบ่งกระจายกรองเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ในการแบ่งกระดาษกรองควอดซ์ จะใช้อุปกรณ์ตัดกระดาษกรองดังรูปที่ 3.8 โดยส่วนที่ 1 จะถูกนำไปวิเคราะห์หาปริมาณสารไอออนิก ส่วนที่ 2 จะไปวิเคราะห์หาธาตุ ส่วนที่ 3 จะถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณ Black Carbon และส่วนที่ 4 จะเป็นตัวอย่างสำรอง ในกรณีที่เกิดการวิเคราะห์คลาดเคลื่อน ซึ่งการวิเคราะห์หึ่งค์ประกอบทางเคมีมีรายละเอียดดังนี้

### 3.6.1 วิเคราะห์หาสารไอออนิก

ในการวิเคราะห์หาสารไอออนิก จะทำการวิเคราะห์แคทไอออน ได้แก่  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{K}^+$   $\text{Na}^+$  และ  $\text{NH}_4^+$  และแอนไอออน ได้แก่  $\text{Cl}^-$   $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{SO}_4^{2-}$  โดยนำกระดาษกรองที่ถูกแบ่งส่วนที่ 1 มาวิเคราะห์หาความเข้มข้น โดยใช้เครื่อง ICS5000 ซึ่งมีวิธีการดังนี้ (Chow and Watson, 1999; US.EPA, 1998)

- นำกระดาษกรองส่วนที่ 1 ใส่ในหลอด plastic centrifuge tube ขนาด 10 มล. แล้วใส่น้ำ Ultrapure water 10 มล. ลงในหลอด พร้อมปิดฝาให้แน่นและนำมาเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonic cleaner ที่อุณหภูมิห้อง นาน 90 นาที จากนั้นนำมาแช่ตู้เย็นอย่างน้อย 12 ชั่วโมง
- หลังจากนั้นนำมากรองผ่าน Syringe filters Nylon membrane ขนาด 13 มม. ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน ใส่ในหลอด plastic centrifuge tube ขนาด 10 มล. สำหรับไปวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยเครื่อง ICS5000
- หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICS5000 โดยผลการตรวจวัดที่ได้มีหน่วยเป็น ppm

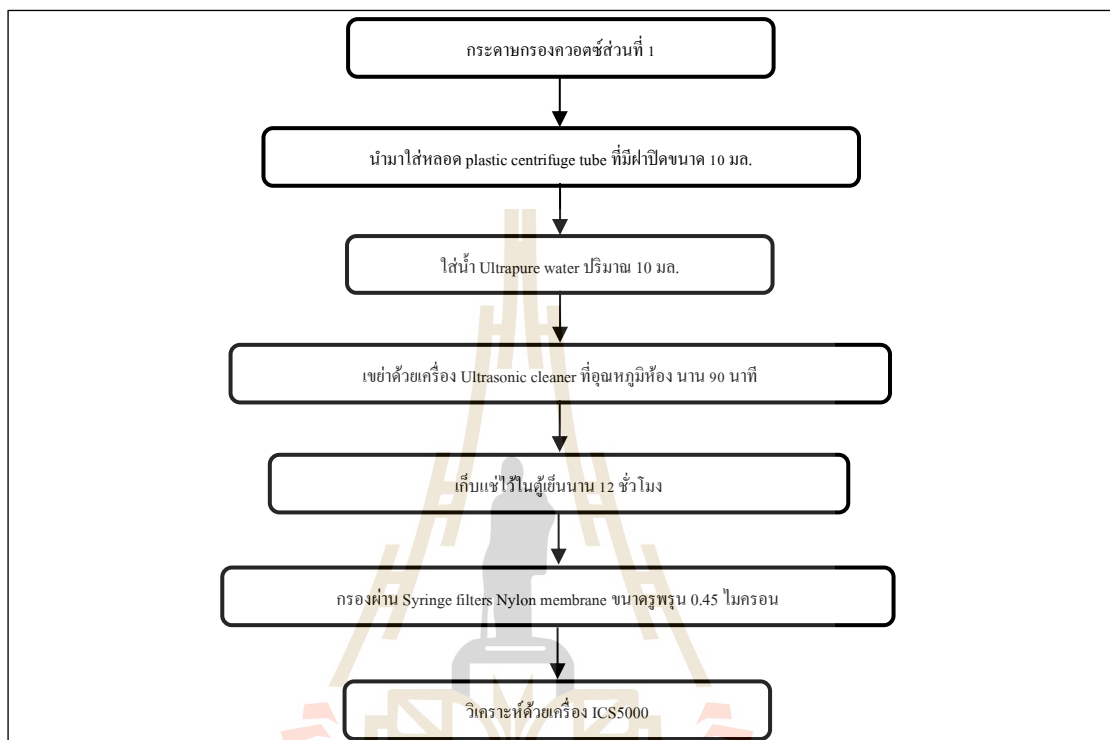
#### การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ก่อนการวิเคราะห์สารไอออนิก ต้องทำการเตรียมสารละลายมาตรฐาน เพื่อทำการทำ Calibration curve จากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1000 ppm เตรียมแบบ Mixed standard และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ ( $R^2$ ) โดยค่าที่เหมาะสมควรมากกว่า 0.99 รายละเอียดการเตรียมสารละลายมาตรฐานมีดังนี้

- ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแอนไอออน
  - $\text{Cl}^-$  : 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4 ppm
  - $\text{NO}_3^-$  : 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4 ppm
  - $\text{SO}_4^{2-}$  : 0.1, 0.25, 0.5, 1, 2, 3, 4, 10 ppm
- ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานแคทไอออน
  - $\text{Ca}^{2+}$  : 0.1, 0.5, 1, 3, 5, 10 ppm
  - $\text{K}^+$  : 0.1, 0.5, 1, 3, 5, 10 ppm
  - $\text{Na}^+$  : 0.05, 0.1, 0.5, 1, 2, 4 ppm

$\text{NH}_4^+$  : 0.05, 0.1, 0.5, 1, 2 ppm

หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICS5000 โดยผลการตรวจวัดที่ได้จะมีหน่วยเป็น ppm นำผลที่ได้จากการตรวจวัดมาแทนค่าในสมการ (3.3)



รูปที่ 3.18 แผนภาพการสกัดสารตัวอย่างจากกระดวย เพื่อวิเคราะห์หาสารไอออนิก

การคำนวณหาความเข้มข้นของไอออน

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICS5000 ผลการตรวจวัดที่ได้ สามารถนำมา

คำนวณหาปริมาณไอออน ได้ดังนี้

ผลการวิเคราะห์มีหน่วยเป็น ppm สามารถนำผลที่ได้จากการตรวจวัดมาแทนค่าในสมการ (3.3)

$$\text{ปริมาณไอออน } (\mu\text{g}/\text{filter}) = \frac{\text{ppm} \times \text{Ve} \times \text{D}}{\text{F}} \quad (3.3)$$

โดยที่ ppm คือ ความเข้มข้นของไอออนที่อ่านได้จากเครื่อง ICS5000  
 Ve คือ ปริมาณที่ใช้สกัด (มล.)

- D คือ จำนวนเท่าของการเจือจาง  
 F คือ สัดส่วนพื้นที่ของกระดาษที่นำมาวิเคราะห์

- ค่าที่ได้จากสมการ (3.3)ให้นำมาแทนในสมการ (3.4) ซึ่งจะได้ผลการตรวจวัดสารไอออนิก

$$\text{ความเข้มข้นของไอออน } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{ปริมาณไอออน } (\mu\text{g}/\text{filter})}{V_{\text{std}}} \quad (3.4)$$

โดยที่  $V_{\text{std}}$  คือ ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ( $\text{m}^3$ )

### 3.6.2 วิเคราะห์ธาตุโลหะ

ในการวิเคราะห์ธาตุ จะทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 20 ชนิด ได้แก่ Ag Al As Ba Cd Co Cr Cu Fe Mg Mn Ni Pb Sb Se Sr Ti Tl V และ Zn โดยการนำกระดาษกรองที่ถูกแบ่งส่วนที่ 2 มาวิเคราะห์หาความเข้มข้น โดยจะใช้เครื่องมือ Agilent 7700 Series ICP-MS ซึ่งมีวิธีการดังนี้ (U.S. EPA, 1999)

- นำกระดาษกรองส่วนที่ 2 ใส่ในหลอด plastic centrifuge tube ขนาด 15 มล. แล้วใส่กรด 4%  $\text{HNO}_3$  5 มล. ลงในหลอด พร้อมปิดฝาให้แน่นและนำมาเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonic cleaner ที่อุณหภูมิห้อง นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทิ้งไว้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- เมื่อหลอดตัวอย่างเย็น จากนั้นใส่น้ำ Ultrapure water ปริมาณ 5 มล. เพื่อปรับให้ได้ 2%  $\text{HNO}_3$  สำหรับวิเคราะห์ในเครื่อง Agilent 7700 Series ICP-MS
- หลังจากนั้นนำมากรองผ่าน Syringe filters Nylon membrane ขนาด 13 มม. ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน ใส่ในหลอด plastic centrifuge tube ขนาด 15 มล.
- หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Agilent 7700 Series ICP-MS โดยผลการตรวจวัดที่ได้จะมีหน่วยเป็น  $\mu\text{g}/\text{l}$

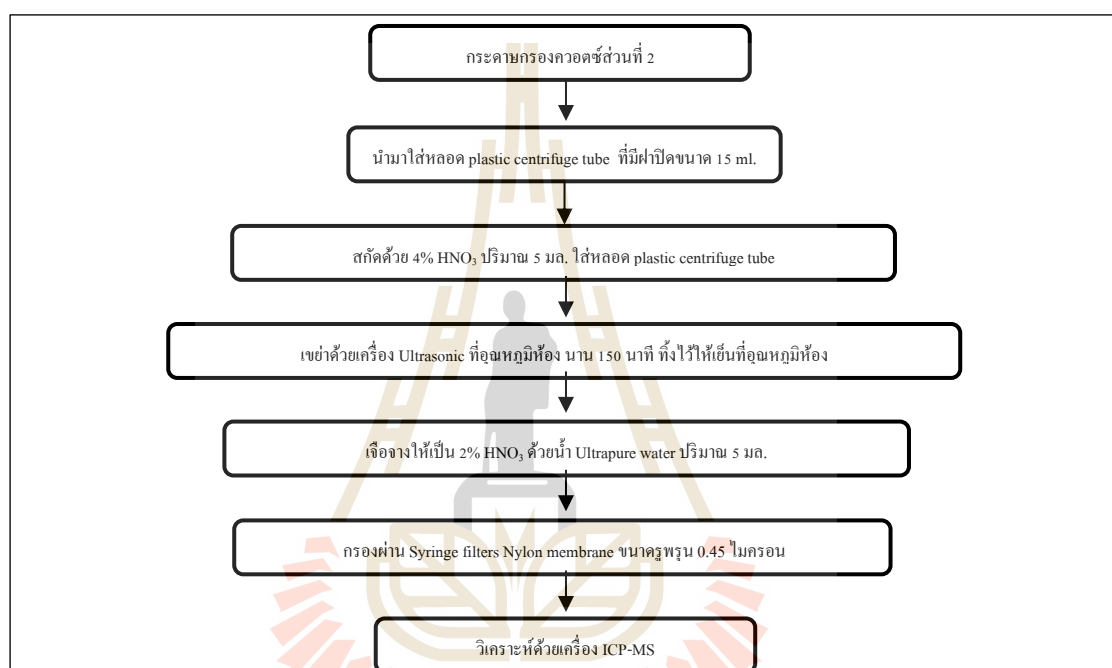
#### การเตรียมสารละลายมาตรฐาน

ก่อนการวิเคราะห์ธาตุ ต้องทำการเตรียมสารละลายมาตรฐาน เพื่อทำการทำ Calibration curve จากสารละลายมาตรฐานแบบ Mixed standard ความเข้มข้น 1 ppm และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ ( $R^2$ ) โดยค่าที่เหมาะสมควรมากกว่า 0.99 รายละเอียดการเตรียมสารละลายมาตรฐานมี



16 ระดับความเข้มข้นดังนี้ 0.01, 0.05, 0.10, 0.25, 0.50, 1.00, 3.00, 5.00, 10.00, 20.00, 40.00, 60.00 80.00, 100.00, 150.00, 200.00 ppb

สาเหตุที่มีหลายระดับความเข้มข้น เนื่องจากธาตุบางชนิด เช่น Co และ Ti พบความเข้มข้นที่น้อยมาก และบางชนิด เช่น Mg และ Zn พบความเข้มข้นที่สูงมาก หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Agilent 7700 Series ICP-MS โดยผลการตรวจวัดที่ได้จะมีหน่วยเป็น  $\mu\text{g/l}$  นำผลที่ได้จากการตรวจวัดมาแทนค่าในสมการ 3.5



รูปที่ 3.19 แผนภาพการสกัดสารตัวอย่างจากกระดวยกรอง เพื่อวิเคราะห์หาธาตุ

#### การคำนวณหาความเข้มข้นของธาตุโลหะ

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ด้วยเครื่อง Agilent 7700 Series ICP-MS สามารถนำมาคำนวณหาปริมาณธาตุได้ โดยนำผลการตรวจวัดที่มีหน่วยเป็น ppb หรือ  $\mu\text{g/l}$  มาแทนค่าในสมการ (3.5)

$$\text{ปริมาณธาตุ (ng/filter)} = \frac{\mu\text{g/l} \times V_e \times D}{F} \quad (3.5)$$

โดยที่ $\mu\text{g/l}$	คือ	ความเข้มข้นของไอออนที่อ่านได้จากเครื่อง Agilent 7700 Series ICP-MS
$V_e$	คือ	ปริมาณที่ใช้สกัด (มล.)
$D$	คือ	จำนวนเท่าของการเจือจาง
$F$	คือ	สัดส่วนพื้นที่ของกระดาษที่นำมาวิเคราะห์

ค่าที่ได้จากสมการ (3.5)ให้นำมาแทนในสมการ (3.6) ซึ่งจะได้ผลการตรวจวัดปริมาณธาตุ

$$\text{ความเข้มข้นของธาตุ (ng/m}^3\text{)} = \frac{\text{ปริมาณธาตุ (ng/filter)}}{V_{\text{std}}} \quad (3.6)$$

โดยที่  $V_{\text{std}}$  คือ ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ( $\text{m}^3$ )

### 3.6.3 การวิเคราะห์หาปริมาณ Black Carbon

ในการวิเคราะห์ Black carbon โดยการนำกระดาษกรองที่ถูกแบ่งส่วนที่ 3 มาวิเคราะห์หาความเข้มข้น โดยจะใช้เครื่องมือ EEL 043 Smoke Stain Reflectometer ซึ่งได้ดำเนินการตามวิธีการของ Kim Oanh et al. (2009) ดังนี้

- เปิดเครื่องและวอร์มเครื่องนานอย่างน้อย 30 นาที
- หลังจากนั้นทำการสอบเทียบเทียบเครื่องมือ โดยเอาหัวตรวจวัดวางบนกระดาษสีดำ ปรับค่าให้ได้ "0.0" โดยการหมุนปรับปุ่ม *Zero* หลังจากนั้นเมื่อได้ค่าแล้ว ทำการตรวจวัดกระดาษสีขาวโดยใช้กระดาษสีขาว ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้กระดาษกรองควอตซ์ เป็นกระดาษสีขาว โดยทำการปรับค่าให้ได้ "100.0" โดยการปรับหมุนปุ่ม *Fine* หรือ *Course*
- เมื่อทำการสอบเทียบเครื่องมือเสร็จ หลังจากนั้นทำการตรวจวัด โดยทำการตรวจวัด 3 ซ้ำ กำหนดให้ค่า Reading ต่างกันไม่เกิน 0.02 โดยผลการตรวจวัดที่ได้จะนำมาแทนค่าในสมการ (3.7)

$$\text{ปริมาณ Black carbon (}\mu\text{g/cm}^2\text{)} = 4.58 (-\ln[\text{reading}]) + 20.19 \quad (3.7)$$

โดยที่ *reading* คือ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ

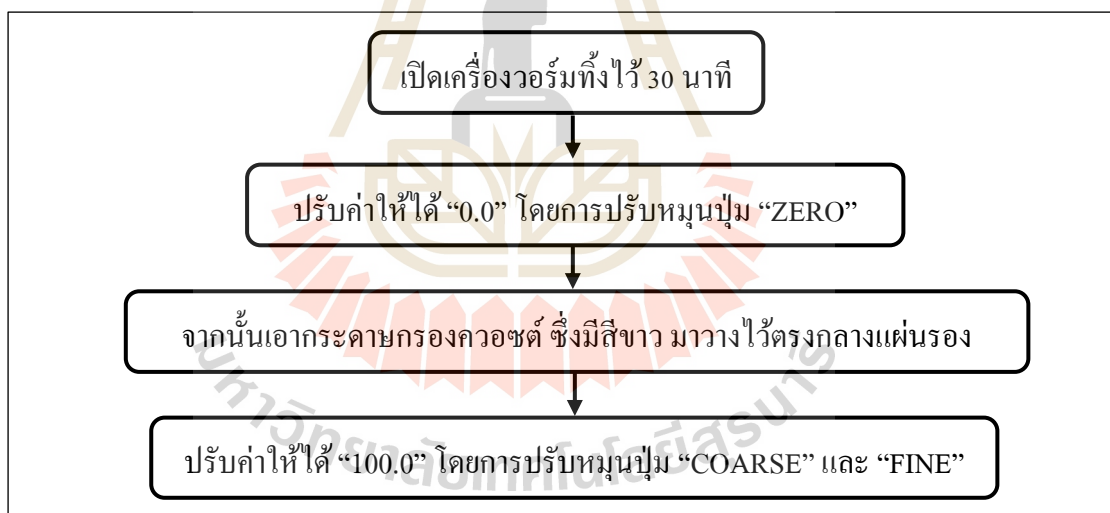
ซึ่งค่าคงที่ 4.58 และ 20.19 ได้มาจากการทดลองของ Kim Oanh และคณะ (2009) โดยรายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ก

- ค่าที่ได้จากสมการ (3.7)ให้นำมาแทนในสมการ (3.8) ซึ่งจะได้ผลการตรวจวัดปริมาณ Black carbon

$$\text{ความเข้มข้นของ Black carbon } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{\text{BC } (\mu\text{g}/\text{cm}^2) \times A (\text{cm}^2)}{V_{\text{std}} (\text{m}^3)} \quad (3.8)$$

โดยที่ A คือ พื้นที่ของฝุ่นละอองที่ติดบนกระดาษกรองที่ตรวจวัด ( $\text{cm}^2$ )  
 $V_{\text{std}}$  คือ ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ( $\text{m}^3$ )

ส่วนปริมาตรอากาศ สามารถคำนวณปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐานได้จากสมการ (3.1)



รูปที่ 3.20 แผนภาพการสอบเทียบเครื่อง Smoke Stain Reflectometer

### 3.7 การวิเคราะห์แหล่งกำเนิดโดยใช้แบบจำลอง PMF

จากคู่มือการใช้งานของแบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF model version 5.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาโดย US.EPA (US EPA, 2014) จะใช้สมการ (3.9) ในการคำนวณ

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( \frac{e_{ij}}{\sigma_{ij}} \right)^2 \quad (3.9)$$

เมื่อพิจารณาสมการพื้นฐานของแบบจำลองผู้รับมลพิษจากสมการ (2.1) เมื่อจัดรูปสมการใหม่ให้อยู่ในรูปค่า  $e_{ij}$  แล้วไปแทนค่า  $e_{ij}$  ในสมการ (3.9) จะได้ตั้งสมการ (3.10)

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( \frac{x_{ij} - [\sum_{k=1}^p g_{ik} \times f_{kj}]}{\sigma_{ij}} \right)^2 \quad (3.10)$$

โดยที่	$x_{ij}$	คือ	ความเข้มข้นของสารเคมี (X) ชนิด j ในตัวอย่างที่ i ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	$g_{ik}$	คือ	source contribution (G) หรือความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดที่ k ในตัวอย่างที่ i
	$f_{kj}$	คือ	source profiles (F) หรือความเข้มข้นของสารเคมีชนิด j ในแหล่งกำเนิดที่ k
	$e_{ij}$	คือ	ค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่า residual ของสารเคมี (E) ชนิด j ในตัวอย่างที่ i
	p	คือ	จำนวนแหล่งกำเนิด
	k	คือ	แหล่งกำเนิด
	Q	คือ	ฟังก์ชันจุดประสงค์ (ค่าที่ถูก minimize)
	$\sigma_{ij}$	คือ	ค่าความไม่แน่นอนของความเข้มข้นของสารเคมีชนิด j ในตัวอย่างที่ i ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	m	คือ	จำนวนชนิดของสารเคมี
	n	คือ	จำนวนตัวอย่าง

การคำนวณของแบบจำลอง PMF จะทำให้ค่า Q หรือ ค่าฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective function) ให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (minimize) ซึ่งคำนวณจากกำลังสองของผลรวมทั้งหมดของค่าความคลาดเคลื่อน (E) ต่อค่าความไม่แน่นอน โดยที่ในแบบจำลองจะทำการประมวลผลค่า  $g_{ij}$  (G) และค่า  $f_{kj}$  (F) โดยไม่ให้ค่าเหล่านี้ติดลบ (non-negative constraints) เพื่อให้ผู้คำนวณให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่า  $x_{ij}$  (X) มากที่สุด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าความไม่แน่นอน ซึ่งค่า Q ที่คำนวณได้จากแบบจำลองจะแสดงในรูปดังนี้

- $Q_{(true)}$  คือ ค่าภาวะสารูปสนิทธิหรือค่าความกลมกลืน (goodness of fit) ที่ได้จากการคำนวณทุกค่าของตัวอย่าง
- $Q_{(robust)}$  คือ ค่าภาวะสารูปสนิทธิหรือค่าความกลมกลืน (goodness of fit) ที่ได้จากการคำนวณทุกค่ายกเว้นตัวอย่างที่มีค่าความคลาดเคลื่อนหรือค่า residual (e) มากกว่า 4

### 3.7.1 Input files

ในการป้อนข้อมูลในแบบจำลองผู้รับสัมผัส PMF ต้องมี 2 ไฟล์คือ

- 1) ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารเคมีที่ตรวจวัดได้ (Concentration values:  $x_{ij}$ )

เป็นค่าที่ได้จากการตรวจวัดได้โดยตรงจากเครื่องมือ แต่ในบางกรณีตัวอย่างฝุ่นละอองที่นำมาวิเคราะห์อาจเกิดปัญหาการวิเคราะห์ได้ เช่น มีค่าความเข้มข้นที่ต่ำจนเครื่องมือไม่สามารถตรวจวัดได้ ทำให้เกิดค่า BDL (Below detection limit) หรือค่าที่ตรวจวัดได้นั้นหายไป ซึ่งค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารเคมีในกรณีต่าง ๆ หากค่าได้ โดยการคำนวณด้วยสมการ (3.11) (Kim Oanh, 2013: 78) โดยในการการศึกษานี้ไฟล์ค่าความเข้มข้น ได้ใช้หน่วยความเข้มข้น  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ในการประมวลผล

- 2) ค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty values:  $\sigma_{ij}$ )

เป็นค่าที่เกิดจากการใช้เครื่องมือเก็บตัวอย่างและเกิดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ โดยค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากเครื่องมือเก็บตัวอย่างแทบจะไม่เกิดขึ้น แต่บางครั้งก็สามารถประมาณได้จากความแตกต่างระหว่างอัตราการดูดอากาศก่อนการเก็บตัวอย่างและหลังเก็บตัวอย่าง ส่วนค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ในเครื่องมือวิเคราะห์สามารถคำนวณให้ค่าความไม่แน่นอนออกมาได้เลย เช่น เครื่อง XRF, PIXE หรือ Instrumental neutron activation analysis (INAA) บางเทคนิคการวิเคราะห์ที่มีการตัดกระดาดกรองและสกัด จะทำให้เกิดค่าความไม่แน่นอนสูงมาก ซึ่งค่าความไม่แน่นอนของตัวอย่างสารเคมี ในกรณีต่าง ๆ หากค่าได้ โดยการคำนวณด้วยสมการ (3.11) (Kim Oanh, 2013: 78) โดยในการการศึกษานี้ไฟล์ค่าความไม่แน่นอน ได้ใช้หน่วยความเข้มข้น  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ซึ่งต้องเป็นหน่วยเดียวกันกับไฟล์ค่าความเข้มข้น ในการประมวลผล

ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารเคมีที่ตรวจวัดได้

$$\text{สำหรับตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้} \quad x_{ij} = v_{ij}$$

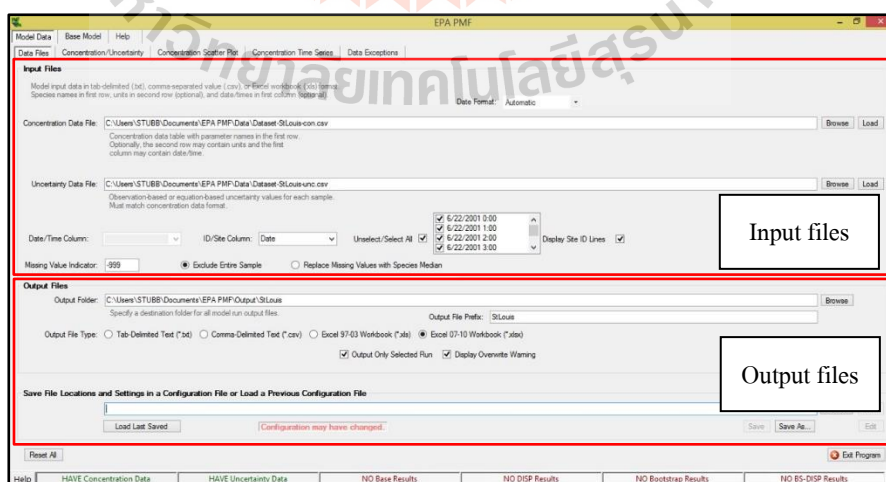
$$\text{สำหรับตัวอย่างที่มีค่า BDL} \quad x_{ij} = \frac{d_{ij}}{2} \quad \text{หรือ} \quad x_{ij} = \frac{SD_{ij}}{2}$$

$$\text{สำหรับตัวอย่างที่ค่าหายไป} \quad x_{ij} = \frac{-}{v_{ij}}$$

ค่าความไม่แน่นอนของตัวอย่างสารเคมี

$$\begin{aligned}
 \text{สำหรับตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้} \quad \sigma_{x_{ij}} &= u_{ij} + \frac{d_{ij}}{3} \quad \text{หรือ} \quad \sigma_{x_{ij}} = SD_{ij} \\
 \text{สำหรับตัวอย่างที่มีค่า BDL} \quad \sigma_{x_{ij}} &= \frac{5d_{ij}}{6} \quad \text{หรือ} \quad \sigma_{x_{ij}} = \frac{5SD_{ij}}{6} \\
 \text{สำหรับตัวอย่างที่ค่าหายไป} \quad \sigma_{x_{ij}} &= 4 \bar{v}_{ij} \quad (3.11)
 \end{aligned}$$

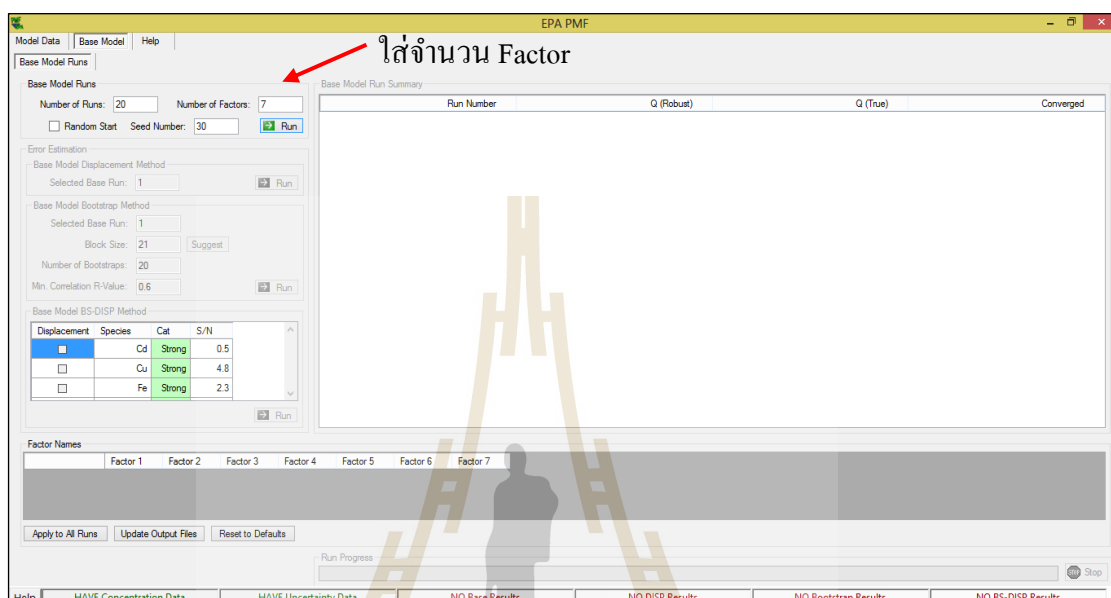
โดยที่ ค่า	$x_{ij}$	คือ	ความเข้มข้นของสารเคมี ชนิด $j$ ในตัวอย่างที่ $i$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	$v_{ij}$	คือ	ค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ของสารเคมี ชนิด $j$ ในตัวอย่างที่ $i$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	$\bar{v}_{ij}$	คือ	ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้ของสารเคมี ชนิด $j$ ในตัวอย่างที่ $i$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	$u_{ij}$	คือ	ค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ โดยค่านี้ขึ้นอยู่กับรุ่นหรือประเภทของเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ ซึ่งจะมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะระบุไว้ในคู่มือการใช้งาน
	$d_{ij}$	คือ	ค่า Detection limit ที่เกิดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือของสารเคมี ชนิด $j$ ในตัวอย่างที่ $i$
	$SD_{ij}$	คือ	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ตรวจวัดได้ของสารเคมี ชนิด $j$ ในตัวอย่างที่ $i$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	$\sigma_{ij}$	คือ	ค่าความไม่แน่นอนของความเข้มข้นของสารเคมีชนิด $j$ ในตัวอย่างที่ $i$



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างการป้อนข้อมูล (ที่มา: US EPA, 2014)

## ตัวแปรที่ต้องเพิ่มในการป้อนข้อมูล

1) Factor คือ แหล่งกำเนิดของมลพิษ โดยจะทำการสุ่มจำนวน 4-8 factor ซึ่งทั้ง 2 พื้นที่พบว่าจำนวน 5 factor คือจำนวนที่เหมาะสม

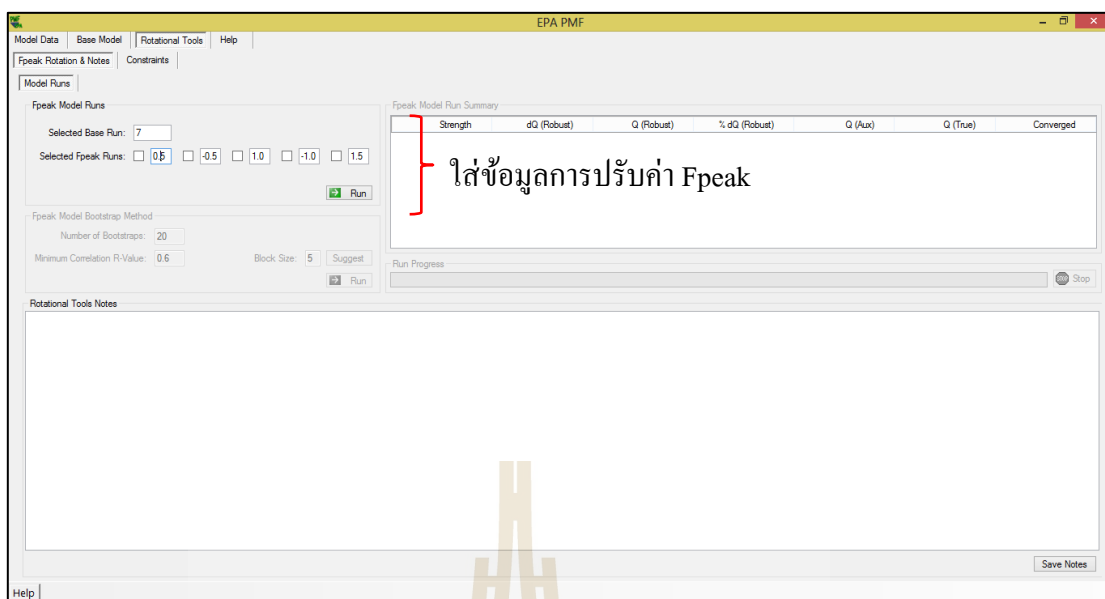


รูปที่ 3.22 ตัวอย่างการใส่จำนวน Factor

2) Fpeak คือ ค่าการปรับหมุนแกน (Rotation) โดยค่าจะปรับจะอยู่ในช่วง -5 ถึง 5 แต่ห้ามเท่ากับ 0 ซึ่งการปรับค่า Fpeak นั้นจะปรับเพื่อให้ได้แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองได้ค่าที่เหมาะสมที่แหล่งกำเนิดนั้นที่ควรจะมี โดยการปรับ Fpeak ถ้าปรับเป็นค่าลบ เมทริกซ์ของค่า Source profiles จะถูกปรับมีค่าให้เหมาะสมอย่างละเอียด (sharpen) ส่วนค่า Source contribution จะถูกปรับค่าอย่างหยาบ (smear) และถ้าปรับเป็นค่าบวก เมทริกซ์ของค่า Source profiles จะถูกปรับค่าอย่างหยาบ (smear) ส่วนค่า Source contribution จะถูกปรับมีค่าให้เหมาะสมอย่างละเอียด (sharpen) ซึ่งทั้ง 2 พื้นที่ พบว่าเมื่อได้ทำการปรับค่า Fpeak แล้ว ไม่สามารถทำให้อธิบายผลได้ง่ายขึ้น

ในโปรแกรมแบบจำลองทางสถิติ PMF จะต้องใช้ไฟล์ tabdelimited (.txt), comma-separated value (.csv) และ Excel Workbook (.xls หรือ .xlsx) เท่านั้น ซึ่งในการประมวลผลการศึกษานี้ ได้ใช้ไฟล์ Excel Workbook (.xls หรือ .xlsx) ในการประมวลผลแบบจำลอง โดยในไฟล์ค่าความเข้มข้นนั้น ชนิดของสารเคมีที่ตรวจวัดจะเป็นคอลัมน์ ส่วนเวลาที่เก็บหรือหมายเลขตัวอย่างจะเป็นแถว สำหรับในไฟล์ค่าความไม่แน่นอนของตัวอย่างสารเคมี ค่าที่ได้จะไม่มีหน่วย ไม่เป็นค่าติดลบและไม่เท่ากับศูนย์





รูปที่ 3.23 ตัวอย่างการข้อมูลการปรับค่า Fpeak

ทั้งสองไฟล์ที่ป้อนข้อมูลเข้านี้ต้องสอดคล้องกัน คือ มีแถวกับคอลัมน์ที่ตรงกัน ถ้าไม่ตรงกัน โปรแกรมจะไม่สามารถประมวลผลได้ ตัวอย่างการจัดรูปแบบของไฟล์ แสดงดังรูปที่ 3.24

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	date	pm2.5	BC	Cl	NO3	SO4	Ca	K	Na	NH4	Mg	Al	Ti	V	Cr
2	18-Nov-16	29.29197	0.506042	0.326199	1.260424	5.765503	1.239105	0.561575	2.742878	0.280441	0.224861	0.061923	0.002603	0.003255	0.0964
3	24-Nov-16	14.57874	0.264906	0.384114	0.532653	1.475826	1.104394	0.204653	1.493026	0.000869	0.133665	0.093346	0.001964	0.006438	0.109714
4	25-Nov-16	18.1787	0.222747	0.690993	0.622899	1.286168	1.215475	0.356932	1.390129	0.000866	0.165006	0.135628	0.002398	0.002892	0.113079
5	26-Nov-16	19.344	0.291211	0.449597	0.606706	1.511764	0.842283	0.370956	1.192027	0.000862	0.128184	0.120989	0.001773	0.002806	0.115152
6	27-Nov-16	23.28828	0.289088	0.322243	0.66793	2.71091	0.70113	0.464625	1.053492	0.746138	0.119647	0.080654	0.001396	0.003289	0.11073
7	28-Nov-16	32.12745	0.423825	0.333785	0.974462	5.805579	0.752165	0.62723	1.39097	0.444763	0.14428	0.087721	0.001752	0.004673	0.111881
8	29-Nov-16	28.61137	0.457233	0.089551	0.499709	6.027613	0.769217	0.407936	1.257647	0.949003	0.123224	0.073892	0.001587	0.010038	0.109097
9	30-Nov-16	28.93801	0.413316	0.135386	0.664465	5.559001	0.770485	0.506714	1.55497	0.039779	0.127373	0.111047	0.001702	0.001542	0.110943
10	09-Dec-16	54.94426	0.850034	0.433338	1.471605	11.3732	1.362458	1.119357	2.722692	2.411161	0.149859	0.097396	0.004272	0.004743	0.086827
11	10-Dec-16	63.83305	0.757752	0.472527	2.413428	13.05341	1.154382	1.238524	2.060102	4.22863	0.153344	0.137269	0.002815	0.001363	0.108522
12	11-Dec-16	66.07363	0.766408	0.640978	2.805456	11.26647	0.965145	1.305221	1.143223	3.606893	0.129011	0.156966	0.00287	0.002204	0.118533
13	12-Dec-16	62.40235	0.756096	0.577401	2.225617	6.382976	1.487826	1.361584	1.296739	0.000862	0.128354	0.106851	0.002306	0.003065	0.10667
14	13-Dec-16	37.25037	0.680736	0.33253	1.086644	3.824006	0.941562	1.106185	1.433181	0.000865	0.129609	0.096662	0.001448	0.004587	0.110387
15	14-Dec-16	23.76397	0.375484	0.402478	1.10841	1.977887	1.056311	0.691958	1.357522	0.000863	0.133219	0.073727	0.001371	0.001185	0.115499
16	15-Dec-16	17.8224	0.275281	0.627588	0.662805	1.730782	0.910182	0.550315	1.345955	0.000855	0.112261	0.078824	0.001415	0.001832	0.103459
17	01-Jan-17	25.15423	0.230619	0.048746	0.676139	4.3534	1.593622	0.160896	2.665183	1.533627	0.14155	0.079522	0.002887	0.000869	0.096082
18	02-Jan-17	22.47893	0.355268	0.021463	0.568856	3.399569	0.958796	0.329328	1.618826	0.919991	0.107795	0.052284	0.002948	0.001682	0.103594
19	03-Jan-17	21.85001	0.34237	0.290723	0.629212	3.364959	0.757391	0.202578	1.222341	0.792614	0.117683	0.034345	0.002177	0.005926	0.117138
20	04-Jan-17	37.48721	0.536672	0.320854	1.3444	3.854873	0.760765	0.752885	1.497718	1.710993	0.142167	0.042886	0.001858	0.006333	0.11914

รูปที่ 3.24 ตัวอย่างการจัดรูปแบบของไฟล์ค่าความเข้มข้นของตัวอย่างสารเคมีที่ตรวจวัดได้

เมื่อทำประมวลผลแบบจำลอง PMF ทั้ง 2 พื้นที่การศึกษา พบว่า ได้ใช้ Number of Run เท่ากับ 1 และค่าอื่น ๆ ที่ป้อนก่อนการประมวลผลและหลังการประมวลผล สรุปได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สรุปการกำหนดค่าก่อนการประมวลผลและผลของค่า Q หลังการประมวลผล

เขตพื้นที่ตรวจวัด	ก่อนการประมวลผล			หลังการประมวลผล		F <sub>peak</sub>
	Number of Factor	Seed Number	ค่า S/N ratio ที่ต่ำกว่า 1	Q <sub>robust</sub>	Q <sub>true</sub>	
เขตเมือง	5	78	- Bad ได้แก่ Co (S/N = 0.2) - Weak ได้แก่ Ni (S/N = 0.5)	50098.6	656014.0	ไม่มีการปรับ
เขตอุตสาหกรรม	5	62	- Bad ได้แก่ Co (S/N = 0.3) - Weak ได้แก่ Ni (S/N = 0.7)	79009.3	1801000.0	ไม่มีการปรับ

### 3.7.2 Output files

ไฟล์ที่ประมวลผลออกมาจากโปรแกรม สามารถเลือกไฟล์ที่ประมวลผลออกมาได้ ดังนี้ tabdelimited (.txt), comma-separated value (.csv) และ Excel Workbook (.xls หรือ .xlsx) โดยข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางสถิติ PMF จะเป็นข้อมูลของ source profile ( $F_{ik}$ ) และ source contribution ( $G_{kj}$ ) และค่าที่ได้นั้น จะมาจากสัดส่วนมวลแท้จริงของฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิด โดยรายละเอียด แสดงดังภาคผนวก ง

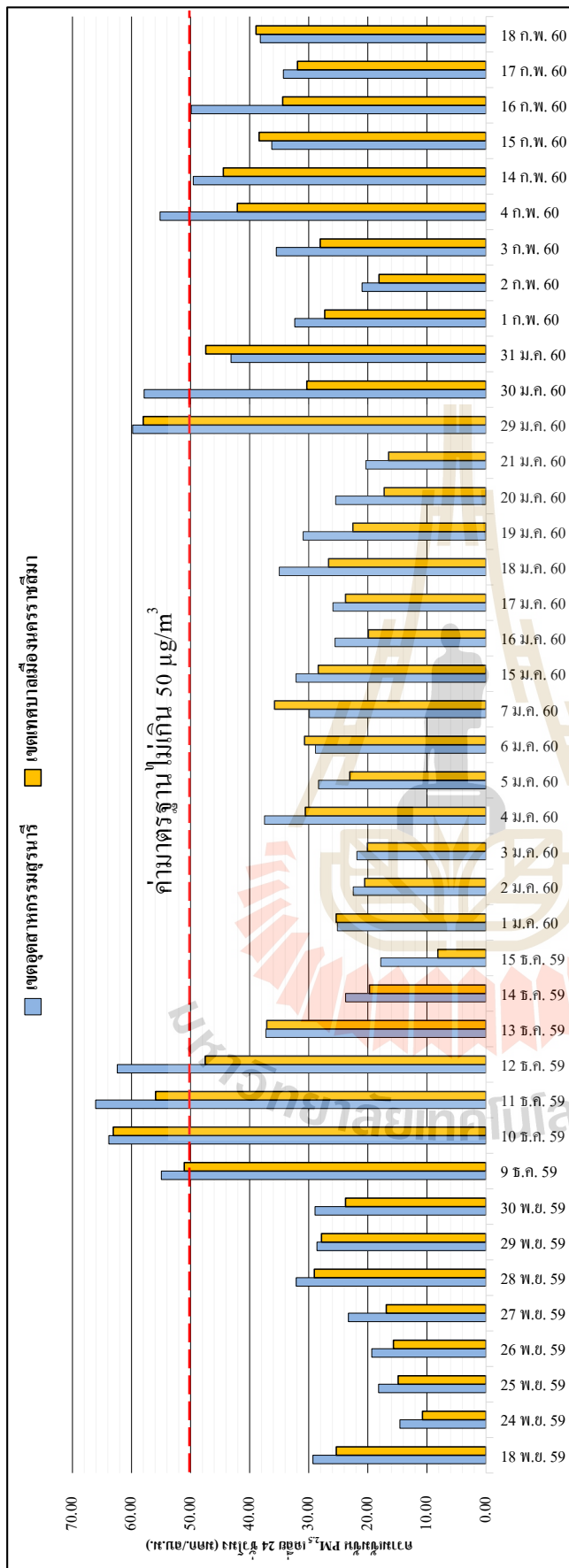
## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการ

#### 4.1 ความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา

จากการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ บริเวณเขตเมืองนครราชสีมาและบริเวณเขตอุตสาหกรรมสุรนารี ได้ตัวอย่างทั้งหมด 41 ตัวอย่างต่อจุดในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2559 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ 2560 และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> เฉลี่ยรายวัน ดังรูปที่ 4.1 พบว่า เขตเมืองนครราชสีมา มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28.13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  มีค่าสูงสุดคือวันที่ 10 ธันวาคม 2559 มีค่าเท่ากับ 61.72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  มีค่าต่ำสุดคือวันที่ 15 ธันวาคม 2559 มีค่าเท่ากับ 7.99  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และมีค่าเกินมาตรฐานอยู่ 3 วัน คือ วันที่ 10-11 ธันวาคม 2559 และวันที่ 29 มกราคม 2560 ส่วนเขตอุตสาหกรรมสุรนารี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.71  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  มีค่าสูงสุดคือวันที่ 11 ธันวาคม 2559 มีค่าเท่ากับ 64.32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  มีค่าต่ำสุดคือวันที่ 24 พฤศจิกายน 2559 มีค่าเท่ากับ 13.97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  และมีค่าเกินมาตรฐานอยู่ 7 วัน คือ วันที่ 9-12 ธันวาคม 2559 วันที่ 29-30 มกราคม 2560 และวันที่ 4 กุมภาพันธ์ 2560 โดยค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของ PM<sub>2.5</sub> ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา 24 ชั่วโมงกำหนดไว้ไม่เกิน 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

เมื่อทำการทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยวิธี Shapiro-Wilk พบว่าในเขตเมืองมี PM<sub>2.5</sub> และ BC เท่านั้น ที่มีการแจกแจงแบบปกติ ส่วนในเขตอุตสาหกรรมมี BC Cl<sup>-</sup> และ Cr เท่านั้น ที่มีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นในการวิเคราะห์สถิติในขั้นถัดไปจึงทำการแปลงค่าของพารามิเตอร์ทั้งหมดโดยใช้ natural log เพื่อปรับให้การแจกแจงใกล้เคียงแบบปกติ และเมื่อทำการใช้ natural log แล้ว จากนั้นทำการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างค่าที่วัดได้ในเขตเมืองกับเขตอุตสาหกรรมด้วยวิธี Paired t Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ดังตารางที่ 4.1 โดยกรณีฝุ่นละออง พบว่าค่าความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> ในเขตอุตสาหกรรมสูงกว่าในเขตเมือง อย่างมีนัยสำคัญ และจากรูปที่ 4.2 แสดง Box plot ความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ในเขตอุตสาหกรรมสุรนารีจะมีค่ามากกว่าเขตเมืองนครราชสีมาซึ่งสอดคล้องกับรายงานบัญชีการปล่อยมลพิษทางอากาศของเทศบาลนครนครราชสีมา ในปี 2553 (GIZ, 2012) ที่พบว่าปริมาณการเกิดฝุ่นละอองนั้นมาจากโรงงานอุตสาหกรรมมีมากที่สุด ซึ่งมีอัตราการปล่อยมลพิษ 101.52 ตัน/ปี ส่วนที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์กรรม มีอัตราการปล่อยมลพิษ 62.70 ตัน/ปี โดยในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี มีสาเหตุของมลพิษทางอากาศมาจากการกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมและการขนส่งสินค้า ผลิตภัณฑ์



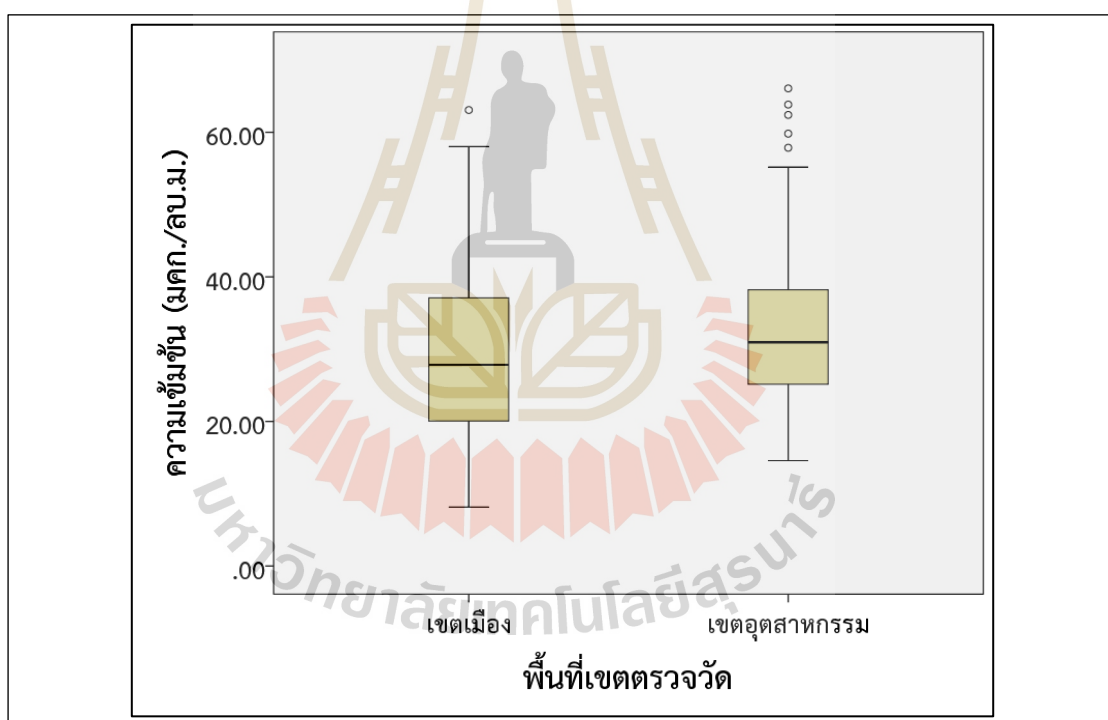
รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  ในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมในแต่ละวันที่ตราวัด

เป็นหลัก ส่วนในเขตเมืองนครราชสีมา มีสาเหตุมาจากคมนาคมเป็นหลัก เนื่องจากมีสถานีราชการ และศูนย์การค้าที่ประชาชนมาใช้บริการจำนวนมาก และมาจากการประกอบอาหาร ร้านอาหารและครัวเรือน

ตารางที่ 4.1 สถิติพรรณนาของความเข้มข้น  $PM_{2.5}$

พารามิเตอร์	เขต	Mean	Median	SD	Min.	Max.	Shapiro-Wilk Test	Paired t Test
หน่วย: $\mu g/m^3$ , n = 41								
$PM_{2.5}$	เมือง	29.93	27.84	13.05	8.15	63.08	0.060	0.000**
	อุตสาหกรรม	34.71	30.95	14.03	14.58	66.07	0.002*	

\*การแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ; \*\*ค่าเฉลี่ยของเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.2 Box plot ความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  ในแต่ละพื้นที่

## 4.2 ความเข้มข้นของ Black carbon

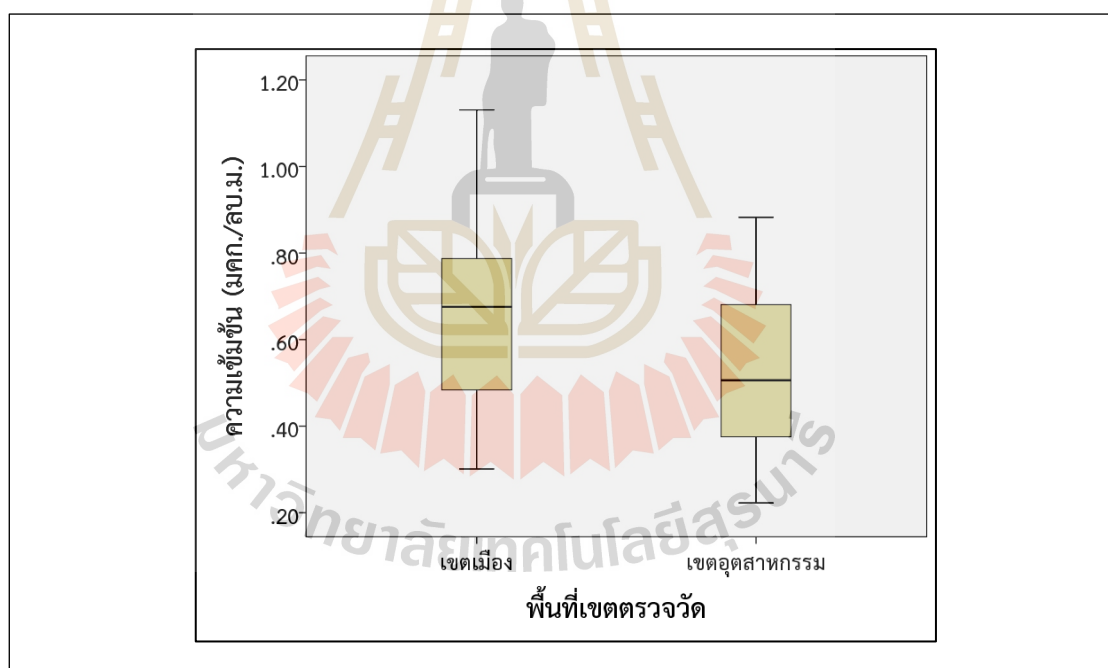
ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ Black carbon แสดงดังตารางที่ 4.2 และแสดงดังรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าในเขตเมืองนั้น มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าเขตอุตสาหกรรม ทั้งนี้ เนื่องจากในเขตเมือง

นครราชสีมา มีกิจกรรมที่หลากหลาย โดยสาเหตุของการเกิด Black carbon มาจากกระบวนการเผาไหม้ต่าง ๆ ได้แก่ การเผาเศษวัสดุชีวมวล จำพวกเศษวัชพืชและต้นไม้ (Biomass burning) การเผาเชื้อเพลิงแข็ง (ถ่าน ไม้ฟืน) เพื่อการประกอบอาหารหรือกิจกรรมอื่น ๆ และการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ (Engine combustion) โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซล (WHO, 2012) ซึ่งในเขตเมืองนั้นมีการคมนาคมที่มีความหนาแน่นกว่าเขตอุตสาหกรรม

ตารางที่ 4.2 สถิติพรรณนาของความเข้มข้น Black carbon (BC)

พารามิเตอร์	เขต	Mean	Median	SD	Min.	Max.	Shapiro-Wilk Test	Paired t Test
หน่วย: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 41								
BC	เมือง	0.65	0.68	0.21	0.30	1.13	0.055	0.000**
	อุตสาหกรรม	0.52	0.51	0.19	0.22	0.88	0.158	

\*\* ค่าเฉลี่ยของเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.3 Box plot ของความเข้มข้นของ Black carbon ในแต่ละพื้นที่

#### 4.3 ความเข้มข้นของสารไอออนิก

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารไอออนิกแสดงดังตารางที่ 4.3 และจากรูปที่ 4.4 แสดงกราฟแท่งของความเข้มข้นของสารไอออนิกที่ตรวจวัด โดยรูปที่ 4.4 ก. แสดงกราฟแท่งของความ

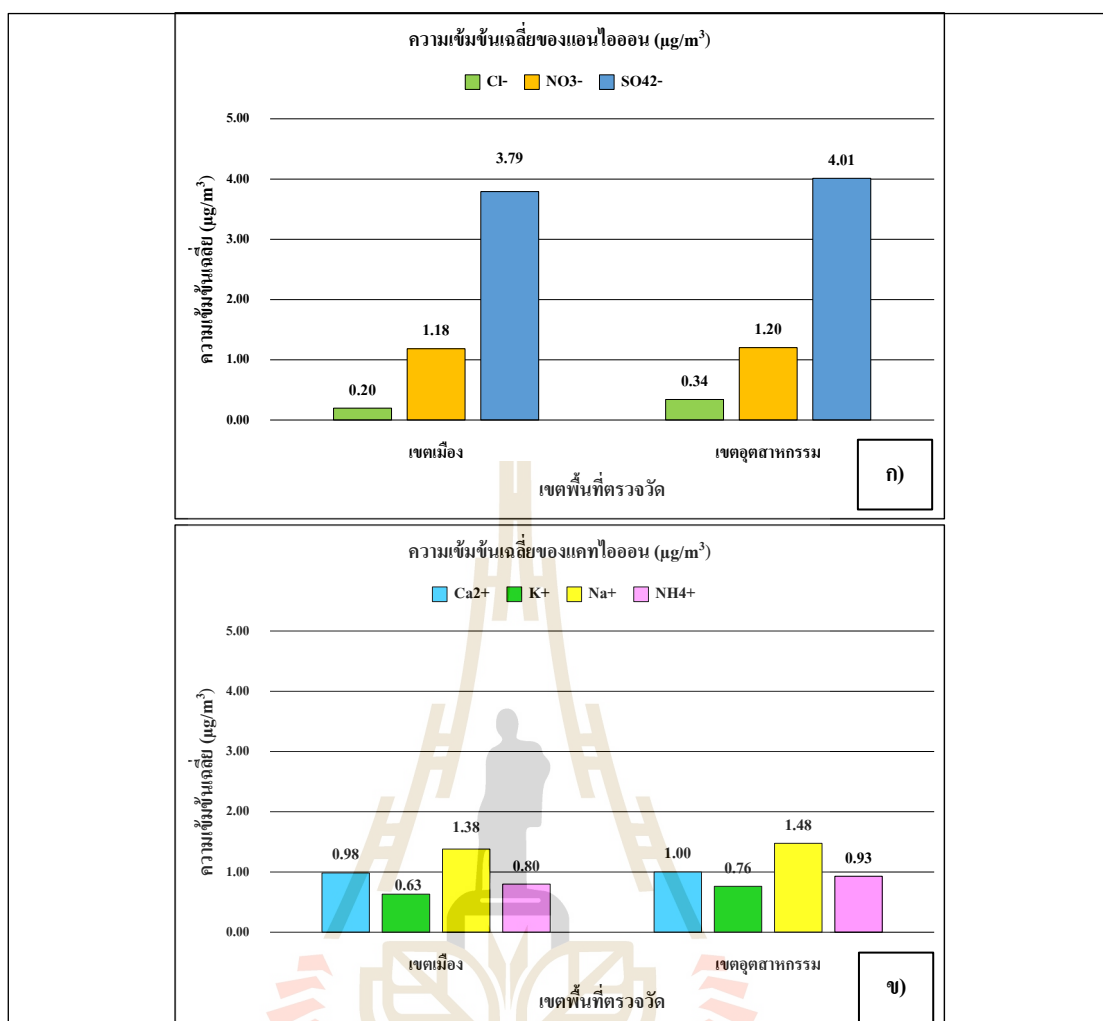


เข้มข้นของแอนไอออนจะเห็นได้ว่าทั้ง 2 เขตพื้นที่ที่ตรวจวัด พบ  $\text{SO}_4^{2-}$  มากที่สุด รองลงมาเป็น  $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{Cl}^-$  ตามลำดับ โดยที่  $\text{SO}_4^{2-}$  และ  $\text{NO}_3^-$  มีความสัมพันธ์กันกับการผันเปลี่ยนมาจากรูปของก๊าซ  $\text{SO}_x$  และ  $\text{NO}_2$  ตามลำดับ โดยที่  $\text{SO}_4^{2-}$  มาจากการเกิดปฏิกิริยา Oxidation ของก๊าซ  $\text{SO}_2$  และ  $\text{NO}_3^-$  มาจาก  $\text{NO}_2$  ทำปฏิกิริยากับ  $\text{OH}^-$  radical ซึ่งการเกิดกลุ่มก๊าซเหล่านี้จะมาจากกระบวนการเผาไหม้ (Combustion process) และกิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรม (Zikova et al., 2016; Ledoux et al., 2017) ขณะที่  $\text{Cl}^-$  เป็นสารระเหยแหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละอองทะเล (marine aerosol) (Chow, 1995; Watson and Chow, 2015)

ตารางที่ 4.3 สถิติพรรณนาของความเข้มข้นสารไอออนิก

พารามิเตอร์	เขต	Mean	Median	SD	Min.	Max.	Shapiro-Wilk Test	Paired t Test
หน่วย: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , n = 41								
$\text{Cl}^-$	เมือง	0.20	0.15	0.13	0.03	0.51	0.001*	0.000**
	อุตสาหกรรม	0.34	0.33	0.20	0.02	0.86	0.417	
$\text{NO}_3^-$	เมือง	1.18	1.00	0.99	0.32	6.40	0.000*	0.027**
	อุตสาหกรรม	1.20	1.11	0.58	0.50	2.81	0.001*	
$\text{SO}_4^{2-}$	เมือง	3.79	3.35	2.65	0.88	12.11	0.000*	0.189
	อุตสาหกรรม	4.01	3.40	2.75	1.02	13.05	0.000*	
$\text{Ca}^{2+}$	เมือง	0.98	0.89	0.48	0.53	3.20	0.000*	0.366
	อุตสาหกรรม	1.00	0.96	0.28	0.57	1.59	0.046*	
$\text{K}^+$	เมือง	0.63	0.50	0.45	0.05	1.55	0.001*	0.000**
	อุตสาหกรรม	0.76	0.69	0.45	0.08	1.60	0.008*	
$\text{Na}^+$	เมือง	1.38	1.30	0.38	0.85	3.02	0.000*	0.161
	อุตสาหกรรม	1.48	1.39	0.40	1.05	2.74	0.000*	
$\text{NH}_4^+$	เมือง	0.80	0.52	0.94	0.00	3.94	0.000*	0.857
	อุตสาหกรรม	0.93	0.75	1.00	0.00	4.23	0.000*	

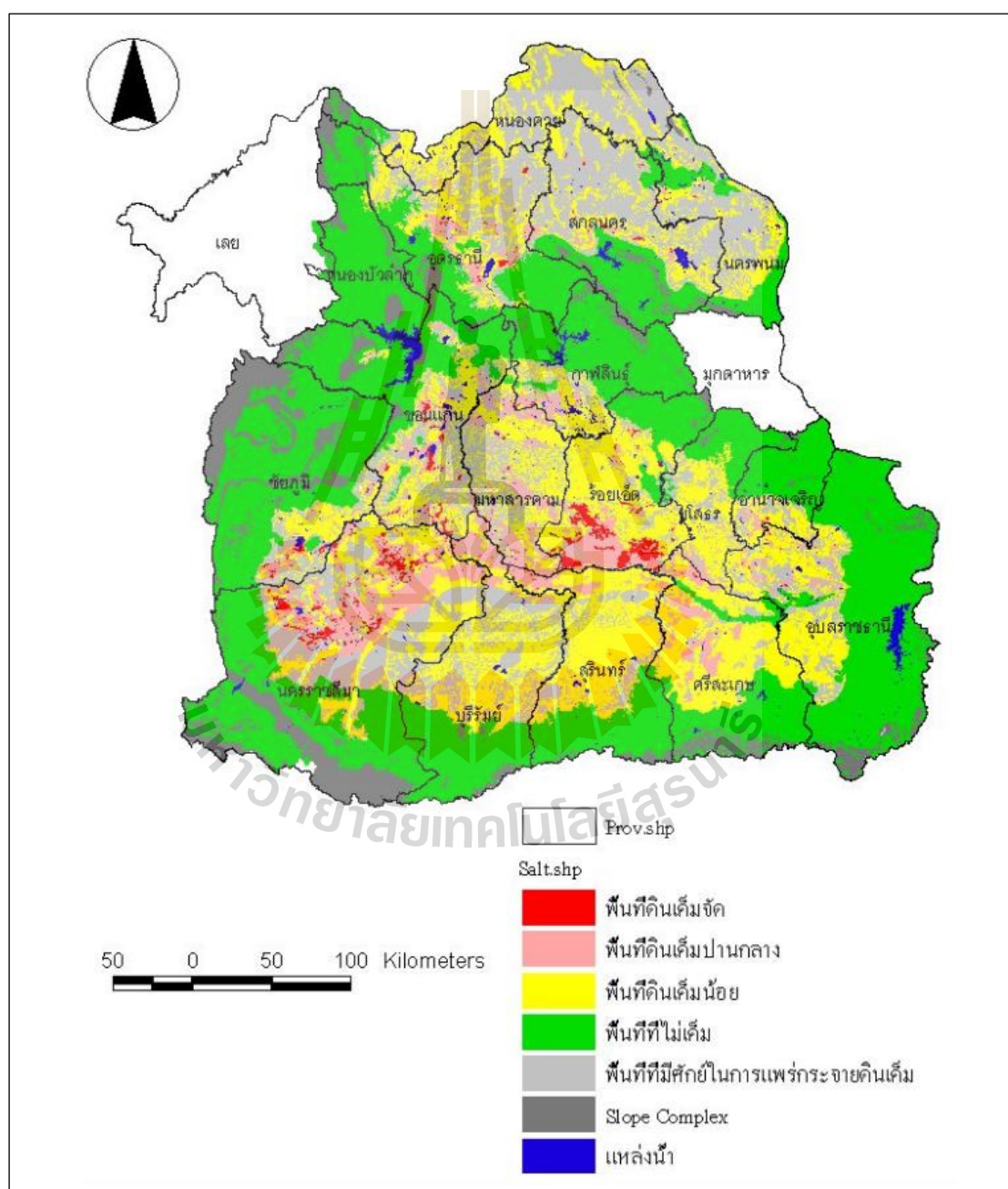
\*การแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ; \*\*ค่าเฉลี่ยของเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 4.4 กราฟแท่งของความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกที่ตรวจวัดในแต่ละพื้นที่  
ก) แอนไอออน ; ข) แคทไอออน

ส่วนรูปที่ 4.4 ข. กราฟแท่งของความเข้มข้นของแคทไอออนจะเห็นได้ว่าทั้ง 2 เขตพื้นที่ตรวจวัด พบ Na<sup>+</sup> มากที่สุด รองลงมาเป็น Ca<sup>2+</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup> และ K<sup>+</sup> ตามลำดับ ซึ่ง Na<sup>+</sup> เป็นสารระบุนแหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นละอองทะเล (marine aerosol) และเช่นเดียวกับ Cl<sup>-</sup> (Chow, 1995: Watson and Chow, 2015) แต่บางกรณี Na<sup>+</sup> อาจมาจากฝุ่นละอองดิน (Crustal dust) ได้เช่นกัน (Chow, 1995) โดยจากรูปที่ 4.5 แผนที่การแพร่กระจายดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งจะเห็นได้ว่าพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาส่วนมากมีพื้นที่ดินเค็ม จึงทำให้ค่าความเข้มข้นของ Na<sup>+</sup> ที่ได้มีค่าค่อนข้างสูงมาก สำหรับ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> จะมีความสัมพันธ์กับการผันเปลี่ยนมาจากรูปของก๊าซ NH<sub>3</sub> ซึ่งการก๊าซนี้จะมาจากกระบวนการเผาไหม้ (Combustion process) และกิจกรรมทางการเกษตรและอุตสาหกรรม อุตสาหกรรม (Zikova et al., 2016: Ledoux et al., 2017) ส่วน K<sup>+</sup> เป็นสารระบุน

แหล่งกำเนิดที่สำคัญของการเผาไหม้เศษไม้ ใบหญ้าหรือวัชพืช (Biomass burning) เนื่องจาก  $K^+$  กับ Levoglucosan ( $C_6H_{10}O_5$ ) มีอัตราส่วนการเกิดขึ้นที่สัมพันธ์กัน โดย Levoglucosan เป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการ Pyrolysis ของ Cellulose ซึ่งจะเกิด Levoglucosan ขึ้นเมื่อทำการเผาไหม้เศษไม้ ใบหญ้าหรือวัชพืช (Biomass burning) (Chen et al. 2013) ซึ่งค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกทั้ง 2 เขตพื้นที่ สรุปได้ดัง ตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.5 แผนที่การแพร่กระจายดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน, 2535)

เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างค่าที่วัดได้ในเขตเมืองกับเขตอุตสาหกรรม ด้วยวิธี Paired t Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า  $Cl^-$   $NO_3^-$  และ  $K^+$  มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยในเขตอุตสาหกรรมสูงกว่าในเขตเมือง ส่วนไอออนอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

#### 4.4 ความเข้มข้นของธาตุ

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของธาตุ แสดงดังตารางที่ 4.4 พบว่าในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม มีปริมาณ Mg มากที่สุด ซึ่งมีปริมาณ 131.80 และ 140.29  $ng/m^3$  ตามลำดับ ส่วนปริมาณธาตุที่พบน้อยที่สุดในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม คือ Tl และ Co ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณ 0.08 และ 0.11  $ng/m^3$  ตามลำดับ และเมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างค่าที่วัดได้ในเขตเมืองกับเขตอุตสาหกรรมด้วยวิธี Paired t Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่า Ag Al Cd Cr Fe Mn Ni Tl V และ Zn มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนธาตุอื่น ๆ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยรูปที่ 4.6 แสดง Box plot ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุที่ตรวจวัดในแต่ละพื้นที่ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่า ธาตุทุกพารามิเตอร์ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในเขตอุตสาหกรรมมีความเข้มข้นสูงกว่าในเขตเมืองทุกพารามิเตอร์ ยกเว้น Cr เพียงชนิดเดียวที่พบว่า ในเขตเมืองนั้นมีความเข้มข้นสูงกว่าในเขตอุตสาหกรรมอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งปริมาณที่พบ Cr ทั้ง 2 พื้นที่นั้นค่อนข้างสูง โดยในเขตเมืองพบว่า Cr นั้น ส่วนมากมาจากการจราจรเป็นหลัก เนื่องจาก Cr เป็น Source fingerprint ของแหล่งกำเนิด Traffic emission โดย Cr มาจากผ้าเบรก (Brake wear) ซึ่ง Cr เป็นหนึ่งในธาตุที่แพร่กระจายมากที่สุดในกลุ่ม non-exhaust emission (Adamiec et al., 2016) โดยสภาพการจราจรในเขตเมืองนั้นค่อนข้างมีความหนาแน่นมาก นอกจากนี้ Cr ก็มาจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากบริเวณชานเมือง มี 2 เขตอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ จึงทำให้เกิดการแพร่กระจายส่งผลมาถึงเขตเมือง ส่วนเขตอุตสาหกรรม พบว่า Cr มาจากกลุ่มกิจการโรงงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบจากโลหะ เช่น ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหนัก เครื่องจักรโรงงานแปรงมันสำปะหลัง ลิฟต์โดยสาร แม่พิมพ์โลหะ ชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์และจักรยานยนต์ ผ้าเบรกรถยนต์ แบตเตอรี่รถยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และหม้อกำเนิดไอน้ำ นอกจากนี้ Cr ในเขตอุตสาหกรรมก็มาจากการจราจรด้วยเช่นกัน เนื่องจากในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี มีชุมชนที่อยู่ภายในเขตอุตสาหกรรมและโดยรอบเขตอุตสาหกรรม จึงทำให้มีสภาพการจราจรค่อนข้างหนาแน่น

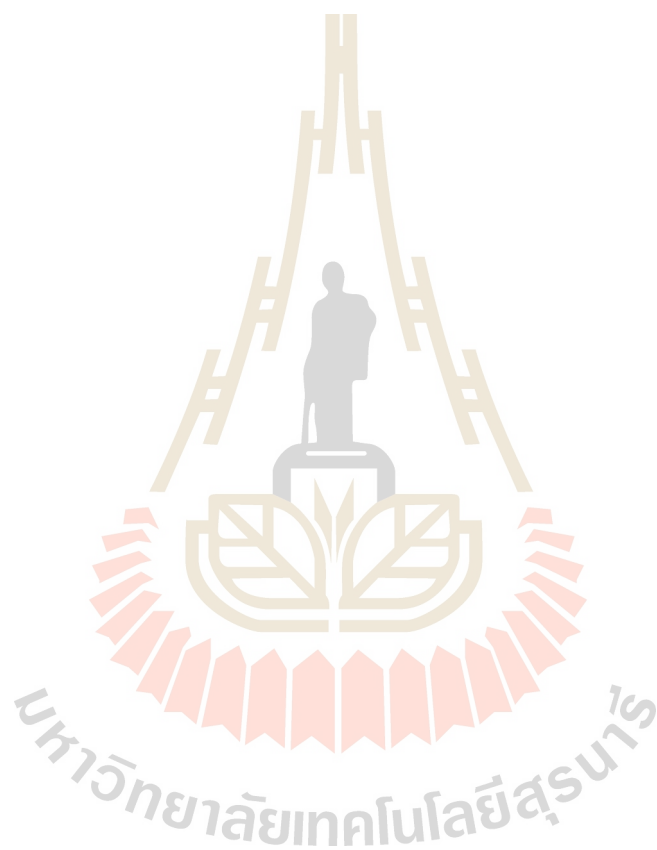
ตารางที่ 4.4 สถิติพรรณนาของความเข้มข้นธาตุ

พารามิเตอร์	เขต	Mean	Median	SD	Min.	Max.	Shapiro-Wilk Test	Paired t Test
หน่วย: ng/m <sup>3</sup> , n = 41								
Ag	เมือง	0.43	0.37	0.27	0.08	1.19	0.004*	0.000**
	อุตสาหกรรม	2.80	2.18	2.50	0.25	11.33	0.000*	
Al	เมือง	71.52	68.08	31.22	31.71	136.31	0.004*	0.009**
	อุตสาหกรรม	83.29	78.63	35.02	34.35	164.14	0.013*	
As	เมือง	1.95	0.92	2.63	0.27	12.27	0.000*	0.231
	อุตสาหกรรม	2.00	0.96	2.70	0.29	12.82	0.000*	
Ba	เมือง	15.10	13.25	8.71	5.47	44.31	0.000*	0.248
	อุตสาหกรรม	17.25	15.48	9.01	5.57	43.91	0.003*	
Cd	เมือง	0.50	0.31	0.50	0.09	2.32	0.000*	0.000**
	อุตสาหกรรม	0.95	0.75	0.62	0.31	2.79	0.000*	
Co	เมือง	0.11	0.07	0.18	0.03	1.13	0.000*	0.982
	อุตสาหกรรม	0.11	0.11	0.05	0.03	0.32	0.000*	
Cr	เมือง	114.75	114.08	9.27	99.50	148.32	0.016*	0.038**
	อุตสาหกรรม	111.27	111.88	7.87	86.83	125.95	0.223	
Cu	เมือง	16.05	11.23	15.25	2.02	70.20	0.000*	0.433
	อุตสาหกรรม	18.72	12.78	18.13	2.04	69.12	0.000*	
Fe	เมือง	87.37	67.31	48.54	27.01	226.01	0.004*	0.004**
	อุตสาหกรรม	113.96	93.34	73.77	33.67	312.80	0.001*	
Mg	เมือง	131.80	126.55	20.15	95.13	196.53	0.001*	0.154
	อุตสาหกรรม	140.29	133.22	32.46	107.79	297.08	0.000*	
Mn	เมือง	3.98	2.35	4.91	0.00	21.26	0.000*	0.001**
	อุตสาหกรรม	6.62	5.27	6.01	0.11	23.16	0.000*	
Ni	เมือง	1.14	0.88	0.87	0.18	4.79	0.000*	0.000**
	อุตสาหกรรม	3.17	2.49	2.60	0.90	13.84	0.000*	
Pb	เมือง	11.12	7.45	9.52	2.01	38.76	0.000*	0.629
	อุตสาหกรรม	11.40	6.82	10.45	1.96	43.23	0.000*	
Sb	เมือง	2.98	1.64	5.41	0.79	35.88	0.000*	0.886
	อุตสาหกรรม	2.86	1.78	2.76	0.85	15.57	0.000*	
Se	เมือง	0.81	0.64	0.59	0.20	2.58	0.000*	0.309
	อุตสาหกรรม	0.84	0.64	0.63	0.09	2.98	0.000*	
Sr	เมือง	1.63	1.24	1.05	0.64	5.07	0.000*	0.387
	อุตสาหกรรม	1.53	1.22	0.76	0.83	4.72	0.000*	
Ti	เมือง	2.24	1.98	0.83	1.04	4.65	0.002*	0.416
	อุตสาหกรรม	2.36	2.21	0.72	1.37	4.27	0.034*	
Tl	เมือง	0.08	0.05	0.07	0.01	0.31	0.000*	0.000**
	อุตสาหกรรม	0.88	0.53	0.81	0.16	3.60	0.000*	

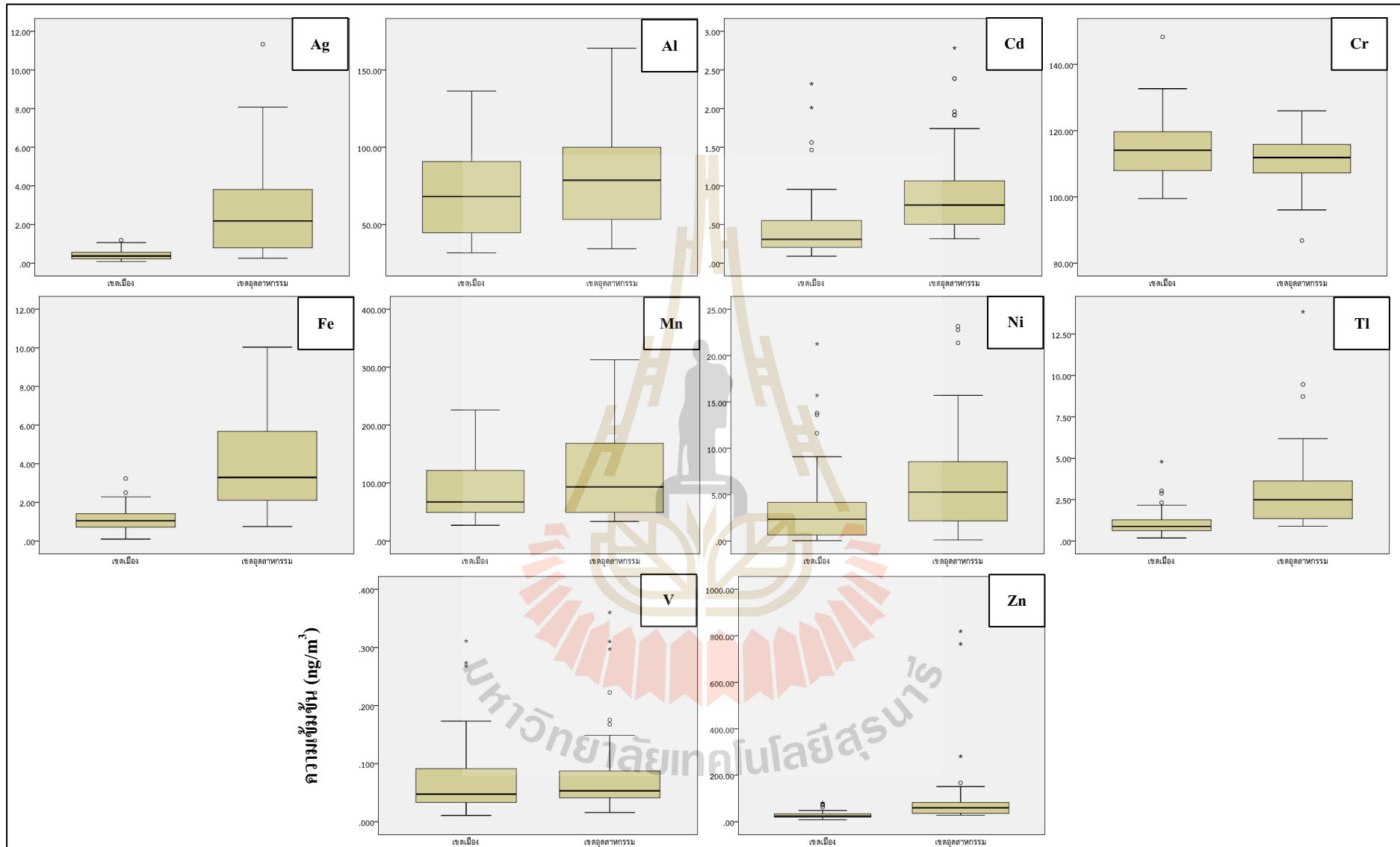
ตารางที่ 4.4 สถิติพรรณนาของความเข้มข้นธาตุ (ต่อ)

พารามิเตอร์	เขต	Mean	Median	SD	Min.	Max.	Shapiro-Wilk Test	Paired t Test
หน่วย: ng/m <sup>3</sup> , n = 41								
V	เมือง	1.12	1.05	0.71	0.10	3.23	0.066	0.000**
	อุตสาหกรรม	3.93	3.29	2.37	0.75	10.04	0.014*	
Zn	เมือง	28.98	24.27	17.36	8.85	81.39	0.000*	0.006**
	อุตสาหกรรม	104.38	60.00	165.07	28.43	819.25	0.000*	

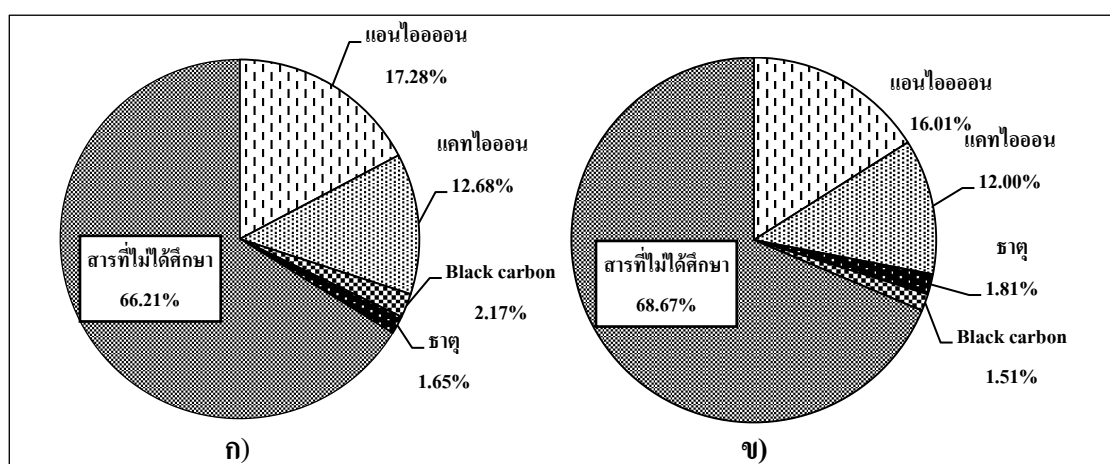
\*การแจกแจงไม่เป็นแบบปกติ; \*\*ค่าเฉลี่ยของเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ







รูปที่ 4.6 Box plot ความเข้มข้นเฉลี่ยของธาตุที่ตรวจวัดในแต่ละพื้นที่



รูปที่ 4.7 องค์ประกอบทางเคมีของ  $PM_{2.5}$  ก) เขตเมือง ; ข) เขตอุตสาหกรรม

#### 4.5 การวิเคราะห์สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{2.5}$

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีที่ตรวจวัดของ  $PM_{2.5}$  ทั้ง 2 พื้นที่ ดังรูปที่ 4.7 พบว่าทั้ง 2 พื้นที่ที่ตรวจวัดมีองค์ประกอบเหมือนกัน แต่จะมีความเข้มข้นของแต่ละพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดแตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 4.7 พบว่าสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีใน  $PM_{2.5}$  ในเขตเมืองมีปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตมากที่สุด รองลงมาเป็นแคลเซียมซัลเฟต Black carbon และปริมาณขี้เถ้าพบน้อยสุด ตามลำดับ โดยคิดเป็น 17.28% 12.68% 2.17% และ 1.65% ตามลำดับ รวมทั้งหมดคิดเป็น 33.78% ของปริมาณ  $PM_{2.5}$  ทั้งหมด ส่วนในเขตอุตสาหกรรมพบว่าปริมาณแอมโมเนียมซัลเฟตมากที่สุดรองลงมาเป็นแคลเซียมซัลเฟต ปริมาณขี้เถ้า และ Black carbon พบน้อยสุด ตามลำดับ คิดเป็น 16.00% 12.00% 1.81% และ 1.51% ตามลำดับ รวมทั้งหมดคิดเป็น 31.32% ของปริมาณ  $PM_{2.5}$  ทั้งหมด นอกจากนั้นยังมีองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ที่ไม่ได้ทำการศึกษา ทั้ง 2 พื้นที่ ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนมากใน  $PM_{2.5}$  โดยเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม พบ 66.21% และ 68.66% ตามลำดับ ซึ่งองค์ประกอบอื่นที่ไม่ได้ทำการตรวจวัด ได้แก่ Organic carbon, Organic compound, Elemental carbon, PAHs, VOCs, Organic acid และขี้เถ้าอื่น ๆ

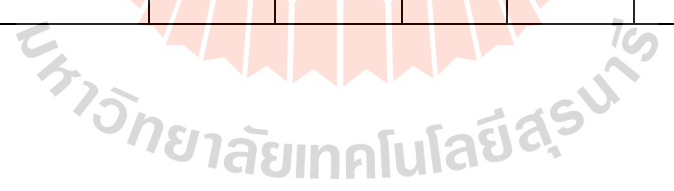
ข้อสังเกต จะเห็นได้ว่าในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมจะมีสัดส่วนที่เหมือนกัน คือ สัดส่วนแคลเซียมซัลเฟตมากที่สุด รองลงมาเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต แต่จะต่างที่สัดส่วนของ Black carbon และขี้เถ้า ซึ่งในเขตเมืองจะมีปริมาณ Black carbon สูงกว่าเขตอุตสาหกรรม เนื่องจากเขตเมืองมีการจราจรที่หนาแน่นกว่า ส่วนปริมาณขี้เถ้า ส่วนในเขตอุตสาหกรรมจะมีปริมาณขี้เถ้าสูงกว่าเขตเมือง เนื่องจากในเขตอุตสาหกรรมมีโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท จึงทำให้มีปริมาณขี้เถ้าเกิดขึ้นมากกว่าเขตเมือง

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่ต่าง ๆ

อ้างอิง	สถานที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นเฉลี่ย ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	องค์ประกอบทางเคมี (%)							
				แอนไอออน	แคทไอออน	ธาตุ	Black carbon	Elemental carbon	Organic carbon	สารอื่น ๆ	สารที่ไม่ได้ศึกษา
การศึกษานี้	จังหวัดนครราชสีมา	เขตเมือง	29.93	17.28	12.68	1.65	2.17	-	-	-	66.21
		เขตอุตสาหกรรม	34.71	16.00	12.00	1.81	1.51	-	-	-	68.66
Wimolwattanapum et al. (2011)	จังหวัดปทุมธานีและกรุงเทพมหานคร	เขตเมือง	23.30	-	-	13.97	30.55	-	-	-	55.48
		- กรุงเทพฯ - จังหวัดปทุมธานี		19.46	-	-	15.24	21.47	-	-	-
Han et al. (2017)	เมือง Baton Rouge รัฐ Louisiana ประเทศสหรัฐอเมริกา	เขตเมือง	9.34	33.51	7.49	17.87	-	4.07	26.55	-	10.50
Choi et al. (2013)	เมือง Incheon ประเทศเกาหลีใต้	เขตเมือง	42.56	27.26	12.38	6.18	-	4.20	18.88	-	31.11
Landis et al. (2017)	เมือง Fort McKay รัฐ Alberta ประเทศแคนาดา	เขตเมือง	8.59	-	-	8.16	-	-	-	-	91.84
Murillo et al. (2012)	เมือง Salamanca รัฐ Guanajuato ประเทศเม็กซิโก	เขตเมือง	45.00	14.69	-	22.50	-	10.64	14.44	-	37.72
Lestari et al. (2009)	เมือง Bandung ประเทศอินโดนีเซีย	- ฤดูแล้ง	48.00	7.98	0.63	6.92	23.46	-	-	-	61.02
		- ฤดูฝน	39.00	12.33	1.08	9.03	25.13	-	-	-	52.44

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่ต่าง ๆ (ต่อ)

อ้างอิง	สถานที่	จุดเก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นเฉลี่ย ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	องค์ประกอบทางเคมี (%)								
				แอนไอออน	แคทไอออน	ธาตุ	Black carbon	Elemental carbon	Organic carbon	สารอื่น ๆ	สารที่ไม่ได้ศึกษา	
Mansha et al. (2012)	เมือง Karachi ประเทศปากีสถาน	เขตอุตสาหกรรม	83.53	26.50	-	0.58	-	-	-	-	-	72.92
Orogade et al. (2016)	เมือง Kaduna ประเทศไนจีเรีย	เขตอุตสาหกรรม - เกษตร - กลับปีโตรเลียม	135.70	-	-	3.76	0.91	-	-	-	-	95.33
			37.20	-	-	10.50	2.96	-	-	-	-	86.54
Murillo et al. (2013)	เมือง Belen ประเทศคอสตาริกา	เขตอุตสาหกรรม	36.00	15.92	4.31	10.60	-	9.86	34.86	-	-	24.45
Geng et al. (2013)	เมือง Zhengzhou ประเทศจีน	เขตอุตสาหกรรม	175.00	27.89	13.26	2.62	-	2.23	11.49	13.71	-	28.81
Cesari et al. (2014)	เมือง Brindisi ประเทศอิตาลี	เขตอุตสาหกรรม	15.09	24.41	12.65	2.97	-	-	-	10.17	-	49.80
Ledoux et al. (2017)	เมือง Saint-Omer ประเทศฝรั่งเศส	เขตอุตสาหกรรม	32.50	38.15	13.74	1.57	-	-	-	16.02	-	30.52

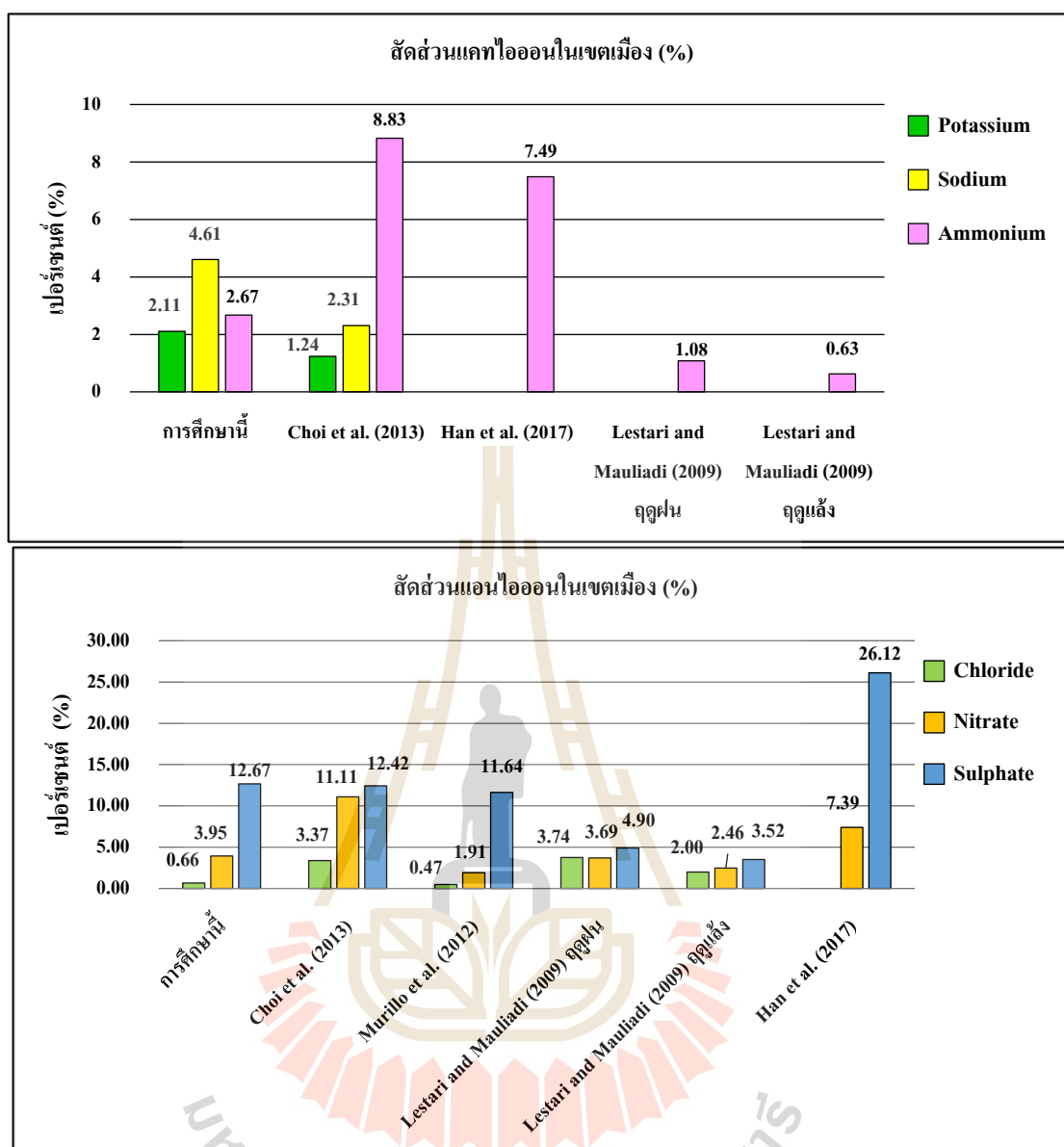


เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นในการศึกษาองค์ประกอบของ PM<sub>2.5</sub> ดังตารางที่ 4.5 พบว่า แอนไอออน มีองค์ประกอบมากที่สุดเหมือนกันหมด รองลงมาจะเป็นแคทไอออน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ แต่มีบางงานวิจัยที่มีธาตุมากกว่า เนื่องจากธาตุทำการศึกษาหลายชนิดและบางงานวิจัยทำการศึกษาแคทไอออนน้อย และเมื่อเทียบจากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าปริมาณ Black carbon ในเขตเมืองมีปริมาณมากกว่าเขตอุตสาหกรรม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ที่พบว่าปริมาณ Black carbon ในเขตเมืองมากกว่าเขตอุตสาหกรรม ส่วนองค์ประกอบที่เป็นธาตุ จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบของธาตุใน PM<sub>2.5</sub> ส่วนมากจะมีปริมาณน้อยซึ่งได้สอดคล้องกับการศึกษานี้ แต่บางงานวิจัยมีปริมาณธาตุอยู่มาก เนื่องจากในแต่ละงานวิจัยจะมีจำนวนธาตุที่ศึกษาที่แตกต่างกัน ส่วนสารที่ไม่ได้ศึกษาพบว่าเป็นองค์ประกอบใน PM<sub>2.5</sub> อยู่มาก ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ไม่ได้นำข้อมูลมาใช้ในการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษของฝุ่นละออง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของ PM<sub>2.5</sub> แต่ละพารามิเตอร์ในแต่ละเขตพื้นที่ที่ตรวจวัดกับงานวิจัยอื่น ๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6 โดยเมื่อพิจารณาสารเคมีแต่ละชนิดในแต่ละกลุ่มและบางชนิดในกลุ่มธาตุโลหะ พบว่า จากรูปที่ 4.8 เมื่อเทียบสัดส่วนของสารไอออนิกในเขตเมืองกับงานวิจัยอื่นจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ K<sup>+</sup> และ Na<sup>+</sup> นั้นค่อนข้างสูงมาก แต่ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> มีสัดส่วนค่อนข้างน้อยและ Cl<sup>-</sup> มีสัดส่วนที่น้อยมาก ส่วน NO<sub>3</sub><sup>-</sup> มีสัดส่วนค่อนข้างน้อย และ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> มีสัดส่วนค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น

ตารางที่ 4.6 สรุปการเปรียบเทียบสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ PM<sub>2.5</sub> (%)

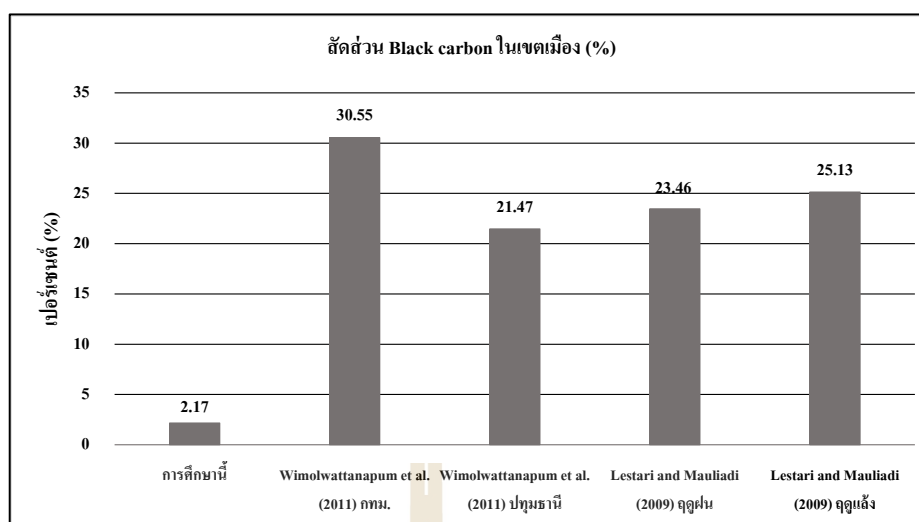
อ้างอิง	สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของ PM <sub>2.5</sub> (%)												
	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	BC	As	Cr	Cu	Ni	Pb
<b>เขตเมือง</b>													
การศึกษานี้	3.29	2.11	4.61	2.67	0.66	3.95	12.67	2.17	6.50×10 <sup>-3</sup>	0.38	0.05	3.80×10 <sup>-3</sup>	0.04
Choi et al. (2013)	-	1.24	2.31	8.83	3.37	3.95	12.42	-	0.24	0.55	0.20	0.04	0.14
Han et al. (2017)	-	-	-	7.49	-	7.39	26.12	-	0.88	0.07	0.02	0.02	0.03
Lestari et al. (2009) ฤดูฝน	-	-	-	1.08	-	3.74	3.69	4.90	-	0.05	0.03	0.08	0.08
Lestari et al. (2009) ฤดูแห้ง	-	-	-	0.63	-	2.00	2.46	3.52	-	0.13	0.04	0.02	0.06
Murillo et al. (2012)	-	-	-	-	0.47	1.91	11.64	-	-	0.04	0.10	0.03	0.27
Wimolwattanapum et al. (2011) กทม.	-	-	-	-	-	-	-	30.55	0.02	0.02	0.03	0.01	0.13
Wimolwattanapum et al. (2011) ปทุม	-	-	-	-	-	-	-	21.47	0.01	0.02	0.02	0.01	0.15
Landis et al. (2017)	-	-	-	-	-	-	-	-	1.20×10 <sup>3</sup>	3.10×10 <sup>3</sup>	0.01	6.80×10 <sup>-3</sup>	4.60×10 <sup>-3</sup>
<b>เขตอุตสาหกรรม</b>													
การศึกษานี้	2.88	2.19	4.25	2.68	0.98	3.46	11.56	1.51	5.80×10 <sup>-3</sup>	0.32	0.05	9.10×10 <sup>-3</sup>	0.03
Cesari et al. (2014)	1.58	1.48	1.6	7.73	0.39	1.65	21.52	-	-	4.60×10 <sup>-3</sup>	0.02	-	0.03
Geng et al. (2013)	1.66	1.37	0.69	8.91	3.66	9.54	14.69	-	-	-	-	-	-
Lecloux et al. (2017)	-	-	-	13.74	1.56	27.9	8.7	-	4.20×10 <sup>-3</sup>	2.30×10 <sup>-3</sup>	9.60×10 <sup>-3</sup>	9.00×10 <sup>-3</sup>	0.06
Murillo et al. (2013)	-	-	-	4.31	1.58	1.67	10.58	-	-	0.02	0.27	0.02	0.03
Mansha et al. (2012)	-	-	-	-	6.26	10.32	9.92	-	0.05	0.02	-	-	0.63
Orogade et al. (2016) เกษตร	-	-	-	-	-	-	-	0.91	-	-	0.01	8.10×10 <sup>-3</sup>	5.90×10 <sup>-3</sup>
Orogade et al. (2016) ก สัน ปีโตเรีย	-	-	-	-	-	-	-	2.96	-	-	0.03	0.01	0.02



รูปที่ 4.8 สัดส่วนองค์ประกอบสารไอออนิกของ  $PM_{2.5}$  ในเขตเมือง

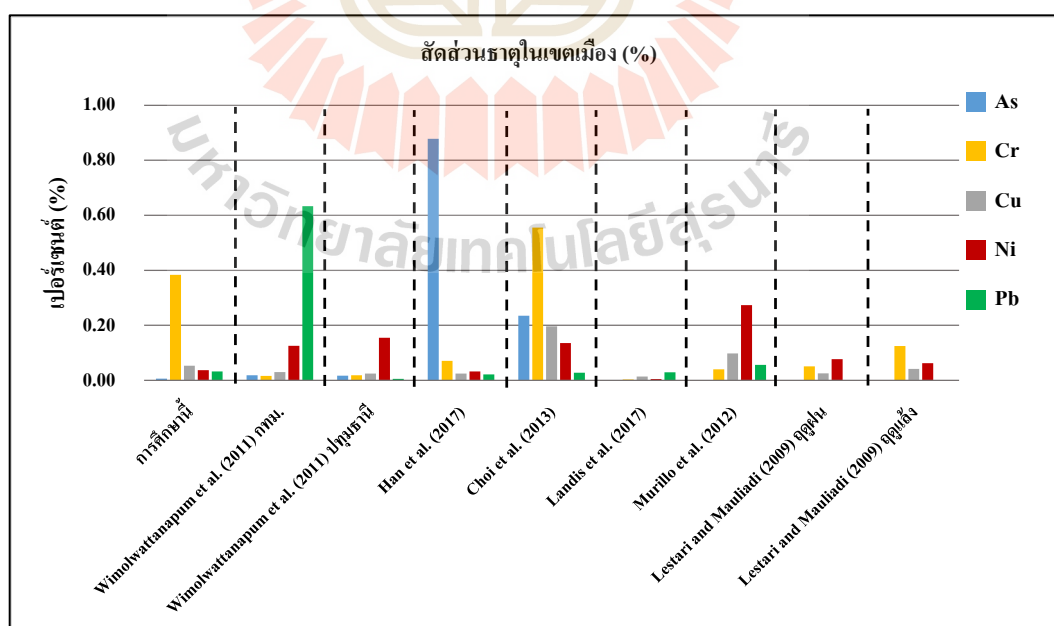
จากรูปที่ 4.9 พบว่า สัดส่วนของ Black carbon ในเขตเมืองของการศึกษานี้มีสัดส่วนน้อยที่สุด เมื่อเทียบการงานวิจัยอื่น เนื่องจากการงานวิจัยอื่น เป็นการงานวิจัยอื่นเป็นเมืองที่มีขนาดใหญ่กว่า จึงทำให้มีกิจกรรมที่ทำให้เกิด Black carbon ที่หลากหลายและการคมนาคมมีความหนาแน่นมากกว่า จึงส่งผลให้เกิด Black carbon ที่สูงกว่า





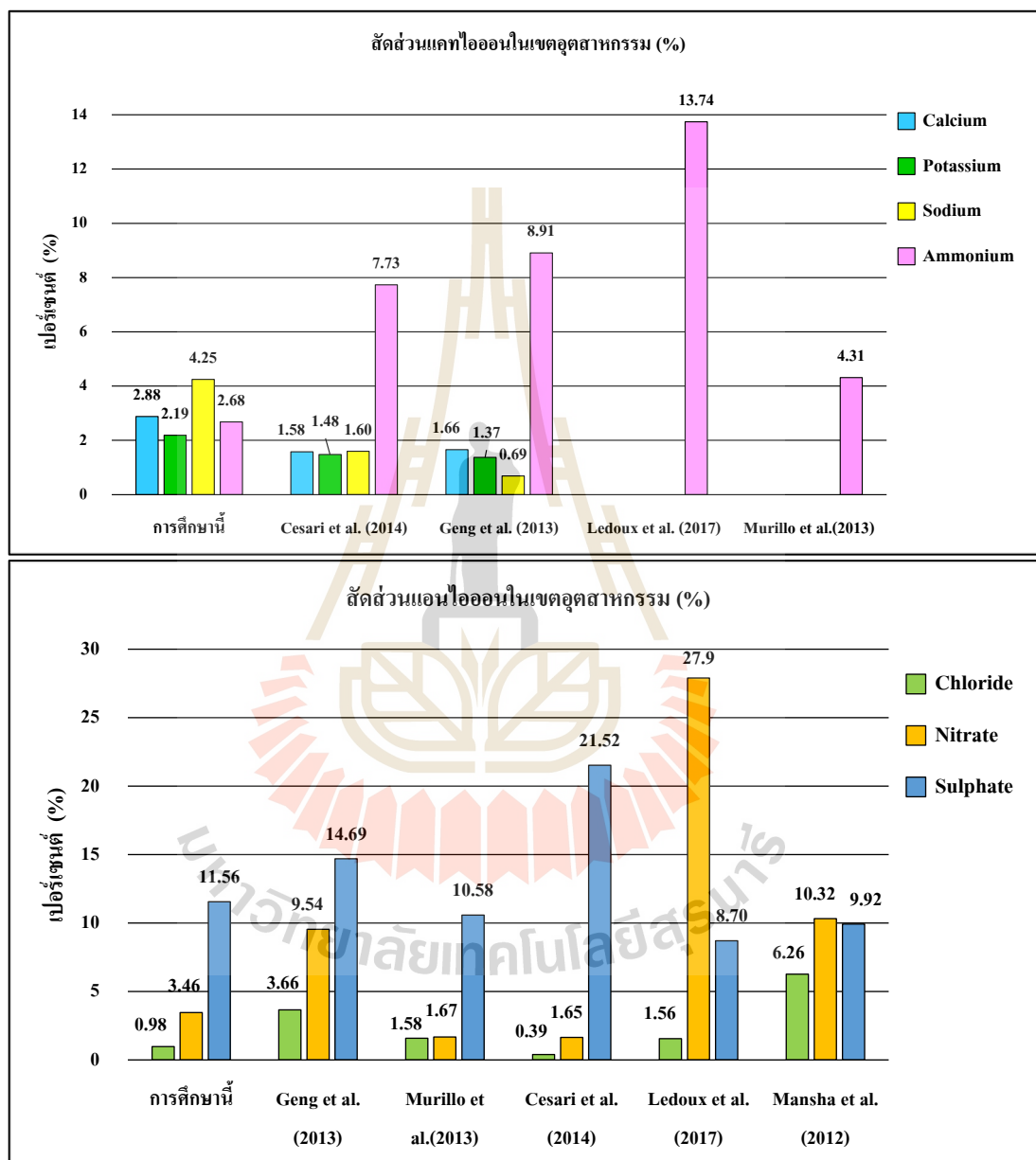
รูปที่ 4.9 สัดส่วนองค์ประกอบ Black carbon ของ  $PM_{2.5}$  ในเขตเมือง

จากรูปที่ 4.10 เมื่อเทียบสัดส่วนของธาตุกับงานวิจัยอื่นจะเห็นได้ว่า As และ Pb ซึ่งทั้ง 2 ธาตุเป็นสารโลหะหนักที่องค์การอนามัยโลกพิจารณาว่า (WHO, 2010) มีสัดส่วนที่น้อย เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น และ Ni มีสัดส่วนที่น้อยที่สุด ส่วน Cr มีสัดส่วนที่ค่อนข้างสูงมาก เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น



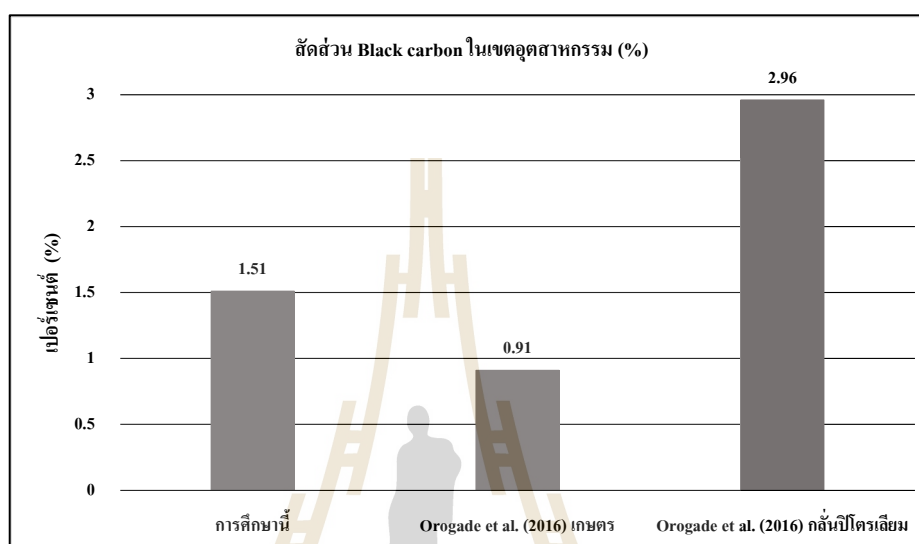
รูปที่ 4.10 สัดส่วนองค์ประกอบตัวอย่างธาตุบางชนิดของ  $PM_{2.5}$  ในเขตเมือง

จากรูปที่ 4.11 เมื่อเทียบสัดส่วนของสารไอออนิกในเขตอุตสาหกรรมกับงานวิจัยอื่นจะเห็นได้ว่าสัดส่วนของ  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{K}^+$  และ  $\text{Na}^+$  นั้นค่อนข้างสูงมาก แต่  $\text{NH}_4^+$  มีสัดส่วนน้อยที่สุด และส่วน  $\text{Cl}^-$  และ  $\text{NO}_3^-$  มีสัดส่วนที่ค่อนข้างน้อย ส่วน  $\text{SO}_4^{2-}$  มีสัดส่วนค่อนข้างสูง



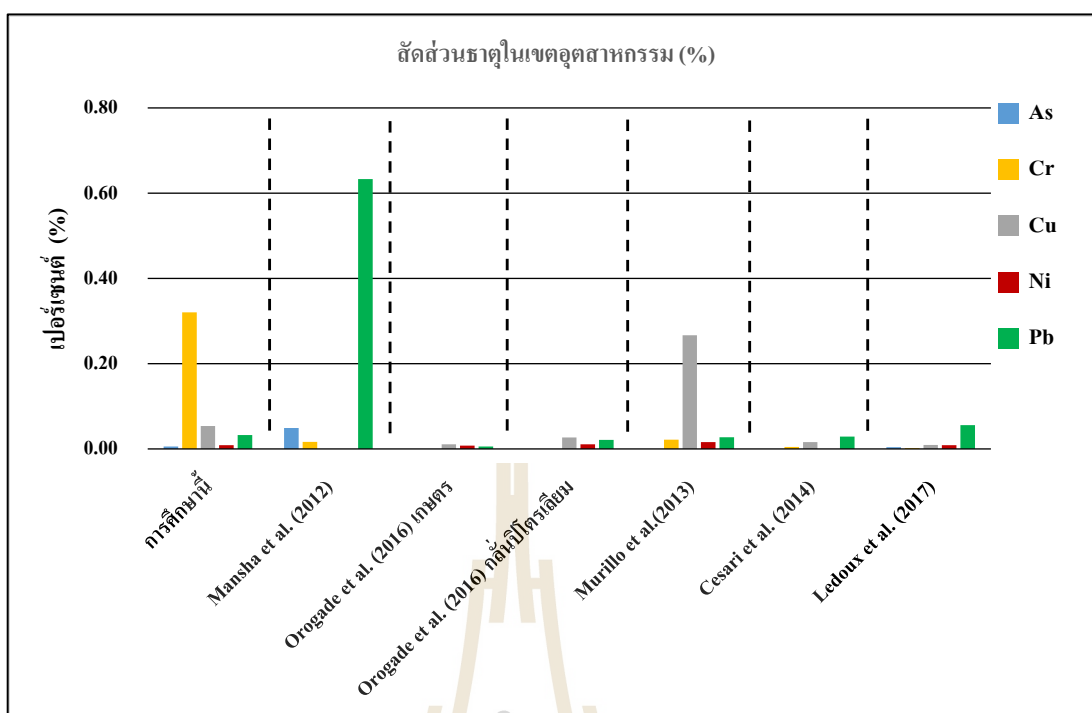
รูปที่ 4.11 สัดส่วนองค์ประกอบสารไอออนิกของ  $\text{PM}_{2.5}$  ในเขตอุตสาหกรรม

จากรูปที่ 4.12 พบว่า สัดส่วนของ Black carbon ในเขตอุตสาหกรรมของการศึกษานี้มี สัดส่วนค่อนข้างสูง เมื่อเทียบการงานวิจัยอื่น เนื่องจากเขตอุตสาหกรรมสุรนารี มีการคมนาคมที่หนาแน่น มีพื้นที่ชุมชนอยู่โดยรอบและภายในเขตอุตสาหกรรม อีกทั้งโรงงานมีการขนส่งสินค้าตลอดเวลาอีกด้วย



รูปที่ 4.12 สัดส่วนองค์ประกอบ Black carbon ของ  $PM_{2.5}$  ในอุตสาหกรรม

จากรูปที่ 4.13 เมื่อเทียบสัดส่วนของธาตุกับงานวิจัยอื่นจะเห็นได้ว่า As Ni และ Pb มี สัดส่วนค่อนข้างน้อย ส่วน Cu มีสัดส่วนค่อนข้างสูงมาก และ Cr มีสัดส่วนที่มากที่สุด เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น



รูปที่ 4.13 สัดส่วนองค์ประกอบตัวอย่างธาตุบางชนิดของ PM<sub>2.5</sub> ในเขตอุตสาหกรรม

#### 4.6 สหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของ PM<sub>2.5</sub>

ในการวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ (r) เป็นการวิเคราะห์โดยใช้สารเคมีระบุแหล่งกำเนิดหรือ source fingerprint ที่ใช้ระบุแหล่งกำเนิด หรือ source emission จากงานวิจัยอื่น ๆ เพื่อเทียบความเป็นไปได้ของแหล่งกำเนิดนั้นกับผลการศึกษ้องค์ประกอบทางเคมีของการศึกษานี้ เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ขององค์ประกอบทางเคมีของ PM<sub>2.5</sub> ทั้ง 2 พื้นที่ ด้วยวิธี Pearson Correlation ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าในพื้นที่เขตเมือง มีความสัมพันธ์ทางบวกค่อนข้างสูงอยู่หลายคู่ แสดงดังตารางที่ 4.7 ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะมาจากแหล่งกำเนิดเดียวกันและเมื่อจำแนกตามแหล่งกำเนิดของ PM<sub>2.5</sub> จะได้ค่าสหสัมพันธ์ ดังนี้

1) Biomass burning มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่ BC NO<sub>3</sub> K<sup>+</sup> (Lestari and Mauliadi, 2009) มีค่า r แต่ละคู่อยู่ในช่วง 0.71-0.83

2) Industry มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่ Fe Mn (Farao et al., 2014) ซึ่งคู่นี้มีค่า r = 0.71 และ As Cd Mn Pb Se Tl Zn (Hagler et al., 2007; Tian et al., 2016) มีค่า r แต่ละคู่อยู่ในช่วง 0.80-0.95

3) Soil dust มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่ Mg Sr (Geng et al., 2013) ซึ่งคู่นี้มีค่า r = 0.78 และ Al Fe (Orogate et al., 2016) คู่นี้มีค่า r = 0.78

4) Vehicle emission มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่ Cd Pb Zn (Lestari and Mauliadi, 2009; Gugamsetty et al., 2012; Mansha et al., 2012) แต่ละคู่มีค่า r อยู่ในช่วง 0.80-0.91

5) Secondary aerosol มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่  $\text{SO}_4^{2-}$   $\text{NH}_4^+$  (Lestari and Mauliadi, 2009) คู่นี้มีค่า  $r = 0.77$

ส่วนในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม พบว่ามีความสัมพันธ์ทางบวกค่อนข้างสูงเหมือนกันแต่จะมีน้อยกว่าเขตเมือง ซึ่งค่าสหสัมพันธ์แสดงดังตารางที่ 4.8 และเมื่อจำแนกตามแหล่งกำเนิดของ  $\text{PM}_{2.5}$  จะได้ดังนี้

1) Biomass burning มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่ BC  $\text{NO}_3^-$   $\text{K}^+$  (Lestari and Mauliadi, 2009) แต่ละคู่มีค่า r อยู่ในช่วง 0.76-0.84

2) Industry มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่ Fe Mn (Farao et al., 2014) คู่นี้มีค่า  $r = 0.75$  และ As Pb Se Tl แต่ละคู่มีค่า r อยู่ในช่วง 0.86-0.96 (Hagler et al., 2007; Tian et al., 2016)

3) Soil dust มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่ Al Cu Fe (Orogade et al., 2016) แต่ละคู่มีค่า r อยู่ในช่วง 0.70-0.79

4) Zinc rich มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่ Mg Zn (Wimolwattanapum et al., 2011) คู่นี้มีค่า  $r = 0.77$

5) Traffic emission มีสารเคมีระบุแหล่งกำเนิด (fingerprint) ได้แก่ Cu Fe (Gu et al., 2011) คู่นี้มีค่า  $r = 0.75$

โดยค่าสหสัมพันธ์ จะถูกนำมาประกอบการพิจารณาเป็น source fingerprint ในแต่ละ source profiles ที่ได้จากการประมวลผลของแบบจำลอง PMF เพื่อระบุแหล่งกำเนิดของ  $\text{PM}_{2.5}$  ในแต่ละพื้นที่ที่ตรวจวัด

ตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ขององค์ประกอบทางเคมีของ PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตเมือง

เขตเมือง																												
	BC	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Ti	Tl	V	Zn
BC	1.00																											
Cl	0.40	1.00																										
NO <sub>3</sub>	0.77	0.48	1.00																									
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.54	0.33	0.49	1.00																								
Ca <sup>2+</sup>	0.15	-0.28	0.04	-0.12	1.00																							
K <sup>+</sup>	0.83	0.57	0.71	0.52	-0.04	1.00																						
Na <sup>+</sup>	-0.08	-0.02	-0.06	0.37	-0.41	-0.04	1.00																					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.48	0.45	0.56	0.77	-0.15	0.50	0.10	1.00																				
Ag	0.29	0.34	0.21	0.64	-0.15	0.31	0.25	0.58	1.00																			
Al	0.42	0.52	0.34	0.48	-0.37	0.56	0.11	0.35	0.31	1.00																		
As	0.53	0.25	0.41	0.79	0.14	0.49	-0.04	0.70	0.44	0.41	1.00																	
Ba	0.27	0.28	0.33	0.40	-0.11	0.33	-0.02	0.34	0.31	0.50	0.40	1.00																
Cd	0.67	0.30	0.51	0.79	0.11	0.63	0.02	0.70	0.44	0.47	0.95	0.37	1.00															
Co	0.24	0.12	0.06	0.47	-0.06	0.28	-0.08	0.23	0.56	0.51	0.48	0.34	0.48	1.00														
Cr	0.29	0.10	0.23	0.01	-0.14	0.26	-0.41	0.09	0.10	0.22	0.08	0.22	0.12	0.36	1.00													
Cu	0.21	0.22	0.03	0.48	-0.10	0.35	0.10	0.26	0.56	0.56	0.37	0.28	0.34	0.49	-0.10	1.00												
Fe	0.41	0.54	0.29	0.58	-0.25	0.57	0.22	0.53	0.71	0.77	0.49	0.43	0.51	0.51	-0.03	0.40	1.00											
Mg	0.16	-0.07	0.11	0.45	-0.18	0.21	0.46	0.37	0.47	0.37	0.12	0.13	0.21	0.19	0.80	0.27	0.28	1.00										
Mn	0.49	0.34	0.37	0.75	-0.10	0.58	0.14	0.64	0.52	0.61	0.80	0.41	0.81	0.60	0.19	0.50	0.71	0.30	1.00									
Ni	0.04	-0.17	0.02	0.25	0.06	-0.18	0.13	0.57	0.12	-0.14	0.18	-0.20	0.13	-0.14	-0.18	-0.08	-0.12	0.34	-0.13	1.00								
Pb	0.55	0.23	0.43	0.75	0.19	0.52	0.00	0.65	0.42	0.36	0.93	0.34	0.91	0.44	0.08	0.32	0.43	0.13	0.67	0.23	1.00							
Sb	0.63	0.33	0.46	0.39	0.07	0.62	0.03	0.15	0.27	0.45	0.47	0.26	0.58	0.27	0.08	0.29	0.53	-0.03	0.55	-0.07	0.51	1.00						
Se	0.64	0.22	0.50	0.81	0.17	0.54	0.02	0.65	0.40	0.39	0.94	0.37	0.92	0.43	0.09	0.34	0.47	0.17	0.79	0.17	0.90	0.58	1.00					
Sr	0.24	0.18	0.14	0.62	-0.19	0.31	0.43	0.50	0.58	0.46	0.35	0.35	0.38	0.29	0.13	0.30	0.42	0.78	0.45	0.26	0.37	0.10	0.37	1.00				
Ti	0.34	0.13	0.31	0.08	0.33	0.12	-0.22	0.40	0.11	0.01	0.15	-0.01	0.18	-0.14	0.00	-0.14	-0.12	0.10	-0.22	0.60	0.30	0.07	0.16	0.10	1.00			
Tl	0.59	0.28	0.48	0.77	0.10	0.56	-0.05	0.67	0.33	0.41	0.96	0.42	0.93	0.45	0.17	0.27	0.45	0.11	0.78	0.08	0.91	0.50	0.94	0.36	0.11	1.00		
V	0.49	0.10	0.44	0.48	-0.09	0.33	0.05	0.66	0.10	0.09	0.48	0.03	0.49	0.03	0.26	-0.04	0.12	0.26	0.43	0.41	0.40	0.22	0.53	0.20	0.27	0.50	1.00	
Zn	0.54	0.14	0.37	0.70	0.13	0.47	0.05	0.51	0.54	0.49	0.84	0.32	0.80	0.54	0.09	0.45	0.57	0.21	0.68	0.27	0.88	0.59	0.83	0.36	0.24	0.79	0.36	1.00

\*ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; ตัวหนา คือ ค่าที่มีสหสัมพันธ์มากกว่าหรือเท่ากับ 0.70



ตารางที่ 4.8 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ขององค์ประกอบทางเคมีของ PM<sub>2.5</sub> ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม

เขตอุตสาหกรรม																												
	BC	Cl	NO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ag	Al	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Ti	Tl	V	Zn
BC	1.00																											
Cl	0.26	1.00																										
NO <sub>3</sub>	0.84	0.45	1.00																									
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.58	0.11	0.46	1.00																								
Ca <sup>2+</sup>	-0.10	-0.12	0.08	-0.46	1.00																							
K <sup>+</sup>	0.80	0.53	0.76	0.53	-0.19	1.00																						
Na <sup>+</sup>	0.10	0.00	0.14	0.44	0.27	0.13	1.00																					
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.45	0.13	0.43	0.52	-0.03	0.58	0.18	1.00																				
Ag	0.17	0.30	0.04	0.25	0.06	0.10	0.11	-0.12	1.00																			
Al	0.29	0.50	0.29	0.41	-0.13	0.52	0.22	0.30	0.17	1.00																		
As	0.07	0.07	0.42	0.89	0.00	0.44	0.32	0.52	0.17	0.38	1.00																	
Ba	0.10	0.10	0.18	0.17	0.07	0.23	0.15	0.33	0.06	0.57	0.24	1.00																
Cd	0.39	0.39	0.24	0.41	0.04	0.39	0.11	0.16	0.37	0.49	0.52	0.14	1.00															
Co	0.40	0.40	0.18	0.42	-0.42	0.49	-0.02	0.33	0.39	0.63	0.26	0.41	0.33	1.00														
Cr	0.20	0.20	0.12	-0.22	0.39	0.10	-0.61	-0.13	-0.03	0.00	-0.25	-0.16	0.00	0.11	1.00													
Cu	0.43	0.43	0.12	0.19	-0.25	0.34	0.03	0.11	0.04	0.70	0.22	0.35	0.42	0.41	0.13	1.00												
Fe	0.52	0.52	0.12	0.29	-0.21	0.30	0.06	0.01	0.25	0.79	0.34	0.47	0.50	0.58	0.10	0.75	1.00											
Mg	0.33	0.33	0.31	0.29	-0.16	0.35	0.46	0.12	0.13	0.36	0.06	0.15	-0.21	0.17	-0.08	0.15	0.21	1.00										
Mn	0.40	0.40	0.25	0.44	-0.08	0.29	0.27	-0.01	0.29	0.59	0.41	0.36	0.30	0.37	0.02	0.44	0.75	0.45	1.00									
Ni	-0.04	-0.04	0.00	0.11	-0.31	0.15	0.11	0.11	0.13	-0.08	-0.19	-0.16	-0.25	0.47	0.40	-0.15	-0.16	0.13	-0.05	1.00								
Pb	0.12	0.12	0.47	0.89	-0.08	0.49	0.37	0.45	0.13	0.45	0.92	0.19	0.54	0.32	-0.17	0.32	0.39	0.09	0.45	-0.07	1.00							
Sb	0.21	0.21	0.65	0.54	0.01	0.51	0.19	0.40	0.13	0.39	0.62	0.33	0.36	0.22	-0.12	0.34	0.37	0.25	0.32	-0.22	0.66	1.00						
Se	0.08	0.08	0.53	0.85	-0.03	0.48	0.26	0.39	0.15	0.37	0.88	0.13	0.51	0.19	-0.16	0.19	0.26	0.13	0.39	-0.13	0.86	0.59	1.00					
Sr	0.35	0.35	0.43	0.40	0.09	0.46	0.16	0.33	0.29	0.56	0.32	0.49	0.25	0.53	0.15	0.18	0.32	0.17	0.37	0.15	0.35	0.20	0.33	1.00				
Ti	-0.25	-0.25	0.29	0.12	0.45	0.03	0.36	0.28	-0.03	-0.13	0.08	0.02	-0.11	-0.15	-0.42	-0.40	-0.39	0.05	-0.23	0.11	0.01	0.19	0.11	0.13	1.00			
Tl	0.08	0.08	0.47	0.91	-0.05	0.53	0.34	0.52	0.12	0.40	0.96	0.17	0.57	0.27	-0.21	0.24	0.30	0.06	0.38	-0.11	0.94	0.63	0.90	0.34	0.10	1.00		
V	0.11	0.11	-0.03	0.19	-0.39	0.18	-0.13	0.27	0.37	-0.04	0.01	-0.02	-0.13	0.57	0.06	-0.18	-0.09	0.04	-0.06	0.69	-0.03	-0.09	-0.06	0.18	0.06	-0.02	1.00	
Zn	0.20	0.20	0.28	0.46	-0.26	0.37	0.36	0.05	0.17	0.22	0.27	0.03	0.01	0.19	-0.15	0.18	0.21	0.77	0.48	0.17	0.33	0.36	0.32	-0.03	-0.10	0.28	0.00	1.00

\*ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95; ตัวหนา คือ ค่าที่มีสหสัมพันธ์มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7

#### 4.7 การจำแนกแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ด้วยแบบจำลองผู้รับสัมผัส PMF

ในการจำแนกแหล่งกำเนิด  $PM_{2.5}$  จะใช้แบบจำลองผู้รับสัมผัส PMF VERSION 5.0 ซึ่งจะใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของ  $PM_{2.5}$  ในการประมวลผล โดยจะใช้ข้อมูล 2 ส่วน คือ 1) ความเข้มข้นและองค์ประกอบของ  $PM_{2.5}$  และ 2) ค่าความความไม่แน่นอนของการวิเคราะห์ ซึ่งค่าความไม่แน่นอนของการวิเคราะห์จะใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Kim Oanh et al., 2009)

สำหรับการประมวลผลแบบจำลอง PMF โปรแกรมประมวลผลออกมาเป็นความเข้มข้นที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดหรือ Source contribution (G) และความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองหรือ Source profiles (F) ซึ่งค่าที่ดีและเหมาะสมจะต้องไม่ติดลบ โดยในการศึกษานี้ได้ทำการสุ่มเลือกแหล่งกำเนิดหรือ Factor ตั้งแต่ 4-8 Factor ซึ่งการพิจารณาในการกำหนด Number of Factors จะต้องกำหนดให้พอดีและเหมาะสม โดยการเลือกจำนวนแหล่งกำเนิดนั้นต้องสามารถอธิบายผลได้ ซึ่งถ้าน้อยเกินไปจะไม่สามารถอธิบายแยกแหล่งกำเนิดได้ชัดเจน เนื่องจากการรวมกันของแหล่งกำเนิดหลาย ๆ แหล่ง จากศึกษาพบว่า Number of Factors ที่เหมาะสมในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม คือ 5 Factor เหมือนกัน เนื่องจากมีค่า Source fingerprint ที่สามารถระบุแหล่งกำเนิดของมลพิษได้และให้สัดส่วนของแหล่งกำเนิดที่เหมาะสม ทั้งนี้ เมื่อได้ทำการปรับค่า Fpeak แล้ว ไม่สามารถทำให้อธิบายผลได้ง่ายขึ้น ดังนั้นในการศึกษานี้จึงทำให้ได้ Number of Factors แบบไม่มีการปรับค่า Fpeak ส่วนจำนวน Factor อื่น พบว่า 4 Factor มีจำนวนน้อยเกินไป ไม่สามารถแยกแหล่งกำเนิดได้ชัดเจน ซึ่งเกิดจากการรวมกันของแหล่งกำเนิดหลาย ๆ แหล่งจึงเป็นจำนวนที่ไม่เหมาะสม ส่วน Factor 6-8 นั้น พบว่า ไม่สามารถแยกแหล่งกำเนิดได้ชัดเจน เนื่องจากค่าที่ได้จาก Source profile และ Source contribution นั้น ไม่เหมาะสม จึงทำให้ไม่มี source fingerprint ที่สามารถระบุแหล่งกำเนิดได้หมดทุก Factor

##### 4.7.1 พื้นที่เขตเมืองเทศบาลนครนครราชสีมา

จากรูปที่ 4.14 สามารถแยกและอธิบายแหล่งกำเนิดของ  $PM_{2.5}$  ในเขตเมืองเทศบาลนครนครราชสีมา ได้ดังต่อไปนี้

##### 1) Factor 1

แหล่งกำเนิดที่ 1 Soil dust หรือฝุ่นดิน จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีส่วนความเข้มข้นของ  $Ca^{2+}$   $K^+$   $Na^+$   $Mg$   $Al$   $Fe$  และ  $Ba$  ที่เด่นชัด (Chow, 1995; Watson and Chow, 2015) เมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดอื่น ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ ส่วนมากเป็นฝุ่นมาจากพื้นดิน (Crustal dust)

##### 2) Factor 2

แหล่งกำเนิดที่ 2 Construction dust หรือฝุ่นจากการก่อสร้าง จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีส่วนความเข้มข้นของ  $\text{Ca}^{2+}$  Cu Fe As และ Pb (Watson and Chow, 2015; Gungamsetty et al., 2012; Zikova et al., 2016) ที่เป็นองค์ประกอบหลักของแหล่งกำเนิดนี้ อีกทั้งยังมี  $\text{SO}_4^{2-}$  K Al Cr Mn Zn และ Ba (Chow, 1995; Lestari et al., 2009) ที่เป็นองค์ประกอบรองลงมา

### 3) Factor 3

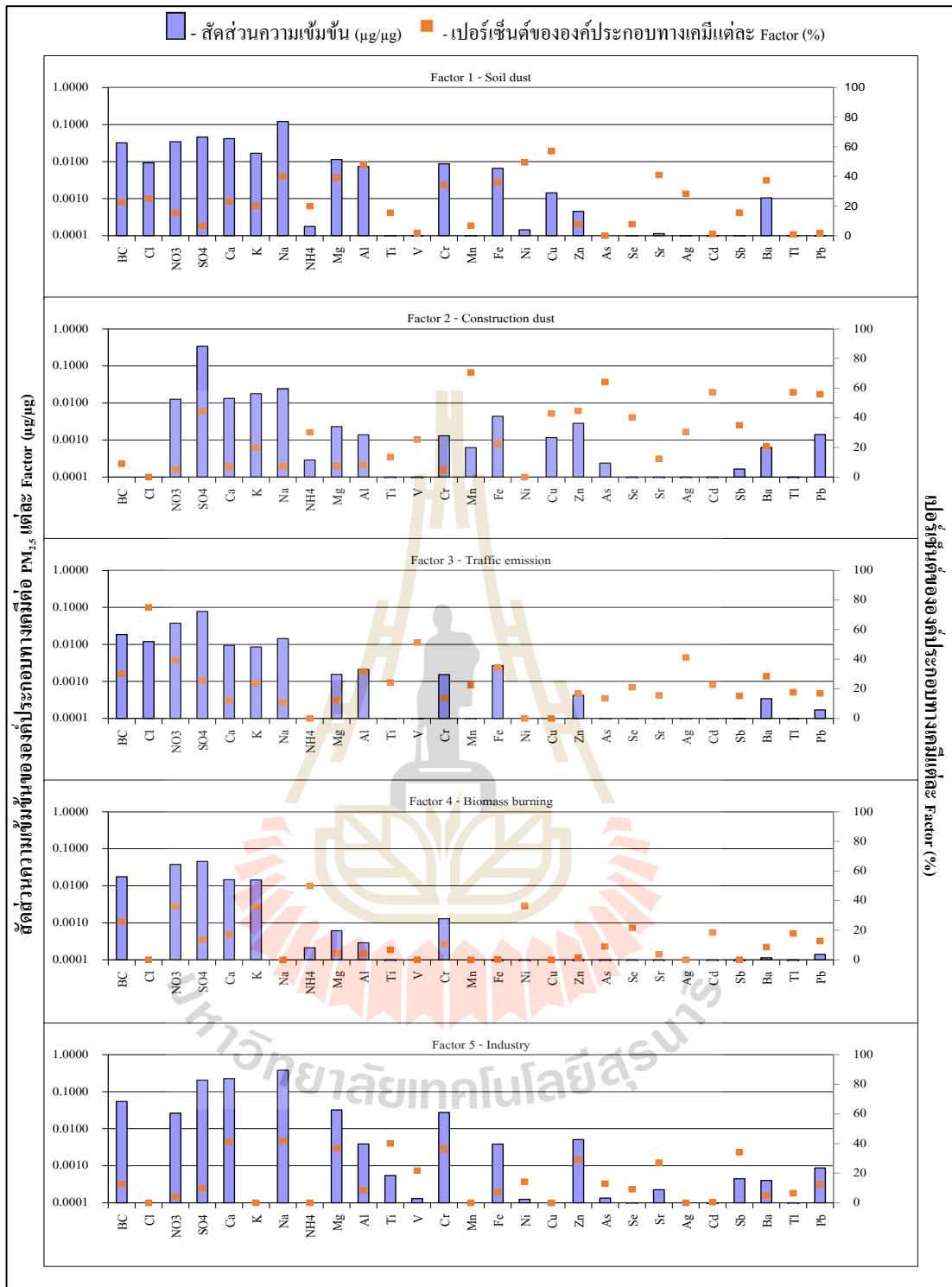
แหล่งกำเนิดที่ 3 Traffic emission หรือฝุ่นถนน (Road dust) และฝุ่นจากการจราจรของยานพาหนะ (vehicle emission) จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีส่วนความเข้มข้นของ BC  $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{SO}_4^{2-}$  ที่เด่นซึ่งเป็นมลพิษหลักที่ออกมาจากท่อไอเสีย (Vehicle exhaust) โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะปล่อย BC  $\text{SO}_4^{2-}$  (Lestari et al., 2009; Orogade et al., 2016) นอกจากนั้นยังมี Zn และ Ca ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันหล่อลื่น (Choi et al., 2013; Han et al., 2017) และนอกจากนั้นยังมี Cr Fe Pb และ Zn ที่เป็นองค์ประกอบรองลงมา โดยสารเหล่านี้จะเป็น Non-exhaust ซึ่งมาจากผ้าเบรค (Brake wear) และล้อรถ (Tire wear) เป็นหลัก (Hjortenkrans et al., 2007; Chow, 1995; Watson and Chow, 2015) และยังมีฝุ่นจากถนนซึ่งมาจากพื้นดิน (Crustal dust) โดยมีกลุ่มของ  $\text{K}^+$  Na Mg Al และ Ba อยู่ด้วย

### 4) Factor 4

แหล่งกำเนิดที่ 4 Biomass burning หรือฝุ่นจากการเผาไหม้พืช หรือมาจากการประกอบอาหาร ซึ่งได้ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีส่วนความเข้มข้นของ  $\text{K}^+$  และ BC ที่เด่นและเป็นสารที่ระบุแหล่งกำเนิด โดยมาจากการเผาไม้ ซากพืชหรือวัชพืช (Cheng et al., 2014; Lestari et al., 2009) นอกจากนั้นยังมี  $\text{SO}_4^{2-}$  ที่เด่นชัด (Sharma et al., 2016) และมี  $\text{NO}_3^-$   $\text{NH}_4^+$   $\text{Ca}^{2+}$  ซึ่งอาจมาจากการประกอบอาหาร (Chow et al., 2004; Zikova et al., 2016) อีกด้วย

### 5) Factor 5

แหล่งกำเนิดที่ 5 Industry หรือฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีส่วนความเข้มข้นของ BC  $\text{NO}_3^-$   $\text{SO}_4^{2-}$  V Cr Fe Ni Zn As Sr Sb และ Pb ที่สูงและเด่นชัดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดอื่น โดยสารที่เด่นของกลุ่ม คือ Ni และ V ซึ่งเป็นระบุแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาไหม้เชื้อเพลิง (Residual oil combustion) ในกระบวนการผลิต (Linak et al., 2003; Peltier and Lippmann, 2010; Watson, 2015) อีกทั้งยังมี Pb และ Sb ซึ่งเป็นสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดที่มาจาก เตาเผา (Incinerator) (Gugamsetty et al., 2012)



รูปที่ 4.14 Source profiles ของ PM<sub>2.5</sub> ในเขตเมือง

#### 4.7.2 พื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี

จากรูปที่ 4.15 สามารถแยกและอธิบายแหล่งกำเนิดของ  $PM_{2.5}$  ในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี ได้ดังต่อไปนี้

##### 1) Factor 1

แหล่งกำเนิดที่ 1 คือ Biomass burning หรือฝุ่นจากการเผาไหม้พืช หรือมาจากการประกอบอาหาร ซึ่งได้ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีสัดส่วนความเข้มข้นของ  $K^+$  และ BC ที่เด่นและเป็นสารที่ระบุแหล่งกำเนิด โดยมาจากการเผาไม้ ชากพืชหรือวัชพืช (Cheng et al., 2014; Lestari et al., 2009) นอกจากนี้ยังมี  $SO_4^{2-}$  ที่เด่นชัด (Sharma et al., 2016) และมี  $NO_3^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$  ซึ่งอาจมาจากการประกอบอาหาร (Chow et al., 2004; Zikova et al., 2016) อีกด้วย

##### 2) Factor 2

แหล่งกำเนิดที่ 2 คือ Residual oil combustion หรือฝุ่นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีสัดส่วนความเข้มข้นของ  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , V Cr Fe Ni Zn As Sr Sb และ Pb ที่สูงและเด่นชัดเมื่อเทียบกับชนิดของสารเคมีใน Factor เดียวกัน โดยสารที่เด่นคือ Ni และ V ซึ่งเป็นระบุแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาไหม้เชื้อเพลิง (Residual oil combustion) (Linak et al, 2003; Peltier and Lippmann, 2010; Watson and Chow, 2015)

##### 3) Factor 3

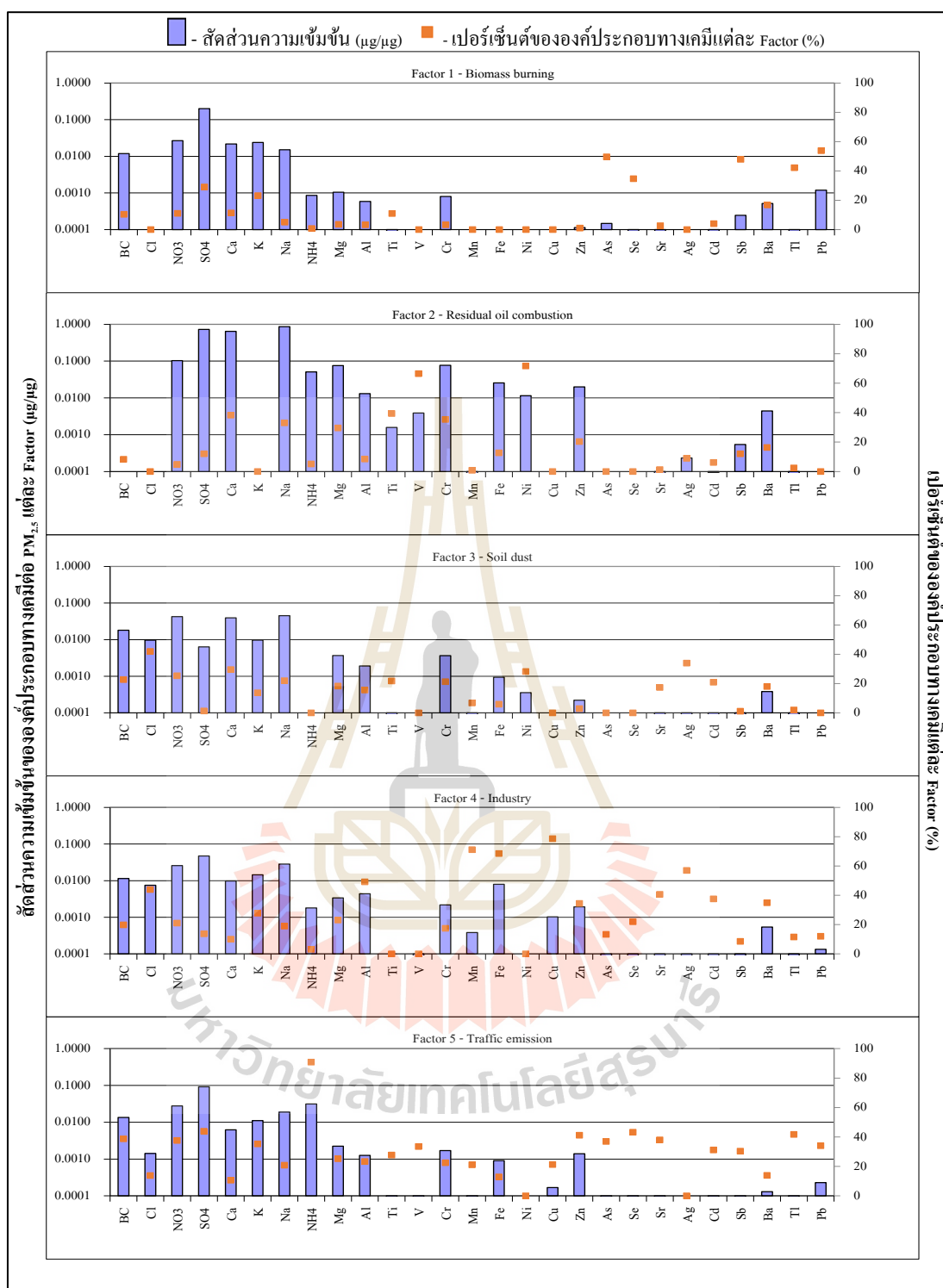
แหล่งกำเนิดที่ 3 คือ Soil dust หรือฝุ่นดิน จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีสัดส่วนความเข้มข้นของ  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ , Mg Al Fe และ Ba ที่เด่นชัด (Chow, 1995; Watson and Chow, 2015) เมื่อเทียบกับชนิดของสารเคมีใน Factor เดียวกัน ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ ส่วนมากเป็นฝุ่นมาจากพื้นดิน (Crustal dust)

##### 4) Factor 4

แหล่งกำเนิดที่ 4 Industry หรือฝุ่นจาก โรงงานอุตสาหกรรม จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ , Al Cr Cu Mn Fe และ Zn ที่สูงและเด่นชัดเมื่อเทียบกับชนิดของสารเคมีใน Factor เดียวกันรูปที่ 4.15 Source profiles ของ  $PM_{2.5}$  ในเขตอุตสาหกรรม

##### 5) Factor 5

แหล่งกำเนิดที่ 5 Traffic emission หรือฝุ่นถนน (Road dust) และฝุ่นจากการจราจรของยานพาหนะ (vehicle emission) จากกราฟแท่งจะเห็นได้ว่ามีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC  $NO_3^-$  และ  $SO_4^{2-}$  ที่เด่นซึ่งเป็นมลพิษหลักที่ออกมาจากท่อไอเสีย (Vehicle exhaust) โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะปล่อย BC  $SO_4^{2-}$  (Lestari et al., 2009; Orogade et al., 2016) นอกจากนี้ยังมี Zn และ  $Ca^{2+}$  ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันหล่อลื่น (Choi et al., 2013; Han et al., 2017) และนอก



รูปที่ 4.15 Source profiles ของ  $PM_{2.5}$  ในเขตอุตสาหกรรม



จากนั้นยังมี Cr Fe Pb และ Zn ที่เป็นองค์ประกอบรองลงมา ซึ่งสารเหล่านี้ จะเป็น Non-exhaust ซึ่งมาจากผ้าเบรก (Brake wear) และล้อรถ (Tire wear) เป็นหลัก (Hjortenkran et al., 2007; Chow, 1995; Watson and Chow, 2015) และยังมีฝุ่นจากถนนซึ่งมาจากพื้นดิน (Crustal dust) โดยมีกลุ่มของ  $K^+$   $Na^+$   $Mg$   $Al$  และ  $Ba$  อยู่ด้วย

#### 4.7.3 การคำนวณสัดส่วนจากแต่ละแหล่งกำเนิด

จากการประมวลผลของแบบจำลอง PMF ทำให้ได้แหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ในทั้ง 2 เขตพื้นที่ตรวจวัด ซึ่งทั้ง 2 เขต มีแหล่งกำเนิดที่คล้ายคลึงกัน และเมื่อพิจารณาสัดส่วนการทำให้เกิดมลพิษแต่ละแหล่งกำเนิด ทั้ง 2 พื้นที่ตรวจวัด โดยคิดจากค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดหรือค่า Source contribution ในแต่ละแหล่งกำเนิดต่อปริมาณความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  เฉลี่ยทั้งหมดที่แบบจำลองประมวลผลได้ หรือ Calculated Mass ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 4.7.3.1 พื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา

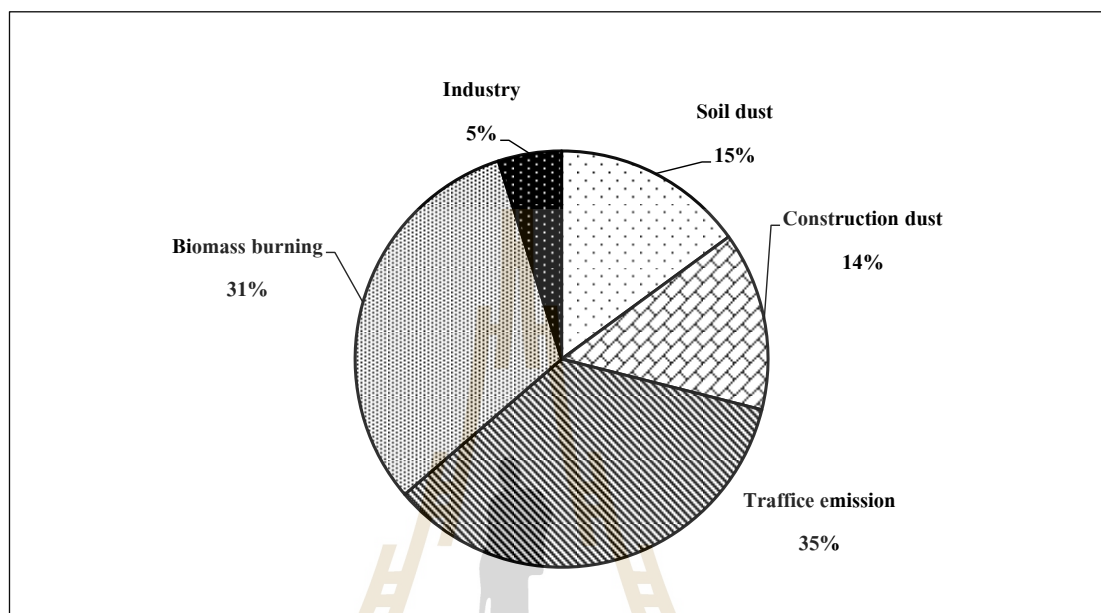
แหล่งกำเนิดที่ 1 *Soil dust* มีสัดส่วน 15% ส่วนมากจะเป็นฝุ่นละอองดินที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นฝุ่นละอองดินจากพื้นดินที่อยู่ในบริเวณวัดพายัพ สนามกีฬาโรงเรียน หรือพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปลูกสร้าง ที่เป็นพื้นที่โล่ง

แหล่งกำเนิดที่ 2 *Construction dust* มีสัดส่วน 14% ซึ่งมีสัดส่วนใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่ 1 ซึ่งแหล่งกำเนิดที่ 2 มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง ซึ่งบริเวณใกล้เคียงสถานที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง มีการก่อสร้างสถานที่ราชการซึ่งเป็นห้องสมุดประชาชน อีกทั้งในเขตเมืองมีการก่อสร้างศูนย์การค้าขนาดใหญ่ Terminal 21 นอกจากนี้ห่างออกไปในทิศทางตะวันออกเฉียงจากจุดเก็บตัวอย่าง ก็ได้มีการก่อสร้างอาคารของโรงพยาบาลมหาราชและมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อีกด้วย

แหล่งกำเนิดที่ 3 *Traffic emission* มีสัดส่วน 35% เป็นแหล่งกำเนิดที่มีสัดส่วนมากที่สุดในเขตเมืองนครราชสีมา ซึ่งในเขตเมืองจะมีการจราจรที่หนาแน่น เนื่องจากมีศูนย์ราชการที่มีประชาชนมาใช้บริการ อีกทั้งมีศูนย์การค้า ตลาด และสถานที่ท่องเที่ยว

แหล่งกำเนิดที่ 4 *Biomass burning* มีสัดส่วน 31% จะมาจากการเผาในพื้นที่โล่ง (Open burning) เช่น การเผาเศษวัชพืชในชุมชน การเผาวัชพืชเพื่อการเกษตร โดยในวัดพายัพซึ่งเป็นพื้นที่เก็บตัวอย่างและพื้นที่ใกล้เคียง ได้มีการเผาเศษวัชพืช เช่น เศษไม้ หญ้า กิ่งไม้ นอกจากนี้พื้นที่รอบเขตเมืองนครราชสีมามีการเผาพื้นที่เพื่อทำการเกษตร หลังการเก็บเกี่ยวเกี่ยว เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก และแหล่งกำเนิดนี้มาจากการประกอบอาหาร ซึ่งในเขตเมืองมีสินค้าอาหารประเภทแป้ง อย่าง อยู่มา และจะมากโดยเฉพาะวันที่มีการจัดเทศกาล

แหล่งกำเนิดที่ 5 *Industry* มีสัดส่วน 5% แหล่งกำเนิดนี้มาจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งโดยรอบเขตเมืองนครราชสีมา มี 2 เขตอุตสาหกรรมตั้งอยู่ ได้แก่ เขตส่งเสริมอุตสาหกรรมนวนคร นครราชสีมาและเขตอุตสาหกรรมสุรนารี



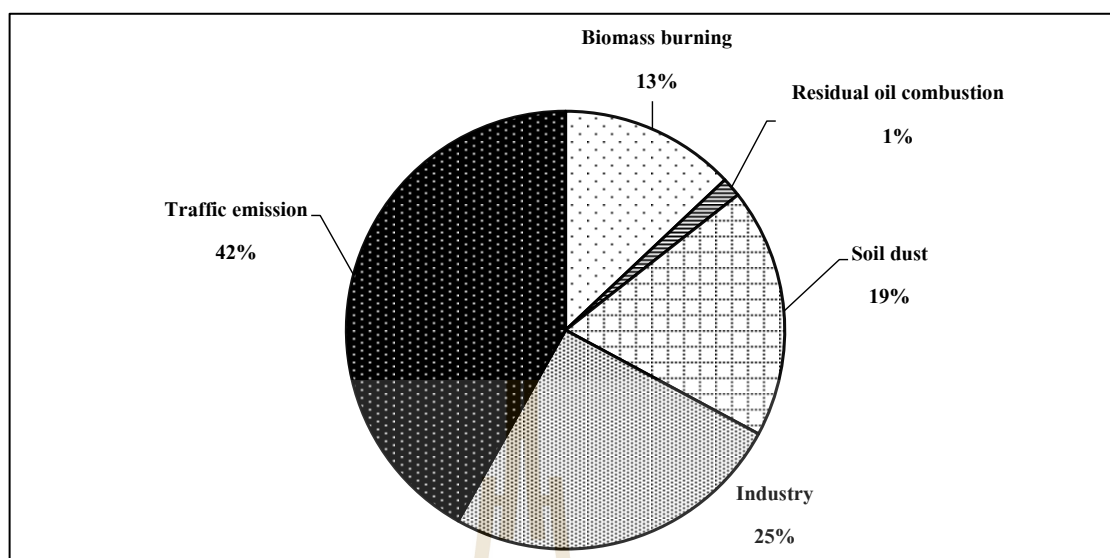
รูปที่ 4.16 สัดส่วนแหล่งกำเนิด  $PM_{2.5}$  ในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา

#### 4.7.3.2 พื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี

แหล่งกำเนิดที่ 1 *Biomass burning* มีสัดส่วน 13% เป็นแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาในพื้นที่โล่ง (Open burning) เช่น การเผาเศษวัชพืชในชุมชน การเผาวัชพืชเพื่อการเกษตร โดยในเขตพื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารีมีการขนส่งสินค้าและผลิตภัณฑ์ตลอดเวลา อีกทั้งในเขตอุตสาหกรรมมีชุมชนอยู่ด้วย จึงทำให้มีการจราจรเขตชุมชนอยู่ด้วย จึงได้มีการเผาเศษวัชพืช อีกทั้งพื้นที่โดยรอบ ส่วนมากเป็นพื้นที่ทำการเกษตร จึงได้มีการเผาพื้นที่เพื่อทำการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกต่อไป

แหล่งกำเนิดที่ 2 *Residual oil combustion* มีสัดส่วน 1% เป็นแหล่งกำเนิดที่มาจากกลุ่ม โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมหนัก

แหล่งกำเนิดที่ 3 *Soil dust* มีสัดส่วน 19% เป็นแหล่งกำเนิดที่มาจากฝุ่นละอองดินที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งโดยรอบพื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี เป็นพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่ดินทำการเกษตร



รูปที่ 4.17 สัดส่วนแหล่งกำเนิด  $PM_{2.5}$  ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี

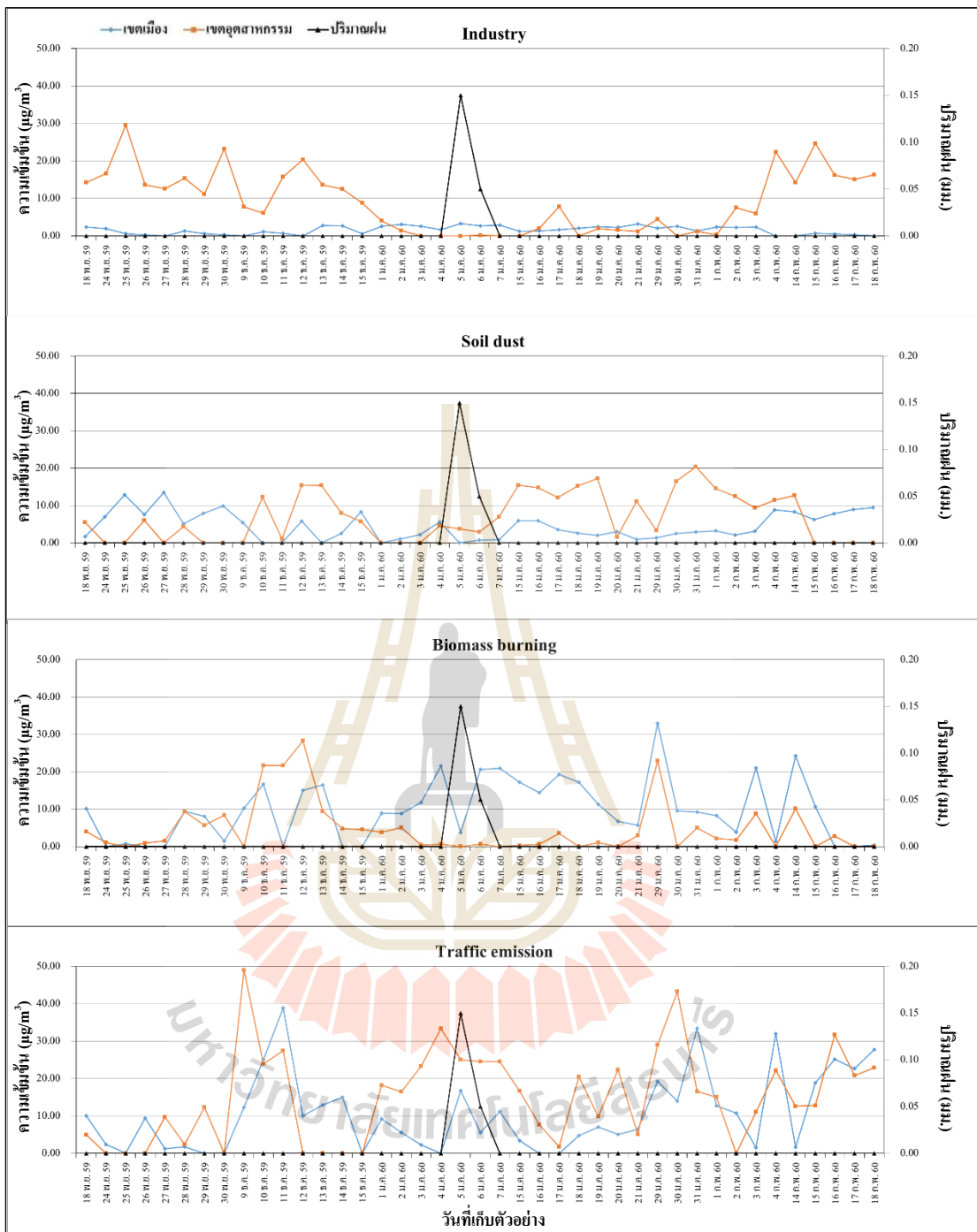
แหล่งกำเนิดที่ 4 *Industry* มีสัดส่วน 25% แหล่งกำเนิดนี้มาจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากพื้นที่โดยรอบจุดเก็บตัวอย่างมีโรงงานอยู่โดยรอบซึ่งเขตอุตสาหกรรมสุรนารีเมื่อจำแนกตามลักษณะของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปแล้ว ส่วนมากจะเป็นอุตสาหกรรมเบา ซึ่งอุตสาหกรรมเบา ได้แก่ โรงงานผลิตพลาสติก ลิฟต์โดยสาร แบตเตอรี่รถยนต์ ผ้าเบรก เจียรไนยพลอย ท่อ PVC หลอมพลาสติก แม่พิมพ์โลหะเส้นใยสังเคราะห์ พิมพ์ผ้าและกระดาษ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งโรงงานประเภทนี้มีในเขตอุตสาหกรรมมาก ซึ่ง Cu จะมาจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Hagler et al., 2007) และอุตสาหกรรมหนัก ได้แก่ โรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหนัก เครื่องจักรโรงงานมันสำปะหลัง หม้อกำเนิดไอน้ำ ส่วนประกอบรถยนต์ ซึ่งรายละเอียดสถานประกอบการในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี แสดงดังภาคผนวก จ

แหล่งกำเนิดที่ 5 *Traffic emission* มีสัดส่วน 42% เป็นสัดส่วนที่มากที่สุด ในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี เนื่องจากเขตอุตสาหกรรมสุรนารีมีการส่งสินค้า ผลิตภัณฑ์ตลอดเวลา อีกทั้งยังมีชุมชนที่อยู่ในเขตและรอบเขตอุตสาหกรรมสุรนารีจึงทำให้มีการคมนาคมที่หนาแน่น อีกทั้งสภาพถนนที่ชำรุดทำให้เกิดฝุ่นจากพื้นดินอีกด้วย

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบ ค่า Source contribution (G) หรือค่าความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดในแต่ละวัน โดยจะเป็นการเปรียบเทียบเฉพาะแหล่งกำเนิดที่เหมือนกันในทั้ง 2 พื้นที่ ซึ่งมาจากการพิจารณาระบุแหล่งกำเนิด จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 โดยค่า

Source contribution เป็นค่าที่ได้จากการประมวลผลของแบบจำลอง PMF ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Source contribution ทั้ง 2 พื้นที่ ณ ช่วงเวลาเดียวกันไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ซึ่งอาจเกิดจากอิทธิพลของความเร็วและทิศทางลมที่ผันผวน และช่วงเวลาที่แตกต่างกันของการเกิดมลพิษที่เกิดจากการประกอบกิจกรรม นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดมลพิษในเขตอุตสาหกรรมพบว่าแหล่งกำเนิด Industry ในช่วงวันที่ 3-7 มกราคม 2560 ปริมาณฝุ่นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเป็นวันหยุดในช่วงเทศกาลปีใหม่จึงทำให้โรงงานส่วนมากปิดโรงงานและอีกทั้งเป็นวันที่ฝนตก ส่วนแหล่งกำเนิด Biomass burning ในช่วงวันที่ 3-16 มกราคม 2560 ปริมาณฝุ่นมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากประชาชนที่อาศัยในชุมชนที่อยู่ในเขตอุตสาหกรรม ได้เดินทางกลับภูมิลำเนาในช่วงวันหยุดเทศกาลปีใหม่ ซึ่งทำให้ตลาด ร้านอาหาร และสถานบันเทิงที่อยู่ในเขตอุตสาหกรรมปิด จึงไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้ที่เกิดจากการประกอบอาหาร ประเภท บั๊ญ ย่าง อีกทั้งในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่ฝนตก แต่ในส่วนแหล่งกำเนิด Traffic emission ในช่วงวันที่ 1-16 มกราคม 2560 มีความเข้มข้นสูงมากกว่าเขตเมือง เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว เป็นช่วงเวลาที่มีการจราจรของชุมชนที่อยู่โดยรอบเขตอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังมีโรงงานบางบริษัทยังเปิดทำการ เช่น บริษัท ไทยน้ำทิพย์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด ซึ่งโรงงานเกี่ยวกับการผลิตเครื่องน้ำดื่ม น้ำอัดลม และกลุ่มโรงงาน บริษัท ไตชิน อาร์ท โลจิสติกส์ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทเกี่ยวกับการขนส่งสินค้า และบริษัท มิตรราชสีมาเทรดดิ้ง จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้า จึงทำให้มีการขนส่งสินค้าสินค้าตลอดเวลา

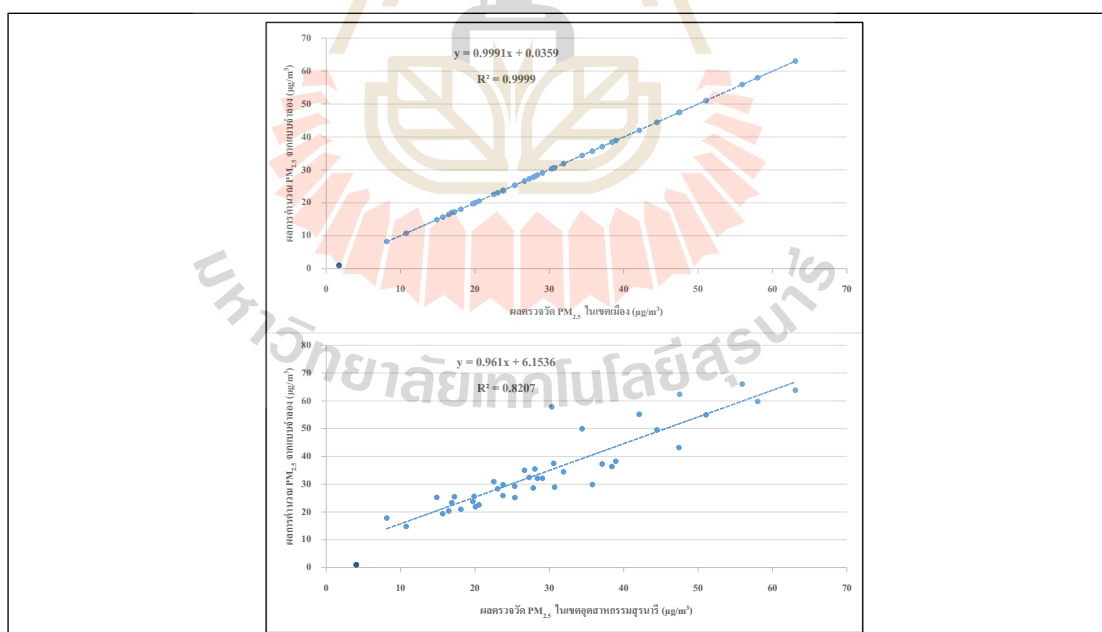




รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบระหว่างช่วงเวลากับความเข้มข้นของแหล่งกำเนิด PM<sub>2.5</sub> ที่เหมือนกัน ในเขตพื้นที่ศึกษา

เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดมลพิษในเขตเมือง พบว่า แหล่งกำเนิด Industry ในช่วงวันที่ 2-7 มกราคม 2560 มีความเข้มข้นสูงกว่าเขตอุตสาหกรรม เนื่องจากยังมีโรงงานบางบริษัทที่อยู่เขตชานเมืองยังเปิดทำการอยู่ในช่วงวันหยุดเทศกาลปีใหม่ ส่วนแหล่งกำเนิด Biomass burning ในช่วงวันที่ 1-20 มกราคม 2560 ในเขตเมืองนั้นมีความเข้มข้นค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับเขตอุตสาหกรรม เนื่องจากบริเวณเขตเมืองมีการจัดงานเทศกาลปีใหม่ จึงทำให้มีการประกอบอาหารประเภทแป้ง ย่าง ซึ่งมลพิษเหล่านี้มาจากร้านอาหารและสถานบันเทิง ที่เปิดบริการในงานเทศกาลปีใหม่ ส่วนแหล่งกำเนิด Traffic emission ในช่วงวันที่ 1-17 มกราคม 2560 ในเขตเมืองนั้นมีความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับเขตอุตสาหกรรม เนื่องเป็นช่วงเวลาที่ฝนตกและมีความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงมาก ดังภาคผนวก ข

นอกจากนี้ในการประมวลผลของแบบจำลอง PMF ยังทำให้ได้ค่า Calculated Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ซึ่งเมื่อนำค่าดังกล่าวมาทำการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่า Measured Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) หรือค่าที่ตรวจวัดได้จริงในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.19 จากรูปจะเห็นได้ว่า พื้นที่เขตเมืองมีค่า  $R^2 = 0.9999$  และเขตอุตสาหกรรมมีค่า  $R^2 = 0.8207$  มีความสัมพันธ์ที่สูง ทำให้ผลที่ได้ยอมรับได้

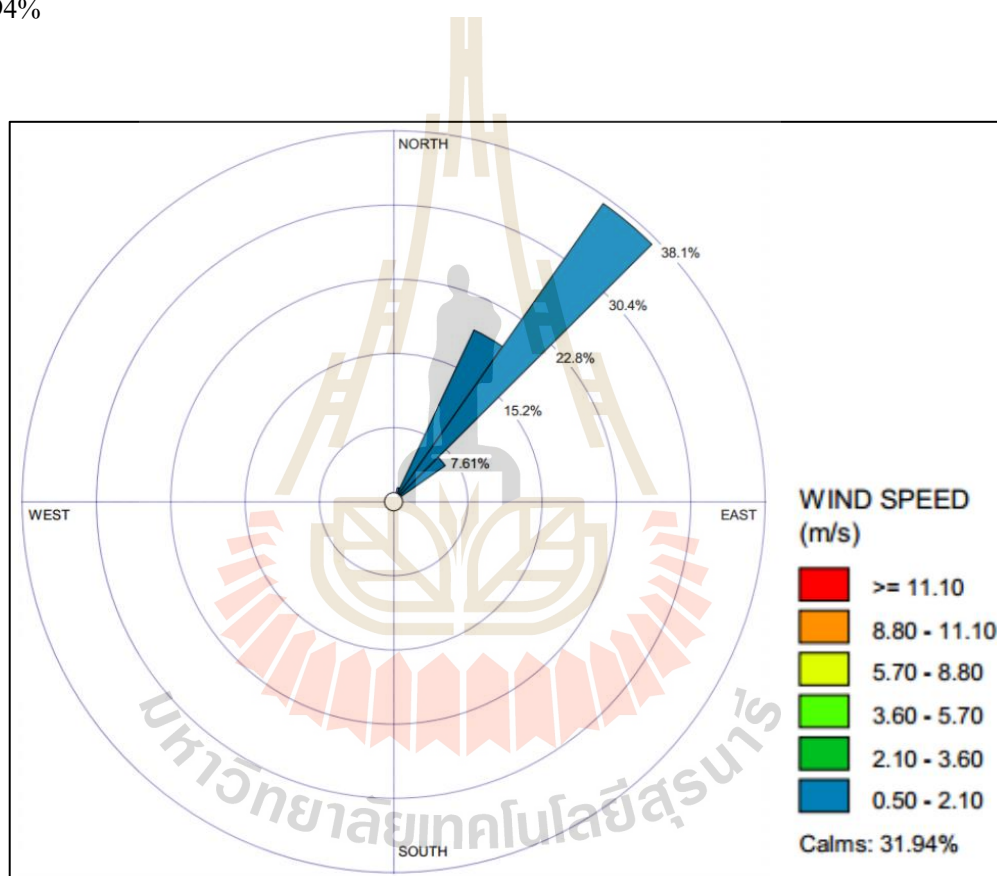


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลการตรวจวัด  $\text{PM}_{2.5}$  กับผลการคำนวณ  $\text{PM}_{2.5}$  จากแบบจำลอง PMF ในแต่ละพื้นที่ศึกษา



#### 4.8 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา

ในการเก็บตัวอย่าง  $PM_{2.5}$  ทั้ง 2 จุด ได้ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยามาประกอบการอภิปรายการแพร่กระจายของ  $PM_{2.5}$  ซึ่งเป็นข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร กรมควบคุมมลพิษที่ตั้งอยู่โรงสูบน้ำเสียในเขตเมือง โดยจากรูปที่ 4.20 แสดง Wind rose ของจุดเก็บตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง (18 พฤศจิกายน 2559 – 18 กุมภาพันธ์ 2560) จะเห็นได้ว่าทิศทางลมส่วนมากมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ความเร็วลมส่วนมากจะอยู่ในช่วง 0.50-2.10 m/s มีความเร็วลมเฉลี่ย 0.59 m/s และมีลมสงบ (Calm wind) หรือลมที่มีความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 m/s เกิดขึ้น 31.94%



รูปที่ 4.20 Wind rose ณ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ

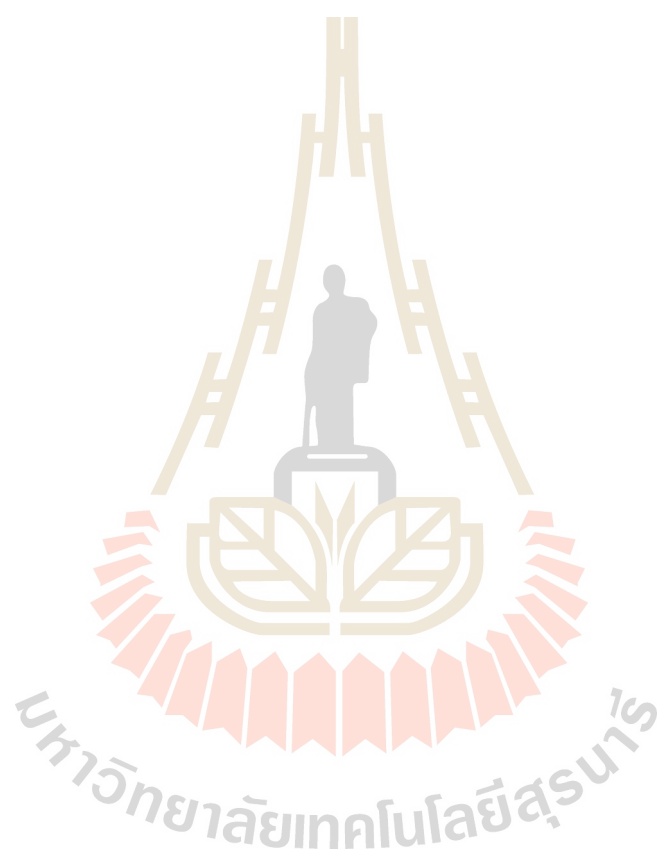
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.21 ก. เขตเมืองนครราชสีมา จะเห็นได้ว่าในทิศตะวันออกเฉียงเหนือ มีถนนและการจราจรที่หนาแน่น เนื่องจากมีโรงเรียนและสถานที่ราชการที่ประชาชนมาใช้บริการ และจากรูปที่มีพื้นที่ส่วนมากเป็นสนามหญ้า พื้นที่โล่ง ซึ่งทำให้เกิดฝุ่นจากพื้นดินได้ อีกทั้งมีชุมชนที่ทำการเผาเศษวัชพืชอีกด้วย



รูปที่ 4.21 Wind rose ณ จุดเก็บตัวอย่างแต่ละจุด โดยใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรมควบคุมมลพิษ

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.21 ข. เขตอุตสาหกรรมสุรนารี จะเห็นได้ว่าเขตอุตสาหกรรมสุรนารี มีพื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งปลูกสร้างและมีพื้นที่ทำการเกษตรจึงให้ฝุ่นละออง มาจากฝุ่นละอองดินและฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาเผาพื้นที่เพื่อทำการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต อีกทั้ง

ในบริเวณเขตอุตสาหกรรมมีชุมชน ที่พักอาศัย ตลาด ร้านอาหารอยู่ด้วย จึงทำให้มีการจราจรที่หนาแน่นขึ้นซึ่งเมื่อรวมกับการจราจรขนส่งสินค้า ผลิตภัณฑ์ของโรงงานที่อยู่ในเขตอุตสาหกรรม



## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษา

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของ  $PM_{2.5}$  ในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา และเพื่อการจำแนกแหล่งกำเนิด  $PM_{2.5}$  ในพื้นที่เขตเมืองนครราชสีมา โดยการศึกษาได้เริ่มเก็บตัวอย่าง  $PM_{2.5}$  ในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมสุรนารี เพื่อหาปริมาณ  $PM_{2.5}$  ตั้งแต่วันที่ 18 พฤศจิกายน 2559 – วันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2560 ได้ตัวอย่าง  $PM_{2.5}$  พื้นที่ละ 41 ตัวอย่าง หลังจากนั้นนำตัวอย่างมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี หลังจากที่ได้ปริมาณความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีแล้ว นำมาเตรียมเป็นไฟล์ข้อมูลเพื่อป้อนเข้าไปในแบบจำลอง PMF ซึ่งผลการศึกษาที่ได้ มีดังต่อไปนี้

##### 5.1.1 ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และองค์ประกอบทางเคมีของ $PM_{2.5}$

ผลการศึกษา  $PM_{2.5}$  พบว่า เขตเมืองนครราชสีมา มีความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ  $28.13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  มีค่าเกินมาตรฐานอยู่ 3 วัน ส่วนเขตอุตสาหกรรมสุรนารี มีความเข้มข้นเฉลี่ยทั้งหมดเท่ากับ  $32.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และมีค่าเกินมาตรฐานอยู่ 7 วัน

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าความเข้มข้นของ Black carbon ในเขตเมืองนั้น มีค่าความเข้มข้นสูงกว่าเขตอุตสาหกรรม ซึ่ง Black carbon ส่วนมากมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ ซึ่งในเขตเมืองนั้นมีการคมนาคมที่มีความหนาแน่นกว่าเขตอุตสาหกรรม ส่วนผลการศึกษาความเข้มข้นของสารไอออนิกพบว่า ความเข้มข้นของแอนไอออนจะเห็นได้ว่าทั้ง 2 เขตพื้นที่ที่ตรวจวัด พบ  $\text{SO}_4^{2-}$  มากที่สุด รองลงมาเป็น  $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{Cl}^-$  ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของแคทไอออนพบว่าทั้ง 2 เขตพื้นที่ที่ตรวจวัด พบ  $\text{Na}^+$  มากที่สุด รองลงมาเป็น  $\text{Ca}^{2+}$   $\text{NH}_4^+$  และ  $\text{K}^+$  ตามลำดับและผลการศึกษาความเข้มข้นของธาตุ พบว่าในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม มีปริมาณ Mg มากที่สุด ส่วนปริมาณธาตุที่พบน้อยที่สุดในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม คือ TI และ Co ตามลำดับ

##### 5.1.2 การจำแนกแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ ด้วยแบบจำลองผู้รับสัมผัส PMF

ในการจำแนกแหล่งกำเนิด  $PM_{2.5}$  จะใช้แบบจำลองผู้รับสัมผัส PMF ซึ่งจะใช้ข้อมูลผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของ  $PM_{2.5}$  ได้ผลการศึกษา ดังนี้



### 1) แหล่งกำเนิด PM<sub>2.5</sub> เขตเมืองเทศบาลนครนครราชสีมา

แหล่งกำเนิดที่ 1 *Soil dust* หรือฝุ่นดิน มีสัดส่วน 15% โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของ Ca<sup>2+</sup> K<sup>+</sup> Na<sup>+</sup> Mg Al Fe และ Ba ที่เด่นชัด เมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดอื่น ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ส่วนมากมาจากพื้นดินที่อยู่ในบริเวณวัดพำยัพ สนามกีฬาโรงเรียนหรือพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปลูกสร้าง ที่เป็นพื้นที่โล่ง

แหล่งกำเนิดที่ 2 *Construction dust* หรือฝุ่นจากการก่อสร้าง มีสัดส่วน 14% โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของ Ca<sup>2+</sup> Cu Fe As และ Pb ที่เป็นองค์ประกอบหลักและ SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> K<sup>+</sup> Al Cr Mn Zn และ Ba ที่เป็นองค์ประกอบรอง ซึ่งบริเวณใกล้เคียง มีการก่อสร้างสถานที่ราชการ และมีการก่อสร้างศูนย์การค้าขนาดใหญ่

แหล่งกำเนิดที่ 3 *Traffic emission* หรือฝุ่นถนน (Road dust) และฝุ่นจากการจราจรของยานพาหนะ มีสัดส่วน 35% ซึ่งมีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC NO<sub>3</sub> SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ที่เด่นซึ่งเป็นมลพิษหลักที่ออกมาจากท่อไอเสีย นอกจากนี้ยังมี Zn และ Ca<sup>2+</sup> ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันหล่อลื่น และยังมี Cr Fe Pb และ Zn ที่เป็นองค์ประกอบรอง โดยสารเหล่านี้มาจากผ้าเบรคและล้อรถเป็นหลัก และยังมีฝุ่นจากถนนซึ่งมาจากพื้นดิน โดยมีกลุ่มของ K<sup>+</sup> Na<sup>+</sup> Mg Al และ Ba อยู่ด้วย โดยแหล่งกำเนิดนี้เป็นแหล่งกำเนิดที่มีสัดส่วนมากที่สุดในเขตเมืองนครราชสีมา โดยในเขตเมืองจะมีการจราจรที่หนาแน่น เนื่องจากมีศูนย์ราชการที่มีประชาชนมาใช้บริการ อีกทั้งมีศูนย์การค้า ตลาด และสถานที่ท่องเที่ยว

แหล่งกำเนิดที่ 4 *Biomass burning* หรือฝุ่นจากการเผาไหม้พืช หรือมาจากการประกอบอาหาร ซึ่งได้ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง มีสัดส่วน 31% ซึ่งมีสัดส่วนความเข้มข้นของ K<sup>+</sup> และ BC ที่เด่น โดยมาจากการเผาไหม้ ชากพืชหรือวัชพืช นอกจากนี้ยังมี SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ที่เด่นชัด และมี NO<sub>3</sub> NH<sub>4</sub><sup>+</sup> Ca<sup>2+</sup> ซึ่งอาจมาจากการประกอบอาหาร ซึ่งแหล่งกำเนิดนี้ส่วนมากจะมาจากการเผาในพื้นที่โล่ง เช่น การเผาเศษวัชพืชในชุมชน การเผาวัชพืชเพื่อการเกษตร โดยในวัดพำยัพ มีพื้นที่ใกล้เคียงที่มีการเผาเศษวัชพืช เช่น เศษไม้ หญ้า กิ่งไม้ นอกจากนี้พื้นที่รอบเขตเมืองนครราชสีมา มีการเผาพื้นที่เพื่อทำการเกษตร หลังการเก็บเกี่ยว เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก นอกจากนี้แหล่งกำเนิดนี้ยังมาจากการประกอบอาหาร ซึ่งในเขตเมืองมีสินค้าอาหารประเภทแป้ง อย่าง อยู่มา และจะมากโดยเฉพาะวันที่มีการจัดเทศกาล

แหล่งกำเนิดที่ 5 *Industry* หรือฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม มีสัดส่วน 5% ซึ่งมีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC NO<sub>3</sub> SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> V Cr Fe Ni Zn As Sr Sb และ Pb ที่สูง โดยสารที่เด่นของกลุ่มคือ Ni และ V ซึ่งเป็นระบุแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาไหม้เชื้อเพลิง ในกระบวนการผลิต อีกทั้งยังมี Pb และ Sb ซึ่งเป็นสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดที่มาจากเตาเผา ซึ่งโดยรอบเขตเมืองนครราชสีมา

มี 2 เขตอุตสาหกรรมตั้งอยู่ ได้แก่ เขตส่งเสริมอุตสาหกรรมนวนคร นครราชสีมาและเขตอุตสาหกรรมสุรนารี

## 2) แหล่งกำเนิด PM<sub>2.5</sub> เขตอุตสาหกรรมสุรนารี

แหล่งกำเนิดที่ 1 คือ *Biomass burning* หรือฝุ่นจากการเผาไหม้พืช หรือมาจากการประกอบอาหาร ซึ่งได้ใช้ไม้เป็นเชื้อเพลิง มีสัดส่วน 13% ซึ่งมีสัดส่วนความเข้มข้นของ K<sup>+</sup> และ BC ที่เด่น โดยการจากการเผาไหม้ ซากพืชหรือวัชพืช นอกจากนั้นยังมี SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ที่เด่นชัดด้วยและมี NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> ซึ่งมาจากการประกอบอาหาร โดยในเขตพื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารีมีเขตชุมชนอยู่ด้วย จึงได้มีการเผาเศษวัชพืช อีกทั้งพื้นที่โดยรอบ ส่วนมากเป็นพื้นที่ทำการเกษตร จึงได้มีการเผาพื้นที่เพื่อทำการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกต่อไป

แหล่งกำเนิดที่ 2 คือ *Residual oil combustion* หรือฝุ่นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา มีสัดส่วน 1% มีสัดส่วนความเข้มข้นของ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, V, Cr, Fe, Ni, Zn, As, Sr, Sb และ Pb ที่สูง โดยสารที่เด่นคือ Ni และ V ซึ่งเป็นระบุแหล่งกำเนิดที่มาจากจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่มาจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมหนัก

แหล่งกำเนิดที่ 3 คือ *Soil dust* หรือฝุ่นดิน มีสัดส่วน 19% ซึ่งมีสัดส่วนความเข้มข้นของ Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg, Al, Fe และ Ba ที่เด่นชัด ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ ส่วนมากเป็นฝุ่นมาจากพื้นดิน ซึ่งโดยรอบพื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี เป็นพื้นที่โล่ง ไม่มีสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่ดินทำการเกษตร

แหล่งกำเนิดที่ 4 *Industry* หรือฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม มีสัดส่วน 25% ซึ่งมีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Al, Cr, Cu, Mn, Fe และ Zn ที่สูง ทั้งนี้พื้นที่โดยรอบจุดเก็บตัวอย่างมีโรงงานอยู่โดยรอบซึ่งเขตอุตสาหกรรมสุรนารีเมื่อจำแนกตามลักษณะของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปแล้ว ส่วนมากจะเป็นอุตสาหกรรมเบา ซึ่งอุตสาหกรรมเบา ได้แก่ โรงงานผลิตลวดสลิง ลิปต์โดยสาร แบตเตอรี่รถยนต์ ผ้าเบรก เจียรไนพลาสติก ท่อ PVC หลอมพลาสติก แม่พิมพ์โลหะ เส้นใยสังเคราะห์ พิมพ์ผ้าและกระดาษ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งโรงงานประเภทนี้มีในเขตอุตสาหกรรมมาก ซึ่ง Cu ส่วนมากจะมาจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมหนัก ได้แก่ โรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหนัก เครื่องจักรโรงงานมันสำปะหลัง หม้อกำเนิดไอน้ำ ส่วนประกอบรถยนต์

แหล่งกำเนิดที่ 5 *Traffic emission* หรือฝุ่นถนนและฝุ่นจากการจราจรของยานพาหนะ มีสัดส่วน 42% เป็นสัดส่วนที่มากที่สุดเขตอุตสาหกรรมสุรนารี ซึ่งมีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ที่เด่นซึ่งเป็นมลพิษหลักที่ออกมาจากท่อไอเสีย นอกจากนั้นยังมี Zn และ Ca<sup>2+</sup> ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันหล่อลื่น และยังมี Cr, Fe, Pb และ Zn ที่เป็นองค์ประกอบรองลงมา ซึ่งสารเหล่านี้มาจากผ้าเบรกและล้อรถเป็นหลัก และยังมีฝุ่นจากถนนซึ่งมาจากพื้นดิน โดย



มีกลุ่มของ  $K^+$   $Na^+$   $Mg$   $Al$  และ  $Ba$  อยู่ด้วย โดยในเขตอุตสาหกรรมสุรนารีมีการส่งสินค้าผลิตภัณฑ์ตลอดเวลาอีกทั้งยังมีชุมชนที่อยู่ในเขตและรอบเขตอุตสาหกรรมสุรนารี จึงทำให้มีการคมนาคมที่หนาแน่น อีกทั้งสภาพถนนที่ชำรุดทำให้เกิดฝุ่นจากพื้นดินอีกด้วย

## 5.2 การนำไปใช้ประโยชน์

1. ข้อมูลความเข้มข้น  $PM_{2.5}$  และองค์ประกอบทางเคมี ซึ่งให้เห็นว่า ทั้ง 2 พื้นที่ ยังมีค่าเกินมาตรฐาน ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง อีกทั้งยังพบความเข้มข้นของโลหะที่ตรวจวัดค่อนข้างสูง ดังนั้นจากข้อมูลดังกล่าวสามารถใช้ในการเฝ้าระวัง โดยการเฝ้าค่าที่ตรวจวัดได้ของปริมาณฝุ่นละออง ในแต่ละพื้นที่ เทียบกับค่ามาตรฐานหรือเปรียบเทียบเพื่อดูแนวโน้มการเพิ่มขึ้นหรือลดลง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ข้อมูลอัตราป่วยจากโรงพยาบาลและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในพื้นที่ เพื่อดูแนวโน้มอัตราป่วยด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ ในกลุ่มเด็กอายุ 1 – 12 เดือน โรคทางเดินหายใจเฉียบพลันของเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี และอัตราป่วยทุกกลุ่มอายุด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและเฝ้าระวังเชิงรุกได้โดยใช้แบบสอบถามการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ เพื่อสอบถามแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองที่ประชาชนได้รับ อาการที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ และพฤติกรรมป้องกันตัวของประชาชน โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์อัตราป่วย หรือการตรวจสมรรถภาพปอดของประชาชน โดยใช้เครื่องสไปโรเมตริย (Spirometry) โดยเป็นการตรวจวัดปริมาตรของอากาศที่หายใจเข้าและออกจากปอด และส่งเสริมความตระหนักต่อประชาชนและผู้ที่เกี่ยวข้องให้เห็นถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศกรณีฝุ่นละอองขนาดเล็กและในเขตอุตสาหกรรม

2. การจำแนกแหล่งกำเนิด  $PM_{2.5}$  โดยใช้แบบจำลอง PMF สามารถให้ผลลัพธ์แหล่งกำเนิดได้ 5 แหล่ง ทั้ง 2 พื้นที่ตรวจวัด ดังนั้น จากข้อมูลดังกล่าว สามารถเฝ้าระวังได้ถูกแหล่งกำเนิด เพื่อป้องกันอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนที่เกิดจากฝุ่น  $PM_{2.5}$  ได้ถูกจุด

3. ผลการศึกษาทั้งหมดสามารถใช้เป็นฐานข้อมูล เพื่อเปรียบเทียบกับเมืองอื่นที่ทำการศึกษาในลักษณะคล้ายกัน เพื่อใช้ในการตัดสินใจสร้างมาตรการและการเฝ้าระวังฝุ่น  $PM_{2.5}$

## 5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 2 พื้นที่ตรวจวัดค่อนข้างสูง จึงทำให้การเตรียมเครื่องมือในการตรวจวัดเป็นได้ความลำบาก

2. การทดสอบ Calibration ของเครื่องมือ BGI PQ200 ที่ตรวจวัด  $PM_{2.5}$  นั้น ทำการทดสอบนานในสภาพอากาศที่ร้อนจัด จึงทำให้ใช้เวลานานเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม ในการ calibration

#### 5.4 ข้อเสนอแนะ

1. เก็บจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้น โดยการเพิ่มจำนวนวันที่เก็บ เพื่อให้ได้แหล่งกำเนิดฝุ่น  $PM_{2.5}$  ที่ชัดเจน
2. เพิ่มการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ เพื่อแยกแหล่งกำเนิดให้ชัดเจนยิ่งขึ้น อาทิ เช่น Organic carbon Elemental carbon และอื่น ๆ
3. ควรตั้งจุดเก็บตัวอย่างให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของเครื่องและผู้ใช้งาน



## รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2559). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2558. กระทรวง  
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์] <http://bit.ly/2OCfWqT>
- กรมพัฒนาที่ดิน. (2535). แผนเพื่อการแพร่กระจายดินเค็มภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มาตรฐาน 1:  
500,000. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. [ออนไลน์]  
[http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web\\_ordTechnicalpdf/Technical03030\\_5.pdf](http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ordTechnicalpdf/Technical03030_5.pdf)
- นพภาพร พานิชและแสงสันต์ พานิช. (2544). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้านคุณภาพอากาศ.  
พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 5.
- วนิดา จีนศาสตร์. (2551). มลพิษอากาศและการจัดคุณภาพอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ:  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 84-85, 87-91, 128-137.
- ศิวพันธ์ ชูอินทร์. (2556). มลพิษทางอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
หน้า 37.
- สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. (2560). รายงานสถานการณ์และคุณภาพอากาศประเทศ  
ไทย. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์]  
[air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php](http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php)
- สำนักงานเทศบาลนครราชสีมา. (2558). ระบบสถิติทางการทะเบียน: รายงานสถิติจำนวน  
ประชากรและบ้านประจำปี พ.ศ. 2558. สำนักบริหารการทะเบียน กรมการปกครอง  
กระทรวงมหาดไทย. [ออนไลน์] <http://www.koratcity.go.th/page/population58>
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 1. การประชุมเชิงปฏิบัติการสรุปโครงการปรับปรุงคุณภาพอากาศใน  
เมืองขนาดกลางและขนาดเล็กในเขตภูมิภาคอาเซียน. สำนักงานปลัดกระทรวง  
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.  
[ออนไลน์] [http://www.reo01.mmre.go.th/ewt\\_news.php?nid=1](http://www.reo01.mmre.go.th/ewt_news.php?nid=1)
- อาภา หวังเกียรติ. (2550). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่คำนวณจากแหล่งรับในการจัดการคุณภาพ  
อากาศ. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต. 10: 13-16.

- Adamiec, E., Krzeminska, E.J., Wieszala, R. (2013). Heavy metals from non-exhaust vehicle emissions in urban and motorway road dusts. **Environmental Monitoring Assessment**. 188: 369.
- Alleman, L. Y. , Lamaison, L. , Perdrix E. , Robache, A. , Galloo, J. C. (2010). PM<sub>10</sub> metal concentrations and source identification using positive matrix factorization and wind sectoring in a French industrial zone. **Atmospheric Research**. 96: 612-625.
- CAI Asia. (2010). **Factsheet No. 2 – Particulate Matter (PM) Standards in Asia**. Pasig City, Philippines. Available from <http://cleanairasia.org/clean-air-asia-fact-sheets/>
- Cesari, D., Genga, A., Ielpo, P., Siciliano, M., Masco, G., Grasso, F.M., Contini, D. (2014). Source apportionment of PM<sub>2,5</sub> in the harbor-industrial area of Brindisi (Italy): Identification and estimation of the contribution of in- port ship emissions. **Science of the Total Environment**. 497-498: 392-400.
- Cesari, D., Donateo, A., Conte, M., Merico, E., Giangreco, A., Giangreco, F., Contini, D. (2016). An inter- comparison of PM<sub>2,5</sub> at urban and urban background sites: Chemical characterization and source apportionment. **Atmospheric Research**. 174-175: 106-119.
- Chen, Y., Engling, G., He, K., Duan, F., Du, Z., Ma, Y., Liang, L., Lu, Z., Lui, J., Zheng, M., Weber, R.J. (2014). The characteristics of Beijing aerosol during two distinct episodes: Impacts of biomass burning and fireworks. **Environmental Pollution**. 185: 149-157.
- Choi, J.K., Heo, J.B., Ban, S.J., Yi, S.M., Zoh, K.D. (2013). Source apportionment of PM<sub>2,5</sub> at the coastal area in Korea. **Science of the Total Environment**. 447: 370-380.
- Chow, J.C. (1995). Measurement Method to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles. **Journal of the Air and Waste Management Association**. 45: 320-382.
- Chow, J.C., Watson, J.G., (1998). **Guidelines on Speciated Particulate Monitoring**. USEPA, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, US Environmental Protection Agency, NC, USA.

- Chow, J. C. , Watson, J. G. (1999) . Ion chromatography in elemental analysis of airborne particles, Landsberger, S. and Creatchman, M. (Eds). **Elemental Analysis of Airborne Particles**. 1: 97-137.
- Chow, J.C. , Watson, J.G. , Kuhns, H. , Etyemezian, V. , Lowenthal, D.H. , Crow, D. , Kohl, S.D. , Engelbrecht, J.P. , Green, M.C. (2004). Source profiles for industrial, mobile, and area sources in the Big Bend Regional Aerosol Visibility and Observational study. **Chemosphere**. 54: 185-208.
- EMEP. 2002. **Manual for Sampling and Analysis, EMEP/CCC Report 1/95, Revision 1/2002**, Cooperative programme for monitoring and evaluation of long-range transmission of air pollutants in Europe, Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway. Available from <https://ebas-submit.nilu.no/Publications/itemid/3487/amid/17272/emep-manual-for-sampling-and-chemical-analysis>
- Farao, C. , Canepari, S. , Perrino, C. , Harrison, R.M. (2014). Source of PM in an Industrial Area: Comparison between Receptor Model Result and Semiempirical Calculation of Source Contributions. **Aerosol and Air Quality Research**. 14: 1558-1572.
- Forouzanfar, M.H., Alexander, L., Anderson, H.R., Bachman, V.F., Biryukov, S., Braoer, M., Burnett, R., Casey, D., Coates, A.C., Delwiche, K., Estep, K., Frostad, J.J., KC, A., Kyu, H.H., Moradi-Lakeh, M., Ng, M., Slepak, E.L., Bernadette, A.T., Wagner, J., Aasvang, G.M., Abbafati, C., Ozgoren, A.A., Abd-Allah, F., Abera, S.F., Aboyans, V., Abraham, B., Abraham, J.P., Abubakar, I., Abu-Rmeileh, M.E.N., Aburto, T.C., Achoki, T., Adelekan, A., Adofo, K., Adou, A.K., Adsuar, J.C., Afshin, A., Agardh, E.E., Al Khabouri, M.J., Al Lami, F.H., Alam, S.S., Alasfoor, D., Albittar, M.I., Alegretti, M.A., Aleman, A.V., Alemu, Z.A., Alfonso-Cristancho, R., Alhbib, S., Ali, R., (2015). Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. **The Lancet**. 386: 10010: 2287-2323.

- Geng, N., Wang, J., Xu, Y., Zhang, W., Chen, C., Zhang, R. (2013). PM<sub>2.5</sub> in an industrial district of Zhengzhou, China: Chemical composition and apportionment. **Particuology**. 11: 99-109.
- GIZ. (2012). **Chaing Mai Municipality Atmospheric Emission Inventory 2012 and Emission Inventory of Major Air Pollutants in Nakhon Ratchasima Municipality (NRM)**. Clean Air for Smaller Cities in the ASEAN Region. German International Cooperation. Available from [http://www.citiesforcleanair.org/?page\\_id=42](http://www.citiesforcleanair.org/?page_id=42)
- Gu, J., Pitz, M., Schnelle-Kreis, J., Diemer, J., Reller, A., Zimmermann, R., Soentgen, J., Stoelzel, M., Wichmann, E.H., Peters, A., Cyrys, J. (2011). Source apportionment of ambient particles: Comparison of positive matrix factorization analysis applied to particle size distribution and chemical composition data. **Atmospheric Environment**. 45: 1849-1857
- Gugamsetty, B., Wei, H., Liu, C.N., Awasthi, A., Hsu, S.C., Tsai, C.J., Roam, G.D., Wu, Y.C., Chen, C.F. (2012). Source characterization and apportionment of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>0.1</sub> by using Positive Matrix Factorization. **Aerosol and Air Quality Research**. 12: 476-491
- Hagler, G.S.W., Bergin, M.H., Salmon, L.G., Yu, J.Z., Wan, E.C.H., Zhen, M., Zeng, L.M., Kiang, C.S., Zhang, Y.H., Schauer, J.J. (2007). Local and regional anthropogenic influence on PM<sub>2.5</sub> elements in Hong Kong. **Atmospheric Environment**. 41: 5994-6004.
- Han, F., Kota, S.H., Wang, Y., Zhang, H. (2017). Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Baton Rouge, Louisiana during 2009-2014. **Science of the Total Environment**. 5(86): 115-126.
- Hjortenkrans, D.S.T., Bergback, B.G., Gaggerud, A.V. (2007). Metal Emission from Brake Linings and Tires: Case Studies of Stockholm, Sweden 1995/ 1998 and 2005. **Environmental Science and Technology**. 41: 5224-5230.
- Hopke, P.K. (2016). Review of receptor modeling methods for source apportionment. **Journal of The Air and Waste Management Association**. 3(66): 237-259.
- Institute for Health Metrics and Evaluation, University of Washington. (2015). **Global Burden of Disease: Generating Evidence, Guiding Policy**. The World Bank Group. Available from <http://www.worldbank.org/en/topic/health/publication/global-burden-of-disease-generating-evidence-guiding-policy>



- Karagulian, F., Belis, C.A. (2012). Enhancing source apportionment with receptor models to foster the air quality directive implementation. **International Journal Environment and Pollution**. 50: 190-199.
- Kim Oanh, N. T., Prapat, P., Upadhyay, N., Hopke, P.K. (2009). Designing ambient particulate matter monitoring program for source apportionment study by receptor modeling. **Atmospheric Environment**. 43: 3334-3344.
- Kim Oanh, N.T. (2013). **Integrated air quality management: ASIAN case studies**. 1<sup>st</sup> ed, ISBN 978-1-4398-6225-X, Taylor & Francis Group, NW, USA, p. 69, 78.
- Landis, M. S. , Pancras, J. P. , Graney, J. R. , White, E. M. , Edgerton, E. S. (2017) . Source apportionment of ambient fine and coarse particulate matter at the Fort McKay community site, in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. **Science of the Total Environment**. 584-585: 105-117.
- Ledoux, F., Kfoury, A., Delmaire, G., Roussel, G., Zein A.E., Courcot, D. (2017). Contributions of local and regional anthropogenic sources of metals in PM<sub>2.5</sub> at an urban site in northern France. **Chemosphere**. 181: 713-724.
- Lestari, P., Mauliadi, Y.D. (2009). Source apportionment of particulate matter at urban mixed site in Indonesia using PMF. **Atmospheric Environment**. 43: 1760-1770.
- Linak, W.P., Meller, C.A., Snatojanni, D.A., King, C.J., Shinagawa, T., Wendt, J.L., Yoo, J., Seo, Y. (2003). Formation of Fine Particles from Residual Oil Combustion: Reducing Nuclei through the Addition of Inorganic Sorbent. **Korean Journal Chemical Engineering**. 20: 664-669.
- Mansha, M. , Ghauri, B. , Rahman, S. , Amman, A. (2012) . Characterization and source apportionment of ambient air particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) in Karachi. **Science of the Total Environment**. 425: 176-183.
- Murillo, J.H., Ramos, A.C., Garcia, F.A. (2012). Chemical composition of PM<sub>2.5</sub> particles in Salamanca, Guanajuato Mexico: Source apportionment with receptor models. **Atmospheric Research**. 107: 31-41.

- Murillo, J. H., Roman, S. R., Marin, J. F. R., Ramos, A. C., Jimenez, S. B., Gonzalez, B. C., Baumgardner, D. G. (2013). Chemical characterization and source apportionment of PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in the metropolitan area of Costa Rica, Central America. **Atmospheric Pollution Research**. 4: 181-190.
- Orogade, S. A., Owoade, K. O., Hopke, P. K., Adie, D. B., Ismail, A., Okuofu, C. A. (2016). Source apportionment of fine and coarse particulate matter in industrial areas of Kaduna, Northern Nigeria. **Aerosol and Air Quality Research**. 16: 1179-1190.
- Paatero, P., Eberly, S., Brown, G. S., Norris, A. G. (2014). Methods for Estimating Uncertainty in Factor Analytic Solution. **Atmos. Meas. Tech**. 7: 781-797.
- Parrish, D. D., and Zhu, T. (2009). Perspective: Clean Air for Mega-Cities, **Science** 326: 674-675.
- Perkin Elmer. (2011). **World Leader in AA, ICP-OES and ICP-MS**. Perkin Elmer, Inc. MA, USA. Available from [http://www.perkinelmer.com/Content/relatedmaterials/brochures/br\\_o\\_worldleaderaaicpmsicpms.pdf](http://www.perkinelmer.com/Content/relatedmaterials/brochures/br_o_worldleaderaaicpmsicpms.pdf)
- Peltier, R. E., Lippmann, M. (2010). Residual oil combustion: 2. Distributions of airborne nickel and vanadium within New York City. **Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology**. 20: 342-350.
- Promod, K., Paul, A. B., Klaus, W. (2011). **Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications**. 3<sup>rd</sup> ed, ISBN 978-0-470-38741-2, John Wiley and Sons, USA, p. 107-128.
- Sharma, K. S., Sharma, A., Saxena, M., Choudhary, N., Masiwal, R., Mandal, K. T., Sharma, C. (2016). Chemical characterization and source apportionment of aerosol at an urban area of Central Delhi, India. **Atmospheric Pollution Research**. 7: 110-121.
- Tian, S. L., Pan, Y. P., Wang, Y. S. (2016). Size-resolved source apportionment of particulate matter in urban Beijing during haze and non-haze episodes. **Atmospheric Chemistry and Physics**. 16: 1-19.
- US EPA. (1998). **Guideline on Speciated Particulate Monitoring**. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards (MD-14), Research Triangle Park, NC, USA. Available from <https://bit.ly/2LWT5rk>

- US EPA. (1999). **Method IO-3.4 Determination of Metals in Ambient Particulate Matter Using Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy**. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development, Cincinnati, OH, USA. Available from <https://www.epa.gov/homeland-security-research/epa-io-inorganic-compendium-method-io-34-determination-metals-ambient>
- US EPA. (2006). **National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter: 40 CFR 50**. Available from <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/pt5006.pdf>
- US EPA. (2013). **Receptor Modeling**. US Environmental Protection Agency, Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling, Research Triangle Park, NC, USA. Available from <https://www3.epa.gov/ttn/scram/receptorindex.htm>
- US EPA. (2014). **EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide**. US Environmental Protection Agency, Support Center for Regulatory Atmospheric Modeling, Research Triangle Park, NC, USA. Available from <https://www.epa.gov/air-research/positive-matrix-factorization-model-environmental-data-analyses>
- US EPA. (2016). **Quality Assurance Guidance Document 2.12; Monitoring PM<sub>2.5</sub> in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods**. US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division RTP, NC, USA. Available from <https://bit.ly/2AHWPc7>
- Watson, J. G., Chow, J. C., (2004). Receptor Models for Air Quality Management. **Air & Waste Management Association**. 10: 15-24.
- Watson, J.G., Chow, J.C. (2015). **Introduction to Environmental Forensics**. 3<sup>rd</sup> ed. ISBN: 978-0-12-404696-2, Academic Press, CA, USA, p. 667-706.
- Wimolwattanapum, W., Hopke, P.K, Pongkiatkul, P. (2011). Source apportionment and potential source locations of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>2.5-10</sub> at residential sites in metropolitan Bangkok. **Atmospheric Pollution Research**. 2: 172-181.
- Wayne, O.R, Anne, S.C., Lance, W. A. (2007). **Exposure Analysis**. 1<sup>st</sup> ed. ISBN 1-56670-663-X, Taylor & Francis Group, FL, USA, p. 11, 83, 90.

WHO. (2010). Action is needed on chemicals of major public health concern. WHO, Geneva.

Available from [http://www.who.int/ipcs/features/10chemicals\\_en.pdf?ua=1](http://www.who.int/ipcs/features/10chemicals_en.pdf?ua=1)

WHO. (2014). **Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air**

**Pollution for 2012.** WHO, Geneva. Available from <http://bit.ly/1cwouaO>

WHO. (2015). **Database on source apportionment studies for particulate matter in the air**

**(PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub>).** WHO, Geneva. Available from <http://bit.ly/2LItbZ2>

Zikova, N., Wang, Y., Yang, F., Li, X., Tian, M., Hopke, P.K., (2016). On the source contribution to Beijing PM<sub>2.5</sub> concentrations. **Atmospheric Environment.** 134: 84-95.





ภาคผนวก ก

ความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  และองค์ประกอบทางเคมี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ Black carbon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

วันที่	PM <sub>2.5</sub>		Black carbon	
	เขตอุตสาหกรรม	เขตเมือง	เขตอุตสาหกรรม	เขตเมือง
18 พ.ย. 59	29.29	25.34	0.5060	0.7224
24 พ.ย. 59	14.58	10.76	0.2649	0.3855
25 พ.ย. 59	18.18	14.87	0.2227	0.3919
26 พ.ย. 59	19.34	15.67	0.2912	0.4349
27 พ.ย. 59	23.29	16.88	0.2891	0.4030
28 พ.ย. 59	32.13	29.06	0.4238	0.6856
29 พ.ย. 59	28.61	27.84	0.4572	0.6757
30 พ.ย. 59	28.94	23.78	0.4133	0.5206
9 ธ.ค. 59	54.94	51.08	0.8500	1.0323
10 ธ.ค. 59	63.83	63.08	0.7578	0.9921
11 ธ.ค. 59	66.07	55.92	0.7664	0.8738
12 ธ.ค. 59	62.40	47.52	0.7561	0.8752
13 ธ.ค. 59	37.25	37.10	0.6807	0.8095
14 ธ.ค. 59	23.76	19.72	0.3755	0.4934
15 ธ.ค. 59	17.82	8.15	0.2753	0.3009
1 ม.ค. 60	25.15	25.36	0.2306	0.4035
2 ม.ค. 60	22.48	20.54	0.3553	0.4355
3 ม.ค. 60	21.85	20.07	0.3424	0.4172
4 ม.ค. 60	37.49	30.59	0.5367	0.6342
5 ม.ค. 60	28.36	23.05	0.4286	0.4968
6 ม.ค. 60	28.87	30.71	0.4839	0.7497
7 ม.ค. 60	29.88	35.78	0.4621	0.7872
15 ม.ค. 60	32.15	28.39	0.5396	0.5953
16 ม.ค. 60	25.55	19.89	0.4087	0.4965
17 ม.ค. 60	25.90	23.77	0.3831	0.4878
18 ม.ค. 60	35.00	26.65	0.5760	0.5687
19 ม.ค. 60	30.95	22.54	0.5537	0.5303
20 ม.ค. 60	25.45	17.24	0.4602	0.4837
21 ม.ค. 60	20.35	16.49	0.3436	0.4173
29 ม.ค. 60	59.81	58.01	0.8825	1.1307
30 ม.ค. 60	57.86	30.33	0.6779	0.7768



ตารางที่ ก.1 ความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> และ Black carbon (µg/m<sup>3</sup>) (ต่อ)

วันที่	PM <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		Black carbon (µg/m <sup>3</sup> )	
	เขตอุตสาหกรรม	เขตเมือง	เขตอุตสาหกรรม	เขตเมือง
31 ม.ค. 60	43.15	47.44	0.7412	0.7916
1 ก.พ. 60	32.38	27.30	0.5752	0.7496
2 ก.พ. 60	20.98	18.11	0.3509	0.4456
3 ก.พ. 60	35.49	28.07	0.6379	0.7440
4 ก.พ. 60	55.17	42.09	0.8486	1.0981
14 ก.พ. 60	49.54	44.47	0.7875	0.7677
15 ก.พ. 60	36.27	38.41	0.5481	0.7477
16 ก.พ. 60	49.90	34.41	0.7128	0.8123
17 ก.พ. 60	34.30	31.91	0.6056	0.7356
18 ก.พ. 60	38.21	38.93	0.6813	0.8628

ตารางที่ ก.2 ความเข้มข้นของสารไอออนิก ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในเขตเมือง

วันที่	ความเข้มข้น ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
18 พ.ย. 59	0.13	0.86	4.12	0.71	0.31	1.94	0
24 พ.ย. 59	0.09	0.32	2.27	0.83	0.14	1.68	0
25 พ.ย. 59	0.12	0.48	4.93	0.71	0.24	3.02	0
26 พ.ย. 59	0.26	0.54	1.18	0.94	0.29	1.20	0
27 พ.ย. 59	0.14	0.63	3.69	0.64	0.26	1.61	0
28 พ.ย. 59	0.07	0.80	5.17	0.72	0.41	1.02	0.59
29 พ.ย. 59	0.05	0.62	6.01	2.32	0.46	1.46	0.28
30 พ.ย. 59	0.09	0.49	6.86	0.53	0.34	2.02	0.52
9 ธ.ค. 59	0.45	1.71	7.91	1.18	1.02	1.27	1.68
10 ธ.ค. 59	0.45	2.39	11.40	0.89	1.18	1.22	3.41
11 ธ.ค. 59	0.32	2.18	12.11	0.95	1.08	1.95	3.94
12 ธ.ค. 59	0.18	1.68	5.94	0.78	1.09	1.18	1.20
13 ธ.ค. 59	0.15	0.91	2.59	3.20	0.73	0.85	0
14 ธ.ค. 59	0.19	0.75	1.51	0.66	0.53	1.11	0
15 ธ.ค. 59	0.18	0.40	1.22	0.74	0.23	1.03	0
1 ม.ค. 60	0.10	0.72	3.74	1.17	0.15	1.11	1.58
2 ม.ค. 60	0.08	0.53	2.69	0.88	0.20	1.45	0.88
3 ม.ค. 60	0.26	0.67	2.03	0.65	0.29	1.30	0.58
4 ม.ค. 60	0.03	1.23	3.72	0.94	0.50	1.37	1.66
5 ม.ค. 60	0.20	1.03	4.34	1.07	0.26	1.19	1.16
6 ม.ค. 60	0.07	1.22	2.97	1.22	0.51	1.17	1.27
7 ม.ค. 60	0.14	1.14	3.37	1.12	0.61	1.13	0.89
15 ม.ค. 60	0.19	1.21	1.74	1.20	0.75	1.00	0.58
16 ม.ค. 60	0.11	0.67	0.88	1.53	0.23	1.01	0.10
17 ม.ค. 60	0.13	0.88	1.30	0.89	0.40	0.98	0.27
18 ม.ค. 60	0.08	1.15	1.33	1.11	0.52	1.68	0.39
19 ม.ค. 60	0.10	1.05	1.97	0.84	0.32	1.35	0.39
20 ม.ค. 60	0.09	0.70	1.68	0.86	0.11	1.75	0.33
21 ม.ค. 60	0.08	0.59	1.38	0.91	0.20	1.43	0.28
29 ม.ค. 60	0.25	2.57	3.54	1.09	1.55	1.23	1.46
30 ม.ค. 60	0.24	1.45	3.04	1.28	1.30	1.50	0

ตารางที่ ก.2 ความเข้มข้นของสารไอออนิก ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในเขตเมือง (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้น ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
31 ม.ค. 60	0.30	1.58	4.08	1.17	1.10	1.31	2.07
1 ก.พ. 60	0.18	1.00	2.38	0.88	0.52	1.24	0
2 ก.พ. 60	0.15	0.69	1.16	0.89	0.05	1.08	0
3 ก.พ. 60	0.05	1.06	1.74	1.06	0.35	1.13	0
4 ก.พ. 60	0.33	1.25	2.54	0.66	1.54	1.42	0.29
14 ก.พ. 60	0.44	1.19	7.86	0.71	1.37	1.29	2.74
15 ก.พ. 60	0.51	1.42	4.50	0.62	1.24	1.51	1.18
16 ก.พ. 60	0.45	6.40	7.69	0.63	1.03	1.60	1.25
17 ก.พ. 60	0.35	0.62	3.35	0.56	1.10	1.35	0.90
18 ก.พ. 60	0.30	1.71	3.55	0.61	1.39	1.49	0.88

ตารางที่ ก.3 ความเข้มข้นของสารไอออนิก ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในเขตอุตสาหกรรม

วันที่	ความเข้มข้น ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
18 พ.ย. 59	0.33	1.26	5.77	1.24	0.56	2.74	0.28
24 พ.ย. 59	0.38	0.53	1.48	1.10	0.20	1.49	0
25 พ.ย. 59	0.69	0.62	1.29	1.22	0.36	1.39	0
26 พ.ย. 59	0.45	0.61	1.51	0.84	0.37	1.19	0
27 พ.ย. 59	0.32	0.67	2.71	0.70	0.46	1.05	0.75
28 พ.ย. 59	0.33	0.97	5.81	0.75	0.63	1.39	0.44
29 พ.ย. 59	0.09	0.50	6.03	0.77	0.41	1.26	0.95
30 พ.ย. 59	0.14	0.66	5.56	0.77	0.51	1.55	0.04
9 ธ.ค. 59	0.43	1.47	11.37	1.36	1.12	2.72	2.41
10 ธ.ค. 59	0.47	2.41	13.05	1.15	1.24	2.06	4.23
11 ธ.ค. 59	0.64	2.81	11.27	0.97	1.31	1.14	3.61
12 ธ.ค. 59	0.58	2.23	6.38	1.49	1.36	1.30	0
13 ธ.ค. 59	0.33	1.09	3.82	0.94	1.11	1.43	0
14 ธ.ค. 59	0.40	1.11	1.98	1.06	0.69	1.36	0
15 ธ.ค. 59	0.63	0.66	1.73	0.91	0.55	1.35	0
1 ม.ค. 60	0.05	0.68	4.35	1.59	0.16	2.67	1.53

ตารางที่ ก.3 ความเข้มข้นของสารไอออนิก ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในเขตอุตสาหกรรม (ต่อ)

วันที่	ความเข้มข้น ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
2 ม.ค. 60	0.02	0.57	3.40	0.96	0.33	1.62	0.92
3 ม.ค. 60	0.29	0.63	3.36	0.76	0.20	1.22	0.79
4 ม.ค. 60	0.32	1.34	3.85	0.76	0.75	1.50	1.71
5 ม.ค. 60	0.51	1.14	3.19	0.82	0.87	1.29	0.89
6 ม.ค. 60	0.06	0.94	2.58	0.86	0.27	1.14	1.23
7 ม.ค. 60	0.09	0.79	2.82	0.76	0.31	1.27	1.02
15 ม.ค. 60	0.34	1.29	1.39	1.09	0.83	1.12	0.39
16 ม.ค. 60	0.16	0.82	1.02	1.43	0.35	1.26	0.22
17 ม.ค. 60	0.53	1.01	1.56	1.49	0.40	1.49	0.24
18 ม.ค. 60	0.20	1.51	2.29	1.05	0.78	1.46	1.05
19 ม.ค. 60	0.21	1.21	2.75	0.91	0.71	1.67	0.47
20 ม.ค. 60	0.14	0.87	4.54	1.12	0.54	1.32	0.56
21 ม.ค. 60	0.12	0.71	1.80	1.00	0.23	1.29	0.16
29 ม.ค. 60	0.29	2.37	3.67	0.90	1.60	1.34	2.73
30 ม.ค. 60	0.40	1.44	3.19	1.49	1.35	1.44	1.20
31 ม.ค. 60	0.39	2.06	4.34	1.31	1.28	1.46	2.05
1 ก.พ. 60	0.17	1.06	3.25	1.08	0.75	1.33	1.02
2 ก.พ. 60	0.25	0.84	1.47	1.01	0.08	1.14	0
3 ก.พ. 60	0.08	1.48	1.73	1.37	0.43	1.05	0.57
4 ก.พ. 60	0.59	1.54	3.88	0.70	1.40	1.57	0.31
14 ก.พ. 60	0.48	1.15	7.77	0.67	1.43	1.22	2.63
15 ก.พ. 60	0.53	1.21	5.07	0.72	1.12	1.60	1.04
16 ก.พ. 60	0.86	2.40	3.64	0.63	1.53	1.60	1.07
17 ก.พ. 60	0.38	1.24	3.95	0.57	1.24	1.41	0.93
18 ก.พ. 60	0.31	1.40	3.91	0.64	1.41	1.58	0.70

ตารางที่ ก.4 ความเข้มข้นของธาตุ (ng/m<sup>3</sup>) ในเขตเมือง

วันที่	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sr	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb
18 พ.ย. 59	130.27	46.22	2.58	2.16	107.94	0.65	52.97	0.05	3.02	3.97	19.78	0.86	0.66	1.04	0.22	0.31	1.61	8.00	0.04	7.19
24 พ.ย. 59	139.06	47.67	4.08	0.36	99.99	0.04	61.96	0.08	4.79	36.12	24.27	0.33	0.20	1.78	0.44	0.11	1.01	8.52	0.01	4.76
25 พ.ย. 59	167.64	68.60	1.20	0.16	99.50	1.15	90.40	0.05	0.54	29.48	10.68	0.33	0.32	2.90	0.83	0.17	1.26	13.75	0.02	3.17
26 พ.ย. 59	105.12	52.61	1.04	0.13	107.69	1.09	97.55	0.11	0.18	10.80	9.42	0.29	0.21	0.71	0.45	0.13	1.16	11.23	0.01	2.31
27 พ.ย. 59	184.07	108.72	1.33	0.33	116.50	3.86	121.29	0.11	1.92	23.86	34.01	0.81	0.42	3.27	0.79	0.28	1.64	13.69	0.03	6.49
28 พ.ย. 59	135.00	133.50	1.87	0.89	148.32	13.61	49.17	1.13	0.65	20.55	47.88	2.95	1.29	1.43	0.70	0.83	2.60	14.93	0.12	17.27
29 พ.ย. 59	142.60	66.72	1.50	0.78	108.15	8.50	116.77	0.42	0.67	26.97	62.51	3.05	1.49	1.98	0.56	0.63	2.41	12.35	0.14	17.46
30 พ.ย. 59	152.13	68.09	1.42	0.73	110.72	9.08	121.82	0.07	1.11	27.88	39.84	2.88	1.35	4.93	0.55	0.61	2.52	13.07	0.16	20.02
9 ธ.ค. 59	130.91	100.05	2.76	0.90	105.48	15.69	165.83	0.11	0.87	35.25	81.39	7.81	2.29	1.66	0.95	1.56	4.45	16.36	0.27	35.77
10 ธ.ค. 59	126.55	126.76	2.81	0.97	104.87	21.26	160.12	0.16	2.87	16.22	75.39	12.27	2.49	1.76	0.62	2.32	4.70	22.95	0.31	38.76
11 ธ.ค. 59	127.06	113.52	2.78	1.90	101.35	13.80	179.59	0.09	1.14	20.89	71.50	9.71	2.58	1.53	1.06	2.01	3.90	20.81	0.27	37.69
12 ธ.ค. 59	119.75	82.78	2.32	1.26	119.67	11.63	138.46	0.10	0.62	64.08	45.71	6.85	1.54	1.32	0.62	1.47	3.46	32.09	0.15	27.70
13 ธ.ค. 59	120.97	41.30	2.72	0.86	119.21	4.66	61.87	0.06	0.93	17.76	30.94	3.23	1.14	0.99	0.26	0.85	4.03	10.55	0.09	20.30
14 ธ.ค. 59	119.53	120.10	1.47	1.10	116.39	3.22	143.75	0.07	0.85	29.90	25.67	0.98	0.55	0.95	0.33	0.22	2.07	15.26	0.04	4.30
15 ธ.ค. 59	117.94	90.71	1.53	0.31	114.12	3.10	152.73	0.15	0.37	22.95	18.70	0.73	0.31	0.79	0.36	0.17	1.38	11.91	0.03	4.25
1 ม.ค. 60	107.95	36.27	2.03	0.97	113.45	3.90	54.80	0.11	1.10	3.80	29.15	2.54	1.02	1.24	0.25	0.55	2.20	35.46	0.12	16.80
2 ม.ค. 60	116.78	54.84	1.94	1.55	106.79	1.93	56.43	0.05	1.06	3.79	24.50	1.72	0.76	1.05	0.14	0.39	1.54	20.87	0.08	11.04
3 ม.ค. 60	122.71	40.27	1.69	1.81	118.43	0.38	31.08	0.03	1.06	4.22	13.56	0.92	0.45	0.92	0.11	0.25	1.68	13.25	0.05	6.44
4 ม.ค. 60	196.53	55.22	2.17	3.23	110.30	2.34	57.87	0.06	2.17	8.78	25.77	1.44	0.96	2.26	0.34	0.54	1.57	11.75	0.06	8.01
5 ม.ค. 60	124.68	39.38	2.74	2.13	116.44	1.10	53.33	0.05	1.97	13.72	22.00	0.95	0.64	1.06	0.79	0.19	1.23	6.45	0.04	4.96
6 ม.ค. 60	123.21	31.71	1.77	2.50	114.08	1.06	43.61	0.04	1.32	6.56	20.35	0.98	0.63	0.91	0.20	0.27	1.33	6.68	0.04	5.64
7 ม.ค. 60	131.93	58.42	2.42	2.29	107.63	1.57	84.61	0.06	1.28	70.20	23.15	0.92	0.77	1.08	0.17	0.31	2.05	7.98	0.05	7.52
15 ม.ค. 60	124.85	68.78	4.65	0.28	112.02	0.04	55.43	0.06	1.08	9.34	26.87	0.61	0.41	0.90	0.42	0.26	1.19	10.97	0.03	14.59
16 ม.ค. 60	115.16	55.72	2.07	0.10	109.02	0.05	31.20	0.04	0.42	8.25	8.85	0.27	0.36	0.95	0.08	0.09	1.08	30.69	0.02	2.01
17 ม.ค. 60	95.13	37.26	1.49	0.18	106.40	0.09	27.01	0.03	0.50	3.93	9.26	0.31	0.26	0.64	0.10	0.14	1.44	5.47	0.03	3.54
18 ม.ค. 60	113.95	36.42	1.77	0.39	114.08	0.68	51.83	0.04	0.65	4.42	42.18	0.58	0.61	0.85	0.14	0.19	3.57	7.03	0.03	11.50
19 ม.ค. 60	125.21	33.14	1.98	0.86	110.97	0.57	41.85	0.04	0.78	2.49	14.23	0.55	0.49	0.89	0.15	0.26	1.27	6.45	0.03	4.13
20 ม.ค. 60	122.01	51.16	1.86	1.36	107.21	0.43	37.46	0.03	0.84	4.59	13.06	0.50	0.41	0.84	0.21	0.20	1.19	6.42	0.03	4.28

ตารางที่ ก.4 ความเข้มข้นของธาตุ (ng/m<sup>3</sup>) ในเขตเมือง (ต่อ)

วันที่	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sr	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb
21 ม.ค. 60	116.41	43.83	1.81	0.76	110.47	0.28	28.14	0.03	0.70	2.25	20.66	0.66	0.32	0.79	0.13	0.20	1.28	6.08	0.04	4.91
29 ม.ค. 60	140.48	70.69	2.68	1.24	125.45	3.59	78.01	0.08	0.96	4.78	27.37	1.70	1.00	1.44	0.25	0.95	5.37	9.16	0.10	12.78
30 ม.ค. 60	141.29	68.60	3.65	1.05	115.26	2.19	67.31	0.06	1.41	5.74	25.68	1.17	0.66	2.26	0.27	0.42	5.21	13.04	0.07	9.79
31 ม.ค. 60	168.78	98.91	3.78	1.90	121.54	3.07	100.69	0.07	1.35	4.79	23.30	1.27	0.73	5.07	1.19	0.50	1.81	17.94	0.06	10.98
1 ก.พ. 60	141.65	82.27	3.40	1.33	122.57	1.56	47.79	0.06	0.96	5.46	23.39	0.99	0.60	2.89	0.26	0.37	1.30	15.79	0.05	7.57
2 ก.พ. 60	118.81	44.59	3.55	0.71	119.74	0.04	45.98	0.04	2.32	2.02	14.76	0.32	0.31	1.15	0.37	0.09	0.79	6.83	0.02	3.43
3 ก.พ. 60	125.75	41.60	2.06	0.68	132.67	0.14	47.85	0.05	0.88	4.78	22.55	0.51	0.31	1.11	0.38	0.18	1.33	29.07	0.03	4.25
4 ก.พ. 60	115.95	136.31	1.84	1.05	115.55	3.60	226.01	0.10	0.55	20.81	34.79	0.62	0.75	1.06	0.63	0.40	35.88	15.67	0.04	5.91
14 ก.พ. 60	128.24	85.79	1.64	1.47	126.72	7.00	121.68	0.08	0.75	17.84	34.19	3.43	1.47	3.53	0.49	0.65	2.26	18.67	0.17	19.51
15 ก.พ. 60	130.95	68.08	1.40	1.36	124.16	3.77	102.61	0.19	0.53	11.23	19.63	1.46	0.77	1.97	0.46	0.54	1.24	14.06	0.08	8.35
16 ก.พ. 60	144.26	105.26	2.03	1.37	118.77	4.17	115.27	0.08	0.54	14.51	25.58	0.85	0.70	1.82	0.45	0.25	3.06	44.31	0.06	7.45
17 ก.พ. 60	150.35	89.66	1.97	1.16	121.64	4.68	122.39	0.08	0.52	15.28	23.37	0.86	0.55	1.66	0.42	0.30	1.69	18.20	0.06	6.13
18 ก.พ. 60	142.10	130.86	1.93	1.42	123.31	3.83	137.62	0.12	0.63	17.98	22.25	0.84	0.42	1.56	0.30	0.40	1.51	15.39	0.07	6.96





ตารางที่ ก.5 ความเข้มข้นของธาตุ (ng/m<sup>3</sup>) ในเขตอุตสาหกรรม

วันที่	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sr	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb
18 พ.ย. 59	224.86	61.92	2.60	3.25	96.40	8.42	62.97	0.11	8.72	10.14	764.75	0.90	0.61	1.21	3.38	0.44	1.75	8.50	0.05	10.73
24 พ.ย. 59	133.66	93.35	1.96	6.44	109.71	12.49	222.48	0.17	2.78	16.33	34.50	0.48	0.09	1.60	4.51	0.50	1.23	43.91	0.02	2.79
25 พ.ย. 59	165.01	135.63	2.40	2.89	113.08	11.82	256.00	0.12	1.35	33.28	33.77	0.37	0.38	2.26	2.96	0.59	1.20	38.33	0.02	1.96
26 พ.ย. 59	128.18	120.99	1.77	2.81	115.15	1.64	129.71	0.11	1.61	67.73	41.80	0.29	0.33	1.12	4.42	1.51	1.33	14.16	0.02	3.21
27 พ.ย. 59	119.65	80.65	1.40	3.29	110.73	3.41	131.08	0.11	2.12	38.79	46.35	0.81	0.41	0.94	0.79	0.59	1.47	11.34	0.05	10.24
28 พ.ย. 59	144.28	87.72	1.75	4.67	111.88	10.67	150.96	0.13	2.49	16.36	167.43	3.25	1.33	1.36	11.33	1.92	3.13	16.83	0.15	19.91
29 พ.ย. 59	123.22	73.89	1.59	10.04	109.10	7.55	134.99	0.18	5.41	13.91	60.03	3.19	1.24	1.14	3.81	1.00	2.67	11.43	0.15	17.27
30 พ.ย. 59	127.37	111.05	1.70	1.54	110.94	8.66	171.36	0.10	0.96	24.26	106.67	2.79	1.19	1.34	4.74	2.39	2.77	23.42	0.17	20.47
9 ธ.ค. 59	149.86	97.40	4.27	4.74	86.83	13.62	114.84	0.12	2.62	12.10	134.16	7.10	2.20	1.96	7.96	1.91	7.92	21.60	0.30	38.14
10 ธ.ค. 59	153.34	137.27	2.81	1.36	108.52	22.77	211.21	0.11	0.90	35.28	125.87	12.82	2.98	1.85	4.16	2.78	6.89	21.87	0.36	43.23
11 ธ.ค. 59	129.01	156.97	2.87	2.20	118.53	21.37	229.79	0.14	1.23	47.49	72.52	9.86	2.72	1.80	1.30	1.96	6.76	17.20	0.31	41.71
12 ธ.ค. 59	128.35	106.85	2.31	3.06	106.67	8.43	312.80	0.12	1.24	26.33	41.69	8.04	2.05	1.85	3.01	1.31	7.32	25.08	0.22	31.87
13 ธ.ค. 59	129.61	96.66	1.45	4.59	110.39	5.84	151.49	0.10	1.79	12.50	83.05	3.05	0.77	1.17	2.30	0.95	2.68	17.61	0.09	13.21
14 ธ.ค. 59	133.22	73.73	1.37	1.18	115.50	3.12	113.83	0.06	0.92	22.31	30.48	0.87	0.56	1.04	0.73	1.00	1.82	11.38	0.05	4.57
15 ธ.ค. 59	112.26	78.82	1.41	1.83	103.46	3.33	158.09	0.10	1.11	19.30	50.04	0.71	0.49	1.08	1.00	1.74	1.65	19.15	0.04	6.15
1 ม.ค. 60	141.55	79.52	2.89	0.87	96.08	2.64	44.44	0.03	1.15	7.32	30.63	2.41	1.01	1.29	0.26	0.50	1.85	15.48	0.12	15.24
2 ม.ค. 60	107.79	52.28	2.95	1.68	103.59	1.48	57.02	0.08	2.42	18.38	45.07	1.60	0.64	1.02	0.25	0.36	1.44	27.33	0.08	8.90
3 ม.ค. 60	117.68	34.35	2.18	5.93	117.14	0.32	35.04	0.08	3.63	3.33	51.70	0.92	0.48	0.97	3.07	0.47	1.79	6.84	0.05	5.74
4 ม.ค. 60	142.17	42.89	1.86	6.33	119.14	1.41	37.08	0.07	2.76	3.88	53.96	1.55	0.83	1.10	8.08	0.62	2.08	8.35	0.07	10.82
5 ม.ค. 60	171.36	42.05	1.86	4.80	115.58	8.13	41.25	0.06	2.55	3.94	281.55	1.06	0.57	0.83	0.50	0.40	1.31	7.58	0.05	5.60
6 ม.ค. 60	143.27	48.44	2.21	3.91	121.54	2.16	43.41	0.08	1.88	2.73	65.08	1.03	0.64	1.16	0.37	0.48	2.58	24.04	0.05	6.51
7 ม.ค. 60	145.49	59.22	4.10	7.13	101.89	0.84	40.10	0.07	3.23	2.38	61.26	0.96	0.60	1.07	0.56	0.40	1.47	11.75	0.04	4.32
15 ม.ค. 60	112.79	51.92	2.19	2.39	112.22	0.22	33.68	0.06	1.98	69.12	31.41	0.56	0.41	0.94	0.49	0.75	1.78	9.79	0.05	3.98
16 ม.ค. 60	118.39	55.89	2.87	2.37	109.38	2.11	49.16	0.06	2.98	2.99	38.77	0.36	0.32	0.97	1.44	0.68	1.76	6.03	0.03	2.97
17 ม.ค. 60	123.30	75.84	2.96	2.25	107.21	4.77	93.34	0.08	3.49	6.59	33.55	0.37	0.42	1.04	1.15	0.88	1.21	13.21	0.03	4.55
18 ม.ค. 60	128.82	66.75	3.49	6.24	103.37	0.11	36.40	0.15	4.75	3.10	41.93	0.57	0.52	1.12	1.98	0.85	2.90	27.29	0.03	3.59
19 ม.ค. 60	135.96	53.32	3.23	6.90	106.59	5.27	61.41	0.11	4.73	3.60	36.12	0.67	0.43	1.12	6.99	0.77	1.36	12.96	0.05	3.68
20 ม.ค. 60	133.11	50.08	2.59	7.65	111.97	2.26	56.81	0.10	4.82	4.10	61.63	0.71	0.58	1.10	3.97	0.58	1.36	6.98	0.05	4.30

ตารางที่ ก.5 ความเข้มข้นของธาตุ (ng/m<sup>3</sup>) ในเขตอุตสาหกรรม (ต่อ)

วันที่	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sr	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb
21 ม.ค. 60	111.79	39.00	2.26	0.75	112.66	0.38	53.88	0.06	1.13	2.04	31.21	0.61	0.36	0.91	0.49	0.64	1.17	5.57	0.04	5.04
29 ม.ค. 60	130.64	62.51	3.07	2.66	104.70	3.67	50.94	0.08	1.94	2.79	74.79	1.47	0.93	1.38	0.54	0.61	3.25	20.21	0.09	9.68
30 ม.ค. 60	137.99	78.63	2.88	1.71	122.66	3.43	64.02	0.10	1.33	6.32	63.39	1.23	0.69	2.45	3.62	2.39	1.82	10.41	0.09	8.79
31 ม.ค. 60	137.85	90.36	2.37	4.26	116.47	2.80	47.23	0.11	2.71	3.99	28.43	1.16	0.77	4.72	1.48	0.51	1.71	38.43	0.08	10.09
1 ก.พ. 60	136.56	74.62	3.42	7.03	113.87	0.98	40.14	0.12	4.78	3.91	31.89	1.00	0.54	2.82	6.22	0.46	1.39	11.42	0.05	6.20
2 ก.พ. 60	113.28	42.17	1.82	2.10	119.74	10.41	85.51	0.06	1.74	4.71	30.71	0.41	0.66	1.40	3.70	0.50	0.85	9.15	0.02	3.56
3 ก.พ. 60	123.56	49.16	2.21	1.46	115.13	5.76	71.74	0.07	2.19	12.78	120.91	0.61	0.56	1.23	3.23	0.50	6.29	22.65	0.03	5.87
4 ก.พ. 60	297.08	164.14	1.85	1.49	109.40	23.16	202.30	0.11	1.31	32.97	819.21	0.88	0.74	1.30	2.08	0.31	4.93	25.23	0.06	5.97
14 ก.พ. 60	127.51	139.19	1.72	9.54	109.11	6.88	136.59	0.32	6.18	18.42	70.25	3.22	1.41	3.32	2.85	1.07	2.05	19.61	0.18	17.43
15 ก.พ. 60	145.63	99.92	1.52	3.33	115.87	15.70	179.24	0.13	9.45	27.49	151.51	1.49	0.83	2.31	2.18	1.22	1.36	20.96	0.09	10.66
16 ก.พ. 60	162.90	105.76	2.57	4.18	121.44	7.31	219.39	0.14	3.28	61.20	77.89	1.06	0.57	1.98	0.91	0.79	15.57	16.27	0.08	16.29
17 ก.พ. 60	154.10	85.34	2.00	5.67	122.53	8.55	168.55	0.15	4.47	28.95	65.69	0.84	0.76	1.72	1.37	0.87	1.54	13.15	0.07	6.82
18 ก.พ. 60	149.49	158.44	1.97	4.67	125.95	7.86	172.28	0.21	13.84	34.51	87.81	0.81	0.77	1.75	0.57	0.89	1.78	14.61	0.07	15.11



### ตัวอย่างการคำนวณปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน

ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ( $V_{std}$ ) ในเขตอุตสาหกรรมของวันที่ 18 พ.ย. 59

$$\begin{aligned} V_{std} \text{ (m}^3\text{)} &= \frac{P_T \times V_T}{T_T} \times \frac{T_{std}}{P_{std}} \\ &= \frac{736 \times 24.06}{300.90} \times \frac{298}{760} \\ &= 23.08 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

### ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$

ความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในเขตอุตสาหกรรม ของตัวอย่างวันที่ 18 พ.ย. 2559

$$\begin{aligned} \text{ความเข้มข้นของ } PM_{2.5} \text{ (}\mu\text{g}/\text{m}^3\text{)} &= \frac{W_f - W_i}{V_{std}} \times 1,000 \\ &= \frac{0.1479 - 0.1485}{23.08} \times 1,000 \\ &= 29.29 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

### ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของ Black carbon

ความเข้มข้นของ Black carbon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในเขตอุตสาหกรรม ของตัวอย่างวันที่ 18 พ.ย. 2559

$$\begin{aligned} \text{จาก ปริมาณของ Black carbon (}\mu\text{g}/\text{cm}^2\text{)} &= 4.58 (-\ln[\text{reading}]) + 20.19 \\ &= 4.58 (-\ln[33.67]) + 20.19 \\ &= 4.08 \mu\text{g}/\text{cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความเข้มข้นของ Black carbon (}\mu\text{g}/\text{m}^3\text{)} &= \frac{BC \text{ (}\mu\text{g}/\text{cm}^2\text{)} \times A \text{ (cm}^2\text{)}}{V_{std} \text{ (m}^3\text{)}} \\ &= \frac{4.08 \times 2.86}{23.08} \\ &= 0.51 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

### ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของสารไอออนิก

ความเข้มข้นของ  $Cl^-$  ในเขตอุตสาหกรรม ของตัวอย่างวันที่ 18 พ.ย. 2559

$$\begin{aligned} \text{จาก ปริมาณ ไอออน } (\mu\text{g}/\text{filter}) &= \frac{\text{ppm} \times V_e \times D}{F} \\ &= \frac{(\text{ค่าที่อ่านได้-blank}) \times V_e \times D}{F} \\ &= \frac{(0.2170 - 0.0288) \times 10 \times 1}{0.25} \\ &= 7.53 \mu\text{g}/\text{filter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความเข้มข้นของไอออน } (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= \frac{\text{ปริมาณไอออน } (\mu\text{g}/\text{filter})}{V_{\text{std}}} \\ &= \frac{7.53}{23.08} \\ &= 0.33 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

### ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของธาตุ

ความเข้มข้นของ  $Cr$  ในเขตอุตสาหกรรม ของตัวอย่างวันที่ 18 พ.ย. 2559

$$\begin{aligned} \text{จาก ปริมาณธาตุ } (\text{ng}/\text{filter}) &= \frac{\mu\text{g/l} \times V_e \times D}{F} \\ &= \frac{(\text{ค่าที่อ่านได้-blank}) \times V_e \times D}{F} \\ &= \frac{(55.8473 - 0.0163) \times 10 \times 1}{0.25} \\ &= 2,224.72 \text{ ng}/\text{filter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความเข้มข้นของธาตุ } (\text{ng}/\text{m}^3) &= \frac{\text{ปริมาณธาตุ } (\text{ng}/\text{filter})}{V_{\text{std}}} \\ &= \frac{2,224.72}{23.08} \\ &= 96.40 \text{ ng}/\text{m}^3 \end{aligned}$$



ภาคผนวก ข

ข้อมูลทางอุดมศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจาก สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร กรมควบคุมมลพิษ ณ  
โรงสูบน้ำเสีย จังหวัดนครราชสีมา เฉลี่ยต่อวัน

วันที่	ปริมาณน้ำฝน ที่ ความสูง 3 เมตร (mm.)	ความชื้นสัมพัทธ์ ที่ ความสูง 2 เมตร (% RH)	ทิศทางลม ที่ความ สูง 10 เมตร (Degrees)	ความเร็วลม ที่ ความสูง 10 เมตร (m/s)
18 พ.ย. 59	0	-	81.79	0.41
24 พ.ย. 59	0	-	39.50	0.63
25 พ.ย. 59	0	-	44.63	0.75
26 พ.ย. 59	0	-	39.17	0.77
27 พ.ย. 59	0	-	40.92	1.00
28 พ.ย. 59	0	-	37.17	0.74
29 พ.ย. 59	0	-	37.00	0.72
30 พ.ย. 59	0	-	35.29	0.78
9 ธ.ค. 59	0	23.83	46.46	0.66
10 ธ.ค. 59	0	26.08	39.13	0.48
11 ธ.ค. 59	0	31.04	73.50	0.35
12 ธ.ค. 59	0	27.58	99.46	0.33
13 ธ.ค. 59	0	21.29	68.88	0.38
14 ธ.ค. 59	0	30.79	37.17	0.63
15 ธ.ค. 59	0	33.83	34.33	1.05
1 ม.ค. 60	0	39.79	30.50	0.64
2 ม.ค. 60	0	33.00	31.58	0.76
3 ม.ค. 60	0	32.08	33.79	0.93
4 ม.ค. 60	0	31.38	34.08	0.71
5 ม.ค. 60	0.15	32.88	33.71	0.70
6 ม.ค. 60	0.05	49.83	57.21	0.46
7 ม.ค. 60	0	32.21	49.42	0.48
15 ม.ค. 60	0	29.50	32.67	0.53
16 ม.ค. 60	0	31.42	39.67	0.70
17 ม.ค. 60	0	31.00	42.42	0.63
18 ม.ค. 60	0	35.83	40.50	0.64
19 ม.ค. 60	0	28.21	35.71	0.69
20 ม.ค. 60	0	26.25	36.46	0.60
21 ม.ค. 60	0	29.00	36.04	0.90

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจาก สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวร กรมควบคุมมลพิษ ณ  
โรงสูบน้ำเสีย จังหวัดนครราชสีมา เฉลี่ยต่อวัน (ต่อ)

วันที่	ปริมาณน้ำฝน ที่ ความสูง 3 เมตร (mm.)	ความชื้นสัมพัทธ์ ที่ ความสูง 2 เมตร (% RH)	ทิศทางลม ที่ความ สูง 10 เมตร (Degrees)	ความเร็วลม ที่ ความสูง 10 เมตร (m/s)
29 ม.ค. 60	0	16.46	72.54	0.35
30 ม.ค. 60	0	15.50	67.58	0.63
31 ม.ค. 60	0	19.33	37.92	0.65
1 ก.พ. 60	0	18.21	43.21	0.57
2 ก.พ. 60	0	35.75	40.63	0.91
3 ก.พ. 60	0	52.96	40.21	0.51
4 ก.พ. 60	0	36.58	61.58	0.38
14 ก.พ. 60	0	22.75	36.46	0.79
15 ก.พ. 60	0	20.38	41.13	0.72
16 ก.พ. 60	0	18.42	37.25	0.65
17 ก.พ. 60	0	14.79	47.79	0.60
18 ก.พ. 60	0	13.92	41.08	0.60





ตารางที่ ข.2 ข้อมูลอัตราการดูดตัวอย่างอากาศและข้อมูลอุณหภูมิตัวอย่าง จดเก็บตัวอย่าง จากเครื่อง BGI PQ200 ในแต่ละพื้นที่ เฉลี่ยต่อวัน

วันที่	เขตเมือง					เขตอุตสาหกรรม				
	อัตราการดูด ตัวอย่าง (l/min)	ปริมาตรอากาศ (m <sup>3</sup> )	ความกดอากาศ (mmHg)	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรอากาศที่ สภาวะมาตรฐาน (m <sup>3</sup> )	อัตราการดูด ตัวอย่าง (l/min)	ปริมาตรอากาศ (m <sup>3</sup> )	ความกดอากาศ (mmHg)	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรอากาศที่ สภาวะมาตรฐาน (m <sup>3</sup> )
18 พ.ย. 59	16.71	24.06	738.00	26.90	23.22	16.71	24.06	736.00	27.90	23.08
24 พ.ย. 59	16.71	24.06	738.00	27.40	23.18	16.71	24.06	736.00	28.60	23.02
25 พ.ย. 59	16.71	24.06	738.00	26.80	23.23	16.71	24.06	736.00	27.80	23.09
26 พ.ย. 59	16.71	24.06	739.00	25.60	23.35	16.71	24.06	737.00	26.80	23.19
27 พ.ย. 59	16.71	24.06	740.00	23.70	23.53	16.71	24.06	738.00	24.90	23.37
28 พ.ย. 59	16.71	24.06	742.00	23.30	23.63	16.71	24.06	740.00	24.10	23.50
29 พ.ย. 59	16.71	24.06	742.00	24.40	23.54	16.71	24.06	740.00	25.30	23.41
30 พ.ย. 59	16.71	24.06	743.00	24.30	23.58	16.71	24.06	741.00	25.40	23.43
9 ธ.ค. 59	16.71	24.06	739.00	23.70	23.50	16.71	24.06	737.00	24.40	23.38
10 ธ.ค. 59	16.71	24.06	739.00	23.50	23.52	16.71	24.06	737.00	24.30	23.39
11 ธ.ค. 59	16.71	24.06	739.00	23.90	23.48	16.70	24.05	737.00	24.20	23.38
12 ธ.ค. 59	16.71	24.06	738.00	25.70	23.31	16.71	24.06	736.00	26.40	23.19
13 ธ.ค. 59	16.71	24.06	738.00	26.60	23.24	16.71	24.06	736.00	27.20	23.13
14 ธ.ค. 59	16.71	24.06	739.00	25.90	23.33	16.71	24.06	737.00	26.90	23.19
15 ธ.ค. 59	16.70	24.05	741.00	23.50	23.57	16.71	24.06	739.00	25.00	23.40
1 ม.ค. 60	16.70	24.05	741.00	23.50	23.57	16.71	24.06	740.00	24.50	23.47
2 ม.ค. 60	16.71	24.06	741.00	25.40	23.43	16.71	24.06	739.00	26.30	23.30
3 ม.ค. 60	16.71	24.06	740.00	25.10	23.42	16.71	24.06	738.00	26.10	23.28
4 ม.ค. 60	16.70	24.05	739.00	24.40	23.43	16.71	24.06	738.00	25.20	23.35
5 ม.ค. 60	16.71	24.06	739.00	25.00	23.40	16.71	24.06	737.00	25.90	23.26
6 ม.ค. 60	16.71	24.06	738.00	25.80	23.30	16.71	24.06	736.00	26.70	23.17

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลอัตราการดูดตัวอย่างอากาศและข้อมูลอุณหภูมิตัวอย่าง จดเก็บตัวอย่าง จากเครื่อง BGI PQ200 ในแต่ละพื้นที่ เฉลี่ยต่อวัน (ต่อ)

วันที่	เขตเมือง					เขตอุตสาหกรรม				
	อัตราการดูด ตัวอย่าง (l/min)	ปริมาตรอากาศ (m <sup>3</sup> )	ความกดอากาศ (mmHg)	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรอากาศที่ สภาวะมาตรฐาน (m <sup>3</sup> )	อัตราการดูด ตัวอย่าง (l/min)	ปริมาตรอากาศ (m <sup>3</sup> )	ความกดอากาศ (mmHg)	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตรอากาศที่ สภาวะมาตรฐาน (m <sup>3</sup> )
7 ม.ค. 60	16.71	24.06	737.00	26.80	23.19	16.71	24.06	735.00	27.60	23.07
15 ม.ค. 60	16.71	24.06	740.00	26.10	23.34	16.71	24.06	738.00	27.10	23.20
16 ม.ค. 60	16.71	24.06	739.00	26.60	23.27	16.71	24.06	738.00	27.80	23.15
17 ม.ค. 60	16.71	24.06	741.00	25.90	23.39	16.71	24.06	739.00	27.00	23.24
18 ม.ค. 60	16.70	24.05	742.00	25.70	23.42	16.71	24.06	740.00	26.70	23.30
19 ม.ค. 60	16.71	24.06	741.00	25.60	23.41	16.71	24.06	739.00	26.70	23.26
20 ม.ค. 60	16.71	24.06	742.00	25.30	23.47	16.71	24.06	740.00	26.30	23.33
21 ม.ค. 60	16.71	24.06	744.00	24.30	23.61	16.71	24.06	742.00	25.40	23.46
29 ม.ค. 60	16.71	24.06	740.00	24.90	23.44	16.71	24.06	738.00	24.90	23.37
30 ม.ค. 60	16.71	24.06	740.00	25.30	23.41	16.71	24.06	738.00	26.40	23.26
31 ม.ค. 60	16.71	24.06	741.00	23.90	23.55	16.71	24.06	739.00	24.70	23.42
1 ก.พ. 60	16.71	24.06	741.00	25.50	23.42	16.71	24.06	739.00	26.40	23.29
2 ก.พ. 60	16.70	24.05	742.00	22.80	23.65	16.71	24.06	741.00	26.80	23.32
3 ก.พ. 60	16.71	24.06	740.00	24.50	23.47	16.71	24.06	738.00	25.10	23.36
4 ก.พ. 60	16.71	24.06	738.00	27.50	23.17	16.71	24.06	737.00	27.80	23.12
14 ก.พ. 60	16.71	24.06	745.00	22.60	23.78	16.71	24.06	743.00	23.60	23.64
15 ก.พ. 60	16.71	24.06	744.00	23.80	23.65	16.71	24.06	742.00	25.00	23.49
16 ก.พ. 60	16.71	24.06	742.00	24.40	23.54	16.71	24.06	740.00	25.00	23.43
17 ก.พ. 60	16.71	24.06	742.00	25.40	23.46	16.71	24.06	740.00	26.50	23.31
18 ก.พ. 60	16.71	24.06	742.00	25.30	23.47	16.71	24.06	740.00	26.50	23.31



ภาคผนวก ค

การคำนวณค่า Uncertainty

## 1. การคำนวณค่า Uncertainty ของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub>

ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ PM<sub>2.5</sub> ได้ทำการชั่งกระดาศกรองก่อนและเก็บตัวอย่าง 3 ซ้ำ ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงได้ใช้ข้อมูลดังกล่าวมาคำนวณค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้ผลต่างของน้ำหนักกระดาศกรอง ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ครั้ง มาคำนวณค่าความเข้มข้นแล้วคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อใช้เป็นค่า Uncertainty ในการประมวลผลของแบบจำลอง PMF ซึ่งค่า Uncertainty คำนวณได้ดังตารางที่ ค.1 และ ค.2

ตารางที่ ค.1 ค่า Uncertainty ของ PM<sub>2.5</sub> ในเขตเมือง

วันที่	ผลต่างของน้ำหนักกระดาศ ก่อนและ หลังการเก็บตัวอย่าง ( $\times 10^{-1}$ mg.)			ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			ค่าเฉลี่ย ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่า Uncertainty ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
18 พ.ย. 59	5.89	5.88	5.88	25.37	25.33	25.33	25.34	0.02
24 พ.ย. 59	2.49	2.50	2.49	10.74	10.79	10.74	10.76	0.02
25 พ.ย. 59	3.45	3.45	3.46	14.85	14.85	14.90	14.87	0.02
26 พ.ย. 59	3.65	3.66	3.67	15.63	15.67	15.72	15.67	0.04
27 พ.ย. 59	3.96	3.99	3.97	16.83	16.96	16.87	16.88	0.06
28 พ.ย. 59	6.87	6.87	6.86	29.08	29.08	29.03	29.06	0.02
29 พ.ย. 59	6.55	6.55	6.56	27.83	27.83	27.87	27.84	0.02
30 พ.ย. 59	5.60	5.61	5.61	23.75	23.79	23.79	23.78	0.02
9 ธ.ค. 59	11.99	12.01	12.01	51.02	51.11	51.11	51.08	0.05
10 ธ.ค. 59	14.83	14.84	14.83	63.06	63.11	63.06	63.08	0.02
11 ธ.ค. 59	13.14	13.14	13.12	55.95	55.95	55.87	55.92	0.05
12 ธ.ค. 59	11.08	11.08	11.07	47.53	47.53	47.49	47.52	0.02
13 ธ.ค. 59	8.63	8.62	8.62	37.13	37.09	37.09	37.10	0.02
14 ธ.ค. 59	4.61	4.60	4.59	19.76	19.72	19.68	19.72	0.04
15 ธ.ค. 59	1.93	1.92	1.91	8.19	8.15	8.11	8.15	0.04
1 ม.ค. 60	5.98	5.98	5.97	25.38	25.38	25.33	25.36	0.02
2 ม.ค. 60	4.81	4.81	4.82	20.53	20.53	20.57	20.54	0.02
3 ม.ค. 60	4.71	4.70	4.69	20.11	20.07	20.02	20.07	0.04
4 ม.ค. 60	7.16	7.17	7.17	30.56	30.60	30.60	30.59	0.02
5 ม.ค. 60	5.36	5.36	5.37	23.04	23.04	23.08	23.05	0.02
6 ม.ค. 60	7.16	7.16	7.15	30.73	30.73	30.68	30.71	0.02
7 ม.ค. 60	8.30	8.29	8.31	35.78	35.74	35.83	35.78	0.04
15 ม.ค. 60	6.62	6.64	6.62	28.36	28.45	28.36	28.39	0.05
16 ม.ค. 60	4.63	4.63	4.63	19.89	19.89	19.89	19.89	0.00
17 ม.ค. 60	5.55	5.57	5.56	23.73	23.81	23.77	23.77	0.04
18 ม.ค. 60	6.24	6.25	6.24	26.64	26.68	26.64	26.65	0.02

ตารางที่ ค.1 ค่า Uncertainty ของ PM<sub>2.5</sub> ในเขตเมือง (ต่อ)

วันที่	ผลต่างของน้ำหนักกระดาศ ก่อนและ หลังการเก็บตัวอย่าง ( $\times 10^{-1}$ mg.)			ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			ค่าเฉลี่ย ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่า Uncertainty ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
19 ม.ค. 60	5.27	5.28	5.28	22.51	22.55	22.55	22.54	0.02
20 ม.ค. 60	4.05	4.04	4.05	17.26	17.21	17.26	17.24	0.02
21 ม.ค. 60	3.89	3.90	3.89	16.48	16.52	16.48	16.49	0.02
29 ม.ค. 60	13.59	13.60	13.60	57.99	58.03	58.03	58.01	0.02
30 ม.ค. 60	7.09	7.10	7.11	30.29	30.33	30.38	30.33	0.04
31 ม.ค. 60	11.16	11.18	11.17	47.39	47.48	47.44	47.44	0.04
1 ก.พ. 60	6.39	6.39	6.40	27.28	27.28	27.33	27.30	0.02
2 ก.พ. 60	4.28	4.28	4.29	18.09	18.09	18.14	18.11	0.02
3 ก.พ. 60	6.59	6.58	6.59	28.08	28.04	28.08	28.07	0.02
4 ก.พ. 60	9.74	9.76	9.76	42.03	42.12	42.12	42.09	0.05
14 ก.พ. 60	10.57	10.58	10.57	44.45	44.49	44.45	44.47	0.02
15 ก.พ. 60	9.08	9.09	9.08	38.39	38.43	38.39	38.41	0.02
16 ก.พ. 60	8.09	8.10	8.11	34.37	34.41	34.45	34.41	0.04
17 ก.พ. 60	7.49	7.48	7.49	31.93	31.88	31.93	31.91	0.02
18 ก.พ. 60	9.14	9.13	9.14	38.95	38.90	38.95	38.93	0.02

ตารางที่ ค.2 ค่า Uncertainty ของ PM<sub>2.5</sub> ในเขตอุตสาหกรรม

วันที่	ผลต่างของน้ำหนักกระดาศกรอง ก่อน และหลังการเก็บตัวอย่าง ( $\times 10^{-1}$ mg.)			ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			ค่าเฉลี่ย ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่า Uncertainty ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
18 พ.ย. 59	6.76	6.76	6.76	29.29	29.29	29.29	29.29	0.00
24 พ.ย. 59	3.34	3.36	3.37	14.51	14.59	14.64	14.58	0.07
25 พ.ย. 59	4.20	4.18	4.21	18.19	18.11	18.24	18.18	0.07
26 พ.ย. 59	4.49	4.49	4.48	19.36	19.36	19.32	19.34	0.02
27 พ.ย. 59	5.44	5.45	5.44	23.27	23.32	23.27	23.29	0.02
28 พ.ย. 59	7.55	7.55	7.55	32.13	32.13	32.13	32.13	0.00
29 พ.ย. 59	6.70	6.69	6.70	28.63	28.58	28.63	28.61	0.02
30 พ.ย. 59	6.78	6.79	6.77	28.94	28.98	28.90	28.94	0.04
9 ธ.ค. 59	12.85	12.84	12.85	54.96	54.92	54.96	54.94	0.02
10 ธ.ค. 59	14.93	14.93	14.93	63.83	63.83	63.83	63.83	0.00
11 ธ.ค. 59	15.45	15.45	15.45	66.07	66.07	66.07	66.07	0.00
12 ธ.ค. 59	14.47	14.47	14.48	62.39	62.39	62.43	62.40	0.02
13 ธ.ค. 59	8.62	8.62	8.61	37.26	37.26	37.22	37.25	0.02
14 ธ.ค. 59	5.51	5.51	5.51	23.76	23.76	23.76	23.76	0.00

ตารางที่ ค.2 ค่า Uncertainty ของ PM<sub>2.5</sub> ในเขตอุตสาหกรรม (ต่อ)

วันที่	ผลต่างของน้ำหนักกระดาศกรอง ก่อน และหลังการเก็บตัวอย่าง ( $\times 10^{-1}$ mg.)			ความเข้มข้น PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )			ค่าเฉลี่ย ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	ค่า Uncertainty ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
15 ธ.ค. 59	4.17	4.17	4.17	17.82	17.82	17.82	17.82	0.00
1 ม.ค. 60	5.91	5.90	5.90	25.18	25.14	25.14	25.15	0.02
2 ม.ค. 60	5.25	5.23	5.23	22.54	22.45	22.45	22.48	0.05
3 ม.ค. 60	5.08	5.09	5.09	21.82	21.86	21.86	21.85	0.02
4 ม.ค. 60	8.76	8.75	8.75	37.52	37.47	37.47	37.49	0.02
5 ม.ค. 60	6.60	6.60	6.59	28.37	28.37	28.33	28.36	0.02
6 ม.ค. 60	6.70	6.68	6.69	28.92	28.83	28.87	28.87	0.04
7 ม.ค. 60	6.89	6.88	6.91	29.87	29.82	29.95	29.88	0.07
15 ม.ค. 60	7.47	7.45	7.46	32.20	32.11	32.15	32.15	0.04
16 ม.ค. 60	5.92	5.92	5.90	25.57	25.57	25.49	25.55	0.05
17 ม.ค. 60	6.02	6.02	6.02	25.90	25.90	25.90	25.90	0.00
18 ม.ค. 60	8.15	8.15	8.16	34.98	34.98	35.03	35.00	0.02
19 ม.ค. 60	7.21	7.19	7.20	30.99	30.91	30.95	30.95	0.04
20 ม.ค. 60	5.94	5.94	5.93	25.46	25.46	25.42	25.45	0.02
21 ม.ค. 60	4.77	4.78	4.77	20.33	20.37	20.33	20.35	0.02
29 ม.ค. 60	13.98	13.98	13.98	59.81	59.81	59.81	59.81	0.00
30 ม.ค. 60	13.46	13.46	13.45	57.88	57.88	57.83	57.86	0.02
31 ม.ค. 60	10.11	10.10	10.11	43.17	43.12	43.17	43.15	0.02
1 ก.พ. 60	7.53	7.54	7.55	32.33	32.38	32.42	32.38	0.04
2 ก.พ. 60	4.89	4.90	4.89	20.97	21.01	20.97	20.98	0.02
3 ก.พ. 60	8.29	8.29	8.29	35.49	35.49	35.49	35.49	0.00
4 ก.พ. 60	12.75	12.75	12.76	55.15	55.15	55.20	55.17	0.02
14 ก.พ. 60	11.71	11.71	11.71	49.54	49.54	49.54	49.54	0.00
15 ก.พ. 60	8.51	8.53	8.52	36.22	36.31	36.27	36.27	0.04
16 ก.พ. 60	11.68	11.69	11.70	49.85	49.90	49.94	49.90	0.04
17 ก.พ. 60	7.99	7.99	8.01	34.27	34.27	34.36	34.30	0.05
18 ก.พ. 60	8.91	8.91	8.90	38.22	38.22	38.18	38.21	0.02

ตัวอย่างการคำนวณค่า Uncertainty ของความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub>ค่า Uncertainty ของ PM<sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในเขตอุตสาหกรรม ของตัวอย่างวันที่ 24 พ.ย. 2559- ความเข้มข้น PM<sub>2.5</sub> ของผลต่างของน้ำหนักกระดาศกรอง ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 1

$$\text{ความเข้มข้นของ PM}_{2.5} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{W_{f1} - W_{i1}}{V_{\text{std}}} \times 1,000$$

$$= \frac{3.34 \times 10^{-1}}{23.02} \times 1,000$$

$$= 14.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

- ความเข้มข้น  $\text{PM}_{2.5}$  ของผลต่างของน้ำหนักกระดาศกรอง ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 2

$$\text{ความเข้มข้นของ } \text{PM}_{2.5} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{W_{i2} - W_{i1}}{V_{\text{std}}} \times 1,000$$

$$= \frac{3.36}{23.02} \times 1,000$$

$$= 14.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

- ความเข้มข้น  $\text{PM}_{2.5}$  ของผลต่างของน้ำหนักกระดาศกรอง ก่อนและหลังการเก็บตัวอย่าง ครั้งที่ 3

$$\text{ความเข้มข้นของ } \text{PM}_{2.5} (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{W_{i3} - W_{i2}}{V_{\text{std}}} \times 1,000$$

$$= \frac{3.37}{23.02} \times 1,000$$

$$= 14.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

ดังนั้น ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย เท่ากับ  $\frac{14.51+14.59+14.64}{3} = 14.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$  และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งจะใช้เป็นค่า Uncertainty ในการประมวลผลของแบบจำลอง PMF สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{3-1} \sum_{i=1}^3 (14.51-14.58)^2 + (14.59-14.58)^2 + (14.61-14.58)^2}$$

$$= 0.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

## 2. การคำนวณค่า Uncertainty ของความเข้มข้น Black carbon

สมการที่ใช้ในการคำนวณค่า Uncertainty ได้ใช้สมการจากรูปที่ ค.1 ซึ่งมี 3 สมการดังนี้

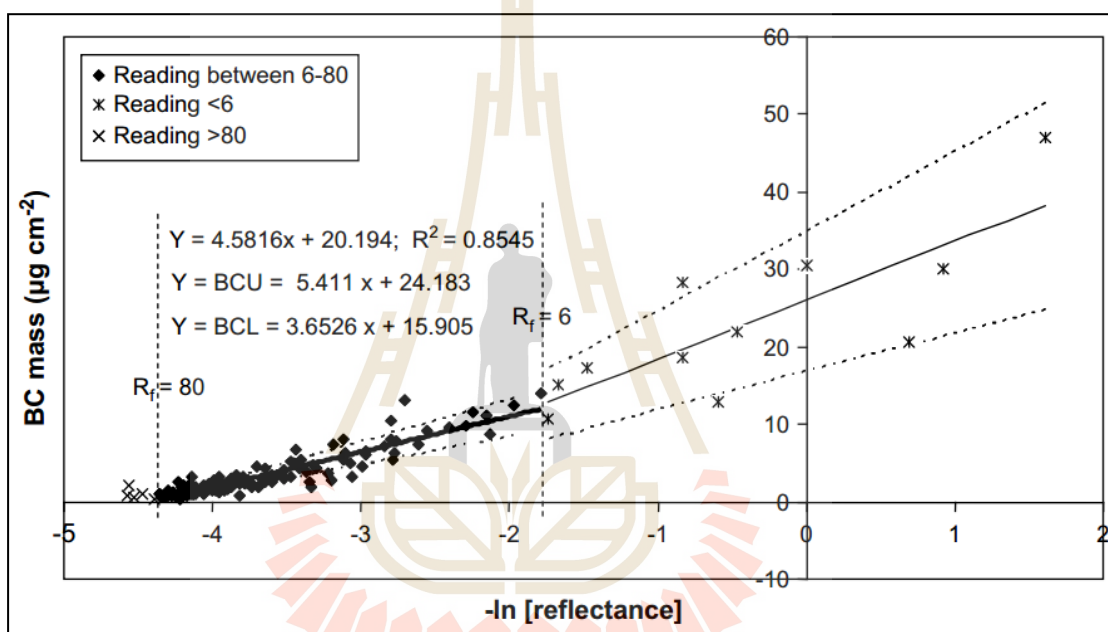
$$\text{BC} = 4.58X + 20.19 \quad (\text{ค.1})$$



$$\text{BCU} = 5.41X + 24.18 \quad (\text{ค.2})$$

$$\text{BCL} = 15.91X + 24.18 \quad (\text{ค.3})$$

โดยที่	BC	คือ	ปริมาณ Black carbon ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )
	BCU	คือ	ค่าเฉลี่ย BC + ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )
	BCL	คือ	ค่าเฉลี่ย BC - ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )
	X	คือ	ค่า $-\ln$ [ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ]



รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ Black carbon ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ) กับค่าที่อ่านได้จาก เครื่อง Reflectomert ที่เกิดจากการจุดเทียนไขและท่อไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซล (ที่มา: Kim Oanh et al. ,2009)

สมการทั้ง 3 สมการ ดังกล่าวเกิดจากการพิจารณาค่าที่อ่านได้จากเครื่อง ซึ่งค่าที่อ่านได้จะอยู่ในช่วง 6-80 โดยสมการ (ค.1) เป็นความสัมพันธ์สมการเส้นตรงที่เกิดจากการสร้างกราฟของค่าความเข้มข้นของ BC กับค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือ ส่วนค่า BCU เกิดจากการสร้างกราฟของค่าเฉลี่ยทุก 5 ค่าบวกด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ 5 ค่าดังกล่าว ซึ่งแสดงสมการเส้นตรงดังสมการ (ค.2) และค่า BCL เกิดจากการสร้างกราฟของค่าเฉลี่ยทุก 5 ค่าลบด้วยค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ 5 ค่าดังกล่าว ซึ่งแสดงสมการเส้นตรงดังสมการ (ค.3)

จากสมการทั้ง 3 สมการ ดังกล่าว สามารถคำนวณหาค่า Uncertainty ได้โดยใช้ค่าที่มีผลต่างที่มีค่ามากที่สุด ซึ่งเป็นค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุด โดยพิจารณาได้จากผลต่างระหว่าง BCU กับ BC และ BC กับ BCL เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วสามารถนำค่าที่มีผลต่างมากที่สุดมาแทนตามสมการ (ค.4) เพื่อคำนวณค่า Uncertainty

$$\text{ค่า Uncertainty } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{M (\mu\text{g}/\text{cm}^2) \times A (\text{cm}^2)}{V_{\text{std}} (\text{m}^3)} \quad (\text{ค.4})$$

โดยที่ M คือ ค่าผลต่างระหว่างค่า BCU กับ BC หรือ BC กับ BCL ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 A คือ พื้นที่ของฝุ่นละอองที่ติดบนกระดาษกรองที่ตรวจวัด ( $\text{cm}^2$ )  
 $V_{\text{std}}$  คือ ปริมาตรอากาศที่สภาวะมาตรฐาน ( $\text{m}^3$ )

ค่า Uncertainty ทั้งหมดของการตรวจวัดปริมาณ Black carbon ทั้ง 2 พื้นที่ แสดงดังตารางที่ ค.3 และ ค.4

ตารางที่ ค.3 ค่า Uncertainty ของ Black carbon ในเขตเมือง

วันที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง	BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCU ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCL ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCU-BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BC-BCL ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	พื้นที่กระดาษกรองที่ตรวจวัด ( $\text{cm}^2$ )	ค่า Uncertainty ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
18 พ.ย. 59	24.63	5.51	6.85	4.20	<b>1.33</b>	1.31	3.04	0.17
24 พ.ย. 59	44.10	3.09	3.69	2.07	0.60	<b>1.02</b>	2.89	0.13
25 พ.ย. 59	44.37	3.07	3.66	2.05	0.59	<b>1.01</b>	2.97	0.13
26 พ.ย. 59	40.60	3.47	4.14	2.38	0.67	<b>1.09</b>	2.93	0.14
27 พ.ย. 59	43.97	3.11	3.71	2.09	0.60	<b>1.02</b>	3.05	0.13
28 พ.ย. 59	26.93	5.32	6.36	3.88	1.04	<b>1.45</b>	3.04	0.19
29 พ.ย. 59	27.13	5.29	6.32	3.85	1.03	<b>1.44</b>	3.01	0.18
30 พ.ย. 59	35.23	4.11	4.91	2.89	0.80	<b>1.21</b>	2.99	0.15
9 ธ.ค. 59	13.90	8.31	9.94	6.29	1.63	<b>2.02</b>	2.92	0.25
10 ธ.ค. 59	15.93	7.69	9.20	5.79	1.51	<b>1.90</b>	3.03	0.24
11 ธ.ค. 59	19.90	6.69	8.00	4.98	1.31	<b>1.71</b>	3.07	0.22
12 ธ.ค. 59	18.30	7.07	8.45	5.29	1.39	<b>1.78</b>	2.89	0.22
13 ธ.ค. 59	20.93	6.46	7.73	4.80	1.27	<b>1.66</b>	2.91	0.21
14 ธ.ค. 59	36.40	3.96	4.73	2.78	0.77	<b>1.19</b>	2.91	0.15
15 ธ.ค. 59	50.77	2.46	2.93	1.56	0.47	<b>0.90</b>	2.88	0.11
1 ม.ค. 60	41.53	3.37	4.02	2.29	0.65	<b>1.07</b>	2.83	0.13
2 ม.ค. 60	40.30	3.50	4.18	2.40	0.68	<b>1.10</b>	2.91	0.14
3 ม.ค. 60	40.30	3.50	4.18	2.40	0.68	<b>1.10</b>	2.79	0.13

ตารางที่ ค.3 ค่า Uncertainty ของ Black carbon ในเขตเมือง (ต่อ)

วันที่	ค่าที่อ่านได้ จากเครื่อง	BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCU ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCL ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCU- BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BC-BCL ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	พื้นที่กระจาย กรองที่ตรวจวัด ( $\text{cm}^2$ )	ค่า Uncertainty ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
4 ม.ค. 60	28.30	5.10	6.09	3.69	1.00	<b>1.40</b>	2.91	0.17
5 ม.ค. 60	35.50	4.07	4.87	2.87	0.79	<b>1.21</b>	2.85	0.15
6 ม.ค. 60	22.23	6.19	7.40	4.58	1.21	<b>1.61</b>	2.82	0.20
7 ม.ค. 60	22.47	6.14	7.34	4.54	1.20	<b>1.60</b>	2.97	0.21
15 ม.ค. 60	29.43	4.92	5.88	3.55	0.96	<b>1.37</b>	2.82	0.17
16 ม.ค. 60	37.23	3.86	4.61	2.69	0.75	<b>1.17</b>	2.99	0.15
17 ม.ค. 60	35.80	4.04	4.82	2.84	0.79	<b>1.20</b>	2.83	0.15
18 ม.ค. 60	30.63	4.74	5.67	3.41	0.93	<b>1.33</b>	2.81	0.16
19 ม.ค. 60	33.40	4.35	5.20	3.09	0.85	<b>1.26</b>	2.85	0.15
20 ม.ค. 60	37.53	3.82	4.57	2.66	0.74	<b>1.16</b>	2.97	0.15
21 ม.ค. 60	42.13	3.30	3.94	2.24	0.64	<b>1.06</b>	2.99	0.13
29 ม.ค. 60	12.37	8.84	10.57	6.72	1.74	<b>2.12</b>	3.00	0.27
30 ม.ค. 60	22.43	6.15	7.35	4.54	1.21	<b>1.60</b>	2.96	0.20
31 ม.ค. 60	20.67	6.52	7.80	4.84	1.28	<b>1.67</b>	2.86	0.20
1 ก.พ. 60	23.33	5.97	7.14	4.40	1.17	<b>1.57</b>	2.94	0.20
2 ก.พ. 60	40.30	3.50	4.18	2.40	0.68	<b>1.10</b>	3.01	0.14
3 ก.พ. 60	22.87	6.06	7.25	4.47	1.19	<b>1.59</b>	2.88	0.19
4 ก.พ. 60	12.00	<b>8.97</b>	10.74	6.83	1.77	<b>2.14</b>	2.84	0.26
14 ก.พ. 60	21.13	6.42	7.67	4.76	1.26	<b>1.65</b>	2.85	0.20
15 ก.พ. 60	21.57	6.32	7.57	4.69	1.24	<b>1.64</b>	2.80	0.19
16 ก.พ. 60	19.97	6.67	7.98	4.97	1.31	<b>1.70</b>	2.87	0.21
17 ก.พ. 60	22.13	6.21	7.42	4.59	1.22	<b>1.61</b>	2.78	0.19
18 ก.พ. 60	17.90	7.17	8.57	5.37	1.41	<b>1.80</b>	2.83	0.22

\* ตัวหนา คือ ค่าที่นำมาคำนวณค่า Uncertainty

ตารางที่ ค.4 ค่า Uncertainty ของ Black carbon ในเขตอุตสาหกรรม

วันที่	ค่าที่อ่านได้ จากเครื่อง	BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCU ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCL ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCU- BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BC-BCL ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	พื้นที่กระจาย กรองที่ตรวจวัด ( $\text{cm}^2$ )	ค่า Uncertainty ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
18 พ.ย. 59	33.67	4.08	5.16	3.06	<b>1.07</b>	1.02	2.86	0.13
24 พ.ย. 59	53.60	1.95	2.64	1.36	<b>0.69</b>	0.59	3.12	0.09
25 พ.ย. 59	56.57	1.71	2.35	1.17	<b>0.64</b>	0.54	3.02	0.08
26 พ.ย. 59	50.10	2.26	3.00	1.61	<b>0.74</b>	0.65	2.99	0.10
27 พ.ย. 59	50.40	2.23	2.97	1.59	<b>0.74</b>	0.65	3.02	0.10
28 พ.ย. 59	38.70	3.44	4.40	2.55	<b>0.96</b>	0.89	2.89	0.12
29 พ.ย. 59	37.50	3.59	4.57	2.67	<b>0.98</b>	0.92	2.98	0.13
30 พ.ย. 59	39.67	3.33	4.27	2.46	<b>0.94</b>	0.87	2.91	0.12

ตารางที่ ค.4 ค่า Uncertainty ของ Black carbon ในเขตอุตสาหกรรม (ต่อ)

วันที่	ค่าที่อ่านได้จากเครื่อง	BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCU ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCL ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BCU-BC ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	BC-BCL ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	พื้นที่กระดาษกรองที่ตรวจวัด ( $\text{cm}^2$ )	ค่า Uncertainty ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
9 ธ.ค. 59	18.00	6.95	8.54	5.35	1.59	<b>1.60</b>	2.86	0.20
10 ธ.ค. 59	21.20	6.20	7.66	4.75	<b>1.46</b>	1.45	2.86	0.18
11 ธ.ค. 59	21.77	6.08	7.52	4.65	<b>1.43</b>	<b>1.43</b>	2.95	0.18
12 ธ.ค. 59	21.33	6.17	7.62	4.73	<b>1.45</b>	<b>1.45</b>	2.84	0.18
13 ธ.ค. 59	26.37	5.20	6.48	3.95	<b>1.28</b>	1.25	3.03	0.17
14 ธ.ค. 59	43.40	2.92	3.78	2.13	<b>0.86</b>	0.79	2.98	0.11
15 ธ.ค. 59	51.30	2.15	2.88	1.52	<b>0.72</b>	0.63	2.99	0.09
1 ม.ค. 60	53.97	1.92	2.60	1.34	<b>0.68</b>	0.58	2.82	0.08
2 ม.ค. 60	44.67	2.79	3.63	2.03	<b>0.84</b>	0.76	2.97	0.11
3 ม.ค. 60	45.67	2.69	3.51	1.95	<b>0.82</b>	0.74	2.97	0.10
4 ม.ค. 60	31.07	4.45	5.59	3.35	<b>1.14</b>	1.10	2.82	0.14
5 ม.ค. 60	38.77	3.44	4.39	2.55	<b>0.96</b>	0.89	2.90	0.12
6 ม.ค. 60	36.10	3.76	4.78	2.81	<b>1.01</b>	0.96	2.98	0.13
7 ม.ค. 60	37.80	3.55	4.53	2.64	<b>0.98</b>	0.91	3.00	0.13
15 ม.ค. 60	32.43	4.25	5.36	3.20	<b>1.10</b>	1.06	2.94	0.14
16 ม.ค. 60	38.83	3.43	4.38	2.54	<b>0.95</b>	0.89	2.76	0.11
17 ม.ค. 60	41.80	3.09	3.98	2.27	<b>0.89</b>	0.82	2.88	0.11
18 ม.ค. 60	31.67	4.36	5.49	3.28	<b>1.12</b>	1.08	3.08	0.15
19 ม.ค. 60	32.13	4.30	5.41	3.23	<b>1.11</b>	1.07	3.00	0.14
20 ม.ค. 60	35.90	3.79	4.81	2.83	<b>1.02</b>	0.96	2.83	0.12
21 ม.ค. 60	46.07	2.65	3.46	1.92	<b>0.81</b>	0.73	3.05	0.11
29 ม.ค. 60	18.77	6.76	8.32	5.20	1.56	<b>1.57</b>	3.05	0.20
30 ม.ค. 60	24.90	5.46	6.79	4.16	<b>1.32</b>	1.30	2.88	0.16
31 ม.ค. 60	22.53	5.92	7.33	4.53	<b>1.41</b>	1.40	2.93	0.18
1 ก.พ. 60	30.17	4.59	5.75	3.46	<b>1.16</b>	1.12	2.92	0.15
2 ก.พ. 60	44.67	2.79	3.63	2.03	<b>0.84</b>	0.76	2.94	0.11
3 ก.พ. 60	27.80	4.96	6.19	3.76	<b>1.23</b>	1.20	3.00	0.16
4 ก.พ. 60	20.07	6.45	7.96	4.95	<b>1.50</b>	<b>1.50</b>	3.04	0.20
14 ก.พ. 60	21.40	6.16	7.61	4.72	<b>1.45</b>	1.44	3.02	0.19
15 ก.พ. 60	30.20	4.58	5.74	3.46	<b>1.16</b>	1.12	2.81	0.14
16 ก.พ. 60	22.60	5.91	7.31	4.52	<b>1.40</b>	1.39	2.83	0.17
17 ก.พ. 60	26.53	5.17	6.44	3.93	<b>1.27</b>	1.24	2.73	0.15
18 ก.พ. 60	24.57	5.53	6.86	4.21	<b>1.33</b>	1.31	2.87	0.16

\*ตัวเลขคือ ค่าที่นำมาคำนวณค่า Uncertainty

### ตัวอย่างการคำนวณค่า Uncertainty ของความเข้มข้น Black carbon

ค่า Uncertainty ของ Black carbon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในเขตอุตสาหกรรม ของตัวอย่างวันที่ 18 พ.ย. 2559

$$\text{จาก BC} = 4.58X + 20.19$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ BC} &= 4.58 (-\ln 33.67) + 20.19 \\ &= 4.08 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{จาก BCU} = 5.41X + 24.18$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ BCU} &= 5.41 (-\ln 33.67) + 24.18 \\ &= 5.16 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{จาก BCL} = 15.91X + 24.18$$

$$\begin{aligned} \text{BCL} &= 15.91 (-\ln 33.67) + 24.18 \\ &= 3.06 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น BCU} - \text{BC} = 5.16 - 4.08 = 1.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\text{BC} - \text{BCL} = 4.08 - 3.06 = 1.02 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

จะเห็นได้ว่าค่าผลต่างระหว่างค่า BCU และ BC มีค่ามากที่สุด ดังนั้น เมื่อนำมาคำนวณหาค่า Uncertainty จะได้

$$\begin{aligned} \text{จาก ค่า Uncertainty } (\mu\text{g}/\text{m}^3) &= \frac{M (\mu\text{g}/\text{cm}^2) \times A (\text{cm}^2)}{V_{\text{std}} (\text{m}^3)} \\ &= \frac{1.07 \times 2.86}{28.08} \\ &= 0.13 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{aligned}$$

### 3. การคำนวณค่า Uncertainty ของความเข้มข้นสารไอออนิก

ในการคำนวณค่า Uncertainty จะใช้สมการเส้นตรงที่ได้การสร้างกราฟระหว่างค่า %RSD กับค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของสารไอออนิกที่เป็นองค์ประกอบของ  $\text{PM}_{2.5}$  ดังรูปที่ ก.2

สมการเส้นตรงที่ใช้คำนวณหาค่า Uncertainty ของสารไอออนิกแต่ละชนิดมีดังนี้

$$\% \text{RSD ของ } \text{Cl}^- = 8.19X + 0.09 \quad (\text{ก.5})$$

$$\% \text{RSD ของ } \text{NO}_3^- = 0.57X + 3.79 \quad (\text{ก.6})$$

$$\% \text{RSD ของ } \text{SO}_4^{2-} = 0.58X + 3.29 \quad (\text{ก.7})$$

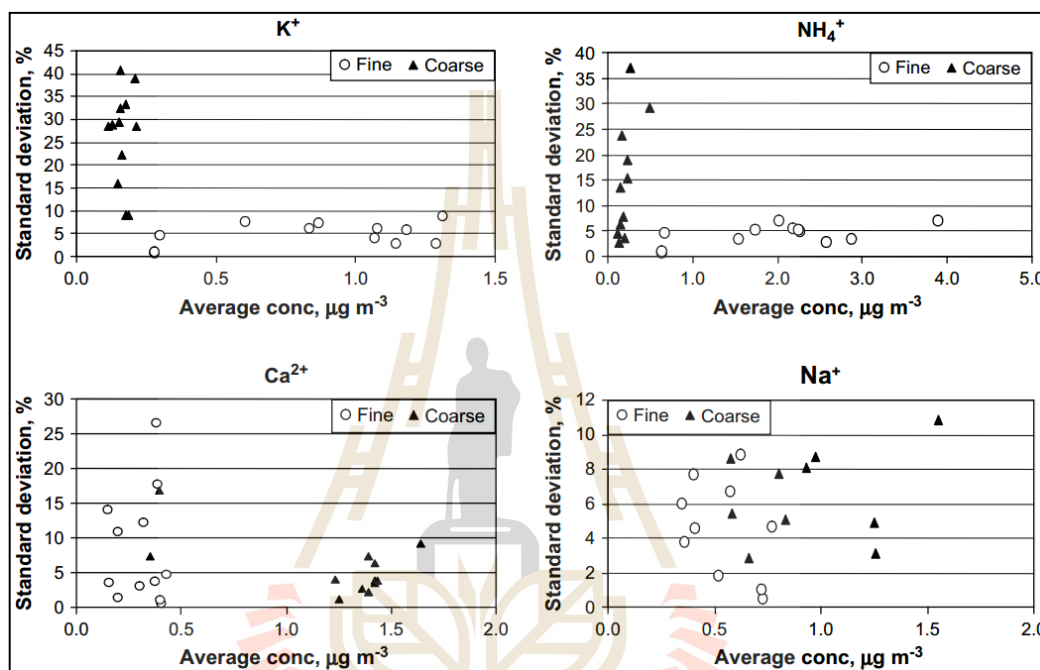
$$\% \text{RSD ของ } \text{Ca}^{2+} = 2.91X + 7.55 \quad (\text{ก.8})$$

$$\%RSD \text{ ของ } K^+ = 2.73X + 2.38 \quad (\text{ค.9})$$

$$\%RSD \text{ ของ } Na^+ = -5.07X + 7.22 \quad (\text{ค.10})$$

$$\%RSD \text{ ของ } NH_4^+ = 1.27X + 1.70 \quad (\text{ค.11})$$

โดยที่ X คือ ค่าความเข้มข้นของสารไอออนิกที่วิเคราะห์ได้ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



รูปที่ ค.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%) กับค่าความเข้มข้นของสารไอออนิก (ที่มา: Kim Oanh et al., 2009)

การคำนวณค่า Uncertainty ทั้งหมดของการตรวจวัดปริมาณสารไอออนิกทั้ง 2 พื้นที่ แสดงดังตารางที่ ค.5 และ ค.6

ตารางที่ ค.5 ค่า Uncertainty ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) ของสารไอออนิกในเขตเมือง

วันที่	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
18 พ.ย. 59	1.53	36.78	233.87	65.13	10.00	50.18	1.44
24 พ.ย. 59	0.79	12.79	104.66	78.06	3.93	21.17	1.44
25 พ.ย. 59	1.29	19.67	303.15	64.37	7.45	243.31	1.44
26 พ.ย. 59	5.96	22.25	47.12	90.32	9.11	13.66	1.43
26 พ.ย. 59	5.96	22.25	47.12	90.32	9.11	13.66	1.43

ตารางที่ ค.5 ค่า Uncertainty ( $\text{ng/m}^3$ ) ของสารไอออนิกในเขตเมือง (ต่อ)

วันที่	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
27 พ.ย. 59	1.82	26.31	200.76	57.33	8.11	15.18	1.42
28 พ.ย. 59	0.44	33.75	325.67	65.49	14.36	20.89	14.31
29 พ.ย. 59	0.23	25.81	407.96	293.20	16.99	2.72	5.80
30 พ.ย. 59	0.78	19.95	498.76	45.75	11.16	60.64	12.34
9 ธ.ค. 59	17.10	81.56	624.10	119.67	52.72	10.19	64.06
10 ธ.ค. 59	17.15	122.80	1,129.75	84.97	66.17	12.64	205.05
11 ธ.ค. 59	8.46	109.34	1,250.21	91.37	57.56	51.59	263.69
12 ธ.ค. 59	2.95	79.80	400.66	72.72	58.61	14.70	38.84
13 ธ.ค. 59	2.06	39.01	123.86	466.49	31.99	24.76	1.43
14 ธ.ค. 59	3.16	31.58	62.84	59.23	20.56	17.66	1.43
15 ธ.ค. 59	2.79	15.95	48.72	67.38	6.96	20.69	1.41
1 ม.ค. 60	1.00	30.10	204.57	118.95	4.25	17.82	58.23
2 ม.ค. 60	0.53	21.79	130.50	83.42	5.71	1.44	24.78
3 ม.ค. 60	6.00	28.03	90.50	58.60	9.23	8.06	13.98
4 ม.ค. 60	0.09	55.26	202.97	90.37	18.92	3.66	63.36
5 ม.ค. 60	3.58	45.13	252.33	105.41	8.02	14.45	36.92
6 ม.ค. 60	0.50	54.75	148.81	124.57	19.29	14.94	42.07
7 ม.ค. 60	1.69	50.52	176.94	112.40	24.75	16.77	25.36
15 ม.ค. 60	3.22	54.28	74.74	122.35	32.94	21.60	14.10
16 ม.ค. 60	1.05	27.87	33.43	167.07	7.10	21.27	1.83
17 ม.ค. 60	1.43	37.50	52.55	84.51	14.07	22.22	5.57
18 ม.ค. 60	0.61	50.89	53.93	110.84	19.53	21.98	8.56
19 ม.ค. 60	0.92	45.95	87.06	79.04	10.43	5.14	8.68
20 ม.ค. 60	0.73	29.28	71.57	80.93	3.06	29.20	6.87
21 ม.ค. 60	0.66	24.29	56.47	86.39	5.96	0.37	5.84
29 ม.ค. 60	5.44	134.86	189.29	108.92	102.88	12.30	52.07
30 ม.ค. 60	4.76	66.98	153.77	132.67	76.93	5.39	1.42
31 ม.ค. 60	7.81	74.00	230.98	117.86	59.34	7.89	89.22
1 ก.พ. 60	2.90	43.49	111.47	82.93	19.84	11.78	1.42
2 ก.พ. 60	2.01	28.67	45.87	84.19	1.31	18.80	1.41
3 ก.พ. 60	0.23	46.53	74.89	104.37	11.68	17.10	1.42
4 ก.พ. 60	9.42	56.27	120.83	58.88	101.92	0.47	5.96
14 ก.พ. 60	16.22	52.95	617.97	64.78	84.05	8.81	142.07
15 ก.พ. 60	21.60	65.40	265.33	55.72	71.73	6.77	37.60
16 ก.พ. 60	16.66	474.91	596.36	56.52	53.55	14.19	40.95
17 ก.พ. 60	10.65	25.48	175.60	48.97	59.19	5.25	25.76
18 ก.พ. 60	7.47	81.42	190.10	54.21	86.41	4.72	24.75



ตารางที่ ค.6 ค่า Uncertainty ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) ของสารไอออนิกในเขตอุตสาหกรรม

วันที่	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
18 พ.ย. 59	9.02	56.73	382.70	127.19	22.00	182.97	5.76
24 พ.ย. 59	12.44	21.77	61.18	110.10	6.02	5.08	1.45
25 พ.ย. 59	39.75	25.78	51.90	124.14	11.99	2.52	1.44
26 พ.ย. 59	16.98	25.06	62.99	79.14	12.60	14.12	1.44
27 พ.ย. 59	8.81	27.82	131.83	63.71	16.97	19.87	19.73
28 พ.ย. 59	9.44	42.28	386.71	69.19	25.70	2.46	10.06
29 พ.ย. 59	0.74	20.33	409.28	71.04	14.27	10.72	27.54
30 พ.ย. 59	1.63	27.66	362.32	71.18	19.09	10.17	0.70
9 ธ.ค. 59	15.79	67.99	1125.47	143.53	60.92	178.84	114.75
10 ธ.ค. 59	18.73	124.40	1419.17	116.35	71.44	66.18	298.85
11 ธ.ค. 59	34.25	150.84	1107.92	93.28	77.66	16.37	226.43
12 ธ.ค. 59	27.85	112.35	446.59	160.82	83.11	8.48	1.44
13 ธ.ค. 59	9.37	47.84	210.69	90.51	59.80	0.53	1.44
14 ธ.ค. 59	13.65	48.93	87.76	104.20	29.58	4.70	1.44
15 ธ.ค. 59	32.85	27.58	74.31	86.87	21.39	5.45	1.42
1 ม.ค. 60	0.24	28.19	253.25	175.95	4.54	167.30	55.90
2 ม.ค. 60	0.06	23.37	178.92	92.53	10.81	15.82	26.36
3 ม.ค. 60	7.20	26.07	176.43	69.75	5.95	12.60	21.43
4 ม.ค. 60	8.73	61.15	213.09	70.12	33.43	5.45	66.21
5 ม.ค. 60	21.42	50.37	163.97	77.20	41.36	8.74	25.18
6 ม.ค. 60	0.40	40.46	123.70	81.61	8.55	16.53	39.86
7 ม.ค. 60	0.75	33.49	139.06	70.28	9.89	10.04	30.41
15 ม.ค. 60	10.06	58.23	57.04	107.82	38.92	17.34	8.61
16 ม.ค. 60	2.22	34.81	39.73	152.37	11.57	10.39	4.25
17 ม.ค. 60	23.23	44.19	65.35	160.80	13.93	5.21	4.91
18 ม.ค. 60	3.38	69.83	105.65	103.34	34.90	2.48	31.72
19 ม.ค. 60	3.76	54.06	134.50	86.40	30.43	21.07	10.74
20 ม.ค. 60	1.82	37.45	268.80	112.39	20.63	7.16	13.37
21 ม.ค. 60	1.29	29.78	78.09	97.30	7.08	9.17	3.06
29 ม.ค. 60	7.06	121.51	198.84	85.36	108.56	5.70	141.15
30 ม.ค. 60	13.60	66.30	164.18	161.39	81.76	0.82	38.44
31 ม.ค. 60	12.88	101.92	252.38	136.97	75.75	2.27	87.83
1 ก.พ. 60	2.47	46.66	168.14	106.95	33.17	6.62	30.32
2 ก.พ. 60	5.19	35.87	60.84	98.78	2.15	16.70	0.05
3 ก.พ. 60	0.55	68.38	74.52	144.06	15.11	19.90	13.82
4 ก.พ. 60	29.00	71.66	214.97	63.08	87.33	11.82	6.44
14 ก.พ. 60	19.21	51.04	606.78	60.34	89.70	12.88	132.63

ตารางที่ ค.6 ค่า Uncertainty (ng/m<sup>3</sup>) ของสารไอออนิกในเขตอุตสาหกรรม (ต่อ)

วันที่	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
15 ก.พ. 60	23.40	54.15	316.39	66.00	61.08	14.30	31.37
16 ก.พ. 60	61.96	123.66	196.54	56.67	100.72	14.07	32.91
17 ก.พ. 60	11.92	55.63	220.78	50.62	71.15	1.25	26.84
18 ก.พ. 60	8.34	64.37	217.26	57.32	87.77	12.09	18.16

### ตัวอย่างการคำนวณค่า Uncertainty ของความเข้มข้นสารไอออนิก

ค่า Uncertainty ของ Cl<sup>-</sup> (ng/m<sup>3</sup>) ในเขตอุตสาหกรรม ของตัวอย่างวันที่ 18 พ.ย. 2559

$$\begin{aligned} \text{จาก } \%RSD \text{ ของ Cl}^- &= 8.19X + 0.09 \\ &= 8.19 (0.33) + 0.09 \\ &= 2.77 \mu\text{g/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{จาก } \%RSD &= \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \\ SD &= \frac{\bar{X}}{100} \times \%RSD \\ &= \frac{0.33}{100} \times 2.77 \\ &= 9.02 \text{ ng/m}^3 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่า Uncertainty ของ Cl<sup>-</sup> เท่ากับ 9.02 ng/m<sup>3</sup>

#### 4. การคำนวณค่า Uncertainty ของความเข้มข้นธาตุ

ในการศึกษานี้การวิเคราะห์หาปริมาณธาตุได้ใช้เครื่อง Agilent 7700 Series ICP-MS ในการวิเคราะห์ ซึ่งในการวิเคราะห์เครื่องมือนอกจากจะสามารถให้ผลตรวจวัดออกมาเป็นปริมาณความเข้มข้นแล้ว ยังสามารถประมวลผลออกมาเป็นค่า %RSD อีกด้วย ดังนั้น ในการศึกษานี้จึงได้ใช้ค่า %RSD ในการคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งค่า Uncertainty ที่คำนวณได้ แสดงดังตารางที่ ค.7 และ ค.8

ตารางที่ ค.7 ค่า Uncertainty (ng/m<sup>3</sup>) ของธาตุในเขตเมือง

วันที่	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sr	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb
18 พ.ย. 59	1.4476	0.5422	0.0469	0.0197	0.6344	0.0789	0.3268	0.1289	10.8709	0.1295	0.3085	0.0359	0.2069	0.0354	0.0065	0.0074	0.0240	0.0297	0.0019	0.1439
24 พ.ย. 59	2.5347	0.6937	0.2370	0.0098	3.4043	0.0662	0.6502	0.2059	8.1058	0.6749	0.2263	0.0179	0.0864	0.0177	0.0136	0.0038	0.0241	0.0887	0.0002	0.1538
25 พ.ย. 59	1.2928	1.0817	0.0258	0.00363	2.9392	0.0055	0.4301	0.3983	1.5277	0.2328	0.0953	0.0351	0.1350	0.0319	0.0166	0.0090	0.0093	0.1350	0.0009	0.0549
26 พ.ย. 59	0.7210	1.0046	0.1429	0.0072	1.5696	0.0334	0.7425	0.3247	1.3178	0.1796	0.1106	0.0078	0.2334	0.0151	0.0041	0.0077	0.0111	0.0604	0.0010	0.0782
27 พ.ย. 59	1.9604	0.4376	0.0182	0.0102	3.3120	0.0123	3.9454	0.2800	0.5181	0.1407	0.8909	0.0089	0.1139	0.0362	0.0260	0.0053	0.0174	0.3312	0.0006	0.0100
28 พ.ย. 59	1.2665	0.7502	0.0307	0.0171	2.2446	0.0665	0.3265	1.6134	1.2058	0.1737	0.1991	0.0417	0.1821	0.0105	0.0061	0.0226	0.0521	0.1937	0.0035	0.3779
29 พ.ย. 59	0.8822	0.6691	0.1143	0.0051	0.3556	0.0554	1.7869	0.8791	1.8631	0.0394	0.2254	0.0939	0.1228	0.0107	0.0048	0.0158	0.0289	0.1464	0.0011	0.0420
30 พ.ย. 59	0.4971	0.7831	0.0156	0.0110	1.5338	0.0311	1.7131	0.1008	1.1774	0.1481	0.3780	0.0241	0.3207	0.0259	0.0065	0.0092	0.0138	0.1366	0.0033	0.1158
9 ธ.ค. 59	0.1972	0.3946	0.0247	0.0455	4.4792	0.0319	8.2616	0.3512	2.5452	0.0700	4.3762	0.3830	0.1869	0.0167	0.0097	0.1135	0.0048	0.7349	0.0012	0.2433
10 ธ.ค. 59	2.6813	2.3344	0.0667	0.0165	1.0204	0.3322	1.2486	0.1388	2.6320	0.1404	0.6281	0.1611	0.1589	0.0219	0.0117	0.0538	0.0302	0.1042	0.0042	0.4546
11 ธ.ค. 59	1.5430	1.3371	0.2672	0.0275	0.2755	0.0887	2.6592	0.3998	2.0993	0.1824	0.1717	0.1190	0.2050	0.0088	0.0024	0.0377	0.0293	0.1950	0.0053	0.2461
12 ธ.ค. 59	0.7083	0.7232	0.0699	0.0155	1.1453	0.0974	1.5124	0.1574	0.3529	0.3287	0.4139	0.0612	0.1851	0.0067	0.0104	0.0134	0.0251	0.0931	0.0009	0.1057
13 ธ.ค. 59	1.6065	0.4155	0.0098	0.0174	1.8367	0.0366	0.9889	0.3119	1.3329	0.2020	0.3431	0.0328	0.1889	0.0226	0.0090	0.0319	0.0307	0.1094	0.0006	0.2799
14 ธ.ค. 59	1.5000	1.2154	0.0669	0.0053	0.2343	0.0407	1.0849	0.0562	0.6643	0.2510	0.6750	0.0190	0.0709	0.0104	0.0081	0.0106	0.0029	0.1382	0.0004	0.0235
15 ธ.ค. 59	3.8711	3.5419	0.0845	0.0157	3.0267	0.1535	4.9332	0.2515	7.1596	0.9211	0.6479	0.0455	0.0846	0.0461	0.0293	0.0075	0.0523	0.2941	0.0005	0.2302
1 ม.ค. 60	0.6938	0.1206	0.0377	0.0179	0.5584	0.1026	0.3167	0.1760	1.8906	0.0924	0.4517	0.0265	0.1371	0.0210	0.0027	0.0081	0.0256	0.2083	0.0039	0.2189
2 ม.ค. 60	0.6124	0.9060	0.0822	0.0221	1.8993	0.0451	0.2971	0.0990	3.4409	0.0445	0.0762	0.0176	0.2176	0.0079	0.0016	0.0168	0.0162	0.1648	0.0025	0.0827
3 ม.ค. 60	5.0034	1.7332	0.0379	0.0253	1.6966	0.1259	0.4295	0.2453	5.9737	0.2030	0.4375	0.0273	0.2549	0.0401	0.0075	0.0091	0.0833	0.0808	0.0029	0.3160
4 ม.ค. 60	1.4334	0.5510	0.0426	0.0564	0.4617	0.0544	0.9479	0.0526	0.0613	0.1033	0.2303	0.0288	0.2413	0.0440	0.0127	0.0184	0.0244	0.0629	0.0012	0.1418
5 ม.ค. 60	3.0663	0.5952	0.0704	0.0295	0.3127	0.0525	0.7562	0.2445	3.1104	0.2241	0.3245	0.0189	0.3551	0.0141	0.0059	0.0070	0.0243	0.1012	0.0024	0.1911
6 ม.ค. 60	2.4295	0.3937	0.0337	0.0590	1.8066	0.0202	0.4587	0.1454	2.8502	0.1309	0.0424	0.0995	0.0768	0.0206	0.0066	0.0154	0.0176	0.1009	0.0013	0.0646
7 ม.ค. 60	0.6602	0.6348	0.0090	0.0380	1.9447	0.0428	1.4494	0.3851	0.1669	0.3480	0.2206	0.0444	0.1458	0.0143	0.0034	0.0007	0.0182	0.0389	0.0007	0.0982
15 ม.ค. 60	0.6466	0.5861	0.3361	0.0057	0.5910	0.0142	0.2234	0.1276	0.7175	0.0422	0.1510	0.0315	0.2630	0.0089	0.0064	0.0016	0.0114	0.0401	0.0010	0.1802
16 ม.ค. 60	0.8693	0.6849	0.0422	0.0071	1.1980	0.0275	0.2106	0.0633	0.9552	0.0318	0.0206	0.0402	0.1418	0.0101	0.0019	0.0055	0.0100	0.1521	0.0007	0.0266
17 ม.ค. 60	0.9040	0.1869	0.0289	0.0016	0.6286	0.0543	0.1801	0.2931	0.7489	0.1208	0.1449	0.0298	0.1029	0.0199	0.0035	0.0084	0.0163	0.0511	0.0007	0.0084
18 ม.ค. 60	0.3124	0.2328	0.0228	0.0144	1.0820	0.0395	0.3953	0.1233	2.7968	0.1347	0.4719	0.0103	0.0212	0.0077	0.0081	0.0142	0.0716	0.0852	0.0016	0.3370
19 ม.ค. 60	1.3976	0.3384	0.0221	0.0203	0.4876	0.0242	0.2635	0.0046	1.4638	0.0460	0.2005	0.0158	0.0730	0.0127	0.0053	0.0160	0.0080	0.0511	0.0004	0.0936
20 ม.ค. 60	1.7247	0.5472	0.0326	0.0315	0.4458	0.0110	0.3162	0.0955	1.5722	0.0412	0.2635	0.0244	0.1352	0.0083	0.0017	0.0179	0.0104	0.0770	0.0009	0.0236

ตารางที่ ค.7 ค่า Uncertainty (ng/m<sup>3</sup>) ของธาตุไนในเขตเมือง (ต่อ)

21 ม.ก. 60	5.9243	1.6828	0.0920	0.0061	1.6822	0.1610	0.2901	0.4404	6.9148	0.1404	0.1833	0.0198	0.0656	0.0580	0.0087	0.0124	0.0529	0.1553	0.0023	0.1794
29 ม.ก. 60	2.0868	1.1599	0.0656	0.0103	1.5332	0.0669	0.7008	0.0803	1.9783	0.0548	0.5594	0.0180	0.0979	0.0083	0.0061	0.0104	0.0260	0.1770	0.0010	0.0986
30 ม.ก. 60	0.5684	0.2875	0.0648	0.0030	1.1830	0.0423	0.6154	0.2420	1.8712	0.0255	0.0900	0.0491	0.0507	0.0183	0.0037	0.0138	0.0471	0.1184	0.0029	0.0820
31 ม.ก. 60	0.4282	0.9046	0.0513	0.0335	1.0561	0.0193	1.0240	0.1498	1.8238	0.0430	0.1754	0.0172	0.2187	0.0166	0.0101	0.0114	0.0031	0.0529	0.0007	0.0606
1 ก.พ. 60	0.9308	0.9239	0.0271	0.0745	7.5267	0.0235	3.7100	0.0823	1.1646	0.0416	1.7176	0.0282	0.2079	0.0265	0.0073	0.0315	0.0117	0.9212	0.0022	0.0850
2 ก.พ. 60	4.0490	1.7095	0.1723	0.0026	1.1844	0.0649	0.6915	0.1672	7.3869	0.0744	0.1233	0.0168	0.0375	0.0351	0.0177	0.0049	0.0308	0.0922	0.0015	0.1781
3 ก.พ. 60	0.6294	0.3603	0.0378	0.0288	5.6591	0.0520	2.1791	0.3395	6.3517	0.1787	0.4777	0.0476	0.1965	0.0222	0.0060	0.0151	0.0178	1.4176	0.0020	0.1710
4 ก.พ. 60	0.8477	0.8491	0.0286	0.0382	1.5837	0.0824	1.2591	0.1291	2.8963	0.3595	0.4207	0.0197	0.0528	0.0154	0.0124	0.0176	0.2706	0.1076	0.0007	0.0592
14 ก.พ. 60	1.9116	0.1043	0.0299	0.0271	1.2844	0.0513	0.9182	0.1461	3.7672	0.1555	0.0528	0.0310	0.1062	0.0200	0.0022	0.0264	0.0139	0.1840	0.0019	0.0603
15 ก.พ. 60	0.8982	1.0990	0.0247	0.0149	0.5188	0.0302	0.4069	0.2220	2.7548	0.0203	0.1070	0.0577	0.2002	0.0375	0.0143	0.0064	0.0140	0.1144	0.0013	0.1324
16 ก.พ. 60	1.9500	0.6891	0.0777	0.0129	0.5400	0.0032	1.5481	0.4770	0.6380	0.0811	0.2588	0.0194	0.1915	0.0103	0.0112	0.0073	0.0370	0.1161	0.0012	0.0856
17 ก.พ. 60	2.6234	0.9485	0.0134	0.0103	0.6462	0.0635	2.0312	0.2748	3.0457	0.1662	0.2597	0.0156	0.2678	0.0288	0.0178	0.0119	0.0089	0.0098	0.0012	0.0775
18 ก.พ. 60	1.5087	0.5795	0.0029	0.0119	2.2940	0.0539	1.9447	0.2370	3.0094	0.1944	0.4139	0.0354	0.1814	0.0177	0.0084	0.0081	0.0144	0.0801	0.0012	0.0568



ตารางที่ ค.8 ค่า Uncertainty (ng/m<sup>3</sup>) ของธาตุในเขตอุตสาหกรรม

วันที่	Mg	Al	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Sr	Ag	Cd	Sb	Ba	Tl	Pb
18 พ.ย. 59	1.0227	0.9016	0.0650	0.0114	0.3188	0.0366	0.2567	0.0039	0.0633	0.0816	9.3038	0.0177	0.1816	0.0126	0.0466	0.0151	0.0046	0.1121	0.0008	0.0915
24 พ.ย. 59	2.4368	1.0327	0.0237	0.0465	0.6269	0.0819	1.2689	0.1770	4.0600	0.1311	0.2894	0.0183	0.0957	0.0203	0.0293	0.0114	0.0142	0.2611	0.0010	0.0408
25 พ.ย. 59	1.9797	1.1231	0.0348	0.0650	3.2839	0.1392	1.3166	0.5416	2.9761	0.3124	0.3012	0.0400	0.1890	0.0134	0.0219	0.0261	0.0095	0.0964	0.0005	0.0277
26 พ.ย. 59	2.6599	3.8877	0.2194	0.0163	0.5723	0.0651	1.9340	0.6235	6.8155	1.1753	0.9911	0.0093	0.0747	0.0400	0.0721	0.0183	0.0267	0.2179	0.0014	0.1198
27 พ.ย. 59	1.2073	0.5058	0.0203	0.0284	0.7509	0.0512	1.3345	0.4461	2.8861	0.3591	0.7092	0.0069	0.1089	0.0194	0.0213	0.0089	0.0158	0.1339	0.0016	0.0902
28 พ.ย. 59	0.5187	0.8650	0.0220	0.0349	1.1795	0.0750	2.2218	0.5287	0.6917	0.0489	0.6454	0.1284	0.2307	0.0053	0.0743	0.0343	0.0155	0.2387	0.0046	0.0919
29 พ.ย. 59	0.8971	0.5803	0.1310	0.1203	1.4444	0.0628	1.4020	0.5242	1.8544	0.0965	0.3870	0.0871	0.2393	0.0038	0.0302	0.0182	0.0083	0.0400	0.0025	0.1135
30 พ.ย. 59	1.4205	0.3211	0.0508	0.0116	1.2446	0.0577	1.6570	0.4148	0.3240	0.1628	1.1298	0.0255	0.0836	0.0146	0.0379	0.0197	0.0152	0.1971	0.0053	0.1490
9 ธ.ค. 59	2.1401	1.3134	0.1931	0.0178	0.8115	0.3345	0.4184	0.2749	8.6334	0.2586	0.6998	0.1126	0.1840	0.0337	0.1643	0.0409	0.1327	0.2838	0.0056	0.6660
10 ธ.ค. 59	1.3759	1.5144	0.0394	0.0137	0.3729	0.1872	1.7600	0.1845	1.5586	0.2274	1.7312	0.2743	0.2436	0.0033	0.0177	0.0413	0.0052	0.2429	0.0022	0.4178
11 ธ.ค. 59	2.0118	5.9442	0.1539	0.0011	1.6506	0.6713	2.4776	0.2890	4.3270	1.2336	0.2848	0.1331	0.1189	0.0400	0.0457	0.0572	0.1729	0.1497	0.0093	1.0648
12 ธ.ค. 59	0.6648	0.8029	0.0156	0.0758	2.8615	0.0257	5.0130	0.2247	3.5803	0.2484	0.3445	0.0475	0.1677	0.0248	0.0529	0.0403	0.0395	0.2138	0.0047	0.1939
13 ธ.ค. 59	1.1585	0.2886	0.0134	0.0470	0.4309	0.0493	3.0986	0.0519	3.5973	0.0958	0.7493	0.0679	0.0271	0.0165	0.0031	0.0288	0.0300	0.2442	0.0020	0.1180
14 ธ.ค. 59	1.2159	0.7820	0.0383	0.0161	1.0717	0.0164	1.5028	0.2251	1.1763	0.1111	0.2912	0.0198	0.0617	0.0239	0.0209	0.0074	0.0211	0.1170	0.0014	0.0409
15 ธ.ค. 59	0.2019	1.5567	0.0234	0.0334	0.7152	0.0081	1.4967	0.0975	2.9249	0.2018	1.4570	0.0271	0.0782	0.0139	0.0217	0.0269	0.0120	0.1682	0.0011	0.0308
1 ม.ค. 60	2.0726	0.8470	0.0298	0.0077	1.0195	0.0502	0.4278	0.2970	2.5549	0.0554	0.2671	0.0191	0.1620	0.0133	0.0020	0.0473	0.0066	0.1040	0.0025	0.1557
2 ม.ค. 60	1.5650	0.7231	0.0329	0.0331	0.0889	0.0636	0.5016	0.2926	5.0019	0.2113	0.2604	0.0561	0.2172	0.0130	0.0072	0.0182	0.0196	0.0577	0.0003	0.1459
3 ม.ค. 60	1.0752	0.1137	0.0216	0.0174	0.3810	0.0332	0.1191	0.2988	9.8853	0.1173	0.4289	0.0593	0.0578	0.0222	0.0324	0.0103	0.0078	0.0396	0.0010	0.1453
4 ม.ค. 60	4.7290	0.9159	0.1022	0.0785	0.5472	0.0686	0.3400	0.3488	4.2558	0.0443	0.2206	0.0238	0.1912	0.0222	0.1002	0.0122	0.0381	0.0358	0.0010	0.3727
5 ม.ค. 60	1.0113	0.2940	0.0269	0.0814	1.7654	0.0484	0.6975	0.3062	1.3535	0.0442	2.0774	0.0571	0.2009	0.0162	0.0078	0.0255	0.0138	0.0829	0.0020	0.0568
6 ม.ค. 60	0.5396	0.7708	0.0249	0.0206	1.2033	0.0593	0.6363	0.3128	4.7017	0.0701	1.1793	0.0514	0.1715	0.0125	0.0105	0.0296	0.0264	0.3625	0.0026	0.0565
7 ม.ค. 60	0.3600	0.5792	0.0239	0.2530	4.8955	0.0278	2.1430	0.2561	4.2050	0.0303	2.1764	0.0504	0.0578	0.0131	0.0032	0.0268	0.0188	0.4954	0.0014	0.0121
15 ม.ค. 60	1.6647	0.8602	0.1059	0.0214	0.2726	0.0697	0.2716	0.2391	2.2571	1.5352	0.2292	0.0197	0.0342	0.0161	0.0045	0.0260	0.0188	0.1887	0.0010	0.0572
16 ม.ค. 60	1.0523	0.7767	0.0280	0.0204	0.5699	0.0127	0.1543	0.2262	1.9580	0.0367	0.3002	0.0133	0.0762	0.0067	0.0119	0.0192	0.0228	0.0449	0.0016	0.0567
17 ม.ค. 60	1.1458	0.8041	0.0347	0.0478	1.2343	0.0237	0.5613	0.2433	3.6797	0.0154	0.3704	0.0114	0.1121	0.0042	0.0139	0.0290	0.0164	0.0960	0.0019	0.0189
18 ม.ค. 60	1.0502	0.6975	0.0294	0.0513	1.8430	0.0335	0.2954	0.6366	2.0412	0.0141	0.3745	0.0186	0.2160	0.0075	0.0103	0.0124	0.0138	0.2048	0.0015	0.0075
19 ม.ค. 60	0.9497	0.3320	0.1790	0.0293	1.0871	0.0181	0.5771	0.1166	1.2168	0.0335	0.2214	0.0291	0.1212	0.0049	0.0365	0.0110	0.0160	0.0115	0.0014	0.0336
20 ม.ค. 60	1.3435	0.2833	0.0429	0.0360	0.6178	0.0032	0.4949	0.2620	2.6639	0.0378	0.5719	0.0573	0.1997	0.0154	0.0288	0.0163	0.0103	0.0461	0.0012	0.0235

ตารางที่ ค.8 ค่า Uncertainty (ng/m<sup>3</sup>) ของธาตุไนในเขตอุตสาหกรรม (ต่อ)

21 ม.ก. 60	2.6387	0.9332	0.0844	0.0111	0.7860	0.0364	0.6664	0.2083	2.7343	0.0470	0.2657	0.0041	0.0596	0.0194	0.0155	0.0115	0.0241	0.1166	0.0015	0.0811
29 ม.ก. 60	0.3615	2.1499	0.0900	0.0172	0.2924	0.0586	0.3734	0.1040	3.3003	0.0326	1.0145	0.0617	0.2555	0.0104	0.0040	0.0311	0.0137	0.1190	0.0009	0.0663
30 ม.ก. 60	1.3087	1.1336	0.0555	0.0396	1.1348	0.0115	0.6448	0.1005	1.4501	0.0238	0.7970	0.0185	0.1178	0.0119	0.0203	0.0127	0.0091	0.0427	0.0019	0.0343
31 ม.ก. 60	0.9016	1.4716	0.0798	0.0569	1.1668	0.0322	0.1894	0.2971	1.2822	0.0235	0.2177	0.0372	0.0300	0.0293	0.0133	0.0074	0.0139	0.0519	0.0008	0.0652
1 ก.พ. 60	1.0438	0.3224	0.0789	0.0907	0.5350	0.0355	0.0810	0.2752	5.2412	0.0688	0.3993	0.0456	0.0391	0.0280	0.0236	0.0088	0.0155	0.0937	0.0021	0.0422
2 ก.พ. 60	0.3159	0.3392	0.0234	0.0235	0.7154	0.1403	0.6891	0.1252	5.1020	0.1097	0.1282	0.0291	0.1309	0.0136	0.0322	0.0076	0.0156	0.0723	0.0003	0.0793
3 ก.พ. 60	3.3893	1.2056	0.0714	0.0169	0.7657	0.1585	0.5605	0.1584	3.0305	0.1803	1.2056	0.0218	0.2075	0.0211	0.0647	0.0077	0.1601	0.1030	0.0013	0.2270
4 ก.พ. 60	14.9982	7.6650	0.1146	0.0374	1.3044	1.1525	2.0328	0.7293	12.9416	1.8266	7.4306	0.0734	0.0588	0.0792	0.1233	0.0239	0.2921	0.4245	0.0050	0.3709
14 ก.พ. 60	0.5830	1.5290	0.0030	0.0510	1.1432	0.0567	0.7059	0.9329	3.2653	0.0880	0.4962	0.0389	0.0346	0.0257	0.0187	0.0259	0.0295	0.0662	0.0029	0.0697
15 ก.พ. 60	0.9085	1.5905	0.0974	0.0280	1.5242	0.0645	1.4813	0.3952	1.8670	0.1075	1.6838	0.0155	0.0116	0.0521	0.0076	0.0403	0.0091	0.1830	0.0013	0.1160
16 ก.พ. 60	2.8917	2.4941	0.4915	0.0201	2.0941	0.1457	2.3265	0.3408	6.3949	1.2572	1.1230	0.0381	0.1343	0.0469	0.0237	0.0239	0.1953	0.0418	0.0039	0.2461
17 ก.พ. 60	2.0328	0.3045	0.1773	0.0355	0.3129	0.0445	1.4242	0.5379	2.3051	0.0478	0.5101	0.0204	0.1711	0.0482	0.0028	0.0046	0.0101	0.0432	0.0025	0.1049
18 ก.พ. 60	1.0119	1.1267	0.0210	0.0141	2.4172	0.0975	1.7466	0.2180	18.3335	0.2595	0.1832	0.0474	0.1103	0.0336	0.0095	0.0262	0.0109	0.1078	0.0004	0.2871



### ตัวอย่างการคำนวณค่า Uncertainty ของความเข้มข้นธาตุ

ค่า Uncertainty ของ Mg ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) ในเขตอุตสาหกรรม ของตัวอย่างวันที่ 18 พ.ย. 2559

$$\begin{aligned} \text{จาก } \%RSD &= \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \\ SD &= \frac{\bar{X}}{100} \times \%RSD \\ &= \frac{129.7335}{100} \times 0.4548 \\ &= 0.5900 \mu\text{g}/\text{l} \end{aligned}$$

เมื่อได้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวิเคราะห์ของเครื่องมือจึงนำมาคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มข้นของตัวอย่าง จะได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จาก } \text{ปริมาณธาตุ (ng/filter)} &= \frac{\mu\text{g/l} \times V_e \times D}{F} \\ &= \frac{0.5900 \times 10 \times 1}{0.25} \\ &= 23.6014 \text{ ng/filter} \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่า Uncertainty จะได้

$$\begin{aligned} \text{จาก } \text{ค่า Uncertainty (ng/m}^3\text{)} &= \frac{\text{ปริมาณธาตุ (ng/filter)}}{V_{\text{std}}} \\ &= \frac{23.6014}{23.08} \\ &= 1.0227 \text{ ng/m}^3 \end{aligned}$$





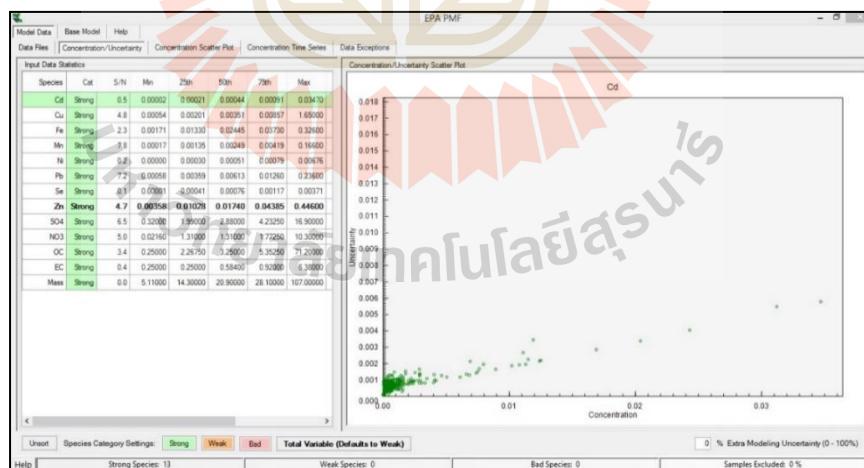
## 1. การวิเคราะห์ข้อมูลที่ป้อนเข้า

ก่อนในการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ความเข้มข้นและความไม่แน่นอนของข้อมูล โปรแกรมจะมีแถบเมนูเครื่องมือเพื่อวิเคราะห์ว่าสารเคมีตัวไหน ควรได้รับการยกเว้นการประมวลผล (ค่า Outliers) หรือต้อง downweighted ก่อนการประมวลผล (เช่น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าความไม่แน่นอนหรือค่า S/N น้อยเกินไป) ซึ่งแถบเมนูเครื่องมือสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

### 1.1 Concentration/Uncertainty

เมื่อป้อนข้อมูลเข้าไปค่า Concentration/Uncertainty จะแสดงดังรูปที่ ๑.1 และโปรแกรมจะคำนวณค่าดังต่อไปนี้

- ค่าความเข้มข้นต่ำสุดและสูงสุดของตัวอย่าง
- ค่า percentile ที่ 25 (25th) คือ ค่าความเข้มข้นตำแหน่งที่ 25 ของข้อมูล เทียบจาก 100
- ค่า percentile ที่ 50 (50th) หรือค่ามัธยฐาน คือ ค่าความเข้มข้นตำแหน่งที่ 50 ของข้อมูล เทียบจาก 100
- ค่า percentile ที่ 75 (75th) คือ ค่าความเข้มข้นตำแหน่งที่ 75 ของข้อมูล เทียบจาก 100
- ค่า Signal-to-noise ratio (S/N) คือ ค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพของข้อมูลในการตรวจวัด



รูปที่ ๑.1 ตัวอย่างแถบเครื่องมือ Concentration/Uncertainty

การคำนวณหาค่า percentile โดยใช้ วิธีถ่วงเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted-average method) ดังสมการ (๑.1)

$$L(n,p) = \frac{(n+1)p}{100} \quad (ง.1)$$

$$L(n,p) = I+F$$

$$W_1 = 1 - F ; W_2 = F ; W_3 = 0$$

$$P = W_1 X_I + W_2 X_{I+1} + W_3 X_{I+2}$$

โดยที่	L	คือ	ค่าความเข้มข้นของตำแหน่ง Percentile ที่สนใจ
	n	คือ	จำนวนค่าความเข้มข้นทั้งหมดที่ตรวจวัดได้
	p	คือ	ค่า Percentile ที่สนใจ
	W	คือ	Weighted หรือค่าที่ตรวจวัดได้
	P	คือ	ค่า percentile ที่ต้องการหา
	I	คือ	จำนวนเต็มของ L(n,p)
	F	คือ	จำนวนเศษที่เหลือของ L(n,p)

#### ตัวอย่างการคำนวณ Percentile

จงหาค่า percentile 75 ของข้อมูลต่อไปนี้ 2, 3, 4, 5, 10, 13, 14, 15, 16, 20, 25, 28, 28, 30

จากโจทย์มีข้อมูลทั้งหมด 14 ข้อมูล จะได้  $L(n,p) = \frac{(14+1)75}{100} = 11.25$

$$\text{จาก } L(n,p) = I+F$$

$$\text{จะได้ } L(n,p) = 11 + 0.25$$

เมื่อ  $W_1 = 1 - F ; W_2 = F ; W_3 = 0$  จะได้  $W_1 = 1 - 0.25 ; W_2 = 0.25 ; W_3 = 0$

เนื่องจากข้อมูลในตำแหน่งที่ 11 มีค่าเท่ากับ 25

$$\text{ดังนั้น จะได้ ค่า percentile 75 } P = (1 - 0.25)(25) + (0.25)(28) + 0(30)$$

$$P = 25.75$$

สำหรับค่า S/N เป็นค่าที่บ่งบอกถึงคุณภาพของข้อมูลการตรวจวัด โดยการหาค่า S/N สามารถคำนวณ 2 สมการ โดยความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้น ( $x_i$ ) และค่าความไม่แน่นอน ( $s_i$ ) คำนวณได้จากสมการ signal ดังนี้

$$d_{ij} = \left( \frac{x_{ij} - s_{ij}}{s_{ij}} \right) \quad \text{ถ้า } x_{ij} > s_{ij}$$

$$d_{ij} = 0 \quad \text{ถ้า } x_{ij} \leq s_{ij} \quad (จ.2)$$

ค่า S/N ratio สามารถหาได้จากสมการ ดังนี้

$$\left(\frac{S}{N}\right)_j = \frac{1}{n \sum_{i=1}^n d_{ij}} ; \text{ โดยที่ } d_{ij} = \left(\frac{x_{ij} - s_{ij}}{s_{ij}}\right) \quad (จ.3)$$

โดยที่ ค่า  $x_{ij}$  คือ ความเข้มข้นของสารเคมี ชนิด  $j$  ในตัวอย่างที่  $i$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
 $s_{ij}$  คือ ค่าความไม่แน่นอนของความเข้มข้นของสารเคมีชนิด  $j$  ในตัวอย่างที่  $i$

ในแบบเมนูเครื่องมือสามารถจำแนกประเภทของสารเคมีและกำหนดเลือก “Strong” “Weak” และ “Bad” เพื่อระบุถึงคุณภาพของข้อมูลการตรวจวัด ถ้าในแต่ละประเภทสารเคมี ถ้าไม่กำหนดหรือปรับเปลี่ยน ค่าเริ่มต้นจะกำหนดให้อัตโนมติเป็น “Strong” และรายละเอียดในคู่มือได้กำหนดให้ ถ้าค่า S/N ratio น้อยกว่า 0.5 ให้กำหนดเป็น “Bad” ถ้าค่า S/N ratio มากกว่า 0.5 แต่น้อยกว่า 1 ให้กำหนดเป็น “Weak” และถ้ามากกว่า 1 ให้กำหนดเป็น “Strong”

#### ตัวอย่างการคำนวณ S/N ratio

จงหา S/N ratio ของข้อมูลการตรวจวัดโครเมียมในบรรยากาศดังข้อมูลต่อไปนี้  
 ค่าความเข้มข้นที่ตรวจได้ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) : 0.00254, 0.00248, 0.00164, 0.00238, 0.00107  
 ค่าความไม่แน่นอน ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) : 0.001449, 0.000969, 0.000789, 0.000789, 0.000669

จาก  $d_{ij} = \left(\frac{x_{ij} - s_{ij}}{s_{ij}}\right)$  จะได้

$$\text{ตำแหน่งที่ 1 : } d = \left(\frac{0.00254 - 0.001449}{0.001449}\right) = 0.7529$$

$$\text{ตำแหน่งที่ 2 : } d = \left(\frac{0.00248 - 0.000969}{0.000969}\right) = 0.1559$$

$$\text{ตำแหน่งที่ 3 : } d = \left(\frac{0.00164 - 0.000789}{0.000789}\right) = 1.0786$$

$$\text{ตำแหน่งที่ 4 : } d = \left(\frac{0.00238 - 0.000789}{0.000789}\right) = 2.0165$$

$$\text{ตำแหน่งที่ 5 : } d = \left(\frac{0.00107 - 0.000669}{0.000669}\right) = 0.5994$$

ดังนั้น ค่า S/N ratio จะได้

$$\text{จาก } S/N = \frac{1}{n \sum_{i=1}^n d_{ij}}$$

$$S/N = \frac{1}{(5)(0.7529+0.1559+1.0786+2.0165+0.5994)}$$

$$S/N = \frac{1}{23.02}$$

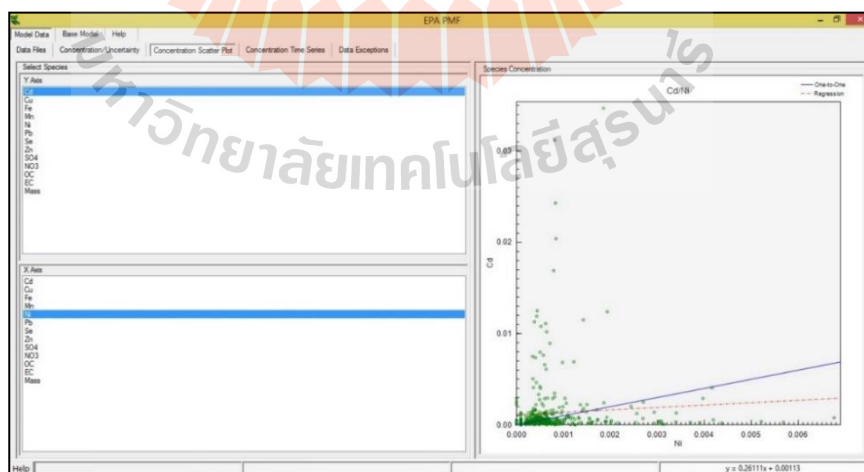
$$S/N = 0.0434$$

ในการประมวลผลของแบบจำลองพบว่า ทั้ง 2 พื้นที่ มีค่า S/N ratio ของธาตุ Co น้อยกว่า 0.5 ซึ่งได้กำหนดเป็น “Bad” และมีค่า S/N ratio ของธาตุ Ni มากกว่า 0.5 แต่น้อยกว่า 1 ได้กำหนดเป็น “Weak”

### 1.2 Concentration Scatter plots

Scatter plots ของสารเคมีที่วิเคราะห์ เป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับก่อนการวิเคราะห์ PMF เพราะความสัมพันธ์ Scatter plots ระหว่างสารเคมีที่วิเคราะห์ จะบ่งชี้ได้ว่า ประเภทแหล่งที่มาหรือสถานที่มาของแหล่งกำเนิดมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกันหรือไม่

Concentration Scatter plots แสดงดังรูปที่ ๓.2 โดยกราฟจะเป็นความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารเคมีที่วิเคราะห์ โดยที่ทั้งแกน X และแกน Y คือ ความเข้มข้นของสารเคมีที่วิเคราะห์ การกำหนดแกน X และแกน Y ขึ้นอยู่กับผู้ใช้จะกำหนดเพื่อดูความสัมพันธ์ของสารเคมีที่สนใจและจากรูปเส้นตรงสีน้ำเงินจะเป็น One-to-one line และเส้นตรงสีแดงคือ linear regression line



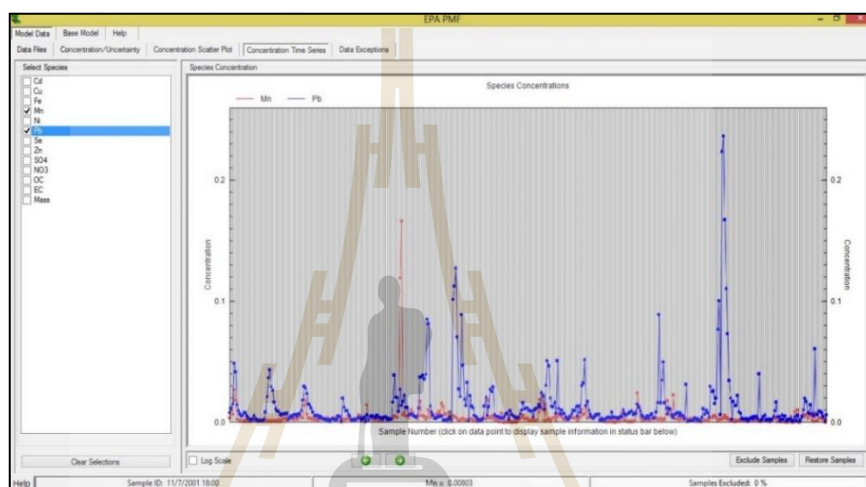
รูปที่ ๓.2 ตัวอย่างกราฟ Concentration Scatter plots

### 1.3 Concentration Time Series

กราฟ Concentration Time Series ดังรูปที่ ๓.3 จะทำให้ทราบถึงความผิดปกติ ของค่าความเข้มข้นของสารเคมีที่วิเคราะห์ โดยกราฟสามารถปรับเป็นแบบ log scale ได้

### 1.4 Data Exceptions

แท็บเมนูนี้จะทำให้ทราบว่า ได้เปลี่ยนแปลงหรือลบข้อมูลตรงจุดไหนจากหัวข้อข้างต้นที่กล่าวมาทั้งหมด ดังรูปที่ ๓.4



รูปที่ ๓.3 ตัวอย่างกราฟ Concentration Time Series



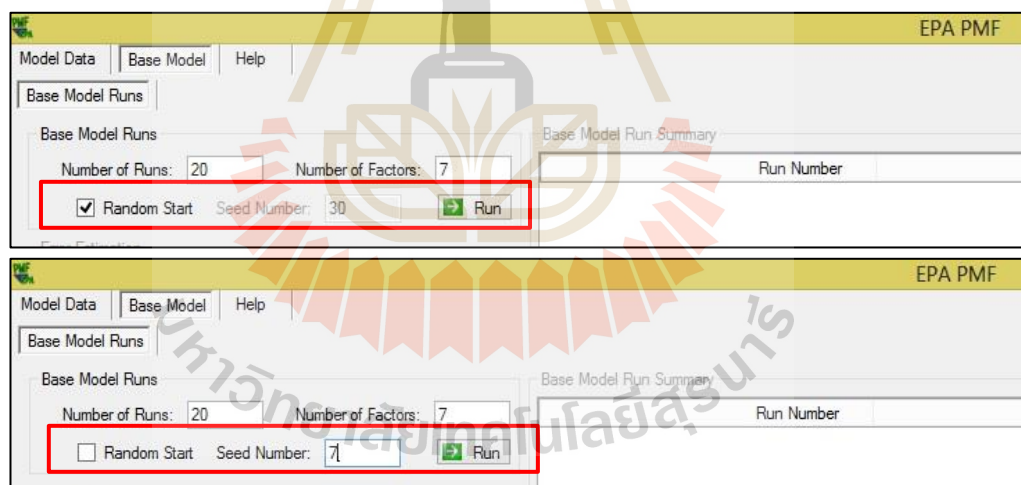
รูปที่ ๓.4 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงและการลบข้อมูล

## 2. Base Model Runs

Base Model Runs จะเป็นการ Output ส่วนแรกของการวิเคราะห์ PMF จะออกเป็น Source profile และ Source contribution ผู้ใช้สามารถทดสอบ โดยการเลือกเมนู “Random Start” หรือเลือก “Seed Number” โดยการใส่ค่า Seed Number จะเป็นการทดสอบความเสถียรของค่า Q(robust) ดังรูปที่ ง.5

Base Model Runs ซึ่งเป็นเริ่มต้นการประมวลผลจำเป็นต้องใส่พารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

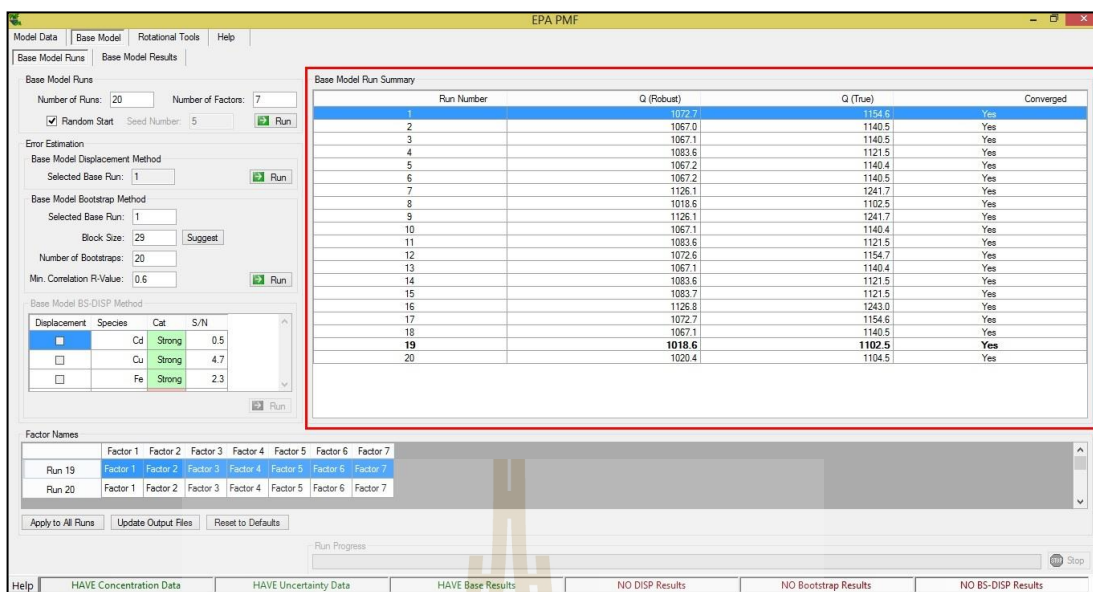
- “Number of Runs” ต้องใส่เลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 1-999 ในการประมวลผลค่า Q โดยในการศึกษานี้ได้ป้อน 1 ทั้ง 2 พื้นที่ตรวจวัด
- “Number of Factors” ต้องใส่เลขจำนวนเต็มตั้งแต่ 1-999 โดยการใส่ตัวเลข Number of Factors ขึ้นอยู่กับผู้ที่จะกำหนด โดยการกำหนดต้องขึ้นอยู่กับผลกระทบที่เกิดขึ้นของตัวอย่าง จำนวนตัวอย่างที่เก็บ ระยะเวลาเก็บตัวอย่างและลักษณะของชนิดสารเคมี รวมถึงการพิจารณาพื้นที่โดยรอบจุดเก็บตัวอย่าง โดยในการศึกษานี้ได้ป้อน 5 ทั้ง 2 พื้นที่ตรวจวัด



รูปที่ ง.5 ตัวอย่างแถบเมนู Random Start และ Seed Number

หลังจากใส่ค่าตามพารามิเตอร์ดังกล่าวตามเงื่อนไขที่ผู้ใช้งานกำหนดผลการประมวลผลแสดง ดังรูปที่ ง.6





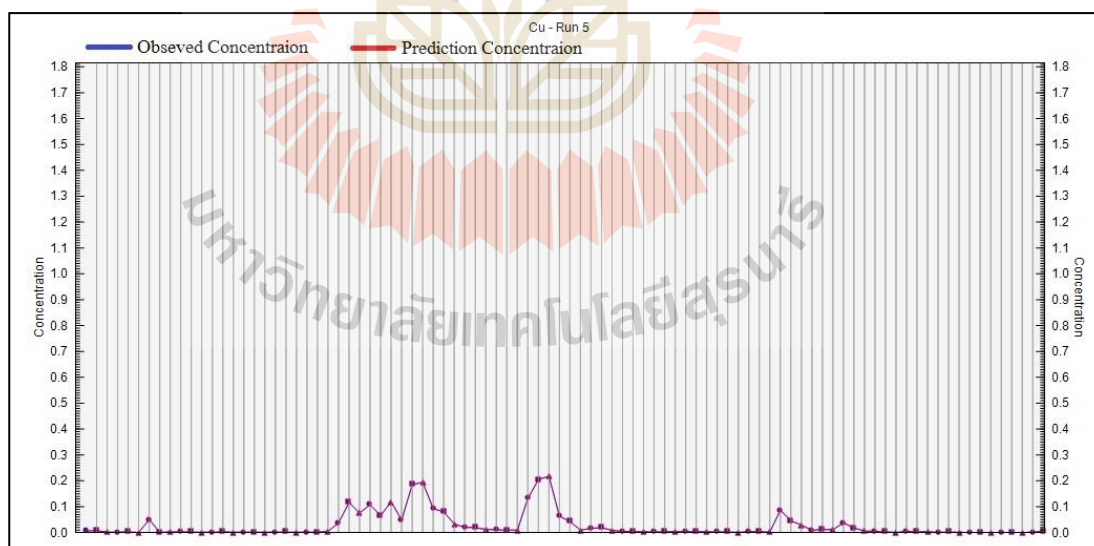
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการประมวลผล Base Model Runs

### 3. สรุปผลการวิเคราะห์

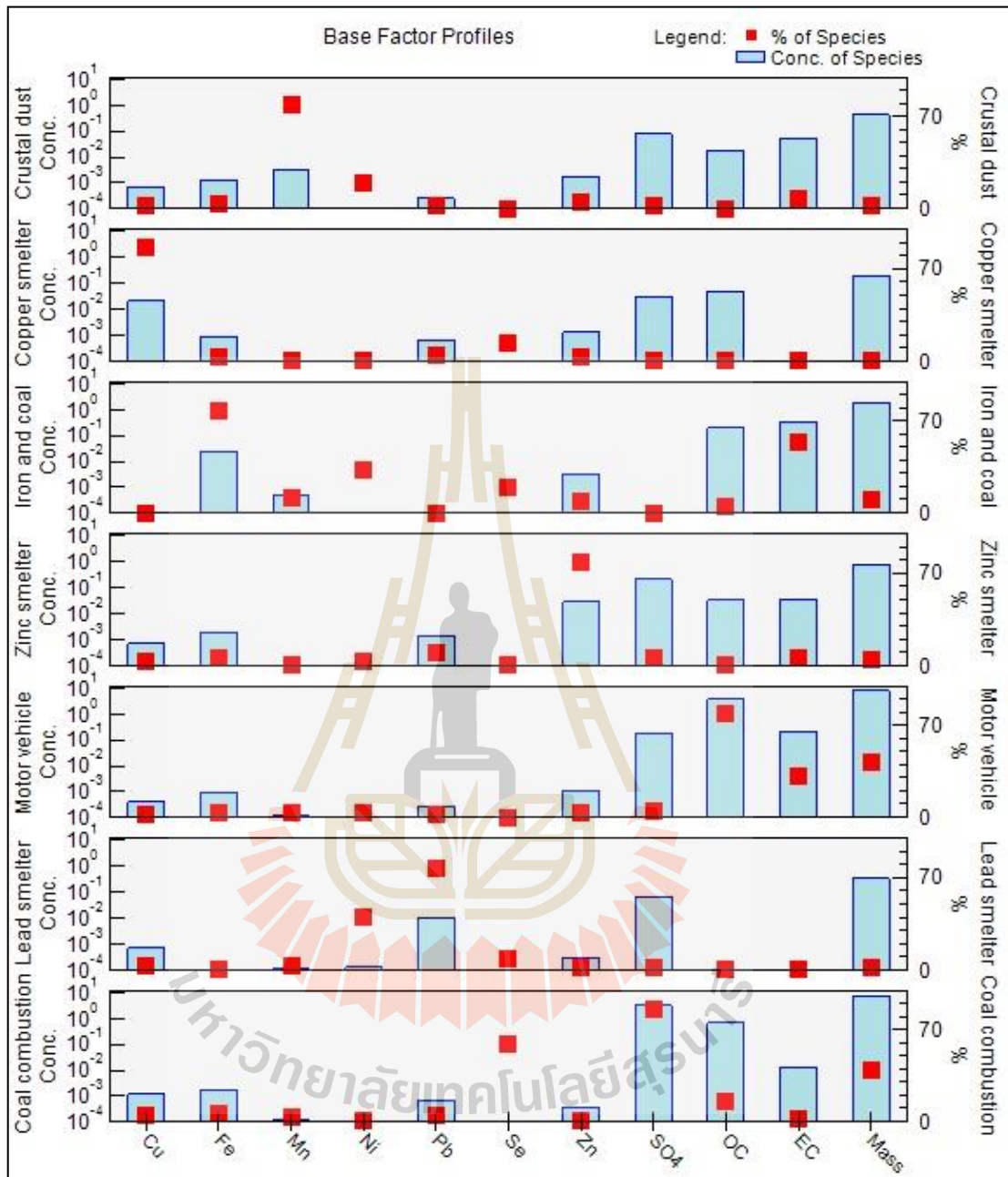
จากการประมวลผล Base Model Runs ทำให้เกิดแถบเมนู Base model results ซึ่งในแถบเมนูนี้ จะเป็นการแสดงผลเป็นปริมาณสารเคมีที่ตรวจวัดในแต่ละ factor โดยการป้อนข้อมูล factor จะมีลักษณะเหมือนการ trial-error เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสม ถ้าได้ค่าที่ไม่เหมาะสมโปรแกรมแบบจำลองจะแจ้งเตือน ซึ่งผลการประมวลผลแต่ละ factor ที่ป้อนข้อมูลเข้าไปจะเป็นข้อมูลของ source profile

จากข้อมูลไฟล์ตัวอย่างของ US.EPA ที่ใช้ในแบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF version 5.0 เป็นข้อมูลของการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ที่เมือง St. Louis ประเทศสหรัฐอเมริกา เมื่อประมวลผล พบว่า สามารถแสดงผลการเปรียบเทียบผลกตรวจวัดสารเคมีกับผลการประมวลผลของแบบจำลอง ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งสามารถบ่งบอกของประสิทธิภาพของการประมวลผลของแบบจำลองได้และสามารถพิสูจน์ความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ประมวลผลออกมาได้ และจากรูปที่ 3.8 แบบจำลองจะแสดงผลเป็น source profile ได้ในลักษณะที่เป็นกราฟแท่ง (Histogram) โดยการอ่านค่า จุดสีแดง คือ เปอร์เซ็นต์ของชนิดสารเคมีที่อยู่ในฝุ่นที่ตรวจวัดได้ และกราฟแท่ง คือ ความเข้มข้นของชนิดสารเคมีที่ตรวจวัดได้ ต้องพิจารณาจากบนลงล่างเพื่อเปรียบเทียบปริมาณของชนิดสารเคมีที่สนใจในแต่ละ factor ซึ่งพบว่าจำนวน factor ที่เหมาะสมคือ 7 factor หรือหมายถึง มีแหล่งกำเนิดมลพิษ 7 แหล่ง เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.8 และ 3.9 จะเห็นได้ว่าใน factor 1 มีค่าความเข้มข้นของ Mn สูง ดังนั้นแหล่งกำเนิดคือ Crustal dust ใน factor 2 มีค่าความเข้มข้นของ Cu สูง ดังนั้นแหล่งกำเนิดคือ

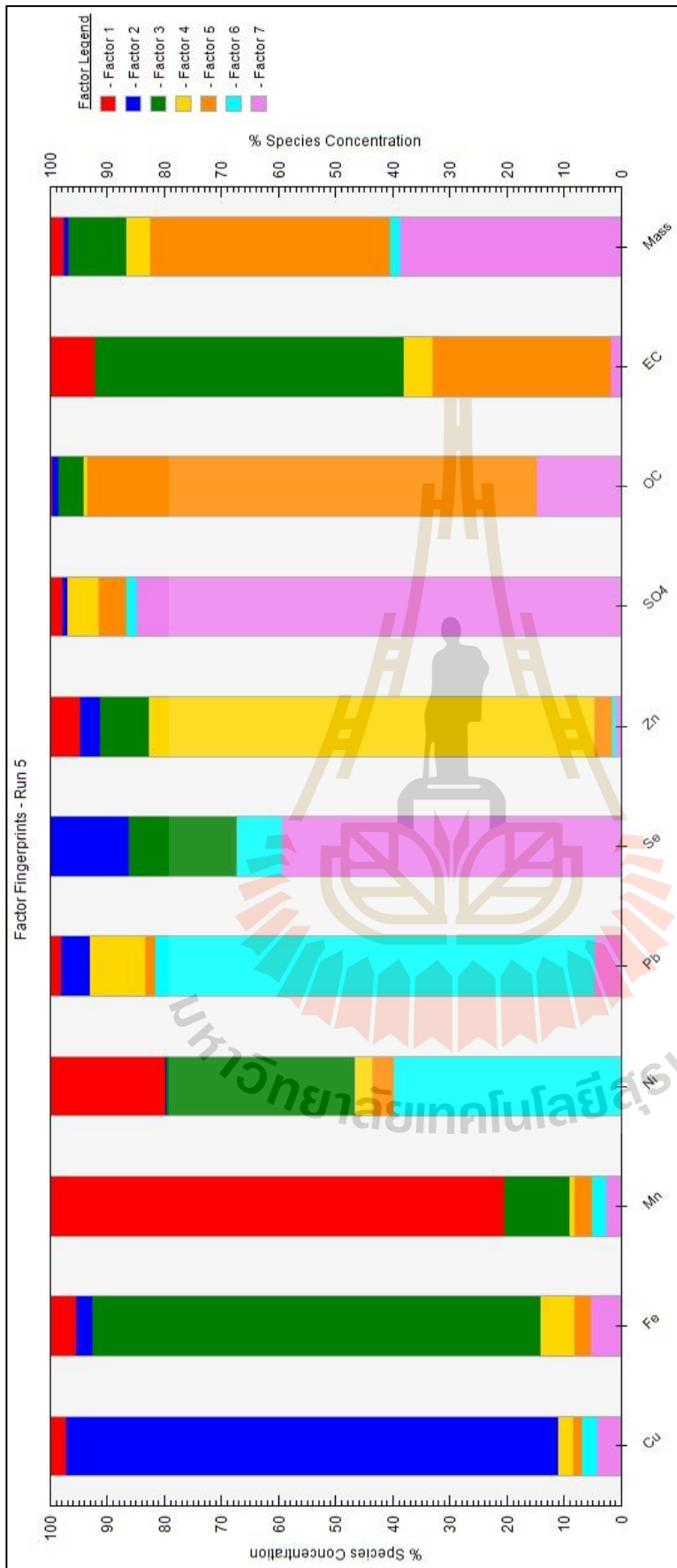
Copper smelter ใน factor 3 มีค่าความเข้มข้นของ Fe และ EC สูง ดังนั้นแหล่งกำเนิดคือ Iron and coal ใน factor 4 มีค่าความเข้มข้นของ Zn สูง ดังนั้นแหล่งกำเนิดคือ Zinc smelter ใน factor 5 มีค่าความเข้มข้นของ OC และ EC สูง ดังนั้นแหล่งกำเนิดคือ Motor vehicle ใน factor 6 มีค่าความเข้มข้นของ Pb สูง ดังนั้นแหล่งกำเนิดคือ Lead smelter และใน factor 7 มีค่าความเข้มข้นของ  $\text{SO}_4$  และ Se สูง ดังนั้นแหล่งกำเนิดคือ Coal combustion เนื่องจากในการที่จะสามารถระบุแหล่งกำเนิดได้ ต้องอาศัย source fingerprints ดังนั้น อาจจะใช้ผลการประมวลผลจากรูปที่ ง.9 ในการวิเคราะห์หาแหล่งกำเนิดแทนได้ ซึ่งจะสังเกตผลได้ง่ายกว่า รูปที่ ง.8 และ source profile ที่ได้ทั้ง 7 factor สามารถสรุปได้ดังนี้ Crustal dust (Mn), Copper smelter (Cu), Iron and coal (Fe, EC), Zinc smelter (Zn), Motor vehicle (OC, EC), Lead smelter (Pb) และ Coal combustion ( $\text{SO}_4$ , Se) ตามลำดับ และผลการประมวลผลสามารถจำแนกสัดส่วนของแหล่งมลพิษได้ดังรูป ง.10 ซึ่งจะเป็นกราฟรูปวงกลม โดยเป็นสัดส่วนร้อยละของแหล่งกำเนิดมลพิษแต่ละ factor ส่วนในการปรับ Fpeak นั้น จะเป็นการปรับให้ค่าที่ได้จาก Base model results เพื่อลดการรบกวนของสารเคมีที่วิเคราะห์บางชนิดใน Factor นั้นๆ ทำให้สัดส่วนร้อยละของแหล่งกำเนิดมลพิษในแต่ละ factor นั้น แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งในโปรแกรมมีค่า Fpeak อยู่ 5 ช่อง รูปที่ ง.11 โดยเป็นการเปรียบเทียบหาค่า Fpeak ที่เหมาะสมใน 5 ค่าที่ป้อนเข้าไป ตัวอย่างการประมวลผลของ Source profile ที่ถูกปรับค่า Fpeak แสดงดังรูปที่ ง.12



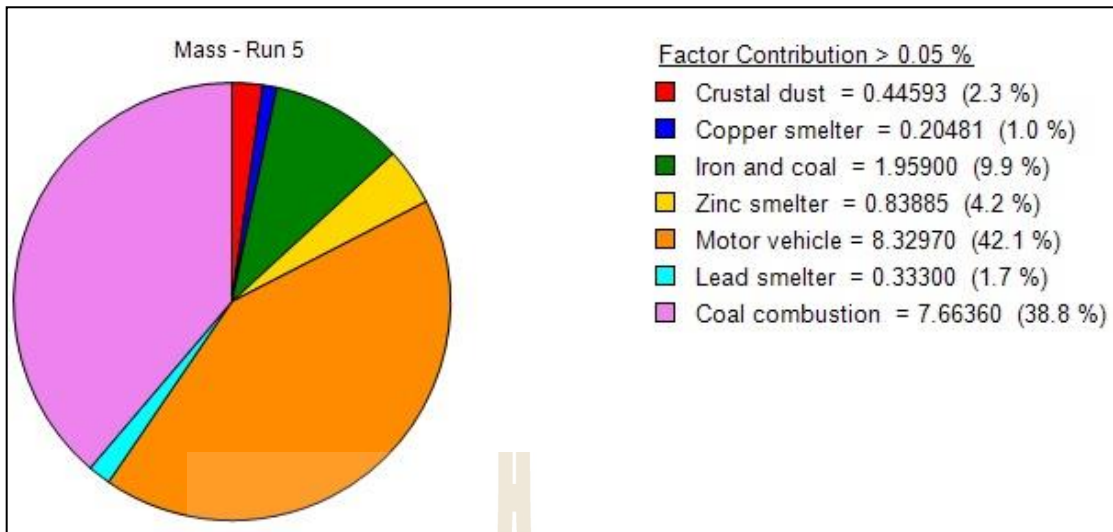
รูปที่ ง.7 การเปรียบเทียบผลตรวจวัดสารเคมีกับผลการประมวลผลของแบบจำลอง ณ ระยะเวลาต่างๆ



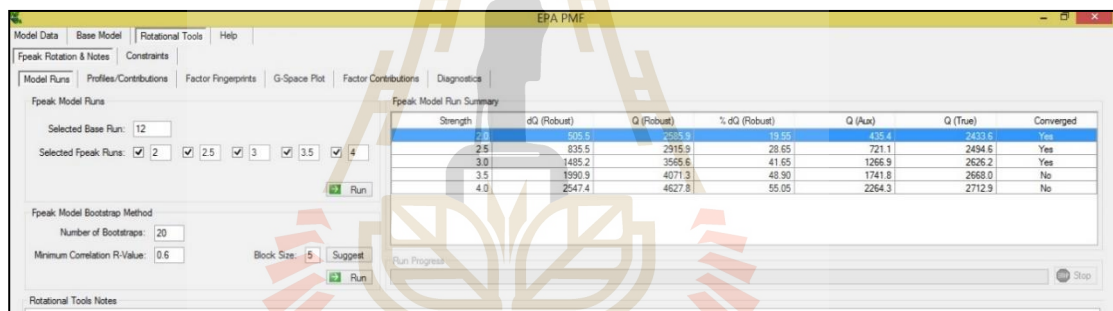
รูปที่ ๓.๘ การประมวลผลเป็น Source profile



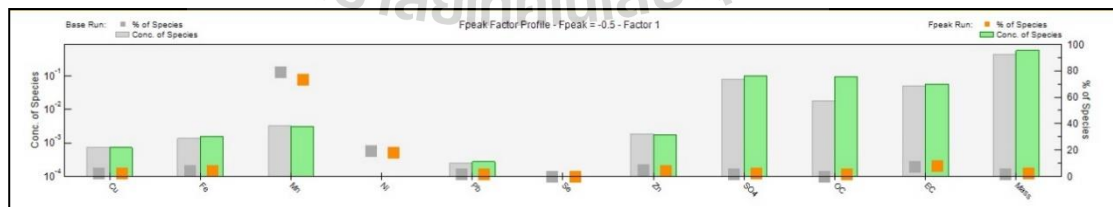
รูปที่ ๓.๙ การประมวลผลเป็น factor fingerprints



รูปที่ ง.10 การประมวลผลเป็น factor contribution



รูปที่ ง.11 การป้อนข้อมูล Fpeak



รูปที่ ง.12 Source profile ของการปรับค่า Fpeak

The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, stylized emblem. It features a central figure of a person standing on a pedestal, surrounded by a circular base with a scalloped edge. Above the figure are several horizontal bars, resembling a ladder or a staircase, leading up to a pointed top. The entire logo is rendered in a light, semi-transparent gold and red color.

ภาคผนวก จ

ผลการประมวลของแบบจำลอง PMF model

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ จ.1 Source contribution หรือค่าความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดในแต่ละวัน ในเขตเมือง  
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

วันที่	Construction dust	Industry	Soil dust	Biomass burning	Traffic emission
18 พ.ย. 59	1.18	2.35	1.72	10.12	9.97
24 พ.ย. 59	0.30	1.90	6.93	0	2.36
25 พ.ย. 59	0.73	0.58	12.84	0.68	0.04
26 พ.ย. 59	0.35	0.25	7.56	0	9.41
27 พ.ย. 59	4.28	0.01	13.49	0	1.20
28 พ.ย. 59	11.54	1.29	5.14	9.40	1.68
29 พ.ย. 59	13.39	0.57	7.87	8.08	0
30 พ.ย. 59	12.14	0.29	9.85	1.44	0.05
9 ธ.ค. 59	23.52	0	5.37	10.22	12.26
10 ธ.ค. 59	21.07	1.13	0	16.74	25.03
11 ธ.ค. 59	18.21	0.74	0	0	38.87
12 ธ.ค. 59	16.94	0	5.82	14.99	10.06
13 ธ.ค. 59	5.86	2.77	0	16.46	12.90
14 ธ.ค. 59	1.50	2.62	2.52	0	14.99
15 ธ.ค. 59	3.39	0.55	8.28	0	0
1 ม.ค. 60	5.10	2.57	0	8.90	9.16
2 ม.ค. 60	2.04	3.11	1.07	8.78	5.54
3 ม.ค. 60	1.27	2.53	2.24	11.86	2.20
4 ม.ค. 60	3.70	1.65	5.64	21.56	0
5 ม.ค. 60	0.00	3.25	0	3.77	16.78
6 ม.ค. 60	1.04	2.70	0.75	20.63	5.58
7 ม.ค. 60	0.00	2.87	0.82	20.98	11.18
15 ม.ค. 60	0.69	1.20	5.99	17.24	3.33
16 ม.ค. 60	0	1.36	5.93	14.45	0
17 ม.ค. 60	0	1.58	3.54	19.28	0
18 ม.ค. 60	0.08	2.05	2.64	17.20	4.68
19 ม.ค. 60	0	2.49	1.96	11.29	7.05



ตารางที่ จ.1 Source contribution หรือค่าความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดในแต่ละวัน ในเขตเมือง  
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (ต่อ)

วันที่	Construction dust	Industry	Soil dust	Biomass burning	Traffic emission
20 ม.ค. 60	0.10	2.28	3.07	6.76	5.05
21 ม.ค. 60	0.30	3.20	0.95	5.67	6.38
29 ม.ค. 60	2.44	2.00	1.34	32.99	19.23
30 ม.ค. 60	1.90	2.52	2.47	9.53	13.94
31 ม.ค. 60	0.50	1.29	2.97	9.23	33.48
1 ก.พ. 60	0.70	2.35	3.25	8.34	12.67
2 ก.พ. 60	0	2.21	2.12	3.84	10.73
3 ก.พ. 60	0	2.36	3.17	21.06	1.53
4 ก.พ. 60	0.14	0	8.84	1.38	31.97
14 ก.พ. 60	10.25	0	8.28	24.29	1.65
15 ก.พ. 60	1.97	0.66	6.24	10.68	18.86
16 ก.พ. 60	2.82	0.47	7.82	0	25.17
17 ก.พ. 60	1.95	0.25	8.99	0	22.61
18 ก.พ. 60	1.54	0	9.48	0.46	27.72

ตารางที่ จ.2 Source contribution หรือค่าความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดในแต่ละวัน ในเขต  
อุตสาหกรรม ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

วันที่	Residual oil combustion	Industry	Soil dust	Biomass burning	Traffic emission
18 พ.ย. 59	0.56	14.23	5.49	4.05	4.96
24 พ.ย. 59	1.29	16.62	0	1.05	0
25 พ.ย. 59	0.79	29.59	0	0	0
26 พ.ย. 59	0.77	13.61	6.09	0.94	0
27 พ.ย. 59	0.69	12.62	0	1.55	9.74
28 พ.ย. 59	0.67	15.43	4.34	9.34	2.36
29 พ.ย. 59	0.78	11.16	0	5.72	12.25
30 พ.ย. 59	0.43	23.24	0	8.43	0
9 ธ.ค. 59	0.36	7.76	0	0	49.01
10 ธ.ค. 59	0	6.08	12.23	21.66	23.92
11 ธ.ค. 59	0.09	15.81	1.04	21.66	27.47
12 ธ.ค. 59	0	20.37	15.47	28.32	0
13 ธ.ค. 59	0.27	13.59	15.35	9.46	0
14 ธ.ค. 59	0.48	12.48	7.96	4.80	0
15 ธ.ค. 59	0.81	8.79	5.73	4.52	0
1 ม.ค. 60	0	3.97	0	3.87	18.16
2 ม.ค. 60	0.95	1.43	0	5.04	16.43
3 ม.ค. 60	1.11	0	0	0.45	23.26
4 ม.ค. 60	0.65	0	4.61	0.66	33.33
5 ม.ค. 60	0.77	0	3.77	0	25.01
6 ม.ค. 60	0.67	0.13	2.98	0.67	24.51
7 ม.ค. 60	0.95	0	6.98	0	24.57
15 ม.ค. 60	0.34	0	15.45	0.36	16.68
16 ม.ค. 60	0.48	2.00	14.78	0.67	7.67
17 ม.ค. 60	0.69	7.84	12.16	3.51	1.70
18 ม.ค. 60	0.47	0	15.31	0	20.46

ตารางที่ จ.2 Source contribution หรือค่าความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดในแต่ละวัน ในเขต  
อุตสาหกรรม ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) (ต่อ)

วันที่	Residual oil combustion	Industry	Soil dust	Biomass burning	Traffic emission
19 ม.ค. 60	0.78	1.92	17.27	1.09	9.85
20 ม.ค. 60	0.92	1.51	1.56	0	22.38
21 ม.ค. 60	0.12	1.23	11.09	2.88	5.05
29 ม.ค. 60	0.19	4.38	3.32	22.96	28.96
30 ม.ค. 60	0	0	16.54	0	43.25
31 ม.ค. 60	0.14	1.20	20.35	4.94	16.54
1 ก.พ. 60	0.42	0.26	14.59	2.20	14.98
2 ก.พ. 60	0.57	7.50	12.43	1.79	0
3 ก.พ. 60	0.20	5.98	9.39	8.84	11.08
4 ก.พ. 60	0	22.41	11.47	0	22.18
14 ก.พ. 60	0	14.21	12.67	10.16	12.60
15 ก.พ. 60	0.62	24.71	0	0	12.77
16 ก.พ. 60	0.53	16.19	0	2.81	31.68
17 ก.พ. 60	0.77	15.05	0	0	20.79
18 ก.พ. 60	0.80	16.30	0	0	22.84

ตารางที่ จ.3 ค่า Source profiles หรือค่าความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละแหล่งกำเนิด ในเขตเมือง  
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

พารามิเตอร์	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	ผลรวมทุก Factor
PM <sub>2.5</sub>	4.4756	4.1406	10.4280	9.3806	1.4869	29.9117
BC	0.1442	0.0571	0.1925	0.1652	0.0811	0.6401
Cl <sup>-</sup>	0.0413	0.0000	0.1240	0.0000	0.0000	0.1653
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1536	0.0525	0.3889	0.3555	0.0394	0.9898
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.2048	1.3990	0.8130	0.4252	0.3072	3.1492
Ca <sup>2+</sup>	0.1873	0.0550	0.0981	0.1365	0.3345	0.8113
K <sup>+</sup>	0.0755	0.0742	0.0886	0.1350	0.0000	0.3732
Na <sup>+</sup>	0.5423	0.1005	0.1492	0.0000	0.5661	1.3582
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.0008	0.0012	0.0000	0.0020	0.0000	0.0040
Mg	0.0509	0.0096	0.0162	0.0057	0.0478	0.1301
Al	0.0330	0.0057	0.0219	0.0027	0.0058	0.0692
Ti	0.0003	0.0003	0.0005	0.0001	0.0008	0.0020
V	0.0000	0.0002	0.0005	0.0000	0.0002	0.0009
Cr	0.0389	0.0054	0.0159	0.0121	0.0411	0.1134
Mn	0.0002	0.0026	0.0008	0.0000	0.0000	0.0036
Fe	0.0292	0.0181	0.0279	0.0002	0.0057	0.0810
Ni	0.0006	0.0000	0.0000	0.0005	0.0002	0.0013
Cu	0.0064	0.0048	0.0000	0.0000	0.0000	0.0112
Zn	0.0020	0.0117	0.0044	0.0004	0.0076	0.0260
As	0.0000	0.0010	0.0002	0.0001	0.0002	0.0015
Se	0.0001	0.0003	0.0002	0.0002	0.0001	0.0008
Sr	0.0005	0.0002	0.0002	0.0000	0.0003	0.0012
Ag	0.0001	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0004
Cd	0.0000	0.0003	0.0001	0.0001	0.0000	0.0005
Sb	0.0003	0.0007	0.0003	0.0000	0.0007	0.0019
Ba	0.0047	0.0026	0.0036	0.0011	0.0006	0.0125
Tl	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
Pb	0.0002	0.0058	0.0018	0.0013	0.0013	0.0104

ตารางที่ จ.4 ค่า Source profiles หรือค่าความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละแหล่งกำเนิด ในเขต  
อุตสาหกรรม ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

พารามิเตอร์	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	ผลรวมทุก Factor
PM <sub>2.5</sub>	4.4485	0.5057	6.4338	8.8202	14.5970	34.8052
BC	0.0529	0.0420	0.1161	0.1009	0.1978	0.5096
Cl <sup>-</sup>	0.0000	0.0000	0.0626	0.0659	0.0207	0.1492
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.1193	0.0522	0.2750	0.2277	0.4077	1.0818
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.8874	0.3677	0.0411	0.4189	1.3423	3.0573
Ca <sup>2+</sup>	0.0967	0.3260	0.2525	0.0863	0.0912	0.8528
K <sup>+</sup>	0.1059	0.0000	0.0627	0.1275	0.1616	0.4577
Na <sup>+</sup>	0.0671	0.4367	0.2909	0.2507	0.2755	1.3209
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.0038	0.0258	0.0000	0.0159	0.4564	0.5019
Mg	0.0047	0.0382	0.0237	0.0299	0.0327	0.1292
Al	0.0026	0.0066	0.0123	0.0388	0.0184	0.0788
Ti	0.0002	0.0008	0.0004	0.0000	0.0006	0.0020
V	0.0000	0.0020	0.0000	0.0000	0.0010	0.0030
Cr	0.0036	0.0389	0.0235	0.0192	0.0248	0.1099
Mn	0.0000	0.0000	0.0003	0.0034	0.0010	0.0047
Fe	0.0000	0.0130	0.0060	0.0704	0.0132	0.1026
Ni	0.0000	0.0058	0.0023	0.0000	0.0000	0.0081
Cu	0.0000	0.0000	0.0000	0.0091	0.0025	0.0115
Zn	0.0005	0.0101	0.0014	0.0171	0.0204	0.0495
As	0.0007	0.0000	0.0000	0.0002	0.0005	0.0013
Se	0.0003	0.0000	0.0000	0.0002	0.0004	0.0008
Sr	0.0000	0.0000	0.0002	0.0006	0.0005	0.0014
Ag	0.0000	0.0001	0.0004	0.0008	0.0000	0.0013
Cd	0.0000	0.0000	0.0002	0.0003	0.0002	0.0008
Sb	0.0011	0.0003	0.0000	0.0002	0.0007	0.0023
Ba	0.0023	0.0022	0.0025	0.0048	0.0019	0.0137
Tl	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
Pb	0.0053	0.0000	0.0000	0.0012	0.0034	0.0098

ตารางที่ จ.5 สัดส่วนความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีต่อ  $PM_{2.5}$  ที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง PMF model ในแต่ละ Factor ( $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ ) ในพื้นที่เขตเมือง

พารามิเตอร์	Soil dust	Construction dust	Traffic emission	Biomass burning	Industry
$PM_{2.5}$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
BC	0.0322	0.0000	0.0185	0.0176	0.0545
Cl <sup>-</sup>	0.0092	0.0000	0.0119	0.0000	0.0000
$NO_3^-$	0.0343	0.0127	0.0373	0.0379	0.0265
$SO_4^{2-}$	0.0457	0.3379	0.0780	0.0453	0.2066
$Ca^{2+}$	0.0419	0.0133	0.0094	0.0146	0.2249
$K^+$	0.0169	0.0179	0.0085	0.0144	0.0000
$Na^+$	0.1212	0.0243	0.0143	0.0000	0.3807
$NH_4^+$	0.0002	0.0003	0.0000	0.0002	0.0000
Mg	0.0114	0.0023	0.0016	0.0006	0.0321
Al	0.0074	0.0014	0.0021	0.0003	0.0039
Ti	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0005
V	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
Cr	0.0087	0.0013	0.0015	0.0013	0.0276
Mn	0.0001	0.0006	0.0001	0.0000	0.0000
Fe	0.0065	0.0044	0.0027	0.0000	0.0038
Ni	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001
Cu	0.0014	0.0012	0.0000	0.0000	0.0000
Zn	0.0004	0.0028	0.0004	0.0000	0.0051
As	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001
Se	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
Sr	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002
Ag	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cd	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Sb	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0004
Ba	0.0010	0.0006	0.0003	0.0001	0.0004
Tl	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Pb	0.0000	0.0014	0.0002	0.0001	0.0009

ตารางที่ จ.6 สัดส่วนความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีต่อ  $PM_{2.5}$  ที่ได้จากการคำนวณของแบบจำลอง PMF model ในแต่ละ Factor ( $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ ) ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	Biomass burning	Residual oil combustion	Soil dust	Industry	Traffic emission
$PM_{2.5}$	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
BC	0.0119	0.0000	0.0180	0.0114	0.0135
Cl <sup>-</sup>	0.0000	0.0000	0.0097	0.0075	0.0014
$NO_3^-$	0.0268	0.1031	0.0427	0.0258	0.0279
$SO_4^{2-}$	0.1995	0.7270	0.0064	0.0475	0.0920
$Ca^{2+}$	0.0217	0.6446	0.0392	0.0098	0.0063
$K^+$	0.0238	0.0000	0.0097	0.0145	0.0111
$Na^+$	0.0151	0.8635	0.0452	0.0284	0.0189
$NH_4^+$	0.0009	0.0509	0.0000	0.0018	0.0313
Mg	0.0010	0.0756	0.0037	0.0034	0.0022
Al	0.0006	0.0131	0.0019	0.0044	0.0013
Ti	0.0000	0.0016	0.0001	0.0000	0.0000
V	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0001
Cr	0.0008	0.0769	0.0037	0.0022	0.0017
Mn	0.0000	0.0001	0.0000	0.0004	0.0001
Fe	0.0000	0.0257	0.0009	0.0080	0.0009
Ni	0.0000	0.0115	0.0004	0.0000	0.0000
Cu	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0002
Zn	0.0001	0.0199	0.0002	0.0019	0.0014
As	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Se	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sr	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Ag	0.0000	0.0002	0.0001	0.0001	0.0000
Cd	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Sb	0.0002	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000
Ba	0.0005	0.0044	0.0004	0.0005	0.0001
Tl	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Pb	0.0012	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002



ตารางที่ จ.7 เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีแต่ละ Factor (%) ในพื้นที่เขตเมือง

พารามิเตอร์	Soil dust	Construction dust	Traffic emission	Biomass burning	Industry
PM <sub>2.5</sub>	15.02	13.90	34.81	31.31	4.95
BC	22.53	8.93	30.08	25.80	12.66
Cl <sup>-</sup>	24.99	0.00	75.01	0.00	0.00
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	15.52	5.30	39.29	35.91	3.98
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	6.50	44.42	25.82	13.50	9.75
Ca <sup>2+</sup>	23.09	6.77	12.09	16.83	41.22
K <sup>+</sup>	20.23	19.87	23.74	36.16	0.00
Na <sup>+</sup>	39.93	7.40	10.99	0.00	41.68
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	19.91	30.20	0.00	49.89	0.00
Mg	39.11	7.34	12.43	4.39	36.73
Al	47.77	8.27	31.71	3.92	8.33
Ti	15.47	13.65	24.09	6.72	40.06
V	1.72	25.31	51.30	0.00	21.67
Cr	34.26	4.76	14.06	10.68	36.24
Mn	6.73	70.73	22.55	0.00	0.00
Fe	36.05	22.30	34.39	0.20	7.06
Ni	49.48	0.00	0.00	36.32	14.20
Cu	57.08	42.92	0.00	0.00	0.00
Zn	7.72	44.79	16.94	1.49	29.08
As	0.00	64.33	13.64	9.07	12.96
Se	7.74	40.43	21.14	21.59	9.10
Sr	41.03	12.42	15.64	3.80	27.12
Ag	28.31	30.48	41.21	0.00	0.00
Cd	1.12	57.24	22.77	18.45	0.42
Sb	15.61	34.99	15.29	0.00	34.11
Ba	37.39	20.83	28.48	8.54	4.76
Tl	0.79	57.29	17.74	17.75	6.43
Pb	1.69	56.05	17.04	12.69	12.53

ตารางที่ จ.8 เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบทางเคมีแต่ละ Factor (%) ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม

พารามิเตอร์	Biomass burning	Residual oil combustion	Soil dust	Industry	Traffic emission
PM <sub>2.5</sub>	12.96	1.44	18.46	25.29	41.85
BC	10.38	8.24	22.77	19.81	38.81
Cl <sup>-</sup>	0.00	0.00	41.94	44.00	13.88
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	11.03	4.82	25.42	21.05	37.69
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	29.03	12.03	1.34	13.70	43.90
Ca <sup>2+</sup>	11.34	38.23	29.61	10.12	10.70
K <sup>+</sup>	23.13	0.00	13.70	27.86	35.31
Na <sup>+</sup>	5.08	33.06	22.02	18.98	20.86
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.76	5.13	0.00	3.18	90.93
Mg	3.60	29.58	18.36	23.17	25.29
Al	3.33	8.43	15.62	49.25	23.38
Ti	10.94	39.40	21.85	0.00	27.82
V	0.00	66.44	0.00	0.00	33.56
Cr	3.25	35.38	21.37	17.46	22.54
Mn	0.00	0.79	6.79	71.24	21.19
Fe	0.00	12.65	5.89	68.57	12.88
Ni	0.00	71.70	28.30	0.00	0.00
Cu	0.00	0.00	0.00	78.70	21.30
Zn	1.03	20.32	2.90	34.53	41.22
As	49.59	0.00	0.00	13.39	37.02
Se	34.74	0.00	0.00	22.00	43.26
Sr	2.59	1.25	17.42	40.70	38.03
Ag	0.00	8.94	33.99	57.06	0.00
Cd	4.06	6.15	20.97	37.63	31.19
Sb	47.91	12.01	1.13	8.58	30.36
Ba	16.80	16.32	18.01	34.93	13.94
Tl	42.20	2.45	1.97	11.60	41.78
Pb	53.85	0.00	0.00	12.03	34.12

ตารางที่ จ.9 การเปรียบเทียบค่า Calculated Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) กับ Measured Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในพื้นที่เขตเมือง

วันที่	Construction dust	Industry	Soil dust	Biomass burning	Traffic emission	Calculated Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Measured Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
18 พ.ย. 59	1.72	1.18	9.97	10.12	2.35	25.34	25.34
24 พ.ย. 59	6.93	0.30	2.36	-0.73	1.90	10.75	10.76
25 พ.ย. 59	12.84	0.73	0.04	0.68	0.58	14.87	14.87
26 พ.ย. 59	7.56	0.35	9.41	-1.88	0.25	15.69	15.67
27 พ.ย. 59	13.49	4.28	1.20	-1.88	0.01	17.11	16.88
28 พ.ย. 59	5.14	11.54	1.68	9.40	1.29	29.06	29.06
29 พ.ย. 59	7.87	13.39	-2.09	8.08	0.57	27.82	27.84
30 พ.ย. 59	9.85	12.14	0.05	1.44	0.29	23.77	23.78
9 ธ.ค. 59	5.37	23.52	12.26	10.22	-0.30	51.08	51.08
10 ธ.ค. 59	-0.90	21.07	25.03	16.74	1.13	63.07	63.08
11 ธ.ค. 59	-0.01	18.21	38.87	-1.88	0.74	55.94	55.92
12 ธ.ค. 59	5.82	16.94	10.06	14.99	-0.30	47.52	47.52
13 ธ.ค. 59	-0.90	5.86	12.90	16.46	2.77	37.10	37.10
14 ธ.ค. 59	2.52	1.50	14.99	-1.88	2.62	19.76	19.72
15 ธ.ค. 59	8.28	3.39	-2.09	-1.88	0.55	8.25	8.15
1 ม.ค. 60	-0.36	5.10	9.16	8.90	2.57	25.36	25.36
2 ม.ค. 60	1.07	2.04	5.54	8.78	3.11	20.54	20.54
3 ม.ค. 60	2.24	1.27	2.20	11.86	2.53	20.09	20.07
4 ม.ค. 60	5.64	3.70	-1.96	21.56	1.65	30.58	30.59
5 ม.ค. 60	-0.48	-0.26	16.78	3.77	3.25	23.06	23.05
6 ม.ค. 60	0.75	1.04	5.58	20.63	2.70	30.70	30.71
7 ม.ค. 60	0.82	-0.14	11.18	20.98	2.87	35.71	35.78
15 ม.ค. 60	5.99	0.69	3.33	17.24	1.20	28.45	28.39
16 ม.ค. 60	5.93	-0.22	-1.62	14.45	1.36	19.89	19.89
17 ม.ค. 60	3.54	-0.47	-0.15	19.28	1.58	23.78	23.77
18 ม.ค. 60	2.64	0.08	4.68	17.20	2.05	26.65	26.65
19 ม.ค. 60	1.96	-0.24	7.05	11.29	2.49	22.54	22.54
20 ม.ค. 60	3.07	0.10	5.05	6.76	2.28	17.25	17.24
21 ม.ค. 60	0.95	0.30	6.38	5.67	3.20	16.49	16.49
29 ม.ค. 60	1.34	2.44	19.23	32.99	2.00	58.01	58.01
30 ม.ค. 60	2.47	1.90	13.94	9.53	2.52	30.36	30.33
31 ม.ค. 60	2.97	0.50	33.48	9.23	1.29	47.47	47.44
1 ก.พ. 60	3.25	0.70	12.67	8.34	2.35	27.31	27.30
2 ก.พ. 60	2.12	-0.83	10.73	3.84	2.21	18.08	18.11

ตารางที่ จ.9 การเปรียบเทียบค่า Calculated Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) กับ Measured Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในพื้นที่เขตเมือง (ต่อ)

วันที่	Construction dust	Industry	Soil dust	Biomass burning	Traffic emission	Calculated Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Measured Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
3 ก.พ. 60	3.17	-0.06	1.53	21.06	2.36	28.06	28.07
4 ก.พ. 60	8.84	0.14	31.97	1.38	-0.30	42.03	42.09
14 ก.พ. 60	8.28	10.25	1.65	24.29	0.00	44.47	44.47
15 ก.พ. 60	6.24	1.97	18.86	10.68	0.66	38.41	38.41
16 ก.พ. 60	7.82	2.82	25.17	-1.88	0.47	34.40	34.41
17 ก.พ. 60	8.99	1.95	22.61	-1.88	0.25	31.92	31.91
18 ก.พ. 60	9.48	1.54	27.72	0.46	-0.27	38.92	38.93

ตารางที่ จ.10 การเปรียบเทียบค่า Calculated Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) กับ Measured Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม

วันที่	Biomass burning	Residual oil combustion	Soil dust	Industry	Traffic emission	Calculated Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Measured Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
18 พ.ย. 59	4.05	0.56	5.49	14.23	4.96	29.29	25.34
24 พ.ย. 59	1.05	1.29	-1.29	16.62	-2.92	14.75	10.76
25 พ.ย. 59	-0.89	0.79	-1.29	29.59	-2.92	25.28	14.87
26 พ.ย. 59	0.94	0.77	6.09	13.61	-2.04	19.37	15.67
27 พ.ย. 59	1.55	0.69	-1.29	12.62	9.74	23.31	16.88
28 พ.ย. 59	9.34	0.67	4.34	15.43	2.36	32.13	29.06
29 พ.ย. 59	5.72	0.78	-1.29	11.16	12.25	28.63	27.84
30 พ.ย. 59	8.43	0.43	-1.29	23.24	-1.02	29.79	23.78
9 ธ.ค. 59	-0.89	0.36	-1.29	7.76	49.01	54.96	51.08
10 ธ.ค. 59	21.66	-0.06	12.23	6.08	23.92	63.83	63.08
11 ธ.ค. 59	21.66	0.09	1.04	15.81	27.47	66.07	55.92
12 ธ.ค. 59	28.32	-0.10	15.47	20.37	-1.68	62.38	47.52
13 ธ.ค. 59	9.46	0.27	15.35	13.59	-1.43	37.25	37.10
14 ธ.ค. 59	4.80	0.48	7.96	12.48	-1.96	23.76	19.72
15 ธ.ค. 59	4.52	0.81	5.73	8.79	-2.03	17.82	8.15
1 ม.ค. 60	3.87	-0.09	-0.72	3.97	18.16	25.19	25.36
2 ม.ค. 60	5.04	0.95	-1.29	1.43	16.43	22.57	20.54
3 ม.ค. 60	0.45	1.11	-1.29	-1.67	23.26	21.87	20.07
4 ม.ค. 60	0.66	0.65	4.61	-1.76	33.33	37.48	30.59
5 ม.ค. 60	-0.89	0.77	3.77	-0.29	25.01	28.37	23.05
6 ม.ค. 60	0.67	0.67	2.98	0.13	24.51	28.96	30.71

ตารางที่ จ.10 การเปรียบเทียบค่า Calculated Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) กับ Measured Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ในพื้นที่เขต  
อุตสาหกรรม (ต่อ)

วันที่	Biomass burning	Residual oil combustion	Soil dust	Industry	Traffic emission	Calculated Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Measured Mass ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
7 ม.ค. 60	-0.89	0.95	6.98	-1.74	24.57	29.86	35.78
15 ม.ค. 60	0.36	0.34	15.45	-0.70	16.68	32.13	28.39
16 ม.ค. 60	0.67	0.48	14.78	2.00	7.67	25.60	19.89
17 ม.ค. 60	3.51	0.69	12.16	7.84	1.70	25.90	23.77
18 ม.ค. 60	-0.89	0.47	15.31	-0.36	20.46	35.00	26.65
19 ม.ค. 60	1.09	0.78	17.27	1.92	9.85	30.92	22.54
20 ม.ค. 60	-0.89	0.92	1.56	1.51	22.38	25.47	17.24
21 ม.ค. 60	2.88	0.12	11.09	1.23	5.05	20.36	16.49
29 ม.ค. 60	22.96	0.19	3.32	4.38	28.96	59.81	58.01
30 ม.ค. 60	-0.89	-0.10	16.54	-0.93	43.25	57.87	30.33
31 ม.ค. 60	4.94	0.14	20.35	1.20	16.54	43.16	47.44
1 ก.พ. 60	2.20	0.42	14.59	0.26	14.98	32.45	27.30
2 ก.พ. 60	1.79	0.57	12.43	7.50	-1.32	20.97	18.11
3 ก.พ. 60	8.84	0.20	9.39	5.98	11.08	35.49	28.07
4 ก.พ. 60	-0.89	-0.01	11.47	22.41	22.18	55.17	42.09
14 ก.พ. 60	10.16	-0.09	12.67	14.21	12.60	49.54	44.47
15 ก.พ. 60	-0.46	0.62	-1.29	24.71	12.77	36.36	38.41
16 ก.พ. 60	2.81	0.53	-1.29	16.19	31.68	49.92	34.41
17 ก.พ. 60	-0.89	0.77	-1.29	15.05	20.79	34.44	31.91
18 ก.พ. 60	-0.41	0.80	-1.29	16.30	22.84	38.24	38.93

The logo of Sakon Nakhon Rajabhat University is a large, stylized emblem. It features a central figure of a person standing on a pedestal, surrounded by a circular base with a gear-like or sunburst pattern. Above the figure are several vertical lines of varying heights, resembling a stylized 'H' or a traditional architectural element. The entire logo is rendered in a light, semi-transparent gold or beige color.

ภาคผนวก ฉ

รายชื่อสถานประกอบการในเขตอุตสาหกรรมอุตสาหกรรมสุรนารี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ๑.1 รายชื่อบริษัทและประเภทกิจการในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี

ลำดับ	ชื่อบริษัท	ประเภทกิจการ
1	หจก. สุรนารีมอเตอร์เวอร์ค	ให้เช่ารถ (รถ JCB รถบด รถเครน)
2	ศูนย์คมนาควาเทียม นครราชสีมา	ให้ข้อมูลทางโทรศัพท์
3	บริษัท ทีไอที จำกัด (มหาชน)	บำรุงรักษาโทรศัพท์
4	บริษัท เขตอุตสาหกรรมสุรนารี	พัฒนาที่ดิน
5	หน่วยรักษาความปลอดภัย	บริการ ร.ป.ภ.
6	บริษัท อีตัน อินดัสทรีส์ (ประเทศไทย) จำกัด	ผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง
7	บริษัท พิค อินดัสเตรียลไทย คอร์เปอร์เรชั่น จำกัด	ลวดสลิง
8	บริษัท ซี. แอล. เอส. อินดัสเตรียล จำกัด	ผลิตภัณฑ์พลาสติก
9	บริษัท นิชิกาว่า เตซาฟลาติส กูเปอร์ จำกัด	ชิ้นส่วนประเภทยาง
10	บริษัท นิชิกาว่า เตซาฟลาติส กูเปอร์ จำกัด	ชิ้นส่วนประเภทยาง
11	บริษัท เวสต์วูดส์ คาร์เปทส์ (ไทยแลนด์) จำกัด	เส้นใยสังเคราะห์
12	บริษัท แอล.บ็อกซ์ จำกัด	กล่องพลาสติก
13	บริษัท แซนเค กิเคน (ไทยแลนด์) จำกัด	ข้อต่อ พี.วี.ซี.
14	บริษัท ซินเอ ไฮ-เทค จำกัด	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
15	บริษัท มิเรเกิล อินทิเมทส์ จำกัด	ผลิตชุดชั้นในสตรี
16	บริษัท สตาร์ คาร์เปท จำกัด	เส้นใยสังเคราะห์
17	บริษัท เอส เจ พลาสติก แอนด์ แพค จำกัด	เทปกาว
18	บริษัท เทนคิง (ประเทศไทย) จำกัด	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
19	บริษัท แวนการ์ด พุสส์ จำกัด	ผลิตภัณฑ์ผักแช่แข็ง
20	บริษัท สตาร์ แมนูแฟกเจอร์ จำกัด	เส้นใยสังเคราะห์
21	บริษัท เอ. เอส. โคราชอุตสาหกรรม จำกัด	ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหนัก
22	บริษัท วาย.ซี.อิน่า (ไทยแลนด์) จำกัด	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
23	บริษัท ไทย เค. บี. เอส. แบตเตอรี่ จำกัด	แบตเตอรี่ รถยนต์
24	บริษัท สตีลเวอร์คส์โปรดักส์(1944) จำกัด	ลิฟท์โดยสาร
25	บริษัท อินโนเวกซ์ (ประเทศไทย) จำกัด	ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์
26	บริษัท แม็กนิเควนซ์ (โคราช) จำกัด	แถบแม่เหล็ก
27	ศูนย์ฝึกอบรมเทคโนโลยี หุณหะวัน	ฝึกอบรมช่างเทคนิค
28	บริษัท สตาเม็ก เทคโนโลยี จำกัด	ผลิตเครื่องจักรให้โรมันสำปะหลัง
29	บริษัท สตาเม็ก เทคโนโลยี จำกัด	ผลิตเครื่องจักรให้โรมันสำปะหลัง
30	บริษัทอินโนเวกซ์ (ประเทศไทย) จำกัด	ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์
31	บริษัท เจริญวิศวกรรม ออพติคัล อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด	ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า



ตารางที่ จ.1 รายชื่อบริษัทและประเภทกิจการในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี (ต่อ)

32	บริษัท ไทยวินิเทค(2002) จำกัด	ท่อ พี.วี.ซี.
33	บริษัท เคียววา โคเกียว (ไทยแลนด์) จำกัด	ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์
34	บริษัท นิชิกาวา เตซาฟลาเลียส คูเปอร์ จำกัด	ชิ้นส่วนประเภทยาง
35	บริษัท โคราช ออโตโมทีฟ จำกัด (เค.เอ.ซี)	ต่อตัวถังรถบรรทุก
36	หจก. เอส. เค. โมเดล	ฉีดพลาสติก
37	บริษัท เทนคิง (ประเทศไทย) จำกัด	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
38	บริษัท ฮันซ่า อินเตอร์เทค จำกัด	หม้อกำเนิดไอน้ำ
39	บริษัท ไทยรุ่งโรจน์ จำกัด	หลอมพลาสติก
40	บริษัท โคราช ไซซัน จำกัด (เค.เอส.ซี.)	แม่พิมพ์โลหะ
41	บริษัท ศรีไทย ซุปเปอร์แวร์ จำกัด (มหาชน)	ผลิตภัณฑ์เมลามีน
42	บริษัท ที.ที. เทคโนโลยีพลาสติก จำกัด	ของเล่นพลาสติก
43	บริษัท เอ็ม. เอ็ม. ที. จำกัด	ชิ้นส่วนประกอบช่วงล่างรถยนต์
44	บริษัท พูมาคิลล่า (ประเทศไทย) จำกัด	ยากันยุง
45	บริษัท แฟรนค้า จิวเวลรี่ จำกัด (มหาชน)	เครื่องประดับ
46	บริษัท คริสตอลไลน์ จำกัด	เจียรไนพลอย
47	บริษัท พอร์เวิร์ด พรีเมียม จำกัด	ของชำร่วยพลาสติก
48	บริษัท แฟรนค้า จิวเวลรี่ จำกัด (มหาชน)	เครื่องประดับ
49	สถานีไฟฟ้าย่อย เขตอุตสาหกรรมสุรนารี	จ่ายกระแสไฟฟ้า
50	บริษัท เทนยู ดีไซน์ จำกัด	อุตสาหกรรมพิมพ์ผ้าและกระดาษ
51	บริษัท ไทยน้ำทิพย์ แมนูแฟคเจอร์ จำกัด	น้ำอัดลม
52	บริษัท ที.พี.เอ. พลาสติก จำกัด, บริษัท ที แอนด์ เอ กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด	ผลิตถุงมือพลาสติก
53	บริษัท นิซชิน เบรก (ประเทศไทย) จำกัด	ผ้าเบรกรถยนต์
54	บริษัท อิตาชิ ออโตโมทีฟ ซิสเต็ม โคราช จำกัด	เบรกรถยนต์ทุกประเภท
55	บริษัท ไคชิน จำกัด	ชิ้นส่วนรถยนต์ โช๊ค-เบรก รถมอเตอร์ไซด์
56	บริษัท โชนัน โกเซอิ (ประเทศไทย) จำกัด	แผ่นพิมพ์พลาสติก
57	หมู่บ้านสุรนารี วิล	บ้านจัดสรร
58	บริษัท คายาม่า เอ็นจินีเยริง จำกัด	ชิ้นส่วนรถยนต์ ชิ้นส่วนมอเตอร์ไซด์
59	บริษัท เนเค็ด(ประเทศไทย) จำกัด	ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า
60	บริษัท ฮอนด้า เฟาตรี (เอเชีย) จำกัด	ชิ้นส่วนอะไหล่
61	บริษัท แบ็กส์แอนด์โกลด์ จำกัด	ผลิตถุงมือพลาสติก

ตารางที่ ๑.1 รายชื่อบริษัทและประเภทกิจการในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี (ต่อ)

62	บริษัท พีแอนด์ ซี ทรัพย์ไพศาล เทรดดิ้ง จำกัด	ผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป
63	บริษัท ฮอนด้า เฟาครี(เอเชีย) จำกัด	ชิ้นส่วนอะไหล่
64	บริษัท หลอม เงิน เงิน จำกัด	ผลิตถุงมือพลาสติก
65	บริษัท ไคชิน จำกัด	สวนสาธิตเกษตรผักปลอดสารพิษ
66	หอพัก พนักงาน บริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์	หอพักพนักงาน
67	เทพรส	ที่ว่าง
68	หมู่บ้านไคชิน	หมู่บ้านไคชิน
69	บริษัท ซินเอ ไฮ-เทค จำกัด	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
70	บริษัท นิซชิน เบรค (ประเทศไทย) จำกัด (2)	เบรครถยนต์ทุกประเภท
71	บริษัท เทนคิง (ประเทศไทย) จำกัด	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
72	คุณสมศักดิ์ เตชะพลาเลิศ	อุตสาหกรรมยาง
73	บริษัท ซินเอ ไฮ-เทค จำกัด	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
74	บริษัท เจวีซีเคนิวค ออพติคัล อิเล็กทรอนิกส์ (ประเทศไทย) จำกัด	ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า
75	บริษัท สตาร์ ซินเซติก ยานส์ จำกัด	เส้นใยสังเคราะห์
76	บริษัท ซินเอ ไฮ-เทค จำกัด	ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
77	ที่ทำการประปา เขตอุตสาหกรรมสุรนารี	ผลิตน้ำประปา
78	คุณฉิลก มหาดำรงกุล	ที่ว่าง
79	สุรนารี SK ปีโตรเลียม 2002	ปั้มน้ำมัน
80	สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน	ที่ว่าง
81	บริษัท ซีโรอิชิ แคลเซียม (ไทยแลนด์) จำกัด	โกดัง
82	บริษัท แพรนต้า ลอดจิ้ง จำกัด	หอพัก
83	บริษัท เอส.ที.เคมีธุรกิจ จำกัด	จำหน่ายเคมีภัณฑ์
84	บริษัท ไคชิน อาร์ทโลจิสติกส์ จำกัด	ขนส่ง
85	บริษัท ที ทารุทานิ แพลท(ประเทศไทย) จำกัด	ผลิตถุงบรรจุภัณฑ์
86	บริษัท ไคชิน จำกัด	ชิ้นส่วนรถยนต์ ไซค์-เบรค รถมอเตอร์ไซค์
87	บริษัท แม็กนิควอนซ์(โคราช) จำกัด	แถบแม่เหล็ก
88	บริษัท นิชิกากว่า เตชะพลาเลิศ คูเปอร์ จำกัด	ที่จอดรถ
89	ศูนย์การค้า	ที่ว่าง
90	บริษัท มิตรราชสีมา เทรดดิ้ง จำกัด	คลังสินค้า
91	พื้นที่ว่างรอขาย	ที่ว่าง
92	บริษัท แกรนด์สตาร์ไทย อิเล็กทรอนิกส์ จำกัด	ที่ว่าง

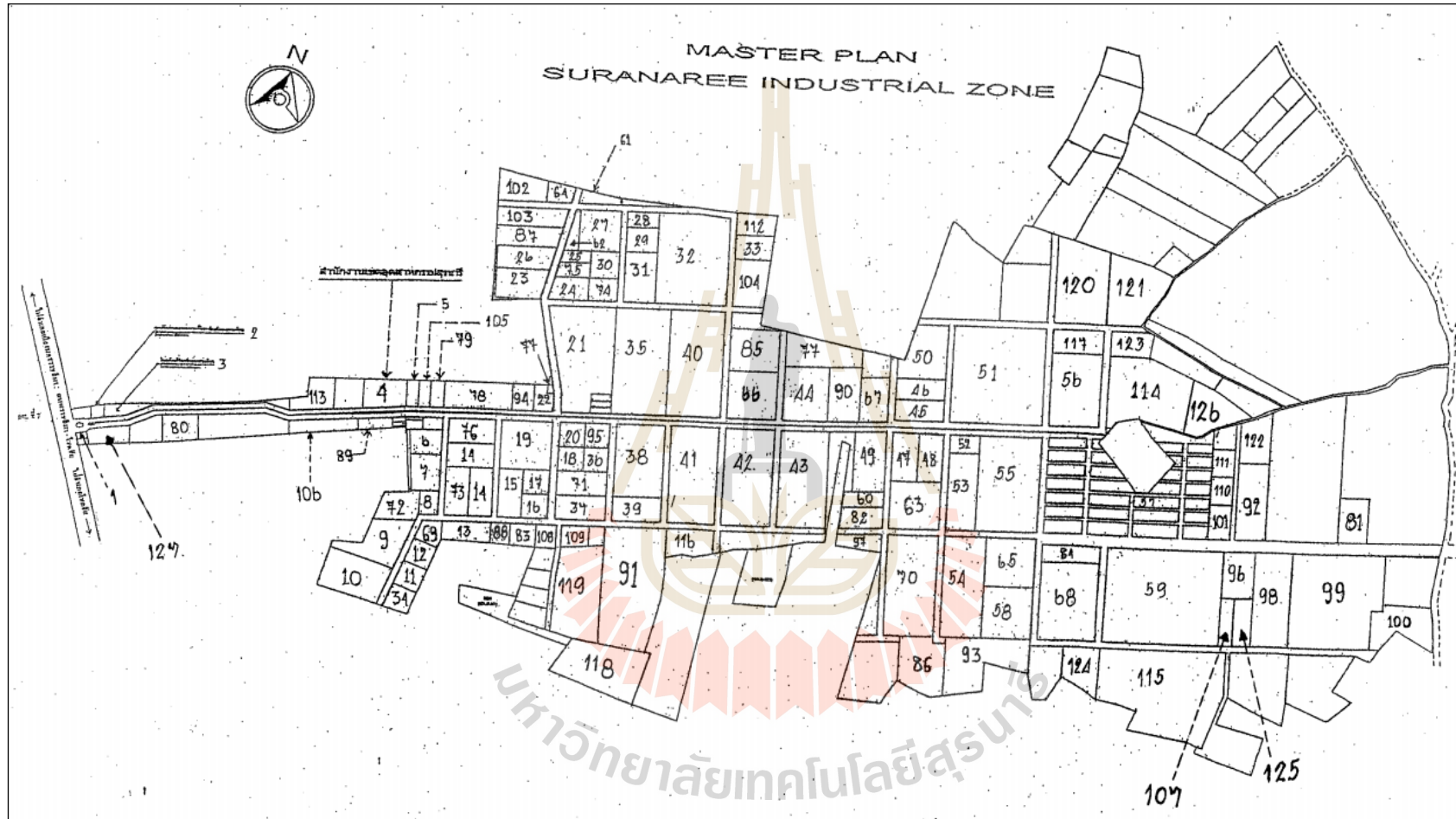
ตารางที่ ๑.1 รายชื่อบริษัทและประเภทกิจการในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี (ต่อ)

93	บริษัท อิตาชี ออโตโมทีฟ ซิสเต็ม โคราช จำกัด	เบรกรถยนต์ทุกประเภท
94	บริษัท โคราช สตีล เซ็นเตอร์ จำกัด	ตัด พับเหล็ก
95	หจก. เอ็น บี พลาสติก	ฉีดพลาสติก
96	บริษัท ไคชิน อาร์ทโลจิสติกส์ จำกัด	ขนส่ง
97	บริษัท ฮอนด้า เฟาตรี (เชียน) จำกัด	ชิ้นส่วนอะไหล่
98	บริษัท ไทยอะคิอะ จำกัด	ชิ้นส่วนรถยนต์
99	บริษัท สตราโมโครนิคส์ แมนูแฟคเจอร์ริง(ประเทศไทย) จำกัด	ผลิตเครื่องจักรเพื่ออุตสาหกรรม
100	บ่อบำบัดน้ำเสียบ่อที่ 2	ที่ว่าง
101	หมู่บ้านสุรนารี วิว	บ้านจัดสรร
102	บริษัท แบ็กส์แอนด์โกลฟ จำกัด	ผลิตถุงมือพลาสติก
103	บริษัท แบ็กส์แอนด์โกลฟ จำกัด	ผลิตถุงมือพลาสติก
104	บริษัท แอลป์ทูลส์ (ประเทศไทย) จำกัด	ที่ว่าง
105	คุณธนิศร เจริญศรี	ที่ว่าง
106	บริษัท สุรนารี ดิเวลลอปเม้นท์ จำกัด	ที่ว่าง
107	บริษัท โคยามา บรินเดอร์ (ประเทศไทย) จำกัด	ผลิตเครื่องจักรเพื่ออุตสาหกรรม
108	บริษัท เอ ดับบลิว ฟานิช (2001) จำกัด	ที่ว่าง
109	บริษัท อีราโอกะ (ไทยแลนด์) จำกัด	ผลิตถุงมือพลาสติก
110	หมู่บ้านสุรนารี วิว	บ้านจัดสรร
111	หมู่บ้านสุรนารี วิว	บ้านจัดสรร
112	บริษัท ต้าทาง พลาสติก (ไทยแลนด์) จำกัด	ถังน้ำดื่ม
113	บริษัท สุรนารี ดิเวลลอปเม้นท์ จำกัด	ที่ว่าง
114	คุณฉวีวรรณ ธิโกมลชัย	ที่ว่าง
115	พื้นที่ลูกจ้างอยู่แล้ว	ที่ว่าง
116	ที่ว่างรอขาย	ที่ว่าง
117	คุณฉวีวรรณ ธิโกมลชัย	ที่ว่าง
118	บ่อบำบัดน้ำเสียบ่อที่ 1	ที่ว่าง
119	บ่อน้ำดิบ	ที่ว่าง
120	บริษัท กัลฟ์ เอ็นเนอจี จำกัด	โรงไฟฟ้า
121	บริษัท กัลฟ์ เอ็นเนอจี จำกัด	โรงไฟฟ้า
122	ที่ว่างรอขาย	ที่ว่าง
123	คุณฉวีวรรณ ธิโกมลชัย	ที่ว่าง
124	บริษัท โรงงานผลิตภัณฑ์อาหารไทย จำกัด	ที่ว่าง
125	บริษัท โคยามา แคลสติ้ง (ประเทศไทย) จำกัด	ที่ว่าง

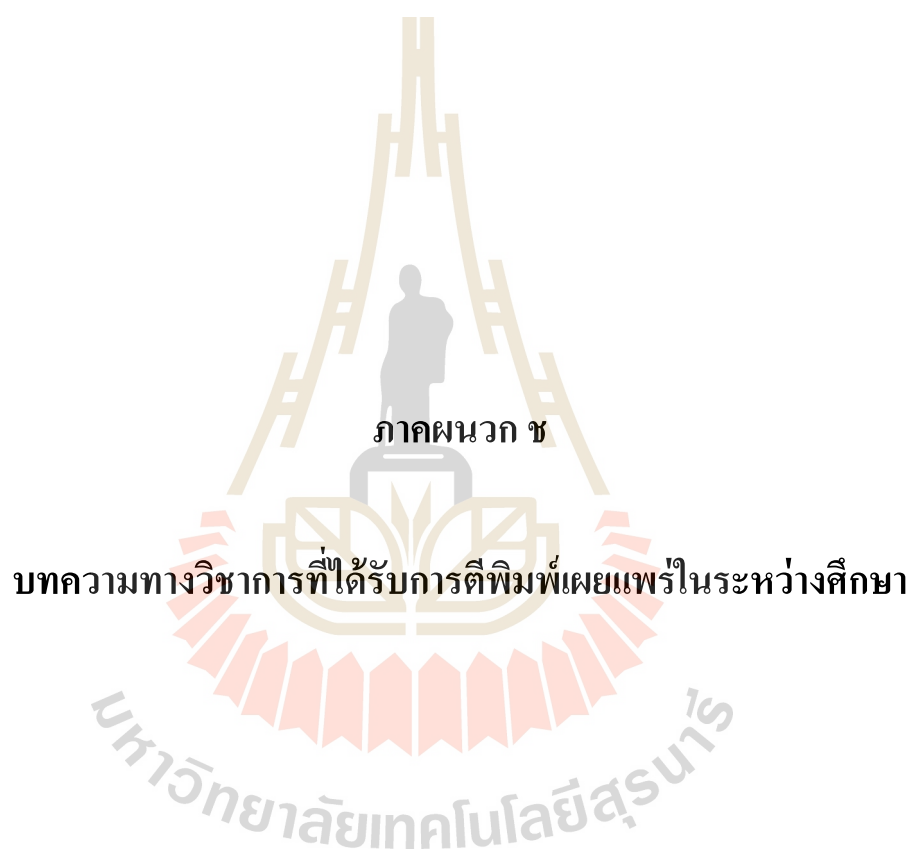
ตารางที่ จ.1 รายชื่อบริษัทและประเภทกิจการในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี (ต่อ)

126	บริษัท นานยู คาสท์ จำกัด	ชิ้นส่วนประกอบช่วงล่างรถยนต์
127	บริษัท สุรนารี ดีเวลลอปเม้นท์ จำกัด	สถานีบริการน้ำมัน





รูปที่ ๑.1 แผนผังของที่ตั้งสถานประกอบการในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี



ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ภักววัฒน์ ทองแสง สุคจิต ทรุจิตและประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล (2560). การวิเคราะห์ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมของเมืองนครราชสีมา. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 16 ณ โรงแรมเดอะ ทวิน ทาวเวอร์ รongเมือง กรุงเทพมหานคร วันที่ 17-18 พฤษภาคม 2560.







การวิเคราะห์ฝุ่น PM<sub>2.5</sub> ในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรม  
ของเมืองนครราชสีมา  
Analyses of PM<sub>2.5</sub> in Urban and Industrial Zones  
of Nakhon Ratchasima City

ภัควัฒน์ ทองแสง<sup>1\*</sup> สุตจิต คุรุจิต<sup>2</sup> และ ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล<sup>3</sup>

Phakkawat Thongsang<sup>1</sup>, Sudjit Karuchit<sup>2</sup> and Prapat Pongkiatkul<sup>3</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษบัณฑิตศึกษา; <sup>2</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000

<sup>3</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

โทรศัพท์ : 085-8596256, โทรสาร : 044-224220, E-mail : phakkawat14@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาดูฝุ่น PM<sub>2.5</sub> และไอออนอีก 7 ชนิด ในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมของเมืองนครราชสีมา โดยเก็บตัวอย่างแต่ละ 1 จุด ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2559 - กุมภาพันธ์ 2560 รวมทั้งหมด 41 ตัวอย่างต่อจุด จากการศึกษาพบว่าข้อมูลมลสารส่วนใหญ่มีการแจกแจงแบบเบ้ขวา การทดสอบทางสถิติพบค่าเฉลี่ย PM<sub>2.5</sub>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> และ K<sup>+</sup> ในเขตอุตสาหกรรมสูงกว่าในเขตเมืองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจชี้ว่ามลสารเหล่านี้มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมเป็นหลัก ส่วนการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่า PM<sub>2.5</sub>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup> และ NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ภายในแต่ละพื้นที่มีสหสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกคู่ ซึ่งน่าจะชี้ว่ามลสารทั้ง 6 ชนิดมีแหล่งกำเนิดร่วมกัน ในขณะที่ Na<sup>+</sup> และ Ca<sup>2+</sup> มีสหสัมพันธ์กับมลสารตัวอื่นน้อยมาก เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของมลสารระหว่างพื้นที่พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันเกือบทุกชนิด ส่วนการวิเคราะห์อิทธิพลของวันของสัปดาห์ไม่พบว่ามีผลกระทบต่อระดับ PM<sub>2.5</sub> ของทั้งสองพื้นที่

คำสำคัญ : PM<sub>2.5</sub>; ไอออน; เขตเมือง; เขตอุตสาหกรรม; สหสัมพันธ์

Abstract

This research studied PM<sub>2.5</sub> and 7 other ion species in the urban and industrial zones of Nakhon Ratchasima city. Forty-one samples were collected from each zone during November 2016 through February 2017. Results showed that most species had right-skewed data distributions. Statistical tests revealed that the mean values of PM<sub>2.5</sub>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and K<sup>+</sup> in the industrial zone were higher than those of the urban, suggesting that their major source could be industrial. The correlation analyses showed that almost every pair of PM<sub>2.5</sub>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> within each zone had significant positive correlations. This might indicated that these 6 species had common sources. On the other hand, Na<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> rarely had correlation with other species. Positive correlations between the two zones were also found for most species. The day of the week had no substantial effect on PM<sub>2.5</sub> level in both zones.

Keywords : PM<sub>2.5</sub>; Ion; Urban zone; Industrial zone; Correlation



## บทนำ

จากการพัฒนาและการเจริญของเศรษฐกิจในภูมิภาคเอเชียนำไปสู่การขยายตัวของเมืองอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษอากาศที่มาพร้อมกับการพัฒนา [1] จากการรายงานขององค์การอนามัยโลกในปี 2012 พบว่า ประชากรกว่า 7 ล้านคนได้เสียชีวิตเพราะมลพิษอากาศ โดยกว่า 3.7 ล้านคนที่เสียชีวิต เนื่องจากมลพิษอากาศในบรรยากาศทั่วไป โดยประชากรที่เสียชีวิตมาจากแถบมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตกและภูมิภาคอาเซียน จำนวน 1.67 ล้านคน และ 936,000 คน ตามลำดับ [2] ปัญหาของคุณภาพอากาศในเขตเมืองได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากเขตเมืองไม่ได้เป็นศูนย์กลางของเศรษฐกิจเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งศูนย์กลางมลพิษอากาศและเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศอีกด้วย [3] และจากรายงานสถานการณ์มลพิษประเทศไทยปี 2558 [4] กรมควบคุมมลพิษได้ตรวจพบสารมลพิษทางอากาศเกินค่ามาตรฐานในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะฝุ่นละอองในเมืองใหญ่ โดยมีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญ ได้แก่ กิจกรรมการก่อสร้าง การใช้พลังงาน อาทิ ภาคการขนส่ง การผลิตไฟฟ้า และอุตสาหกรรม เป็นต้น

ฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศเป็นมลพิษทางอากาศที่มีผลกระทบต่อสุขภาพในหลายด้าน โดยเป็นปัจจัยร่วมอันก่อให้เกิดโรคต่างๆ ได้แก่ กลุ่มโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคเรื้อรังของทางเดินหายใจ โรคติดเชื้อเฉียบพลันระบบหายใจส่วนล่าง และโรคมะเร็งปอด การจัดการปัญหาฝุ่นละอองในเขตเมืองอย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการศึกษาให้ทราบถึงระดับความเข้มข้นในบรรยากาศ แหล่งกำเนิด รวมทั้งสัดส่วนการปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิด งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักในการศึกษาฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ( $PM_{2.5}$ ) รวมทั้งสารไอออนิก 7 ชนิด ได้แก่  $Cl^-$   $NO_3^-$   $SO_4^{2-}$   $Ca^{2+}$   $K^+$   $Na^+$  และ  $NH_4^+$  ในพื้นที่ศึกษา 2 ประเภท คือ เขตเมืองและเขตพื้นที่อุตสาหกรรมของเมืองนครราชสีมา โดยบทความนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์สถิติพรรณนาของข้อมูลที่ได้ การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและสหสัมพันธ์ของทั้งสองพื้นที่ และการวิเคราะห์อิทธิพลของวันของสัปดาห์ที่มีต่อระดับมลพิษ

## อุปกรณ์และวิธีการ

### 1) พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาคือพื้นที่เมืองนครราชสีมา ซึ่งเลือกทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ บริเวณเขตเมืองนครราชสีมาและบริเวณเขตอุตสาหกรรมสุรนารี ระยะห่างระหว่าง 2 จุด ประมาณ 10 กิโลเมตร (รูปที่ 1) โดยจุดที่ 1 เก็บที่วัดพาทย์หลังค้ำชั้น 2 ซึ่งเมื่อรวมกับความสูงของเครื่องมือแล้วสูงจากพื้นดินประมาณ 5 เมตร เป็นตัวแทนเขตเมือง ซึ่งเป็นจุดใจกลางเมือง มีที่พักอาศัยหนาแน่น สถานที่ราชการ รวมถึงศูนย์การค้า ส่วนจุดที่ 2 คือ บริเวณหลังหอพักเอกชนในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี บริเวณชานเมือง เป็นตัวแทนเขตอุตสาหกรรม โดยได้ตั้งนั่งร้านเพื่อให้สูงจากพื้นดิน ซึ่งเมื่อรวมกับความสูงของเครื่องมือแล้วสูงจากพื้นดิน ประมาณ 4 เมตร ซึ่งบริเวณดังกล่าวมีโรงงานอุตสาหกรรมอยู่โดยรอบ รูปที่ 2 แสดงการตั้งเครื่องมือที่จุดเก็บตัวอย่างทั้ง 2 จุด



รูปที่ 1 พื้นที่ศึกษาและจุดเก็บตัวอย่าง



รูปที่ 2 การตั้งเครื่องมือที่จุดเก็บตัวอย่าง

## 2) การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างฝุ่น  $PM_{2.5}$  ทำตามวิธีตรวจวัดมาตรฐาน [5] โดยใช้เครื่อง PQ200 Particulate Sampler จำนวน 2 เครื่อง นำเครื่องมือไปตั้งไว้จุดละ 1 เครื่อง เพื่อทำการเก็บตัวอย่างพร้อมกัน การเก็บตัวอย่างเป็นแบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ต่อ 1 ตัวอย่าง ดำเนินการในเดือนพฤศจิกายน 2559 – กุมภาพันธ์ 2560 โดยตั้งเครื่องมือเป็นช่วง ช่วงละประมาณ 7 วันต่อเนื่อง รวมตลอดระยะเวลาสามารถเก็บตัวอย่างได้ทั้งสิ้น 41 ตัวอย่างต่อจุด โดยขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง  $PM_{2.5}$  และวิเคราะห์ความเข้มข้นของตัวอย่าง  $PM_{2.5}$  สรุปดังนี้

- นำกระตาดยกรองควอตซ์ ขนาด 47 มิลลิเมตร ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 6 ชั่วโมง เพื่อทำลายสารอินทรีย์ [6] หลังจากนั้นนำกระตาดยกรองไปปรับสภาพในตู้ควบคุมความชื้น ที่ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 35% ไม่เกิน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง ซึ่งมีค่าการอ่านน้ำหนักละเอียดระดับ 1  $\mu g$  โดยทำการชั่งซ้ำ 3 ครั้ง กำหนดให้ค่าความแตกต่างไม่เกิน 2  $\mu g$  หลังจากที่ผ่านมาการชั่งแล้ว นำไปเก็บตัวอย่างต่อไป
- นำกระตาดยกรองควอตซ์ ที่ชั่งแล้วไปเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง BGI PQ200 Particulate Sampler โดยก่อนการเก็บจะทำตรวจสอบรั่วและการสอบเทียบอัตราการไหลของอากาศ โดยได้กำหนดอัตราการไหลของอากาศที่ 16.7 ลิตร/นาที หลังจากนั้นทำการเก็บตัวอย่างโดยการใส่คำสั่งในเครื่อง BGI PQ200 Particulate Sampler เพื่อกำหนดวันและเวลาเริ่ม-หยุดเก็บตัวอย่าง ให้เก็บตัวอย่างต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบกำหนด นำคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กมาเชื่อมต่อเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากเครื่อง BGI PQ200 Particulate Sampler เช่น ค่าความดันบรรยากาศทั่วไป อุณหภูมิในบรรยากาศทั่วไป อัตราการไหลของอากาศและปริมาณอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน หลังจากนั้นนำกระตาดยกรองควอตซ์ที่เก็บตัวอย่างแล้วมาปรับสภาพและชั่งในเงื่อนไขดังกล่าวเพื่อนำมาคำนวณหาความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  จากสมการ (1)

$$PM_{2.5} (\mu g/m^3) = \frac{w_f - w_i}{V_{std}} \times 1,000 \quad (1)$$

โดยที่  $w_f$  คือ น้ำหนักกระตาดยกรองหลังเก็บตัวอย่าง (g)

$w_i$  คือ น้ำหนักกระตาดยกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (g)

$V_{std}$  คือ ปริมาตรอากาศทั้งหมดที่สภาวะมาตรฐาน ( $m^3$ )

หลังจากวิเคราะห์หาความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  แล้ว นำกระตาดยกรองมาตัดแบ่งเป็น 4 ส่วน เท่าๆ กัน แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่อไป

## 3) การวิเคราะห์สารไอออนิก

ในการวิเคราะห์หาสารไอออนิก จะทำการวิเคราะห์แคทไอออน ได้แก่  $Ca^{2+}$   $K^+$   $Na^+$  และ  $NH_4^+$  และแอนไอออน ได้แก่  $Cl^-$   $NO_3^-$  และ  $SO_4^{2-}$  โดยนำกระตาดยกรองที่ถูกแบ่งส่วนที่ 1 มาวิเคราะห์หาความเข้มข้น โดยใช้เครื่อง ICS5000 ซึ่งมีวิธีการดังนี้ [6]

- การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณไอออน จะเตรียมโดยการนำกระตาดยกรองส่วนที่ 1 ใส่ในหลอด Conical ขนาด 10 มล. แล้วใส่น้ำ Ultrapure water 10 มล. ลงในหลอด พร้อมเปิดฝาให้แน่นและนำมาเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonic cleaner ที่อุณหภูมิห้อง นาน 90 นาที จากนั้นนำมาแช่ตู้เย็นอย่างน้อย 12 ชั่วโมง



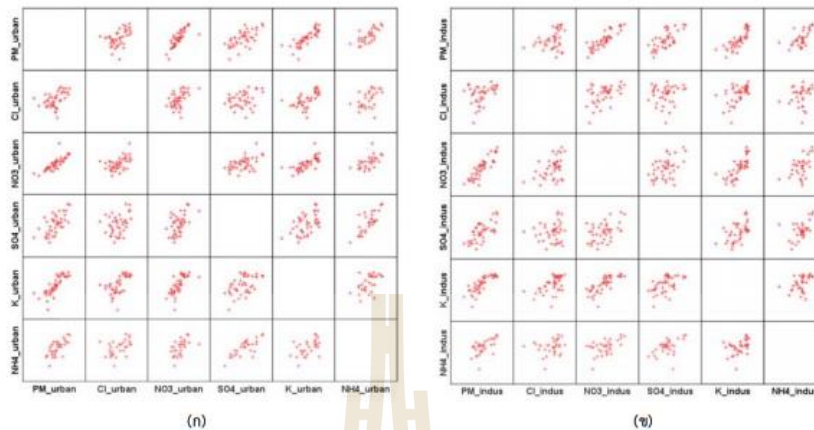
ในตารางที่ 1 ยังได้แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างค่าที่วัดได้ในเขตเมืองกับเขตอุตสาหกรรมด้วยวิธี Paired t Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดยกรณีฝุ่นละอองพบว่าค่าความเข้มข้นของ  $PM_{2.5}$  ในเขตอุตสาหกรรม (34.71 มก./ลบ.ม.) สูงกว่าในเขตเมือง (29.93 มก./ลบ.ม.) อย่างมีนัยสำคัญ แสดงถึงบริเวณเขตอุตสาหกรรมมีแหล่งกำเนิดและอัตราการปล่อยฝุ่น  $PM_{2.5}$  มากกว่าเขตเมือง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานบัญชีการปล่อยมลพิษทางอากาศของเทศบาลนครนครราชสีมา ในปี 2553 [7] ที่พบว่าฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีสัดส่วนมากที่สุด โดยมีอัตราการปล่อย 101.52 ตัน/ปี ส่วนที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์รวม มีอัตราการปล่อย 62.70 ตัน/ปี ส่วนกรณีไอออนพบว่า  $Cl^-$   $NO_3^-$  และ  $K^+$  ในเขตอุตสาหกรรมสูงกว่าในเขตเมืองอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ สันนิษฐานว่ามลสารเหล่านี้อาจมีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมเป็นหลัก ส่วนไอออนอื่นๆ ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของมลสารภายในแต่ละพื้นที่ ด้วยวิธี Pearson Correlation ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 2) กรณีเขตเมืองพบว่า  $PM_{2.5}$   $Cl^-$   $NO_3^-$   $SO_4^{2-}$   $K^+$  และ  $NH_4^+$  มีสหสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญทุกคู่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าในช่วง 0.333 - 0.808 ซึ่งน่าจะชี้ว่ามลสารทั้ง 6 ชนิดมีแหล่งกำเนิดร่วมกัน และน่าจะเกิดมลสารที่เหลืออีก 2 ชนิด คือ  $Na^+$  และ  $Ca^{2+}$  ไม่มีสหสัมพันธ์กับตัวอื่นๆ ข้างต้น มีเพียงกรณี  $Na^+$  ที่มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับ  $SO_4^{2-}$  และทางลบกับ  $Ca^{2+}$  เท่านั้น จึงสันนิษฐานว่าอาจมีแหล่งกำเนิดที่แตกต่างจากมลสารอื่นๆ ส่วนกรณีเขตอุตสาหกรรมพบว่าสหสัมพันธ์ระหว่างมลสารไม่ชัดเจนเท่ากับเขตเมือง แต่มีรูปแบบที่คล้ายคลึงกัน โดยมลสาร 6 ชนิด คือ  $PM_{2.5}$   $Cl^-$   $NO_3^-$   $SO_4^{2-}$   $K^+$  และ  $NH_4^+$  มีสหสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกคู่ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าในช่วง 0.388 - 0.875 ส่วน  $Na^+$  มีสหสัมพันธ์ทางบวกกับ  $SO_4^{2-}$  เท่านั้น และ  $Ca^{2+}$  ไม่มีสหสัมพันธ์กับมลสารตัวใดเลย รูปที่ 3 แสดง Scatter Plot ของความเข้มข้นมลสารทั้ง 6 ชนิดในสองพื้นที่ซึ่งพบความสัมพันธ์ทางบวกเกือบทุกคู่ดังที่ได้อภิปรายข้างต้น

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ของมลสารในแต่ละพื้นที่

		เขตเมือง							
	$PM_{2.5}$	$Cl^-$	$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Ca^{2+}$	$K^+$	$Na^+$	$NH_4^+$	
$PM_{2.5}$	1	0.441	0.799	0.635	0.154	0.808	-0.102	0.711	
$Cl^-$	0.441	1	0.488	0.333	-0.278	0.579	-0.019	0.455	
$NO_3^-$	0.799	0.488	1	0.492	0.034	0.708	-0.058	0.558	
$SO_4^{2-}$	0.635	0.333	0.492	1	-0.122	0.518	0.366	0.772	
$Ca^{2+}$	0.154	-0.278	0.034	-0.122	1	-0.007	-0.406	-0.154	
$K^+$	0.808	0.579	0.708	0.518	-0.007	1	-0.037	0.501	
$Na^+$	-0.102	-0.019	-0.058	0.366	-0.406	-0.037	1	0.106	
$NH_4^+$	0.711	0.455	0.558	0.772	-0.154	0.501	0.106	1	
		เขตอุตสาหกรรม							
	$PM_{2.5}$	$Cl^-$	$NO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Ca^{2+}$	$K^+$	$Na^+$	$NH_4^+$	
$PM_{2.5}$	1	0.304	0.875	0.683	-0.005	0.800	0.181	0.572	
$Cl^-$	0.304	1	0.445	0.112	-0.119	0.525	0.000	0.178	
$NO_3^-$	0.875	0.445	1	0.458	0.084	0.762	0.138	0.490	
$SO_4^{2-}$	0.683	0.112	0.458	1	-0.160	0.527	0.440	0.489	
$Ca^{2+}$	-0.005	-0.119	0.084	-0.160	1	-0.192	0.271	0.000	
$K^+$	0.800	0.525	0.762	0.527	-0.192	1	0.129	0.388	
$Na^+$	0.181	0.000	0.138	0.440	0.271	0.129	1	0.079	
$NH_4^+$	0.572	0.178	0.490	0.489	0.000	0.388	0.079	1	

ค่าที่ห้เส้นใต้ คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 3 Scatter Plot ของความเข้มข้นมลสาร 6 ชนิด: (น) พื้นที่เขตเมือง และ (ข) พื้นที่เขตอุตสาหกรรม

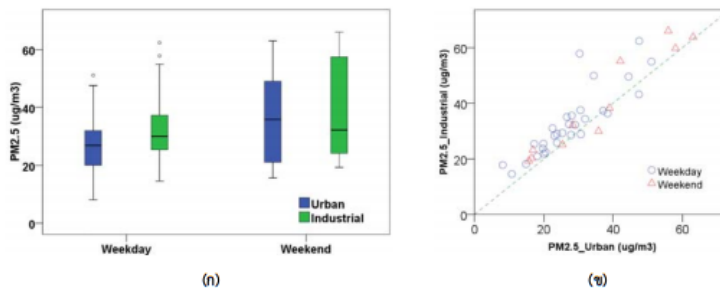
เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของมลสารระหว่างพื้นที่ ด้วยวิธี Pearson Correlation ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 3) พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันทุกชนิด ยกเว้น  $Na^+$  โดยมีค่าระหว่าง 0.354 – 0.917 ซึ่งค่าที่ใกล้เคียง 1 หมายความว่าค่าระดับมลสารทั้งสองพื้นที่มีการเพิ่มและลดตามกันอย่างชัดเจนมาก และการปล่อยมลพิษของพื้นที่หนึ่งจะมีผลกระทบต่ออีกพื้นที่หนึ่งด้วย ทั้งนี้ ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างครอบคลุมตลอดฤดูหนาวซึ่งอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือที่ปกคลุมประเทศไทย หากพิจารณาทิศทางจะเห็นว่าไม่มีจุดเก็บตัวอย่างใดอยู่เหนือลมของอีกจุดหนึ่ง แต่ความสัมพันธ์ของมลสารระหว่างสองจุดน่าจะเกิดจากความปั่นป่วนของอากาศตามธรรมชาติทำให้เกิดการผสมของอากาศในพื้นที่

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบ Pearson ของมลสารระหว่างสองพื้นที่

PM <sub>2.5</sub>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
0.917	0.609	0.876	0.831	0.354	0.866	0.141	0.778

ค่าที่ขีดเส้นใต้ คือมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยด้านวันของสัปดาห์ต่อระดับของมลสารในอากาศ โดยเลือกพิจารณา PM<sub>2.5</sub> เป็นตัวแทนของมลสารและไอออนที่ศึกษา และทำการแยกข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มวันทำงาน ได้แก่ ข้อมูลที่เก็บในวันจันทร์-ศุกร์ (n = 30) และกลุ่มวันหยุด ได้แก่ ข้อมูลที่เก็บในวันเสาร์-อาทิตย์ (n = 11) (รูปที่ 4) โดยจาก Box Plot ในรูปที่ 4(n) แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยระดับฝุ่นในวันหยุดสูงกว่าในวันทำงานทั้งสองพื้นที่ แต่เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Independent t Test ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวันของสัปดาห์ไม่มีอิทธิพลต่อระดับฝุ่นละออง โดยในกรณีเขตเมืองของเมืองนครราชสีมามีการจราจรหนาแน่นทั้งในวันธรรมดาและวันหยุด เนื่องจากมีแหล่งท่องเที่ยวและศูนย์การค้าขนาดใหญ่ ส่วนกรณีเขตอุตสาหกรรมก็มียานพาหนะที่สัญจรและขนส่งผลิตภัณฑ์ตลอดสัปดาห์ เมื่อพิจารณาการแจกแจงข้อมูลพบว่าข้อมูลวันทำงานเกาะกลุ่มมากกว่าและพบค่าที่อยู่นอกกลุ่ม (Outliers) เป็นบางครั้ง ส่วนข้อมูลของวันหยุดมีลักษณะกระจายมากกว่าแต่ไม่พบค่าที่อยู่นอกกลุ่ม อย่างไรก็ตามอาจเป็นเพราะจำนวนตัวอย่างในกรณีวันหยุดมีค่อนข้างน้อยทำให้มีความแปรปรวนของข้อมูลสูง ส่วนรูปที่ 4(ข) แสดงให้เห็นว่าระดับฝุ่นของทั้งสองพื้นที่มีสหสัมพันธ์กันทั้งวันธรรมดาและวันหยุด

รูปที่ 4 ระดับ  $\text{PM}_{2.5}$  ในวันทำงานและวันหยุด: (ก) Box Plot และ (ข) Scatter Plot

### สรุป

ผลการศึกษพบว่าค่าเฉลี่ย  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  และ  $\text{K}^+$  ในเขตอุตสาหกรรมสูงกว่าในเขตเมืองอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจชี้ว่ามลสารเหล่านี้มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมเป็นหลัก ส่วนการวิเคราะห์สหสัมพันธ์พบว่า  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$  และ  $\text{NH}_4^+$  ของทั้งสองพื้นที่มีสหสัมพันธ์ทางบวกอย่างมีนัยสำคัญเกือบทุกคู่ ซึ่งน่าจะชี้ว่ามลสารทั้ง 6 ชนิดมีแหล่งกำเนิดร่วมกัน ในขณะที่  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Ca}^{2+}$  ส่วนใหญ่ไม่พบสหสัมพันธ์กับมลสารตัวอื่น เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของมลสารระหว่างพื้นที่พบว่ามีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันทุกชนิด ยกเว้น  $\text{Na}^+$  โดยมีค่าระหว่าง 0.354 - 0.917 ซึ่งจะเป็นเพราะการผสมของอากาศตามธรรมชาติระหว่างสองพื้นที่ ส่วนการวิเคราะห์อิทธิพลของวันของสัปดาห์ พบว่าข้อมูลวันทำงานเกาะกลุ่มมากกว่าข้อมูลของวันหยุดแต่จากการทดสอบทางสถิติไม่พบว่าวันธรรมดาหรือวันหยุดมีผลต่อระดับ  $\text{PM}_{2.5}$  ของทั้งสองพื้นที่ สันนิษฐานว่าลักษณะของเมืองนครราชสีมาที่มีความเจริญสูงจึงมีแหล่งกำเนิดจากการจราจรและขนส่งตลอดทุกวันของสัปดาห์ ผลการศึกษานี้จะนำไปใช้ประกอบการวิจัยในระยะต่อไปโดยใช้แบบจำลองผู้รับ (Receptor Model) ในการทำนายแหล่งกำเนิดมลสารและเสนอแนวทางจัดการที่เหมาะสม

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้ออำนวยความสะดวกและเครื่องมือสำหรับการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

### เอกสารอ้างอิง

- [1] Hopke, P.K., Cohen, D.D., Begum, B.A., Biswas, S.K., Ni, B., Pandit, G.G., Santos, M., Chung, Y.S., Davy, P., Markwitz, A., Waheed, S., Siddique, N., Santos, F.L., Pabroa, P.C.B., Seneviratne, M.C.S., Wimalwattapan, W., Bunpropab, S., Vuong, T.B., Hien, P.D., Markowicz, A., 2008. Urban air quality in the Asian region. Science of the Total Environment. 404. 103-112.
- [2] WHO. (2016, September 27). Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012. [Online]. Available: <https://goq.gl/mceuDn>
- [3] Parrish, D.D., and Zhu, T., 2009. Perspective: Clean Air for Mega-Cities. Science. 326. 674-675.
- [4] กรมควบคุมมลพิษ. (30 ตุลาคม 2559). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ. ศ. 2558. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. [ออนไลน์] <https://goq.gl/OFYHpb>
- [5] US.EPA. 2016. Quality Assurance Guidance Document 2.12.; Monitoring  $\text{PM}_{2.5}$  in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods. US Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards Air Quality Assessment Division RTP, New York.



สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย

- [6] Chow, J.C., Watson, J.G. 1999. Ion chromatography in elemental analysis of airborne particles. *Elemental Analysis of Airborne Particles*. 1: 97-137.
- [7] GIZ. (2016, 30 October). Chiang Mai Municipality Atmospheric Emission Inventory 2012 and Emission Inventory of Major Air Pollutants in Nakhon Region. German International Cooperation. [Online]. Available: [http://www.citiesforleanair.org/?page\\_id=42](http://www.citiesforleanair.org/?page_id=42)





## ประวัติผู้เขียน

นายภักดิ์วัฒน์ ทองแสง เกิดเมื่อวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2534 ที่จังหวัดมหาสารคาม สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนพัคภูมิพิทยาคาร จังหวัดมหาสารคาม และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (อนามัยสิ่งแวดล้อม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2557 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ณ สถาบันการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยในขณะที่ศึกษาได้รับทุนในการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา

ในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เผยแพร่บทความทางวิชาการเรื่อง การวิเคราะห์ฝุ่น  $PM_{2.5}$  ในเขตเมืองและเขตอุตสาหกรรมของเมืองนครราชสีมา ในงานประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 16 ณ กรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 17-18 พฤษภาคม 2560.



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี