

การวิเคราะห์ความเข้มข้นและจัดกลุ่มโลหะหนักจากฝุ่น
ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

นายชิตพัฒน์ หิรัญคำ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

**HEAVY METAL CONCENTRATION AND
CLASSIFICATION ANALYSIS OF DUST
IN NAKHON RATCHASIMA**

Titiphat Hirunkam



**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 2013**

การวิเคราะห์ความเข้มข้นและจัดกลุ่มโลหะหนักจากฝุ่นในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.จรียา ยี่มรัตน์บวร)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.สุจิตต์ กรุจิต)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.เจษฎา ตันฑานุช)

กรรมการ

(อ. ดร.อภิชน วัชรเนตรวงศ์)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชิติพัฒน์ หิรัญคำ : การวิเคราะห์ความเข้มข้นและจัดกลุ่มโลหะหนักจากฝุ่นในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา (HEAVY METAL CONCENTRATION AND CLASSIFICATION ANALYSIS OF DUST IN NAKHON RATCHASIMA) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิตต์ คุรุจิต, 152 หน้า

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองจากชุมชนต่าง ๆ 10 ชุมชนในจังหวัดนครราชสีมา โดยใช้การเก็บตัวอย่างของดินและตัวอย่างฝุ่น 2 รูปแบบ คือ ฝุ่นจากหลังคา และฝุ่น Dustfall ในเขตพื้นที่ศึกษา นำตัวอย่างฝุ่นมาวิเคราะห์หาโลหะหนัก 9 ชนิด ได้แก่ Cr Mn Fe Cu Zn As Cd Hg และ Pb โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) และคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor : EF) เพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะหนักว่าเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์หรือเกิดจากธรรมชาติ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis : PCA) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster Analysis : CA) เพื่อหาปัจจัยอันเป็นแหล่งที่มาและจัดกลุ่มของธาตุโลหะหนัก ผลการศึกษาในส่วน of ค่า EF พบว่าโลหะหนักในฝุ่น Dustfall ที่มีค่าค่อนข้างสูงคือ Cu Zn และ Pb โดยที่เทศบาลนครฯ พบโลหะหนักที่ค่า EF เกิน 10 อยู่ถึง 5 ชนิด แสดงถึงการปนเปื้อนจากกิจกรรมของมนุษย์สูงกว่าชุมชนอื่น ๆ ส่วนฝุ่นจากหลังคาในภาพรวมมีค่า EF ต่ำกว่าฝุ่น Dustfall ผลการวิเคราะห์ PCA และ CA ของตัวอย่างฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ พบว่าโลหะหนักที่มีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ Cd-Pb, Mn-Fe และ Zn-As และสันนิษฐานถึงแหล่งที่มาของโลหะหนักในจังหวัดนครราชสีมาได้ 3 กลุ่ม คือ 1) Cd Pb Cu และ Cr มาจากจราจรหรืออุตสาหกรรม 2) Fe และ Mn มาจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ และ 3) Zn และ As จากการเกษตร ผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเฝ้าระวังและตรวจติดตามผลกระทบที่จะเกิดจากโลหะหนักหนักในฝุ่นได้

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

TITIPHAT HIRUNKAM : HEAVY METAL CONCENTRATION AND
CLASSIFICATION ANALYSIS OF DUST IN NAKHON RATCHASIMA.

THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SUDJIT KARUCHIT, Ph.D., 152 PP.

HEAVY METAL, ENRICHMENT FACTOR, ROOF DUST, DUSTFALL

This study analyzed the heavy metal concentrations which are the composition of dust from 10 communities in Nakhon Ratchasima. Soil, roof dust and dustfall samples were collected in the study area. Concentration analysis of 9 heavy metals – Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, As, Cd, Hg, and Pb – was performed by using the Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS). Calculation of the Enrichment Factor (EF) was done to identify whether the sources of heavy metals are anthropogenic or natural. Principal component analysis (PCA) and Cluster Analysis (CA) were carried out to determine the sources and to classify the heavy metals. The results of EF values of heavy metals in the Dustfall samples are relatively high for Cu Zn and Pb. There are 5 heavy metals in Nakhon Ratchasima municipality which show EF values more than 10. This suggests higher contamination from human activities than other communities. Roof dust, in general, have EF values less than Dustfall. The results of PCA and CA analysis of both types of dust sample found that the correlation of heavy metals include Cd-Pb, Mn-Fe and Zn-As. Possible sources of heavy metals in Nakhon Ratchasima were found to be 3 groups sources : 1) Cd Pb Cu and Cr from traffic and industrial sources, 2) Fe and Mn is from natural sources, and 3) Zn and As from agricultural sources. The results of this study can be used as preliminary data for surveillance and impact monitoring of heavy metals in dust.

School of Environmental Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้ดำเนินการสำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมทั้งได้ให้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งทางด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจิต ทรูจิต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่องานวิจัย รวมถึงได้ช่วยตรวจทานและแก้ไขรายงาน วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนมีความบริบูรณ์พร้อมทางด้านวิชาการ รวมทั้งอบรมสั่งสอนและแนะแนวทาง อันเป็นประโยชน์ในการดำเนินชีวิตแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จริยา ยี่มรัตนบวร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจษฎา ตันทนุช อาจารย์ ดร.อภิชน วัชรนทร์วงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และความรู้ทางด้านวิชาการอย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ชุมชนขององค์กรการปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) ทั้ง 10 ชุมชน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้พื้นที่และติดตั้งชุดเก็บตัวอย่างให้แก่ผู้วิจัยจนได้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนเงินทุนทางการศึกษาแก่ผู้วิจัยอย่างดียิ่งมาโดยตลอดจนได้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณนารี กลิ่นกลาง ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาและแจ้งให้ทราบเรื่องเอกสารต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทำวิทยานิพนธ์และการแจ้งเพื่อสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณ คุณอลิษา ศรีคราม ที่คอยให้คำแนะนำปรึกษาการจัดรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ บัณฑิตศึกษาทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่คอยให้กำลังใจในการทำวิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความรัก ความอบอุ่น ความห่วงใย การอบรมเลี้ยงดู และคอยเป็นกำลังใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

ธิติพัฒน์ หิรัญคำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 สมมติฐานงานวิจัย	4
2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 สถานการณ์มลพิษอากาศของประเทศไทย	5
2.2 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา	8
2.2.1 ลักษณะและสภาพทั่วไป	8
2.2.2 ลักษณะภูมิอากาศ	9
2.2.3 ข้อมูลด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม	10
2.3 ข้อมูลทั่วไปของโลหะหนัก	11
2.3.1 สารตะกั่ว (lead)	14
2.3.2 สารหนู (Arsenic)	14
2.3.3 แคดเมียม (Cadmium)	15
2.3.4ปรอท (Mercury)	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.5 โครเมียม (Chromium).....	16
2.3.6 แมงกานีส (Manganese).....	17
2.3.7 เหล็ก (Iron).....	17
2.3.8 ทองแดง (Copper).....	18
2.3.9 สังกะสี (Zinc).....	18
2.4 การวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-MS.....	19
2.5 ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor : EF).....	20
2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle component Analysis : PCA).....	20
2.7 การจำแนกกลุ่มตัวแปร (Cluster Analysis : CA).....	22
2.8 ตัวอย่างการใช้งาน PCA และ CA ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านสิ่งแวดล้อม.....	25
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
2.9.1 โลหะหนักในดิน.....	30
2.9.2 โลหะหนักในฝุ่นหลังคาและพื้นผิว.....	33
2.9.3 โลหะหนักในฝุ่นที่ตกได้ (Dustfall).....	36
2.9.4 โลหะหนักในฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ.....	37
2.10 สรุปประเด็นสำคัญจากงานวิจัยเกี่ยวกับโลหะหนักในฝุ่นและดิน.....	39
2.10.1 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	39
2.10.2 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล.....	39
2.10.3 ผลการศึกษา.....	40
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	50
3.1 ขั้นตอนการศึกษา.....	50
3.2 ชุมชนที่ทำการศึกษา.....	51
3.3 การสำรวจและการเก็บตัวอย่าง.....	58
3.3.1 การเก็บตัวอย่างดิน.....	59
3.3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นหลังคา.....	61
3.3.3 การเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall.....	63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4	การย่อยตัวอย่างด้วย Microwave Digestion และวิเคราะห์หาโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-MS.....	71
3.5	การคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (EF).....	74
3.6	การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA).....	75
3.7	การจำแนกกลุ่มตัวแปร (CA).....	77
4	ผลการศึกษา.....	79
4.1	ความเข้มข้นของโลหะหนัก.....	79
4.1.1	ความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน.....	79
4.1.2	ความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นหลังคาและฝุ่นจากกระบอกเก็บฝุ่น.....	83
4.2	ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (EF).....	90
4.3	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการจำแนกกลุ่มตัวแปร.....	96
4.3.1	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของฝุ่นหลังคา.....	96
4.3.2	ผลการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มตัวแปรของฝุ่นหลังคา.....	101
4.3.3	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบหลักของฝุ่น Dustfall.....	104
4.3.4	ผลการวิเคราะห์การจำแนกกลุ่มตัวแปรของฝุ่น Dustfall.....	110
4.4	ผลคาดการณ์แหล่งที่มาของโลหะหนัก.....	113
4.5	ความสัมพันธ์ของผลการศึกษากับลักษณะเฉพาะของชุมชน.....	116
5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	119
5.1	สรุปการศึกษา.....	119
5.1.1	ความเข้มข้นของโลหะหนัก.....	119
5.1.2	ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (EF).....	121
5.1.3	แหล่งที่มาของโลหะหนัก.....	121
5.2	การนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์.....	122
5.3	ปัญหาและอุปสรรค.....	123
5.4	ข้อเสนอแนะ.....	124
	รายการอ้างอิง.....	125

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ความเข้มข้นของโลหะหนักจากเครื่อง ICP-MS และการคำนวณในหน่วย มิลลิกรัม/กิโลกรัม.....	130
ภาคผนวก ข ข้อมูลของโลหะหนักจาก 10 ชุมชน ที่ทำการ Standardized และการคำนวณ ค่า Factor Score.....	135
ภาคผนวก ค พิกัดตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดของจุดเก็บตัวอย่างฝุ่น.....	140
ภาคผนวก ง บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	142
ประวัติผู้เขียน.....	152



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อมูลการตรวจวัด PM_{10} ของเทศบาลนครนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2549-2555..... 11
2.2	ข้อมูลความเข้มข้นของสารเคมีของโรงงานทั้งหมด 20 โรงงาน..... 25
2.3	ข้อมูลความสัมพันธ์แบบ Correlation Matrix ของสารเคมีทั้ง 11 ชนิด..... 26
2.4	ค่า Eigenvalues ที่ได้จากการใช้ PCA ในการสกัดปัจจัย..... 27
2.5	สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในดิน..... 42
2.6	สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในฝุ่นจากหลังคาและพื้นผิว..... 45
2.7	สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในฝุ่นที่ตกได้ (Dustfall)..... 47
2.8	สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในฝุ่นที่แขวนลอยในอากาศ..... 48
3.1	ตารางแสดงค่า Enrichment Factor ที่มีผลต่อระดับการปนเปื้อน..... 74
4.1	ความเข้มข้นของโลหะหนักจากดินที่ได้จาก 10 ชุมชน..... 79
4.2	การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่ได้ของทั้ง 10 ชุมชน ในจังหวัดนครราชสีมา กับค่าเฉลี่ยของประเทศไทย..... 82
4.3	ความเข้มข้นของโลหะหนักจากฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall ที่ได้จาก 10 ชุมชน..... 83
4.4	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ได้จากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ..... 88
4.5	ผลการทดสอบ Paired t-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นโลหะหนักแต่ละชนิดที่ได้จากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ..... 89
4.6	ค่า Enrichment Factor ของฝุ่นหลังคา และฝุ่น Dustfall..... 91
4.7	ประเภทและจำนวนของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา..... 94
4.8	ความสัมพันธ์ในแบบ Correlation Matrix ของโลหะหนัก 9 ชนิด จากฝุ่นหลังคา..... 96
4.9	ค่า Eigenvalues ที่ได้จาก PCA ของฝุ่นจากหลังคา..... 97
4.10	ค่า Factor loading ก่อนและหลังการหมุนแกนแบบ Varimax ของฝุ่นจากหลังคา..... 98
4.11	แสดงการจับคู่และความสัมพันธ์จากการจัดกลุ่มด้วย Cluster analysis ของฝุ่นหลังคา โดย Complete Linkage..... 101
4.12	ความสัมพันธ์ Correlation Matrix ของโลหะหนัก 9 ชนิด จากฝุ่น Dustfall..... 104

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ค่า Eigenvalues ที่ได้จาก PCA ของฝุ่นจาก Dustfall.....	106
4.14 ค่า Factor loading ก่อนและหลังการหมุนแกนแบบ Varimax ของฝุ่นจาก Dustfall.....	107
4.15 แสดงการจับคู่และความสัมพันธ์จากการจัดกลุ่มด้วย Cluster analysis ของฝุ่น Dustfall โดย Complete Linkage.....	110
4.16 สรุปปัจจัยที่เป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักจากงานวิจัยที่ผ่านมา.....	115
ก.1 ค่าความเข้มข้นของดินจากเครื่อง ICP-MS.....	131
ก.2 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นหลังจากเครื่อง ICP-MS.....	132
ก.3 ค่าความเข้มข้นของฝุ่น Dustfall จากเครื่อง ICP-MS.....	133
ข.1 ข้อมูลโลหะหนักที่ได้จากฝุ่นหลังคาที่ได้ทำการ Standardized.....	136
ข.2 ค่า Factor loading ของโลหะหนักที่ได้ฝุ่นหลังคาหลังจากทำการหมุนแกน.....	136
ข.3 ค่า Factor Score ของฝุ่นหลังคาจากทั้ง 10 ชุมชน.....	137
ข.4 ข้อมูลโลหะหนักที่ได้จากฝุ่น Dustfall ที่ได้ทำการ Standardized.....	137
ข.5 ค่า Factor loading ของโลหะหนักที่ได้ฝุ่น Dustfall หลังจากทำการหมุนแกน.....	138
ข.6 ค่า Factor Score ของฝุ่น Dustfall จากทั้ง 10 ชุมชน.....	138
ค.1 พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นหลังคา.....	141
ค.2 พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างฝุ่น Dustfall.....	141

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ค่า Factor Loading ก่อนและหลังจากที่ทำการหมุนแกน..... 28
2.2	Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มโรงงาน..... 29
2.3	Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มสารเคมี..... 29
3.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา..... 51
3.2	แผนที่แสดงจุดที่ตั้งของ 10 ชุมชน ในจังหวัดนครราชสีมา..... 52
3.3	ขั้นตอนการเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน..... 60
3.4	ขั้นตอนการเก็บและเตรียมตัวอย่างฝุ่นจากหลังคาหรือพื้นของอาคารบนที่สูง..... 62
3.5	ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall..... 65
3.6	ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall ที่ทำการติดตั้งในพื้นที่..... 66
3.7	ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างฝุ่น Dustfall..... 70
3.8	ขั้นตอนการย่อยตัวอย่างด้วย Microwave digestion..... 73
3.9	ขั้นตอนการใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ Principle Component Analysis..... 76
3.10	ขั้นตอนการใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ Cluster Analysis..... 78
4.1	Dot Plot ของค่าความเข้มข้นโลหะหนัก 9 ชนิด ในดินที่ได้จาก 10 ชุมชน..... 80
4.2	แผนภูมิเปรียบเทียบค่ามัธยฐานความเข้มข้นโลหะหนักของงานวิจัยนี้ กับของประเทศไทย (Zarcinas, B. A., et al., 2004)..... 82
4.3	Dot Plot ของค่าความเข้มข้นโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด ในฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall ที่ได้จาก 10 ชุมชน..... 85
4.4	ชุมชนที่ศึกษาภายในเขตอำเภอเมืองนครราชสีมา จำนวน 5 ชุมชน และแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ..... 93
4.5	ค่า Factor loading ของโลหะหนักจากฝุ่นหลังคาหลังจากการหมุนแกน..... 99
4.6	ค่า Factor Score ของชุมชนที่ทำการเก็บฝุ่นหลังคา..... 100
4.7	Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มโลหะหนักของฝุ่นหลังคา..... 102
4.8	Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มชุมชนของฝุ่นหลังคา..... 103

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มชุมชนของฝุ่นหลังคาโดยใช้การวัดระยะห่างด้วยวิธี Euclidean.....	103
4.10 ค่า Factor loading ของโลหะหนักจากฝุ่น Dustfall หลังจากการหมุนแกน.....	108
4.11 ค่า Factor Score ของชุมชนที่ทำการเก็บฝุ่น Dustfall.....	109
4.12 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มโลหะหนักจากฝุ่น Dusfall.....	111
4.13 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มชุมชนของฝุ่น Dusfall.....	111
4.14 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มชุมชนของฝุ่น Dustfall โดยใช้การวัดระยะห่างด้วยวิธี Euclidean.....	112





คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

EF	=	ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor)
PCA	=	การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal component analysis)
CA	=	การจำแนกกลุ่มตัวแปร (Cluster Analysis)
ICP-MS	=	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
Dustfall	=	ฝุ่นที่ตกได้
WHO	=	องค์การอนามัยโลก (World Health Organization)
ATSDR	=	The Agency for Toxic Substances and Disease Registry
World Bank	=	ธนาคารโลก
SPM	=	ฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter)
CO	=	แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์
SO ₂	=	แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์
NO _x	=	แก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน
O ₃	=	แก๊สโอโซน
PM ₁₀	=	ฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
Pb	=	สารตะกั่ว (Lead)
As	=	สารหนู (Arsenic)
Cd	=	แคดเมียม (Cadmium)
Hg	=	ปรอท (Mercury)
Cr	=	โครเมียม (Chromium)
Mn	=	แมงกานีส (Manganese)
Fe	=	เหล็ก (Iron)
Cu	=	ทองแดง (Copper)
Zn	=	สังกะสี (Zinc)

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

AAS	=	Atomic Absorption Spectrophotometer
AES	=	Atomic Emission Spectroscopy
KIE	=	Karak Industrial Estate
GIS	=	ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System)
WDXRF	=	Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry
ETAAS	=	Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry
CVAAS	=	Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry
OES	=	Optical Emission Spectrometry
SEM	=	Scanning Electron Microscope
EDX	=	Energy Dispersive X-ray Spectrometer
SCA	=	Standard Crustal Aerosol
PIXE	=	Proton Induced X-ray Emission
R ²	=	ค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of determination)
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
ppm	=	หนึ่งในล้านส่วน
ppb	=	หนึ่งในพันล้านส่วน
ml	=	มิลลิลิตร
HCl	=	กรดไฮโดรคลอริก
HNO ₃	=	กรดไนตริก
HF	=	กรดไฮโดรฟลูออริก
HBrO ₃	=	กรดบอริก
ซม.	=	เซนติเมตร
มก.ก.	=	ไมโครกรัม
มก.	=	มิลลิกรัม
กก.	=	กิโลกรัม
ลบ.ม.	=	ลูกบาศก์เมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาหมอกพิษอากาศเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีความสำคัญ เนื่องจากมลพิษอากาศเป็นความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมที่สำคัญต่อสุขภาพอย่างมาก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน รวมถึงมีผลต่อการลดลงของอายุขัยเฉลี่ยของประชาชน อีกทั้งยังเป็นที่มาของการเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลอันเนื่องมาจากอาการเจ็บป่วยต่าง ๆ เกิดภาวะของการรักษาโรคจากการติดเชื้อระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และโรคมะเร็งปอด เป็นต้น นอกจากนี้ยังสร้างความเสียหายต่อสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติอีกด้วย ซึ่งในแต่ละปีมีประชากรที่ต้องเสียชีวิตเนื่องจากมลพิษอากาศหรือเสียเงินค่ารักษาสุขภาพจากอากาศเจ็บป่วยเป็นจำนวนมาก โดยมลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดอาการเจ็บป่วยนั้นเกิดขึ้นได้ทั้งมลพิษทางอากาศภายในอาคาร และมลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร หรือแม้แต่มลพิษอากาศตามท้องถนน ทางองค์การอนามัยโลก (WHO) ได้ประมาณการว่ามลพิษอากาศภายในอาคารทำให้คนเสียชีวิตก่อนวัยอันควรประมาณ 2 ล้านคน โดยส่วนใหญ่อยู่ในประเทศกำลังพัฒนา ในขณะที่คาดการณ์ว่ามีประชากรที่เสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศภายนอกอาคารในชุมชนเมืองมีประมาณ 1.3 ล้านคนทั่วโลกต่อปี ดังนั้นการลดระดับมลพิษอากาศลงจะช่วยลดจำนวนผู้ได้รับผลกระทบจากมลพิษอากาศ (ประกาย ชีระวัฒนากุล, 2556)

จากสถานการณ์มลพิษอากาศในประเทศไทย พบว่า ในปี 2555 สารมลพิษอากาศที่เป็นปัญหาหลักของประเทศ คือ ฝุ่นขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน พบปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐาน และฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ยังคงเป็นปัญหาหลักเช่นเดียวกับในปีที่ผ่านมา โดยในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนและพื้นที่ที่เกินเกณฑ์มาตรฐานมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ผลมาจากมาตรการควบคุมฝุ่นจากการก่อสร้าง การปรับเปลี่ยนมาตรฐานยานพาหนะใหม่ และการควบคุมการเผาในที่โล่ง อย่างไรก็ตามก็ยังมีหลายพื้นที่ที่มีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน อยู่ในระดับเกินเกณฑ์มาตรฐาน เช่น สระบุรี กรุงเทพมหานครและจังหวัดในปริมณฑล โดยแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่เกิดจากยานพาหนะ อุตสาหกรรม สิ่งก่อสร้าง การเผาในที่โล่ง และมลพิษจากหมอกควันข้ามแดนในบางพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีปัญหาคุณภาพอากาศมาก คือ สระบุรี เนื่องจากในเขตจังหวัดสระบุรีมีอุตสาหกรรมโรงโม่บดหิน รองลงมา คือ จังหวัดในกลุ่มภาคเหนือตอนบนในช่วงสถานการณ์หมอกควัน และใน

กรุงเทพมหานครและจังหวัดในปริมณฑล ได้แก่ สมุทรปราการ นนทบุรี สมุทรสาคร เนื่องจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรม และการก่อสร้าง สถานการณ์หมอกควันในภาคเหนือที่เป็นปัญหาและเกิดขึ้นในทุกปี ซึ่งในช่วงระยะหลังมานี้ประเทศไทยประสบกับปัญหาสถานการณ์หมอกควันจากไฟป่าและการเผาในที่โล่งเป็นประจำทุก ปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดหมอกควัน ฝุ่นละออง เขม่าควันออกสู่อากาศ ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญ ส่งผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชน รวมทั้งบังคับทัศนวิสัยการจราจรทั้งทางบกและทางอากาศ ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นต่อเนื่องในระยะเวลาหลายปีที่ผ่านมา จำเป็นต้องหาทางแก้ไขปัญหอย่งเป็นรูปธรรม ติดตาม เฝ้าระวัง ควบคุม และป้องกันกันอย่างจริงจัง (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

สำหรับมลพิษฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นทั้งจากกิจกรรมของมนุษย์หรือธรรมชาติ องค์ประกอบภายในจะมีการปนเปื้อนของโลหะหนักอยู่ โดยการที่โลหะหนักเหล่านี้เข้าสู่สิ่งมีชีวิตนั้น จะต้องมีการดูดซึมผ่านเข้าทางผิวหนัง หรือดูดซึมเข้าสู่เซลล์หรือร่างกาย หรือหากเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ จะเข้าสู่กระบวนการย่อยอาหาร ผ่านทางระบบทางเดินอาหาร และถูกดูดซึมเข้าไปยังเนื้อเยื่ออวัยวะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดอันตรายหรือเกิดการเจ็บป่วยล้มตายลงได้ โดยทาง The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) ได้จัดอันดับโลหะที่เป็นอันตรายไว้ 20 ชนิด เป็นที่ทราบกันว่าโลหะหนักมีพิษต่อมนุษย์ทั้งแบบเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยแบ่งเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ทำให้เซลล์ตาย เปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ ก่อให้เกิดมะเร็ง ทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรม และสร้างความเสียหายต่อโครโมโซม ทั้งนี้ผลกระทบต่อสุขภาพของเด็กหากได้รับโลหะหนักจะส่งผลมากกว่าผู้ใหญ่ จึงจำเป็นจะต้องมีการเฝ้าระวังและตรวจติดตามโลหะหนักที่มีการปะปนในสิ่งแวดล้อม สำหรับในประเทศไทยได้มีการกำหนดให้มีการรายงานโลหะหนัก 6 ชนิด ซึ่งคาดว่าพบบ่อยในประเทศไทยได้แก่ ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) และแมงกานีส (Mn) (สำนักกระบวนวิเทศกรรมควบคุมโรค, 2547)

ในประเทศไทยเหตุการณ์ที่โลหะหนักมีการส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้แก่ เหตุการณ์ปัญหาสารหนูในตำบลร้อนพิบูลย์ อำเภอร้อนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ในปลายปี 2530 ส่งผลให้ประชาชนป่วยเป็นโรคไข้ดำ และเหตุการณ์การปนเปื้อนสารตะกั่วที่บ้านคลิตี้ล่าง อำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ในปี 2541 ส่งผลให้ประชาชนในบริเวณนั้นมีปริมาณของสารตะกั่วในเลือดสูงและเด็กจะมีการเจริญเติบโตช้า หรือแม้แต่เหตุการณ์การปนเปื้อนของสารปรอทในอำเภอนาตาล ในประเทศญี่ปุ่นจนเป็นที่มาของโรคมินามาตะ ในปี 2499 ซึ่งเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมานี้ล้วนเป็นผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากโลหะหนักเป็นสาเหตุทั้งสิ้น

ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการศึกษาโดยการวิเคราะห์หาโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นละอองในบรรยากาศของชุมชนต่าง ๆ 10 ชุมชนในจังหวัดนครราชสีมา เพื่อหาว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบมีปริมาณมากน้อยเพียงใดและโลหะหนักที่พบส่วนใหญ่มาจากกิจกรรมใดบ้าง โดยในการศึกษาจะใช้การเก็บตัวอย่างของฝุ่น 2 รูปแบบ คือ การกวาดฝุ่นจากหลังคาหรืออาคารสูง และวิธีการเก็บฝุ่นแบบ Dustfall ในเขตพื้นที่ศึกษา แล้วนำฝุ่นที่ได้มาวิเคราะห์หาโลหะหนักที่ปะปนอยู่ในฝุ่นโดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) และเปรียบเทียบความสัมพันธ์ทางสถิติของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis : PCA) และการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม (Cluster Analysis : CA) เพื่อหาปัจจัยอันเป็นแหล่งที่มาและจัดกลุ่มของธาตุโลหะหนัก รวมถึงหาค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor : EF) เพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะหนักว่าเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์หรือเกิดจากธรรมชาติ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้จะสามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเฝ้าระวังและตรวจติดตามผลกระทบที่จะเกิดจากโลหะหนักหนักในฝุ่นได้

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อหาความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นของชุมชนต่าง ๆ ในจังหวัดนครราชสีมา

1.2.2 เพื่อจัดกลุ่มโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่พบ คัดการณ์แหล่งที่มา และบ่งชี้โลหะหนักที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 พื้นที่ศึกษาคือชุมชนแบ่งตามเขตการปกครองขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) อย่างน้อยจำนวน 10 ชุมชนในจังหวัดนครราชสีมา

1.3.2 ฝุ่นที่ทำการวิเคราะห์คือตัวอย่างฝุ่นที่ได้จากการเก็บตัวอย่าง 2 วิธี ได้แก่ วิธีการกวาดฝุ่นจากหลังคาหรือพื้นที่บนอาคารสูงของอาคารที่อยู่ในเขตพื้นที่ศึกษา และวิธีการเก็บฝุ่นแบบ Dustfall ซึ่งวัดน้ำหนักฝุ่นที่ตกลงในภาชนะที่ตั้งรองรับ

1.3.3 โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ 9 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd)ปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn)

1.3.4 วิเคราะห์โลหะหนักโดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) รุ่น 7700CE บริษัท Agilent Technology ณ ห้องปฏิบัติการของอาคารศูนย์เครื่องมือ 1 (F1) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.3.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติของโลหะหนักจากจุดเก็บตัวอย่าง 10 จุด โดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการวิเคราะห์แบบจัดกลุ่ม โดยใช้โปรแกรม SPSS version 18 ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีได้จัดซื้อลิขสิทธิ์

1.4 สมมุติฐานงานวิจัย

1.4.1 องค์ประกอบของฝุ่นมีโลหะหนักเจือปนอยู่หลายชนิดและอาจมีแหล่งกำเนิดมาจากกิจกรรมมาจากกิจกรรมของมนุษย์ในเขตพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

1.4.2 เทคนิคการวิเคราะห์ทางสถิติสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักแต่ละชนิดและระบุกลุ่มโลหะหนักที่มีแหล่งกำเนิดประเภทเดียวกันได้

1.4.3 การเก็บตัวอย่างด้วยวิธีการกวาดฝุ่นและฝุ่น Dustfall ให้ผลข้อมูลโลหะหนักในฝุ่นใกล้เคียงกันและสามารถใช้ทดแทนกันได้



บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์มลพิษอากาศของประเทศไทย

มลพิษทางอากาศ (Air Pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอ และเป็นระยะเวลาานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ อนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่าง ๆ สารดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ อาจอยู่ในรูปของแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งก็ได้ สารมลพิษที่สำคัญได้แก่ ฝุ่นละออง (SPM) ตะกั่ว (Pb) แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) แก๊สออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และแก๊สโอโซน (O₃) (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550)

แหล่งกำเนิดของมลพิษทางอากาศมี 2 แหล่งใหญ่ คือ มลพิษที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และมลพิษที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ มลพิษที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เช่น ไฟไหม้ป่า พายุฝุ่น ภูเขาไฟระเบิด แก๊สจากการเน่าของอินทรีย์วัตถุ รวมทั้งแก๊สจากการขับถ่ายและการหายใจของมนุษย์และสัตว์ สำหรับมลพิษที่เกิดจากการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ซึ่งมีมากมายหลายชนิด ตั้งแต่กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ใช้เครื่องจักร เครื่องยนต์และน้ำมันเชื้อเพลิง หรือใช้สารเคมีที่มีพิษ การทำเหมืองแร่ที่มีกระบวนการขุด เจาะ ระเบิด บดอัด เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีมลพิษที่มาจากกิจกรรมในชีวิตประจำวันได้แก่ การเดินทาง คมนาคมขนส่ง การใช้เชื้อเพลิงหุงต้มอาหาร การใช้สเปรย์ฉีด และใช้สำนักงาน และในครัวเรือนที่ต้องใช้สารเคมีชนิดที่ก่อให้เกิดผลต่อสภาพแวดล้อม เช่น สารฆ่าแมลงที่สะสมในร่างกายได้

จากสถานการณ์ของประเทศไทยนั้น พบว่า “ในปี 2539 กรุงเทพมหานคร ถูกกล่าวหาว่าเป็นเมืองมหานครที่มีปัญหาฝุ่นละอองในบรรยากาศสูงที่สุดเป็นอันดับหนึ่งของโลก” (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ปัญหามลพิษทางอากาศในขณะนั้นก็อยู่ในระดับรุนแรงและน่าวิตก ทั้งปริมาณสารตะกั่ว และแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ นอกเหนือไปจากวิกฤติการณ์ของมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในเขตเมืองแล้วยังมีพื้นที่อื่น ๆ ที่ประสบกับปัญหาภาวะมลพิษอากาศรุนแรง เช่น พื้นที่แม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งมีปัญหาแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือพื้นที่ของจังหวัดสระบุรีที่มีการระเบิดหินเกิดปัญหาเรื่องฝุ่นละออง ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นทำให้หน่วยงานต่าง ๆ ที่รับผิดชอบต่างเร่งแก้ไข ใฝ่ระวังและตรวจติดตามปัญหา เพื่อลบภาพสะท้อนของปัญหาที่เกิดขึ้น

ฝุ่นละออง เขม่า คาร์บอน เป็นปัญหามลพิษทางอากาศหลักของประเทศไทยทั้งในเขตกรุงเทพมหานคร เขตปริมณฑล และเมืองขนาดใหญ่ในต่างจังหวัดมาเป็นเวลานาน ฝุ่นละออง เป็นอนุภาคที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน จะมีผลรุนแรงต่อปอดทำให้เกิดอาการปอดอักเสบเรื้อรังหรือฉับพลันได้ โดยผู้ที่เปราะบางที่สุดคือเด็กและผู้สูงอายุ หอบหืดจะปรากฏอาการรุนแรง ปัญหาฝุ่นละอองได้ถูกแก้ไขมาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน การผันแปรของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศ มักจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาวะเศรษฐกิจและกิจกรรมการพัฒนาที่เกิดขึ้นโดยฝีมือมนุษย์ เช่น การก่อสร้างโครงการขนาดใหญ่ต่าง ๆ รวมทั้งปัญหาการจราจร การพัฒนาและเติบโตที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วของชุมชนเมือง ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ในปี พ.ศ. 2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพอนามัยของคนในกรุงเทพมหานคร เพื่อพบว่าฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานครมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่าง ๆ ทั่วโลก โดยระดับของฝุ่นขนาดเล็กอาจทำให้คนในกรุงเทพมหานครเสียชีวิตก่อนเวลาอันควร ถึง 4,000-5,500 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่า การเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะฝุ่นละอองมีแหล่งกำเนิดหลากหลาย ทำให้การออกมาตรการเพื่อลดฝุ่นละอองทำได้ยาก โดยแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่สำคัญได้แก่ การสัญจรด้วยยานพาหนะ การก่อสร้าง และอุตสาหกรรม สำหรับในพื้นที่ชนบท แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองที่สำคัญ คือ การเผาไหม้ในภาคเกษตร

การแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองโดยยึดหลัก 3 ประการ คือ 1) ควบคุมการระบาย 2) ลดแหล่งกำเนิด และ 3) ประชาสัมพันธ์ให้ความรู้แก่ประชาชนในเรื่องที่เกี่ยวกับฝุ่นละออง การดำเนินการดังกล่าวได้ก่อให้เกิดการตรวจจับรถที่มีมลพิษเกินมาตรฐาน การตรวจสอบการก่อสร้างอาคาร ถนน และระบบขนส่งมวลชนให้มีการปฏิบัติที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการฟุ้งกระจายของฝุ่นละออง การตรวจจับรถบรรทุกขนส่งวัสดุก่อสร้างให้มีการทำความสะอาดก่อนวิ่งออกสู่ท้องถนน จัดเจ้าหน้าที่และรถ ล้าง กวาด และดูดสิ่งสกปรกบนพื้นถนนอย่างต่อเนื่อง รวมไปถึงการปรับปรุงบาทวิถี ทางเท้า การจัดระเบียบหาบเร่แผงลอย และการปลูกพืชคลุมดินในบริเวณพื้นที่ว่างบนเกาะกลางถนน ทำให้ปริมาณฝุ่นละอองลดการฟุ้งกระจายลง รวมไปถึงการจัดประชาสัมพันธ์และสร้างการมีส่วนร่วมของประชาชนในการลดปริมาณฝุ่นละออง นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดีเซลทำให้การระบายควันดำของรถต่าง ๆ ลดลง ซึ่งภาครัฐมีมาตรการจัดการที่เข้มงวด ทำให้แนวโน้มของฝุ่นละอองในบรรยากาศมีระดับลดลงอย่างต่อเนื่องมาจนถึงปัจจุบัน

ถึงแม้ว่าปัญหาดังกล่าวนี้แม้จะได้รับการแก้ไขจนประสบความสำเร็จในระดับหนึ่งแล้ว แต่บางพื้นที่ ก็ยังคงมีปัญหาฝุ่นละอองปรากฏให้เห็นอยู่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่นสูง เป็นผลให้บริเวณริมถนนยังคงมีฝุ่นละอองสูง โดยเฉพาะฝุ่นขนาดเล็ก (เล็กกว่า 10 ไมครอน) ยังอยู่ในระดับเกินค่ามาตรฐานในหลายพื้นที่ หรือแม้แต่ในช่วงฤดูแล้งที่มีการเผาในภาคเกษตรกรรมและการเกิดไฟฟ้าในทางภาคเหนือ ก็ก่อให้เกิดปัญหาของมลพิษ ทั้งหมดควัน และปัญหาฝุ่นละอองที่เกินมาตรฐาน ดังนั้นปัญหาฝุ่นละอองในปัจจุบันจึงยังจัดเป็นปัญหาหลักในประเทศที่รัฐจะต้องแก้ไข

ภายในองค์ประกอบของอนุภาคฝุ่นละออง อาจมีการปะปนของโลหะหนัก ทั้งนี้โลหะหนักเองมีอยู่ตามธรรมชาติ มีปะปนอยู่ในน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง ไม่ว่าจะเป็นสารปรอท ตะกั่ว หรือแคดเมียม อีกทั้งยังถูกนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมีอยู่หลายชนิด ซึ่งมีคุณสมบัติทั้งให้ประโยชน์และโทษแตกต่างกันไป โดยทั่วไปสารโลหะหนักจะตกค้าง และสามารถตรวจพบการปนเปื้อนได้ในสิ่งแวดล้อม เช่น แหล่งน้ำ ดิน อาหาร เครื่องใช้ต่าง ๆ ฯลฯ บางแห่งมีการปนเปื้อนในปริมาณที่ค่อนข้างสูง เช่น กรณีการปนเปื้อนสารตะกั่วในลำห้วยคลิตี้ จังหวัดกาญจนบุรี, สารหนูที่อำเภอรัตนบุรี จังหวัดนครราชสีมา, แคดเมียม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ที่มีประชาชนได้รับผลกระทบค่อนข้างมาก และเป็นพื้นที่ที่ต้องมีการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง

นอกจากปัญหาผลกระทบจากสารโลหะหนัก ที่พบในพื้นที่เสี่ยงข้างต้นแล้ว ในแต่ละปีสำนักกระบวนวิชาได้รับรายงานเฝ้าระวังโรค ผู้ป่วยพิษสารโลหะหนัก ที่ได้รับรายงานจากโรงพยาบาลของรัฐ ตามชนิดสารโลหะหนัก ตัวอย่างเช่นพิษสารตะกั่วเป็นปัญหาสุขภาพที่เกิดจากการได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายในปริมาณสูง และตรวจพบการสะสมตะกั่วในกระแสเลือด บางรายมีอาการของโรคเริ่มปรากฏ และเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล จากรายงานเฝ้าระวังโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม พบว่าระหว่างปี พ.ศ. 2546 - 2555 มีรายงานผู้ป่วยพิษจากโลหะหนัก จำนวน 966 ราย เฉลี่ยปีละ 96 ราย โดยแนวโน้มในแต่ละปีมีรายงานไม่แน่นอน ในปี พ.ศ. 2555 ได้รับรายงานผู้ป่วยพิษสารโลหะหนัก 88 ราย รายงานผู้ป่วยสูงสุด ภาคเหนือ 29 ราย ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 28 ราย ภาคกลาง 27 ราย และภาคใต้ 4 ราย กลุ่มอายุที่พบสูงสุด คือ 0 - 4 ปี รองลงมาคือ 10 - 14 ปี ผู้ป่วยได้รับพิษสารโลหะหนักทั้งหมดที่ได้รับรายงาน ได้แก่ ตะกั่ว 35 ราย ปรอท 1 ราย และไม่ระบุชนิดอีก 57 ราย ไม่มีรายงานผู้เสียชีวิต โดยระหว่าง ปี พ.ศ. 2546 - 2555 มีผู้ป่วยพิษสารตะกั่ว รวม 260 ราย และในปี พ.ศ. 2555 มีแนวโน้มการรายงานพิษตะกั่วสูงขึ้น ภาคเหนือ มีรายงานสูงสุด 23 ราย และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 11 ราย จังหวัดที่มีรายงานสูงสุดคือ ตาก 12 ราย และบึงกาฬ 7 ราย ซึ่งเกิดจากปัญหาสิ่งแวดล้อม (แสง โนม ศิริพานิช, สุชาดา มีศรี และกัญญิกา ถิ่นทิพย์, 2555)

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลจากระบบเฝ้าระวังเป็นข้อมูลที่ชี้ให้เห็นปัญหาของพิษสารโลหะหนักเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น ไม่ใช่ปัญหาทั้งหมด ดังนั้น การประเมินสภาพปัญหาจากสารโลหะหนัก จึงควรพิจารณาจากข้อมูลจากหลาย ๆ แหล่ง เช่น ข้อมูลการเฝ้าระวังเฉพาะพื้นที่ สิ่งแวดล้อม และการศึกษาวิจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย

จังหวัดนครราชสีมาเองถือเป็นจังหวัดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของประเทศ มีพื้นที่ประมาณ 20,494 ตารางกิโลเมตร และมีจำนวนประชากรมากเป็นอันดับ 2 รองจากกรุงเทพมหานคร ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาและขยายขนาดของเมืองอย่างต่อเนื่อง ทั้งภายในเขตอำเภอเมือง และบริเวณโดยรอบปัจจุบันเริ่มมีโรงงานอุตสาหกรรมเข้ามาลงทุนอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งภายในเขตเทศบาลนครราชสีมาเป็นแหล่งชุมชนที่มีการอยู่อาศัย ย่านการค้า หรือธุรกิจขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้การจราจรภายในเขตเทศบาลนครฯ มีความหนาแน่นสูง

ภายในเขตเทศบาลนครราชสีมาฯ ยังไม่มีปัญหามลพิษทางอากาศที่ร้ายแรงและจากการเฝ้าระวังปัญหามลพิษทางอากาศของเทศบาลร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2548 ได้มีการตรวจวัดคุณภาพอากาศและเสียงในย่านชุมชนในเขตเทศบาลจำนวน 5 จุด พบว่า ค่าระดับของฝุ่นที่ได้ไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ และจากผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในระหว่างปี 2549-2555 พบว่าค่าของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) มีค่าเฉลี่ยรายเดือนไม่เกินค่ามาตรฐาน โดยที่สถานการณ์ระดับฝุ่นในเขตเทศบาลในปัจจุบัน อยู่ในระดับที่ต้องมีการตรวจติดตามอย่างใกล้ชิดและต่อเนื่อง (กรมควบคุมมลพิษ, 2555)

2.2 ข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ศึกษา

2.2.1 ลักษณะและสภาพทั่วไป

ขนาดที่ตั้งและอาณาเขต

จังหวัดนครราชสีมา ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ บนที่ราบสูงโคราช ละติจูด 15 องศาเหนือ ลองจิจูด 102 องศาตะวันออก สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 187 เมตร จังหวัดนครราชสีมาแบ่งการปกครองออกเป็น 32 อำเภอ มีพื้นที่ 20,493.964 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 12,808,728 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 12.12 ของพื้นที่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับ จังหวัดชัยภูมิ และจังหวัดขอนแก่น
ทิศใต้	ติดต่อกับ จังหวัดปราจีนบุรี จังหวัดนครนายก และจังหวัดสระแก้ว
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ จังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดขอนแก่น
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ จังหวัดสระบุรี จังหวัดลพบุรี

ลักษณะภูมิประเทศ

สภาพภูมิประเทศของจังหวัดมีทั้งที่เป็นภูเขาสูง ที่ราบลุ่ม พื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้น และพื้นที่ลูกคลื่นลอนลึก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 บริเวณ คือ

1. บริเวณเทือกเขาและที่สูงทางตอนใต้ของจังหวัดมีความสูงจากระดับน้ำทะเล มากกว่า 250 เมตร อยู่ในบริเวณอำเภอปากช่อง ปักธงชัย วังน้ำเขียว ครบุรีและเสิงสาง พื้นที่ระหว่างเทือกเขาส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลึกและลูกคลื่นลอนตื้น ตอนล่างของหุบเขามีความลาดชันค่อนข้างมาก

2. บริเวณที่สูงทางตอนกลางของจังหวัดมีความสูงจากระดับน้ำทะเล 200 - 250 เมตร อยู่ในเขตอำเภอด่านขุนทด สีคิ้ว เทพารักษ์ พระทองคำ ตอนล่างของอำเภอโนนไทย ขามทะเลสอ อำเภอเมือง สูงเนิน ตอนบนของอำเภอปักธงชัยและครบุรี โขกษัย หนองบุญมาก จักราช และเสิงสาง ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นลูกคลื่นลอนตื้นยกเว้นบริเวณใกล้เชิงเขามีลักษณะเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนลึก พื้นที่บางส่วนเป็นที่ราบลุ่มแม่น้ำไหลผ่าน

3. พื้นที่ลูกคลื่นทางตอนเหนือของจังหวัด มีความสูงจากระดับน้ำทะเล ประมาณ 200 เมตร อยู่ในเขตอำเภอขามสะแกแสง ตอนบนของอำเภอโนนไทย อำเภอคง ทางทิศตะวันตกของอำเภอบัวใหญ่ บ้านเหลื่อม ห้วยแถลง และชุมพวง ลำทะเมนชัย มีลักษณะเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้นที่สูงสลับที่นา บางตอนเป็นพื้นที่ราบลุ่ม

4. บริเวณที่ราบลุ่มทางตอนเหนือของจังหวัด มีความสูงจากระดับน้ำทะเล น้อยกว่า 200 เมตร อยู่ในเขตอำเภอบัวใหญ่ อำเภอคง โนนสูง ประทาย พิมาย สีดา บัวลาย และอำเภอเมืองยาง มีลักษณะเป็นพื้นที่ลูกคลื่นลอนตื้น และมีที่ราบลุ่มบริเวณริมฝั่งแม่น้ำ

2.2.2 ลักษณะภูมิอากาศ

อากาศทั่วไปของจังหวัดนครราชสีมาอยู่ภายใต้อิทธิพลของมรสุม 2 ชนิด คือ มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ (เริ่มตั้งแต่ประมาณกลางเดือนตุลาคม-กุมภาพันธ์) ทำให้บริเวณจังหวัดนครราชสีมาประสบกับภาวะอากาศหนาวเย็นและแห้งแล้ง โดยทั่วไป ส่วนมรสุมอีกชนิดหนึ่งคือมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคม-กลางเดือนตุลาคม) พัดพาเอามวลอากาศชื้นจากมหาสมุทรอินเดียมาสู่ประเทศไทย ทำให้บริเวณจังหวัดนครราชสีมา มีเมฆมากและฝนตกชุกโดยทั่วไป

ฤดูกาลของจังหวัดนครราชสีมา เมื่อพิจารณาตามลักษณะลมฟ้าอากาศของประเทศไทยแบ่งออก ได้เป็น 3 ฤดู ดังนี้

1. ฤดูหนาว เริ่มตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความกดอากาศสูงจากประเทศจีนที่แผ่ลงมาปกคลุมประเทศไทย

2. ฤดูร้อน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงเปลี่ยนจากมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ สภาพอากาศจึงร้อนอบอ้าวทั่วไป ในฤดูนี้แม้ว่าโดยทั่วไปจะมีอากาศร้อนและแห้งแล้ง แต่บางครั้งอาจมีพายุฝนฟ้าคะนองเกิดขึ้นในฤดูนี้ ซึ่งมักเรียกว่า “พายุฤดูร้อน”

3. ฤดูฝน เริ่มตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม เป็นช่วงที่ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเป็นลมร้อนและชื้นจากมหาสมุทรอินเดีย และร่องความกดอากาศต่ำ (ร่องฝน) ที่พัดผ่านบริเวณภาคใต้ของประเทศไทยจะเลื่อนขึ้นมาพัดผ่านบริเวณประเทศไทยตอนบน ทำให้จังหวัดนครราชสีมา มีฝนตกชุกทั่วไป

ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญ ได้แก่

1. อุณหภูมิ เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของจังหวัดนครราชสีมาเป็นพื้นที่ราบสูง มีป่าและทิวเขาสูงกั้นเขตแดนเป็นแนวยาว อากาศจึงค่อนข้างร้อนอบอ้าวมากในฤดูร้อน และในฤดูหนาวก็ค่อนข้างหนาวเย็น

2. ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์กับมวลอากาศและอิทธิพลของลมมรสุมเป็นสำคัญในช่วงฤดูหนาวซึ่งเป็นระยะที่มรสุมตะวันออกเฉียงเหนือพัดปกคลุมประเทศไทย อากาศในจังหวัดนครราชสีมา จะแห้งแล้งและหนาวเย็น ตอนรุ่งเช้าอากาศจะชุ่มชื้น ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าสูงและจะลดต่ำ ลงอย่างรวดเร็วในตอนบ่ายถึงเย็น ส่วนในช่วงฤดูร้อน อากาศจะแห้งแล้งและร้อนอบอ้าวมาก ความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำมาก และความชื้นสัมพัทธ์จะค่อย ๆ สูงขึ้นเมื่อเริ่มเข้าฤดูฝน คือเมื่อมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดปกคลุมประเทศไทยลมนี้เป็นลมที่พัดจากทะเลจึงพัดพาเอาไอน้ำและความชุ่มชื้นมาด้วย ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นเป็นลำดับตลอดฤดูฝน

3. ลม ระบบการพัดเวียนของลมในจังหวัดนครราชสีมา มีความชัดเจนดี โดยในฤดูหนาวมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งพัดปกคลุมประเทศไทยในช่วงเดือนตุลาคม ถึงเดือนมกราคม ลมส่วนใหญ่เป็นลมตะวันออกเฉียงเหนือในตอนต้นฤดูร้อน ลมพัดแปรปรวน กำลังอ่อนจนถึงเดือนเมษายนลมจะเปลี่ยนเป็นทิศตะวันตกเฉียงใต้ ในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน ลมยังคงพัดทิศตะวันตกเฉียงใต้ และในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน ลมเปลี่ยนเป็นทิศตะวันตก (จังหวัดนครราชสีมา, 2553)

2.2.3 ข้อมูลด้านคุณภาพสิ่งแวดล้อม

สำหรับข้อมูลด้านคุณภาพอากาศของจังหวัดนครราชสีมาได้มีการตรวจวัดคุณภาพอากาศภายในเขตเทศบาลนครราชสีมา ซึ่งทางเทศบาลได้ร่วมกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีทำการตรวจวัดฝุ่นรวม โดยตรวจวัดทั้งหมด 5 จุด ซึ่งผลที่ได้เรียงลำดับจากมากไปน้อยดังนี้

1) สามแยกถนนมิตรภาพ-หนองคาย 2) อนุสาวรีย์ท้าวสุรนารี 3) ห้าแยกหัวรถไฟ

4) โรงเรียนอนุบาลนครราชสีมา และ 5) ประตู่ไชยณรงค์ และผลจากการตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ. 2549-2555 พบว่าค่า PM_{10} อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่เกินค่ามาตรฐาน (120 มค.ก./ลบ.ม.) ซึ่งมีข้อมูลแสดงในตารางที่ 2.1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลการตรวจวัด PM_{10} ของเทศบาลนครนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2549-2555

เดือน	ปี 2549 (มค.ก./ ลบ.ม.)	ปี 2550 (มค.ก./ ลบ.ม.)	ปี 2551 (มค.ก./ ลบ.ม.)	ปี 2552 (มค.ก./ ลบ.ม.)	ปี 2553 (มค.ก./ ลบ.ม.)	ปี 2554 (มค.ก./ ลบ.ม.)	ปี 2555 (มค.ก./ ลบ.ม.)
มกราคม	116.8	112.6	119.7	N/A	N/A	65.9	64.8
กุมภาพันธ์	105.1	N/A	44.3	N/A	N/A	83.2	87.9
มีนาคม	103.5	83.6	36.4	22.2	N/A	71.9	81.3
เมษายน	56.1	66.2	77.3	37.7	N/A	66.7	51.1
พฤษภาคม	55.8	46.5	54.6	26	35	39.2	39.4
มิถุนายน	48.8	49.4	46.2	28.5	35.7	37.6	42.2
กรกฎาคม	54.1	54.4	30	23.8	30.7	29.9	31
สิงหาคม	56.1	62.8	29.2	23.8	31.9	33.1	32.2
กันยายน	70.2	N/A	26.5	26.6	32.9	30.7	40
ตุลาคม	76	80.2	34.5	N/A	39.3	46.3	59.3
พฤศจิกายน	111.3	92.4	45.3	N/A	74.5	62.5	51.3
ธันวาคม	92.6	94.1	55.9	N/A	76.1	69.2	69.5

หมายเหตุ : N/A ไม่มีข้อมูลเนื่องจากเครื่องขัดข้อง และในปี 2553 ย้ายสถานีตรวจวัดจากบริเวณบ้านพักทหารมณฑลทหารบกที่ 21 มาตั้งที่บริเวณโรงสูบน้ำเสียเทศบาลนครนครราชสีมา
ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ 2555

2.3 ข้อมูลทั่วไปของโลหะหนัก

“โลหะหนัก” หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกินกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ชาติในตารางธาตุมีอยู่ 80 ชาติที่เป็น โลหะแต่มีโลหะประมาณ 20 กว่าชนิดเท่านั้นที่มีรายงานว่าเป็นพิษต่อคน เช่นปรอท ตะกั่ว และสารหนู เป็นต้น สารพิษเหล่านี้เมื่อสะสมอยู่ในร่างกายจนถึงระดับ

หนึ่ง ก็จะแสดงอาการออกมาให้เห็น (The Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ASTDR), 2010) ซึ่งผลของความเป็นพิษของโลหะหนักต่อกลไกระดับเซลล์มี 5 แบบ คือ

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

สำหรับการสะสมของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อมมีด้วยกันหลายรูปแบบ ตั้งแต่รูปแบบที่สามารถปลดปล่อยออกมาได้ง่ายและเข้าไปสะสมอยู่ในตะกอนหรืออยู่ในสิ่งมีชีวิต ไปจนกระทั่งถึงรูปแบบที่ยึดเกาะกันด้วยพันธะที่แข็งแรงและถูกปลดปล่อยออกมาได้ยาก สามารถแบ่งรูปแบบการสะสมของโลหะหนักในสิ่งมีชีวิตเรียงลำดับจากง่ายไปยากได้ดังนี้

- โลหะหนักที่อยู่ในรูปของไอออน รูปสารประกอบอนินทรีย์ หรือสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำอยู่ จะเป็นรูปแบบที่เข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ง่ายที่สุด
- โลหะหนักที่อยู่ในรูปแลกเปลี่ยนไอออนได้ ที่อยู่ร่วมกับสารประกอบเชิงซ้อนอินทรีย์ และอนินทรีย์จะเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตได้ง่าย
- โลหะหนักที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน หรือพวกลีเลตกับสารอินทรีย์ จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้น้อย
- สารประกอบที่ตกตะกอนไม่ละลายและสารประกอบการตกตะกอนร่วมของโลหะบนพื้นผิวของของแข็งนั้น จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมเท่านั้น
- โลหะหนักที่อยู่ในรูปของของแข็งในองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต โลหะหนักในรูปแบบนี้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างเคมี โดยมีการนำเปื่อยผุพังเสียก่อนจึงจะอยู่ในรูปที่นำเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้
- โลหะหนักที่อยู่ในรูปผลึกแร่ทั้งแร่ปฐมภูมิ และแร่ทุติยภูมิ จะเข้าสู่สิ่งมีชีวิตได้ก็ต่อเมื่อ มีการผุพังของแร่ธาตุด้วยกระบวนการต่าง ๆ ได้แก่ กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางอุคณิยมภายใต้ความร้อนและความดันร่วมกับกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ

โดยกระบวนการนำโลหะหนักเหล่านี้เข้าสู่สิ่งมีชีวิตนั้น จะมีการดูดซึมผ่านเข้าทางผิวหนังหรือดูดซึมเข้าสู่เซลล์หรือร่างกาย หากเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ จะเข้าสู่กระบวนการย่อยอาหาร ผ่านทางระบบทางเดินอาหาร และถูกดูดซึมเข้าไปยังเนื้อเยื่ออวัยวะต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต และเมื่อสิ่งมีชีวิตขับถ่ายของเสียซึ่งอาจอยู่ในรูปของแข็ง หรือของเหลว หรือเกิดการล้มตายลง โลหะหนักในรูปแบบต่าง ๆ ก็จะถูกปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมย้อนกลับเข้าสู่วัฏจักรดังกล่าวอีกครั้ง

รูปแบบของโลหะหนักมีทั้งแบบที่เป็นประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งไม่มีชีวิตสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น โลหะหนักที่อยู่ในรูปแบบของไอออน หรือในรูปสารประกอบออกไซด์ เป็นต้น แต่หากได้รับโลหะหนักในปริมาณที่มากเกินไปก็ก่อให้เกิดโทษต่อสิ่งมีชีวิตได้เช่นกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับรูปแบบของโลหะหนัก ดังนั้นการพิจารณารูปแบบของโลหะหนักจึงมีความสำคัญต่อการพิจารณาความเป็นพิษของโลหะหนัก ทำให้การศึกษาเพื่อแยกรูปแบบต่าง ๆ ของโลหะหนักออกจากกันจึงมีความจำเป็นเพื่อใช้เป็นข้อมูลที่จะนำไปประเมินรูปแบบของโลหะหนักที่สิ่งมีชีวิตจะนำไปใช้ประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตนั่นเอง

รูปแบบของโลหะหนักที่พบร่วมอยู่กับอนุภาคที่เป็นของแข็งในดิน สามารถจำแนกออกได้เป็นการดูดซับของโลหะหนักบนแร่ดินเหนียว การดูดซับบนสารประกอบไฮดรอกไซด์ ส่วนที่เกิดปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในดิน และที่รวมอยู่กับผลึกแร่ธาตุ เป็นต้น (นัทธีรา มาลา, 2541)

- รูปแบบของโลหะหนักที่อยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ ในธรรมชาติจะพบว่าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ รูปแบบของโลหะหนักที่ดูดซับบนแร่ดินเหนียว และรูปแบบที่ดูดซับบนสารประกอบออกไซด์ ซึ่งทั้งสองแบบจะมีออกไซด์เป็นส่วนประกอบทั้งสิ้น

- รูปแบบของโลหะหนักที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนอินทรีย์ ในธรรมชาติมีสารประกอบอินทรีย์เป็นจำนวนมาก และหลายชนิด แต่ที่พบในปริมาณมากที่สุดคือ สารประกอบชีวมีส นั่นคือซากพืชซากสัตว์ที่เกิดการเน่าเปื่อยย่อยสลายตามธรรมชาติ และสารประกอบดังกล่าวมีความเสถียรมากที่สุด เป็นตัวช่วยยึดเกาะโลหะ เนื่องมาจากการมีประจุที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่ากรดชีวมีก และฟัลวิก มีความสำคัญต่อการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะหนัก เพราะสามารถเกิดพันธะกับโลหะได้ โดยที่หมู่ฟังก์ชันที่อยู่ในโมเลกุลสารอินทรีย์จะทำปฏิกิริยากับโลหะ (Stevenson, F.J., 1994)

- รูปแบบคงค้างกับของแข็งและรวมอยู่ในผลึกของแร่ธาตุต่าง ๆ โดยรูปแบบดังกล่าวเกิดจากการผุพังสลายตัวของแร่ต่าง ๆ ในดิน เช่น Feldspars, Muscovite, Amphibole และ Pyroxenes ซึ่งเป็นแร่ที่เรียกว่าแร่ปฐมภูมิเมื่อแปรสภาพกลายเป็นแร่ทุติยภูมิ การแปรสภาพแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการใหญ่ คือ กระบวนการ Alteration และ Recrystallization (เกษมศรี ชับซ้อน, 2541)

สำหรับในประเทศไทยได้มีการกำหนดให้มีการรายงานโลหะหนัก 6 ชนิด ซึ่งคาดว่าพบบ่อยในประเทศไทยได้แก่ ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) ปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) และแมงกานีส (Mn) (สำนักกระบวนวิทยากรมควบคุมโรค, 2547) และในการศึกษานี้จะทำการศึกษาโลหะหนักทั้ง 6 ชนิดที่ต้องเฝ้าระวังติดตาม โดยมีการศึกษาเพิ่มเติมอีก 3 ชนิด เหล็ก (Fe) ทองแดง

(Cu) และสังกะสี (Zn) ซึ่งเป็นโลหะหนักที่ค่อนข้างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม ทั้งนี้ได้สรุปเนื้อหาที่สำคัญของโลหะหนัก 9 ชนิด ที่จะทำการศึกษาดังนี้

2.3.1 สารตะกั่ว (Lead)

สารตะกั่ว (Lead) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Pb มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 207.20 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 11.34 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร มีระบบผลึกเป็นแบบ FCC ขนาดของอะตอมวัดที่เส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.50 อังสตรอม และมีเลขอะตอมเท่ากับ 82 คุณสมบัติเหล่านี้จึงส่งผลให้ตะกั่วมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 327 องศาเซลเซียส และมีความแข็งแรงต่ำ แต่มีความเหนียวสูง อีกทั้งยังสามารถต้านทานการกัดกร่อนได้เป็นอย่างดี แต่มีคุณสมบัติการเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดี คนเราจะได้รับตะกั่วโดยตรงจากการกินอาหาร น้ำดื่ม หรือหายใจเอาสารตะกั่วเจือปนเข้าไป กลุ่มผู้เสี่ยงต่อการเกิดโรคพิษตะกั่ว ได้แก่ คนงานที่ทำเหมืองตะกั่ว โรงงานผลิตแบตเตอรี่ โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ โรงงานผลิตสี โรงงานผลิตสารพิษกำจัดศัตรูพืช และคนที่อาศัยอยู่ใกล้บริเวณโรงงานหลอมตะกั่วหรือใกล้โรงงานที่มีการใช้สารตะกั่วเป็นวัตถุดิบ ตำรวจจราจรและคนที่อยู่ในบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นเป็นเวลานาน เด็กอาจได้รับสารตะกั่วจากการหยิบสิ่งที่มีสารตะกั่วปนเปื้อนเข้าปากหรือรับจากน้ำนมแม่ที่มีสารตะกั่ว แม้แต่ทารกในครรภ์ก็สามารถรับสารตะกั่วจากมารดาได้ทางสายสะดือ สารตะกั่วมีพิษมากโดยเฉพาะเด็กซึ่งอาจมีผลทำให้สมองพิการ ส่วนผู้ใหญ่อาจมีผลต่อระบบทางเดินอาหารและระบบประสาท สำหรับอันตรายโดยทั่วไปนั้นทำให้เม็ดเลือดแดงอายุสั้นลง ทำให้เป็นโรคเลือดจางและเป็นอันตรายต่อระบบประสาท ไต ทางเดินอาหาร ตับ และหัวใจ (โรคพิษตะกั่ว, สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ ๒๒)

2.3.2 สารหนู (Arsenic)

สารหนู (Arsenic) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ As มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 74.92 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 5.727 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอมเท่ากับ 33 สารหนูมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 615 องศาเซลเซียส สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะ เป็นสารที่มีลักษณะเป็นผงโลหะสีเทา มีมากเป็นอันดับที่ 20 ของธาตุที่พบมากบนโลก สารหนูพบในสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ ตลอดจนพบในธรรมชาติ ได้แก่ ในพื้นดิน ทะเล มหาสมุทร และแหล่งน้ำต่าง ๆ สารหนูในธรรมชาติเหล่านี้มาจากการระเบิดของภูเขาไฟ การเผาถ่านหิน การถลุงแร่ การใช้สารกำจัดศัตรูพืช และสารหนูซึ่งเป็นองค์ประกอบของดิน หิน ตามธรรมชาติ นอกจากนี้สารหนูยังออกมาสู่บรรยากาศโลกจากอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีการใช้สารชนิดนี้ เช่น การอบไม้ การผลิตสี และการผลิตสารกำจัดศัตรูพืช สารหนูสามารถเข้าสู่ร่างกายคนเราได้โดยการสัมผัสผิวหนัง การหายใจและจากการรับประทานอาหารและน้ำดื่มที่มีการปนเปื้อนของสารหนู โดยส่วนใหญ่แล้วสาร

หนูเข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคอาหารแล้วจะดูดซึมผ่านทางเดินอาหารมากกว่าวิธีอื่น สารหนูนี้เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายจะถูกขจัดออกจากร่างกายอย่างรวดเร็ว มีงานศึกษาวิจัยพบว่าประมาณ 80-90% ของสารหนูที่เข้าสู่ร่างกายนั้นจะถูกขจัดออกจากร่างกายออกทางปัสสาวะภายใน 2 วัน พิษของสารหนูนี้มีทั้งแบบเฉียบพลัน (Acute Toxicity) และเรื้อรัง (Chronic Toxicity) อาการพิษเฉียบพลันของสารหนูทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่ออวัยวะที่สัมผัสกับสารหนู และอาจทำให้คลื่นไส้ อาเจียน เป็นตะคริว กล้ามเนื้อเกร็ง อาการแทรกซ้อนเกี่ยวกับการทำงานของหัวใจ และเสียชีวิตจากการทำงานล้มเหลวของหัวใจ อาการพิษเรื้อรังเกิดจากการได้รับสารหนูติดต่อกันเป็นเวลานาน สารนี้ทำให้เกิดเป็นแผลหรือเป็นรูที่ช่องจมูก ผิวหนังหนาขึ้นมีรอยดำดำที่ผิวหนัง อาจมีเส้นสีขาวบนเล็บ นอกจากนี้สารนี้ยังทำให้เกิดอาการชาตามปลายมือปลายเท้า มีความรู้สึกแสบร้อน มีอาการอ่อนเพลียของแขน ขา และอาจเป็นมะเร็งผิวหนังและปอด รวมทั้งมีผลต่อทารกในครรภ์ และมีฤทธิ์ก่อการกลายพันธุ์ (ขนิษฐ พานชวงค์, 2550)

2.3.3 แคดเมียม (Cadmium)

แคดเมียม (Cadmium) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Cd มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 112.411 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 8.65 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอมเท่ากับ 48 แคดเมียมมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 321.07 องศาเซลเซียส แคดเมียมเป็นโลหะทรานซิชันสีขาว-ฟ้า เป็นธาตุมีพิษ ในธรรมชาติพบอยู่ในแร่สังกะสี โดยทั่วไปจะไม่ค่อยพบแคดเมียมในรูปของแคดเมียมบริสุทธิ์ แต่มักจะพบในรูปของสารประกอบของเกลือ เช่น cadmium sulfate (CdSO_4) cadmium nitrate (CdNO_3) cadmium chloride (CdCl_2) ซึ่งเป็นสารประกอบที่ไม่มีสีและละลายได้ดีในน้ำ และแคดเมียมยังสามารถรวมตัวกับสารอื่น ๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ละลายน้ำได้ โดยเฉพาะเมื่อรวมกับ cyanides และ amines จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภคบริโภคต่าง ๆ มากแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศและในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่ โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ หรือบริเวณที่เป็นเหมืองทำแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนาน ๆ จะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น ปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครั้งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและ

ไต ทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน การจับแคดเมียมที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้ามาก เพราะวงจรครึ่งชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว ซึ่งอยู่ระหว่าง 16 -33 ปี (เขมชิต ธานกิจชาญเจริญ, นงนาถ เมฆรังสีมันต์ และสุรชัย ศิลาภรณ์โชติ, 2551)

2.3.4 โปรอท (Mercury)

โปรอท (Mercury) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Hg มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 200.59 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 13.534 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอมเท่ากับ 80 โปรอทมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ -38.83 องศาเซลเซียส โปรอทและสารประกอบของโปรอทที่พบได้ในธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ โลหะโปรอทหรือธาตุโปรอทหรือไอของมัน (elemental mercury; Hg^0) เกลือโปรอทอนินทรีย์ (inorganic mercurysalts ; Mercuric, Hg^{2+} และ Mercurous, Hg^+) และสารประกอบโปรอทอินทรีย์ (Organic mercury compounds) โปรอทสามารถระเหยเป็นไอได้ดีแม้ที่อุณหภูมิห้อง แรงดันไอของโปรอทเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ไอโปรอทเป็นพิษต่อร่างกายมาก ถ้าหายใจเข้าไปจะดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดทันที กระจายไปยังสมองและส่วนอื่นของร่างกายได้รวดเร็วมาก แต่ขับออกมาในรูปของเสียได้น้อยมาก โปรอทจะจับยึดกับเม็ดเลือดแดงและกระจายไปทั่วทุกส่วนของร่างกาย แล้วสามารถทำลายเนื้อเยื่อเยื่อสมองส่วนที่ควบคุมการมองเห็นและความรู้สึกนึกคิด สารโปรอทสามารถผ่านทางรกไปยังทารกในครรภ์ได้ อาการพิษจากสารโปรอทมี 2 ลักษณะ คือ พิษเฉียบพลัน เกิดจากการได้รับสารโปรอทคราวเดียวปริมาณมาก ทำให้มีอาการไข้ หายใจลำบาก ปวดอักเสบ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย มีแผลในปาก น้ำลายออกมาก มีภาวะไตวาย ถ่ายเป็นเลือด ชักกระตุก เดินเซ การเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อผิดปกติและพิษเรื้อรัง เกิดจากการได้รับสารโปรอทสะสมทีละน้อยเป็น ระยะเวลาานาน จนเกิดพิษทางสมอง ไต ตับ ผิวหนัง ทำให้มีอาการสั่น ชัก ปวดปลายมือปลายเท้าปวดศีรษะ หงุดหงิด ขี้ลืม ประสาทหลอน ฟันโยก เหงือกบวม มีเส้นทึบสีน้ำเงิน เลือดออกง่าย ภาวะซีด เลือดจาง มีอาการทางตับและไต (วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์, 2555)

2.3.5 โครเมียม (Chromium)

โครเมียม (Chromium) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Cr มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 51.996 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 7.15 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอมเท่ากับ 24 โครเมียมมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1907 องศาเซลเซียส โครเมียมเป็นโลหะมันวาวสีเทา ที่สามารถขัดเป็นมันได้ดี และมีจุดหลอมเหลวสูง ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และสามารถตีขึ้นรูปได้ การทำงานที่เสี่ยงต่อการสัมผัสโครเมียม ได้แก่ การผลิตโลหะผสมโครเมียม อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมโลหะผสมเหล็กกล้า การชุบโลหะสังกะสีและสแตนเลส การฟอกหนัง การผลิตรถยนต์ที่เกี่ยวข้องกับสีที่มีโครเมียมเป็นส่วนประกอบ การล้างฟิล์มถ่ายภาพ การพิมพ์อักษรหรือรูปลงใน

หิน การทอผ้า การย้อมสีผ้าและงานก่อสร้างที่ใช้ปูนซีเมนต์ สำหรับประชาชนทั่วไป เทียบกับ คนทำงานแล้ว มักไม่ค่อยมีโอกาสสัมผัสโครเมียม อาการพิษเฉียบพลัน ขึ้นกับการเข้าสู่ร่างกาย หากเป็นการสูดหายใจจะทำให้เกิดการระคายเคืองภายในจมูกมีรอยแผลเป็นหย่อม ๆ หายใจขัด บางครั้งอาจเกิดหอบหืดทันทีหรือมีภาวะปอดบวมได้ การได้รับทางปากจะทำให้มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้องเป็นอันตรายต่อกระเพาะอาหารและลำไส้ ไตวายเสียชีวิตได้ การได้รับทางผิวหนัง ทำให้เกิดแผลเปื่อย (chrome ulcer) ผื่นคัน พิษเรื้อรัง ทำให้ผิวหนังอักเสบ ผื่นคัน เกิดแผลเปื่อยที่เยื่อ จมูก ผื่นงั้น โพรงจมูกทะเล อุ ไอ น้ำมูกไหล ไตวาย บางกรณีอาจเกิดมะเร็งปอด (ฉันทนา ผดุงทศ, 2549)

2.3.6 แมงกานีส (Manganese)

แมงกานีส (Manganese) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Mn มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 54.938 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 7.21 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลข อะตอมเท่ากับ 25 แมงกานีสมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1246 องศาเซลเซียส ลักษณะเป็นโลหะมี ขาวคล้ายเงิน แข็งและเปราะพบในธรรมชาติ แต่จะเกิดร่วมกับธาตุอื่น ๆ ได้หลายรูป ชนิดที่มีความ สำคัญทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมคือ MnO_2 หรือ Pyrolusit โดยส่วนใหญ่จะใช้ในทาง โลหกรรมและอุตสาหกรรมถ่านไฟฉาย นอกจากนั้นแล้ว ได้แก่ การผลิตน้ำมันชักเงา อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ การผลิตสาร hydroquinone และต่างทับทิม อุตสาหกรรม เครื่องปั้นดินเผาเซรามิกและการเคลือบภาชนะ พิษของแมงกานีสเฉียบพลันจากการหายใจฝุ่นหรือ ไอ ทำให้ระคายเคืองทางเดินหายใจ ปวดศีรษะ ฐูสีกรสโลหะในปาก (metallic taste) แน่นหน้าอก หายใจ ลำบาก หลอดลมอักเสบ ปอดอักเสบและความจุปอดลดลง หากเป็นการสัมผัสทางผิวหนังทำให้อักเสบและระคายเคือง พิษเรื้อรัง เกิดจากการสัมผัสตั้งแต่ 1 เดือนถึง 10 ปี ทำให้เกิดผลต่าง ๆ แก่ร่างกาย โดยเฉพาะทำให้สมรรถภาพทางเพศเสื่อม มีบุตรยาก โดยเฉพาะในเพศชาย สำหรับพิษต่อ ระบบประสาทส่วนกลาง ระยะแรกมีอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร เนื้อชา ชวนเฉียว มีอาการทางจิต ประสาทหลอน กรณีที่สัมผัสเรื้อรังและสัมผัสนาน ๆ ทำให้ปวดกล้ามเนื้อ ไม่มีแรง มือสั่น เคลื่อนไหวช้า พูดไม่มีเสียงสูงต่ำและเกิดภาวะพาร์กินสัน (Parkinsonism) (ฉันทนา ผดุงทศ, 2549)

2.3.7 เหล็ก (Iron)

เหล็ก (Iron) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Fe มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 55.845 ความ หนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 7.86 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอม เท่ากับ 26 เหล็กมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1538 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่มีความสำคัญและใช้ กันมากที่สุดในโลก ใช้กันทั่วไปในเกือบทุกประเภทอุตสาหกรรมและพบเจอได้เป็นประจำใน

ชีวิตประจำวัน ความเป็นพิษของธาตุเหล็กที่เกิดจากการดูดซึมธาตุเหล็กเข้าร่างกาย และการกระจายตัวของธาตุเหล็กในธรรมชาติ ในเด็กที่ทานยาบำรุงเลือดที่มีธาตุเหล็ก หรือวิตามินรวมต่าง ๆ ที่ผสมอยู่ในลูกอมอาจได้รับธาตุเหล็กในปริมาณมากจนเป็นอันตราย นอกจากนี้ยังพบเหล็กในน้ำดื่ม ท่อเหล็ก และอุปกรณ์เครื่องครัว โดยอวัยวะเป้าหมายหลักที่เหล็กเข้าไปทำปฏิกิริยาก็คือ ตับ ไต และระบบหัวใจและหลอดเลือด (สิทธิธีรารักษ์ ชโรเตอร์, 2555)

2.3.8 ทองแดง (Copper)

ทองแดง (Copper) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Cu มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 63.546 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 8.96 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอมเท่ากับ 29 ทองแดงมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1084.62 องศาเซลเซียส แร่ทองแดงที่มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมการผลิตโลหะทองแดงส่วนมากจะเป็นแร่ประเภทซัลไฟด์ (Sulfide) ซึ่งมีสองชนิดคือ แร่ทองแดงแคลโคไซต์ (Chalcocite) (Cu_2S) มี Cu ประมาณ 79.8% และแร่ทองแดงแคลโคไพไรต์ (Chalcopyrite) (CuFeS_2) มี Cu ประมาณ 34.5% นอกจากนี้ยังมีแร่ทองแดงคาร์บอเนต $\text{CuCO}_3(\text{OH})_2$ โดยเรียกกันว่า Malachite มีลักษณะสีเขียวสวยงามมากเนื่องจากทองแดงมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงรูปร่างสูง (Ductility) และการต้านทานไฟฟ้าต่ำ ดังนั้นทองแดงจึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น สายไฟฟ้า วิทยุ โทรทัศน์ โทรศัพท์ ตลอดจนจนถึงเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องจักรกล และอาวุธยุทโธปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังเป็นส่วนประกอบสำคัญของโลหะผสม (Alloy) อีกหลายชนิด เช่น ทองเหลือง (Brass) หรือ ทองบรอนซ์ (Bronze) ทองแดงถูกดูดซึมได้ดีในกระเพาะอาหารและลำไส้ส่วนบน โดยซึมผ่านเข้าผนังลำไส้ไปที่ตับ จากนั้นจะรวมตัวกับน้ำดี แล้วถูกหลั่งออกมาบริเวณลำไส้ ขับออกไปกับอุจจาระ หรืออาจถูกดูดกลับเข้าสู่ร่างกายได้ 30% โดยไปสะสมที่กระดูก กล้ามเนื้อ ตับ สมอง การสะสมจะมากที่ตับและสมอง เมื่อได้รับทองแดงในปริมาณมากจะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อร่างกาย คือ คลื่นเหียนอาเจียน เกิดการอักเสบในช่องท้องและกล้ามเนื้อ ท้องเสีย การทำงานของหัวใจผิดปกติ กระบวนการภูมิคุ้มกันของร่างกายและอาจส่งผลให้เกิดความผิดปกติทางจิต ส่วนอาการเรื้อรังจากการได้รับติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ตับทำหน้าที่บกพร่องไม่สามารถขับทองแดงออกจากร่างกายได้ตามปกติ จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในร่างกายเป็นปริมาณมาก ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของร่างกาย หรือกลุ่มอาการ Wilson Diseases คือ ร่างกายสิ้นเทาอยู่ตลอดเวลา กล้ามเนื้อแข็งเกร็ง มีน้ำมูกน้ำลายไหล ควบคุมการพูดลำบาก (ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา, 2556)

2.3.9 สังกะสี (Zinc)

สังกะสี (Zinc) มีสัญลักษณ์ทางเคมีคือ Zn มวลอะตอมมีค่าเท่ากับ 65.409 ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเท่ากับ 7.14 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และมีเลขอะตอม

เท่ากับ 30 สังกะสีมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 419.53 องศาเซลเซียส เป็นธาตุประเภทโลหะที่มีความไวต่อปฏิกิริยาเคมีพอสมควรกับออกซิเจนและธาตุที่ไม่ใช่โลหะ สังกะสีเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดเจือจางจะปล่อยก๊าซไฮโดรเจนออกมา ประโยชน์ของสังกะสี ใช้เคลือบผิว (galvanizing) ของเหล็กกล้าเพื่อป้องกันการเกิดสนิม ใช้ในรูปของโลหะเจือจางในการผลิตขึ้นรูปเป็นแผ่นสังกะสี ใช้เป็นส่วนผสมของสีและยาง ใช้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์ ฟ้าสีไฟฟ้า ขั้วของถ่านไฟฉาย ใช้เตรียมสารเคมีของสังกะสี ความเป็นพิษ สังกะสีในรูปธาตุ ไม่ปรากฏความเป็นพิษ หากอยู่ในรูปสารประกอบมีความเป็นพิษอยู่หลายชนิดแต่จัดอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เพราะสามารถถูกขจัดออกจากร่างกายได้อย่างรวดเร็ว (ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสังกะสี, 2553)

2.4 การวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS)

วิธีการวิเคราะห์หาโลหะหนักนั้นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์นั้นมีอยู่หลายวิธีไม่ว่าจะเป็น Inductively Coupled Plasma (ICP) หรือ Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) โดยแต่ละวิธีก็จะมีเทคนิคที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) ในการวิเคราะห์หาโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด เนื่องจากเครื่อง ICP-MS นี้สามารถวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักได้ในหน่วยของความเข้มข้นที่ $1/10^9$ (หนึ่งในพันล้าน, ppb) และสามารถที่จะวิเคราะห์ได้หลายธาตุในเวลาเดียวกันซึ่งจะมีความรวดเร็วกว่าเครื่อง AAS ที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้เพียงทีละธาตุ นอกจากนี้ ICP-MS ยังสามารถควบคุมสิ่งรบกวนที่เกิดขึ้นได้โดยใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ มีช่วงความเข้มข้นของการสร้าง Calibration curve ค่อนข้างกว้าง ทำให้ ICP-MS ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงหลัง สามารถนำไปใช้งานได้ ในหลากหลายสาขา งาน เช่น งานทางสิ่งแวดล้อม เกษตรและอาหาร การแพทย์และเภสัชกรรม ธรณีวิทยา งานศึกษาวิจัย และอุตสาหกรรมต่าง ๆ

สำหรับหลักการของ ICP จะใช้การส่งความถี่เข้าไปสู่หลอดทองแดง ทำให้เกิดเป็นสนามแม่เหล็กและเกิดความร้อนขึ้น แล้วปล่อยแก๊สอาร์กอนเข้าไปทำให้เกิดการสปาร์คหรือปล่อยประจุไฟฟ้า เพื่อทำให้แก๊สอาร์กอนเกิดไอออนในสภาวะไอเล็กตรอนเกิดขึ้น โดยที่สนามแม่เหล็กจะเป็นตัวช่วยเร่งไอเล็กตรอนให้เคลื่อนที่เร็วขึ้นและหลอดทองแดงทำหน้าที่เป็นขดลวดให้อิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นเรียกว่า Inductive Coupling และไอเล็กตรอนที่จะชนกับอะตอมของแก๊สอาร์กอน ทำให้เกิดไอเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้นกลายเป็นปฏิกิริยาอุกโช กลายเป็นพลาสมา จึงเรียกว่า Inductively Coupled Plasma (ICP) (แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม, 2535) โดยพลาสมาจะเผาตัวอย่างที่ฉีดเข้าไปเพื่อวิเคราะห์ให้แตกตัวเป็นอะตอมหรือไอออน สำหรับ Mass Spectrometer จะตรวจวัดด้วยปริมาณ

ไอออน โดยการแยกออกเป็น ส่วน ๆ อาศัยความแตกต่างของสัดส่วน ประจุต่อมวลของไอออนแต่ละชนิด

2.5 ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor : EF)

Enrichment Factor เป็นค่าที่สามารถใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของธาตุชนิดต่าง ๆ ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปจากที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของธาตุต่าง ๆ ที่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเป็นการบอกถึงระดับการปนเปื้อนของธาตุนั้นในธรรมชาติ (Lawson and Winchester, 1979) ในการศึกษาครั้งนี้จะเป็นการดูการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของฝุ่น โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$EF(x) = \frac{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{dust}}{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{crust}} \quad (2.1)$$

โดยที่ EF(x) = ค่า Enrichment Factor ของธาตุโลหะหนักใด ๆ

$\left(\frac{x}{Ref}\right)_{dust}$ = อัตราส่วนน้ำหนักของธาตุ โลหะหนักใด ๆ กับธาตุอ้างอิงที่พบได้จากฝุ่น

$\left(\frac{x}{Ref}\right)_{crust}$ = อัตราส่วนน้ำหนักของธาตุ โลหะหนักใด ๆ กับธาตุอ้างอิงที่พบได้จากดิน

สำหรับการศึกษาเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงหรือการปนเปื้อนของโลหะหนักว่าหลัก ๆ แล้วจะมาจากธรรมชาติหรือมาจากกิจกรรมของมนุษย์ สำหรับธาตุที่ใช้ในการอ้างอิงจะใช้ธาตุโลหะที่พบในปริมาณมากจากธรรมชาติ ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าโดยส่วนใหญ่จะใช้ Fe และ Al เป็นธาตุอ้างอิง ซึ่งก็ตรงกับการศึกษาของ Lawson and Winchester (1979) ที่ระบุว่าธาตุที่มีความเหมาะสมจะใช้เป็นธาตุอ้างอิงในการคำนวณค่า Enrichment Factor คือ Al Si Ti และ Fe ซึ่งเป็นธาตุหลัก ๆ ที่พบได้ในดิน

2.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis: PCA)

การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดกลุ่มของตัวแปรที่มีจำนวนมากเทียบกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยอาศัยหลักความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรที่เป็นข้อมูลองค์ประกอบหลัก ซึ่งเป็นการผสมเชิงเส้นตรง (Linear Combination) ของตัวแปร ที่อธิบายการผันแปรของข้อมูลให้ได้มากที่สุด และทำต่อไปเป็นการผสมที่สอง ที่สามารถอธิบายการผันแปรได้มากที่สุดเป็นอันดับรองลงมา โดยที่ไม่สัมพันธ์กับการผสมแรก ทำการผสมไปเรื่อย ๆ จนได้ออกมาเป็น

องค์ประกอบหลักหรือที่เรียกว่าปัจจัย ที่สามารถอธิบายการผันแปรของทุกตัวแปรได้ครบถ้วน โดยที่แต่ละลำดับปัจจัยจะอธิบายการผันแปรได้ลดลงเรื่อย ๆ และทุกปัจจัยไม่สัมพันธ์กัน (กัลยา วาณิชย์ บัญชา, 2554) โดยมีขั้นตอนของการวิเคราะห์ปัจจัย ดังนี้

1. การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมด (Correlation Matrix) ในรูปแบบเชิงเส้นโดยวิธีของ Pearson Correlation ระหว่างตัวแปรที่ต้องการนำมาจัดกลุ่ม โดยมีเงื่อนไขดังนี้

- ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรคู่ใดมีค่าใกล้เคียง +1 หรือ -1 แสดงว่าตัวแปรคู่่นั้นมีความสัมพันธ์กันมาก จึงจัดอยู่ในปัจจัยเดียวกัน

- ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของตัวแปรคู่ใดมีค่าเข้าใกล้ศูนย์แสดงว่าตัวแปรคู่่นั้น ไม่มีความสัมพันธ์กันหรือสัมพันธ์กันน้อยมาก จึงจัดให้กันอยู่คนละปัจจัย

- ถ้าหากมีตัวแปรที่ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น หรือว่ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น ๆ ที่เหลือน้อยมาก ควรอยู่คนละปัจจัยกับตัวแปรอื่น ๆ

2. การเลือกปัจจัย (Selecting Factor) จะพิจารณาที่ค่าลักษณะเฉพาะ (Eigenvalues) ซึ่งหมายถึง ค่าความผันแปรหรือความแปรปรวนทั้งหมดในตัวแปรเดิมที่สามารถอธิบายได้โดยปัจจัย ซึ่งค่าลักษณะเฉพาะจะมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 และสูงสุดเท่ากับจำนวนตัวแปร ซึ่งจะพิจารณาเฉพาะปัจจัยที่มีค่าลักษณะเฉพาะมากกว่า 1 และหากค่าลักษณะเฉพาะต่ำกว่า 1 แสดงว่าปัจจัยนั้นไม่สามารถอธิบายตัวแปรใดได้เลย

3. การสกัดปัจจัย (Factor Extraction) อาศัยหลักการความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปร โดยนำความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัวที่มีเหมือนกันมาสร้างเป็นสมการเชิงเส้น การนำตัวแปรมาผสมกันจะทำให้เกิดปัจจัยหรือ Component ซึ่งจะเกิดขึ้นมากกว่าหนึ่งปัจจัย แต่ก็จะมีไม่กี่ปัจจัยที่สามารถอธิบายแทนกลุ่มตัวแปรได้ทั้งหมด ซึ่งปัจจัยที่ได้มาไม่จำเป็นต้องใช้ทุกปัจจัย โดยมีขั้นดังนี้

- ปัจจัยที่ 1 จะเป็นการผสมแรก โดยมีรายละเอียดของตัวแปรมากที่สุด ซึ่งจะมีค่าความแปรปรวนสูงสุด สามารถอธิบายความหมายของตัวแปรได้ดีที่สุด

- ปัจจัยที่ 2 เป็นการผสมในลำดับต่อมา โดยสามารถนำรายละเอียดที่เหลือจากปัจจัยที่ 1 มาใส่ในปัจจัยที่ 2 ให้มากที่สุด โดยที่ปัจจัยที่ 1 และ ปัจจัยที่ 2 จะไม่มีความสัมพันธ์กัน

- ปัจจัยที่ 3 ทำในลักษณะเช่นเดียวกันคือสามารถนำรายละเอียดที่เหลือจากปัจจัยที่ 1 และ 2 มาใส่ในปัจจัยที่ 3 ให้มากที่สุด และสำหรับการสร้างปัจจัยลำดับต่อ ๆ ไปก็ใช้หลักเกณฑ์เดียวกันกับที่ได้กล่าวมาในปัจจัยที่ 1, 2 และ 3

จากการสกัดปัจจัยนี้เราจะได้อ่านค่า Factor Loading ของแต่ละตัวแปร โดยที่ค่า Factor Loading หรือค่าสัมประสิทธิ์ เป็นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ จากการที่ตัวแปรได้ถูก Standardized โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง +1 ซึ่งค่า Factor Loading จะใช้ในการพิจารณาว่าตัวแปรใดควรจะอยู่ในปัจจัยใด การที่ค่า Factor Loading ของตัวแปรมีค่าสูง คืออยู่ใกล้ -1 หรือ +1 หากพบอยู่ในปัจจัยใด ปัจจัยหนึ่ง ก็จัดได้ว่าตัวแปรนั้นอยู่ในปัจจัยดังกล่าว แต่หากค่า Factor Loading ออกมาในช่วงของค่ากลาง ๆ ก็จะต้องมีการหมุนแกนเพื่อจัดให้อยู่ในปัจจัยที่เหมาะสม

4. การหมุนแกนปัจจัย (Factor Rotation) ทำเพื่อให้ค่า Factor Loading มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อให้ทราบว่าตัวแปรนั้นควรอยู่ในปัจจัยใด ซึ่งในกรณีที่ค่า Factor Loading มีค่ากลาง ๆ การระบุปัจจัยให้กับตัวแปรอาจจะทำได้ยาก จึงต้องทำการหมุนแกนเพื่อความชัดเจนยิ่งขึ้น

5. การให้ความหมายแก่ปัจจัย (Factor Meaning) เป็นขั้นตอนที่ต้องกำหนดชื่อหรือให้ความหมายกับปัจจัย โดยจะต้องพิจารณาว่าในปัจจัยนั้นประกอบไปด้วยตัวแปรอะไรบ้าง ซึ่งการให้ความหมายแก่ปัจจัยจะต้องพิจารณาไปที่ตัวแปรที่ค่า Factor Loading สูงซึ่งมีความสำคัญในปัจจัยนั้น ๆ สำหรับขั้นตอนการให้ความหมายแก่ปัจจัยอาจแยกได้ดังต่อไปนี้

- จากขั้นตอนการเลือกปัจจัย จะเลือกเฉพาะปัจจัยที่มีค่าลักษณะเฉพาะมากกว่า 1 จากนั้นพิจารณาที่ค่า Factor Loading ของตัวแปรหลังจากที่ได้ทำการหมุนแกนแล้ว โดยดูที่ค่า Factor Loading ของตัวแปรที่สูงที่สุดในปัจจัยใด ตัวแปรดังกล่าวก็จะถูกจัดให้อยู่ในปัจจัยนั้น โดยที่ตัวแปรแต่ละตัวแปรจะถูกจัดให้อยู่ได้เพียงหนึ่งปัจจัย

- เลือกตัวแปรที่มีผลต่อปัจจัยสูง คือที่มีค่า Factor Loading ของตัวแปรที่สูงที่สุดในปัจจัยนั้น ซึ่งตัวแปรดังกล่าวจะมีผลต่อการอธิบายความหมายให้กับปัจจัยนั้นมากที่สุด สำหรับตัวแปรที่มีค่า Factor Loading ต่ำ แต่อาจเข้ามาเป็นสมาชิกในปัจจัยนี้ ในบางครั้งกล่าวได้ว่า แม้จะไม่มีตัวแปรดังกล่าวก็สามารถอธิบายความหมายของปัจจัยนั้นได้

- การให้ความหมายแก่ปัจจัย เป็นขั้นตอนที่จะต้องให้ความหมายหรือกำหนดชื่อแก่ปัจจัย ในขั้นตอนนี้จะต้องอาศัยการค้นคว้าข้อมูลอ้างอิง ทบทวนเอกสารหรือใช้ประสบการณ์ที่มีความชำนาญในการกำหนดหรือให้ชื่อที่สื่อความหมายแก่แต่ละปัจจัย ทำได้โดยพิจารณาลักษณะของตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยนั้น ๆ

2.7 การจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Cluster Analysis

Cluster Analysis มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดกลุ่มกรณีหรือตัวแปรเพื่อเป็นประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ เป็นเทคนิคที่ใช้จำแนกหรือแบ่งกรณีหรือตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป กรณีที่อยู่กลุ่มเดียวกันจะมีลักษณะที่เหมือนกันหรือคล้ายกัน ส่วนกรณีที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะมีลักษณะ

ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการพิจารณาเลือกลักษณะตัวแปรที่จะนำมาใช้แบ่งกลุ่มกรณี จึงมีความสำคัญ นอกจากนั้นกรณีใดกรณีหนึ่งจะอยู่ในใดกลุ่มหนึ่งเพียงกลุ่มเดียว ซึ่งหากนำมาใช้ในการแบ่งกลุ่มตัวแปร จะได้ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันมากจะจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน และตัวแปรที่อยู่ต่างกลุ่มกัน จะมีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย (กัลยา วานิชย์บัญชา, 2554)

ตัวอย่างของ Cluster Analysis ที่ใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น การตลาด การปกครอง ฯลฯ มีดังต่อไปนี้

1. ศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคของกลุ่มผู้บริโภค เพื่อให้สามารถวางกลยุทธ์ทางการตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยแบ่งกลุ่มผู้บริโภคออกเป็นกลุ่มย่อย และพิจารณาถึงตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มผู้บริโภค เพื่อที่จะทำให้มีพฤติกรรมผู้บริโภคที่แตกต่างกัน ตัวแปรอาจจะเป็นกลุ่มกรณีที่ใช้ในการเลือก ได้แก่ อาชีพ อายุ รายได้ เป็นต้น ซึ่งการเลือกตัวแปรเพื่อนำมาใช้ในแบ่งกลุ่มกรณี มีความสำคัญมาก เพราะถ้าเลือกตัวแปรที่ไม่มีความแตกต่างกันจะทำให้ไม่สามารถแบ่งกลุ่มที่ต้องการได้ โดยการเลือกจะต้องพิจารณาว่าตัวแปรใดบ้างที่มีอิทธิพลทำให้เกิดความแตกต่าง ซึ่งเมื่อแบ่งกรณีเป็นกลุ่มย่อยแล้วจะสามารถศึกษาลักษณะของแต่ละกลุ่มได้ และสามารถนำมาใช้วางแผนการตลาดต่อไปได้อีกด้วย

2. การวางแผนเพื่อการทดสอบการตลาด เช่น การแบ่งกลุ่มพื้นที่หรือจังหวัด โดยจัดเอาจังหวัดที่มีความคล้ายกันไว้ด้วยกัน เพื่อกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดที่แตกต่างกัน สำหรับตัวแปรที่ควรนำมาพิจารณาสำหรับการแบ่งกลุ่มอาจจะเป็นจำนวนประชากร รายได้เฉลี่ย อาชีพของคนในพื้นที่ พฤติกรรม ทศนคติของคนในพื้นที่ เป็นต้น โดยลักษณะของการแบ่งกลุ่มจังหวัดหากไม่นำตัวแปร เรื่องจำนวนประชากร รายได้ อาชีพ เข้ามาพิจารณาในการแบ่งกลุ่ม อาจไม่สามารถที่จะสร้างเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มได้ถูกต้อง

3. การเปรียบเทียบรถยนต์ยี่ห้อต่าง ๆ โดยที่ให้รถยนต์แต่ละยี่ห้อคือ 1 กรณี ซึ่งพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ เช่น ความถี่ในการซ่อมบำรุง ค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่อกิโลเมตร ราคาที่ซื้อ มาหรือขายต่อ เป็นต้น ซึ่งเมื่อจัดกลุ่มที่มีความสัมพันธ์กันไว้ด้วยกัน จะเป็นการลดจำนวนข้อมูลที่มีมากให้น้อย ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์

4. การแบ่งกลุ่มประเทศโดยใช้ดัชนีชี้วัดทางด้านสาธารณสุข สำหรับตัวแปรที่ใช้ในการแบ่งกลุ่ม เช่น จำนวนบุคลากรทางการแพทย์ การให้บริการของโรงพยาบาล การบริโภคหรือคุณภาพชีวิตของคนในประเทศ ซึ่งอาจจะกลุ่มแบ่งเป็น 1 กรณี เป็น 1 กลุ่มประเทศ โดยให้ประเทศที่มีระบบสาธารณสุขคล้ายกันอยู่ด้วยกัน ถ้าประเทศที่มีระบบสาธารณสุขต่างกันจะอยู่ต่างกลุ่มกัน สำหรับการจัดกลุ่มตัวแปรจะทำให้ทราบว่าตัวแปรใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กัน และการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรบางตัวมีผลกระทบต่อตัวแปรอื่น ๆ ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรดังกล่าว

คุณสมบัติของเทคนิควิธี Cluster Analysis

1. ความต้องการทางด้านข้อมูล สำหรับการวิเคราะห์การจัดกลุ่มกรณี อาจจะต้องใช้ข้อมูลที่ระบุหน่วยและตัวแปรตามที่จัดเก็บมา ส่วนการวิเคราะห์จัดกลุ่มตัวแปรอาจจะใช้เมตริกแสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแทนได้

2. แนวคิดพื้นฐาน สิ่งสำคัญที่สุดของการวิเคราะห์การจัดกลุ่มคือตัวแปร ซึ่งหากไม่ได้เก็บข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับตัวแปร ผลที่ได้อาจจะไม่ดีพอหรือเกิดความไม่น่าเชื่อถือ เนื่องจากตัวแปรที่เลือกไว้ตั้งแต่ต้นจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของสิ่งที่ระบุความเป็นกลุ่มย่อย เช่น ในการจัดกลุ่มจังหวัด หากไม่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนประชากร ขนาดของพื้นที่ ก็ไม่สามารถจะตั้งเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มได้

3. ความคล้ายกัน การดูถึงความคล้ายของกรณี เป็นเทคนิคของการวิเคราะห์ทางสถิติหลายวิธี โดยทั่วไปการวัดความคล้ายจะพิจารณาจากความห่างหรือพิจารณาจากความคล้ายกัน ในส่วนของตัวแปรจะใช้การพิจารณาที่ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

4. การวัดความห่าง วิธีการวัดความห่างสามารถวัดได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูลซึ่งสามารถทำการวัดได้ทั้งข้อมูลที่เป็นเชิงปริมาณ ข้อมูลในรูปความถี่ หรือแม้แต่ Binary

สำหรับประเภทของเทคนิค Cluster Analysis มีด้วยกันหลายประเภท แต่ที่นิยมใช้กันมากคือ Hierarchical Cluster Analysis และ K-Means Cluster Analysis โดยวิธีที่ใช้ในงานวิจัยจากการที่ได้พบทบทวนมาคือ Hierarchical Cluster Analysis ซึ่งมีเงื่อนไขว่า จำนวนกรณีและตัวแปรต้องไม่มาก (ไม่เกิน 200) ไม่จำเป็นต้องทราบจำนวนกลุ่มมาก่อน และไม่ต้องทราบว่ากรณีหรือตัวแปรอยู่ในกลุ่มใด

ขั้นตอนของเทคนิค Hierarchical Cluster Analysis

1. เลือกตัวแปรหรือปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลที่ทำให้กรณีแตกต่างกัน สามารถแบ่งกลุ่มได้ชัดเจน

2. เลือกวิธีวัดระยะห่างระหว่างกรณีหรือวัดค่าความคล้าย แบ่งได้เป็น 3 กรณี คือวัดความคล้ายด้วยระยะห่าง วัดความคล้ายของกรณี และวัดความคล้ายของตัวแปรด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาใช้อาจจะอยู่ในรูปข้อมูลเชิงปริมาณ ข้อมูลในรูปความถี่ หรือ Binary ก็สามารรถทำได้

3. เลือกหลักเกณฑ์ในการรวมกลุ่ม

วิธีที่นิยมใช้คือ Agglomerative Hierarchical Cluster Analysis มีเกณฑ์คือ แยกกลุ่ม กรณี โดยให้ 1 กลุ่มมี 1 กรณี โดยมีขั้นตอนการรวมกลุ่ม คือ รวมกรณีเข้าด้วยกันเป็นคู่ ๆ โดย

พิจารณาที่ค่าความคล้าย จัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน จากนั้นรวมกลุ่มเพิ่มจากเดิมเรื่อย ๆ จนสุดท้ายได้เหลือเพียง 1 กลุ่ม โดยจะแสดงออกมาในรูปของกราฟ Dendrogram

2.8 ตัวอย่างการใช้งาน PCA และ CA ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านสิ่งแวดล้อม

John Townend (2002) อธิบายตัวอย่างการใช้งาน PCA และ CA ดังต่อไปนี้ สมมุติให้มีโรงงานร้างที่ไม่ทราบข้อมูลการผลิตจำนวน 20 โรงงาน ทำการเก็บตัวอย่างดินเพื่อวิเคราะห์ทางเคมี โดยทำการวิเคราะห์สารเคมีทั้งหมด 11 ชนิด ได้แก่ สารที่ 1-3 เป็นสารจำพวกสารอินทรีย์ สารที่ 4-7 เป็นสารอินทรีย์ สารที่ 8-10 เป็นสารที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมสิ่งทอ และสารที่ 11 จะเป็นสารที่ใช้ในการทำระเบิด สำหรับการใช่ PCA และ CA เพื่อต้องการที่จะทราบว่าโรงงานแต่ละโรงงานนั้นมีกระบวนการผลิตแบบใด โดยข้อมูลแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลความเข้มข้นของสารเคมีของโรงงานทั้งหมด 20 โรงงาน

Factory	Subst 1	Subst 2	Subst 3	Subst 4	Subst 5	Subst 6	Subst 7	Subst 8	Subst 9	Subst 10	Subst 11
1	3.3	1.95	84	0.0388	8.9	3.5	625	0.7	112	3.6	1
2	5.2	3	195	0.0325	8.1	2.6	427	2.4	86	2.8	2
3	3.8	1.6	90	0.04	9.5	3.4	741	3.4	152	5	51.5
4	5.6	2.85	156	0.0288	7.8	2.6	485	9.2	244	8.2	1.7
5	5.3	2.6	180	0.0313	8.4	2.4	472	11	224	7.3	51.6
6	5.5	2.65	171	0.0325	8.9	2.7	565	2.3	136	4.4	50
7	4	1.65	81	0.0288	8.6	3.7	677	0.7	65	2.4	2.2
8	3.5	1.6	99	0.0375	8.6	3.1	645	6.8	230	7.8	50.8
9	5.6	2.9	153	0.0325	7.9	2.2	510	2.4	116	3.6	52.4
10	3	1.55	114	0.04	9.4	2.6	633	6.2	203	6.3	1.2
11	5.2	2.8	171	0.03	8.2	2.8	550	2.6	133	4.3	51
12	3.5	1.95	75	0.0325	8.7	3.3	563	6	194	6.1	2
13	3.5	1.85	84	0.0363	9.2	3.2	599	9.6	274	8.2	3.9
14	5.6	2.85	156	0.0338	8.1	2.6	429	10	250	8.2	2.7
15	3.1	1.65	108	0.0338	8.5	2.3	672	8.8	217	7.4	51
16	4	1.55	87	0.0313	9.2	3.2	664	4.4	115	4.2	3.2
17	5.4	2.7	171	0.0263	8.8	1.8	502	0.9	43	1.9	2.5
18	5.5	2.6	174	0.0238	8.2	1.8	486	10.5	278	8.4	1
19	5.5	2.6	174	0.035	8.1	2.8	607	1.1	60	2.6	1.4
20	3.5	1.5	105	0.04	9.6	3.1	793	13.8	300	9.2	1.6

สำหรับในขั้นตอนแรกจะใช้ PCA เพื่อหาปัจจัยที่เป็นกระบวนการผลิต ซึ่งในขั้นแรกของการใช้ PCA เราจะได้ข้อมูลความสัมพันธ์ของตัวแปร (สารเคมี) ในรูปแบบของ Correlation Matrix ซึ่งแสดงข้อมูลดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลความสัมพันธ์แบบ Correlation Matrix ของสารเคมีทั้ง 11 ชนิด

Correlation	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
S1	1.000	.923	.875	-.640	-.707	-.582	-.746	-.134	-.229	-.219	.068
S2	.923	1.000	.885	-.564	-.781	-.606	-.874	-.159	-.213	-.219	.049
S3	.875	.885	1.000	-.497	-.635	-.744	-.730	-.050	-.161	-.157	.128
S4	-.640	-.564	-.497	1.000	.584	.528	.597	.089	.194	.185	.108
S5	-.707	-.781	-.635	.584	1.000	.458	.744	.091	.133	.102	-.087
S6	-.582	-.606	-.744	.528	.458	1.000	.602	-.189	-.085	-.090	-.118
S7	-.746	-.874	-.730	.597	.744	.602	1.000	.015	.059	.063	.081
S8	-.134	-.159	-.050	.089	.091	-.189	.015	1.000	.944	.950	-.055
S9	-.229	-.213	-.161	.194	.133	-.085	.059	.944	1.000	.992	.009
S10	-.219	-.219	-.157	.185	.102	-.090	.063	.950	.992	1.000	.028
S11	.068	.049	.128	.108	-.087	-.118	.081	-.055	.009	.028	1.000

ในขั้นตอนต่อมาของ PCA คือการเลือกปัจจัยและสกัดปัจจัยซึ่งผลที่ได้จะแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่า Eigenvalues ที่ได้จากการใช้ PCA ในการสกัดปัจจัย

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	5.240	47.633	47.633	5.240	47.633	47.633	5.127	46.607	46.607
2	2.903	26.392	74.025	2.903	26.392	74.025	3.013	27.395	74.002
3	1.086	9.870	83.895	1.086	9.870	83.895	1.088	9.893	83.895
4	.581	5.278	89.173						
5	.544	4.941	94.114						
6	.294	2.674	96.788						
7	.206	1.873	98.661						
8	.071	.649	99.309						
9	.045	.407	99.717						
10	.027	.244	99.961						
11	.004	.039	100.000						

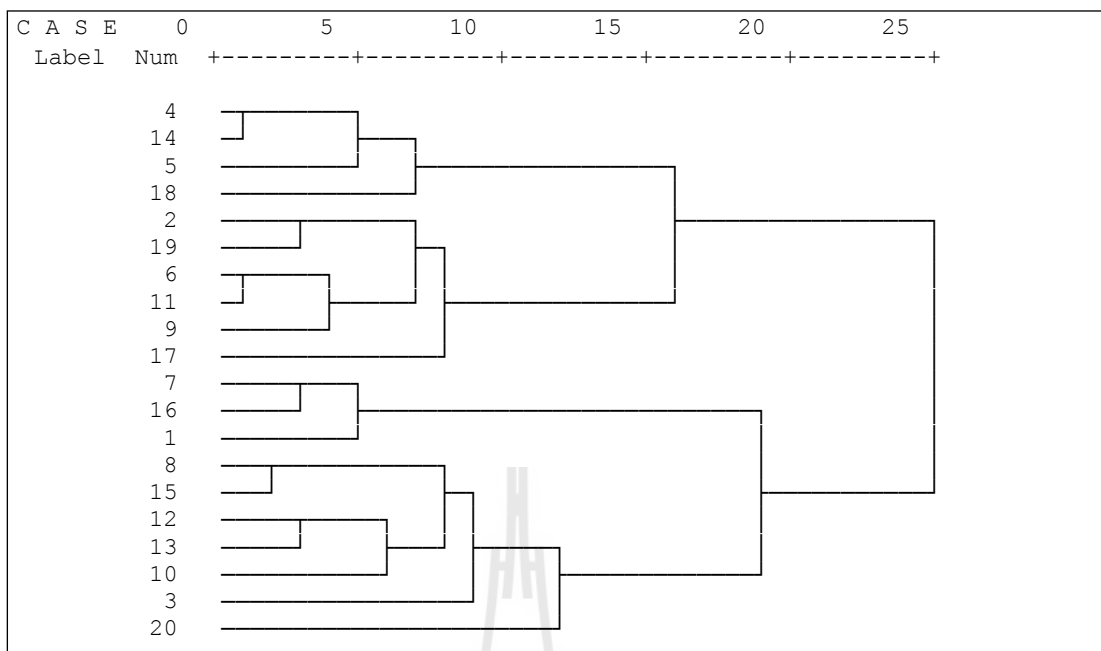
จากตารางจะเห็นว่าการสกัดปัจจัยจะได้ปัจจัยที่มีค่า Eigenvalues มากกว่า 1 อยู่ทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยที่ปัจจัยที่ 1, 2 และ 3 ได้ค่า Eigenvalues เท่ากับ 5.240 2.903 และ 1.086 ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 3 ปัจจัยสามารถอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรทั้งหมดได้ 83.895% โดยแบ่งปัจจัยที่ 1 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้มากที่สุดคือ 47.633 ต่อมาคือปัจจัยที่ 2 คือ 26.392 และในปัจจัยที่ 3 ได้เท่ากับ 9.870 และขั้นตอนต่อมาจะเป็นการหมุนแกนซึ่งจากการหมุนแกนจะทำให้ค่า Factor Loading เปลี่ยนแปลงซึ่งสามารถเปรียบเทียบจากรูปที่ 2.1 ซึ่งค่า Factor Loading ของตัวแปรที่จัดอยู่ใน 3 ปัจจัยทั้งก่อนและหลังจากที่ทำการหมุนแกน

Component Matrix ^a				Rotated Component Matrix ^a			
	Component				Component		
	1	2	3		1	2	3
S2	-0.954			S2	-0.944		
S1	-0.927			S1	-0.914		
S3	-0.897			S3	-0.901		
S7	0.867			S7	0.894		
S5	0.815			S5	0.818		
S4	0.724			S6	0.763		
S6	0.702			S4	0.721		
S8		0.954		S10		0.987	
S10		0.945		S9		0.985	
S9		0.94		S8		0.979	
S11			0.972	S11			0.973

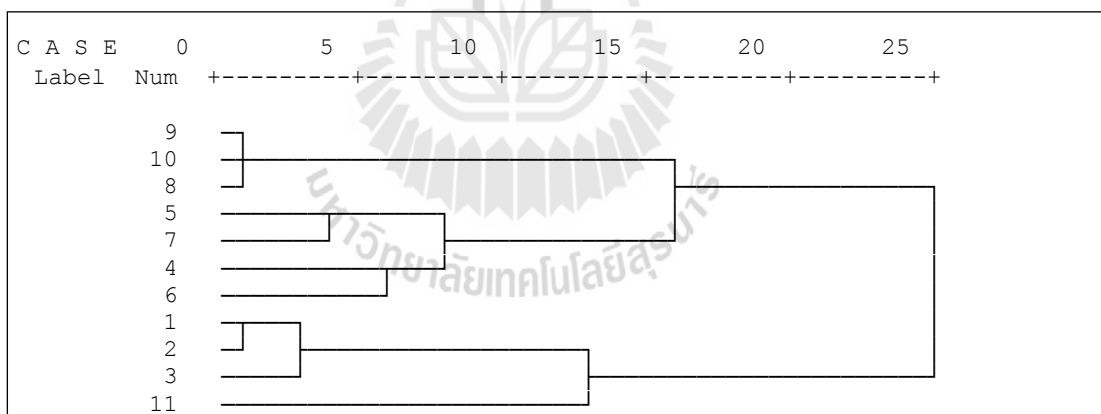
รูปที่ 2.1 ค่า Factor Loading ก่อนและหลังจากที่ทำการหมุนแกน

ในการใช้ PCA ได้ว่าจากการสกัดปัจจัยของสารเคมีทั้ง 11 ชนิด จะได้ปัจจัยออกมา 3 ปัจจัยด้วยกันซึ่งอาจเป็นการระบุได้ว่า โรงงานทั้งสามโรงงานมีกระบวนการผลิตใน 3 รูปแบบ คือ ในปัจจัยที่ 1 จะเป็นโรงงานที่ผลิตสารจำพวกสารอินทรีย์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า Factor Loading ในกลุ่มของสารอินทรีย์มีค่าเป็นบวกส่วนค่า Factor Loading ของสารจำพวกสารอนินทรีย์จะออกมาในค่าที่เป็นลบซึ่งอาจกล่าวได้ว่าการที่ตรวจพบสารอินทรีย์ในปริมาณมากจะตรวจพบสารอนินทรีย์ได้ในปริมาณที่น้อย และในปัจจัยที่ 2 จะเป็นการผลิตเกี่ยวกับอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งจะเห็นว่าสารเคมีที่ 8-10 จะถูกจัดอยู่ในปัจจัยนี้ และสุดท้ายคือปัจจัยที่ 3 ซึ่งจะมีเพียงสารเคมีชนิดที่ 11 ซึ่งเกี่ยวกับการผลิตระเบิด

สำหรับในตัวอย่างของการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ CA ผลของการจัดกลุ่มของโรงงานทั้งหมด 20 โรงงาน ซึ่งผลที่ได้จะออกมาในรูปแบบของ Dendrogram ซึ่งผลการจัดกลุ่มของโรงงานจะแสดงในรูปที่ 2.2 และในการจัดกลุ่มของสารเคมีจะแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มโรงงาน



รูปที่ 2.3 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มสารเคมี

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าการใช้ CA กลุ่มของโรงงานออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

- กลุ่มที่ 1 ได้แก่โรงงานที่ 4, 5, 14 และ 18
- กลุ่มที่ 2 ได้แก่โรงงานที่ 2, 6, 9, 11, 17 และ 19
- กลุ่มที่ 3 ได้แก่โรงงานที่ 1, 7 และ 16
- กลุ่มที่ 4 ได้แก่โรงงานที่ 3, 8, 10, 12, 13, 15 และ 20

และในรูปที่ 2.3 ก็สามารรถแยกสารออกเป็น 4 กลุ่ม เช่นเดียวกับที่เราทราบแล้วว่าสารมีทั้งหมด 4 จำพวก ซึ่งจะเห็นว่าสารที่ 11 นั้นไม่ได้มีการรวมกลุ่มกับสารอื่น ๆ

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถแบ่งออกเป็น 4 หัวข้อ ได้ดังต่อไปนี้

2.9.1 โลหะหนักในดิน

Dragovic', Mihailovic' and Gajic' (2008) ได้ทำการตรวจสอบหาความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน บริเวณภูเขา Zlatibor ในประเทศเซอร์เบียร์ สุ่ม 174 ตัวอย่าง จากพื้นที่สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน คือ ความสูง ลักษณะดิน แหล่งของวัสดุ พืชพรรณ และปริมาณฝน และนำมาทำการสุ่มโดย applying systematic เหลือ 58 ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของแต่ละพื้นที่ โดยวิเคราะห์โลหะหนัก 7 ธาตุ ได้แก่ Cd Cr Cu Mn Ni Pb และ Zn โดยใช้ Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) และหาพารามิเตอร์ลักษณะต่าง ๆ ของดิน รวมถึงตรวจ radionuclides ของ ^{40}K ^{238}U ^{232}Th และ ^{137}Cs โดยใช้ gamma-ray spectrometry ทำการหาค่า Enrichment Factor และจัดกลุ่มธาตุโดยใช้ Cluster Analysis (CA) จากการศึกษพบว่าค่าความเข้มข้นคำนวณได้ดังนี้ Cd (0.098 มก./กก.), Cr (35 มก./กก.), Cu (25 มก./กก.), Mn (600 มก./กก.), Ni (20 มก./กก.) และ Pb (71 มก./กก.) และค่า EF ที่ได้นั้นไม่สามารถจัดอันดับได้ว่ามาจากมลพิษประเภทใด แต่เป็นเพียงการบอกแหล่งที่มาว่ามาจากธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ โดยแหล่งที่มาของ Cr Cu Mn Ni Pb และ Zn ส่วนใหญ่จะมาจากหินในธรรมชาติ มีเพียง Cd เท่านั้นที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์

Li, Lee, Wong, Shi and Thorntonc (2004) ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่างดินบริเวณ Kowloon Peninsula ในเกาะฮ่องกง เก็บตัวอย่างหน้าดินที่ความลึก 0-15 ซม. โดยสุ่มตัวอย่างที่ความหนาแน่น 5 ตัวอย่างต่อตารางกิโลเมตร และแต่ละตัวอย่างแบ่งเป็น 9 ตัวอย่างย่อย และคัดขนาดด้วยตะแกรง 200 ไมครอน เก็บตัวอย่างครอบคลุมพื้นที่จำนวนทั้งหมด 152 ตัวอย่าง โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Cd Cr Cu Ni Pb และ Zn โดยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) เพื่อสร้าง Geochemical maps และใช้ GIS ในการวิเคราะห์เชิง

พื้นที่ รวมถึงใช้ PCA และ CA ในการวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาของโลหะหนัก จากการศึกษาพบว่า แหล่งที่มาหลัก ๆ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ Cu Ni Pb และ Zn มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ส่วนของ Ca และ Mg เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงในธรรมชาติ และ Cd Co Cr Al Fe และ Mn จะมาจากดินเป็นหลัก ซึ่งในการศึกษาจะหาจุดที่มีความเข้มข้นเป็นจุด ๆ โดยใช้ร่วมกับ GIS จะสามารถระบุถึงจุดที่ธาตุโลหะมีความเข้มข้นสูงได้

Al-Khashman (2004) ทำการศึกษาหาความเข้มข้นของโลหะหนักในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม Karak Industrial Estate (KIE) ประเทศจอร์แดน โดยใช้การเก็บตัวอย่าง 3 รูปแบบ คือ เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall เก็บตัวอย่างจากการจราจรบนท้องถนน และเก็บตัวอย่างดิน 3 จุดเก็บ โดยที่ตัวอย่างของดินแบ่งเป็น sand (>20 มม.), silt (2-20 มม.), และ clay (<2 มม.) โดยทำการวิเคราะห์โลหะหนักได้แก่ Fe Cu Zn Ni และ Pb โดยใช้ Flam-AAS ผลการศึกษาที่ได้พบว่าจากการวิเคราะห์โครงสร้างของดินที่ระดับความลึก 20-40 ซม. จะพบโลหะหนักมากกว่า 0-20 ซม. ซึ่งอาจจะมีผลมาจากปัจจัยหลายอย่างเช่น pH, Eh และความคงตัวของแร่ธาตุ และความเข้มข้นของโลหะหนักในดินพบว่า Zn พบมากที่สุดบริเวณจุดเก็บตัวอย่างสถานีเครื่องกลและไฟฟ้า และพบความสัมพันธ์ที่มีค่าสูงกับโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ได้แก่ Fe Cu และ Pb ซึ่งจากค่าความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นการสนับสนุนแนวคิดที่ว่ากิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การผลิตเหรียญเฟอร์นิเจอร์ เสื้อผ้า อุตสาหกรรมอลูมิเนียมและเหล็ก ใน KIE เป็นแหล่งกำเนิดหลักของโลหะหนักในดิน ความสัมพันธ์ของ Fe กับ Cu และ Pb อยู่ในระดับปานกลางซึ่งมีอิทธิพลมาจากดินและกิจกรรมของมนุษย์ ในส่วนของ Cu จะมาจากดินและกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก สำหรับความสัมพันธ์ที่สูงระหว่าง Cu และ Pb ($R^2 = 0.97$) เป็นการพิสูจน์ว่ากิจกรรมของมนุษย์เป็นตัวการหลักที่ทำให้เกิดโลหะหนักในดิน ในส่วนของ Ni พบว่าค่าความเข้มข้นที่ได้ยังต่ำกว่าที่พบในธรรมชาติ Ni ที่มีค่าสูงเกิดจากอุตสาหกรรมใน KIE เช่น การทำเงิน เสื้อผ้า และแหล่งกำเนิดของ Ni ในดินอาจมาจากการจราจรและการกัดกร่อนของยานยนต์ และสำหรับ Pb น่าจะเกิดจากรถยนต์ เตาอบ เตาหลอมและเครื่องจักรในบริเวณ ซึ่งผลที่ได้พบว่าส่วนใหญ่ของโลหะหนักในดินนั้นมาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก โดยที่การศึกษาตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดจะช่วยในการอธิบายการกระจายของโลหะหนักภายในพื้นที่ได้

Xinghui Xia et al. (2011) วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักได้แก่ Cd Cr Cu Ni Pb และ Zn จากตัวอย่างหน้าดิน 0-20 เซนติเมตร และตัดขนาดด้วยตะแกรง 150 ไมครอน จำนวน 127 ตัวอย่าง ที่เก็บมาจากในเมืองย่านธุรกิจ สวนสาธารณะแบบคลาสสิก เขตพื้นที่วัฒนธรรมและการศึกษา พื้นที่สีเขียวสาธารณะ พื้นที่อยู่อาศัย และพื้นที่ริมถนนในกรุงปักกิ่ง จากผลการศึกษาพบว่าการกระจายของ Cd Cu Pb และ Zn ส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบโดยแหล่งที่มาของมนุษย์ที่มี

ความเข้มข้นเฉลี่ยของดินสูงกว่าค่า background values of Beijing ขณะที่ Cr และ Ni มาจากแหล่งธรรมชาติ การใช้ที่ดิน 6 ประเภท ความเข้มข้นของ Cd Cu Pb และ Zn ในสวนสาธารณะแบบคลาสสิกมีการเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญสูงกว่าที่อยู่ในอื่น ๆ อีก 5 ประเภทของการใช้ประโยชน์ที่ดิน ($p < 0.05$) เนื่องจากการที่ดั้งเดิมมีการใช้สีในการดูแลรักษาไม้และเครื่องทองเหลือง สำหรับการใช้งบประมาณของที่ดินอื่น ๆ อีก 5 ประเภท ยกเว้นในส่วนของสวนสาธารณะแบบคลาสสิก จะพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของ Cd ในพื้นที่ริมถนน สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งมากกว่าของ ย่านธุรกิจ เขตพื้นที่วัฒนธรรมและการศึกษา พื้นที่สีเขียวสาธารณะ พื้นที่อยู่อาศัย ($p < 0.05$) ซึ่งให้เห็น Cd ส่วนใหญ่มาจากแหล่งการจราจร สำหรับแผนที่การกระจายตัวแสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของ Cu Pb และ Zn มีแนวโน้มลดลงจากศูนย์กลางไปยังย่านชานเมืองของกรุงปักกิ่ง และมีค่าเพิ่มขึ้นตามอายุของเขตเมือง

Xiaoping Li and Linna Feng (2012) ศึกษากระจายแหล่งที่มาของมลพิษที่เป็นไปได้และปัจจัยที่มีผลกระทบของโลหะหนักในดินเมืองของ Weinan (จีน) โดยการเก็บตัวอย่างดิน 38 จุด โดยเก็บบริเวณผิวหน้าดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และสถิติหลายตัวแปร ผลการทดลองพบว่าระดับของโลหะหนัก 10 ชนิด (Pb Cr Ba Zn V Mn Co Cu Ni และ As) วัดโดย Wavelength Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry (WDXRF) ผลที่ได้มีดังนี้ Pb (19.00 -89.50) Cr (74.90-157.00) Ba (413.00-1137.60) Zn (44.50- 196.80) V (63.80-89.50) Mn (431.30 - 653.70) Co (8.00-14.50) Cu (14.60-34.70) Ni (20.80 -35.8) และ As (2.60-11.50) ในหน่วย มก./กก. ในส่วนของค่า EF ผลที่ได้ของแต่ละธาตุเรียงจากมากไปน้อยตามลำดับต่อไปนี้ Pb> Cr> Ba> Cu> Zn> Ni> V> Mn>Co > As จากแผนที่การกระจายเชิงพื้นที่ของโลหะหนักจากการวิเคราะห์ geostatistical แสดงให้เห็นว่า Ba Cu Pb Cr และ Zn มีนัยสำคัญในการศึกษาของพื้นที่นี้ และการทำแผนที่ GIS ซึ่งให้เห็นว่า Pb และ Cr มีรูปแบบการกระจายที่คล้ายกัน อีกหนึ่งกลุ่มที่คล้ายกันคือ Ba Cu และ Zn ในส่วนของ As Co Mn และ V ก็เช่นกัน จากการวิเคราะห์ PCA และ CA พบความแตกต่างกันในกลุ่มของโลหะหนักในการศึกษา ซึ่งให้เห็นว่า Ba Cu Pb Cr และ Zn มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของมนุษย์ (แหล่งอุตสาหกรรม การเผาไหม้ถ่านหิน และการจราจร) ในขณะที่ Mn V Co As และ Ni ในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีการควบคุมจึงมีแหล่งที่มาจากรธรรมชาติ

Bernhard A. Zarcinas et al. (2004) เก็บตัวอย่างดิน 318 ตัวอย่าง ที่ระดับผิวดิน 0-15 เซนติเมตรและตัวอย่างพืช 122 ตัวอย่าง จากทั่วทุกภูมิภาคของประเทศไทยมาวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะหนักชนิดต่าง ๆ หาปริมาณของ P, pH, EC และสารอินทรีย์คาร์บอน เตรียมตัวอย่างดินให้อยู่ในรูปสารละลายจะใช้การย่อยแบบ aqua regia คือการย่อยโดยใช้กรดเข้มข้น HCl ผสมกับ

HNO₃ โลหะหนักในดินส่วนใหญ่จะใช้ Inductively Coupled Plasma Spectrometry (ICPS) ยกเว้น Cd ในดินกับ Pb ในพืช จะใช้ Electrothermal Atomic Absorption Spectrometry (ETAAS) และใน ส่วนของ Hg จะใช้ Cold Vapour Atomic Absorption Spectrometry (CVAAS) ข้อมูลที่ได้จะนำมา ทำการวิเคราะห์สถิติโดย PCA และ ANOVA ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน ที่ใช้เป็น Investigation Levels ของไทย จะใช้ในช่วง percentile ที่ 95 ของความเข้มข้นต่ำที่สุด ซึ่งมี ค่าดังต่อไปนี้ As (0.08–29.0), Cd (0.01–0.17), Co (0.10–21.1), Cr (0.14–79.4), Cu (0.16–43.6), Hg (0.01–0.10), Ni (0.10–43.9), Pb (0.10–54.6) และ Zn (0.10–71.0) มก./กก. โดยจากการสำรวจ พบว่าจะมีการปนเปื้อนแบบมีนัยสำคัญจากกิจกรรมต่าง ๆ โลหะหนักในดินจากแต่ละภาคของ ประเทศไทยมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากความแตกต่างของพืชที่ใช้ปลูกคลุมดิน โดยที่ถั่วลิสง ข้าวและข้าวเหนียวมีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงเมื่อเทียบกับพืชตัวอย่าง การสำรวจในเบื้องต้น นี้เพื่อเป็นการประเมินผลกระทบที่จะเกิดความเสี่ยงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมหากได้รับการ ปนเปื้อนอย่างต่อเนื่อง

2.9.2 โลหะหนักในฝุ่นจากหลังคาและพื้นผิว

Meza-Figuerou et al. (2007) ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างฝุ่นจากหลังคาของ โรงเรียนประถมในเมือง Hermosillo ประเทศเม็กซิโก โดยใช้การเก็บตัวอย่างจากหลังคาของ โรงเรียนประถมจำนวน 25 จุดเก็บตัวอย่าง (กวาดบนพื้นที่ 2 ตารางเมตร และร่อนด้วยตะแกรง ขนาด 200 ไมครอน) ครอบคลุมพื้นที่บริเวณทั่วเมือง แบ่งโซนออกเป็น 2 โซน คือตอนเหนือและ ตอนใต้ทำการวิเคราะห์โลหะหนักได้แก่ Cd Cr Co Cu Ni Pb V และ Zn โดยใช้ ICP-OES หาค่า EF และวิเคราะห์ PCA เพื่อหาปัจจัยอันเป็นแหล่งที่มา ผลการศึกษาพบว่าการกระจายตัวของโลหะ หนักจะขึ้นกับแหล่งกำเนิดมลพิษ สภาพภูมิประเทศและทิศทางลม และจากการตรวจสอบ แหล่งที่มาพบว่าหลัก ๆ แล้วจะมาจาก 2 แหล่ง คือ V Ni Cu Fe Co และ Ba มาจากธรรมชาติ เล็กน้อยและเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ปานกลาง และ Cd Pb Cr และ Zn มาจากกิจกรรมของ มนุษย์

Yongming, Peixuan, Junji, and Posmentier (2006) ทำการศึกษาโดยเก็บตัวอย่าง ฝุ่นจำนวน 65 ตัวอย่างในเมืองซีอาน ประเทศจีน เก็บโดยวิธีการกวาดกับพื้นใช้จุดเก็บขนาด 1 ตารางเมตร และร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 200 mesh (66 ไมครอน) แล้วนำมาวิเคราะห์โลหะหนัก จำนวน 9 ชนิดด้วย AAS โดยที่ Cu Pb Zn Cr Ag และ Mn ใช้วิธี Vario 6-AAS สำหรับ Hg, As และ Sb ใช้วิธี cold vapor-AAS หาคความสัมพัทธ์ทางสถิติและใช้ PCA และ CA ในการระบุถึง แหล่งที่มาของโลหะหนัก รวมถึงคำนวณค่า Enrichment Factor เพื่อระบุถึงการปนเปื้อนของโลหะ หนักจากกิจกรรมของมนุษย์ ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าแหล่งที่มาแยกได้ 3 แหล่ง ด้วยกันคือ 1)

Mn และ As มาจากดินเป็นหลัก 2) Cu Pb Zn Cr และ Sb จากอุตสาหกรรม Pb และ Zn มาจากการจราจร 3) Hg และ Ag มาจากการค้าและชุมชน สำหรับค่า EF จะพบว่า Ag Hg Pb และ Zn ปนเปื้อนแบบมีนัยสำคัญ และ Cu Sb และ Cr ปนเปื้อนปานกลาง ส่วนของ As ไม่มีการปนเปื้อน

Joshi et al. (2009) ตรวจสอบการแพร่กระจายของธาตุต่าง ๆ ใน 3 เขตของสิงคโปร์ คือ เขตที่พักอาศัย ย่านการค้าและเขตอุตสาหกรรม โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นจากท้องถนนด้วยการกวาดและคัดขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงขนาด 355 ไมครอน แล้วทำการวิเคราะห์ทั้งหมด 13 ชนิด ได้แก่ Al As Co Cd Cr Cu Fe Mn Ni Pb Ti V และ Zn โดยใช้ ICP-MS ใช้ SEM และ EDX ในการส่องขยายรูปร่างของฝุ่น รวมถึงหาลักษณะการละลายน้ำในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในพื้นที่พักอาศัย พบว่า Al Cu Fe และ Zn ซึ่งจะเห็นว่าบางชนิดจะพบมากในช่วงเวลาหนึ่ง ขณะที่ในพื้นที่ย่านการค้า พบว่า Al Fe Mn และ Zn มีปริมาณสูง Pb และ As และในเขตอุตสาหกรรมจะพบความเข้มข้นของโลหะหนักมากที่สุด ซึ่งได้แก่ Fe Al Cu และ Zn จากการคำนวณค่า EF พบว่าธาตุส่วนใหญ่จะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์โดยที่ในการคำนวณจะใช้ Al เป็นธาตุอ้างอิง และให้ค่า $EF > 10$ จะระบุว่าเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ และผลศึกษาในส่วนของ การละลายน้ำและค่า pH แสดงให้เห็นว่า pH และลักษณะการละลายมีบทบาทสำคัญกับฝุ่นบนท้องถนน และปริมาณฝนกรดที่มากขึ้นในภูมิภาค จึงควรมีการติดตามเนื่องจากเกิดมาจากฝุ่นถนนเป็นมลพิษที่มากที่สุดคนได้ จึงต้องมีมาตรการควบคุมที่เหมาะสม

Al-Khashman (2004) ทำการศึกษาหาความเข้มข้นของโลหะหนักในเขตพื้นที่ KIE ประเทศจอร์แดน โดยใช้การเก็บตัวอย่าง 3 รูปแบบ คือ เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall เก็บตัวอย่างจากการจราจรบนท้องถนน และเก็บตัวอย่างดิน สำหรับฝุ่นจากท้องถนนเก็บทั้งหมด 15 ตัวอย่าง จากจุดเก็บที่แตกต่างกัน โดยที่ Pb พบมากที่สุดที่บริเวณจุดเก็บใกล้กับจุดบริการยานยนต์ ซึ่งน่าจะเกิดจากยานพาหนะที่ใช้ น้ำมันเบนซินที่มีสารตะกั่ว และน้อยที่สุดในบริเวณทางเข้าเมืองข้างร้านอาหารและเกสเฮ้าส์ โดยที่พบความสัมพันธ์ของ Pb กับ Zn และ Cu ที่ค่อนข้างสูง สำหรับ Cu จุดที่พบมากและน้อยที่สุดเป็นจุดเดียวกันกับที่พบความเข้มข้นของ Pb ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ของทั้งคู่ โดย Cu เกิดจากการขัดสีของเครื่องยนต์และอาจเกี่ยวข้องกับการทำเงินในบริเวณนั้น ความเข้มข้นของ Ni ที่พบจากฝุ่นถนนนี้ค่าที่ได้ยังต่ำกว่าในธรรมชาติ โดยพบมากที่สุดที่บริเวณจุดเก็บใกล้กับจุดบริการยานยนต์ และน้อยที่สุดในบริเวณวัสดุก่อสร้าง ซึ่งน่าจะมาจากการจราจรและกิจกรรมของมนุษย์ เชื่อว่ามาจากการกัดกร่อนของยานยนต์ และสำหรับ Zn พบมากที่สุดบริเวณจุดเก็บใกล้กับจุดบริการยานยนต์ และพบน้อยที่สุดในบริเวณส่วนบริหารของ KIE ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง Zn กับ Cu และ Pb มีค่าที่สูงมาก ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวสนับสนุนแนวคิดที่ว่ายานพาหนะ การจราจร และอุตสาหกรรม เป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดโลหะหนักในบริเวณนี้ ฝุ่นที่ได้

จากท้องถนนโลหะหนักส่วนใหญ่ที่พบจะอยู่ใกล้กับบริเวณจุดบริการด้านยานยนต์ และพบน้อยที่สุดบริเวณห้องอาหาร ซึ่งการศึกษาตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดจะช่วยในการอธิบายการกระจายของโลหะหนักภายในพื้นที่ได้

Serife Tokalioglu and Senol Kartal (2006) ศึกษาความเข้มข้นของโลหะหนักของฝุ่นจากท้องถนนของเขตอุตสาหกรรมในเมือง Kayseri ประเทศตุรกี ชนิดของโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้แก่ Cd Co Cr Cu Mn Ni Pb และ Zn โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นทั้งหมด 29 ตัวอย่าง โดยวิธีการกวาดฝุ่นริมถนนและคัดแยกอนุภาคด้วยตะแกรงขนาด 74 ไมครอน ใช้เครื่อง Flame atomic absorption spectrometry (FAAS) ในการหาความเข้มข้นของโลหะหนัก และใช้การสกัดลำดับส่วนตามแบบ European Communities Bureau of Reference (BCR) เพื่อประเมินลักษณะองค์ประกอบของฝุ่น โดยกระบวนการจะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ acid extractable, reducible และ oxidizable ผลที่ได้จากการสกัดแต่ละขั้นตอนเมื่อรวมแล้วได้ Cd (93.3%) > Zn (83.8%) > Pb (77.2%) > Co (75.9%) > Mn (73.0%) > Ni (60.1%) > Cu (59.0%) > Cr (58.6%) การตรวจสอบของผลการวิเคราะห์ที่ได้รับรองจากวัสดุอ้างอิง BCR-701 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้ PCA และ CA เพื่อประเมินผลการวิเคราะห์และระบุแหล่งที่มาของมลพิษที่เป็นไปได้ของโลหะหนัก จากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่เก็บตัวอย่างได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่มาจาก 3 แหล่งที่มา คือ การจราจร อุตสาหกรรมและแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยที่ Cu Ni Cd Co Cr และ Zn มาจากอุตสาหกรรม และ Pb กับ Mn มาจากการจราจรและธรรมชาติ

Xinwei Lu et al. (2010) วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักจากตัวอย่างฝุ่นถนนของเมือง Baoji ในทางตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศจีน เก็บตัวอย่างโดยการกวาดฝุ่น 5-8 จุดบนท้องถนนหรือทางเท้า แล้วคัดแยกอนุภาคด้วยตะแกรงขนาด 75 ไมครอน วิเคราะห์ความเข้มข้นของ Pb, Cu, Zn, Mn, Ni, Co และ Cr โดยใช้ Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry (WDXRF) ขณะที่ As และ Hg วัดโดย Atomic Fluorescence Spectrometry เก็บตัวอย่างฝุ่น 38 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีระดับค่อนข้างสูง ได้แก่ Hg Pb Zn และ Cu ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าระดับพื้นหลังของดินในจีนซึ่งมีค่ามากกว่าประมาณ 16-77, 7-92, 6-26 และ 4-12 เท่าตัว ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยเมื่อหารด้วยค่าระดับพื้นหลังของดินในจีนซึ่งมีค่าลดลงตามลำดับดังนี้ Hg > Pb > Zn > Cu > Cr > As > Ni > Co > Mn > V จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ PCA และ CA เพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะหนักเหล่านี้ พบว่าแหล่งที่มาหลัก ๆ จำนวน 3 แหล่ง อันได้แก่ As V Pb และ Co ระบุว่ามาจากธรรมชาติและจราจร สำหรับ Cu Zn Hg และ Mn ผลมาจากแหล่งอุตสาหกรรมและการจราจร ในส่วนของ Cr และ Ni มาจากดินเป็นส่วนใหญ่

2.9.3 โลหะหนักในฝุ่นที่ตกได้ (Dust Fall)

Jaradat, Momani, Jbarah and Massadeh (2004) ได้ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างฝุ่นภายในและภายนอกอาคาร บริเวณโรงกลั่นน้ำมันในประเทศจอร์แดน โดยฝุ่นภายนอกใช้การเก็บตัวอย่างแบบ Dustfall จากอาคาร 3 แห่ง ได้แก่ อาคารขนส่ง อาคารสิ่งแวดล้อมและอาคารบริหารทั่วไป รวมถึงเก็บตัวอย่างฝุ่นภายในอาคารจากอาคารเดียวกันกับที่ใช้เก็บฝุ่นภายนอก แล้วนำตัวอย่างที่ได้ไปทำการวิเคราะห์หาโลหะหนัก ได้แก่ Pb Cu Fe Cr Cd และ Zn วิเคราะห์โลหะหนักโดยใช้ Flame-AAS และ Graphite-furnace-AAS ผลจากการศึกษาพบว่าฝุ่นที่เก็บภายนอกอาคารมีปริมาณ Pb และ Cu น้อยกว่าค่าที่ได้จากในเมือง Amman ซึ่งมีการศึกษามาก่อนหน้านี้ ในส่วนของ Cd และ Zn นั้นจะมีปริมาณสูงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณโลหะหนักที่พบจากฝุ่นภายในอาคารพบว่า Pb Cu Fe และ Zn จะพบในปริมาณสูงกว่า และ Cr กับ Cd จะพบในปริมาณที่น้อยกว่าฝุ่นภายนอกอาคาร และจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นภายในและภายนอกอาคาร พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กันเลย จากการเปรียบเทียบค่า Enrichment Factor ของโลหะหนักจากฝุ่นภายในและภายนอกอาคาร พบว่าฝุ่นภายในอาคารจะมีค่ามากกว่า ซึ่งบอกได้ว่าแหล่งกำเนิดจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก

Al-Khashman (2004) ทำการศึกษาหาความเข้มข้นของโลหะหนักในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม Karak Industrial Estate (KIE) ประเทศจอร์แดน โดยใช้การเก็บตัวอย่าง 3 รูปแบบ คือ เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall เก็บตัวอย่างจากการจราจรบนท้องถนน และเก็บตัวอย่างดิน โดยทำการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ Fe Cu Zn Ni และ Pb โดยใช้ Flam-AAS ผลการศึกษาที่ได้พบว่าโลหะหนักที่วิเคราะห์ได้จาก Dustfall 20 ตัวอย่าง พบว่า Pb มีค่าระหว่าง 2.1-314.1 มก./กก. โดยพบมากที่สุดที่บริเวณเตาหลอม เตาอบ และเครื่องมือและพบน้อยที่สุดบริเวณอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์และไม้ เช่นเดียวกับ Cu ที่พบมีค่าระหว่าง 1.8-84.9 มก./กก. และ Zn พบในช่วง 15.4-136.9 มก./กก. ซึ่งจะพบมากและน้อยที่สุดคล้ายกันกับ Pb สำหรับ Fe จะพบมากที่สุดที่จุดบริการยานยนต์ 94.8 มก./กก. ซึ่งพบมากกว่าบริเวณเตาหลอม เตาอบ และโรงเครื่องมือ โดยน่าจะมาจากการสีกหลอมของชิ้นส่วนยานยนต์ Ni ที่พบมีค่า 6.5 มก./กก. ซึ่งต่ำกว่าที่มีในธรรมชาติ โดยพบมากที่สุดที่บริเวณเตาหลอม เตาอบ และบริเวณอิเล็กทรอนิกส์ และพบน้อยที่สุดที่อุตสาหกรรมเหล็กและไม้ใช้เหล็ก สำหรับโลหะหนักจากตัวอย่างฝุ่น Dustfall ที่ได้จะพบมากที่สุดบริเวณเตาหลอมและเตาอบ และพบน้อยที่สุดบริเวณอุตสาหกรรมไม้และเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งการศึกษาตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดจะช่วยในการอธิบายการกระจายของโลหะหนักภายในพื้นที่ได้

Pandey, Tripathi, and Mishra (2008) ทำการศึกษาโดยการเก็บตัวอย่างแบบ Dustfall บริเวณเมืองถ่านหิน Bina โดยใช้จุดเก็บตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันในด้านของสภาพภูมิ

ประเทศ 5 จุด ได้แก่ 1) Jawahar Colony ซึ่งเป็นเขตพื้นที่พักอาศัย ไม่มีอาคารสูงหรือต้นไม้คอยบดบัง 2) Bina coal handling plant บริเวณใกล้โรงซ่อมบำรุงของเหมืองถ่านหินได้รับอิทธิพลจากฝุ่นในเมือง 3) Receiving pit of CHP ภายในหลุมของเหมืองถ่านหินได้รับอิทธิพลจากฝุ่นในเมือง 4) บริเวณใกล้กับเหมืองที่จะได้รับอิทธิพลจากการขนส่ง 5) Gharasari village พื้นที่โดยรอบเป็นป่าเล็กน้อย ศึกษาถึงลักษณะของสภาพภูมิอากาศซึ่งเป็นพื้นที่เขตร้อนโดยแบ่งออกเป็น 3 ฤดู จากการศึกษาพบว่าบริเวณในเมืองจะได้รับมลพิษจากฝุ่นมากที่สุด ส่วนบริเวณพื้นที่โดยรอบจะได้มลพิษค่อนข้างน้อยกว่า และจากการเปรียบเทียบใน 3 ฤดู พบว่าในฤดูร้อนจะได้รับมลพิษจากฝุ่นมากที่สุดและในส่วนของฤดูฝนจะได้รับมลพิษน้อยที่สุด

2.9.4 โลหะหนักในฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ

Shah and Shaheen (2007) ทำการศึกษาหาความเข้มข้นและขนาดของอนุภาคโลหะหนัก โดยใช้พื้นที่ศึกษาคือเมือง Islamabad ประเทศปากีสถาน เก็บตัวอย่างด้วยเครื่องมือที่ใช้ □ อัตรการดูดอากาศสูง (High volume air sampler หรือ Hi-Vol) บริเวณ Quaid-i-Azam University ติดตั้งบนหลังคาสูงจากพื้น 15 เมตร ทั้งหมด 181 ตัวอย่าง บันทึกสภาพอากาศ ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง ทำการวิเคราะห์โลหะหนัก 10 ชนิด ได้แก่ Fe Na Zn K Pb Mn Cr Ni Co และ Cd โดยใช้ AAS และหาขนาดอนุภาคโดยใช้ Mastersizer 2000 โดยแบ่งออกเป็น 9 ขนาด ได้แก่ $PM_{<1.0}$, $PM_{1.0-2.5}$, $PM_{2.5-5}$, PM_{5-10} , PM_{10-15} , PM_{15-25} , PM_{25-50} , PM_{50-100} และ $PM_{>100}$ หาความสัมพันธ์ทางสถิติและวิเคราะห์แหล่งที่มาโดยใช้ PCA และ CA ซึ่งผลการศึกษาพบว่าโลหะจะมีความสัมพันธ์กับอนุภาคขนาดเล็กในทางบวก แต่จะมีทิศทางลบกับอนุภาคขนาดใหญ่ และอุณหภูมิแสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับโลหะที่แพร่กระจายในบรรยากาศ ขณะที่พารามิเตอร์สภาพอากาศตัวอื่น ๆ แสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผันหรือน้อย ซึ่งจาก PCA และ CA ระบุที่มาของโลหะและอนุภาคขนาดต่าง ๆ 5 แหล่ง ได้แก่ อุตสาหกรรม แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่ กิจกรรมเกี่ยวข้องกับโลหะ การเผาขยะ และฝุ่นที่มาจากดิน

Samara and Voutsas (2005) ทำการศึกษาดูตรวจสอบการแพร่กระจายของ PM และโลหะหนักที่เกี่ยวข้อง โดยใช้พื้นที่ศึกษาคือเมือง Thessaloniki ประเทศกรีซ เก็บตัวอย่างฝุ่นบริเวณใกล้ช่องทางจราจร โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างแบบที่ใช้ □ อัตรการดูดอากาศสูง แล้วแยกขนาดอนุภาคและทำการวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ Pb Cd Ni Cr V Mn Cu และ Fe โดยใช้ Electrothermal-AAS และแบ่งช่วงของอนุภาคออกเป็น 5 ขนาด ได้แก่ <0.8 , $0.8-1.3$, $1.3-2.7$, $2.7-6.7$ และ >6.7 ไมครอน คำนวณค่า EF เพื่อระบุถึงกิจกรรมอันเป็นแหล่งที่มาของโลหะหนัก และใช้ PCA เพื่อระบุปัจจัยอันเป็นแหล่งที่มาของธาตุโลหะต่าง ๆ โดยผลการศึกษาได้แยกขนาดอนุภาคเป็น 3 รูปแบบคือ Submicron (<0.8 ไมครอน) Fine ($0.8-6.7$ ไมครอน) และ Coarse (>6.7 ไมครอน)

ซึ่งแหล่งที่มาของโลหะหนักจะได้แก่ Submicron : Cd Pb Fe Cu V Ni และ Coarse : Ni V Mn จะมาจากการเผาไหม้ น้ำมัน ในส่วนของ Fine : Pb Cd Cu Fe Mn มาจากเครื่องยนต์ดีเซล และ ที่มาจากการฝุ่นถนนก็จะได้แก่ Fine และ Coarse ของ Cr Fe Mn Cd Pb และสุดท้ายคือที่มาจากอุตสาหกรรมได้แก่ Fine : Cd Pb Cr Fe และ Coarse : Pb Mn

Lawson and Winchester (1979) ได้มีการเสนอให้ใช้ Standard Crustal Aerosol (SCA) เพื่อเป็นตัวแทนในการคำนวณค่า Enrichment Factor โดยทำการศึกษาในพื้นที่ในทวีปอเมริกาใต้โดยเก็บตัวอย่างในทวีปอเมริกาใต้ โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นใช้เครื่องเก็บตัวอย่างอัตราการสูบเข้า 1 ลิตร/นาทีก และคัดขนาดของฝุ่นที่เก็บแบ่งออกเป็น 6 ขนาด สำหรับพื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 เขต คือ พื้นที่ห่างไกล ได้แก่ เมือง Goias และ Manaus ประเทศบราซิล เมือง Zongo ประเทศโบลิเวีย และ San Carlos De Bariloche ประเทศอาร์เจนตินา และส่วนในเขตเมืองได้แก่ เมือง Sao Paulo และ Brasilia ประเทศบราซิล เมือง Buenos Aires ประเทศอาร์เจนตินา และ La Paz ประเทศโบลิเวีย ชาติ ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ Al Si K Ca Ti และ Fe โดยใช้เครื่อง Proton Induced X-ray Emission (PIXE) จากการศึกษาได้ว่าธาตุที่มีความเหมาะสมจะใช้เป็นธาตุอ้างอิงในการคำนวณค่า Enrichment Factor คือ Al Si Ti และ Fe ซึ่งเป็นธาตุหลัก ๆ ในดิน

Shunsheng Huang et al. (2009) จากการศึกษาที่ลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียงในประเทศจีนมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว จึงได้มีการตรวจสอบความเข้มข้นของธาตุต่าง ๆ ที่มีการปล่อยปะปนสู่บรรยากาศ อันได้แก่ As Cd Cr Cu Fe Hg Mn Mo Ni Pb Se S และ Zn เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในอากาศทั้งหมด 43 ตัวอย่าง โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างที่ทำการออกแบบเอง คัดอนุภาคของตัวอย่างที่มีขนาด 74 ไมครอน วิเคราะห์ความเข้มข้น Cr Cu Fe Mn Mo Ni Pb S และ Zn โดยเครื่อง X-ray Fluorescence Spectrometry ในส่วนของ Cd วิเคราะห์ด้วย Graphite Furnace และ As Hg Se วิเคราะห์ด้วย Cold Vapor Atomic Spectrometry ผลที่ได้เปรียบเทียบกับดินของประเทศจีน ระบุว่าธาตุแต่ละชนิดที่ทำการศึกษามีความเข้มข้นในระดับสูง ยกเว้น Fe และ Mn โดยพบว่าการปล่อยปะปนสู่บรรยากาศของ Cd Cr Cu Pb และ Zn สูงกว่าการศึกษาที่ผ่านมาจากแหล่งอื่น ๆ ทั่วโลก อย่างมีนัยสำคัญ จากการใช้ PCA และ CA วิเคราะห์เพื่อที่จะแหล่งที่มา โดยสามารถแยกแหล่งที่มาหลัก ๆ ออกได้ 4 กลุ่ม ดังนี้ 1) การปล่อยมลพิษของการจราจรบนท้องถนน ได้แก่ As Hg Cu Cd Mo S และ Zn 2) กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับโลหะ ได้แก่ Cr และ Ni 3) อนุภาคดิน Fe และ Mn 4) การเผาไหม้ถ่านหิน Pb และ Se และแหล่งที่มาทั้ง 4 ทำการตรวจสอบอีกครั้งด้วยการคำนวณค่า EF และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ โดยพบว่า As Hg Cu Cd Mo S และ Zn มีค่า EF และความเข้มข้นที่สูงใน ที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ในส่วนของ Fe และ Mn พบในเขตที่ค่อนข้างเป็นชนบทซึ่งหลัก ๆ จะเกี่ยวข้องกับอนุภาคในดิน ขณะที่ Cr และ Ni พบในย่านที่มีการทำอุตสาหกรรมจักรกลโลหะผสม

2.10 สรุปประเด็นสำคัญจากงานวิจัยเกี่ยวกับโลหะหนักในฝุ่นและดิน

2.10.1 วิธีการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

1. วิธีการเก็บตัวอย่างดิน จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การเก็บตัวอย่างดินแบ่งเป็น 2 ระดับความลึก คือ 0-20 เซนติเมตร และ 20-40 เซนติเมตร (Al-Khashman, 2004) แต่การเก็บตัวอย่างดินเพื่อมาวิเคราะห์โลหะหนักจากงานวิจัยส่วนใหญ่พบว่านิยมเก็บกันบริเวณผิวน้ำดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตร แล้วจึงนำมาคัดขนาดด้วยตะแกรงซึ่งแต่ละงานวิจัยจะมีขนาดที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้สามารถแบ่งแยกชนิดของดินได้ตามขนาดของอนุภาค ดังนี้ sand (>20 มม.) silt (2-20 มม.), และ clay (<2 มม.) (Al-Khashman, 2004)

2. วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นจากหลังคาหรือพื้นผิว จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่านิยมอย่างมากกับฝุ่นที่อยู่ริมถนน ซึ่งจะเก็บด้วยวิธีการกวาดกับพื้นผิว โดยการใช้แปรงหรือไม้กวาดที่ไม่ได้เป็นโลหะ ทั้งนี้ในการเก็บตัวอย่างจะสร้างพื้นที่ด้วยการตีตารางเพื่อกำหนดขอบเขตที่จะทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น โดยจะใช้พื้นที่ประมาณ 1-2 ตารางเมตร แล้วจึงนำมาคัดขนาดอนุภาคด้วยตะแกรงซึ่งมีค่อนข้างหลายขนาดที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยมีขนาดตั้งแต่ 66-355 ไมครอน

3. วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบที่ตกได้ (Dustfall) จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าลักษณะของสภาพภูมิอากาศเขตร้อนจากการเปรียบเทียบใน 3 ฤดู พบว่าในฤดูร้อนจะได้รับมลพิษจากฝุ่นมากที่สุดและในส่วนของฤดูฝนจะได้รับมลพิษน้อยที่สุด (Pandey, S.K. et. al.,2008) และวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่น Dustfall ก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถเก็บตัวอย่างฝุ่นเพื่อนำมาวิเคราะห์หาโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นได้

4. วิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นที่แขวนลอยอยู่ในอากาศ งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาจะใช้เครื่อง High Volume หรือเครื่องที่มีการดูดอากาศเข้ามาในการเก็บตัวอย่าง และการคัดแยกขนาดของตัวอย่างก็ค่อนข้างมีหลากหลาย ซึ่งในบางครั้งอาจใช้เพียงแค่ตัวอย่างขนาดเดียว หรือบางงานวิจัยอาจแบ่งตัวอย่างออกเป็นหลายขนาด

2.10.2 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูล

1. สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลของความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้จากวิธีการเก็บที่แตกต่างกันถึง 4 แบบ แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาโดยส่วนใหญ่จะใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) และการจัดกลุ่มด้วยเทคนิค Cluster Analysis (CA) ซึ่งจะเป็นการจัดกลุ่มเพื่อหาแหล่งที่มาของโลหะหนัก โดยใช้รูปแบบของความสัมพันธ์ของโลหะหนักแต่ละชนิดเพื่อจัดเป็นปัจจัยหรือจัดกลุ่มของโลหะหนัก

2. งานวิจัยส่วนใหญ่จะอธิบายถึงความแตกต่างของพื้นที่ หรือการใช้ประโยชน์ที่ดินที่แตกต่างกัน ซึ่งจะก่อให้เกิดกิจกรรมและความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบนั้นแตกต่างกัน

ออกไป จะนำมาใช้อธิบายและแสดงความเป็นเหตุเป็นผลถึงปัจจัยอันเป็นแหล่งที่มา ที่ได้จากการวิเคราะห์ PCA และ CA เพื่อหาแหล่งที่มาของโลหะหนัก

3. การคำนวณค่า Enrichment Factor เพื่อบอกถึงระดับของการปนเปื้อนของโลหะหนักที่เกิดขึ้นว่าจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์หรือมาจากธรรมชาติ โดยอาศัยการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนของความเข้มข้นของฝุ่นกับของพื้นผิวของโลก โดยจะมีตัวอ้างอิงที่ใช้คือธาตุที่พบมากตามผิวโลก ซึ่งจากหลายงานวิจัยที่ผ่านมาจะใช้เป็นตัวบ่งบอกถึงการปนเปื้อนหรือเพิ่มขึ้นของโลหะหนักที่มีอยู่ในธรรมชาติ แสดงถึงกิจกรรมของมนุษย์มีส่วนที่ทำให้ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น ทั้งนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะให้ค่า EF ที่มากกว่า 10 ขึ้นไประบุว่าโลหะชนิดนั้นจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์

4. อีกหนึ่งวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลของการศึกษาเกี่ยวกับการหาความเข้มข้นของโลหะหนักคือการหาความสัมพันธ์ทางสถิติด้วยค่าสัมประสิทธิ์การกำหนด (The Coefficient of determination : R^2) ซึ่งเป็นการดูความสัมพันธ์ของโลหะหนักแต่ละชนิดว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยอย่างไร ซึ่งสามารถใช้ในการอธิบายการกระจายตัวของโลหะหนักได้

5. นอกเหนือจากการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินและฝุ่นแล้ว ในหลาย ๆ งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการวิเคราะห์ pH การแผ่รังสี การชะออกมาที่สภาวะต่าง ๆ การส่องดูโครงสร้าง และการวิเคราะห์ด้วยระบบภูมิศาสตร์สารสนเทศ (GIS)

2.10.3 ผลการศึกษา

1. จากงานวิจัยที่ได้ทบทวนมาทำให้พอที่จะสรุปถึงแนวทางและรูปแบบของการเก็บตัวอย่างเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนัก ซึ่งในงานวิจัยที่จะทำการศึกษาต่อไปนี้ นั่นคือการเก็บตัวอย่างของดินที่จะใช้วิธีการเก็บตัวอย่างที่ผิวน้ำดินที่ระดับความลึก 0-15 เซนติเมตรโดยประมาณ และสำหรับการเก็บตัวอย่างของฝุ่นในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการเก็บตัวอย่างของฝุ่นด้วยกัน 2 รูปแบบคือ เก็บตัวอย่างของฝุ่นที่ติดอยู่กับพื้นผิวหรือเก็บฝุ่นหลังคา และเก็บตัวอย่างฝุ่นที่ตกได้ (Dustfall) และเลือกคัดขนาดของอนุภาคฝุ่นและดินด้วยตะแกรง 250 ไมครอน อนุภาคขนาดที่เลือกมานี้คือขนาดที่สามารถฟุ้งกระจายได้จากพื้นเบื้องล่างสู่บรรยากาศได้ ซึ่งอาจจะสามารถเข้าสู่ร่างกายของคนได้เช่นกัน

2. สำหรับชนิดของโลหะหนักที่จะหาความเข้มข้นในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการหาทั้งหมด 9 ชนิด ได้แก่ Pb As Cd Hg Cr Mn Fe Cu และ Zn ซึ่งในงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่โลหะหนักทั้ง 9 ชนิดนี้ล้วนแล้วแต่ถูกนำมาวิเคราะห์และระบุถึงความเป็นพิษที่มีผลต่อคนและสิ่งแวดล้อมแทบทั้งสิ้น ซึ่งเหตุผลหนึ่งทีเลือกวิเคราะห์โลหะหนักทั้ง 9 ชนิด เนื่องจากว่า 6 ชนิด

แรกคือโลหะหนักที่มีการคาดการณ์ว่าพบบ่อยและต้องเฝ้าระวังสำหรับประเทศไทย และอีก 3 ชนิด ต่อมาคือโลหะหนักที่มีการใช้อย่างมากและแพร่หลายในกระบวนการอุตสาหกรรม

3. สำหรับเครื่องมือที่จะใช้ในการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักจะใช้ เครื่อง เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) ซึ่งจะสามารถวิเคราะห์ ได้ถึงหน่วยความเข้มข้นระดับ ppb และสามารถวิเคราะห์ได้ที่หลาย ๆ ธาตุพร้อมกัน ในส่วนของ การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์จะทำการย่อยตัวอย่างด้วยกรดเข้มข้นและใช้เครื่อง Microwave Digestion ในการให้ความร้อนและแรงดันกับตัวอย่าง เพื่อประสิทธิภาพในการย่อยที่สมบูรณ์

4. การวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักในงานวิจัยนี้จะใช้การ วิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) และการจัดกลุ่ม Cluster Analysis โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ โลหะหนักแต่ละชนิดจากฝุ่นมาจัดกลุ่มเพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะแต่ละชนิดที่มีความสัมพันธ์กัน ในการระบุแหล่งที่มาของโลหะหนักแต่ละชนิด จะใช้อ้างอิงจากงานวิจัยที่ทบทวนมา และอาศัย ความเป็นเหตุเป็นผลจากการศึกษาที่ได้ในครั้งนีมาช่วยในการวิจารณ์และเปรียบเทียบ

5. การคำนวณค่า Enrichment Factor เพื่อบอกถึงระดับของการปนเปื้อนของ โลหะหนักที่เกิดขึ้นในตัวอย่างฝุ่นทั้งสองรูปแบบที่ทำการวิเคราะห์ว่าจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือมาจากธรรมชาติ สำหรับธาตุที่จะใช้ในการอ้างอิงในการศึกษาครั้งนี้คือ Fe ซึ่งเป็นโลหะหนักที่ พบมากในดิน โดยใช้ค่าความเข้มข้นเฉลี่ยของดินแต่ละชุมชนเป็นตัวแทนของพื้นผิวโลก

ทั้งนี้ตารางที่ 2.5 สรุปปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่ได้ทบทวนมา ได้แก่ สถานที่และ วิธีการเก็บตัวอย่าง เครื่องมือที่ใช้ โลหะหนักที่ศึกษา วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล และผลสรุปที่สำคัญ ของการศึกษา

ตารางที่ 2.5 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในดิน

งานวิจัย	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง	เครื่องมือที่ใช้และโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์	การวิเคราะห์ข้อมูล	สรุป
Dragovic' et al. (2008)	พื้นที่ศึกษาบริเวณภูเขา Zlatibor ในประเทศเซอร์เบีย สุ่ม 174 ตัวอย่างจากพื้นที่แตกต่างกัน คือ ความสูง ลักษณะดิน แหล่งของวัสดุ พืชพรรณ และปริมาณฝน และนำมาทำการสุ่มโดย applying systematic method 58 ตัวอย่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของแต่ละพื้นที่	วิเคราะห์โลหะหนัก 7 ชนิด ได้แก่ Cd Cr Cu Mn, Ni Pb และ Zn โดยใช้ AAS และหาพารามิเตอร์ลักษณะต่างๆ ของดิน รวมถึงตรวจ radionuclides ของ ^{40}K ^{238}U ^{232}Th และ ^{137}Cs โดยใช้ gamma-ray spectrometry	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนัก พารามิเตอร์ลักษณะต่างๆ และ radionuclides รวมถึงใช้ CA และ EF (ใช้ Fe เป็นธาตุอ้างอิง) ระบุนแหล่งที่มาของโลหะหนัก	จากการวิเคราะห์ EF และ CA พบว่า Cr Cu Mn Ni Pb และ Zn จะมาจากหินในธรรมชาติ สำหรับ Cd จะมาจากกิจกรรมของมนุษย์
Li et al. (2004)	พื้นที่ศึกษาคือ Kowloon Peninsula ในเกาะฮ่องกง เก็บตัวอย่างหน้าดินที่ความลึก 0-15 ซม. โดยสุ่มตัวอย่างที่ความหนาแน่น 5 ตัวอย่าง/ตร.กม และแต่ละตัวอย่างแบ่งเป็น 9 ตัวอย่างย่อย ครอบคลุมพื้นที่จำนวนทั้งหมด 152 ตัวอย่าง	โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Cd Cr Cu Ni Pb และ Zn โดยเครื่อง ICP-AES และใช้ GIS เข้ามาช่วยในการหาจุดเก็บตัวอย่างและสร้าง geochemical maps	ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ PCA และ CA ในการหาที่มาและจัดกลุ่มธาตุโลหะ และวิเคราะห์ Pb isotopic composition analysis เพื่อหาแหล่งที่มาของตะกั่ว	จากการศึกษาพบว่าการใช้ GIS ในการสร้าง geochemical maps ตำแหน่งของ hot-spot ส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณแยกของเส้นทางถนนและใกล้กับถนนสายหลัก และจากการวิเคราะห์ Pb isotopic จะได้ว่าโลหะหนักส่วนใหญ่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์
Al-Khashman (2004)	นิคมอุตสาหกรรม Karak ประเทศจอร์แดน เก็บตัวอย่างดิน 3 จุด ที่ความลึก 2 ระดับ	โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Fe Cu Zn Ni และ Pb โดยใช้ Flam-AAS	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักแต่ละตัวและเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนัก รวมถึงดูการกระจายตัวของโลหะหนัก	ผลการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่ของโลหะหนักในดินนั้นมาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก โดยที่การศึกษาตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดจะช่วยในการอธิบายการกระจายของโลหะหนักภายในพื้นที่ได้

ตารางที่ 2.5 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในดิน (ต่อ)

งานวิจัย	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง	เครื่องมือที่ใช้และโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์	การวิเคราะห์ข้อมูล	สรุป
Xinghui Xia et al. (2011)	ตัวอย่างดินเก็บมาจากในเมืองย่านธุรกิจสวนสาธารณะแบบคลาสสิก เขตพื้นที่วัฒนธรรมและการศึกษา พื้นที่สีเขียวสาธารณะ พื้นที่อยู่อาศัย และพื้นที่ริมถนนในกรุงปักกิ่งจากจำนวน 127 ตัวอย่าง	วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนักได้แก่ Cd Cr Cu Ni Pb และ Zn โดย ICP-MS	วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ PCA และ CA เพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะหนัก และเปรียบเทียบความเข้มข้นกับ background values of Beijing และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่	จากผลการศึกษาพบว่าการกระจายของ Cd Cu Pb และ Zn ส่วนใหญ่ได้รับผลกระทบโดยแหล่งที่มาของมนุษย์ ขณะที่ Cr และ Ni มาจากแหล่งธรรมชาติ การใช้ที่ดิน 6 ประเภท ความเข้มข้นของ Cd Cu Pb และ Zn ในสวนคลาสสิกมีการเพิ่มอย่างมีนัยสำคัญสูงกว่าที่อยู่ในอื่น ๆ อีก 5 ประเภทของ สำหรับแผนที่การกระจายตัวแสดงให้เห็นว่าระดับความเข้มข้นของ Cu Pb และ Zn มีแนวโน้มลดลงจากศูนย์กลางไปยังย่านชานเมืองของกรุงปักกิ่ง และเพิ่มขึ้นกับอายุของเขตเมือง
Xiaoping Li and Linna Feng (2012)	เก็บตัวอย่างดินของเมือง Weinan ประเทศจีน เก็บในเขตอุตสาหกรรมและพื้นที่ใกล้เคียง โดยเก็บดินที่ความลึก 0-15 ซม.	วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก 10 ชนิด ได้แก่ Pb Cr Ba Zn V Mn Co Cu Ni และ As วัดโดย WDXRF	ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ PCA และ CA เพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะหนัก	การทำแผนที่ GIS ซึ่งให้เห็นว่า Pb และ Cr มีรูปแบบการกระจายที่คล้ายกัน อีกหนึ่งกลุ่มที่คล้ายกันคือ Ba Cu และ Zn ในส่วนของ As Co Mn, และ V ก็เช่นกัน จากการวิเคราะห์ PCA และ CA พบความแตกต่างกันในกลุ่มของโลหะหนักในการศึกษา ซึ่งให้เห็นว่า Ba Cu Pb Cr และ Zn มีความสัมพันธ์กับกิจกรรมของมนุษย์ (แหล่งอุตสาหกรรม การเผาไหม้ถ่านหิน และการจราจร) ในขณะที่ Mn V Co As และ Ni ในพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่มีการควบคุม จึงมีแหล่งที่มาจากธรรมชาติ

ตารางที่ 2.5 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในดิน (ต่อ)

งานวิจัย	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง	เครื่องมือที่ใช้และโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์	การวิเคราะห์ข้อมูล	สรุป
Zarcinas, B.,A. et al. (2004)	เก็บตัวอย่างดิน 318 และพืช 122 ตัวอย่าง จากทั่วทุกภาคของประเทศไทย	วิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะหนัก ได้แก่ As Cd Cr Cu Hg Ni Pb และ Zn วัดโดยใช้ ICPS ยกเว้น Cd ในดินกับ Pb ในพืช จะใช้ ETAAS และในส่วนของ Hg จะใช้ CVAAS	วิเคราะห์สถิติโดย PCA และ ANOVA และหา Investigation Levels ของไทย โดยใช้ในช่วง percentile ที่ 95 ของค่าที่ต่ำที่สุด	จากการสำรวจพบว่าจะมีการปนเปื้อนแบบมีนัยสำคัญจากกิจกรรมต่าง ๆ โลหะหนักในดินจากแต่ละภาคของประเทศไทยมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากความแตกต่างของพืชที่ใช้ปลูกคุดิน โดยที่ถั่วลิสง ข้าว และข้าวเหนียวมีความเข้มข้นของโลหะหนักสูงเมื่อเทียบกับพืชตัวอย่างการสำรวจในเบื้องต้นนี้เพื่อเป็นการประเมินผลกระทบที่จะเกิดความเสี่ยงต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมหากได้รับการปนเปื้อนอย่างต่อเนื่อง



ตารางที่ 2.6 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในฝุ่นจากหลังคาและพื้นผิว

งานวิจัย	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง	เครื่องมือที่ใช้และโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์	การวิเคราะห์ข้อมูล	สรุป
Meza-Figuerou et al. (2007)	พื้นที่ศึกษาเมือง Hermosillo ประเทศเม็กซิโก โดยแบ่งเป็น 2 โซนคือ Southern และ Northcentral เก็บตัวอย่างจากหลังคาของโรงเรียนประถมทั้งหมด 25 จุด (ภาคพื้นพื้นที่ 2 ตร.ม.และร้อนด้วยตะแกรงขนาด 200 ไมครอน)	วิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ Cd Cr Co Cu Ni Pb V และ Zn โดยใช้ ICP-OES	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักและใช้ PCA รวมถึงคำนวณ EF (ใช้ Fe เป็นธาตุอ้างอิง) ระบุแหล่งที่มาของโลหะหนัก	ผลการศึกษาพบว่า การกระจายตัวของโลหะหนักจะขึ้นกับแหล่งกำเนิดมลพิษสภาพภูมิประเทศและทิศทางลม และจากการวิเคราะห์ PCA และ EF ตรวจสอบแหล่งที่มาหลัก ๆ แล้ว จะมาจาก 2 แหล่ง คือ V Ni Cu Fe Co และ Ba มาจากธรรมชาติเล็กน้อยและเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ปานกลาง และ Cd Pb Cr และ Zn มาจากกิจกรรมของมนุษย์
Yongming et al. (2006)	เก็บตัวอย่างฝุ่นจำนวน 65 ตัวอย่าง ครอบคลุมพื้นที่ในเมืองซีอาน ประเทศจีน เก็บโดยวิธีการกวาดกับพื้น โดยใช้จุดเก็บขนาด 1 ตร.ม. และร้อนด้วยตะแกรงเบอร์ 200 mesh (66 ไมครอน)	ทำการวิเคราะห์โลหะหนักด้วย AAS โดยที่ Cu Pb Zn Cr Ag และ Mn ใช้วิธี Vario 6-AAS สำหรับ Hg, As และ Sb ใช้วิธี cold vapor-AAS	วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ PCA และ CA ระบุแหล่งที่มาและจัดกลุ่มโลหะหนัก รวมถึงคำนวณ EF วัตถุประสงค์ของกิจกรรมของมนุษย์ที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของโลหะหนัก	การวิเคราะห์ PCA และ CA แยกที่มาได้ 3 แหล่งด้วยกันคือ 1) Mn และ As มาจากดินเป็นหลัก 2) Cu Pb Zn Cr และ Sb จากอุตสาหกรรม Pb และ Zn มาจากการจราจร 3) Hg และ Ag มาจากการค้าและชุมชน สำหรับค่า EF จะพบว่า Ag Hg Pb และ Zn ปนเปื้อนแบบมีนัยสำคัญ และ Cu Sb และ Cr ปนเปื้อนปานกลาง ส่วนของ As ไม่มีการปนเปื้อน
Joshi et al. (2009)	พื้นที่ศึกษาใน 3 เขตของสิงคโปร์ คือ เขตที่พักอาศัย ย่านการค้า และเขตอุตสาหกรรม โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นจากท้องถนน (ใช้การกวาดและร้อนด้วยตะแกรงขนาด 355 ไมครอน)	ทำการวิเคราะห์โลหะหนักทั้งหมด 13 ชนิด ได้แก่ Al As Co Cd Cr Cu Fe Mn Ni Pb Ti V และ Zn โดยใช้ ICP-MS ใช้ SEM และ EDX ในการส่องขยายดูรูปร่างของฝุ่น รวมถึงหาลักษณะการละลายน้ำในรูปแบบต่าง ๆ	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติและศึกษาจลนศาสตร์การละลายของโลหะหนัก รวมถึงคำนวณ EF (ใช้ Al เป็นธาตุอ้างอิง) ระบุแหล่งที่มาของโลหะหนัก	จากการศึกษาพบว่า โลหะที่พบจากฝุ่นบนท้องถนนส่วนใหญ่ ได้แก่ Fe Al Cu และ Zn โดยที่ในเขตอุตสาหกรรมจะพบความเข้มข้นของโลหะมากที่สุด และจากค่า EF โลหะหนักส่วนใหญ่จะมาจากกิจกรรมของมนุษย์ และจากลักษณะการละลายพบว่า ธาตุสามารถละลายได้เล็กน้อยที่ pH เป็นกลาง แต่จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อ pH ลดลง

ตารางที่ 2.6 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในฝุ่นจากหลังคาและพื้นผิว (ต่อ)

งานวิจัย	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง	เครื่องมือที่ใช้และโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์	การวิเคราะห์ข้อมูล	สรุป
Al-Khashman (2004)	นิคมอุตสาหกรรม Karak ประเทศจอร์แดน เก็บตัวอย่างฝุ่นจากริมถนน 15 ตัวอย่าง	โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Fe Cu Zn Ni และ Pb โดยใช้ Flam-AAS	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักแต่ละตัวและเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนัก รวมถึงดูการกระจายตัวของโลหะหนัก	ฝุ่นที่ได้จากท้องถนน โลหะหนักส่วนใหญ่ที่พบจะอยู่ใกล้กับบริเวณจุดบริการด้านยานยนต์ และพบน้อยที่สุดในบริเวณห้องอาหาร ซึ่งการศึกษาตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดจะช่วยในการอธิบายการกระจายของโลหะหนักภายในพื้นที่ได้
Serife Tokalioglu and Senol Kartal (2006)	เขตอุตสาหกรรมในเมือง Kayseri ประเทศตุรกี โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นทั้งหมด 29 ตัวอย่าง โดยการกวาดและคัดขนาดที่ 74 ไมครอน	โลหะหนักที่วิเคราะห์ ได้แก่ Cd Co Cr Cu Mn Ni Pb และ Zn และใช้เครื่อง Flame-AAS	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้ PCA และ CA เพื่อประเมินผลการวิเคราะห์และระบุแหล่งที่มาของมลพิษที่เป็นไปได้ของโลหะหนัก และใช้การสกัดลำดับส่วนแบบ BCR เพื่อประเมินลักษณะองค์ประกอบของฝุ่น	จากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่เก็บตัวอย่างได้รับอิทธิพลส่วนใหญ่มาจาก 3 แหล่งที่มา คือ การจราจร อุตสาหกรรม และแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยที่ Cu Ni Cd Co Cr และ Zn มาจากอุตสาหกรรม และ Pb กับ Mn มาจากการจราจรและธรรมชาติ
Xinwei Lu et al. (2010)	ตัวอย่างฝุ่นถนนของเมือง Baoji ในทางตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศจีน เก็บโดยการกวาดและคัดขนาดที่ 75 ไมครอน เก็บตัวอย่างฝุ่น 38 ตัวอย่าง	วิเคราะห์ Pb Cu Zn Mn Ni Co และ Cr โดยใช้ WDXRF ขณะที่ As และ Hg วัดโดย AFS	วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ PCA และ CA เพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะหนักและเปรียบเทียบความเข้มข้นกับ background values of Shaanxi soil	จากการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ PCA และ CA เพื่อระบุแหล่งที่มาของโลหะหนักเหล่านี้ พบว่าได้แหล่งที่มาหลัก ๆ 3 แหล่ง อันได้แก่ As V Pb และ Co ระบุว่ามาจากธรรมชาติและการจราจร สำหรับ Cu Zn Hg และ Mn ผลมาจากแหล่งอุตสาหกรรมและการจราจร ในส่วนของ Cr และ Ni มาจากดินเป็นส่วนใหญ่

ตารางที่ 2.7 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในฝุ่นที่ตกได้ (Dustfall)

งานวิจัย	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง	เครื่องมือที่ใช้และโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์	การวิเคราะห์ข้อมูล	สรุป
Jaradat et al. (2004)	โรงกลั่นน้ำมันในประเทศจอร์แดน เก็บตัวอย่างฝุ่นภายนอกอาคารด้วยวิธี Dustfall จากอาคาร 3 อาคาร จำนวน 9 ตัวอย่าง และเก็บตัวอย่างฝุ่นภายในอาคารทั้ง 3 อีก 10 ตัวอย่าง	วิเคราะห์โลหะหนักจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ Pb Cu Fe Cr Cd และ Zn โดยใช้ Flame-AAS และ Graphite-furnace-AAS	เปรียบเทียบปริมาณโลหะหนักที่พบภายนอกและภายในอาคาร และหาค่า EF ของโลหะหนักธาตุที่ใช้อ้างอิงในการหา EF คือ Al	จากการเปรียบเทียบค่า EF ของโลหะหนักที่พบจากฝุ่นภายนอกอาคารจะมีค่าน้อยกว่าภายในอาคาร และฝุ่นจากทั้ง 2 แหล่งไม่มีความสัมพันธ์กันเลย
Al-Khashman (2004)	นิคมอุตสาหกรรม Karak ประเทศจอร์แดน เก็บตัวอย่าง Dustfall จำนวน 20 ตัวอย่าง	โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ Fe Cu Zn Ni และ Pb โดยใช้ Flam-AAS	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักแต่ละตัวและเปรียบเทียบจุดเก็บตัวอย่าง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนัก รวมถึงดูการกระจายตัวของโลหะหนัก	ตัวอย่างฝุ่น Dustfall ที่ได้จะพบมากที่สุดบริเวณเดาหลอมและเดาอบ และพบน้อยที่สุดบริเวณอุตสาหกรรมไม้และเฟอร์นิเจอร์ ซึ่งการศึกษาตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดจะช่วยในการอธิบายการกระจายของโลหะหนักภายในพื้นที่ได้
Pandey et al. (2008)	เก็บตัวอย่างแบบ Dustfall บริเวณเมืองถ่านหิน Bina ประเทศอินเดีย โดยจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 5 จุด ครอบคลุมพื้นที่ในเมืองและบริเวณใกล้เคียง โดยสภาพพื้นที่ทั้ง 5 จุดจะแตกต่างกันออกไป เก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 ปี แบ่งฤดูกาลออกเป็น 3 ฤดู ตามภูมิอากาศเขตร้อน	วิเคราะห์แบ่งเป็น Tarry substances, Combustible matte, Ash substances, Water insoluble matter, Total dustfall, Water soluble matter, Calcium และ Chloride	การวิเคราะห์ข้อมูลจะมีการเปรียบเทียบปริมาณฝุ่นที่เก็บได้ในแต่ละฤดูกาล และแต่ละพื้นที่ และหาความสัมพันธ์ของฝุ่นในแต่ละพื้นที่	จากการศึกษาพบว่าบริเวณภายในเหมืองจะพบปริมาณของฝุ่นมากที่สุด และฤดูกาลที่พบปริมาณฝุ่นมากที่สุดคือฤดูร้อน

ตารางที่ 2.8 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในฝุ่นที่แขวนลอยในอากาศ

งานวิจัย	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง	เครื่องมือที่ใช้และโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์	การวิเคราะห์ข้อมูล	สรุป
Shah and Shaheen (2007)	พื้นที่ศึกษาเมือง Islamabad ประเทศปากีสถาน เก็บตัวอย่างโดยใช้เครื่อง high volume บริเวณ Quaid-i-Azam University ติดตั้งบนหลังคาสูงจากพื้น 15 เมตร ทั้งหมด 181 ตัวอย่าง บันทึกสภาพอากาศ ณ เวลาที่เก็บตัวอย่าง	วิเคราะห์โลหะหนัก 10 ชนิด ได้แก่ Fe Na Zn K Pb Mn Cr Ni Co และ Cd โดยใช้ AAS และหาขนาดอนุภาค โดยใช้ Mastersizer 2000 โดยแบ่งออกเป็น 9 ขนาด ได้แก่ $PM_{<1.0}$ $PM_{1.0-2.5}$ $PM_{2.5-5}$ PM_{5-10} PM_{10-15} PM_{15-25} PM_{25-50} PM_{50-100} และ $PM_{>100}$	วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติของโลหะหนักและอนุภาคขนาดต่างๆ แบบ Pearson correlation รวมถึงหาความสัมพันธ์กับสภาพอากาศ และใช้ PCA และ CA ระบุแหล่งที่มาและจัดกลุ่มโลหะหนักและอนุภาคขนาดต่างๆ	โลหะจะมีความสัมพันธ์กับอนุภาคขนาดเล็กในทางบวก แต่จะมีทิศทางลบกับอนุภาคขนาดใหญ่ และอุณหภูมิ แสดงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับโลหะที่แพร่กระจายในบรรยากาศ ขณะที่พารามิเตอร์สภาพอากาศตัวอื่น ๆ แสดงความสัมพันธ์แบบแปรผกผันหรือน้อย ซึ่งจาก PCA และ CA ระบุที่มาของโลหะและอนุภาคขนาดต่างๆ 5 แหล่ง ได้แก่ อุตสาหกรรม, แหล่งกำเนิดเคลื่อนที่, กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะ, การเผาขยะ และฝุ่นที่มาจากดิน
Samara and Voutsas (2005)	พื้นที่ศึกษาคือ เมือง Thessaloniki ของประเทศกรีซ เก็บตัวอย่างจากบริเวณใกล้ช่องทางจราจร โดยเครื่องเก็บตัวอย่างและแบ่ง diameters เป็น 4 ขนาดคือ 0.95 1.5 3.0 และ 7.2 ไมครอน ที่จะมีผลต่อสุขภาพ	โลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ Pb Cd Ni Cr V Mn Cu และ Fe โดยใช้วิธี electrothermal-AAS และแบ่งช่วงของอนุภาคออกเป็น 5 ขนาด ได้แก่ <0.8, 0.8-1.3, 1.3-2.7, 2.7-6.7 และ >6.7 ไมครอน	วิเคราะห์ Median mass aerodynamic diameters (มม.ADs) และเปรียบเทียบการกระจายตัวของโลหะหนักใน 2 ช่วงฤดู (cold/warm ratio) รวมถึงคำนวณ EF (ธาตุอ้างอิงที่ใช้คือ Fe) และวิเคราะห์ PCA	การแพร่กระจายของ PM และโลหะหนักจะแสดงในรูปแบบของ Bimodal ซึ่งพบว่า 52% เป็นขนาด submicron (<0.8 ไมครอน) และ 20% เป็นแบบ coarse (>6.7 ไมครอน) และแหล่งที่มาของโลหะจากกิจกรรมหลัก 3 ประเภท คือ a) โลหะที่สะสมอยู่ได้ (Pb Cd) b) แบบที่แพร่กระจาย fine และ coarse (Ni Cu Mn) c) แบบที่ส่วนใหญ่เป็น coarse (Fe)

ตารางที่ 2.8 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักในฝุ่นที่แขวนลอยในอากาศ (ต่อ)

งานวิจัย	สถานที่และวิธีการเก็บตัวอย่าง	เครื่องมือที่ใช้และโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์	การวิเคราะห์ข้อมูล	สรุป
Lawson and Winchester (1979)	เก็บตัวอย่างในทวีปอเมริกาใต้ขนาดของฝุ่นที่เก็บแบ่งออกเป็น 6 ขนาด พื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 เขตคือพื้นที่ห่างไกล ได้แก่ Goias:Brazil, Manaus:Brazil Zongo:Bolivia และ San Carlos De Bariloche:Argentina ส่วนในเขตเมือง ได้แก่ Sao Paulo:Brazil, Brasilia:Brazil, Buenos Aires:Argentina และ La Paz: Bolivia	ธาตุที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Al Si K Ca Ti และ Fe โดยใช้เครื่อง PIXE	เปรียบเทียบเข้มข้นของธาตุที่พบและคำนวณค่า EF โดยใช้ Fe เป็นธาตุอ้างอิง	จากการเปรียบเทียบ SCA จากเมืองหลักพบว่าสัดส่วนคล้ายกับของพื้นที่ห่างไกลของทวีป ซึ่ง SCA สามารถใช้ในการอ้างอิงในการคำนวณ EF และการคำนวณจะต้องเลือกธาตุที่ใช้ในการอ้างอิงให้เหมาะสม โดยธาตุที่เหมาะสมจะใช้ในการอ้างอิงคือ Al Si Ti และ Fe
Shunsheng Huang et al. (2009)	เก็บฝุ่นละอองบริเวณแถบลุ่มแม่น้ำแยงซีเกียงของประเทศจีน เก็บตัวอย่างทั้งหมด 43 ตัวอย่าง และคัดขนาดที่ 74 ไมครอน	วิเคราะห์ Cr Cu Fe Mn Mo Ni Pb S และ Zn โดยเครื่อง XRFs ใน ส่วน ของ Cd วิเคราะห์ด้วย graphite furnace และ As Hg Se วิเคราะห์ด้วย CVAS	ใช้ PCA และ CA วิเคราะห์เพื่อที่จะแหล่งที่มา และหา ค่า EF รวมถึงเปรียบเทียบค่าดินพื้นฐานของประเทศจีน	ใช้ PCA และ CA วิเคราะห์เพื่อที่จะแหล่งที่มา โดยสามารถแยกแหล่งที่มาหลักๆ ออกได้ 4 กลุ่ม ดังนี้ 1) การปล่อยมลพิษของการจราจรบนท้องถนน 2) กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับโลหะ 3) อนุภาคดิน 4) การเผาไหม้ถ่านหิน และแหล่งที่มาทั้ง 4 ทำการตรวจสอบอีกครั้งด้วยการคำนวณค่า EF และการวิเคราะห์เชิงพื้นที่

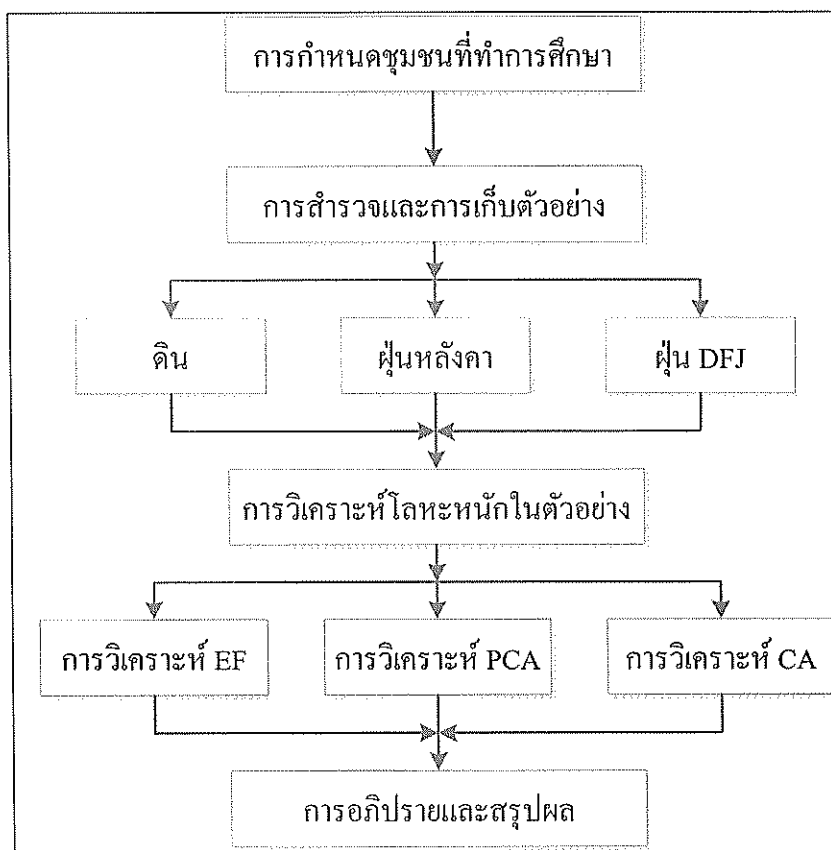
บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนของการวิเคราะห์โลหะหนักในการศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- 1) การเก็บตัวอย่างของดิน ฝุ่นแบบกวาดจากบนหลังคาหรือบนที่สูงที่ห่างจากพื้นดิน ในส่วนของอาคารที่อยู่ในเขตพื้นที่ศึกษา และฝุ่นที่ตกตะกอนได้หรือฝุ่น Dustfall จากพื้นที่ศึกษา
- 2) การนำตัวอย่างดินและฝุ่นที่เก็บได้นำมาวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนัก โดยใช้เครื่อง ICP-MS
- 3) การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาแหล่งที่มาและกระบวนการที่ทำให้เกิดโลหะหนักโดยใช้การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA) และการจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Cluster Analysis (CA) ในการบอกถึงปัจจัยอันเป็นแหล่งที่มาและจัดกลุ่มของธาตุโลหะ และใช้การคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor : EF) เพื่อระบุกิจกรรมที่ทำให้เกิดโลหะหนัก

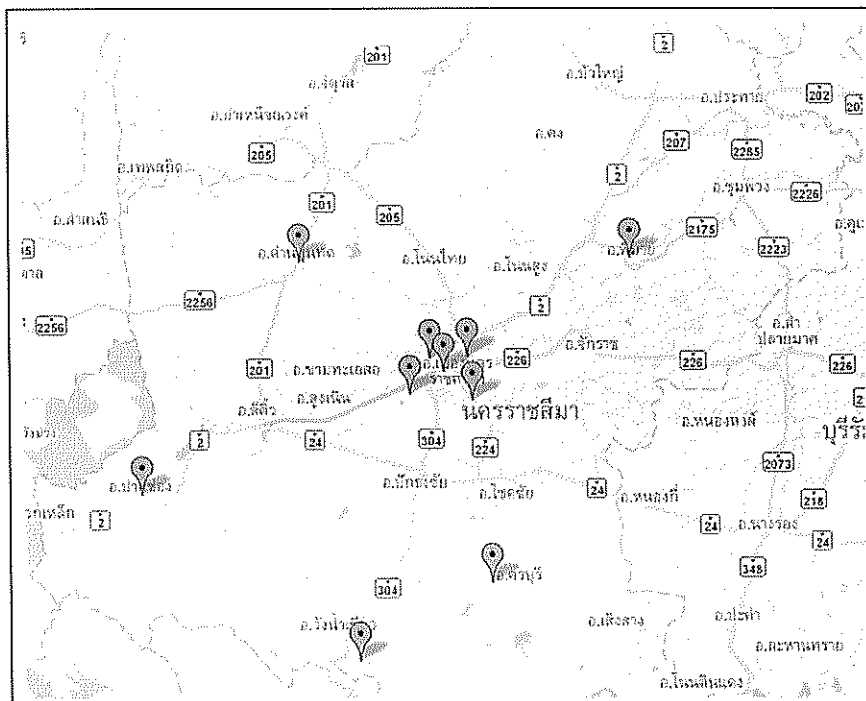


รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการศึกษา

3.2 ชุมชนที่ทำการศึกษา

การศึกษานี้เลือกชุมชนที่ทำการเก็บข้อมูลโดยอ้างอิงจากโครงการวิจัยระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการ ระยะที่ 2 (สุดจิต ครุจิต และคณะ, 2556) และโครงการระบบประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมชุมชน แบบ On-Line สำหรับจังหวัดนครราชสีมา (สุดจิต ครุจิต และคณะ, 2554) โดยทั้งสองโครงการเป็นโครงการวิจัย ที่ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โครงการดังกล่าวได้ทำการส่งแบบสอบถามไปยังชุมชนต่าง ๆ ในจังหวัดนครราชสีมาและรอผลการตอบรับเข้าร่วมโครงการ ซึ่งในส่วนของโครงการระบบประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมชุมชนแบบ On-Line สำหรับจังหวัดนครราชสีมา จะคัดเลือกมาทั้งหมด 30 ชุมชน และโครงการระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการ ระยะที่ 2 นี้จะคัดเลือกชุมชน 10 ชุมชน จาก 30 ชุมชน เพื่อเป็นชุมชนต้นแบบที่มีการประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การเลือกชุมชนใช้เกณฑ์ที่สำคัญคือ ความสมัครใจ สถานการณ์ปัญหาสิ่งแวดล้อม ขนาดของเมือง และความครอบคลุมพื้นที่ศึกษา นำมาพิจารณาประกอบกัน ซึ่ง 10

ชุมชนดังกล่าวมีความเหมาะสมในการใช้เป็นชุมชนของการศึกษานี้ แหล่งที่ตั้งชุมชนที่ได้ทำการคัดเลือกแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยรายชื่อชุมชนที่ได้ทำการคัดเลือกและข้อมูลพื้นฐานมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 แผนที่แสดงจุดที่ตั้งของ 10 ชุมชน ในจังหวัดนครราชสีมา

1) เทศบาลนครนครราชสีมา อำเภอเมืองนครราชสีมา
ขนาดพื้นที่

เทศบาลนครนครราชสีมา มีพื้นที่รับผิดชอบ 37.5 ตารางกิโลเมตร หรือ 23,437 ไร่ 2 งาน คิดเป็นร้อยละ 4.96 ของพื้นที่อำเภอเมืองนครราชสีมา (อำเภอเมืองนครราชสีมา มีพื้นที่ประมาณ 755.596 ตารางกิโลเมตร) หรือประมาณร้อยละ 0.18 ของพื้นที่ทั้งจังหวัด (จังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่ประมาณ 20,493.9 ตารางกิโลเมตร)

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลหมื่นไวย ตำบลหนองกระทุ่ม ตำบลบ้านเกาะ
ทิศใต้ ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลหนองไผ่ล้อม ตำบลหนองจะบก ตำบลโพธิ์กลาง
ทิศตะวันออก ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลหัวทะเล
ทิศตะวันตก ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลปรุใหญ่ ตำบลบ้านใหม่ และตำบลสุรนารี

เทศบาลนครนครราชสีมา เป็นชุมชนเมืองขนาดใหญ่อันดับ 1 ลักษณะพื้นที่เป็นที่ราบลาดเอียงไปทางทิศตะวันออก ตอนเหนือของตัวเมืองเป็นที่ราบลุ่ม ส่วนทางตะวันตกเฉียงใต้เป็นที่ราบสูง ลักษณะดินเป็นดินร่วนปนทราย มีลำตะคองไหลผ่านตัวเมืองด้านทิศเหนือ ปัจจุบันพื้นที่ที่เคยทำการเกษตรเริ่มเปลี่ยนมาเป็นที่อยู่อาศัยและอุตสาหกรรมมากขึ้น สภาพภูมิอากาศแบบ 3 ฤดู ได้แก่ ฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน) และฤดูหนาว (ตุลาคม-กุมภาพันธ์) ประชาชนในพื้นที่มีการประกอบอาชีพที่หลากหลาย อีกทั้งพื้นที่ยังเป็นเป้าหมายของอุตสาหกรรมในภาคอีสาน จึงมีกิจกรรมที่ก่อให้เกิดมลพิษอากาศหลายประเภท ไม่ว่าจะเป็นการคมนาคมที่แออัดคับคั่ง อุตสาหกรรมที่กำลังขยายตัว รวมถึงโครงการที่พักอาศัยและการพัฒนาในด้านต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจำนวนมาก ซึ่งต้องเฝ้าระวังติดตามอย่างใกล้ชิดถึงผลกระทบต่อสุขภาพด้านต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้น

2) องค์การบริหารส่วนตำบลหนองบัวศาลา อำเภอเมืองนครราชสีมา ขนาดพื้นที่

ตำบลหนองบัวศาลา มีพื้นที่ทั้งหมด 36.61 ตารางกิโลเมตร

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลหัวทะเล

ทิศใต้ ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย

ทิศตะวันออก ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลหนองระเวียง อำเภอเมืองนครราชสีมา

ทิศตะวันตก ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลโพธิ์กลาง อำเภอเมืองนครราชสีมา

ตำบลหนองบัวศาลา เป็นชุมชนที่อยู่โดยรอบเมือง (รอบเขตเทศบาล) ออกมาทางด้านทิศใต้ ยังมีแหล่งกำเนิดมลพิษคือ แหล่งอุตสาหกรรม และหลุมฝังกลบขยะ ลักษณะภูมิประเทศ สภาพทั่วไปจะเป็นที่ราบ มีความลาดเอียงจากตอนใต้ไปทางตอนเหนือของตำบลเล็กน้อย โดยมีเนินเขาทางตอนใต้ต่อเนื่องตำบลด่านเกวียน อำเภอโชคชัย ลักษณะภูมิอากาศ ฤดูหนาวจะแห้งแล้งและมีฝุ่นละอองมาก ฤดูร้อนจะร้อนมากในเดือนเมษายนของทุกปี ฤดูฝนจะเริ่มต้นในเดือนพฤษภาคม จุดเด่นของพื้นที่พื้นที่ในองค์การบริหารส่วนตำบลหนองบัวศาลา ส่วนใหญ่จะเป็นโรงงานอุตสาหกรรมและธุรกิจประเภทต่าง ๆ ซึ่งถือว่าเป็นเขตอุตสาหกรรม พื้นที่ในการเกษตรจึงมีน้อย ทำให้ต้องเน้นการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจเป็นหลัก

3) เทศบาลเมืองปากช่อง อำเภอปากช่อง

ขนาดพื้นที่

เทศบาลเมืองปากช่อง มีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่ของตำบลปากช่อง และตำบลหนองสาหร่ายบางส่วน โดยมีอาณาเขตพื้นที่ในความรับผิดชอบทั้งหมด 15.25 ตารางกิโลเมตร

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดต่อกับพื้นที่ของหมู่บ้านหนองตาแก้ว

ทิศใต้ ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลหนองน้ำแดง

ทิศตะวันออก ติดต่อกับพื้นที่ของ ลำตะคองและหมู่บ้านประดู่บาก

ทิศตะวันตก ติดต่อกับพื้นที่ของ เขตป่าสงวนแห่งชาติ หมู่บ้านน้ำตกหลังเหว

เทศบาลเมืองปากช่อง เป็นชุมชนเมืองขนาดใหญ่อันดับ 2 ของจังหวัด และตั้งอยู่ทางด้านทิศตะวันตกของจังหวัดนครราชสีมา ลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็น ดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ สามารถปลูกพืชได้แทบทุกชนิด สภาพพื้นดินเป็นที่ราบเชิงเขา อากาศดี ฝนตกตามฤดูกาล ภูมิอากาศแบบ 3 ฤดู ฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน) และฤดูหนาว (ตุลาคม-กุมภาพันธ์) ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพ คือ ค้าขาย และอุตสาหกรรมในครัวเรือนเป็นหลัก รองลงมาเป็นอาชีพรับจ้าง ปศุสัตว์และเกษตรกรรม อำเภอปากช่องถือเป็นเส้นทางคมนาคมที่เป็นประตูสู่ภาคอีสาน ซึ่งความเจริญภายในพื้นที่จึงค่อนข้างสูง อีกทั้งบริเวณโดยรอบยังมีแหล่งท่องเที่ยวอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ซึ่งเป็นที่นิยมของนักท่องเที่ยวจำนวนมาก และโดยรอบของพื้นที่จะประกอบไปด้วยรีสอร์ทที่ประกอบกิจการท่องเที่ยวอีกจำนวนมาก

4) เทศบาลตำบลกระแซะเข้หิน อำเภocrบุรี

ขนาดพื้นที่

ตำบลกระแซะเข้หิน มีพื้นที่อยู่ทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ของอำเภocrบุรี มีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 478 ตารางกิโลเมตร มีการแบ่งเขตการปกครองเป็น 2 หน่วยงาน คือ เทศบาลตำบลกระแซะเข้หิน มีพื้นที่ 7 ตารางกิโลเมตร และองค์การบริหารส่วนตำบลกระแซะเข้หิน มีพื้นที่ 471 ตารางกิโลเมตร มีพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าอุทยานแห่งชาติทับลาน ประมาณ 240,710 ไร่

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลครบุรีใต้ และ ตำบลลพบุรี อำเภocrบุรี

ทิศใต้ ติดต่อกับพื้นที่ของอุทยานแห่งชาติเขาใหญ่ อำเภอนาดี จังหวัดปราจีนบุรี

ทิศตะวันออก ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลบ้านใหม่ และ ตำบลโคกกระชาย และ

ตำบลลำเพ็ยก อำเภocrบุรี

ทิศตะวันตก ติดต่อกับพื้นที่ของ อำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา

ตำบลจระเข้หิน สภาพภูมิประเทศเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลาดเอียงไปทางทิศเหนือ พื้นที่ส่วนใหญ่เหมาะแก่อาชีพการทำนาและเกษตรกรรม แหล่งน้ำสำคัญคือคลองจระเข้หิน ติดกับทางด้านฝั่งตะวันตกเฉียงยาวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ สภาพภูมิอากาศ ส่วนใหญ่เป็นอากาศร้อน ฝนไม่ค่อยตก ฤดูร้อนจะมีมากกว่าฤดูอื่นๆ ฤดูฝนมีน้อยมาก ฤดูหนาวมีอากาศค่อนข้างแห้งแล้ง ประชาชนส่วนใหญ่จะเป็นคนที่มีถิ่นฐานดั้งเดิมอยู่ที่ภูมิกาศนี้ มีวิถีเช่นเดียวกับชาวชนบททั่วไป ซึ่งประกอบอาชีพทางด้านเกษตรเป็นส่วนใหญ่ มีการทำนา ทำไร่ และการเลี้ยงสัตว์ เป็นรายได้หลัก ตำบลจระเข้หิน มีสภาพปัญหาพื้นที่และชุมชนทั่ว ๆ ไป ปัญหาสิ่งแวดล้อม เป็นปัญหาที่เกิดจากมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ ไม่ว่าจะเป็นการใช้ที่ดินที่ไม่เหมาะสมก่อให้เกิดการทำลายระบบนิเวศน์ทางธรรมชาติ ทำให้สภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมลง เกิดความสิ้นเปลืองในการจัดการบริหารไม่สามารถจัดการบริหารได้ทั่วถึง

5) องค์การบริหารส่วนตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา ขนาดพื้นที่

ตำบลสุรนารี มีพื้นที่โดยประมาณ 49.38 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 30,862 ไร่

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลบ้านใหม่ และเทศบาลนครนครราชสีมา

ทิศใต้ ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลปักธงชัยเหนือ ตำบลตะลุง อำเภอปักธงชัย และตำบลเมืองใหม่โคกกรวด อำเภอเมืองนครราชสีมา

ทิศตะวันออก ติดต่อกับพื้นที่เขตเทศบาลนครนครราชสีมา ตำบลปรุใหญ่ ตำบลหนองจะบก และตำบลชัยมงคล

ทิศตะวันตก ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลเมืองใหม่โคกกรวด

ตำบลสุรนารี มีลักษณะรูปร่างของพื้นที่เป็นแนวยาวจากทิศเหนือลงมาถึงทิศใต้ สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบสูงลักษณะเป็นลูกคลื่นลอนลาด ถึงลูกคลื่นลอนชัน มีลำน้ำห้วยยางไหลผ่านทางด้านทิศตะวันตกเฉียงใต้ และอ่างเก็บน้ำห้วยบ้านยาง ซึ่งประชาชนใช้เป็นแหล่งน้ำในการเพาะปลูก อุปโภคและบริโภค ภูมิอากาศ มี 3 ฤดู ฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย 88.4 มิลลิเมตร ฤดูหนาว (ตุลาคม-กุมภาพันธ์) มีการประกอบอาชีพหลากหลายครอบคลุมทุกอาชีพ โดยทำเกษตรกรรม (16.59%) ค้าขาย (8.43%) รับจ้าง (22.02%) และอาชีพอื่น ๆ เช่น ข้าราชการ พนักงานรัฐวิสาหกิจ พนักงานบริษัท (52.97%) ถือเป็นชุมชนที่อยู่โดยรอบเมือง (รอบเขตเทศบาล) ออกมาทางด้านทิศตะวันตก ปัจจุบันมีการขยายตัวของเมือง ทำให้เกิดโครงการที่อยู่อาศัยค่อนข้างมาก ปัจจุบันเปลี่ยนรูปแบบจากองค์การบริหารส่วนตำบลมาเป็นเทศบาลตำบล

6) องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านเกาะ อำเภอเมืองนครราชสีมา

ขนาดพื้นที่

มีเนื้อที่ 5,376 ไร่ สภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบลุ่มมีลำน้ำไหลผ่าน

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลจอหอ

ทิศใต้ ติดต่อกับพื้นที่ของเทศบาลนครนครราชสีมา

ทิศตะวันออก ติดต่อกับพื้นที่ตำบลตลาด

ทิศตะวันตก ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลหมื่นไวย

ตำบลบ้านเกาะ ลักษณะเป็นชุมชนเมืองสภาพพื้นที่โดยทั่วไปเป็นที่ราบลุ่ม มีลำคลองไหลผ่านซึ่งไหลต่อเนื่องมาจากเทศบาลนครฯ ถนนเส้นหลักที่ตัดผ่านคือถนนมิตรภาพ และถนนสุรนารายณ์ สภาพภูมิอากาศ มี 3 ฤดู คือ ฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน) และฤดูหนาว (ตุลาคม-กุมภาพันธ์) ประชาชนประกอบอาชีพรับจ้างและเกษตรกรรมเป็นหลัก เป็นชุมชนที่อยู่โดยรอบเมือง (รอบเขตเทศบาล) ออกมาทางด้านทิศตะวันออกมีโครงการและเขตที่พักอาศัยจำนวนมาก

7) เทศบาลตำบลพิมาย อำเภอพิมาย

ขนาดพื้นที่

เทศบาลตำบลพิมาย มีพื้นที่ 4 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 2,500 ไร่

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดต่อกับพื้นที่ฝั่งใต้ลำน้ำมูลบรรจบกับฝั่งตะวันออกของลำจักราช

ทิศใต้ ติดต่อกับพื้นที่ของ ตำบลคลองใหญ่

ทิศตะวันออก ติดต่อกับพื้นที่ฝั่งตะวันตกของลำน้ำมูล และเลียบคลองสระโบสถ์

ทิศตะวันตก ติดต่อกับพื้นที่ของฝั่งตะวันออกของลำจักราช

เทศบาลตำบลพิมาย มีลักษณะภูมิประเทศเป็นแอ่งกระทะ เป็นเกาะ มีแม่น้ำมูล ลำจักราช ลำน้ำเค็มล้อมรอบ มีสระ โบราณ 5 สระ คือ สระโบสถ์ สระเพลง สระพลุ่ง สระขวัญ และสระแก้ว ลักษณะภูมิอากาศเป็นแบบมรสุม 3 ฤดู ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน) และฤดูหนาว (ตุลาคม-มกราคม) ประชาชนส่วนใหญ่มีอาชีพค้าขาย รับจ้าง โดยอาชีพเกษตรกรรมส่วนใหญ่อยู่นอกเขตเทศบาลและมีการประกอบอาชีพอุตสาหกรรมในครัวเรือน เช่น ทำเส้นหมี่พิมาย กระจยาสารท และผลิตภัณฑ์จากหวาย ลักษณะเป็นชุมชนเมืองขนาดเล็ก มีสถานที่ท่องเที่ยวที่สำคัญ คือ อุทยานประวัติศาสตร์พิมาย พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติพิมาย เมรุพรหมทัต ประตุมืองโบราณ 4 ทิศ และแหล่งท่องเที่ยวบริเวณรอบเขตเทศบาล

8) **องค์การบริหารส่วนตำบลด่านขุนทด อำเภอด่านขุนทด
ขนาดพื้นที่**

ตำบลด่านขุนทด มีพื้นที่ 67 ตารางกิโลเมตร

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลหนองบัวตะเกียด

ทิศใต้ ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลตะเคียน

ทิศตะวันออก ติดต่อกับพื้นที่ ตำบลดำนอก

ทิศตะวันตก ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลพันชนะ

ตำบลด่านขุนทด เป็นชุมชนเมืองขนาดเล็ก ตั้งอยู่เอียงขึ้นไปทางด้านทิศเหนือของจังหวัดนครราชสีมา มีพื้นที่ราบสูงแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นที่ราบสูงจากระดับน้ำทะเล 190-211 เมตร ส่วนที่สอง เป็นที่ราบสูง ลักษณะดินเป็นดินร่วนปนทราย ไม่อุ้มน้ำ เก็บความชื้นได้น้อย มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ ในพื้นที่จึงมีการทำเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ เช่น ทำนาและทำไร่ อาชีพหลักจึงเป็นเกษตรกรรมและค้าขาย มีบางส่วนที่ประกอบอาชีพรับจ้าง โดยจะไปทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมทั้งในเขตอำเภอด่านขุนทด และเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ลักษณะภูมิอากาศมี 3 ฤดู ฤดูร้อน (กุมภาพันธ์ – พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน – กันยายน) และฤดูหนาว (ตุลาคม – มกราคม)

9) **องค์การบริหารส่วนตำบลหนองกระทุ่ม อำเภอเมืองนครราชสีมา
ขนาดพื้นที่**

ตำบลหนองกระทุ่ม มีพื้นที่ 4,075 ไร่

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลพุดซา และตำบลจอหอ

ทิศใต้ ติดต่อกับพื้นที่ของเทศบาลนครนครราชสีมา

ทิศตะวันออก ติดต่อกับพื้นที่ตำบลหมื่นไวย

ทิศตะวันตก ติดต่อกับพื้นที่ของตำบลหนองจะบก และตำบลปรุใหญ่

ตำบลหนองกระทุ่ม เป็นชุมชนที่อยู่โดยรอบเมือง (รอบเขตเทศบาล) ออกมาทางด้านทิศเหนือ มีขนาดปานกลางเมื่อเทียบกับตำบลอื่นในเขตอำเภอเมืองนครราชสีมา พื้นที่ส่วนใหญ่ร้อยละ 60 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม และทำรับจ้างเป็นอาชีพเสริม ภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่ม บางส่วนของพื้นที่มีคลองชลประทานไหลผ่าน และมีลำน้ำธรรมชาติที่สำคัญ คือ ลำบริบูรณ์ ลำเหมืองหลวง (คลองซ่าง) ใช้เป็นน้ำเพื่อการเกษตรและอุปโภคบริโภค สภาพภูมิอากาศ มี 3 ฤดู ฤดูร้อน (มีนาคม-พฤษภาคม) ฤดูฝน (มิถุนายน-กันยายน) และฤดูหนาว (ตุลาคม-กุมภาพันธ์)

10) องค์การบริหารส่วนตำบลไทยสามัคคี อำเภอวังน้ำเขียว
ขนาดพื้นที่

ตำบลไทยสามัคคี มีเนื้อที่ประมาณ 315 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 196,875 ไร่

อาณาเขตติดต่อ

ทิศเหนือ ติดกับพื้นที่ของ ตำบลอุดมทรัพย์

ทิศใต้ ติดกับพื้นที่ของอุทยานแห่งชาติทับลาน ตำบลบุพราหมณ์ อำเภอนาดี

จังหวัดปราจีนบุรี

ทิศตะวันออก ติดกับพื้นที่ของตำบลจรเข้หิน อำเภอครบุรี

ทิศตะวันตก ติดกับพื้นที่ของตำบลวังน้ำเขียว

ตำบลไทยสามัคคี อำเภอวังน้ำเขียว ตั้งอยู่ทางด้านทิศใต้ของจังหวัดนครราชสีมา เป็นพื้นที่ของภูเขาและธรรมชาติ สภาพพื้นที่ทั่วไป เป็นภูเขาและเนินสูงเหมือนลอนลูกฟูกสลับทั่วทั้งพื้นที่ ความสูงจากระดับน้ำทะเล 400-700 เมตร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมและป่าไม้ ลักษณะภูมิอากาศเย็นสบายทั้ง 3 ฤดู ตลอดทั้งปี ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพด้านเกษตรกรรมเป็นหลักและในปัจจุบันมีการท่องเที่ยวเพิ่มมากขึ้นในพื้นที่

3.3 การสำรวจและการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างดินและฝุ่นหลังคา ทำการเก็บตัวอย่างอยู่ในช่วงเดือนพฤษภาคม – สิงหาคม 2555 โดยทำการเก็บเพียงครั้งเดียว ตัวอย่างดินเก็บ 3 จุด ในแต่ละชุมชน แล้วนำมาผสมกัน รวมเป็น 1 ตัวอย่าง และสำหรับฝุ่นหลังคาเก็บจากหลังคาหรือคานฝ้าของสถานที่ทำการขององค์การบริหารส่วนท้องถิ่นของชุมชนนั้น ๆ (ใกล้เคียงกับจุดที่ตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น Dustfall) ในส่วนของตัวอย่างฝุ่น Dustfall เริ่มต้นเก็บตัวอย่างตั้งแต่ เดือนกุมภาพันธ์ – พฤศจิกายน 2555 โดยทำการเก็บสะสมต่อเนื่องทุก ๆ เดือน ทำให้ได้ตัวอย่างที่จะนำมาวิเคราะห์โลหะหนักด้วย ICP-MS ทั้งหมด 30 ตัวอย่าง แบ่งเป็นดิน ฝุ่นหลังคา และฝุ่น Dustfall อย่างละ 10 ตัวอย่าง

สำหรับส่วนของขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อย่อยตัวอย่างในรูปของสารละลายนั้น จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่ามีวิธีการค่อนข้างหลากหลายรูปแบบ ในการศึกษาครั้งนี้การเตรียมตัวอย่างจะให้เครื่อง Microwave รุ่น ETHOS ONE ใช้วิธีการวิเคราะห์ตาม Method BCS 300 soil ในการเตรียมตัวอย่าง (BSC 300 soil เป็นวิธีการย่อยตัวอย่างดินตามคู่มือของเครื่อง ETHOS ONE) และสารเคมีที่จะใช้ในการเตรียมตัวอย่างครั้งนี้ คือ HNO_3 , HF และ H_3BO_3 ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีประสิทธิภาพค่อนข้างดีในการเตรียมตัวอย่าง และเครื่องมือที่จะใช้

วิเคราะห์หาโลหะหนักคือเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (ICP-MS) รุ่น 7700 series บริษัท Agilent Technology

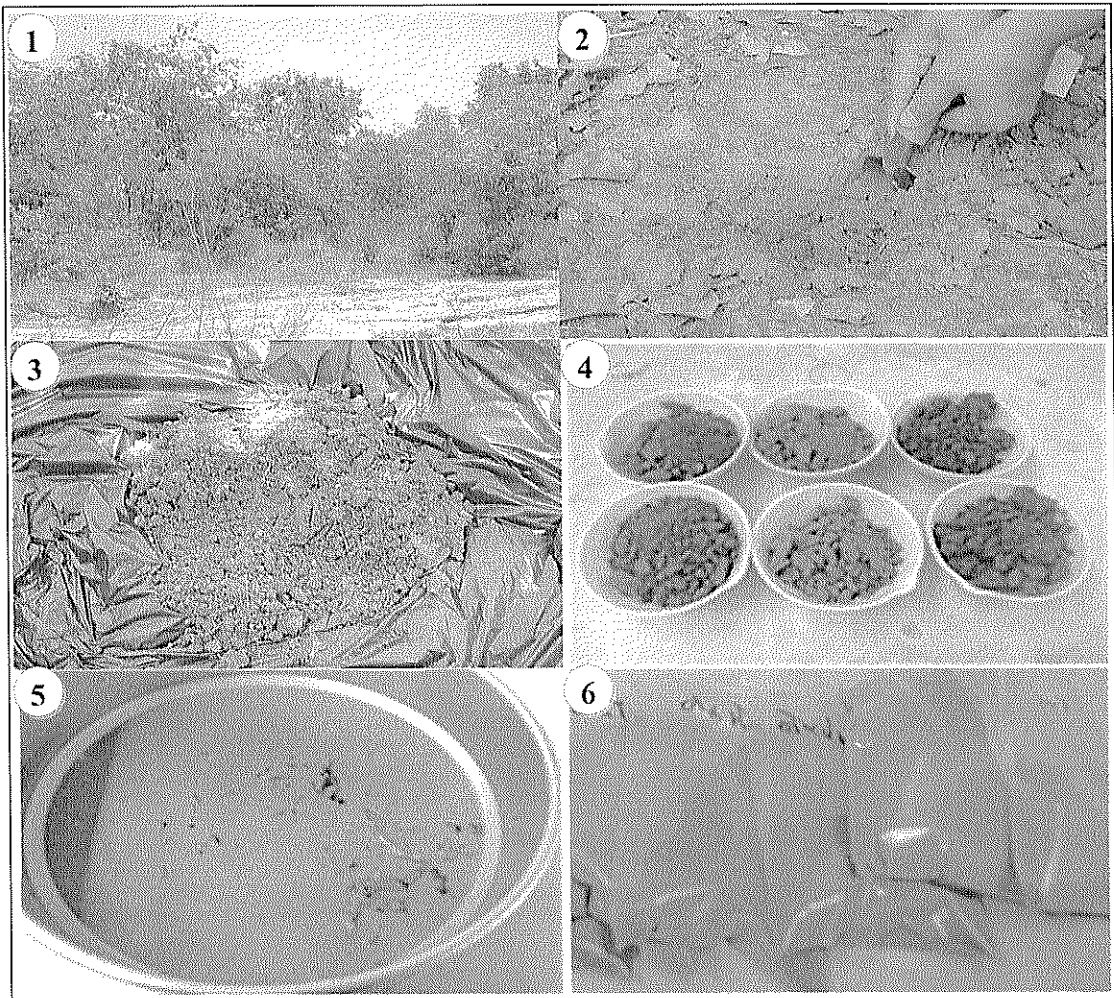
3.3.1 การเก็บตัวอย่างดิน

1) เลือกจุดเก็บตัวอย่างดินชุมชนละ 3 จุดเก็บ โดยเลือกจุดเก็บที่ค่อนข้างห่างไกลจากการปนเปื้อนโลหะหนักที่อาจจะมาจากกิจกรรมต่าง ๆ (แสดงดังรูปที่ 3.3 (1))

2) การเก็บตัวอย่างใช้พลั่วหรือจอบขุดหลุมเป็นรูปตัว V ลึกประมาณ 15 ซม. ขุดครั้งสุดท้ายให้ดินติดพลั่วหรือจอบขึ้นมา ตลอดความลึก ใช้พลั่วมีดักดินด้านข้างทิ้งไปทั้งสองข้าง ดินที่เหลือตรงกลางพลั่วหรือจอบเก็บรวบรวมใส่ในถังพลาสติก หรือถุงพลาสติก เก็บวิธีนี้กับทุกจุด (แสดงดังรูปที่ 3.3 (2))

3) คลุกเคล้าดินที่เก็บได้จาก 3 จุดให้เข้ากัน กระจายดินทั้งหมดลง แบ่งดินเป็น 4 ส่วน แยก 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกันทิ้งไป คลุกเคล้าอีก 2 ส่วนที่เหลือ แล้วทำซ้ำจนเหลือตัวอย่างดินประมาณ 0.5 กิโลกรัม (แสดงดังรูปที่ 3.3 (3))

4) นำดินที่ได้ไปอบในตู้อบที่ความร้อน 103-105 °C เพื่อให้ตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างดินที่แห้งไปร่อนด้วยตะแกรงขนาด 250 ไมครอน เพื่อคัดขนาดอนุภาคเตรียมไปย่อยด้วยไมโครเวฟ เพื่อที่จะวิเคราะห์โลหะหนักต่อไป (แสดงดังรูปที่ 3.3 รูปที่ (4), (5), (6))



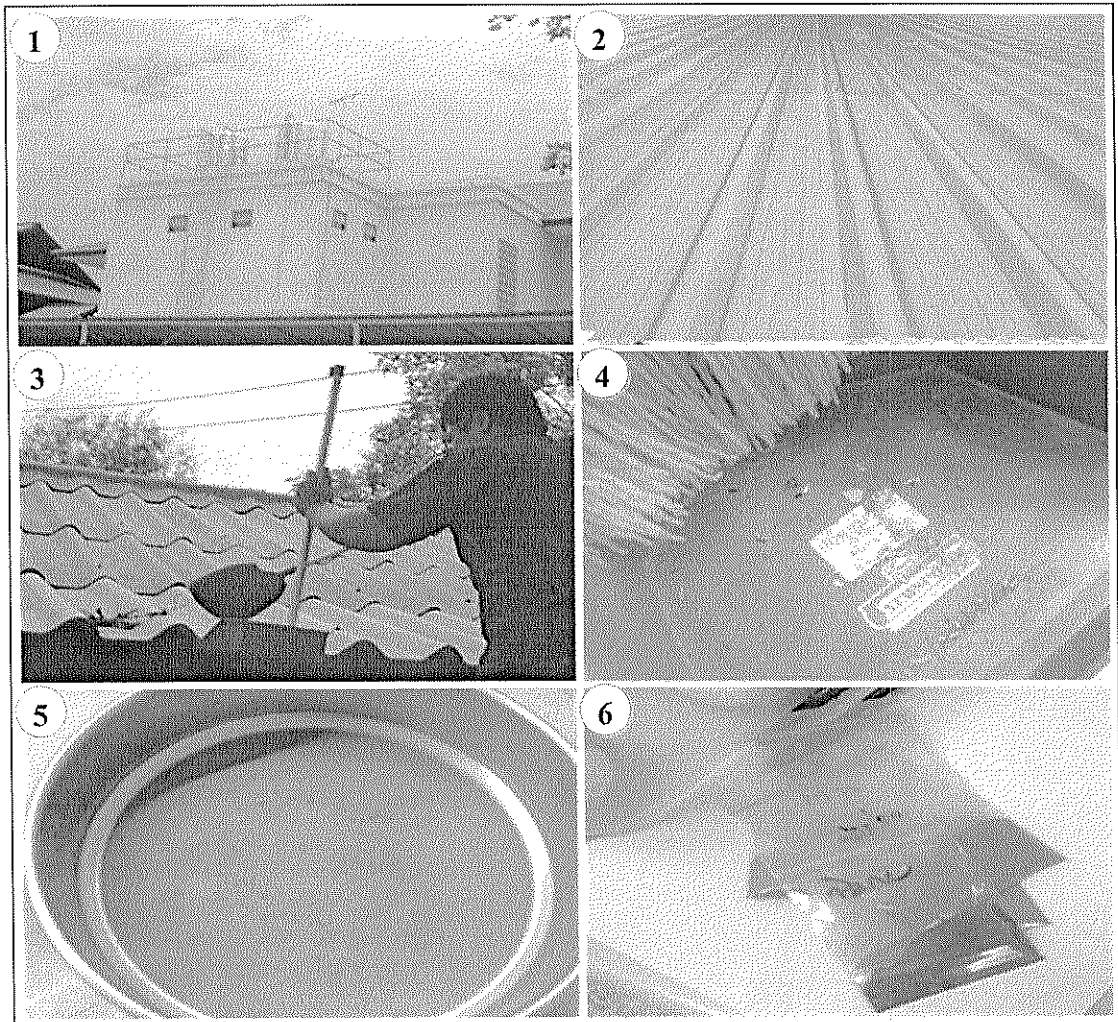
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน

- (1) ลักษณะของพื้นที่บริเวณเก็บดิน
- (2) ใช้พลาสติกขุดเป็นรูปตัว V
- (3) รวมกันแล้วแบ่งเป็น 4 ส่วน
- (4) นำไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 103-105 °C
- (5) ร้อนด้วยตะแกรงขนาด 250 ไมครอน
- (6) ดินที่ร้อนคัดขนาดแล้วเตรียมนำไปย่อย

3.3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นหลังคา

การเก็บตัวอย่างฝุ่นหรืออนุภาคที่ตกค้างอยู่บนหลังคาหรือพื้นของอาคารบนที่สูง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกหลังคาหรือคาค้ำของอาคารให้อยู่ใกล้กับจุดที่ตั้งชุดเก็บตัวอย่างฝุ่น Dustfall ของแต่ละชุมชน เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นทั้ง 2 วิธีการ โดยจะเลือกเก็บบนหลังคาหรือพื้นที่มีความสูงจากพื้นดิน เพื่อไม่ให้ฝุ่นหรืออนุภาคที่เก็บได้นั้นมีความเกี่ยวข้องกับดิน โดยจะใช้จุดเก็บตัวอย่างจำนวนชุมชนละ 1 จุดเก็บ จากทั้งหมด 10 ชุมชน ให้สามารถครอบคลุมพื้นที่ศึกษาได้อย่างทั่วถึง โดยการเก็บตัวอย่างจะใช้วิธีคล้ายกับงานวิจัยที่ได้พบทวนมา ของ Meza-Figuerou (2007) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- 1) เลือกจุดเก็บตัวอย่างซึ่งจะเป็นอาคารสำนักงานหรือสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใกล้เคียงกับบริเวณที่ทำการติดตั้งชุดเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dust Fall Jar เก็บบนที่สูงห่างจากพื้นดินประมาณ 3-4 เมตร ขึ้นไป แสดงดังรูปที่ 3.4 รูปที่ (1) และ (2)
- 2) เก็บในพื้นที่ 2 ตารางเมตร โดยใช้ตลับเมตรในการวัดและตีตารางพื้นที่ที่จะทำการเก็บตัวอย่าง วิธีการเก็บตัวอย่างจะใช้แปรงหรือไม้กวาดที่ไม่มีส่วนประกอบของโลหะ กวาดใส่ที่ตักผงที่เป็นพลาสติกและเก็บใส่ถุงพลาสติกเพื่อไม่ให้มีโลหะมาปะปน แสดงดังรูปที่ 3.4 รูปที่ (3) และ (4)
- 3) หลังจากเก็บตัวอย่างมาแล้วจะต้องนำมาทำการร่อนตัวอย่างด้วยตะแกรงขนาด 250 ไมครอนและเก็บไว้เพื่อรอการวิเคราะห์โลหะหนัก ทั้งนี้โดยทั่วไปอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 250 ไมครอนลงมา จะพบโลหะหนักในปริมาณที่สูง และอนุภาคขนาดนี้ถือว่ามีความอันตรายต่อสุขภาพหากได้รับเข้าสู่ร่างกาย แสดงดังรูปที่ 3.4 รูปที่ (5) และ (6)
- 4) การเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียว แต่อยู่ในช่วงระยะเวลาเดียวกันกับที่มีการเก็บตัวอย่างแบบ Dust Fall Jar อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ฝุ่นที่ได้ทั้ง 2 วิธีการสามารถเปรียบเทียบกันได้



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการเก็บและเตรียมตัวอย่างฝุ่นจากหลังคาหรือพื้นของอาคารบนที่สูง

- (1) ลักษณะของพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างฝุ่นหลังคา
- (2) ลักษณะของฝุ่นที่ติดอยู่กับพื้นหลังคา
- (3) วิธีเก็บตัวอย่าง โดยใช้ไม้กวาดหรือแปรง
- (4) ลักษณะของฝุ่นที่เก็บได้จากหลังคา
- (5) นำตัวอย่างฝุ่นหลังคามาร้อนด้วยตะแกรง
- (6) ฝุ่นหลังคาที่ทำการร่อนเรียบร้อยแล้ว เตรียมนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนัก

3.3.3 การเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall

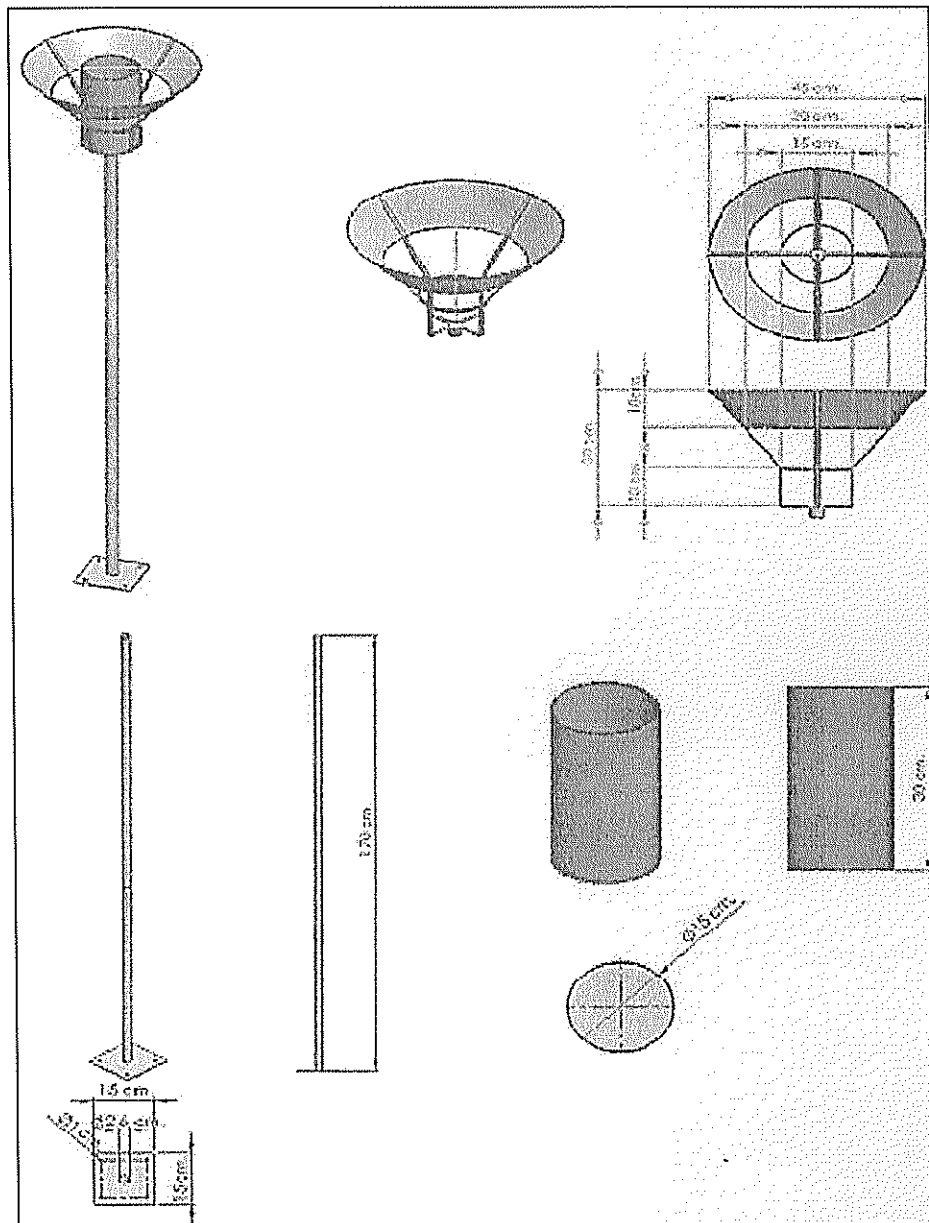
การศึกษานี้ นำฝุ่นแบบ Dustfall ที่ได้จากการเก็บตัวอย่างใน โครงการวิจัยที่เกี่ยวข้อง คือ โครงการระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการ ระยะที่ 2 (สุดจิต ครุจิต และคณะ 2556) มาวิเคราะห์เพิ่มเติมในด้านองค์ประกอบของฝุ่นประเภทโลหะหนักเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับฝุ่นหลังคา การเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall เป็นการเก็บตัวอย่างที่ใช้เครื่องมืออย่างง่ายในการเก็บตัวอย่าง วิธีการนี้อาศัยหลักการตกของอนุภาคภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งการเก็บด้วยวิธีนี้จะได้อนุภาคของฝุ่นละอองในอากาศที่มีน้ำหนักพอที่จะตกลงสู่พื้นซึ่งเรียกว่า “ฝุ่นตกตะกอนได้” หรือฝุ่นแบบ Dustfall การเก็บตัวอย่างทำตามวิธีการมาตรฐาน ASTM รหัส D1739-98 (2004) จะทำการตั้งชุดกระบอกเก็บตัวอย่างไว้ที่ โถงกลางแจ้ง ขนาดและรูปแบบของชุดเก็บตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3.5 โดยในการเก็บตัวอย่างได้เพิ่มการติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ชุดป้องกันน้ำฝน เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาน้ำฝนมาขังในกระบอกซึ่งมีผลต่อการหาปริมาณของฝุ่น และรายละเอียดของวิธีมีดังต่อไปนี้

- ใช้ตัวอย่างฝุ่นที่เก็บได้จาก โครงการวิจัยของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติปี 2553 โครงการระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการ ระยะที่ 2 ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศของบริเวณพื้นที่ศึกษา ซึ่งเป็นชุมชนที่อยู่ในจังหวัดนครราชสีมา โดยการศึกษาจะนำตัวอย่างฝุ่นละอองที่ได้มาศึกษาในด้านของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่น
- จำนวนจุดเก็บตัวอย่างทั้งหมด 10 จุด จุดละ 1 ชุดเก็บตัวอย่าง โดยเป็นพื้นที่ชุมชนในเขตของจังหวัดนครราชสีมาบริเวณใกล้เคียงกับที่เก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยวิธีการกวาดจากหลังคา
- เก็บตัวอย่างฝุ่นทุก ๆ 1 เดือนเพื่อหาปริมาณของฝุ่นรายเดือนและเก็บตัวอย่างฝุ่นสะสมรวมกัน ไว้เป็นเวลา 10 เดือน ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์-พฤศจิกายน 2555 เพื่อให้มีปริมาณมากพอที่จะสามารถนำไปเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาโลหะหนักด้วย ICP-MS ได้
- การหาปริมาณของฝุ่นรูปแบบของวิธีการหาจะคล้ายกับการหาของแข็ง (Total Solids) โดยใช้น้ำกลั่นชะฝุ่นออกจากกระบอกเก็บฝุ่นแล้วนำน้ำมากรองด้วยตะแกรงขนาด 250 ไมครอน จากนั้นเทใส่ถ้วยกระเบื้องเพื่อนำไปประเหยน้ำหาปริมาณน้ำหนักของฝุ่นที่เก็บตัวอย่างได้
- สำหรับการคำนวณหาปริมาณของฝุ่นใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณของฝุ่น (กรัม/ตารางเมตร)} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยหลังการระเหย} - \text{น้ำหนักถ้วยก่อนการระเหย}}{\text{พื้นที่หน้าตัดของปากอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่น}} \quad (3.1)$$

สำหรับการเตรียมตัวอย่างฝุ่นที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบ Dustfall มีขั้นตอนในการเตรียมการดังรูปที่ 3.6 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

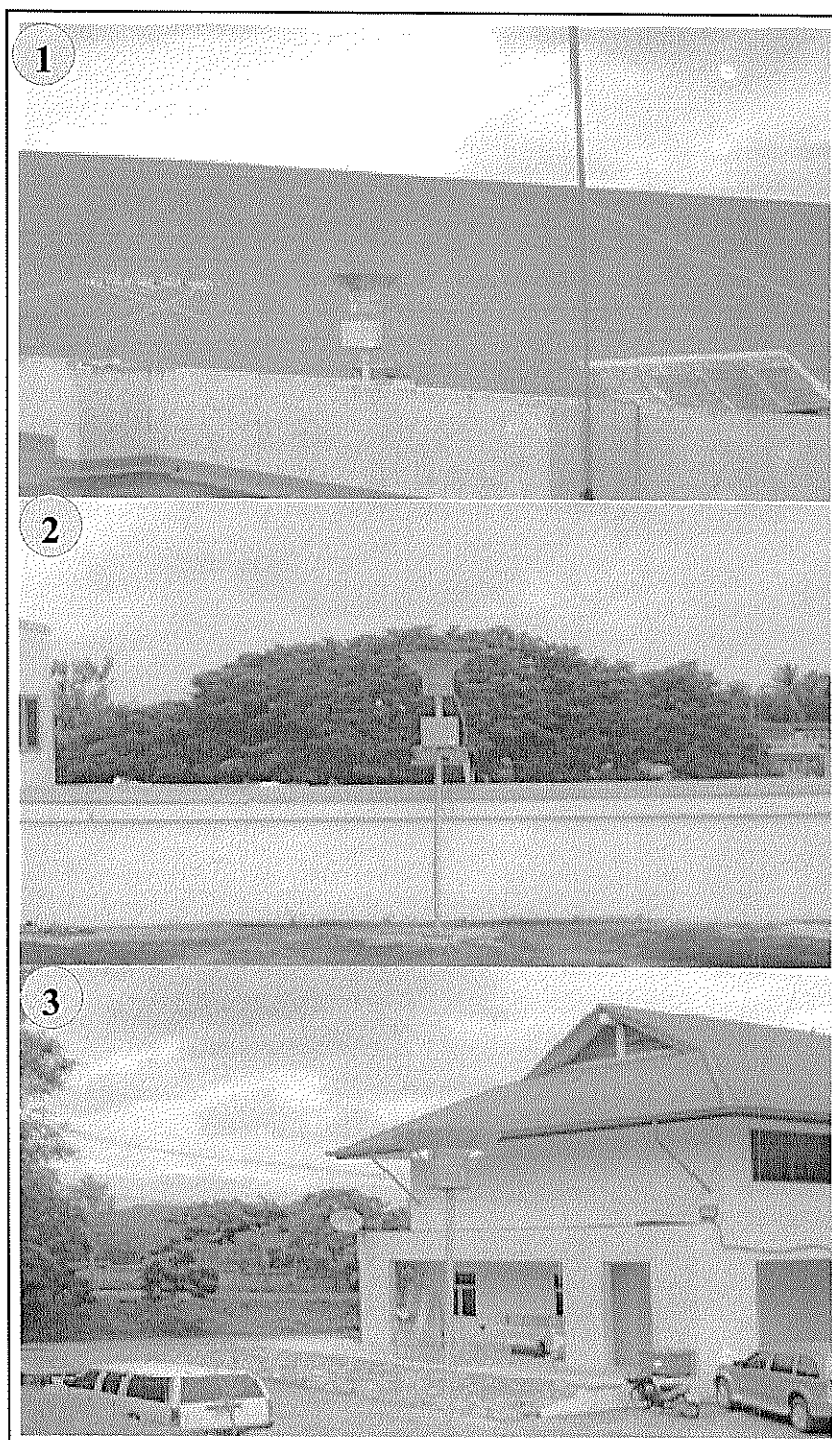
1. นำกระบอกลบตัวอย่างฝุ่นมาฉีดน้ำเพื่อชะล้างฝุ่นส่วนที่ติดอยู่กับกระบอกลบด้วยน้ำกลั่น แล้วกรองด้วยตะแกรงขนาด 600 ไมครอน เพื่อนำเอาชิ้นส่วนของเศษใบไม้ แมลงหรืออนุภาคที่มีขนาดใหญ่เกินออกไป แสดงดังรูปที่ 3.7 (2)
2. สำหรับอนุภาคที่ผ่านการกรองแล้วจะละลายอยู่ในน้ำ ต่อจากนั้นจะนำน้ำที่ได้ไประเหยในถ้วยกระเบื้องที่ทำการชั่งน้ำหนักไว้ก่อนแล้ว ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังจากการระเหยจะเป็นน้ำหนักของฝุ่น แสดงดังรูปที่ 3.7 (3) และ (4)
3. ทำการฉีดน้ำเพื่อชะฝุ่นที่ติดอยู่กับถ้วยกระเบื้องด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง และทำการกรองเพื่อคัดอนุภาคที่เหลือขนาด 250 ไมครอน โดยใช้ตะแกรงขนาด 250 ไมครอน แสดงดังรูปที่ 3.7 (5) และ (6)
4. นำน้ำที่ผ่านตะแกรงกรอง ที่มีส่วนผสมของอนุภาคที่มีขนาดตั้งแต่ 250 ไมครอน ลงมา ใส่ถ้วยกระเบื้องอันใหม่ และนำไประเหยซึ่งสุดท้ายจะได้เป็นอนุภาคของฝุ่นที่มีขนาดตั้งแต่ 250 ไมครอน ลงมา ทั้งนี้ตัวอย่างฝุ่นของแต่ละเดือนจะทำการเก็บสะสมไว้ก่อนจนได้ปริมาณที่เพียงพอที่จะนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนักต่อไปได้ แสดงดังรูปที่ 3.7 (7) และ(8)



รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall

ที่มา : สุกจิต ครุจิต, ธนัญชัย วรรณสุข,

��ันจิต ชาญชิตปรีชา และนเรศ เชื้อสุวรรณ (2553)

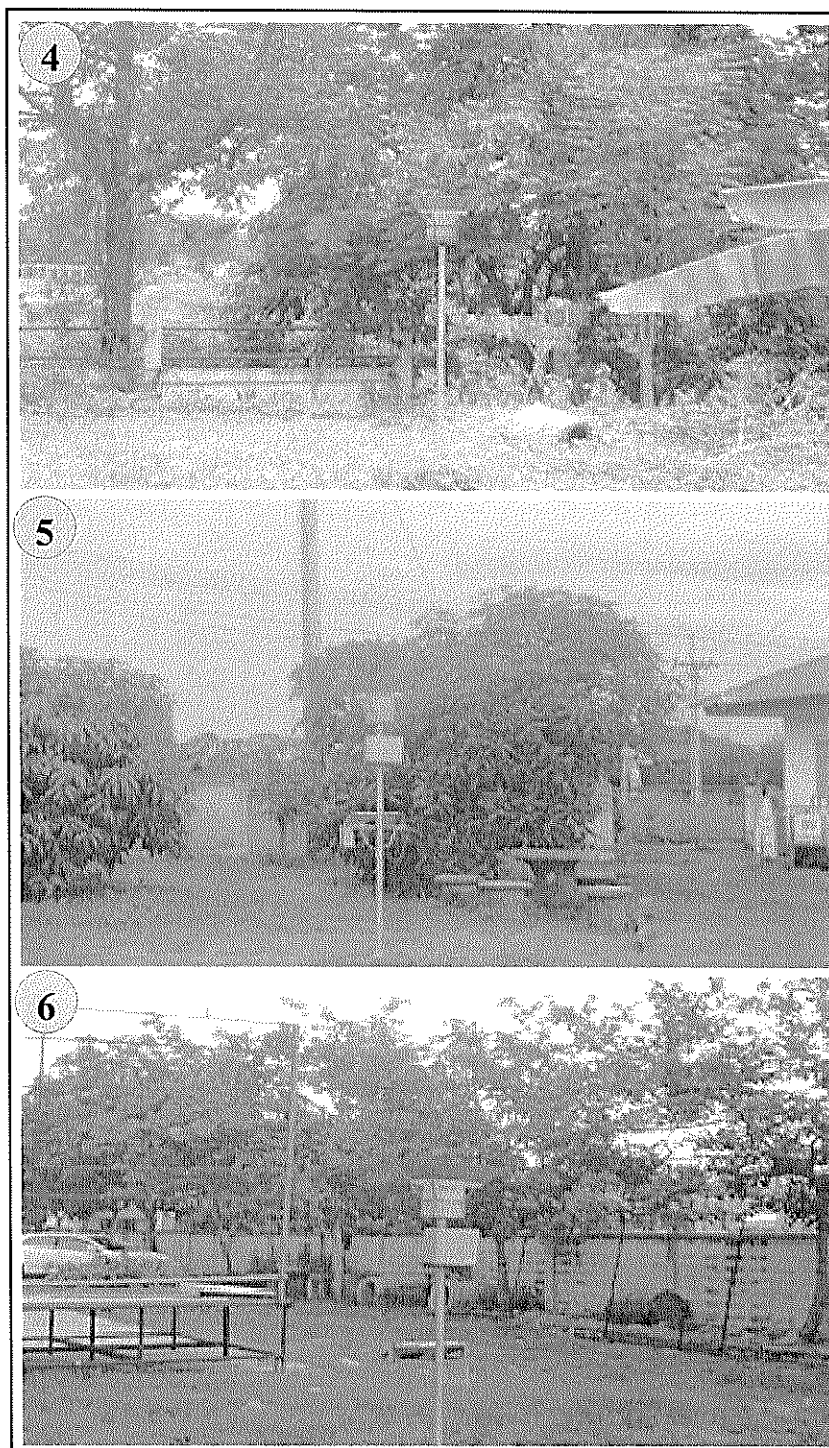


รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall ที่ทำการติดตั้งในพื้นที่ของ

(1) เทศบาลนครนครราชสีมา

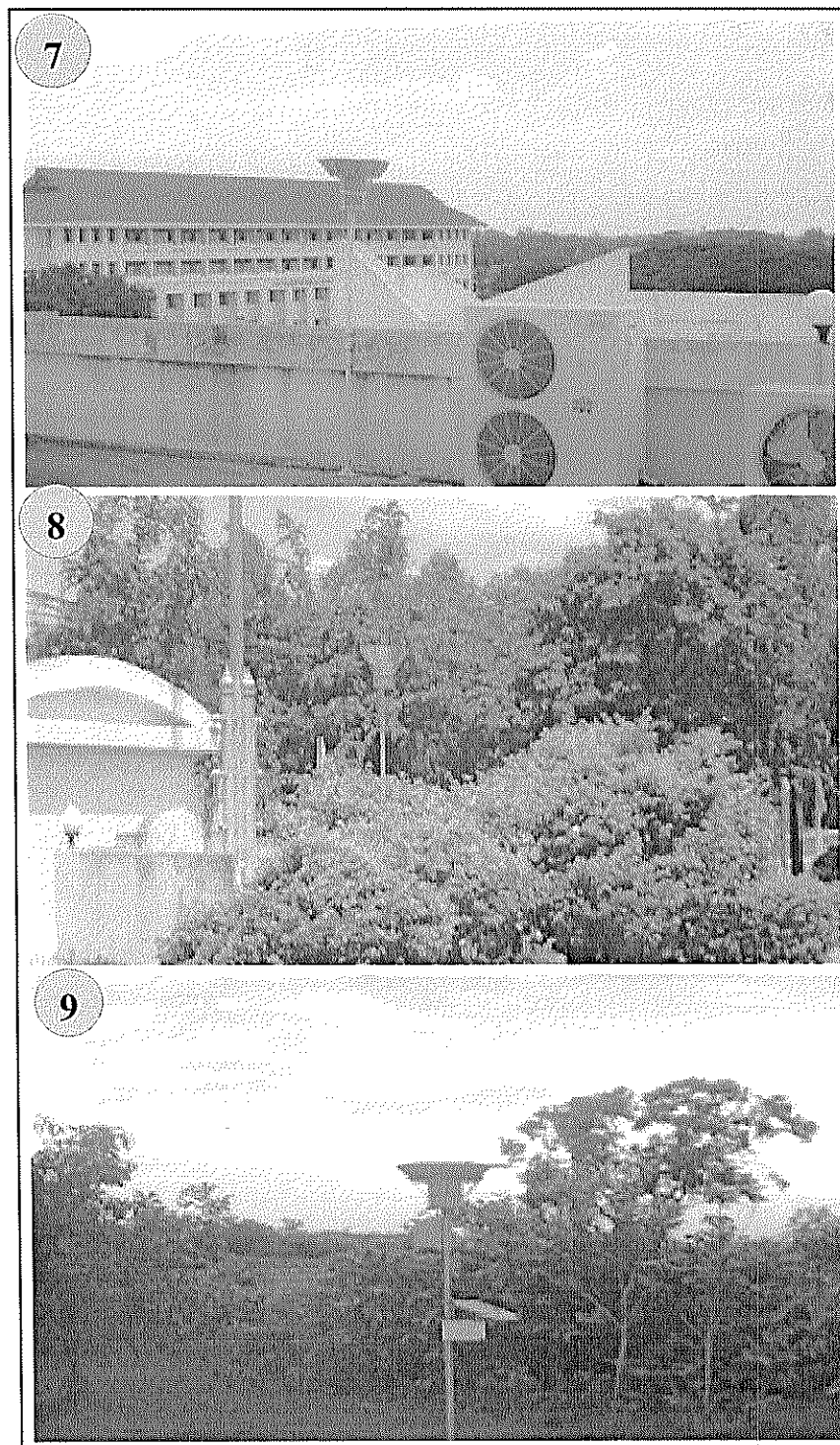
(2) องค์การบริหารส่วนตำบลหนองบัวศาลา

(3) เทศบาลเมืองปากช่อง



รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall ที่ทำการติดตั้งในพื้นที่ของ (ต่อ)

- (4) เทศบาลตำบลจรเข้หิน
- (5) องค์การบริหารส่วนตำบลสุรนารี
- (6) องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านเกาะ



รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall ที่ทำการติดตั้งในพื้นที่ของ (ต่อ)

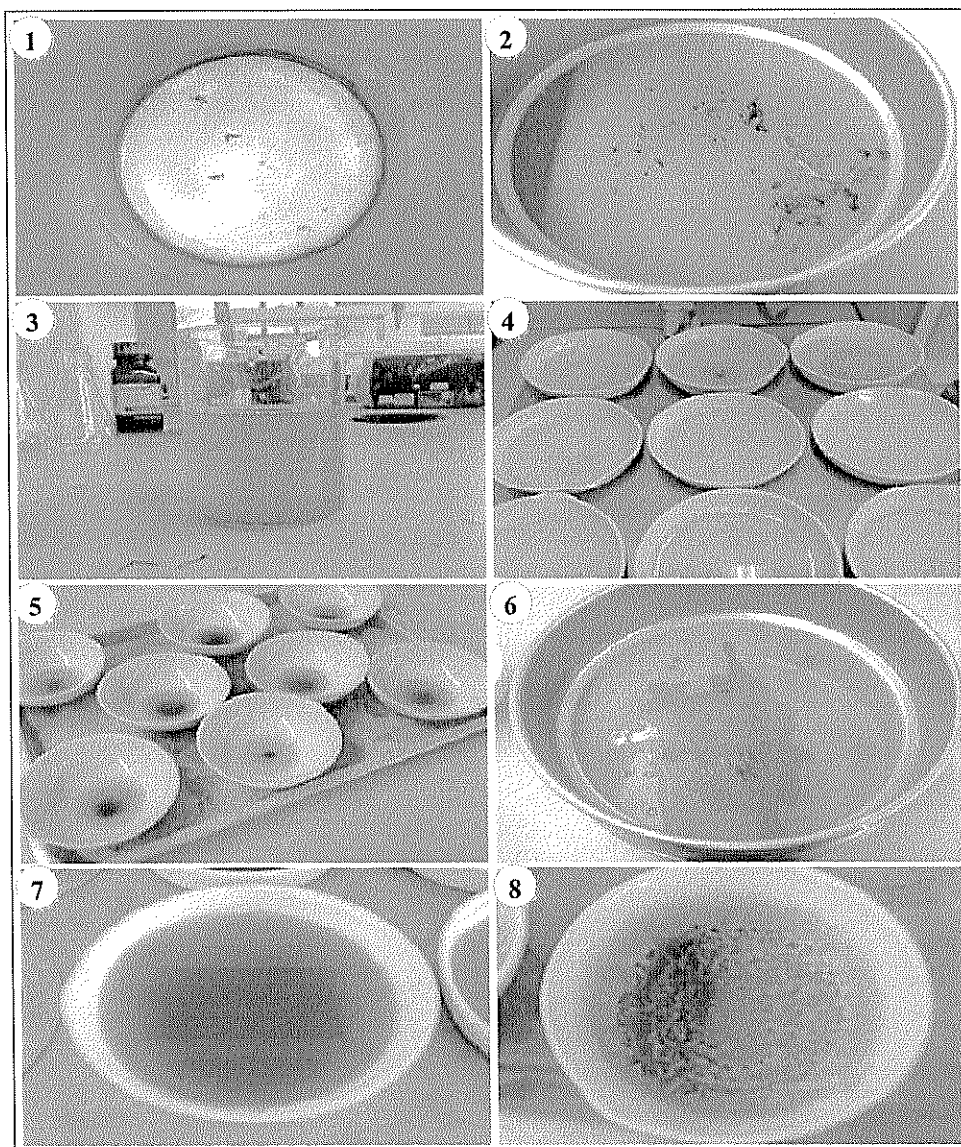
(7) เทศบาลตำบลพิมาย

(8) องค์การบริหารส่วนตำบลด่านขุนทด

(9) องค์การบริหารส่วนตำบลหนองกระทุ่ม



รูปที่ 3.6 ชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ Dustfall ที่ทำการติดตั้งในพื้นที่ของ (ต่อ)
(10) องค์การบริหารส่วนตำบลไทยสามัคคี



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างฝุ่น Dustfall

- (1) ลักษณะของฝุ่นในกระบอก
- (2) กรองด้วยตะแกรง 600 ไมครอน
- (3) น้ำที่มีอนุภาคเล็กกว่า 600 ไมครอน แขนงลอยอยู่
- (4) ระบายหาน้ำหนักของฝุ่น Dustfall
- (5) ชะด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง
- (6) กรองด้วยตะแกรง 250 ไมครอน
- (7) นำไประเหยอีกครั้ง
- (8) ฝุ่นที่เหลือหลังจากการระเหยจนแห้ง

3.4 การย่อยตัวอย่างด้วย Microwave digestion และวิเคราะห์หาโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-MS

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS) รุ่น 7700 series ของบริษัท Agilent Technology ในการวิเคราะห์หาโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด ได้แก่ ตะกั่ว (Pb) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd)ปรอท (Hg) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) และสังกะสี (Zn) ซึ่งการวิเคราะห์ ICP-MS จะทำการย่อยตัวอย่างเพื่อให้อยู่ในรูปของสารละลายเสียก่อน ทั้งนี้การย่อยตัวอย่างจะใช้เครื่อง Microwave รุ่น ETHOS ONE ใช้วิธีการย่อยตาม method BCS 300 soil (คู่มือการเตรียมตัวอย่างสำหรับ ETHOS ONE, 2012)

การวิเคราะห์ย่อยตัวอย่างและวิเคราะห์โลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-MS มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- นำตัวอย่างดินและฝุ่นที่ได้จากการเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ประเภท มาทำการเตรียมตัวอย่างเพื่อจะวิเคราะห์โดยการย่อยตัวอย่างด้วย Microwave โดยใช้วิธีการของ method BCS 300 soil ซึ่งเป็นวิธีการที่มีอยู่ในเครื่อง Microwave รุ่น ETHOS ONE

- เตรียมสารละลายมาตรฐานของธาตุทุกตัวที่จะทำการวิเคราะห์โดยทำการ Dilution เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของธาตุนั้น ๆ ซึ่งสารละลายมาตรฐานของธาตุแต่ละตัวมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 1000 ppm โดยเตรียมความเข้มข้นของกราฟมาตรฐานไว้ที่ 1, 2, 5, 10 20, 50 100 และ 200 ppb

สำหรับการย่อยตัวอย่างดินและฝุ่นที่ได้จากชุมชน ในจังหวัดนครราชสีมา มีขั้นตอนในการเตรียมการดังนี้

1. นำตัวอย่างดินและฝุ่นที่ได้ทำการเตรียมให้แห้งและคัดขนาดให้มีอนุภาคตั้งแต่ 250 ไมครอนลงมาแล้วนำมาชั่งใส่ vessel ซึ่งในการเตรียมตัวอย่างครั้งนี้ จะใช้การย่อยตัวอย่างตามวิธีการ BSC 300 Soil ซึ่งตัวอย่างที่ใช้จะชั่งน้ำหนักตัวอย่างไม่เกิน 0.25 g โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 3.8 (1)

2. เติมกรด HNO_3 (65%) 5 ml และกรด HF (40%) 3 ml ลงใน vessel ที่ใส่ตัวอย่างฝุ่นหรือดินลงไปแล้ว จากนั้นปิด vessel ให้แน่นและสนิท ทำการต่อชุดอุปกรณ์ต่าง ๆ ของไมโครเวฟให้เรียบร้อย (แสดงดังรูปที่ 3.8 (2), (3) และ (4))

3. เริ่มการย่อยตัวอย่างตามวิธี BSC 300 Soil โดยใช้กำลังไฟที่ 1500 w และอุณหภูมิ 250 °C แบ่งเป็น 2 ระดับในการทำงานคือ ขั้นที่ 1 เป็นการเร่งอุณหภูมิจาก 0-250 °C เป็นเวลา 30 นาที และขั้นที่ 2 ต่อเนื่องจากขั้นแรกเป็นการย่อยด้วยอุณหภูมิกองที่ 250 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเย็นลง ซึ่งอุณหภูมิจะต้องต่ำกว่า 80 °C ลงมาจึงจะสามารถนำตัวอย่างออกจากเครื่องได้ แสดงดังรูปที่ 3.8 (5)

4. เมื่อตัวอย่างมีอุณหภูมิลดลงแล้วนำตัวอย่างออกมาจากเครื่อง และทำการเติมกรด HBrO_3 (4%) 15 ml ลงในตัวอย่างที่ทำการย่อยแล้ว (การเติม HBrO_3 เพื่อให้ทำปฏิกิริยากับ HF เนื่องจาก HF เป็นกรดที่มีความสามารถในการกัดกร่อนซิลิกา ซึ่งจะมีผลกับเครื่อง ICP-MS ที่จะใช้วิเคราะห์โลหะหนักต่อไป) จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ได้ปริมาตร 25 ml เพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์หาโลหะหนักด้วย ICP-MS ต่อไป แสดงดังรูปที่ 3.8 (6)

สำหรับการวิเคราะห์ ICP-MS ที่อาศัยหลักการเผาตัวอย่างด้วยพลาสมาความร้อนสูงเพื่อให้อะตอมหรือไอออนของธาตุแตกตัว ซึ่งจะตรวจวัดปริมาณด้วยการนับไอออนของธาตุแต่ละชนิด โดยอาศัยความแตกต่างของสัดส่วนประจุต่อมวลของไอออนแต่ละชนิด ซึ่งวิธีการใช้เครื่อง ICP-MS มีดังนี้

1. ก่อนวิเคราะห์ ICP-MS ต้องทำการเตรียมสารละลายมาตรฐาน โดยเตรียมจากสารละลายมาตรฐานความเข้มข้น 1000 ppm เตรียมแบบ Mixed Standard โดย Dilute ทั้งหมด 7 ความเข้มข้น ได้แก่ 1, 5, 10, 20, 50, 100 และ 200 ppb และเตรียมสาร Tune และ HNO_3 5% ในการทดสอบเครื่องและฉีดล้างในการวิเคราะห์

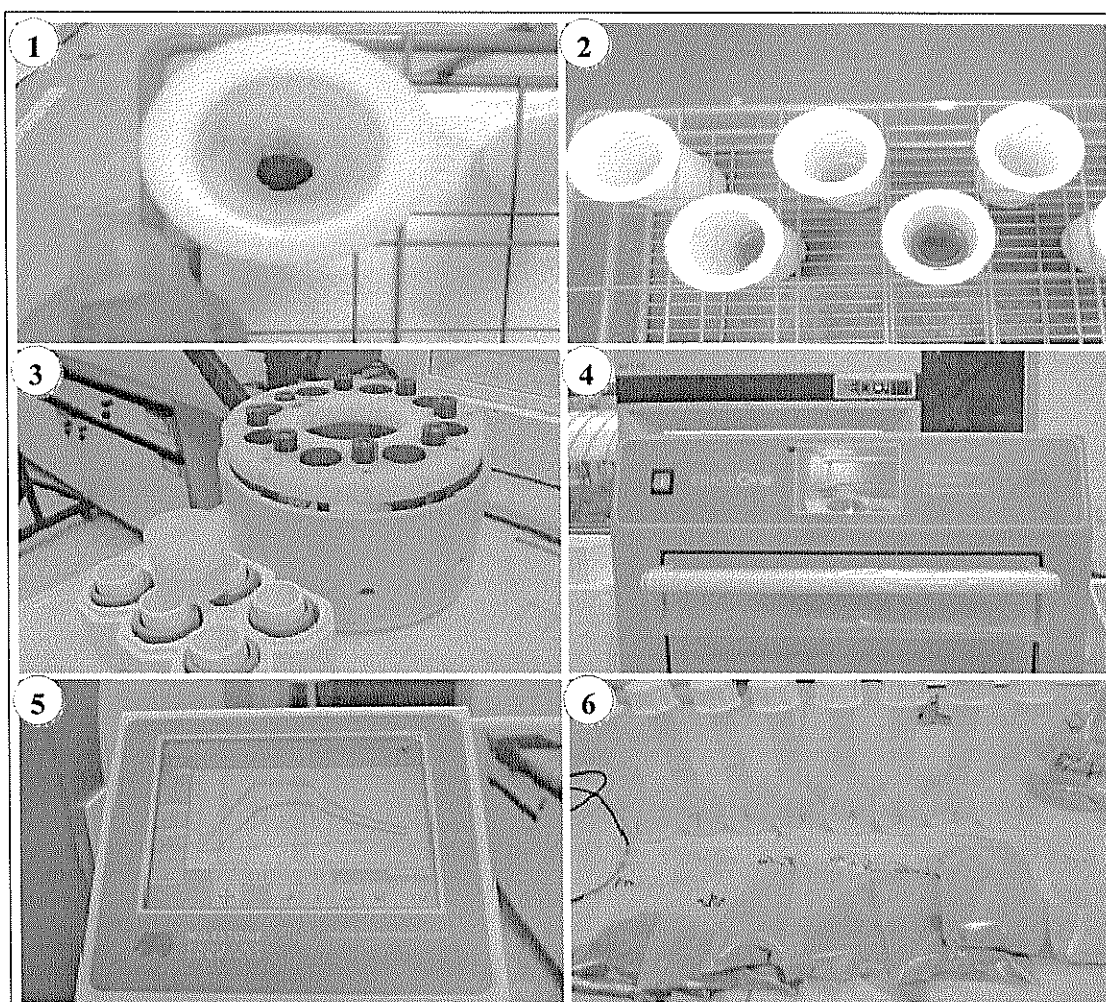
2. สำหรับ ICP-MS เริ่มต้นด้วยการเปิดเครื่อง พัดลมดูดอากาศ วาล์วแก๊สและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่อง จากนั้นเข้าไปที่โปรแกรม ICP-MS TOP แล้วเปิด Vacuum ซึ่งต้องรอให้ Analyzer Pressure ได้ 10^{-5} kPa จึงจะสามารถเริ่มจุดพลาสมาของเครื่องได้

3. จากนั้นทำการ Set Method โดยเลือก Method แล้วกด load ดู Method Cedit ดูปริมาณ Spectrum Muti June แล้วทำการเลือกธาตุโลหะหนักที่จะทำการวิเคราะห์

4. สร้าง Sequence ในการฉีดวิเคราะห์ตัวอย่าง โดยหากเป็นตัวอย่างฝุ่นหรือดินที่ย่อยแล้ว จะเลือก Type เป็น Sample และสำหรับสารละลายมาตรฐานจะเลือก Type เป็น Cal.Std. และในการฉีดตัวอย่างแต่ละครั้งจะทำการฉีดล้างด้วยน้ำ DI คั้น 1 ครั้ง/ตัวอย่าง

5. เมื่อ Vacuum ของเครื่อง ICP-MS ได้ความดันที่เหมาะสมแล้ว ทำการจุดพลาสมาโดยเลือกที่ Plasma On และทำการ Tune Value เพื่อตรวจเช็คความเสถียรในการทำงานของเครื่อง

6. เมื่อ Tune เรียบร้อยแล้ว เริ่มทำการวิเคราะห์โลหะหนัก โดยเลือกที่ Run Seq. เลือก load Seq. ที่ได้สร้างไว้ตามข้อที่ 4 จากนั้นเลือกกดที่ Run เพื่อเริ่มการวิเคราะห์โลหะหนัก



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการย่อยตัวอย่างด้วย Microwave digestion

- (1) ใส่ตัวอย่างลงใน Vessel
- (2) เติมกรด HNO_3 และ HF ลงใน vessel
- (3) ประกอบชุด Vessel สามารถย่อยได้ 8 ตัวอย่าง/ครั้ง
- (4) เครื่อง Microwave รุ่น ETHODS One
- (5) หน้าจอแสดงอุณหภูมิและความดัน
- (6) ตัวอย่างที่ย่อยเรียบร้อยแล้ว

3.5 การคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor : EF)

ในการศึกษาครั้งนี้จะคำนวณค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่นเพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของโลหะหนักแต่ละชนิดในธรรมชาติและในฝุ่นที่ตกบนหลังคา และฝุ่นแบบ Dustfall ซึ่งหาก Enrichment Factor มีค่ามากจะแสดงระดับของการปนเปื้อนของโลหะหนักชนิดนั้นที่จะมากด้วย โดยมีสมการคำนวณดังนี้

$$EF(x) = \frac{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{dust}}{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{crust}} \quad (3.2)$$

โดยที่ EF(x) = ค่า Enrichment Factor ของธาตุโลหะหนักใด ๆ

$\left(\frac{x}{Ref}\right)_{dust}$ = อัตราส่วนน้ำหนักของธาตุโลหะหนักใด ๆ กับธาตุอ้างอิงที่พบได้จากฝุ่น

$\left(\frac{x}{Ref}\right)_{crust}$ = อัตราส่วนน้ำหนักของธาตุโลหะหนักใด ๆ กับธาตุอ้างอิงที่พบได้จากดิน

ในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกใช้ Fe มาเป็นธาตุอ้างอิง เนื่องจาก Fe เป็น 1 ใน 9 ธาตุโลหะหนักที่ทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ และเป็นหนึ่งในธาตุอ้างอิงที่มีความเหมาะสมในการใช้งาน (Lawson and Winchester, 1979)

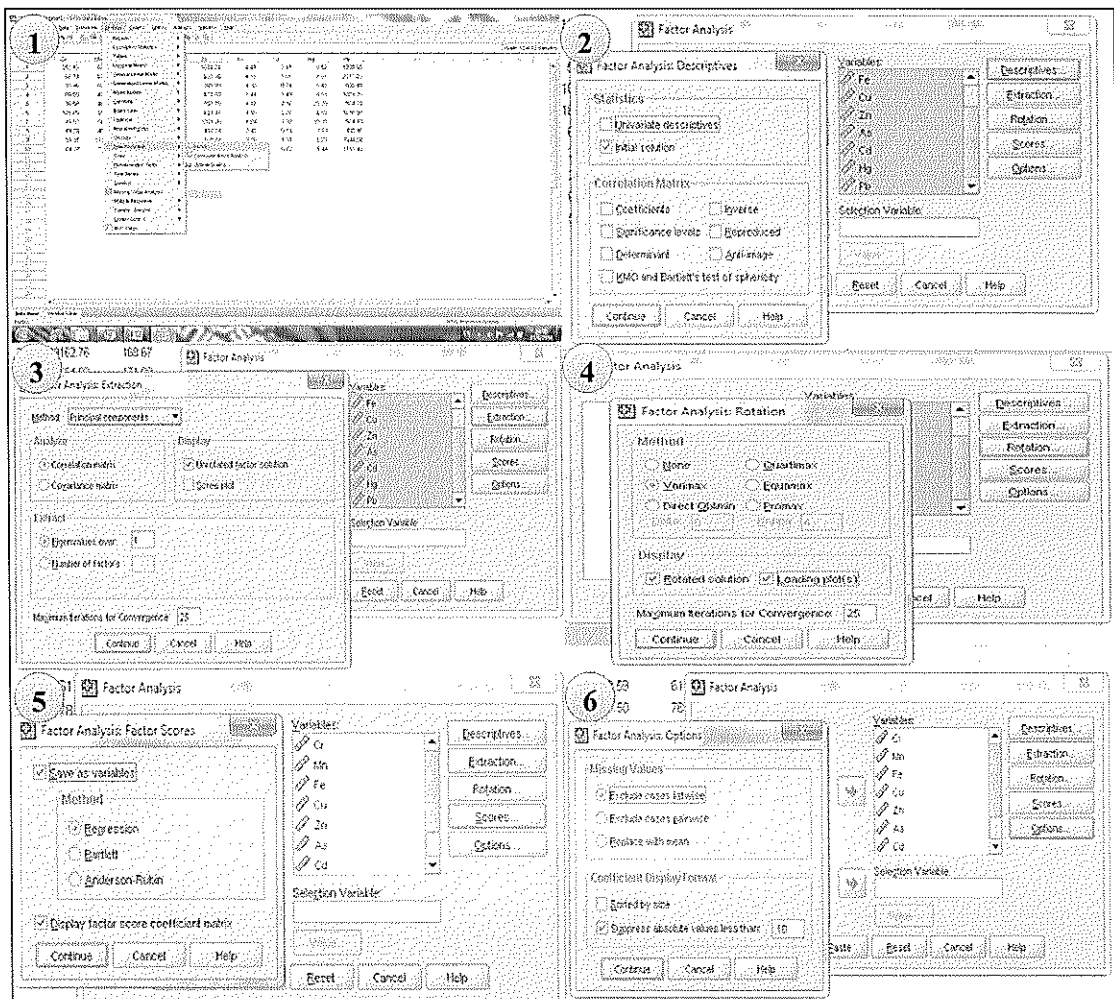
ตารางที่ 3.1 ค่า Enrichment Factor ที่มีผลต่อระดับการปนเปื้อน (ที่มา : Yongming et al., 2006)

EF < 2	Deficiency to minimal enrichment
EF = 2-5	Moderate enrichment
EF = 5-20	Significant enrichment
EF = 20-40	Very high enrichment
EF > 40	Extremely high enrichment

3.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA)

Principal Component Analysis เป็นวิธีวิเคราะห์เพื่อที่จะลดจำนวนตัวแปรและระบุถึงปัจจัยเพื่อให้ทราบถึงแหล่งที่มาของธาตุโลหะหนัก โดยอาศัยหลักการของความสัมพันธ์เชิงเส้นของตัวแปร (ในที่นี้คือธาตุโลหะหนัก) และทำการผสมเชิงเส้นตรง (Linear Combination) ของตัวแปร เพื่อหาว่าตัวแปรนั้นควรจะจัดอยู่ในปัจจัยใด (ในที่คือแหล่งที่มาของธาตุโลหะหนัก) ซึ่งการระบุแหล่งที่มาจะต้องมีการอ้างอิงจากงานวิจัยหรือข้อมูลข้อเท็จจริง โดยจะอยู่ในขั้นตอนของการให้ความหมายแก่ปัจจัย สำหรับตัวแปรแต่ละตัวจะจัดอยู่ในปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเท่านั้น โดยที่แต่ละปัจจัยจะไม่มีความสัมพันธ์กันเลย ขั้นตอนการวิเคราะห์ PCA ด้วยโปรแกรม SPSS สามารถทำได้ดังต่อไปนี้ (แสดงดังรูปที่ 3.9)

1. กรอกข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักและกำหนดตัวแปรลงในโปรแกรม SPSS แล้วเลือกที่ Analyze เลือกที่ Data Reduction เลือก Factor Analysis (แสดงดังรูปที่ 3.9 (1))
2. เลือกตัวแปรที่จะทำการสกัดปัจจัย แล้วเลือกที่คำสั่ง Descriptives เลือกที่ Initial solution ซึ่งจะแสดงค่า Eigenvalues และ Percentage of variance explained ใน ส่วนของ Correlation Matrix เลือกที่ Coefficient และ Significance levels เพื่อแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์และค่า one-tailed Significance ของตัวแปรแต่ละคู่ (แสดงดังรูปที่ 3.9 (2))
3. ที่คำสั่ง Extraction แล้วเลือกที่ Principle component ใน ส่วนของ Analyze เลือกที่ Correlation (แสดงดังรูปที่ 3.9 (3))
4. ที่คำสั่ง Rotation ใน ส่วนของ Method เลือกที่ Varimax ซึ่งเป็นเทคนิคที่ทำให้จำนวนตัวแปรที่น้อยที่สุด มีค่า Factor loading มากในแต่ละปัจจัย (แสดงดังรูปที่ 3.9 (4))
5. ที่คำสั่ง Scores เลือกที่ Save as variables และ Method เลือกที่ Regression (แสดงดังรูปที่ 3.9 (5))
6. ที่คำสั่ง Options เลือก Exclude case listwist ซึ่งจะวิเคราะห์เฉพาะ case ที่มีค่าทุกตัวแปร แล้วทำการ Run โปรแกรม (แสดงดังรูปที่ 3.9 (6))



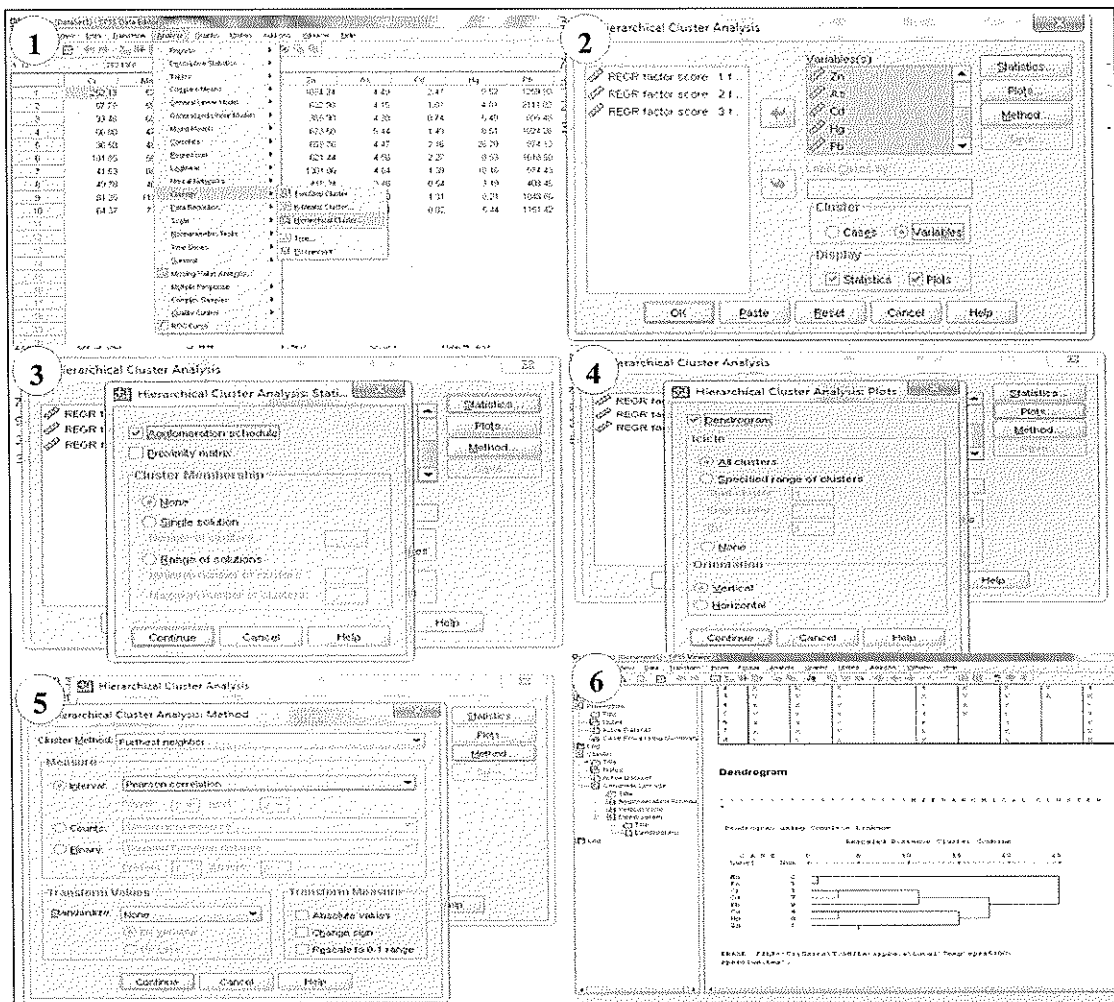
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ Principle Component Analysis

- (1) เลือก Factor Analysis
- (2) เลือก Descriptives
- (3) เลือก Extraction
- (4) คำสั่ง Rotation
- (5) คำสั่ง Scores
- (6) เลือก Exclude case listwise

3.7 การจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค Cluster Analysis (CA)

Cluster Analysis เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแบ่งกรณีหรือตัวแปรออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ ในงานวิจัยนี้ จะใช้ในการจัดกลุ่มธาตุโลหะหนักเพื่อให้่ายในการระบุคุณสมบัติของแหล่งที่มา จากกลุ่มธาตุโลหะหนักที่มีความคล้ายหรือมีความสัมพันธ์กัน ตัวแปรที่ถูกจัดในกลุ่มเดียวกันจะมีความสัมพันธ์หรือคล้ายกันมาก และที่อยู่ต่างกลุ่มกันจะได้ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันน้อยหรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลย และตัวแปรจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น โดยข้อแตกต่างระหว่าง Cluster Analysis และ Principle component Analysis คือ Cluster Analysis จะเป็นการจัดกลุ่มโดยรวมเฉพาะตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันเท่านั้นที่จะจัดไว้ในกลุ่มเดียวกัน ในขณะที่ Principle component Analysis จะจัดกลุ่มโดยตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันและตรงข้ามกันมาไว้ในกลุ่มเดียวกัน ขั้นตอนการวิเคราะห์ CA ด้วยโปรแกรม SPSS สามารถทำได้ดังต่อไปนี้ (แสดงดังรูปที่ 3.10)

1. กรอกข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักและกำหนดตัวแปรลงในโปรแกรม SPSS แล้วเลือกที่ Analyze เลือกที่ Classify เลือกที่ Hierarchical Cluster Analysis ซึ่งเป็นเทคนิคที่ค่อนข้างนิยมกันแพร่หลาย ใช้กับตัวแปรที่ไม่เกิน 200 ตัว (แสดงดังรูปที่ 3.10 (1))
2. เลือกตัวแปรข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักใส่ใน Variable (s) และในส่วนของ Cluster ด้านล่างเลือกที่ Variables (แสดงดังรูปที่ 3.10 (2))
3. เลือกที่ Statistics จากนั้นเลือกที่ Agglomeration Schedule ซึ่งจะเป็นการแสดงขั้นตอนการจัดกลุ่มจะอธิบายการจัดกลุ่มเป็นกลุ่ม ๆ ไป (แสดงดังรูปที่ 3.10 (3))
4. เลือกที่ Plots แล้วเลือกที่ Dendrogram ซึ่งจะเป็กราฟที่แสดงการรวมกันของตัวแปรแต่ละตัว โดยแสดงเป็นระยะห่างตั้งแต่ 1-25 (แสดงดังรูปที่ 3.10 (4))
5. เลือกที่ Method จากนั้นในส่วนของ Cluster Method เลือกที่ Furthest Neighbor หรือที่เรียกอีกชื่อว่า Complete Linkage ซึ่งเป็นการเลือกความคล้ายโดยพิจารณาจากระยะห่างที่ห่างกันที่สุด (แสดงดังรูปที่ 3.10 (5))
6. เมื่อเลือกทุกคำสั่งเรียบร้อยแล้วทำการ Run โปรแกรม จะแสดงออกมาเป็นกราฟ Dendrogram ซึ่งแสดงลำดับการจับคู่และจัดกลุ่มตัวแปร (แสดงดังรูปที่ 3.10 (6))



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ Cluster Analysis

- (1) เลือก Hierarchical Cluster Analysis
- (2) เลือกตัวแปร Variables
- (3) เลือก Agglomeration Schedule
- (4) เลือก Dendrogram
- (5) เลือก Furthest Neighbor
- (6) Dendrogram แสดงการจับคู่และจัดกลุ่มตัวแปร

บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 ความเข้มข้นของโลหะหนัก

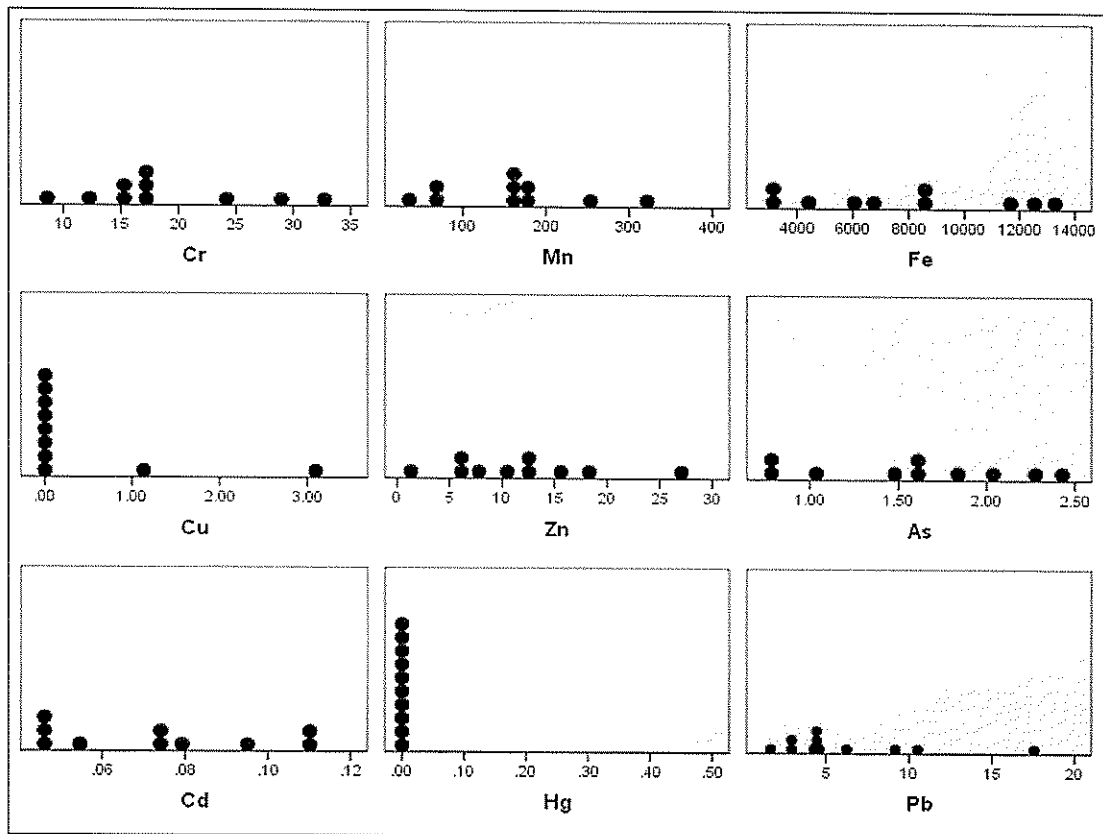
4.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน

ผลการวิเคราะห์หาโลหะหนักในดินจากชุมชนในจังหวัดนครราชสีมาทั้งหมด 10 ชุมชน แสดงดังตารางที่ 4.1 และแสดงการแจกแจงความถี่ด้วย Dot Plot ดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากดินที่ได้จาก 10 ชุมชน

ชุมชน	ความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน (มก./กก.)								
	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
เทศบาลนครฯ	15.11	179.03	6,066.22	3.10	27.09	1.58	0.11	-*	17.56
หนองบัวศาลา	17.00	73.97	4,425.21	-*	10.49	0.79	0.05	-*	3.22
บ้านเกาะ	17.43	154.32	8,846.41	-*	15.63	2.28	0.08	-*	6.26
หนองกระทุ่ม	15.46	168.79	8,349.65	-*	6.72	1.84	0.04	-*	4.26
สุรนารี	8.58	35.25	2,882.34	-*	1.34	0.78	0.05	-*	1.71
พิมาย	32.72	154.20	11,684.15	-*	12.28	2.038	0.07	-*	9.18
ปากช่อง	17.19	321.77	12,546.21	-*	12.85	1.479	0.05	-*	4.29
ด่านขุนทด	12.27	62.95	3,438.04	1.13	5.56	1.04	0.07	-*	2.71
จรเข้หิน	24.19	253.81	6,756.66	-*	7.73	1.61	0.09	-*	4.65
ไทยสามัคคี	28.97	171.32	13,294.91	-*	18.32	2.43	0.11	-*	10.52
ค่าสถิติ									
ค่าเฉลี่ย	18.89	157.54	7,828.98	2.11	11.80	1.59	0.07	-	6.44
ค่ามัธยฐาน	17.09	161.55	7,553.16	-	11.39	1.61	0.07	-	4.47
ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	31.03	291.19	12,958.00	2.21	23.14	2.36	0.11	-	14.39
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.50	86.87	3,769.61	1.39	7.34	0.58	0.03	-	4.80
สัมประสิทธิ์การแปรผัน	0.40	0.55	0.48	0.66	0.62	0.37	0.36	-	0.74

*ค่าต่ำกว่าขอบเขตการตรวจพบ (Detection Limit)



รูปที่ 4.1 Dot Plot ของค่าความเข้มข้นโลหะหนัก 9 ชนิด ในดินที่ได้จาก 10 ชุมชน

ผลจากการหาความเข้มข้นของโลหะหนักในดินจาก 10 ชุมชน ของจังหวัด นครราชสีมาด้วย ICP-MS พบว่าการหาความเข้มข้นธาตุโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด สามารถตรวจพบ ความเข้มข้น ได้ออกมา 8 ชนิด โดยที่ไม่สามารถพบความเข้มข้นในส่วนของ Hg และในส่วนของ Cu สามารถตรวจพบเพียง 2 ชุมชนเท่านั้น การตรวจไม่พบหมายถึงมีค่าต่ำกว่าความสามารถในการ วิเคราะห์ของเครื่องมือหรือต่ำกว่าขอบเขตการตรวจพบ (Detection Limit) โดยที่ ICP-MS สามารถ วิเคราะห์ได้ต่ำสุดที่ 0.001 ไมโครกรัม/กิโลกรัม ทั้งนี้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นต่อไปจะ แทนค่าความเข้มข้นดังกล่าวเป็น 0 เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้แสดงดังในตารางที่ 4.1 และแสดงการ แจกแจงด้วย Dot Plot ในรูปที่ 4.1 นั้น เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบรูปแบบของการแจกแจงกับข้อมูล ในงานด้านสิ่งแวดล้อมซึ่งส่วนใหญ่มีอยู่ด้วยกัน 3 กรณี คือ การแจกแจงแบบ normal lognormal และ Uniform จะเห็นได้ว่ามีค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีลักษณะการแจกแจงใกล้เคียงแบบ normal ได้แก่ Cr และ Mn นั่นคือค่าความเข้มข้นของโลหะหนักของแต่ละชุมชนส่วนใหญ่สามารถ

พบได้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นจากทั้ง 10 ชุมชน ส่วนที่มีการแจกแจงใกล้เคียงแบบ lognormal คือ Pb ซึ่งความเข้มข้นที่พบของตะกั่วจากทั้ง 10 ชุมชน นั้นจะมีค่าความเข้มข้นโดยปกติเกาะกลุ่มกันค่อนข้างมาทางค่าน้อยหรืออยู่ใกล้เคียง 0 โดยที่มีเพียงไม่กี่ตัวอย่างเท่านั้นที่พบค่าความเข้มข้นมีค่าสูงกว่าปกติมาก และ โลหะหนักที่มีการแจกแจงใกล้เคียงแบบ Uniform ได้แก่ Fe Zn As และ Cd แสดงถึงค่าความเข้มข้นที่จะสามารถพบได้จากโลหะหนักเหล่านี้ในดินมีค่าที่กระจายกันออกไป ไม่มีค่าที่แน่นอน สามารถพบได้ตั้งแต่ความเข้มข้นสูง ปานกลาง หรือแม้แต่อาจจะพบได้น้อย สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของโลหะหนักทั้ง 9 ชนิดจะพบว่าค่าที่ได้มีค่าต่ำกว่า 1 ซึ่งแสดงถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลที่มีแนวโน้มปกติหรือไม่มีการแปรผันที่สูง

จากตารางที่ 4.1 หากพิจารณาเชิงพื้นที่ ค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีค่าค่อนข้างสูงของจังหวัดนครราชสีมาส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตพื้นที่ของเทศบาลนครฯ ซึ่งทั้งนี้โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ของเทศบาลนครฯ จะเป็นพื้นที่ในลักษณะแบบเมืองขนาดใหญ่ เป็นที่อยู่อาศัยที่ค่อนข้างหนาแน่นและมีกิจกรรมที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็น การค้า การจราจร หรืออุตสาหกรรมในพื้นที่ โดยธาตุที่พบในปริมาณมากคือ Cu Zn และ Pb โดยที่โลหะหนักที่พบมากที่สุด 3 ชนิดนี้จะเป็นโลหะที่พบได้ทั่วไปในธรรมชาติ แต่จะมีการใช้กันค่อนข้างมากสำหรับกระบวนการอุตสาหกรรม และอีกหนึ่งชุมชนที่พบปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักค่อนข้างสูงคือพื้นที่ของตำบลไทยสามัคคี โดยจะพบที่มีค่าสูงที่สุด 3 ชนิด คือ Fe As และ Cd ซึ่งแม้ว่าลักษณะของพื้นที่ส่วนในตำบลไทยสามัคคีเองแล้วจะเป็นพื้นที่ใกล้กับอุทยานแห่งชาติ มีความเป็นธรรมชาติ มีการท่องเที่ยวและการทำเกษตรกรรม แต่ก็อาจพบธาตุดังกล่าวอยู่ตามธรรมชาติได้ โดยที่ Fe นั้นสามารถพบได้สูงที่สุดในบรรดาโลหะหนักทั้งหมด 9 ชนิด ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ อีกทั้ง As และ Cd ก็ยังสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ เพียงแต่รูปแบบที่พบจะอยู่ในรูปแบบของสารประกอบมากกว่าจะพบในแบบของธาตุบริสุทธิ์ สำหรับชุมชนที่พบความเข้มข้นของโลหะหนักในดินค่อนข้างต่ำ คือ พื้นที่ของตำบลสุรนารี ซึ่งพื้นที่ออกมามีค่อนข้างห่างไกลจากตัวเมือง เป็นลักษณะพื้นที่แถบชนบท ส่วนใหญ่ของพื้นที่จะเป็นการเกษตรกรรมเป็นหลัก ซึ่งในปัจจุบันเริ่มจะมีการขยายตัวของชุมชนที่อยู่อาศัยจากในเมืองออกมายังเขตตำบลสุรนารี

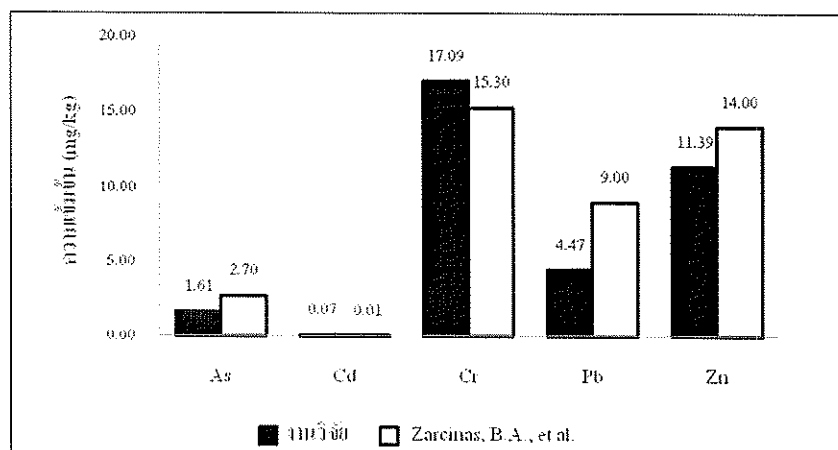
จากผลความเข้มข้นของโลหะหนักในดินของจังหวัดนครราชสีมาที่ได้ในการศึกษาเปรียบเทียบกับผลการศึกษางานวิจัยของ Zarcinas, B.A., et al. (2004) ในตารางที่ 4.2 พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักในจังหวัดนครราชสีมาที่ได้จากการเก็บตัวอย่างของการศึกษาคั้งนี้ ส่วนใหญ่จะมีค่าต่ำกว่าค่าความเข้มข้นของประเทศไทยที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา แต่เมื่อนำค่ามัธยฐานของทั้ง 2 งานวิจัยมาสร้างกราฟเปรียบเทียบพบว่าโลหะหนัก 5 ชนิด มีค่ามัธยฐานใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักในดินที่ได้ของทั้ง 10 ชุมชน ในจังหวัดนครราชสีมา กับค่าเฉลี่ยของประเทศไทย (Zarcinas, B. A., et al., 2004)

ธาตุ	ค่าเฉลี่ย (มก./กก.)		ค่ามัธยฐาน (มก./กก.)		เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 (มก./กก.)		ค่าสูงสุด (มก./กก.)		ค่าต่ำสุด (มก./กก.)	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
As	1.59	7.50	1.61	2.70	2.36	29.00	2.43	124.00	0.78	0.08
Cd	0.07	0.03	0.07	0.01	0.11	0.17	0.11	0.29	0.04	0.01
Co	-	6.00	-	2.08	-	21.10	-	113.00	-	0.10
Cr	18.89	25.20	17.09	15.30	31.03	79.40	32.70	295.00	8.58	0.14
Cu	2.11	14.10	-	6.90	2.21	43.60	3.10	350.00	1.13	0.16
Hg	-	0.04	-	0.03	-	0.10	-	0.27	-	0.01
Ni	-	13.50	-	6.20	-	43.90	-	270.00	-	0.10
Pb	6.44	17.50	4.47	9.00	14.39	54.60	17.56	550.00	1.71	0.10
Zn	11.8	23.90	11.39	14.00	23.14	71.00	27.09	140.00	1.34	0.10
Mn	157.54	-	161.55	-	291.19	-	321.77	-	35.25	-
Fe	7,828.98	-	7,553.16	-	12,958.00	-	13,294.91	-	2,882.34	-

a = ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินของพื้นที่จังหวัดนครราชสีมาจากการศึกษาครั้งนี้

b = ความเข้มข้นของโลหะหนักในดินของประเทศไทย (Zarcinas, B. A., et al., 2004)



รูปที่ 4.2 แผนภูมิเปรียบเทียบค่ามัธยฐานความเข้มข้นโลหะหนักในดินของจังหวัดนครราชสีมา (งานวิจัยนี้) กับของประเทศไทย (Zarcinas, B. A., et al., 2004)

4.1.2 ความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นหลังคาและฝุ่นจากกระบอเก็บฝุ่น

ผลการวิเคราะห์หาโลหะหนักในฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall จากชุมชนในจังหวัดนครราชสีมาทั้งหมด 10 ชุมชน แสดงดังตารางที่ 4.3 และแสดงการแจกแจงด้วย Dot Plot ดังแสดงในรูปที่ 4.3

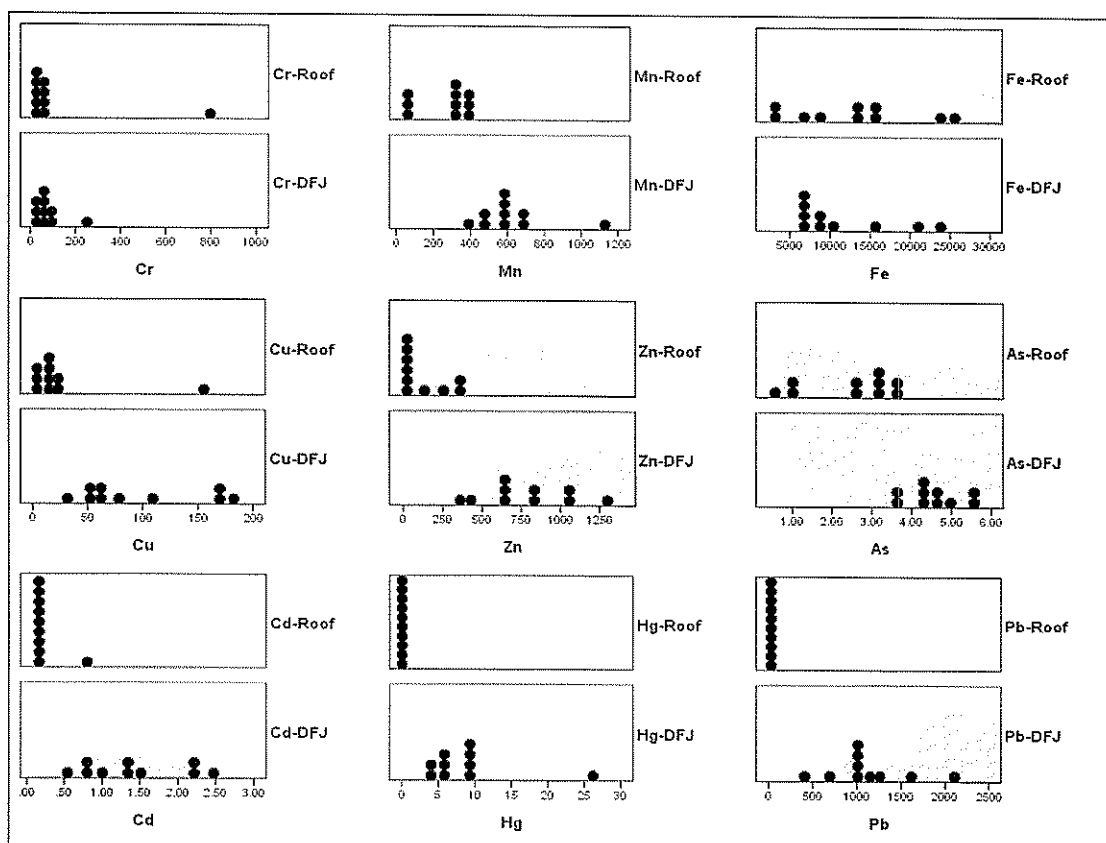
ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของ โลหะหนักจากฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall ที่ได้จาก 10 ชุมชน

ชุมชน	ความเข้มข้นของ โลหะหนัก (มก./กก.)									
	Cr		Mn		Fe		Cu		Zn	
	ฝุ่นหลังคา	Dustfall	ฝุ่นหลังคา	Dustfall	ฝุ่นหลังคา	Dustfall	ฝุ่นหลังคา	Dustfall	ฝุ่นหลังคา	Dustfall
เทศบาลนครฯ	797.23	252.13	42.25	579.36	3,024.40	9,162.76	17.33	168.67	41.73	1,034.24
หนองบัวศาลา	57.53	57.79	290.27	593.94	25,592.01	15,564.00	22.33	171.08	340.83	632.98
บ้านเกาะ	47.3	33.46	391.69	605.42	12,647.36	10,337.53	20.71	52.97	135.06	385.9
หนองกระทุ่ม	46.5	66.8	358.58	473.14	14,241.32	7,396.13	14.25	109.26	19.18	673.5
สุรนารี	24.07	36.58	294.32	481.47	9,353.35	6,098.81	5.98	182.37	3.25	859.76
พิมาย	38.37	101.85	425.17	565.95	15,204.48	8,223.59	155.63	61.12	257.91	621.44
ปากช่อง	40.98	41.53	325.94	663.17	16,174.04	6,458.50	11.56	78.79	46.25	1,301.06
ด่านขุนทด	12.07	49.77	61.16	403.15	3,332.27	6,853.56	-*	29.99	14.61	418.24
จระเข้หิน	49.32	81.35	352.35	1,129.23	23,536.85	21,060.73	18.54	63.28	375.19	809.84
ไทยสามัคคี	21.64	64.37	82.62	714.74	7,482.79	24,129.13	8.24	52.34	12.24	1,082.31
ค่าสถิติ										
ค่าเฉลี่ย	113.5	78.56	262.44	620.96	13058.89	11,528.47	30.51	96.99	124.63	781.93
ค่ามัธยฐาน	43.47	61.08	310.13	586.65	13444.34	8,693.18	17.33	71.04	43.99	741.67
ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	464.36	184.5	410.1	942.71	24667.19	22,748.35	102.31	177.3	359.73	1,202.62
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	240.66	64.5	144.4	200.94	7622.07	6,480.57	47.24	57.01	145.68	294.21
สัมประสิทธิ์การแปรผัน	2.12	0.82	0.55	0.32	0.58	0.56	1.55	0.59	1.17	0.38

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของโลหะหนักจากฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall ที่ได้จาก 10 ชุมชน (ต่อ)

ชุมชน	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มก./กก.)							
	As		Cd		Hg		Pb	
	ฝุ่นหลังคา	Dustfall	ฝุ่นหลังคา	Dustfall	ฝุ่นหลังคา	Dustfall	ฝุ่นหลังคา	Dustfall
เทศบาลนครฯ	0.58	4.49	0.23	2.47	0.08	9.52	9.48	1,259.90
หนองบัวศาลา	3.13	4.15	0.23	1.01	-*	4.81	33.69	2,111.03
บ้านเกาะ	2.63	4.3	0.17	0.74	-*	5.48	13.04	695.47
หนองกระทุ่ม	3.49	5.43	0.16	1.49	-*	8.51	7.52	1,024.26
สุรนารี	3.08	4.47	0.09	2.16	-*	26.19	4.15	974.13
พืมาชัย	3.29	4.56	0.87	2.27	-*	8.53	54.36	1,618.49
ปากช่อง	2.61	4.84	0.18	1.39	-*	10.16	10.13	974.43
ด่านขุนทด	0.97	3.48	0.11	0.54	-*	3.19	5.72	408.46
กระเซิงหิน	3.74	3.8	0.17	1.31	-*	6.21	15.49	1,048.65
ไทยสามัคคี	1.08	5.71	0.15	0.82	-*	5.44	5.88	1,151.42
ค่าสถิติ								
ค่าเฉลี่ย	2.46	4.52	0.24	1.42	-	8.8	15.95	1126.62
ค่ามัธยฐาน	2.86	4.48	0.17	1.35	-	7.36	9.81	1036.46
ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95	3.63	5.58	0.58	2.38	-	18.98	45.06	1,889.39
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.15	0.68	0.23	0.68	-	6.51	15.95	470.7
สัมประสิทธิ์การแปรผัน	0.47	0.15	0.96	0.48	-	0.74	1.00	0.42

*ค่าต่ำกว่าขอบเขตการตรวจพบ (Detection Limit)



รูปที่ 4.3 Dot Plot ของค่าความเข้มข้นโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด ในฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall ที่ได้จาก 10 ชุมชน

ผลจากการหาความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall จาก 10 ชุมชน ในส่วนของฝุ่นหลังคาพบความเข้มข้นของ Hg ได้เพียงชุมชนของเทศบาลนครฯ โดยที่ไม่สามารถพบความเข้มข้นในฝุ่นหลังคาของอีก 9 ชุมชน ได้ และในส่วนของ Cu ไม่สามารถตรวจพบได้ในฝุ่นหลังคาของชุมชนด่านขุนทด ในส่วนของฝุ่น Dustfall นั้นสามารถตรวจได้พบทุกความเข้มข้นของทุกธาตุโลหะหนักและตรวจพบทุกชุมชน สำหรับการตรวจไม่พบความเข้มข้นนั้น จะมีความหมายเดียวกันกับ โลหะหนักในดินนั่นคือ ค่าความเข้มข้นที่ได้มีค่าต่ำกว่าความสามารถในการวิเคราะห์ของเครื่องมือหรือต่ำกว่าขอบเขตการตรวจพบ (Detection Limit) ทั้งนี้สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นต่อไปจะแทนค่าความเข้มข้นดังกล่าวเป็น 0 เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์รูปแบบการแจกแจงของโลหะหนักในฝุ่นทั้ง 2 ชนิด จาก Dot Plot โดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้สเกลระดับความเข้มข้นเดียวกันพบว่า โลหะหนักที่มีการแจกแจงที่

คล้ายกันในส่วนทั้ง 2 แบบ คือ Cr ที่เป็นการแจกแจงใกล้เคียงแบบ lognormal ทั้งคู่ เมื่อพิจารณาเฉพาะฝุ่นหลังคาพบว่าโดยส่วนใหญ่การแจกแจงของฝุ่นหลังคาจะใกล้เคียงแบบ lognormal ซึ่งจะเห็นว่าการแจกแจงแบบ lognormal นั้นค่าความเข้มข้นที่ได้โดยส่วนใหญ่จะมีค่าค่อนข้างต่ำที่น้อยหรือใกล้เคียง 0 โดยมีเพียงไม่กี่ตัวอย่างที่มีค่าความเข้มข้นสูง โดยที่ Mn Fe และ As ไม่สามารถระบุลักษณะการแจกแจงได้ชัดเจน สำหรับในส่วนของฝุ่น Dustfall พบว่าการแจกแจงส่วนมากใกล้เคียงแบบ normal อาทิ Mn Zn As Hg และ Pb ซึ่งค่าความเข้มข้นโดยส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของโลหะหนักจากทั้ง 10 ชุมชน แต่มีการแจกแจงที่ใกล้เคียงแบบ lognormal ที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือ Cr และ Fe

ส่วนการวิเคราะห์ในเชิงระดับความเข้มข้นของโลหะหนักในฝุ่นทั้ง 2 ชนิด สำหรับ Cd Hg และ Pb จะเห็นว่าหากเปรียบเทียบโดยใช้สเกลที่มีความกว้างมากมาเปรียบเทียบการแจกแจง Dot Plot ของฝุ่นหลังคาจะค่อนข้างต่ำที่ 0 ซึ่งเนื่องความเข้มข้นที่ต่ำกว่าค่อนข้างชัดเจน โดยเฉพาะกรณี Cd Hg และ Pb อย่างไรก็ตามหากดูที่ค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันของฝุ่นทั้ง 2 แบบ พบว่าค่าส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 1 ซึ่งแสดงถึงการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูลที่มีแนวโน้มแบบปกติ ยกเว้นในส่วนของ Cr Cu และ Zn ของฝุ่นหลังคาที่มีค่าสัมประสิทธิ์การแปรผันมากกว่า 1 ซึ่งสอดคล้องกับผลการพิจารณาลักษณะการแจกแจงแบบ lognormal ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

จากผลการวิเคราะห์โลหะหนักของฝุ่นหลังคาความเข้มข้นพบว่ามีค่าสูงในพื้นที่ของเทศบาลตำบลพิมาย โดยโลหะหนักที่พบความเข้มข้นสูง ได้แก่ Mn Cu Zn Cd และ Pb โดยชุมชนนี้มีลักษณะเป็นชุมชนเมืองขนาดเล็กและมีแหล่งท่องเที่ยวทางโบราณสถาน และอีกชุมชนที่พบความเข้มข้นของโลหะหนักค่อนข้างสูงคือเทศบาลตำบลกระเซ้หิน อันได้แก่ Fe Zn และ As ซึ่งลักษณะชุมชนจะเป็นแบบชนบท แต่มีปัญหาเรื่องสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่ คือ โรงงานน้ำตาลครบุรี ซึ่งมีกำลังการผลิตประมาณ 21,000 ตันต่อวัน สำหรับชุมชนที่พบความเข้มข้นค่อนข้างต่ำคือตำบลสุรนารี ในส่วนของชุมชนเทศบาลนครนครราชสีมา มีโลหะหนักหลายชนิดที่พบค่าความเข้มข้นค่อนข้างต่ำ ได้แก่ Mn Fe และ As แต่พบความเข้มข้นของ Cr ที่ค่อนข้างสูง

จากผลการวิเคราะห์โลหะหนักของฝุ่น Dustfall จะเห็นว่าค่าความเข้มข้นโดยส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่าของฝุ่นหลังคา ซึ่งในการหาความเข้มข้นของฝุ่น Dustfall สามารถพบความเข้มข้นของ Hg ได้ และค่าความเข้มข้นที่ค่อนข้างจะมีค่าสูงกว่าของฝุ่นหลังคาที่เห็นได้ชัดคือ Zn และ Pb โดยพบความเข้มข้นของโลหะหนักที่สูงที่สุดในชุมชนของเทศบาลนคร คือ Cr กับ Cd เทศบาลตำบลกระเซ้หินพบ Mn ไทยสามัคคี Fe และ As และในส่วนของสุรนารีพบ Cu และ Hg

สูงที่สุด โดยที่พบความเข้มข้นต่ำในพื้นที่ของค่านชุมชน ที่มีลักษณะเป็นชุมชนเมืองขนาดเล็ก และมีการทำเกษตรกรรม

หากเปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะหนักจากตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดจะเห็นได้ว่า ความเข้มข้นของฝุ่น Dustfall มีค่าความเข้มข้นสูงที่สุด โดยโลหะหนักที่ค่อนข้างมีค่าสูงและแตกต่างกันเห็นได้ชัดเจนคือ Zn และ Pb ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับของดินและฝุ่นหลังคาแล้วพบว่าแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ทั้งนี้จากการทบทวนตรวจสอบข้อมูล ไม่พบสาเหตุที่ชัดเจนของความแตกต่างดังกล่าว จึงสรุปว่ามีความเป็นไปได้ 2 กรณี คือ ตัวกลางทั้งสองชนิดมีความแตกต่างกันมากจริงตามที่พบ หรืออาจเกิดความคลาดเคลื่อนในขั้นตอนการวิเคราะห์ที่อยู่นอกเหนือการควบคุม เนื่องจากตัวอย่างฝุ่น Dustfall ที่เก็บได้ต้องทำการอบเพื่อระเหยให้แห้ง ซึ่งตัวอย่างที่วิเคราะห์นั้นมีผู้ใช้ร่วมกันค่อนข้างหลากหลาย จึงมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนจากการปนเปื้อนภายในตัวอย่างได้ สำหรับค่าความเข้มข้นของ Hg ที่ไม่สามารถตรวจพบได้ในทั้งดินและฝุ่นหลังคา (พบเพียงชุมชนเทศบาลนครฯ) ก็อาจจะมีการปนเปื้อนจากสาเหตุเดียวกัน หรือเมื่อพิจารณาถึงรูปแบบของการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดแล้วจะเห็นว่าลักษณะการเก็บตัวอย่างมีข้อแตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน คือการฝุ่นหลังคานั้นทำการเก็บตัวอย่างเพียงครั้งเดียว เปรียบเสมือนการเก็บตัวอย่างแบบ Grab แต่ฝุ่น Dustfall การเก็บตัวอย่างใช้เวลาในการเก็บและสะสมตัวอย่างนานหลายเดือน ซึ่งเป็นการเก็บตัวอย่างแบบ Composite และอีกปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อผลความเข้มข้นของโลหะหนักของฝุ่นทั้ง 2 ชนิด คือการชะของน้ำฝน ซึ่งโดยลักษณะของฝุ่นหลังคาที่ทำการเก็บนั้นจะเก็บบริเวณพื้นที่กลางแจ้ง ไม่มีที่กำบังทำให้น้ำฝนสามารถชะเอาฝุ่นและโลหะหนักในบางส่วนออกไปได้ แต่ในฝุ่น Dustfall จะมีชุดอุปกรณ์ป้องกันน้ำฝนซึ่งสามารถที่จะป้องกันไม่ให้มีการสูญเสียตัวอย่างฝุ่นออกจากระบอบเก็บได้ (Titiphat Hirunkam and Sudjit Karuchit, 2013)

ในส่วนของฝุ่นหลังคาและดินนั้นค่าความเข้มข้นของโลหะหนักหลายชนิดที่พบมีค่าใกล้เคียงกัน หรือแตกต่างกันไม่มาก ได้แก่ As Cd Pb Fe และ Cr (ยกเว้น Cr ของเทศบาลนครฯ) ซึ่งอาจสันนิษฐานได้ว่าตัวอย่างจากฝุ่นหลังคา มีความเกี่ยวข้องหรือในบางส่วนของตัวอย่างเองมีส่วนผสมปะปนขึ้นมาจากตัวอย่างดิน กล่าวคือส่วนผสมของฝุ่นหลังคาจะประกอบไปด้วยฝุ่นที่อาจจะพัดปลิวขึ้นมาจากดินและฝุ่นที่เป็นละอองอนุภาคในอากาศที่สามารถตกลงมาเกาะติดในบริเวณหลังคาได้ ซึ่งโดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นทั้ง 3 ชนิด สามารถเรียงเรียงลำดับความเข้มข้นของโลหะหนักจากมากไปน้อย คือ ฝุ่น Dustfall ฝุ่นหลังคา และดิน ตามลำดับ

สำหรับความสัมพันธ์ของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ของฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ ใน 10 ชุมชน สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟทดสอบนัยสำคัญของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) โดยที่มีสมมติฐานทางสถิติดังนี้

$$H_0: \rho = 0 \quad (\text{ไม่มีความสัมพันธ์กัน}) \quad (4.1)$$

$$H_A: \rho \neq 0 \quad (\text{มีความสัมพันธ์กัน}) \quad (4.2)$$

โดยใช้ระดับนัยสำคัญทางสถิติ (α) เท่ากับ 0.05 ในการทดสอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS สามารถพิจารณาผลสรุปของการทดสอบจากค่า Sig. (2-tailed) ดังนี้

$$\text{แบบที่ 1 Sig. (2-tailed)} > \alpha \quad \text{แสดงว่ายอมรับสมมติฐาน } H_0 \quad (4.3)$$

$$\text{แบบที่ 2 Sig. (2-tailed)} < \alpha \quad \text{แสดงว่ายอมรับสมมติฐาน } H_A \quad (4.4)$$

โดยผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักจากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ได้จากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ

โลหะหนัก	สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	Sig. (2-tailed)	ข้อสรุป
Cr	0.948	0.000	ยอมรับ H_A
Mn	-0.181	0.616	ยอมรับ H_0
Fe	0.320	0.367	ยอมรับ H_0
Cu	-0.176	0.627	ยอมรับ H_0
Zn	-0.270	0.451	ยอมรับ H_0
As	-0.360	0.921	ยอมรับ H_0
Cd	0.459	0.182	ยอมรับ H_0
Hg	0.039	0.916	ยอมรับ H_0
Pb	0.702	0.024	ยอมรับ H_A

สำหรับความสัมพันธ์ของโลหะหนักแต่ละชนิดที่ได้จากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ พบว่าส่วนใหญ่ยอมรับสมมติฐาน H_0 คือ ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีเพียงโลหะหนักที่พบความสัมพันธ์กันมีค่าสูงและมีทิศทางเป็นบวกคือ Cr และ Pb ที่ยอมรับสมมติฐาน H_A นั่นคือ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จึงอาจกล่าวได้ว่าข้อมูลของโลหะหนักที่ได้จากฝุ่นทั้ง 2 ส่วนใหญ่ไม่มีความสอดคล้องกัน

สำหรับการพิจารณาสมมติฐานของงานวิจัยที่ว่าฝุ่นจากหลังคาและฝุ่น Dustfall ให้ผลข้อมูลโลหะหนักใกล้เคียงกันและสามารถใช้ทดแทนกันได้นั้น เลือกลงจะใช้การทดสอบสมมติฐานทางสถิติ คือ Paired t-test ในการทดสอบ โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \mu_{Roof} = \mu_{Dustfall} \quad (4.5)$$

$$H_A : \mu_{Roof} \neq \mu_{Dustfall} \quad (4.6)$$

โดยที่ μ_{Roof} คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้จากฝุ่นหลังคา
 $\mu_{Dustfall}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความเข้มข้นโลหะหนักที่ได้จากฝุ่น Dustfall

ผลการวิเคราะห์ Paired t-test เปรียบเทียบโลหะหนักจากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบ Paired t-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นโลหะหนักแต่ละชนิดที่ได้จากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ

โลหะหนัก	ฝุ่นหลังคา		ฝุ่น Dustfall		Sig.(2-tailed)	ข้อสรุป
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน		
Cr	113.5	240.66	78.56	64.50	0.556	ยอมรับ H_0
Mn	262.44	144.40	620.96	200.94	0.017	ยอมรับ H_A
Fe	13058.89	7622.07	11528.47	6480.57	0.573	ยอมรับ H_0
Cu	30.51	47.24	96.99	57.01	0.021	ยอมรับ H_A
Zn	124.63	145.68	781.93	294.21	0.000	ยอมรับ H_A
As	2.46	1.15	4.48	0.68	0.001	ยอมรับ H_A
Cd	0.24	0.23	1.42	0.68	0.000	ยอมรับ H_A
Hg	0.008	0.025	8.80	6.51	0.002	ยอมรับ H_A
Pb	15.95	15.95	1126.62	470.70	0.000	ยอมรับ H_A

จากตารางสรุปผล Paired t-test ของโลหะหนักจากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ พบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วยอมรับ H_A นั่นคือค่าเฉลี่ยของโลหะหนักที่ได้จากฝุ่นทั้ง 2 ชนิด แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีโลหะหนักเพียง 2 ชนิดเท่านั้นที่ยอมรับ H_0 คือ Cr กับ Fe ซึ่งแสดงว่าค่าเฉลี่ยของโลหะหนักที่ได้จากฝุ่นทั้ง 2 ชนิด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังนั้นจากผลการทดสอบ Paired t-test จึงสรุปได้ว่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ได้จากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ มีความแตกต่างกันและไม่สามารถนำมาใช้แทนกันได้

4.2 ค่า Enrichment Factor ของโลหะหนักจากฝุ่น

ผลการคำนวณค่า Enrichment Factor แสดงดังตารางที่ 4.6 โดยแสดงตัวอย่างการหาค่า EF ของ Cr จากฝุ่นหลังคาของเทศบาลนคร ใช้ Fe เป็นธาตุอ้างอิง ดังต่อไปนี้ ค่าความเข้มข้นของ Cr ในฝุ่นหลังคาของเทศบาลนครเท่ากับ 797.23 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ Fe จากฝุ่นหลังคาของเทศบาลนครได้ความเข้มข้นเท่ากับ 3,024.40 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ในส่วนของดินค่าความเข้มข้นที่ได้ของ Cr เท่ากับ 15.11 มิลลิกรัม/กิโลกรัม และ Fe เท่ากับ 6,066.22 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เมื่อแทนค่าในการคำนวณค่า EF แล้วจะได้ดังนี้

$$EF(Cr) = \frac{\left(\frac{797.23}{3024.40}\right)_{\text{dust}}}{\left(\frac{15.11}{6066.22}\right)_{\text{crust}}} \quad (4.7)$$

จะได้ค่า $EF_{(Cr)} = 105.82$

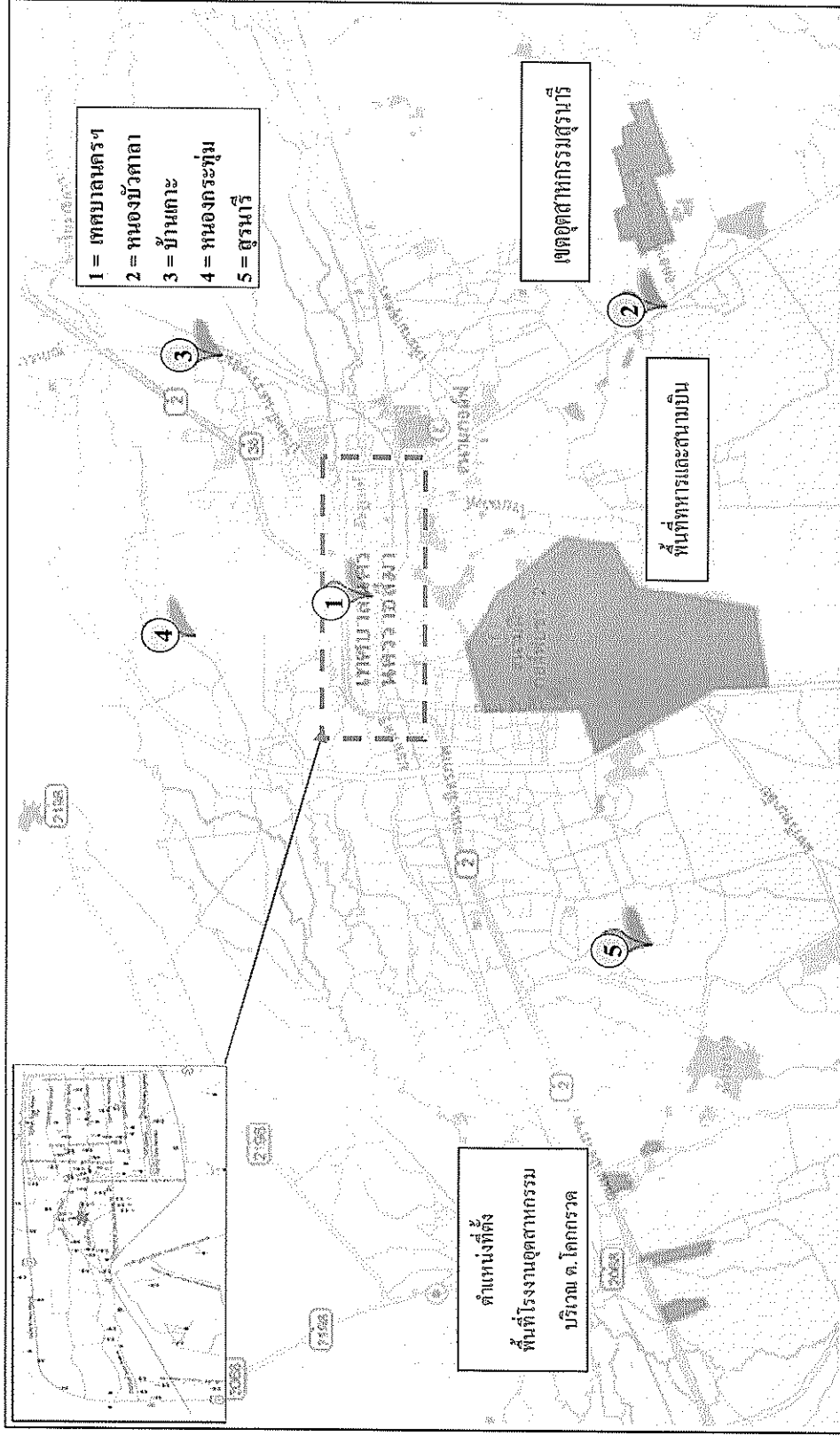
ในการคำนวณในส่วนของ Crust จะใช้ค่าความเข้มข้นที่ได้จากดินของแต่ละชุมชนมาแทนค่าในการคำนวณ ยกเว้นในส่วนของ Cu ที่ในดินพบความเข้มข้นเพียงบางชุมชนเท่านั้น ในที่นี้จะใช้ค่าเฉลี่ยแทนความเข้มข้นของชุมชนที่ไม่พบค่าความเข้มข้นของ Cu ในดิน ทั้งนี้ผลการคำนวณค่า EF แสดงดังตารางที่ 4.6 มีการบ่งชี้ค่าที่สูงกว่า 10 โดยการขีดเส้นใต้ไว้ โดยอ้างอิงจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาของ Meza-Figuerou et al และ Joshi et al ซึ่งระบุว่าหากค่า $EF > 10$ แล้ว โลหะหนักที่พบในฝุ่นนี้มีแนวโน้มที่จะมาจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์เป็นหลัก

ตารางที่ 4.6 ค่า Enrichment Factor ของฝุ่นหัตถ์ตา และฝุ่น Dustfall

ชุมชน	Cr		Mn		Cu		Zn		As		Cd		Pb	
	ฝุ่นหัตถ์ตา	Dustfall	ฝุ่นหัตถ์ตา	Dustfall	ฝุ่นหัตถ์ตา	Dustfall	ฝุ่นหัตถ์ตา	Dustfall	ฝุ่นหัตถ์ตา	Dustfall	ฝุ่นหัตถ์ตา	Dustfall	ฝุ่นหัตถ์ตา	Dustfall
เทศบาล	<u>105.82</u>	<u>11.05</u>	0.47	2.14	<u>11.21</u>	<u>36.02</u>	3.09	<u>25.27</u>	0.00329	0.00840	4.19	<u>14.82</u>	1.08	<u>47.50</u>
หนองบัวศาลา	0.59	0.97	0.68	2.28	1.75	<u>22.03</u>	5.62	<u>17.15</u>	0.00162	0.00355	0.80	5.74	1.81	<u>186.31</u>
บ้านเกาะ	1.90	1.64	1.78	3.36	6.55	<u>20.50</u>	6.04	<u>21.13</u>	0.00143	0.00285	1.48	7.81	1.46	<u>95.02</u>
หนองกระทุ่ม	1.76	4.88	1.25	3.16	3.78	<u>55.75</u>	1.67	<u>113.12</u>	0.00090	0.00268	2.34	<u>41.96</u>	1.04	<u>271.54</u>
สุรนารี	0.86	2.01	2.57	6.46	0.83	<u>38.99</u>	0.75	<u>303.17</u>	0.00057	0.00126	0.55	<u>20.41</u>	0.75	<u>269.35</u>
พิมาย	0.90	4.42	2.12	5.21	<u>54.16</u>	<u>39.32</u>	<u>16.14</u>	<u>71.90</u>	0.00130	0.00334	9.55	<u>46.07</u>	4.55	<u>250.40</u>
ปากช่อง	1.85	4.69	0.79	4.00	4.06	<u>69.31</u>	2.79	<u>196.73</u>	0.00140	0.00651	2.79	<u>53.95</u>	1.83	<u>441.16</u>
ด่านขุนทด	1.01	2.03	1.00	3.21	**	<u>13.29</u>	2.71	<u>37.74</u>	0.00156	0.00272	1.62	3.87	2.18	<u>75.63</u>
กระเซิง	0.59	1.08	0.40	1.43	2.41	9.19	<u>13.92</u>	<u>33.61</u>	0.00075	0.00085	0.54	4.67	0.96	<u>72.37</u>
ไทยสามัคคี	1.33	1.22	0.86	2.30	6.63	<u>13.07</u>	1.19	<u>32.55</u>	0.00109	0.00179	2.42	4.11	0.99	<u>50.33</u>

*ค่าที่ขีดเส้นใต้คือค่า EF>10 ซึ่งแสดงแนวโน้มของแหล่งที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์

**ค่าที่ต่ำกว่าขอบเขตการตรวจพบ (Detection Limit)



รูปที่ 4.4 ชุมชนที่ศึกษาภายในเขตอำเภอเมืองนครราชสีมา จำนวน 5 ชุมชน และแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ

จากการเปรียบเทียบค่า Enrichment Factor ของโลหะหนักที่ได้จากฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall โดยทั้งนี้สามารถหาค่า EF ของโลหะหนักทั้ง 10 ชนิดออกมาได้ 7 ชนิด (ไม่สามารถหาในส่วนของ Hg ได้เนื่องจากการที่ไม่สามารถพบความเข้มข้นของ Hg ในตัวอย่างดินและฝุ่นหลังคา จึงทำให้ไม่สามารถที่จะคำนวณค่า EF ออกมาได้) พบว่าค่า EF ของ Pb ที่ได้จากฝุ่น Dustfall มีค่าค่อนข้างสูงมาก โดยเห็นได้อย่างชัดเจนเนื่องจากความเข้มข้นที่พบระหว่างการเก็บตัวอย่างทั้ง 2 รูปแบบ มีค่าต่างกันค่อนข้างมาก สำหรับค่า EF ของ Cu ก็มีค่าสูงในฝุ่น Dustfall เช่นกัน โดยมีข้อสังเกตคือ ในการคำนวณจะใช้ค่าเฉลี่ยของดินที่พบค่า Cu เพียง 2 ชุมชนมาเป็นค่าใช้แทนความเข้มข้นในดินของชุมชนอื่น ๆ ที่เหลือ ที่ไม่สามารถหาค่าความเข้มข้นของ Cu ออกมาได้ สำหรับค่า EF ที่พบค่อนข้างต่ำจะเป็นในส่วนของ Mn As และ Cr ยกเว้นในส่วนของ Cr ที่เก็บได้จากเทศบาลนครนครราชสีมาที่พบว่ามีค่าสูง

เมื่อมองในด้านจำนวนของโลหะหนักที่มีค่า EF เกิน 10 โดยแยกพิจารณาเป็นแต่ละชุมชน จะเห็นได้ว่าชุมชนที่พบโลหะหนักที่มีค่า EF เกิน 10 หลายชนิด ได้แก่ เทศบาลนครฯ พิมาย หนองกระทุ่ม สุรนารีและปากช่อง โดยในส่วนของเทศบาลนครฯ นั้น พบว่า ค่า EF มีค่าสูงกว่า 10 ในโลหะหนักถึง 5 ใน 7 ชนิด ได้แก่ Cr Cu Zn Cd และ Pb และอีก 4 ชุมชนโดยรอบเขตเทศบาลนครฯ ก็พบในลักษณะคล้ายกัน ยกเว้น Cr ที่ได้ค่า EF ต่ำกว่า 10 สำหรับกลุ่มที่ได้ค่า EF ออกมาในลักษณะที่ใกล้เคียงหรือคล้ายคลึงกันคือ กลุ่มชุมชนที่อยู่โดยรอบเทศบาลนครฯ อันได้แก่ หนองบัวศาลา บ้านเกาะ และหนองกระทุ่ม ในกลุ่มนี้ได้ค่า EF ที่สูงในส่วนของ Cu Zn และ Pb ที่ได้จากฝุ่น Dustfall อีกหนึ่งกลุ่มที่ค่า EF ใกล้เคียงกันคือกลุ่มที่อยู่ในส่วนของต่างอำเภอ ได้แก่ ปากช่อง ด่านขุนทด จระเข้หิน และไทยสามัคคี ซึ่งพบค่า EF ที่สูงในส่วนของ Cu Zn และ Pb จากฝุ่น Dustfall แต่หากมองในส่วนของฝุ่นหลังคา ค่า EF ที่ได้ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4.4 ในเชิงของพื้นที่จะเห็นว่าชุมชนของเทศบาลนครฯ และบริเวณโดยรอบประกอบไปด้วยแหล่งที่ก่อกำเนิดมลพิษอากาศได้หลากหลายกิจกรรม ไม่ว่าจะเป็นที่พักอาศัย ย่านการค้า อุตสาหกรรม เกษตรกรรม สนามบิน รวมทั้งถนนสายหลัก ถนนสายรอง ตรอกหรือซอยอีกหลายสาย ทั้งนี้จากการสำรวจข้อมูลในปี 2553 พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของเขตเทศบาลนครฯ จะเป็นพื้นที่พักอาศัยและย่านการค้าเกือบทั้งหมด และจากข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมดในจังหวัดนครราชสีมาพบว่ามีจำนวนทั้งหมด 2,275 โรงงาน และอยู่ในเขตเทศบาลนครถึง 225 โรงงาน (สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครราชสีมา, 2553) ซึ่งคิดเป็นประมาณร้อยละ 10 ของโรงงานทั้งหมดทั่วทั้งจังหวัด โดยที่ประเภทของโรงงานทั้งหมดในเขตเทศบาลแบ่งได้ตามตารางที่ 4.7 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.7 ประเภทและจำนวนของโรงงานอุตสาหกรรมในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา
ที่มา : สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดนครราชสีมา (2553)

ประเภทของโรงงาน	จำนวน
โรงงานซ่อมแซมและเคาะฟันสิริรถยนต์	60
โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์โลหะ	31
โรงงานประกอบหรือตัดแปลงชิ้นส่วนสำหรับรถยนต์	20
โรงงานผลิต ประกอบ ตัดแปลงหรือซ่อมแซมเครื่องยนต์ เครื่องจักรและอุปกรณ์อื่น ๆ	20
โรงงานผลิตอาหารและเครื่องดื่ม	28
โรงงานผลิตเกี่ยวกับ ไม้ผลิตภัณฑ์จากไม้ และเครื่องเรือน	19
โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการพิมพ์	8
โรงงานอื่น ๆ	39
รวม	225

จากข้อมูลจะเห็นว่าเกินกว่าครึ่งของ โรงงานที่ตั้งอยู่ในเขตเทศบาลนครฯ ส่วนใหญ่จะเป็นงานเกี่ยวกับยานยนต์ เครื่องจักร ซึ่งในกระบวนการผลิตหรือขั้นตอนต่าง ๆ ล้วนแล้วแต่เกี่ยวข้องกับโลหะแทบทั้งสิ้น หรือแม้แต่อุตสาหกรรมอื่น ๆ ก็มีสารจำพวก โลหะหนักปะปนในกระบวนการต่าง ๆ ตัวอย่าง เช่น การพ่นสี ที่ในส่วนผสมของสีจะมีโลหะหนักผสมอยู่หลายชนิด ไม่ว่าจะเป็น Pb As Cr และ Hg หรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับโลหะที่สามารถพบโลหะหนักในการศึกษารั้วนี้ได้ทุกชนิด ตัวอย่างเช่นการทำโลหะผสม (อัลลอย) ที่มีส่วนผสมของ Cu Mn Cd และ Zn รวมทั้งในอุตสาหกรรมการพิมพ์ ในหมึกพิมพ์ก็มีโลหะหนักเหล่านี้เป็นส่วนผสมอยู่ด้วยเช่นกัน

จากการสำรวจเส้นทางจราจร พบว่าภายในเขตเทศบาลนครฯ ประกอบไปด้วยถนนหลัก 5 สาย ถนนรองสำคัญ 31 สาย ถนนรองทั่วไป 7 สาย ถนนสายย่อยและตรอก ซอยต่าง ๆ อีก 266 สาย ทั้งนี้จากผลสำรวจจากการนับจำนวนรถที่สัญจรในเขตเทศบาลและคำนวณอัตราการปล่อยมลพิษอากาศจากยานพาหนะพบว่าได้ปริมาณสารมลพิษต่าง ๆ ได้แก่ HC (2,737), NO_x (8,216), SO₂ (214), CO (13,429), PM (569) และ CO₂ (386,682) โดยมีปริมาณการปล่อยมลพิษ เป็น ตัน/ปี และจากการศึกษาปริมาณการปล่อยมลพิษอากาศจากยานพาหนะพบว่าปริมาณของ PM ที่เกิดจากยานพาหนะจำแนกประเภทเรียงจากมากไปน้อยได้ดังนี้ รถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ (377.18) รถยนต์เบนซิน (89.50) รถจักรยานยนต์ (63.18) และรถยนต์ดีเซลขนาดเล็ก (38.82) โดยเมื่อรวมปริมาณการปล่อย PM ทั้งหมดแล้วได้ปริมาณถึง 568.69 ตัน/ปี (สฤกษ์ดี โคตุละ และคณะ, 2554)

นอกจากข้อมูลของโรงงานอุตสาหกรรมและเส้นถนนแล้ว ภายในพื้นที่เทศบาลนครฯ ยังมีอีกหลายสถานที่ หลายกิจกรรมที่อาจก่อให้เกิดมลพิษจำพวก โลหะหนักได้ ไม่ว่าจะเป็นที่พักอาศัย ย่านการค้าซึ่งหากมีการใช้ผลิตภัณฑ์จำพวกสเปรย์ก็มีส่วนที่อาจจะปล่อยละอองของโลหะหนักประเภท Pb Cd As Zn Mn และ Hg ขึ้นได้ สำหรับวัดที่มีการเผาศพก็สามารถพบโลหะหนักจำพวก Pb Cd และ Hg หรือการเผาเศษวัสดุต่าง ๆ ในที่โล่ง หากมีการเผาขยะที่เป็นพลาสติก ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นแหล่งกำเนิดของโลหะหนักในเขตเทศบาลนครฯ ทั้งสิ้น

นอกจากแหล่งกำเนิดมลพิษภายในพื้นที่เขตเทศบาลแล้ว โดยรอบของเขตเทศบาลยังประกอบไปด้วยเขตอุตสาหกรรม และ โรงงานจำนวนมากที่ตั้งอยู่โดยรอบ อันได้แก่ เขตอุตสาหกรรม และ โรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ในบริเวณตำบลหนองบัวศาลา และ โรงงานที่ตั้งอยู่ตามแนวถนนมิตรภาพบริเวณตำบลโคกกรวดและเขตของอำเภอสูงเนิน (รูปที่ 4.4) ซึ่ง โรงงานจำนวนมากเป็นโรงงานผลิตชิ้นส่วนโลหะและ โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ จึงมักพบโลหะหนักเป็นส่วนผสมหรือเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิต ตัวอย่างเช่น Mn ที่ใช้ในงานเชื่อม Pb ที่ใช้ในการบัดกรี หรือ Zn และ Cr ที่ใช้ในการฉาบเคลือบ เป็นต้น โดยถือเป็นแหล่งกำเนิดที่มีความน่าสนใจอีกจุด ซึ่งเมื่อพิจารณาลักษณะภูมิอากาศและทิศทางลมจะพบว่าในช่วงของลมฤดูฝน (เมษายน-มิถุนายน) ทิศทางของลมจะพัดจากตะวันตกเฉียงใต้ และเปลี่ยนไปพัดในทิศตะวันตก (กรกฎาคม-กันยายน) จะเห็นว่าจุดที่ตั้งของโรงงานที่อยู่ในบริเวณของตำบลโคกกรวดอาจจะมีการนำพามลพิษเข้ามาสู่ในเมืองได้ แหล่งที่มาเหล่านี้จึงอาจมีความเกี่ยวข้องกับแหล่งที่มาของโลหะหนักที่พบ ภายในเขตเทศบาล และชุมชนโดยรอบ ในพื้นที่ของอำเภอเมืองนครราชสีมา ซึ่งสำหรับการเก็บตัวอย่างดินและฝุ่นหลังคาช่วงเวลาที่ทำกรเก็บตัวอย่างก็อยู่ในช่วงทิศทางลมเริ่มมีการผลัดเปลี่ยน (พฤษภาคม-สิงหาคม) โดยในส่วนของฝุ่น Dustfall นั้นทำการเก็บตัวอย่างทุก ๆ เดือน (เริ่มตั้งแต่กุมภาพันธ์-พฤศจิกายน)

หากจะแยกระบุว่าโลหะหนักแต่ละชนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์โดยใช้เกณฑ์ค่า $EF > 10$ จะได้ว่า Cr ที่พบมีเพียงในส่วนของเทศบาลนครเท่านั้นที่มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ในส่วนของ Mn และ As ของทุก ๆ ชุมชน ไม่ได้มีหลักฐานแสดงความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ (ค่า EF ต่ำมาก) และยักรวมไปถึง Pb จากฝุ่นหลังคาอีกด้วย สำหรับ Cu Zn และ Pb ค่า EF จากฝุ่น Dustfall มีค่าสูงมากจึงระบุได้ว่ามาจากกิจกรรมของมนุษย์ และในส่วนของฝุ่นหลังคาของ Cu และ Zn พบว่าบางชุมชนที่พบค่า EF สูง นั่นคือ Cu ของเทศบาลนครฯ และพิมาย สำหรับ Cd ค่า EF จากฝุ่น Dustfall มีค่าสูงในส่วนของชุมชน เทศบาลนครฯ หนองกระทุ่ม สุรนารี พิมาย และปากช่อง อีกทั้งยังมีนัยสำคัญในชุมชนอื่น ๆ ยกเว้น ไทยสามัคคีที่มีค่าต่ำ

4.3 ผลการวิเคราะห์ Principle component analysis และ Cluster analysis

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ Principle component analysis ของฝุ่นหลังคา

จากการวิเคราะห์ Principle component analysis ของฝุ่นหลังคา แสดงผลความสัมพันธ์ Correlation Matrix และค่า one-tailed Significance ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ในแบบ Correlation Matrix ของโลหะหนัก 9 ชนิดจากฝุ่นหลังคา

		Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
Correlation	Cr	1.000	-.498	-.415	-.068	-.160	-.536	.005	.998	-.118
	Mn	-.498	1.000	.702	.461	.492	.923	.388	-.536	.485
	Fe	-.415	.702	1.000	.195	.823	.810	.166	-.463	.491
	Cu	-.068	.461	.195	1.000	.417	.313	.993	-.078	.894
	Zn	-.160	.492	.823	.417	1.000	.569	.397	-.200	.687
	As	-.536	.923	.810	.313	.569	1.000	.240	-.574	.407
	Cd	.005	.388	.166	.993	.397	.240	1.000	-.005	.898
	Hg	.998	-.536	-.463	-.078	-.200	-.574	-.005	1.000	-.142
	Pb	-.118	.485	.491	.894	.687	.407	.898	-.142	1.000
Sig. (1-tailed)	Cr		.072	.117	.426	.329	.055	.495	.000	.373
	Mn	.072		.012	.090	.074	.000	.134	.055	.077
	Fe	.117	.012		.294	.002	.002	.323	.089	.075
	Cu	.426	.090	.294		.115	.189	.000	.415	.000
	Zn	.329	.074	.002	.115		.043	.128	.290	.014
	As	.055	.000	.002	.189	.043		.252	.041	.122
	Cd	.495	.134	.323	.000	.128	.252		.495	.000
	Hg	.000	.055	.089	.415	.290	.041	.495		.347
	Pb	.373	.077	.075	.000	.014	.122	.000	.347	

จากการใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์ PCA ของฝุ่นหลังคา โดยให้ค่า Missing ที่ไม่พบแทนค่าเป็น 0 จะได้ความสัมพันธ์ในแบบ Correlation Matrix พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Cr กับ Hg มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด (0.992) รองลงมาคือ Cd กับ Cu (0.993) และ Mn กับ As (0.923) ทั้งนี้หากมองในแบบกลุ่มที่มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างชัดเจนคือ Fe Zn Mn และ As อีกหนึ่งความสัมพันธ์ที่มีความสัมพันธ์กันมากคือ Cd Cu และ Pb

หากพิจารณาที่ค่า Eigenvalues ดังตารางที่ 4.9 พบว่าค่าที่มากกว่า 1 จะได้ปัจจัยออกมาทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยที่สามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ 92.011% ในปัจจัยที่ 1 ได้ค่า Eigenvalues เท่ากับ 4.766 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 52.956% ปัจจัยที่ 2 ค่า Eigenvalues เท่ากับ 2.395 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 26.610% และปัจจัยที่ 3 ได้ค่า Eigenvalues เท่ากับ 1.120 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 12.446% และหากทำการหมุนแกนซึ่งทำให้ค่า Factor loading เปลี่ยนแปลงจะพบว่าค่า ค่า Eigenvalues และ % of Variance ของปัจจัยที่ 1 จะลดลง แต่จะมาเพิ่มในปัจจัยที่ 2 และ 3 โดยที่ยังสามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ 92.011% เช่นเดิม ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ค่า Eigenvalues ของปัจจัยที่ 1 เท่ากับ 2.953 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 32.810% โดยที่ในปัจจัยที่ 2 และ 3 จะได้ค่า Eigenvalues เพิ่มขึ้นเป็น 2.882 และ 2.446 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 32.021% และ 27.181% ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 ค่า Eigenvalues ที่ได้จาก PCA

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4.766	52.956	52.956	4.766	52.956	52.956	2.953	32.810	32.810
2	2.395	26.610	79.565	2.395	26.610	79.565	2.882	32.021	64.831
3	1.120	12.446	92.011	1.120	12.446	92.011	2.446	27.181	92.011
4	.558	6.197	98.209						
5	.082	.906	99.114						
6	.052	.580	99.695						
7	.027	.299	99.994						
8	.000	.005	99.999						
9	.000	.001	100.000						

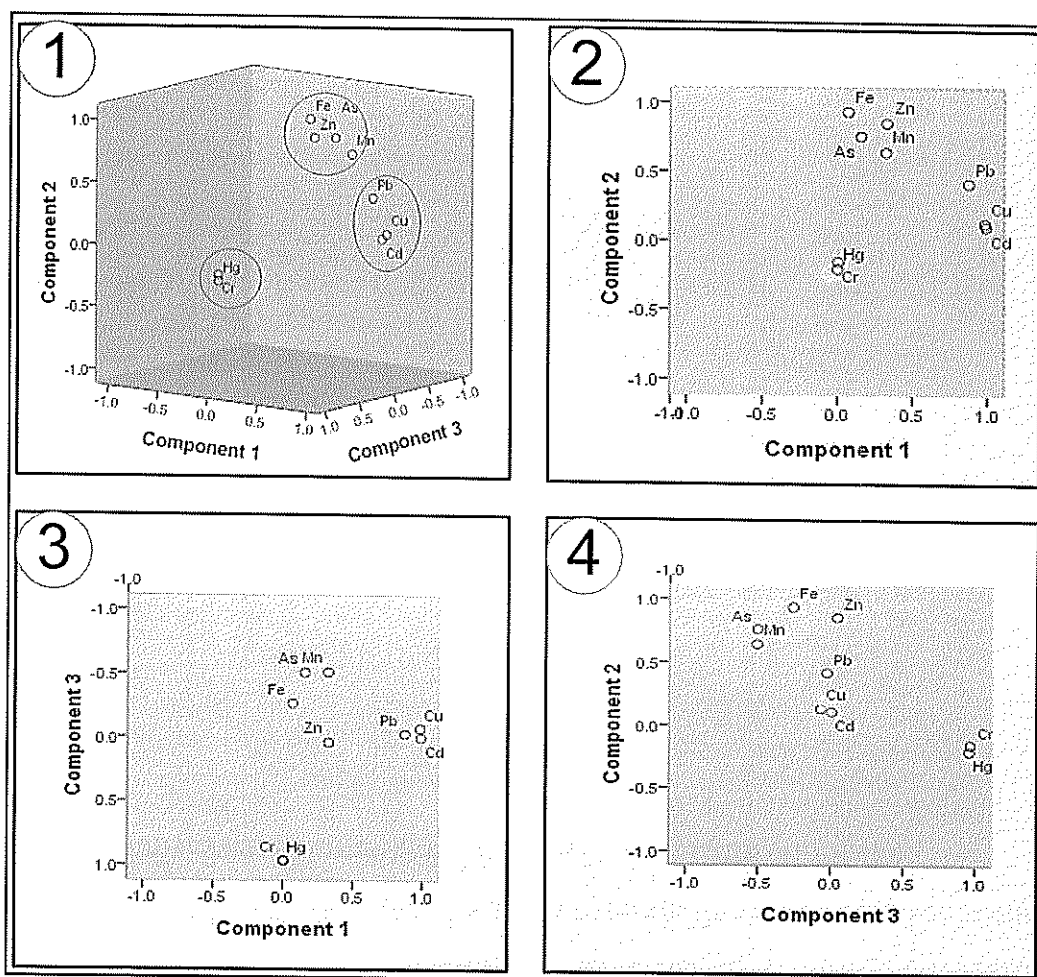
หากพิจารณาจากค่า Factor loading ในตารางที่ 4.10 ก่อนการหมุนแกน (Component Matrix) จะเห็นว่าสำหรับโลหะหนักทุกชนิดจะมีค่าค่อนข้างสูงในปัจจัยที่ 1 (โดยทั้งนี้ ให้แสดงค่า >0.5) และมีบางส่วนที่มีค่าสูงในปัจจัยที่ 2 ได้แก่ Cd Hg และ Cr แต่เมื่อทำการหมุนแกน (Rotated Component Matrix) จะพบว่าสามารถจัดแยกโลหะหนักจากค่า Factor loading ออกมาให้อยู่ในทั้ง 3 ปัจจัย ซึ่งค่าที่ได้ค่อนข้างสูงในแต่ละปัจจัย ซึ่งเป็นการบอกถึงสถานะความเหมาะสมของโลหะหนักแต่ละชนิดว่าควรอยู่ในปัจจัยใด โดยแยกออกมาได้ดังต่อไปนี้

- ปัจจัยที่ 1 ประกอบไปด้วย Cd Cu และ Pb
- ปัจจัยที่ 2 ประกอบไปด้วย Fe Zn As และ Mn
- ปัจจัยที่ 3 ประกอบไปด้วย Cr และ Hg

โดยค่าที่ Factor loading ของในแต่ละ component หลังจากการหมุนแกน เมื่อนำมาพล็อตจะได้ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของโลหะหนักจากฝุ่นหลังคาที่ได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

ตารางที่ 4.10 ค่า Factor loading ก่อนและหลังการหมุนแกนแบบ Varimax

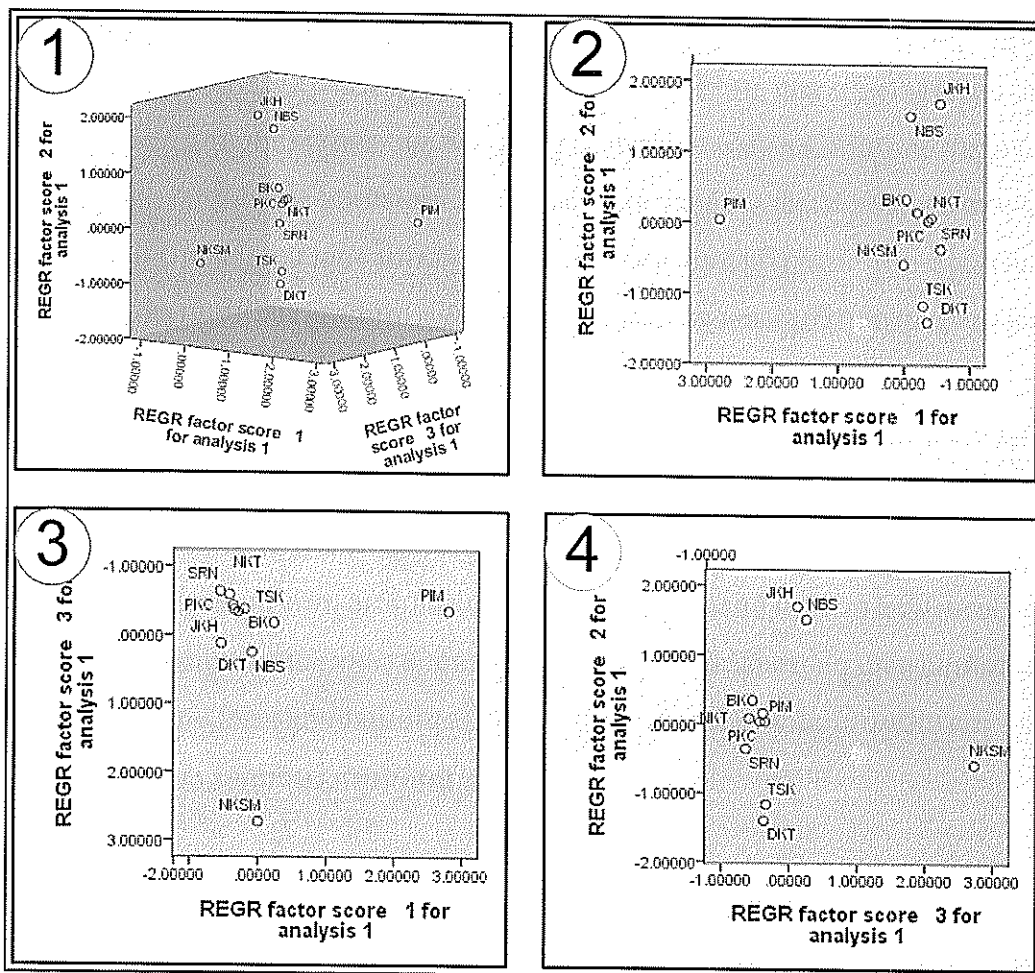
	Component Matrix ^a				Rotated Component Matrix ^a		
	1	2	3		1	2	3
Mn	0.858			Cd	0.992		
As	0.844			Cu	0.984		
Fe	0.803			Pb	0.873		
Pb	0.792	0.556		Fe		0.937	
Zn	0.754		0.509	Zn		0.86	
Cu	0.675	0.654		As		0.761	-0.505
Cd	0.624	0.715		Mn		0.645	-0.509
Hg	-0.578	0.671		Cr			0.967
Cr	-0.544	0.671		Hg			0.96



รูปที่ 4.5 ค่า Factor loading ของโลหะหนักจากฝุ่นหลังคาหลังจากการหมุนแกน

- (1) โลหะหนักจากฝุ่นหลังคาที่ใช้ค่า Factor loading แทนค่าในทั้ง 3 ปัจจัย
- (2) Factor loading ของโลหะหนักระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 2
- (3) Factor loading ของโลหะหนักระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 3
- (4) Factor loading ของโลหะหนักระหว่างปัจจัยที่ 2 และ 3

จากรูป 4.5 (1) แสดงโลหะหนักจากฝุ่นหลังคาที่ใช้ค่า Factor loading หลังจากการหมุนแกน พล็อตแทนค่าในทั้ง 3 ปัจจัย ได้ลักษณะความสัมพันธ์กันแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม และรูปที่ 4.5 (2) แสดงค่า Factor loading ของโลหะหนักในปัจจัยที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าจำแนกกลุ่มโลหะหนักออกเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มแรกคือกลุ่มที่มีค่าสูงในปัจจัยที่ 1 นั่นคือ Cd Cu และ Pb และกลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่มีค่าสูงในปัจจัยที่ 2 ได้แก่ Fe As Mn และ Zn โดยที่ Cr และ Hg จะมีค่าอยู่ใกล้กับ 0 แต่เมื่อดูในรูปที่ 4.5 (3) และ (4) จะเห็นว่ามีความสูงอยู่ในปัจจัยที่ 3



รูปที่ 4.6 ค่า Factor Score ของชุมชนที่ทำการเก็บข้อมูล

- (1) แสดงค่า Factor Score แทนค่าในทั้ง 3 ปัจจัย
- (2) แสดงค่า Factor Score ระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 2
- (3) แสดงค่า Factor Score ระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 3
- (4) แสดงค่า Factor Score ระหว่างปัจจัยที่ 2 และ 3

จากรูปที่ 4.6 (1) แสดงค่า Factor Score แทนค่าในทั้ง 3 ปัจจัย โดยในรูปที่ 4.6 (2) แสดงค่า Factor Score ระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าชุมชนโดยส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ -1 ของปัจจัยที่ 1 แต่จะมีเพียง พิมาย (PIM) เท่านั้นที่มีค่าเป็นบวกในปัจจัยที่ 1 และในปัจจัยที่ 2 ชุมชนส่วนใหญ่จะมีค่าในช่วง -1 และ +1 แต่จะมีชุมชนที่มีค่าเกินช่วง -1 และ +1 ของปัจจัยที่ 2 นั้นคือ หนองบัวศาลา (NBS) และจระเข้หิน (JKH) ซึ่งมีค่าเกิน +1 โดยที่ทั้ง 2 ชุมชน จะเป็นชุมชนที่มีอุตสาหกรรมตั้งอยู่ และที่มีค่าต่ำกว่า -1 คือ ไทยสามัคคี (TSK) และ ด่านขุนทด (DKT)

และในรูปที่ 4.6 (3) ที่แสดงค่า Factor Score ระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 3 พบว่า พิมาย (PIM) จะมีค่าเป็นสูงและเป็นบวกในปัจจัยที่ 1 และเทศบาลนครฯ (NKSM) จะมีค่าสูงและเป็นบวกในปัจจัยที่ 3 ซึ่งทั้ง 2 ชุมชนเป็นชุมชนที่พบความเข้มข้นของโลหะหนักมีค่าสูง โดยที่ชุมชนที่เหลือส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง +1 ในปัจจัยที่ 3 ในรูปที่ 4.6 (4) ระหว่างปัจจัยที่ 2 และ 3 พบว่า ชุมชนโดยส่วนใหญ่จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 และ 0 ของปัจจัยที่ 3 โดยจะมีเพียง เทศบาลนครฯ (NKSM) เท่านั้นที่มีค่าสูงและเป็นบวก และในปัจจัยที่ 2 ส่วนใหญ่จะมีค่าในช่วง -1 และ +1 แต่พบว่าชุมชนที่มีค่าเกินช่วง -1 และ +1 ของปัจจัยที่ 2 จะคล้ายกับรูปที่ 4.6 (2) นั่นคือ หนองบัวศาลา (NBS) จระเข้หิน (JKH) ไทยสามัคคี (TSK) และด่านขุนทด (DKT)

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ Cluster analysis ของผู้นำหลัก

จากการวิเคราะห์ Cluster analysis ของผู้นำหลัก สามารถแสดงการจับคู่และความสัมพันธ์จากการจัดกลุ่มด้วย Cluster analysis ของผู้นำหลัก โดย Complete Linkage ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การจับคู่และความสัมพันธ์จากการจัดกลุ่มด้วย Cluster analysis ของผู้นำหลัก โดย Complete Linkage

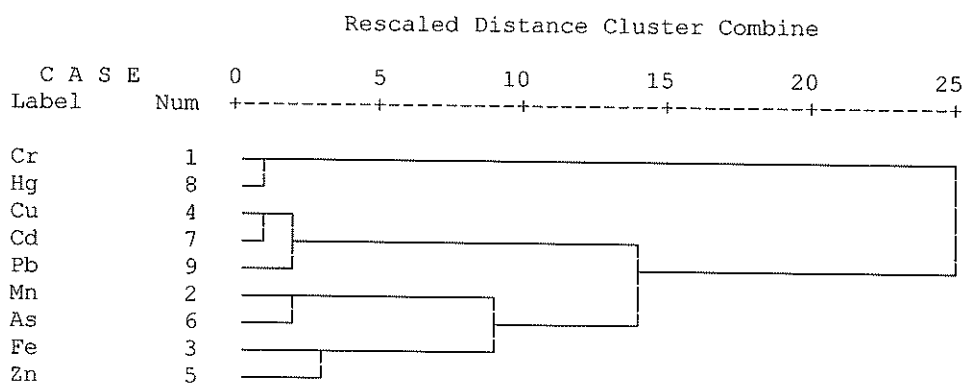
Agglomeration Schedule

Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First Appears		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	1	8	.998	0	0	8
2	4	7	.993	0	0	4
3	2	6	.923	0	0	6
4	4	9	.894	2	0	7
5	3	5	.823	0	0	6
6	2	3	.492	3	5	7
7	2	4	.166	6	4	8
8	1	2	-.574	1	7	0

สำหรับการจัดกลุ่มโลหะหนักโดยใช้ Cluster analysis ใช้วิธีการ Furthest neighbor ในการวัดความคล้ายด้วยค่าความสัมพันธ์ Pearson Correlation จากโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด โดยสามารถจัดกลุ่มออกมาได้ 3 กลุ่ม คือ

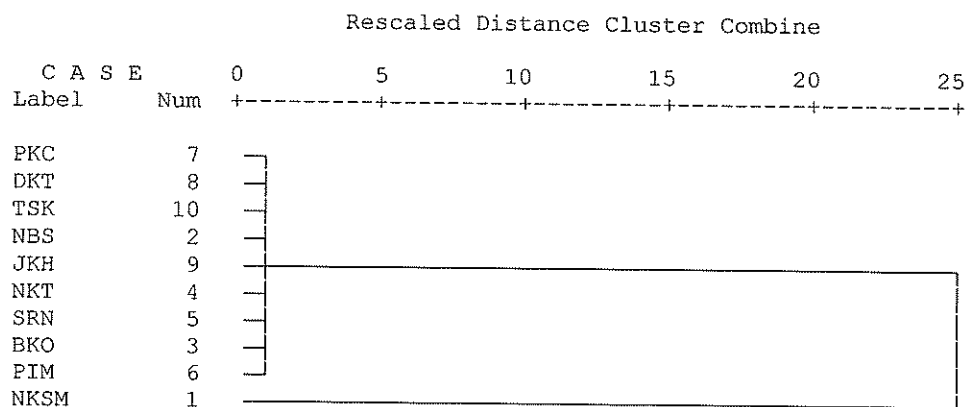
- กลุ่มที่ 1 ประกอบไปด้วย Cr และ Hg
- กลุ่มที่ 2 ประกอบไปด้วย Cd Cu และ Pb
- กลุ่มที่ 3 ประกอบไปด้วย Fe Zn As และ Mn

โดยรูปแบบการจัดกลุ่มที่ได้จาก CA ตรงกับการจัดปัจจัยด้วย PCA ซึ่งในที่นี้อาจกล่าวได้ว่าแหล่งที่มาของโลหะหนักเกิดขึ้นได้ 3 กรณี

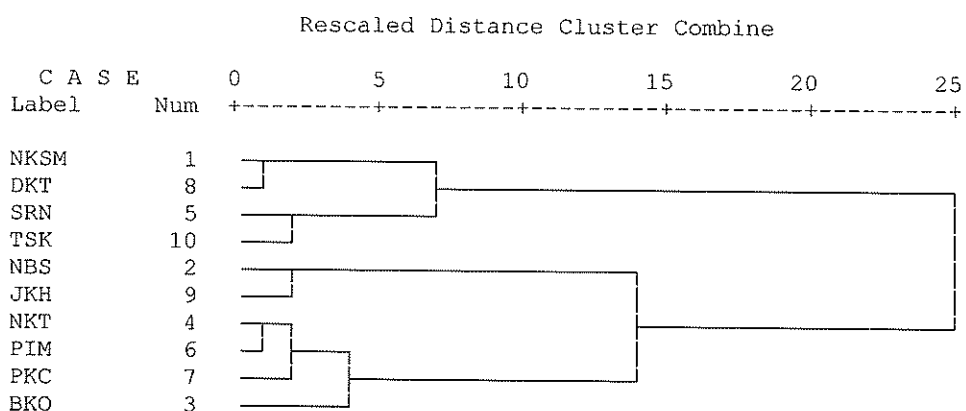


รูปที่ 4.7 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มโลหะหนักของฝุ่นหลังคา

จากรูปที่ 4.7 และ 4.8 ในการจัดกลุ่มโลหะหนักและชุมชน โดยใช้ Cluster analysis จะใช้วิธีการ Furthest neighbor และวัดความคล้ายด้วยค่าความสัมพันธ์ Pearson Correlation ซึ่งจากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าการจัดกลุ่มจะเริ่มจากการจับคู่ความสัมพันธ์ โดยเริ่มจาก Cr และ Hg จากนั้นในกลุ่มที่ต่อมาเป็น Cu จับคู่กับ Cd แล้วรวมกับ Pb และกลุ่มสุดท้ายจะเป็น Mn จับคู่กับ As แล้วจึงรวมกับคู่ของ Fe กับ Zn ซึ่งผลดังกล่าวสามารถจัดกลุ่มของโลหะหนักออกมาได้ 3 กลุ่ม โดยรูปแบบการจัดกลุ่มที่ได้จาก CA ที่ได้ ตรงกับการจัดปัจจัยด้วย PCA ซึ่งในที่นี้อาจกล่าวได้ว่าแหล่งที่มาของโลหะหนักเกิดขึ้นได้ 3 กรณี และเมื่อทำการจัดกลุ่มของชุมชนด้วยวิธีการเดียวกันในรูปที่ 4.8 พบว่า มีเพียงชุมชนเดียวที่แยกออกมาจากกลุ่มนั่นคือ เทศบาลนครฯ โดยที่ชุมชนอื่น ๆ อีก 9 ชุมชนจะจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันทั้งหมด



รูปที่ 4.8 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มชุมชนของผู้นำหลังคา



รูปที่ 4.9 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มชุมชนของผู้นำหลังคาโดยใช้การวัดระยะห่างด้วยวิธี Euclidean

จากรูปที่ 4.9 เมื่อทำการจัดกลุ่มชุมชนด้วย CA โดยใช้วิธีการ Furthest neighbor และใช้การวัดระยะห่างด้วยวิธี Euclidean ซึ่งผลที่ได้พบว่ามีผลคล้ายกับการจัดชุมชนโดยใช้ PCA โดยผลที่ได้พบว่า หนองบัวศาลา (NBS) และจระเข้หิน (JKH) ซึ่งเป็นชุมชนที่มีอุตสาหกรรมในชุมชนจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยการใช้นี้สามารถแยกกลุ่มชุมชนออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- กลุ่มที่ 1 เทศบาลนครฯ ด้านขุนทด สุรนารี และไทยสามัคคี
- กลุ่มที่ 2 หนองบัวศาลา และจระเข้หิน
- กลุ่มที่ 3 หนองกระทุ่ม พิมาย ปากช่อง และบ้านเกาะ

4.3.3 ผลการวิเคราะห์ Principle component analysis ของฝุ่น Dustfall

จากการวิเคราะห์ Principle component analysis ของฝุ่น Dustfall แสดงผล
ความสัมพันธ์ Correlation Matrix และค่า one-tailed Significance ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ Correlation Matrix ของฝุ่นจาก Dustfall โลหะหนัก 9 ชนิด

	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
Correlation Cr	1.000	.044	-.019	.346	.270	.012	.619	-.059	.245
Mn	.044	1.000	.716	-.228	.295	-.107	-.087	-.220	.113
Fe	-.019	.716	1.000	-.208	.172	.167	-.375	-.405	.273
Cu	.346	-.228	-.208	1.000	.239	.059	.570	.594	.505
Zn	.270	.295	.172	.239	1.000	.503	.350	.301	.133
As	.012	-.107	.167	.059	.503	1.000	.143	.127	.156
Cd	.619	-.087	-.375	.570	.350	.143	1.000	.616	.330
Hg	-.059	-.220	-.405	.594	.301	.127	.616	1.000	-.044
Pb	.245	.113	.273	.505	.133	.156	.330	-.044	1.000
Sig. (1-tailed)									
Cr		.452	.479	.163	.225	.487	.028	.435	.248
Mn	.452		.010	.263	.204	.384	.406	.270	.377
Fe	.479	.010		.282	.317	.322	.143	.123	.223
Cu	.163	.263	.282		.253	.436	.043	.035	.068
Zn	.225	.204	.317	.253		.069	.161	.199	.357
As	.487	.384	.322	.436	.069		.347	.363	.333
Cd	.028	.406	.143	.043	.161	.347		.029	.176
Hg	.435	.270	.123	.035	.199	.363	.029		.452
Pb	.248	.377	.223	.068	.357	.333	.176	.452	

หากเปรียบเทียบความเข้มข้นระหว่างฝุ่นที่เก็บได้จากหลังคาและ Dustfall แล้วพบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จาก Dustfall โดยส่วนมากจะมีค่าสูงกว่า และเมื่อใช้การวิเคราะห์ PCA ในการวิเคราะห์ปัจจัย ผลที่ได้คือ ความสัมพันธ์ Correlation Matrix พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง Fe กับ Mn (0.716) มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด และอีกหนึ่งความสัมพันธ์ที่ค่อนข้างจะมีนัยสำคัญคือ Cd ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Cr (0.619) และ Hg (0.616) แต่หากมองในภาพรวมความสัมพันธ์ Correlation Matrix ของ Dustfall เมื่อเทียบกับฝุ่นหลังคาแล้วค่อนข้างที่จะมีค่าน้อยกว่า

ทั้งนี้หากพิจารณาที่ค่า Eigenvalues ดังตารางที่ 4.13 พบว่าค่าที่มากกว่า 1 จะได้ปัจจัยออกมาทั้งหมด 3 ปัจจัย โดยที่สามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ 70.845% ในปัจจัยที่ 1 ได้ค่า Eigenvalues เท่ากับ 2.940 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 32.668% ปัจจัยที่ 2 ค่า Eigenvalues เท่ากับ 2.112 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 23.465% และปัจจัยที่ 3 ได้ค่า Eigenvalues เท่ากับ 1.292 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 14.352% และหากทำการหมุนแกนซึ่งทำให้ค่า Factor loading เปลี่ยนแปลงจะพบว่าค่า ค่า Eigenvalues และ % of Variance ของปัจจัยที่ 1 จะลดลง แต่จะมาเพิ่มในปัจจัยที่ 2 และ 3 โดยที่ยังสามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้ 70.485% เช่นเดิม ซึ่งผลที่ได้จะทำให้ค่า Eigenvalues ของปัจจัยที่ 1 เท่ากับ 2.340 สามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 25.998% โดยที่ในปัจจัยที่ 2 และ 3 จะได้ค่า Eigenvalues เพิ่มขึ้นเป็น 2.286 และ 1.718 ซึ่งสามารถอธิบายความแปรปรวนได้ 25.401% และ 19.085% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับของฝุ่นหลังคาแล้ว สามารถอธิบายความแปรปรวนทั้งหมดได้น้อยกว่า

ตารางที่ 4.13 ค่า Eigenvalues ที่ได้จาก PCA

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	2.940	32.668	32.668	2.940	32.668	32.668	2.340	25.998	25.998
2	2.112	23.465	56.132	2.112	23.465	56.132	2.286	25.401	51.399
3	1.292	14.352	70.485	1.292	14.352	70.485	1.718	19.085	70.485
4	.968	10.760	81.245						
5	.899	9.985	91.230						
6	.370	4.107	95.337						
7	.312	3.464	98.800						
8	.106	1.177	99.978						
9	.002	.022	100.000						

หากพิจารณาจากค่า Factor loading ในตารางที่ 4.13 ก่อนการหมุนแกน (Component Matrix) จะเห็นว่าสำหรับโลหะหนักทุกชนิดจะมีค่าเกินกว่า 0.5 แทบทั้งสิ้น ยกเว้น Pb (ให้แสดงค่า Factor loading >0.5) โดยที่ Cd Cu Hg และ Cr จะมีค่ามากในปัจจัยที่ 1 และในปัจจัยที่ 2 จะประกอบไปด้วย Fe Mn และ Zn และในปัจจัยที่ 3 จะมีเพียง As แต่เมื่อทำการหมุนแกน (Rotated Component Matrix) จะพบว่าสามารถจัดแยกโลหะหนักจากค่า Factor loading ออกมาให้ อยู่ในทั้ง 3 ปัจจัย ซึ่งค่าที่ได้ค่อนข้างสูงในแต่ละปัจจัย โดยที่ Pb จะมีค่าค่อนข้างสูงและอยู่ในปัจจัยที่ 1 แต่ในส่วนของ Hg จะมีค่าสูงในปัจจัยที่ 2 แต่มีค่าเป็นลบ และในส่วนของ Zn จะมีค่าสูงปรากฏ ในปัจจัยที่ 3 ซึ่งเป็นการบอถึงสถานะความเหมาะสมของโลหะหนักแต่ละชนิดว่าควรอยู่ในปัจจัยใด โดยแยกออกมาได้ดังต่อไปนี้

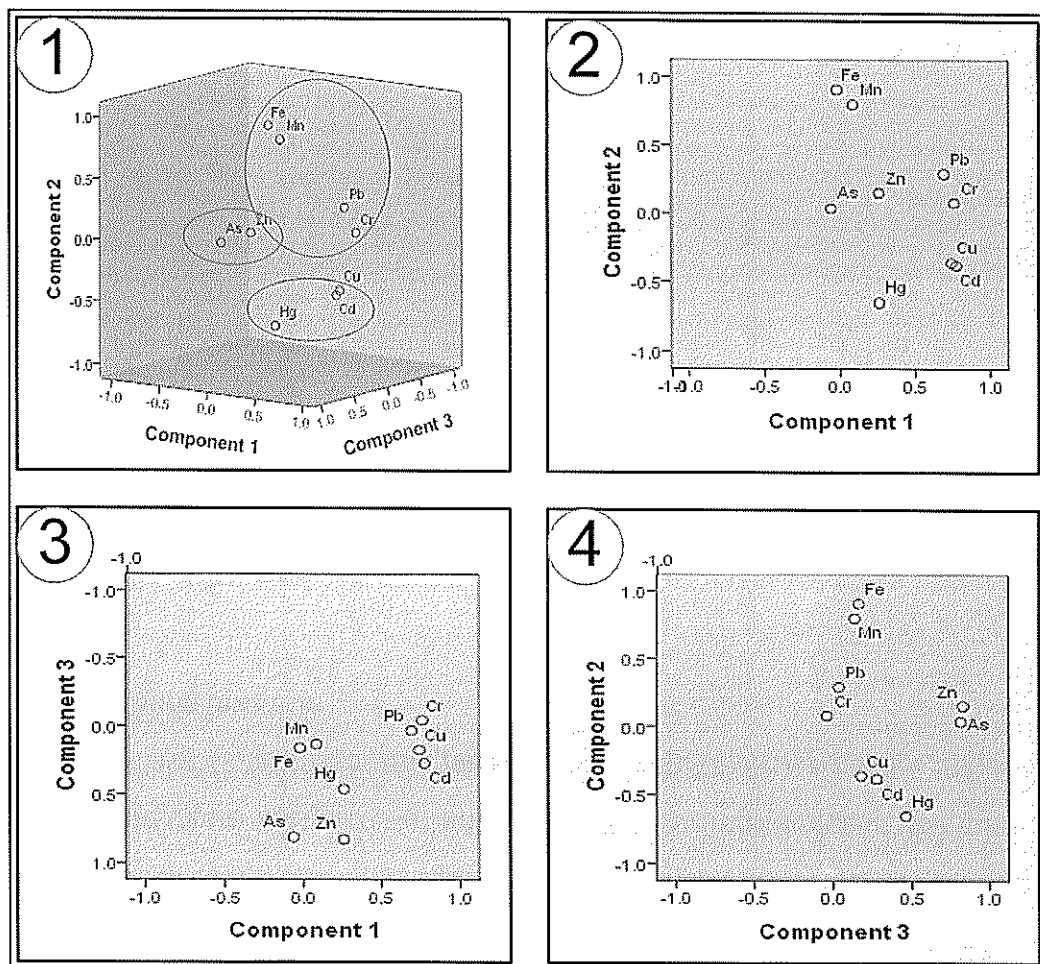
- ปัจจัยที่ 1 ประกอบไปด้วย Cd Cr Cu และ Pb
- ปัจจัยที่ 2 ประกอบไปด้วย Fe Mn และ Hg
- ปัจจัยที่ 3 ประกอบไปด้วย Zn และ As

โดยค่า Factor loading ของในแต่ละ component หลังจากการหมุนแกน เมื่อนำมาพล็อตจะ ได้ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ของโลหะหนักจากฝุ่นหลักคาที่ ได้แบ่ง ออกเป็น 3 กลุ่ม

เมื่อลองเปรียบเทียบกับฝุ่นหลังคาแล้วจะเห็นว่า Cd Cu และ Pb จะถูกจัดอยู่ใน ปัจจัยที่ 1 เหมือนกัน และในส่วนของ Fe และ Mn ก็อยู่ในปัจจัยที่ 2 เหมือนกันอีกด้วย

ตารางที่ 4.14 ค่า Factor loading ก่อนและหลังการหมุนแกนแบบ Varimax

Component Matrix ^a				Rotated Component Matrix ^a			
	Component				Component		
	1	2	3		1	2	3
Cd	0.895			Cd	0.772		
Cu	0.819			Cr	0.758		
Hg	0.714			Cu	0.741		
Cr	0.525			Pb	0.689		
Fe		0.835		Fe		0.908	
Mn		0.765		Mn		0.799	
Zn		0.554		Hg		-0.654	
Pb				Zn			0.828
As			0.686	As			0.813

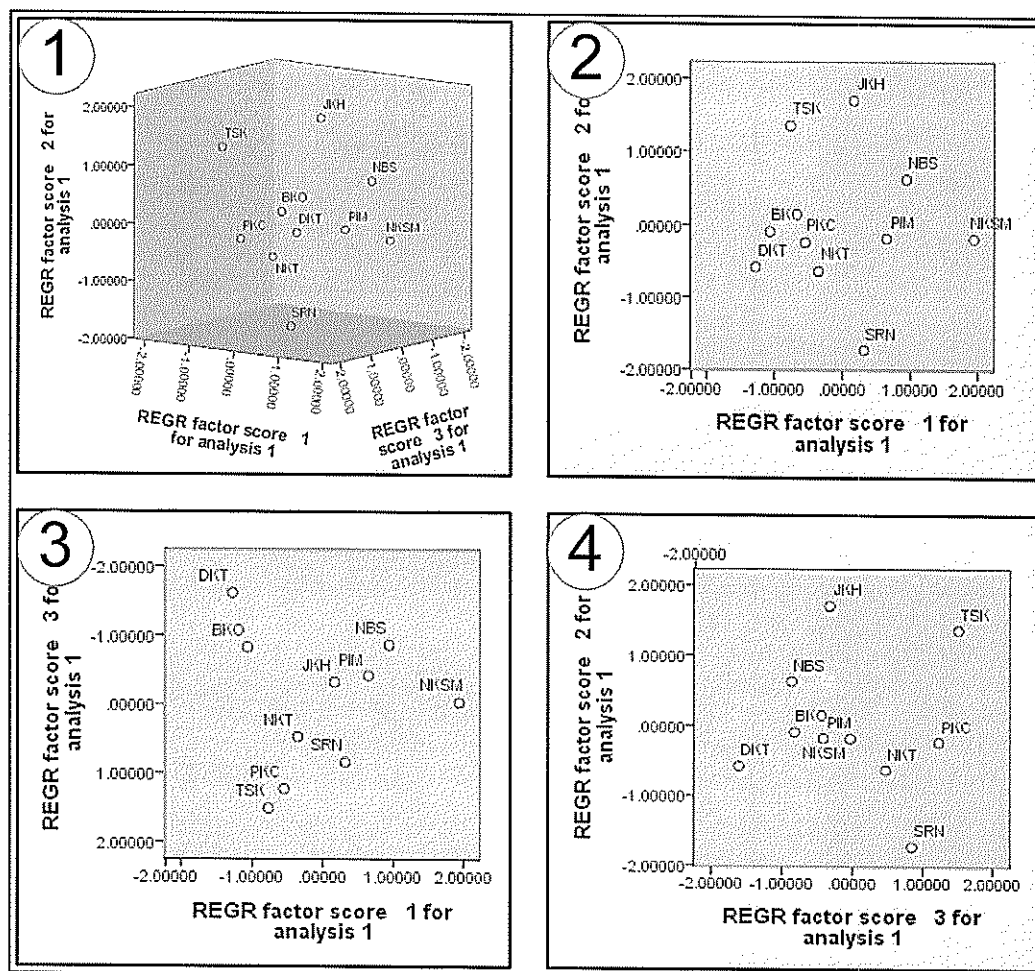


รูปที่ 4.10 ค่า Factor loading ของโลหะหนักจากฝุ่น Dustfall หลังจากการหมุนแกน

- (1) โลหะหนักจากฝุ่นหลังคาที่ใช้ค่า Factor loading แทนค่าในทั้ง 3 ปัจจัย
- (2) Factor loading ของโลหะหนักระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 2
- (3) Factor loading ของโลหะหนักระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 3
- (4) Factor loading ของโลหะหนักระหว่างปัจจัยที่ 2 และ 3

จากรูป 4.10 (1) แสดงโลหะหนักจากฝุ่น Dustfall ที่ใช้ค่า Factor loading หลังจากการหมุนแกน แทนค่าในทั้ง 3 ปัจจัย ได้ลักษณะความสัมพันธ์กันแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม รูปที่ 4.10 (2) แสดงค่า Factor loading ของโลหะหนักในปัจจัยที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าโลหะหนักกลุ่มที่มีค่าสูงในปัจจัยที่ 2 นั้นคือ Mn และ Fe และกลุ่มที่มีค่าสูงในปัจจัยที่ 1 ได้แก่ Cr Cu Cd และ Pb โดยที่ทั้งหมดจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ของปัจจัยที่ 1 เมื่อมองในรูปที่ 4.10 (3) ซึ่งแสดงค่า Factor loading ของ

ปัจจัยที่ 1 และ 3 พบว่า Zn และ As มีค่าสูงในปัจจัยที่ 3 และในรูปที่ 4.10 (4) ระหว่างปัจจัยที่ 2 และ 3 แสดงถึง Mn และ Fe กับ Zn และ As มีค่าสูงในปัจจัยที่ 2 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 ค่า Factor Score ของชุมชนที่ทำการเก็บฝุ่น Dustfall

- (1) โลหะหนักจากฝุ่นหลังคาที่ใช้ค่า Factor loading แทนค่าในทั้ง 3 ปัจจัย
- (2) Factor loading ของโลหะหนักระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 2
- (3) Factor loading ของโลหะหนักระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 3
- (4) Factor loading ของโลหะหนักระหว่างปัจจัยที่ 2 และ 3

จากรูปที่ 4.11 (1) แสดงค่า Factor Score แทนค่าในทั้ง 3 ปัจจัย ในรูปที่ 4.11 (2) แสดงค่า Factor Score ระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 2 จะเห็นว่ามีกลุ่มชุมชนที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ -2 ของปัจจัยที่ 1 และอยู่ในช่วงระหว่าง -1 ถึง +1 ของปัจจัยที่ 2 คือกลุ่มของชุมชน บ้านเกาะ (BKO)

หนองกระทุ่ม (NKT) ปากช่อง (PKC) และด่านขุนทด (DKT) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของโลหะหนัก และค่า EF ที่ได้จากชุมชนเหล่านี้จะมีค่าใกล้เคียงกัน และชุมชนที่มีค่าเกินจากช่วง -1 ถึง +1 ของปัจจัยที่ 2 นั่นคือ ไทยสามัคคี (TSK) และ จระเข้หิน (JKH) ที่มีค่าสูงกว่า +1 โดยที่ สุรนารี (SRN) มีค่าต่ำกว่า -1 สำหรับชุมชนที่พบค่าสูงที่สุดในปัจจัยที่ 1 คือ เทศบาลนครฯ (NKSM) และ ในรูปที่ 4.11 (3) แสดงค่า Factor Score ระหว่างปัจจัยที่ 1 และ 3 พบว่า ไทยสามัคคี (TSK) และ ปากช่อง (PKC) มีค่าสูงมากกว่า +1 ในปัจจัยที่ 3 โดยที่ทั้ง 2 ชุมชนจะมีลักษณะพื้นที่ป่าอุทยานใน ส่วนของพื้นที่ชุมชนและโดยรอบ และที่พบค่าต่ำกว่า -1 คือ ด่านขุนทด (DKT) และมีกลุ่มชุมชนที่อยู่ ในช่วง -1 ถึง 0 ของปัจจัยที่ 3 และอยู่ที่ 0 ถึง +1 ของปัจจัยที่ 1 นั่นคือ จระเข้หิน (JKH) พิมาย (PIM) และหนองบัวศาลา (NBS) สำหรับรูปที่ 4.11 (4) ระหว่างปัจจัยที่ 2 และ 3 จะพบกลุ่มที่อยู่ใน ช่วง -1 ถึง 0 ของปัจจัยที่ 3 และในช่วง -1 ถึง +1 ของปัจจัยที่ 2 นั่นคือ บ้านเกาะ (BKO) พิมาย (PIM) และ เทศบาลนคร (NKSM) ซึ่งทั้ง 3 ชุมชนพบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักและค่า EF ที่ ใกล้เคียงกัน

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ Cluster analysis ของฝุ่น Dustfall

ตารางที่ 4.15 การจับคู่และความสัมพันธ์จากการจัดกลุ่มด้วย Cluster analysis ของฝุ่น Dustfall โดย Complete Linkage

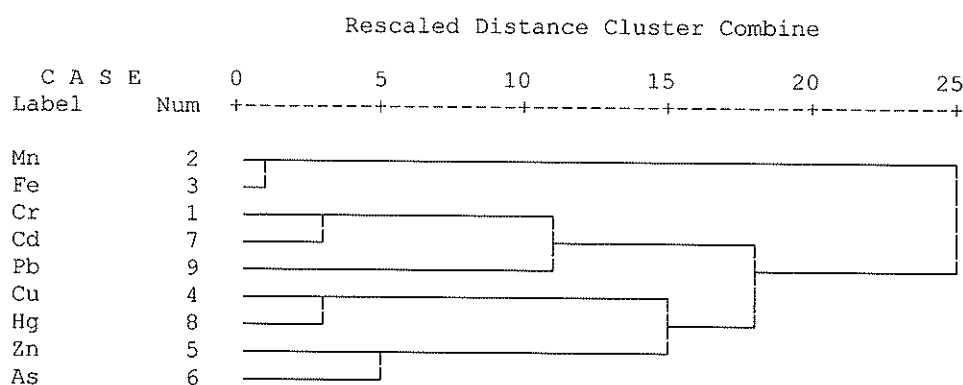
Agglomeration Schedule

Stage	Cluster Combined		Coefficients	Stage Cluster First Appears		Next Stage
	Cluster 1	Cluster 2		Cluster 1	Cluster 2	
1	2	3	.716	0	0	8
2	1	7	.619	0	0	5
3	4	8	.594	0	0	6
4	5	6	.503	0	0	6
5	1	9	.245	2	0	7
6	4	5	.059	3	4	7
7	1	4	-.059	5	6	8
8	1	2	-.405	7	1	0

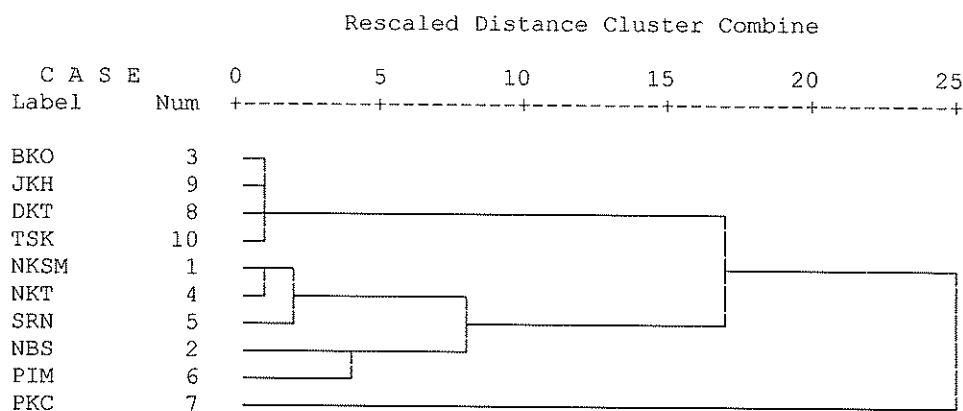
สำหรับการจัดกลุ่มโลหะหนักโดยใช้ Cluster analysis ใช้วิธีการ Furthest neighbor และวัดความคล้ายด้วยค่าความสัมพันธ์ Pearson Correlation จากโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด โดยสามารถจัดกลุ่มออกมาได้ 3 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่ 1 ประกอบไปด้วย Mn และ Fe
- กลุ่มที่ 2 ประกอบไปด้วย Cd Cr และ Pb
- กลุ่มที่ 3 ประกอบไปด้วย Cu Hg Zn และ As

โดยรูปแบบการจัดกลุ่มที่ได้จาก CA ที่ได้ มีลักษณะที่คล้ายกับการจัดปัจจัยด้วย PCA ซึ่งในที่นี้อาจกล่าวได้ว่าแหล่งที่มาของโลหะหนักเกิดขึ้นได้ 3 กรณี โดยที่ตัวที่คล้ายกับ PCA คือ Cd Cr และ Pb อยู่ในกลุ่มเดียวกัน และ Mn กับ Fe ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน

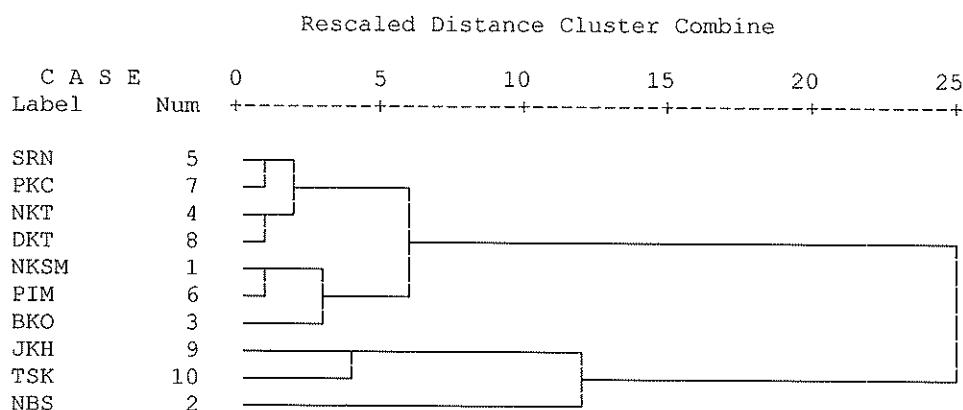


รูปที่ 4.12 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มโลหะหนักจากฝุ่น Dusfall



รูปที่ 4.13 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มชุมชนของฝุ่น Dusfall

จากรูปที่ 4.12 และ 4.13 ในการจัดกลุ่มโลหะหนักและชุมชน โดยใช้ Cluster analysis จะใช้วิธีการ Furthest neighbor ในการวัดความคล้ายด้วยค่าความสัมพันธ์ Pearson Correlation ซึ่งจากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าการจัดกลุ่มจะเริ่มจากการจับคู่ความสัมพันธ์จาก Mn กับ Fe กลุ่มต่อมาก็คือ Cr กับ Cd แล้วรวมกับ Pb และกลุ่มสุดท้ายคือ Cu กับ Hg รวมกับคู่ของ Zn และ As โดยจะได้กลุ่มของโลหะหนักออกมา 3 กลุ่ม โดยรูปแบบการจัดกลุ่มที่ได้จาก CA ที่ได้ มีลักษณะที่คล้ายกับการจัดปัจจัยด้วย PCA ซึ่งในที่นี้อาจกล่าวได้ว่าแหล่งที่มาของโลหะหนักเกิดขึ้นได้ 3 กรณี โดยที่โลหะหนักที่คล้ายกับ PCA คือ Cd Cr และ Pb อยู่ในกลุ่มเดียวกัน และ Mn กับ Fe ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน และเมื่อทำการจัดกลุ่มชุมชนที่เก็บตัวอย่างฝุ่น Dustfall ในรูปที่ 4.13 พบว่าแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม โดยที่กลุ่มแรกจะประกอบไปด้วย บ้านเกาะ จระเข้หิน ด่านขุนทด และไทยสามัคคี อีกหนึ่งกลุ่มที่ได้คือ เทศบาลนครฯ หนองกระทุ่ม และสุรนารี โดยรวมกลุ่มกับคู่ของ หนองบัวศาลากับพิมาย และที่อยู่เพียงชุมชนเดียวคือ ปากช่อง โดยไม่มีการจับคู่กับชุมชนอื่น ๆ



รูปที่ 4.14 Dendrogram แสดงการจัดกลุ่มชุมชนของฝุ่น Dustfall โดยใช้การวัดระยะห่างด้วยวิธี Euclidean

จากรูปที่ 4.14 เมื่อทำการจัดกลุ่มชุมชนด้วย CA โดยใช้วิธีการ Furthest neighbor และใช้การวัดระยะห่างด้วยวิธี Euclidean ซึ่งผลที่ได้พบว่ามีความคล้ายกับการจัดชุมชนโดยใช้ PCA โดยผลที่ได้พบว่า หนองบัวศาลา (NBS) และจระเข้หิน (JKH) ซึ่งเป็นชุมชนที่มีอุตสาหกรรมในชุมชนจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกัน (คล้ายกับฝุ่นหลังคา) และอีกหนึ่งกลุ่มชุมชนที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันคือ เทศบาลนครฯ (NKSM) บ้านเกาะและพิมาย (PIM) ซึ่งค่อนข้างชัดเจนคล้ายกับในรูปที่ 4.10 (4) โดยการใช้วิธีนี้สามารถแยกกลุ่มชุมชนออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- กลุ่มที่ 1 ด้านขุณฑ สุรนารี ปากช่อง และหนองกระทุ่ม
- กลุ่มที่ 2 เทศบาลนครฯ พินาย และบ้านเกาะ
- กลุ่มที่ 3 หนองบัวศาลา จระเข้หิน และไทยสามัคคี

4.4) ผลคาดการณ์แหล่งที่มาของโลหะหนัก

จากการคำนวณค่า Enrichment Factor ซึ่งระบุว่าค่า EF ต่ำกว่า 10 จะถือว่าเป็นมาจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งพบว่าโดยส่วนใหญ่ฝุ่นที่ได้จากการเก็บตัวอย่างแบบ Dustfall จะให้ค่า EF ที่มีค่าค่อนข้างสูง ยกเว้นในส่วนของ Cr Mn และ As ที่ค่าค่อนข้างน้อย ซึ่งในส่วนที่ได้จากฝุ่นหลังคาที่มีค่าน้อยเช่นกัน ทั้งนี้อาจกล่าวได้ว่าโลหะหนักที่พบนี้มีได้เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยสำหรับในฝุ่นหลังคาแล้วค่า EF ที่ได้ของ Cu Zn Cd และ Pb ก็มีค่าน้อยเช่นกัน แต่จะมีในบางชุมชนที่มีค่าค่อนข้างสูง

จากผลการใช้ PCA และ CA วิเคราะห์โลหะหนักที่ได้จากฝุ่นหลังคา ผลที่ได้พบว่า Cd Cu และ Pb จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันทั้งนี้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในงานวิจัยที่ปักกิ่งมีการวิเคราะห์ PCA และ CA แบบลักษณะใกล้เคียงกันระบุว่าธาตุทั้ง 3 มาจากกิจกรรมของมนุษย์เนื่องจากค่าที่ได้มีค่าสูงกว่าค่า Background (X. Xia et al, 2011) แต่ในส่วนของการศึกษาครั้งนี้จะพบว่า ค่า EF ที่ได้ออกมาของทั้ง 3 ชนิด จะมีค่าต่ำกว่า 10 แทบทั้งสิ้น ยกเว้นค่า EF ของเทศบาลนครฯ และพินาย ที่มีค่าเกิน ในส่วนของ Cu จึงอาจกล่าวได้ว่าในส่วนของฝุ่นหลังคาที่พบ Cd Cu และ Pb ไม่ได้เกิดจากกิจกรรมมนุษย์แต่อาจพบได้ทั่ว ๆ ไปตามธรรมชาติ และอีกกลุ่มที่พบคือ Fe Zn As และ Mn ซึ่งพบว่าโดยหลัก ๆ แล้ว Fe และ Mn นั้นมาจากดินเป็นส่วนใหญ่ (S. Huang et al., 2009 and U.M. Joshi et al., 2009) ซึ่งในส่วนค่า EF ของโลหะหนักทั้ง 5 ชนิดนี้มีค่าค่อนข้างต่ำโดยมีค่าเกิน 10 เพียงแค่ของ Zn ในพินายและจระเข้หินเท่านั้น สำหรับ Cr และ Hg พบค่าความเข้มข้นของ Hg เพียง 1 ชุมชนคือ เทศบาลนครนครราชสีมา และจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นของ Cr ก็จะมีค่าความเข้มข้นค่อนข้างสูงเช่นกัน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า Cr และ Hg ไม่ได้มาจากกิจกรรมของมนุษย์ ยกเว้นในเขตเทศบาลนครเท่านั้นที่อาจจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์

ในส่วนของ PCA ที่ใช้วิเคราะห์โลหะหนักจากฝุ่น Dustfall พบว่า Cd Cr Cu และ Pb โดยจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาของเมือง Kayseri ประเทศตุรกี พบว่าจะมาจากอุตสาหกรรมเป็นและการจราจรเป็นหลัก (S. Tokaliog ̇ lu and S. Kartal, 2006) โดยหากพิจารณาที่ค่า EF ของ Cu และ Pb แล้วจะมีค่าสูงมากในทุก ๆ ชุมชน ซึ่งน่าจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์เป็นหลัก อีกหนึ่งกลุ่มที่ Fe Mn และ Hg โดยที่หลัก ๆ แล้วทั้ง Fe และ Mn ส่วนใหญ่จะมาจากดิน (S. Huang et al., 2009 and U.M. Joshi et al., 2009) อีกทั้งค่า EF ของ Mn ยังมีค่าไม่เกิน 10 จึงอาจกล่าวได้ว่าหลัก ๆ แล้ว

ทั้ง Fe และ Mn ที่พบนั้นมาจากธรรมชาติ และที่พบอีกคือ Zn และ As ซึ่งหากพิจารณาที่ค่า EF โลหะหนักทั้ง 2 ชนิดนี้แล้วมีค่าแตกต่างกันมาก โดยสำหรับ Zn น่าจะมาจากกิจกรรมของมนุษย์ แต่ As นั้นกลับไม่มีความเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์เลย สำหรับการจัดกลุ่มด้วย CA จะได้ว่า Mn และ Fe อยู่ในกลุ่มเดียวกัน และ Cd Cr และ Pb อีกหนึ่งกลุ่มคือ Cu Hg Zn และ As ทั้งนี้ หากมองโดยภาพรวมจากการวิเคราะห์ PCA และ CA จะสามารถจัดได้คือ Cd Cr และ Pb เดียวกันทั้งนี้จากงานวิจัยของที่ผ่านมาระบุว่า ทั้ง 3 ชนิดมาจากกิจกรรมของมนุษย์คือ การจราจรและอุตสาหกรรมในส่วน Mn และ Fe พบว่าไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งน่าจะมาจากดินในธรรมชาติเป็นหลัก และสำหรับอีกหนึ่งกลุ่มที่เหลือคือ Cu Hg Zn และ As อาจจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกษตร หรืออุตสาหกรรม เนื่องจากทั้ง Cu และ Zn เป็นทั้งธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืช และนิยมใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม (X. Lu et al., 2010)

จากผลการวิเคราะห์ด้วย PCA และ CA ของฝุ่นที่ได้จากการเก็บตัวอย่างใน 2 รูปแบบ โดยในแต่ละตัวอย่างสามารถแบ่งโดย PCA ได้ 3 ปัจจัย และจัดกลุ่มด้วย CA ก็สามารแยกออกมาได้ 3 กลุ่ม พบว่ากลุ่มธาตุโลหะหนักที่ไปในทิศทางเดียวกัน หรือมีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ Cd-Pb, Mn-Fe และ Zn-As ทั้งนี้จากงานวิจัยที่ได้ทบทวนมาระบุได้ว่า Cd-Pb มาจากยานพาหนะซึ่งเป็นการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ (ไอเสีย) (Q.M. Jaradat et al., 2004, C. Samara and D. Voutsas, 2005, S. Tokalioglu and S. Kartal, 2006, and M.H. Shah and N. Shaheen, 2007) และสำหรับ Mn-Fe จากการทบทวนงานของ M.H. Shah and N. Shaheen ระบุว่ามาจากอุตสาหกรรมหรือกิจกรรมต่าง ๆ ในพื้นที่ที่ค่อนข้างหลากหลาย หรือในงานวิจัยของ U.M. Joshi et al. ที่ระบุว่าในย่านการค้าของสิงคโปร์ความสัมพันธ์ของ Fe และ Mn ค่อนข้างสูง ทั้งนี้ Fe เป็นโลหะหนักประเภทที่พบได้ทั่วไปในดินและพบในปริมาณความเข้มข้นที่ค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับชนิดอื่น ๆ และสำหรับ Mn โดยส่วนใหญ่ก็จะถูกนำมาใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม และในส่วนของ Zn-As อาจจะมาจากการที่เกี่ยวกับการเกษตรทั้งนี้เนื่องจาก As และ Zn สามารถพบได้ในยาฆ่าแมลง สารกำจัดศัตรูพืช หรือแม้แต่ปุ๋ยเคมีสำหรับบำรุงดิน โดยโลหะหนักทั้ง 2 ชนิด สามารถพบได้ในดินเช่นกัน (วิมลนันท์ กันเกตุ, 2549)

จากผลการศึกษาที่กล่าวมาทั้งหมดอาจสรุปได้ว่า แหล่งที่มาของโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด ที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่น ในจังหวัดนครราชสีมาที่ทำการศึกษารั้งนี้ เป็นไปได้ว่าหากมีการตรวจพบอาจสันนิษฐานถึงแหล่งที่มาได้ 3 กรณีคือ

1. การจราจรด้วยยานพาหนะหรือกระบวนการอุตสาหกรรม ซึ่งในการศึกษารั้งนี้จะพบในส่วนของ Cd Pb Cu และ Cr

2. เกิดจากที่พบได้เองตามธรรมชาติซึ่งพบได้ในดินหรือพื้นผิวโลกเป็นหลัก อันได้แก่ Fe และ Mn

3. กิจกรรมต่าง ๆ ทางเกษตร เช่น การใส่ปุ๋ยหรือฉีดพ่นสารกำจัดศัตรูพืช ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้คือ Zn และ As

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นที่ใกล้เคียงสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 สรุปปัจจัยที่เป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักจากงานวิจัยที่ผ่านมา

งานวิจัย	ผลการจัดกลุ่ม			
	1	2	3	4
	การจราจร	ธรรมชาติ	อุตสาหกรรม	อื่น ๆ
Li et al. (2004)	Cu Ni Pb และ Zn	Cd Co Cr Al Fe และ Mn	-	การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น Ca และ Mg
Yongming et al. (2006)	Pb และ Zn	Mn และ As	Cu Pb Zn Cr และ Sb	แหล่งชุมชนและการค้าขาย Hg และ Ag
Shah and Shaheen (2007)	Pb Cd และ Ni	Na	Fe และ Mn	Zn K Cr และ Co การเผาขยะ
Meza-Figuerou et al. (2007)	Pb อาจเกี่ยวข้องกับ การกับจราจร	V Ni Cu Fe Co และ Ba	Cd Pb Cr และ Zn	-
Dragovic' et al. (2008)	-	Cr Cu Mn Ni Pb และ Zn		มากกิจกรรมของมนุษย์ แต่ไม่ได้ระบุ Cd
Serife Tokahoglu and Senol Kartal (2006)	Pb	Mn	Cu Ni Cd Co Cr และ Zn	-
Shunsheng Huang et al. (2009)	As Hg Cu Cd Mo S และ Zn	Fe และ Mn	Cr และ Mn	Pb และ Se มาจากการเผาไหม้ถ่านหิน
Xinwei Lu et al. (2010)	As V Pb และ Co	Cr และ Ni	Cu Mn Hg และ Zn	-
Xinghui Xia et al. (2011)	Cd	Cr และ Ni	Cu Pb และ Zn	-
Xiaoping Li and Linna Feng (2012)	Pb และ Cr	Mn V Co As และ Ni	Ba Cu และ Zn	-
งานวิจัยครั้งนี้	Cd Pb Cu และ Cr	Fe และ Mn	Cd Pb Cu และ Cr	เกษตรกรรม Zn และ As

หมายเหตุ : สำหรับ Zn ในงานวิจัยนี้ โดยส่วนหนึ่งอาจจะมาจากทั้งส่วนของเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม และ As เองมีความเป็นไปได้ว่าจะมาจากดินหรือธรรมชาติเป็นหลัก การสรุปดังตารางนี้เป็นการสรุปตามการวิเคราะห์จากข้อมูลที่ได้ออกมาและการทบทวนวรรณกรรม

4.5) ความสัมพันธ์ของผลการศึกษากับลักษณะเฉพาะของชุมชน

จากข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบ ค่า EF เกิน 10 ที่ระบุว่าโลหะหนักชนิดนั้นมาจากกิจกรรมของมนุษย์และข้อมูลแหล่งที่มาของโลหะหนักจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา เมื่อนำมาพิจารณากับลักษณะของชุมชนแต่ละชุมชนที่ทำการศึกษาพบว่า

1. เทศบาลนครฯ นั้นพบค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่ค่อนข้างสูง และโดดเด่น โดยเฉพาะในดินและฝุ่น Dustfall ทั้งนี้พบว่าในดินที่พบความเข้มข้นสูงได้แก่ Cu Zn Cd และ Pb และในฝุ่น Dustfall พบ Cr Cu Cd และ Zn อีกทั้งในฝุ่นหลังคายังเป็นชุมชนเดียวที่พบความเข้มข้นของ Hg และยังพบ Cr มีค่าสูงเช่นกัน เนื่องจากในเขตเทศบาลนครฯ เองนั้น มีกิจกรรมที่หลากหลายอันสามารถจะก่อให้เกิดโลหะหนักขึ้นได้ ไม่ว่าจะเป็นการจราจร อุตสาหกรรม หรือกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักอีกมาก โดยที่จากค่า EF ที่ได้ออกมาระบุว่าโลหะหนักที่พบของฝุ่น Dustfall นั้นมีค่าเกิน 10 หรือมาจากกิจกรรมของมนุษย์มากถึง 5 จาก 7 ชนิด อันได้แก่ Cr Cu Zn Cd และ Pb สำหรับในฝุ่นหลังคาเองก็ยิ่งพบว่า Cr และ Cu นั้นมีค่า EF เกินกว่า 10 โดยจากการทบทวนเรื่องของแหล่งที่มาของโลหะหนักจะพบว่าธาตุเหล่านี้มีแหล่งที่มาโดยส่วนใหญ่มีความเกี่ยวข้องกับการจราจรและอุตสาหกรรมแทบทั้งสิ้น จึงสอดคล้องกับข้อมูลของชุมชน
2. ชุมชนหนองบัวศาลา พบว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักที่โดดเด่น คือ Fe และ Zn ที่พบในฝุ่นหลังคาค่อนข้างสูง อีกทั้งยังพบ Cu และ Pb มีค่าสูงในส่วนของฝุ่น Dustfall เมื่อพิจารณาที่ค่า EF ที่ระบุว่ามาจากกิจกรรมของมนุษย์ พบว่าค่า EF ของฝุ่น Dustfall จาก Cu Zn และ Pb นั้นมีค่าเกิน 10 โดยที่ในพื้นที่ของตำบลหนองบัวศาลาเองนั้นเป็นแหล่งที่ตั้งของเขตอุตสาหกรรมสุรนารี อีกทั้งยังมีแหล่งกำเนิดมลพิษอีก 1 จุดที่สำคัญ คือ บ่อฝังกลบขยะของทางเทศบาลนครฯ ตั้งอยู่ด้วย จึงอาจสันนิษฐานได้ว่า Cu Zn และ Pb ของฝุ่น Dustfall อาจจะมาจก 2 สาเหตุสำคัญที่กล่าวมา ส่วน Cu และ Pb นั้น จากการทบทวนแหล่งที่มาระบุว่าส่วนใหญ่มาจากอุตสาหกรรมและการจราจรเป็นสำคัญ รวมถึง Zn ในหลาย ๆ งานวิจัยก็ระบุไว้เช่นกัน โดยมีงานวิจัยของ Shah and Shaheen (2007) ที่ระบุว่า Zn มาจากการเผาขยะ ซึ่งก็อาจจะมีความสอดคล้องหรือเป็นไปได้ และสำหรับในงานวิจัยครั้งนี้ผล PCA และ CA ที่ออกมาพบว่า Zn นั้นมีความสัมพันธ์กับ As ระบุว่ามาจากการเกษตรกรรมสอดคล้องกับการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา
3. ชุมชนบ้านเกาะ ค่าความเข้มข้นที่พบจากทั้งดินและฝุ่นส่วนใหญ่ไม่มีความโดดเด่น โดยมีเพียงความเข้มข้นของ As จากดินเท่านั้นที่พบว่ามีค่าสูง และสำหรับค่า EF ที่พบค่าเกิน 10 ที่สามารถระบุได้ว่ามาจากกิจกรรมของมนุษย์นั้น พบว่า คล้ายกับของชุมชนหนองบัวศาลานั้นคือ Cu Zn และ Pb ของฝุ่น Dustfall ซึ่งชุมชนทั้งสองลักษณะของที่ตั้งจะ ใกล้เคียงกัน โดยลักษณะของ

- ชุมชนบ้านเกาะเอง โดยส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่โครงการที่อยู่อาศัยเป็นหลัก สำหรับโลหะหนักที่พบน่าจะมาจากการจราจรเป็นหลักหรือบางครั้งอาจเกิดจากการพัดพาของลมในช่วงฤดูฝน นำพาโลหะหนักที่พบในชุมชนบ้านเกาะคล้ายกับชุมชนหนองบัวศาลา
4. ชุมชนหนองกระทุ่ม ค่าความเข้มข้นที่โดดเด่นและพบว่ามีค่าสูง คือ As ซึ่งพบในตัวอย่างของฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall โดยที่ลักษณะของชุมชนนี้มีการทำเกษตรกรรม มีการปลูกผักในบริเวณพื้นที่ ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยพบว่า As เป็นส่วนผสมในยาฆ่าแมลง เมื่อพิจารณาที่ค่า EF พบว่าคล้ายกับชุมชนหนองบัวศาลาและบ้านเกาะ นั่นคือ Cu Zn และ Pb ของฝุ่น Dustfall มาจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยที่ในส่วนของหนองกระทุ่มมีเพิ่มมาในส่วนของ Cd จากฝุ่น Dustfall ซึ่งแหล่งที่มาของโลหะหนักเหล่านี้อาจมีส่วนมาจากชุมชนข้างเคียงนั่นคืออาจจะได้รับผลกระทบจากเทศบาลนครมาเกี่ยวข้อง
 5. ชุมชนสุรนารี พบความเข้มข้นของดินค่อนข้างต่ำ แต่ในส่วนของฝุ่น Dustfall พบความเข้มข้นที่สูงจาก Cu และ Hg ทั้งนี้ ณ ปัจจุบันในพื้นที่ที่มีการขยายตัวของโครงการที่อยู่อาศัยจำนวนมาก สำหรับโลหะหนักที่พบเมื่อพิจารณาจาก EF จะพบว่าคล้ายกับชุมชนหนองกระทุ่ม ซึ่งเป็นชุมชนที่มีการทำเกษตรกรรม โดยพบว่า EF เกิน 10 คล้ายกัน คือ Cu Zn Cd และ Pb ของฝุ่น Dustfall ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าการที่พบ Cu และ Hg ความเข้มข้นสูงอาจจะมีผลมาจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ตามแนวถนนมิตรภาพ บริเวณตำบล โศกกรวด ด้านทิศตะวันตกของชุมชน ซึ่งเป็นโรงงานที่มีกระบวนการผลิตเป็นงานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมโลหะแทบทั้งสิ้น
 6. ชุมชนพิมาย พบความเข้มข้นที่สูงทั้งดินและฝุ่น ได้แก่ Cr กับ As และสำหรับฝุ่นหลังคาพบ Mn Cu Cd และ Pb และในฝุ่น Dustfall พบ Cr และ Cd ที่มีค่าสูง โดยที่ลักษณะของชุมชนพิมายเอง อาจมีความคล้ายกับเทศบาลนครฯ แต่เป็นเหมือนเมืองที่มีขนาดเล็กลงมา แต่ไม่ได้แออัดและหนาแน่นเท่าเทศบาลนครฯ โดยเป็นแบบชุมชนเมืองขนาดเล็ก เขตอุตสาหกรรมในพื้นที่ก็เป็นแบบขนาดเล็ก โดยรอบของชุมชนมีการทำเกษตรกรรม มีโรงงานตั้งอยู่ด้านทิศตะวันตก (โรงงานผลิตเกลือ) ในพื้นที่มีแหล่งโบราณคดี คือ ปราสาทหินพิมาย และมีแม่น้ำไหลผ่าน คือ แม่น้ำมูลและลำจักราช เมื่อพิจารณาจากค่า EF ที่ระบุว่ามาจากกิจกรรมของมนุษย์พบว่า Cu และ Zn จากฝุ่นหลังคา และในฝุ่น Dustfall พบว่า Cu Zn Cd และ Pb ล้วนมีค่าเกิน 10 ทั้งนี้มีความเป็นไปได้ว่าโลหะหนักเหล่านี้น่าจะมาจากอุตสาหกรรมและการจราจรเป็นหลัก ซึ่งชุมชนนี้มีลักษณะเป็นเมืองขนาดเล็ก
 7. ชุมชนปากช่องค่าความเข้มข้นของโลหะหนักมีไม่ก่ชนิดที่มีค่าสูง คือ Mn ของดิน และ Zn จากฝุ่น Dustfall โดยที่ชุมชนปากช่องลักษณะเป็นเมืองที่มีความเจริญและขนาดใหญ่รองจากเทศบาลนครฯ โดยรอบพื้นที่จะถูกล้อมรอบด้วยธรรมชาติ มีถนนเส้นหลักที่ตัดผ่านคือถนน

มิตรภาพ ซึ่งปากช่องเองเปรียบเสมือนประตูสู่ภาคอีสาน ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัย พบว่า Zn ที่พบนั้นมีทั้งมาจากอุตสาหกรรมและมาจากการเกษตรกรรม ส่วนของ Mn นั้นพบได้มาอยู่แล้วในดิน ทั้งนี้เมื่อพิจารณาที่ค่า EF ที่พบเกิน 10 ของชุมชนนี้พบว่า Cu Zn Cd และ Pb ของฝุ่น Dustfall ซึ่งคล้ายกับชุมชนที่กล่าวมาโดยส่วนใหญ่ คาดการณ์ว่าโลหะหนักที่พบนั้นอาจจะมาจากการจราจรและอุตสาหกรรมขนาดย่อมซึ่งอยู่ภายในพื้นที่เป็นหลัก

8. ชุมชนด่านขุนทดเป็นชุมชนที่พบความเข้มข้นของโลหะหนักจากดินและฝุ่นต่ำมาก โดยไม่มีโลหะหนักชนิดใดมีค่าสูงหรือโดดเด่นเลย ทั้งนี้โดยลักษณะของชุมชนเอง เป็นแบบลักษณะของชาน พื้นที่ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม แต่เมื่อพิจารณาจากค่า EF พบว่าที่มีค่าเกิน 10 ได้แก่ Cu Zn และ Pb ของฝุ่น Dustfall โดยคาดการณ์ว่าน่าจะเป็นผลมาจากการจราจรในพื้นที่ เนื่องจากมีเส้นทางหลักที่ตัดผ่าน คือ ทางหลวงหมายเลข 201 ซึ่งถือเป็นเส้นทางหลักที่แยกจากถนนมิตรภาพเป็นเส้นทางที่ใช้ในการสัญจรหลักสู่ภาคอีสานอีกหนึ่งเส้นทาง
9. ชุมชนจะเข้เห็นพบความเข้มข้นของโลหะหนักมีค่าสูงและโดดเด่น คือ Fe Zn และ As จากฝุ่นหลังคา และในฝุ่น Dustfall ยังพบ Mn และ Fe มีค่าสูง ทั้งนี้โดยลักษณะทั่วไปของชุมชนแล้วจะเป็นพื้นที่เกษตรกรรม และล้อมรอบด้วยพื้นที่ทางธรรมชาติ แต่ในพื้นที่เองก็มีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่ ได้แก่ โรงงานน้ำตาล จากผล PCA และ CA พบว่าจัดกลุ่มของ Mn และ Fe ว่ามาจากธรรมชาติเป็นหลัก และสำหรับ Zn และ As น่าจะมาจากกิจกรรมทางการเกษตรในพื้นที่ เมื่อพิจารณาที่ค่า EF ที่ระบุว่ามาจากกิจกรรมของมนุษย์แล้วพบว่า Zn ของฝุ่นหลังคาและฝุ่น Dustfall มีค่าเกิน 10 ทั้งนี้ น่าจะมาจาก การใส่ปุ๋ยทางการเกษตรในพื้นที่ และอีก 1 ตัวที่พบคือ Pb ของฝุ่น Dustfall ซึ่งในส่วนนี้คาดการณ์ว่าน่าจะมีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมในพื้นที่
10. ชุมชนไทยสามัคคีพบความเข้มข้นที่มีค่าสูง คือ Fe Cd และ As จากดิน และ Fe Zn และ As จากฝุ่น Dustfall โดยที่ลักษณะของชุมชนจะค่อนข้างคล้ายกับจะเข้เห็น นั่นคือเป็นชุมชนที่มีการทำเกษตรกรรมและมีพื้นที่ป่าอุทยานล้อมรอบ แต่ในพื้นที่ของ ไทยสามัคคีไม่มีโรงงานอุตสาหกรรม แต่จะมีเรื่องของการท่องเที่ยวเข้ามาเกี่ยวข้องเนื่องจากในพื้นที่เนื่องจากมีรีสอร์ทและที่พักจำนวนมากเปิดให้บริการ ซึ่งจากความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบคาดการณ์ว่าน่าจะมีส่วนมาจากกิจกรรมทางการเกษตรในส่วนของ As และ Zn ในส่วนของ Fe นั้นน่าจะมาจากธรรมชาติเป็นหลักซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่า EF พบว่า Cu Zn และ Pb ของฝุ่น Dustfall มีค่าเกิน 10 ซึ่งคล้ายกับชุมชนด่านขุนทด โดยคาดการณ์ว่าโลหะหนักเหล่านี้ น่าจะมาจากการเกษตรกรรมในส่วนของ Zn และ Cu กับ Pb อาจจะเกิดจากการจราจรเข้าออกที่เกิดจากกิจกรรมการท่องเที่ยวในพื้นที่

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นละออง และทำการจัดกลุ่มของโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่พบ คาดการณ์ถึงแหล่งที่มา และบ่งชี้โลหะหนักที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ โดยเก็บตัวอย่างจากชุมชนต่าง ๆ จำนวน 10 ชุมชน ในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างของฝุ่น 2 รูปแบบ คือ เก็บโดยวิธีการกวาดฝุ่นที่ตกค้างบนหลังหรือคาบฟ้าของอาคารสูง และเก็บตัวอย่างด้วยวิธี Dustfall ทำการหาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง ICP-MS โดยมีโลหะหนักที่ต้องการหา 9 ชนิด ได้แก่ Cr Mn Fe Cu Zn As Cd Hg และ Pb ความเข้มข้นที่ได้นำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติและจัดกลุ่มโดยการวิเคราะห์ PCA และ CA และระบุแหล่งที่มาของโลหะหนักว่าเกิดจากธรรมชาติหรือกิจกรรมของมนุษย์ด้วยการคำนวณค่า Enrichment Factor อีกทั้งยังได้มีการเก็บตัวอย่างดินจากทั้ง 10 ชุมชน เพื่อหาค่า Background levels ของดินในจังหวัดนครราชสีมา เพื่อใช้ในการคำนวณครั้งนี้ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้มีดังต่อไปนี้

5.1.1 ความเข้มข้นของโลหะหนัก

5.1.1.1 โลหะหนักในดิน

จากการเก็บตัวอย่างดินจากทั้ง 10 ชุมชน ในจังหวัดนครราชสีมา โดยทำการเก็บตัวอย่างดินชุมชนละ 3 จุด แล้วนำมาผสมให้เข้ากันเพื่อเป็นตัวแทนของชุมชนนั้น โดยเลือกพื้นที่ที่ค่อนข้างจะห่างไกลจากการที่จะได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ ซึ่งจากผลความเข้มข้นของโลหะหนักในดินทั้ง 9 ชนิดจาก 10 ชุมชน ไม่พบความเข้มข้นของ Hg และสำหรับ Cu ก็พบความเข้มข้นเพียง 2 ชุมชน คือ เทศบาลนครฯ และตำบลขุนทด เท่านั้น โดยผลความเข้มข้นของโลหะหนักในดิน พบว่าในชุมชนของเทศบาลนครฯ พบความเข้มข้นค่อนข้างสูง ซึ่งพื้นที่ของเขตเทศบาลนครฯ เป็นลักษณะของเมืองขนาดใหญ่มีกิจกรรมที่หลากหลายที่ก่อให้เกิดมลพิษ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรม การคมนาคม ย่านการค้าและที่พักอาศัย โดยพบมากในส่วนของ Cu Zn และ Pb อีกชุมชนที่พบความเข้มข้นของโลหะหนักในดินมากคือพื้นที่ของตำบลไทยสามัคคี อำเภอวังน้ำเขียว โดยพบความเข้มข้นของโลหะหนักมาก ได้แก่ Fe As และ Cd ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เป็นเขตของอุทยานและธรรมชาติ มีการทำเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ในพื้นที่ อีกทั้งยังมีส่วนของรีสอร์ทและที่พักในเชิงของการท่องเที่ยวที่ค่อนข้างได้รับความนิยมในปัจจุบัน สำหรับชุมชนที่พบความเข้มข้น

ค่อนข้างน้อย คือ พื้นที่ของตำบลสุรนารี โดยพบความเข้มข้นของโลหะหนักน้อยที่สุดเกือบทุกชนิด (ยกเว้น Cd) ทั้งนี้ลักษณะของพื้นที่จะเป็นพื้นที่ชนบทที่มีการทำเกษตรกรรม แต่ในปัจจุบันกำลังมีการขยายตัวของชุมชนเมืองและมีการก่อสร้างโครงการหมู่บ้านจัดสรรขึ้นหลายโครงการในเขตพื้นที่ ซึ่งในปัจจุบันเปลี่ยนเขตการปกครองจากองค์การบริหารส่วนตำบลมาเป็นเทศบาลแล้ว

สำหรับค่า Background Levels ของดินในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าเฉลี่ยของดินทั้ง 10 ชุมชน และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เป็นการเก็บตัวอย่างดินของประเทศไทยทั่วประเทศพบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะหนักในดินของงานวิจัยในครั้งนี้ต่ำกว่าของงานวิจัยที่ผ่านมา ยกเว้น Cd เพียงชนิดเดียวที่สูงกว่า ทั้งนี้ในงานวิจัยที่ผ่านมาการเก็บตัวอย่างจะเน้นไปในการเกษตรกรรมเป็นหลัก อีกทั้งยังไม่มีในส่วนของความเข้มข้นของ Fe และ Mn

5.1.1.2 โลหะหนักจากฝุ่นหลังคา

ฝุ่นจากหลังคา เก็บตัวอย่างฝุ่นโดยกวาดจากอาคารสำนักงานขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่นของแต่ละชุมชน พบว่ามีค่าความเข้มข้นสูงในพื้นที่ของเทศบาลตำบลพิมาย ซึ่งมีลักษณะเป็นชุมชนเมืองขนาดเล็กและมีแหล่งท่องเที่ยวทางโบราณสถาน โดยโลหะหนักที่พบสูงได้แก่ Mn Cu Zn Cd และ Pb และอีกชุมชนที่พบความเข้มข้นของโลหะหนักสูงคือเทศบาลตำบลจระเข้หิน อำเภอครบุรี ซึ่งลักษณะชุมชนจะเป็นแบบชนบท แต่เคยมีปัญหาโรงเรียนเรื่องสิ่งแวดล้อม เนื่องจากมีโรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่ในพื้นที่ โดยพบมีค่าสูง ได้แก่ Fe Zn และ As สำหรับชุมชนที่พบความเข้มข้นค่อนข้างต่ำคือตำบลสุรนารี ในส่วนของชุมชนเทศบาลนครนครราชสีมา มีโลหะหนักหลายชนิดที่พบค่าความเข้มข้นค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับชุมชนอื่น ๆ แต่พบความเข้มข้นของ Cr ที่ค่อนข้างสูงกว่าชุมชนอื่นเป็นอย่างมาก และเป็นเพียงชุมชนเดียวที่พบความเข้มข้นของ Hg

5.1.1.3 โลหะหนักจากฝุ่น Dustfall

ฝุ่น Dustfall ทำการเก็บตัวอย่างโดยติดตั้งชุดเก็บตัวอย่างไว้ในพื้นที่ขององค์การปกครองส่วนท้องถิ่นของแต่ละชุมชน (ใกล้เคียงกับจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นจากหลังคา) โดยเปลี่ยนกระบอกเก็บตัวอย่างทุก ๆ 1 เดือน พบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่น Dustfall ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าฝุ่นหลังคา ซึ่งในการหาความเข้มข้นของฝุ่น Dustfall นี้ สามารถพบความเข้มข้นของ Hg ได้ทุกชุมชน และชนิดของโลหะหนักที่พบค่าความเข้มข้นสูงกว่าของฝุ่นหลังคาที่พบได้ชัดเจน คือ Zn และ Pb โดยชุมชนที่พบความเข้มข้นของโลหะหนักสูง ได้แก่ เทศบาลนคร พบว่า Cr มีค่าสูงมาก เทศบาลตำบลจระเข้หินพบ Mn และไทยสามัคคีพบ Fe และ As มีค่าสูง ในส่วนของสุรนารีเองพบว่า Cu และ Hg สูงที่สุด โดยชุมชนที่พบความเข้มข้นต่ำคือตำบลด่านขุนทด ที่มีลักษณะเป็นชุมชนเมืองขนาดเล็ก และมีการทำเกษตรกรรมเป็นหลักในพื้นที่

สำหรับข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักของฝุ่นจากหลังคาและฝุ่น Dustfall นั้น ส่วนใหญ่ไม่มีสหสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติและค่าเฉลี่ยของโลหะหนักในตัวกลางทั้งสองไม่สามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ เนื่องจากเมื่อทำการทดสอบด้วย Paired t-test เปรียบเทียบโลหะหนักจากฝุ่นทั้ง 2 รูปแบบ พบว่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

5.1.2 ค่าการสะสมตัวของโลหะหนักในฝุ่น (Enrichment Factor: EF)

Enrichment Factor เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของธาตุที่มีอยู่ในธรรมชาติ อธิบายการการปนเปื้อนที่มีกิจกรรมของมนุษย์เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยเป็นการบอกถึงระดับการปนเปื้อน ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการดูการเปลี่ยนแปลงในรูปแบบของฝุ่น โดยหากค่า $EF > 10$ โลหะหนักที่พบในฝุ่นนี้จะมาจากกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์เป็นหลัก จากผลการศึกษาพบว่าฝุ่น Dustfall จะมีค่า EF ค่อนข้างสูง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนคือ Cu Zn และ Pb โดยที่เทศบาลนครฯ พบโลหะหนักที่ค่า EF สูงกว่า 10 อยู่ถึง 5 ชนิด ได้แก่ Cr Cu Zn Cd และ Pb และพบค่า EF ของ Cr จากฝุ่นหลังคามีค่าสูงถึง 105 ซึ่งภายในพื้นที่ของเทศบาลนครฯ มีกิจกรรมที่ค่อนข้างหลากหลายในพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นเขตที่อยู่อาศัย ย่านการค้า อุตสาหกรรม และการจราจรที่ค่อนข้างหนาแน่น ในส่วนของชุมชนที่อยู่โดยรอบเทศบาลที่มีค่า EF ที่คล้ายและค่อนข้างใกล้เคียงกันคือ หอนงบัวศาลา บ้านเกาะหอนงกระทุ่มและสุรนารี โดยโลหะหนักที่พบค่า EF สูง ได้แก่ Cu Zn และ Pb จากฝุ่น Dustfall สำหรับอีก 5 ชุมชน ในพื้นที่ต่างอำเภอที่พบว่าค่า EF สูง คือ พิมายและปากช่อง โดยเฉพาะ Cu Zn Cd และ Pb ที่ค่อนข้างสูง สำหรับฝุ่นจากหลังคานั้นค่า $EF > 10$ จะพบเพียงบางชุมชนและบางชนิดเท่านั้น โดยพบที่อำเภอพิมายได้แก่ Cu และ Zn ในส่วนของเทศบาลนครฯ พบ Cr ที่มีค่าสูง

5.1.3 แหล่งที่มาของโลหะหนัก

จากการวิเคราะห์ PCA และ CA เพื่อใช้ในการจัดกลุ่มโลหะหนักโดยใช้ความสัมพันธ์ทางสถิติพบว่าทั้งฝุ่นจากหลังคาและฝุ่น Dustfall สามารถจัดกลุ่มออกมาแบ่งได้ 3 กรณี ที่คาดการณ์ว่าจะเป็นแหล่งที่มาของโลหะหนักในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งได้อ้างอิงจากงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าได้โลหะหนัก 3 คู่ ที่มีความสัมพันธ์กันที่ค่อนข้างชัดเจน คือ Cd-Pb Mn-Fe และ Zn-As จึงจัดให้เป็นตัวหลักที่จะอยู่ในทั้ง 3 กลุ่มที่มีความเป็นไปได้ว่าจะเป็นแหล่งที่มาของโลหะหนัก โดยกลุ่มแรก คือ กลุ่มที่น่าจะมาจากการจราจรและอุตสาหกรรม ซึ่งประกอบไปด้วย Cd Pb Cu และ Cr โดยตัวหลักของกลุ่มนี้คือ Cd-Pb ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ว่ามาจากยานพาหนะที่มีการปล่อยไอเสีย สำหรับ Cu ก็เป็นโลหะหนักอีกหนึ่งชนิดที่ได้มีการระบุว่ามาจากการจราจรและเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมเป็นหลัก ในส่วนของ Cr หลัก ๆ แล้วพบมาก

เฉพาะในพื้นที่ของเทศบาลนครฯ ซึ่งมีทั้งอุตสาหกรรมและการจราจรที่ค่อนข้างหนาแน่น ในกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่น่าจะมาจากธรรมชาติจากผิวโลกหรือพื้นดินเป็นหลัก นั่นคือ Fe และ Mn ซึ่งหลัก ๆ แล้วโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นธาตุที่สามารถพบความเข้มข้นได้มากในดิน ถึงแม้ว่าโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดจะมีการนำมาใช้ประโยชน์ส่วนมากในอุตสาหกรรม แต่เมื่อคูที่ค่า EF แล้วพบว่าค่าที่ได้ค่อนข้างต่ำ จึงอาจกล่าวได้ว่าทั้ง 2 ชนิดน่าจะมาจากดินเป็นหลัก และกลุ่มสุดท้ายที่ได้ออกมาคือ กลุ่มที่น่าจะมาจากกิจกรรมทางการเกษตรเป็นหลัก นั่นคือ Zn และ As ซึ่งโลหะหนักทั้ง 2 ชนิดสามารถพบได้ในยาฆ่าแมลง สารกำจัดศัตรูพืชหรือปุ๋ยบำรุงดิน โดยสำหรับค่า EF ที่พบนั้นจะพบของ Zn ที่ค่อนข้างสูง แต่ As นั้นพบค่าที่น้อยมาก ๆ ซึ่งการระบุแหล่งที่มาในการศึกษาครั้งนี้เป็นการระบุตามข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์และการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา

5.2 การนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์

สำหรับผลการศึกษาที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้เป็นข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนัก 9 ชนิด ของจังหวัดนครราชสีมา โดยที่ 6 ชนิดแรกคือโลหะหนักที่ได้มีกำหนดให้รายงาน ซึ่งคาดว่าพบบ่อยในประเทศไทย ได้แก่ Pb As Cd Hg Cr และ Mn ในส่วนอีก 3 ชนิดถัดมาคือโลหะหนักที่คาดว่ามีการใช้กันแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้แก่ Fe Cu และ Zn โดยที่ผ่านมาในส่วนของจังหวัดนครราชสีมาเองยังไม่ได้มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นของโลหะหนักที่อยู่ในรูปแบบของดินหรือฝุ่นละออง โดยประโยชน์ที่สามารถจะนำผลจากงานวิจัยในครั้งนี้ไปใช้ มีดังต่อไปนี้

1. ข้อมูลความเข้มข้นของโลหะหนักในดินและฝุ่น สำหรับตัวอย่างดินและฝุ่นที่เก็บจากทั้ง 10 ชุมชน โดยการคัดอนุภาคที่มีขนาด 250 ไมครอนลงมา โดยอนุภาคขนาดนี้สามารถที่จะฟุ้งกระจายตัวในอากาศติดปะปนในอาหาร และชิ้นส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย โดยที่การเข้าสู่ร่างกายหลัก ๆ แล้วจะเข้าได้ด้วยทางการรับประทานมากกว่าการหายใจ ทั้งนี้ข้อมูลดังกล่าวอาจใช้ในการเฝ้าระวังและติดตามมลพิษที่อาจจะเกิดขึ้น หรือที่จะมีการปนเปื้อน เช่น ใช้อธิบายบรรณงค์เรื่องเกี่ยวกับสุขภาพขณะในการรับประทานอาหารที่อาจจะมีการปนเปื้อน เพื่อให้แต่ละชุมชนทราบเป็นข้อมูลเบื้องต้น

2. ค่า Enrichment Factor ที่ระบุว่าแต่ละชุมชนก่อให้เกิดความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดนั้น ๆ ที่มีค่าสูง ซึ่งค่าที่ได้บอกให้ทราบว่าเกิดขึ้นเพราะน้ำมือของมนุษย์หรือกิจกรรมต่าง ๆ ของคนในชุมชน ทั้งนี้จึงจำเป็นต้องมีการเฝ้าระวังหรือบรรณงค์เพื่อลดความเสี่ยงที่จะก่อให้เกิดความเข้มข้นของโลหะหนักในปริมาณที่สูง การหามาตรการป้องกันแก้ไขที่ถูกต้อง เพื่อให้โลหะหนักเหล่านี้เกิดเป็นปัญหามลพิษในชุมชน

3. การวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาในการศึกษาค้างนี้ คือข้อมูลที่ใช้เป็นตัวเฝ้าระวังถึงแหล่งกำเนิด อันก่อให้เกิดโลหะหนักในกรณีต่าง ๆ เพื่อที่จะใช้ในการป้องกันปัญหา หรือเมื่อหากเกิดปัญหาขึ้นแล้วสามารถตั้งเป็นข้อสงสัยหรือสมมุติฐาน เพื่อสืบหาสาเหตุของโลหะหนักที่เกิดปัญหาขึ้นได้ โดยหลัก ๆ แล้วในการศึกษาค้างนี้ พื้นที่ที่ต้องเฝ้าระวังเป็นพิเศษคือ เขตเทศบาลนครนครราชสีมา ที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักที่พบค่อนข้างสูง และพบได้ทุกชนิด อันเนื่องมาจากความหลากหลายของอุตสาหกรรมและความหนาแน่นของการจราจรที่ค่อนข้างมาก ซึ่งล้วนแล้วแต่ก่อให้เกิดโลหะหนักขึ้นแทบทั้งสิ้น

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

1. ปริมาณของตัวอย่างที่เก็บได้จากฝุ่น Dustfall ค่อนข้างมีปริมาณน้อยและจำกัด เนื่องจากในการเก็บตัวอย่างใช้กระบอกเก็บตัวอย่างเพียงชุมชนละ 1 กระบอกเท่านั้น ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาการเก็บที่ค่อนข้างนาน อีกทั้งในบางเดือนยังไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ตามต้องการ เนื่องจากการที่ฝนตก ทำให้มีน้ำขังในกระบอกและเกิดตะไคร้ขึ้น ทำให้ตัวอย่างในบางเดือนไม่สามารถเก็บได้ ทั้งนี้ถึงแม้จะมีชุดอุปกรณ์ป้องกันน้ำฝน แต่ก็ไม่สามารถที่จะใช้งานได้อย่างเต็มที่ เนื่องจากอยู่ในระยะของการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์และในบางเดือนชุดอุปกรณ์กันน้ำฝนมีการชำรุดและต้องนำกลับมาซ่อมบำรุง อีกทั้งปริมาณตัวอย่างฝุ่น Dustfall ที่เก็บได้มีปริมาณน้อยมาก ๆ ซึ่งกว่าจะได้ปริมาณตามที่ต้องการในการวิเคราะห์ ICP-MS จึงต้องใช้ระยะเวลาหลายเดือน และใช้วิเคราะห์ได้เพียงครั้งเดียวไม่สามารถทำซ้ำได้ในบางชุมชน

2. ตัวอย่างฝุ่น Dustfall เมื่อนำไปประเหยในตู้อบอาจจะเกิดการปนเปื้อนในตัวอย่างของโลหะหนักบางชนิดเนื่องจากสังเกตได้ว่าค่าความเข้มข้นของโลหะหนักบางชนิดมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมาก

3. ผลของความเข้มข้นที่ไม่สามารถตรวจพบโลหะหนักบางชนิดได้ในตัวอย่างดินและฝุ่นหลังคา ในงานวิจัยครั้งนี้จึงให้ค่าที่ได้เท่ากับ 0 ทั้งนี้ในความเป็นจริงของตัวอย่างอาจจะมีค่าของความเข้มข้นของโลหะหนักชนิดนั้นอยู่ แต่อาจมีในปริมาณหรือสัดส่วนที่น้อยมาก ๆ จนเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่าไม่ได้ ซึ่งอาจจะถือได้ว่าต่ำกว่าขอบเขตการตรวจพบ (Detection Limit) จึงถือเป็นส่วนหนึ่งของข้อจำกัดในการศึกษาค้างนี้

4. สำหรับเกณฑ์มาตรฐานหรือกฎหมายที่ใช้มาอ้างอิงกับรูปแบบของการเก็บตัวอย่างฝุ่นทั้งแบบฝุ่นจากหลังคาและฝุ่น Dustfall นั้น ในประเทศไทยเองยังมิได้มีเกณฑ์ที่ใช้ในการอ้างอิงเนื่องจากฝุ่นในทั้ง 2 แบบนี้เป็นลักษณะของฝุ่นที่ตกตะกอนได้ โดยในประเทศไทยมีเพียงมาตรฐาน

ของฝุ่นที่แขวนลอยในอากาศเท่านั้น จึงไม่สามารถหาค่ามาตรฐานนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยครั้งนี้ได้

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. หากมีการเพิ่มจำนวนชุมชน ปริมาณข้อมูลชุมชนที่มีการเก็บตัวอย่างซึ่งหากได้จำนวนมากหรือทั่วทั้งจังหวัด การวิเคราะห์ข้อมูลอาจมีความน่าเชื่อถือมากและสามารถเป็นตัวแทนได้ทั้งจังหวัด ซึ่งเมื่อมีข้อมูลมากขึ้น อาจสามารถต่อยอดข้อมูลโดยการเพิ่มการวิเคราะห์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System : GIS) มาใช้ร่วมในการวิเคราะห์ข้อมูล

2. สำหรับรูปแบบการเก็บตัวอย่างหากฝุ่น หากสามารถเก็บได้ในปริมาณที่มากขึ้นหรือสามารถคัดแยกอนุภาคของฝุ่นออกได้หลาย ๆ ขนาดเพื่อนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นจะเป็นอีก 1 การเปรียบเทียบที่ค่อนข้างเห็นได้ชัด ซึ่งหากได้ฝุ่นที่มีขนาดเล็กถึง 2.5 ไมครอน ฝุ่นขนาดนี้จะมีผลต่อระบบทางเดินหายใจ ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ผลกระทบที่จะเกิดต่อสุขภาพได้มากขึ้น

3. นอกจากโลหะหนักทั้ง 9 ชนิด ในการศึกษาแล้ว ยังมีโลหะหนักชนิดอื่น ๆ อีกมากที่มีผลหรือส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งการศึกษาในอนาคตควรมีการเพิ่มชนิดของโลหะหนัก หรือเจาะจงแหล่งกำเนิดหรือผลกระทบเพื่อจะได้นำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรมยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. (2556). **สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2555**. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2546). **การวิเคราะห์สถิติขั้นสูงด้วย SPSS for Windows**. สำนักพิมพ์แห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เกษมศรี ชับซ้อน. (2541). **ปฐพีวิทยา**. พิมพ์ครั้งที่ 4. นานาสังพิมพ์. กรุงเทพมหานคร
- ขนิษฐ พานชวงส์. (2550). **สารหนูโลหะหนักภัยใกล้ตัว**. นิตยสารหมอชาวบ้าน เล่มที่ 334 (online).
Available URL: <http://www.doctor.or.th/article/detail/4102>
- เขมชาติ ธนาภิชาตเจริญ, นงนาถ เมฆรังสิมันต์ และสุรชัย ศีลามาณีโชติ. (2551). **ประโยชน์และความ เป็น พิษ ของ โลหะหนักแคดเมียม** (online). Available URL: http://www.dss.go.th/dssweb/st-articles/files/cp_4_2551_Cadmium.pdf
- ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสังกะสี**. (2553). (online). Available URL: <http://glasswarechemical.com/tag/ธาตุสังกะสี-ธาตุzn-ความรู้/>
- จังหวัดนครราชสีมา. **ข้อมูลด้านที่ตั้งและพื้นที่ของจังหวัดนครราชสีมา** (online). Available URL: <http://www.nakhonratchasima.go.th/service/sammmary.doc>
- ฉันทนา ผดุงทศ. (2549). **ข้อมูลโครเมียมและแมงกานีสภัยสุขภาพจากโลหะหนัก**. วารสาร คลินิก เล่มที่ 263 (online). Available URL: <http://www.doctor.or.th/clinic/detail/8323>
- เทศบาลนครนครราชสีมา. **ข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของเทศบาลนครนครราชสีมา** (online). Available URL: http://www.koratcity.net/main_menu/general/general07.html
- นพภาพร พานิช, แสงสันต์ พานิช, วงพันธ์ ลิ้มปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และ วราวุธ เสือดี. (2550). **ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ**. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- นัทธีรา มาลา. (2541). **เคมีสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 2 โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร
- ประกาย วีระวัฒนากุล. (2556). **ฝุ่นละอองขนาดเล็ก สร้างปัญหาหมอกพิษขนาดใหญ่** (online).
Available URL: <http://www.globaldynamicinsights.com>
- แม้น อมรสิทธิ์ และ อมร เพชรสม. (2535). **Principles and Techniques of Instrumental Analysis**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

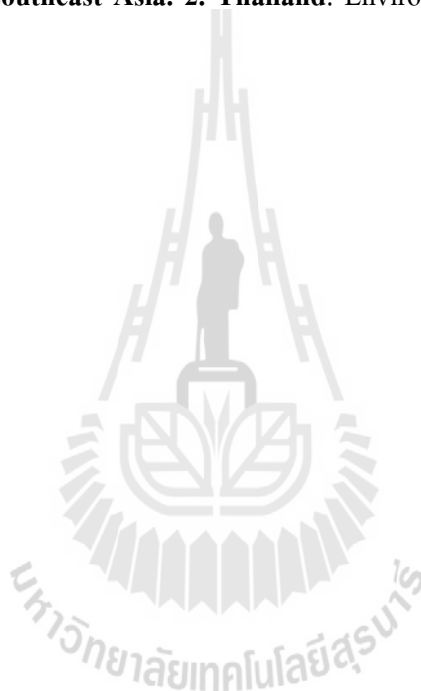
- โรคพิษตะกั่ว. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ ๒๒ (online). Available URL:
<http://kanchanapisek.or.th/kp6/New/sub/book/book.php?book=22&chap=6&page=t22-6-infodetail02.html>
- วนิดา จินสาตร์. (2551). มลพิษอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วิมลนันท์ กั้นเกตุ. (2549). สมบัติของอนุภาคขนาดดินเหนียวของดินในอันดับแอลฟีซอลส์และอัลฟีซอลส์ในประเทศไทย. ภาควิชาปฐพีวิทยา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. (2555). ข้อมูลปรอท (online). Available URL:
http://www.summacheeva.org/index_thaitox_mercury.htm
- ศิริกัลยา สุวจิตตานนท์, วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, ชีคาโอะ คานาโอเกะ และจุฑามาศ เกตุทัต. (2542). มลภาวะอากาศ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. ความเป็นพิษของทองแดง (online). Available URL:
http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=296
- สถาบันธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม (2552). ข่าวสารสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 50/2552 (online). Available URL:
<http://www.gsei.or.th/new38.php>
- ศฤงค์ โคตุละ, สุดจิต ครุจิต, และนเรศ เชื้อสุวรรณ, “การปล่อยสารมลพิษอากาศจากยานพาหนะบนถนนในเขตเทศบาลนครนครราชสีมา”, เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการสิ่งแวดล้อมนเรศวร ครั้งที่ 7, จ.พิษณุโลก, 29-30 ก.ค. 2554.
- สิทธิธีรราช ชโรเต็อร์. (2555). ข้อมูลเหล็ก (online). Available URL:
http://www.summacheeva.org/index_thaitox_iron.htm
- แสงโสม เกิดคล้าย. (2547). แนวทางการวินิจฉัยเพื่อการรายงานโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. สำนักกระบาดวิทยา, กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข
- แสงโสม เกิดคล้าย และ ศิรินุช ชื่นอินมณู. (2548). สรุปรายงานการเฝ้าระวังโรค 2548. สำนักกระบาดวิทยา, กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข
- สุดจิต ครุจิต, ธนัญชัย วรรณสุข, ชื่นจิตร ชาญชิตปรีชา, และ นเรศ เชื้อสุวรรณ. (2553). รายงานการวิจัย การพัฒนาระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการเพื่อสนับสนุนการจัดการคุณภาพอากาศในชุมชน. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- สุดจิต กรุจิต, นเรศ เชื้อสุวรรณ, ธนัญชัย วรรณสุข และราชัน ชีระพิทยาตระกูล. (2556). รายงานการวิจัย การพัฒนาระบบเฝ้าระวังฝุ่นละอองและคุณภาพอากาศแบบบูรณาการระยะที่ 2. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- สุดจิต กรุจิต, ธนัญชัย วรรณสุข, และ ราชัน ชีระพิทยาตระกูล. (2554). โครงการวิจัยเรื่อง ต้นแบบระบบประเมินคุณภาพสิ่งแวดล้อมแบบ On-line เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อมชุมชนที่เข้มแข็ง. สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- Al-Khashman, O. A. (2004). **Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan.** Atmospheric Environment 38 : 6803–6812.
- Dean, J. R. (2005). **Practical Inductively Coupled Plasma Spectroscopy.** WILEY
- Dragovic', S., Mihailovic', N. and Gajic', B. (2008). **Heavy metals in soils: Distribution relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate assessment of contamination sources.** Chemosphere 72 : 491–495.
- Huang, S., Jun, T., Liu, H., Hua, M., Liao, Q., Feng, J., Weng, Z. and Huang, G. (2009). **Multivariate analysis of trace element concentrations in atmospheric deposition in the Yangtze River Delta, East China.** Atmospheric Environment 43 : 5781–5790.
- Jaradat, Q. M., Momani, K. A., Jbarah, A. A. Q. and Massadeh, A. (2004). **Inorganic analysis of dust fall and office dust in an industrial area of Jordan.** Environmental Research 96 : 139–144.
- Joshi, U. M., Vijayaraghavan, K. and Balasubramanian, R. (2009). **Elemental composition of urban street dusts and their dissolution characteristics in various aqueous media.** Chemosphere 77: 526–533.
- Lawson, D. R. and Winchester, J.W. (1979). **A Standard Crustal Aerosol as Reference for Elemental Enrichment Factors.** Atmospheric Environment Vol. 13 : 925-930.
- Li, X., Lee, S. L., Wong, S. C., Shi, W. and Thornton, I. (2004). **The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach.** Environmental Pollution 129 : 113–124.

- Li, X. and Feng, L. (2012). **Multivariate and geostatistical analyzes of metals in urban soil of Weinan industrial areas, Northwest of China.** Atmospheric Environment 47 : 58-65.
- Lu, X., Wang, L., Li, L. Y., Lei, K., Huang, L. and Kang, D. (2010). **Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China.** Journal of Hazardous Materials 173 : 744–749.
- Markert, B. (1994). **Environmental Sampling for Trace Analysis.** VCH
- Meiran, E., Anke, M., Ihnat, M. and Stoepler, M. (2004). **Elements and Their Compounds in the Environment.** WILEY-VCH
- Meza-Figueroa, D., O-Villanueva, M. D. L. and De la Parra, M. L. (2007). **Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, Mexico.** Atmospheric Environment 41: 276–288.
- Montaser, A. (1998). **Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry.** WILEY-VCH
- Pandey, S. K., Tripathi, B.D. and Mishra, V. K. (2008). **Dust deposition in a sub-tropical opencast coalmine area, India.** Journal of Environmental Management 86: 132–138.
- Samara, C. and Voutsas, D. (2005). **Size distribution of airborne particulate matter and associated heavy metals in the roadside environment.** Chemosphere 59: 1197–1206.
- Shah, M. H. and Shaheen, N. (2007). **Statistical analysis of atmospheric trace metals and particulate fractions in Islamabad, Pakistan.** Journal of Hazardous Materials 147: 759–767
- Stevenson, F.J. (1994). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reaction.* 2nd ed. New York: Jonh Wiley & Son, Inc.
- Titiphat Hirunkam and Sudjit Karuchit, **Heavy Metal Contamination in Soil, Roof Dust, and Dustfall in Nakhon Ratchasima, Thailand,** Proceedings of The 2nd Asian Conference on Civil, Material and Environmental Sciences (ACCMES 2013), Osaka, Japan, 7-9 November 2013, pp. 612-619.
- Tokaloğlu Ş. and Kartal Ş. (2006). **Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey).** Atmospheric Environment 40: 2797–2805.
- Townend, J. (2002). **Practical statistics for environmental and biological scientists.** JOHN

WILEY & SONS, LTD : England.

- Xia, X., Chen, X., Liu, R. and Liu, H. (2011). **Heavy metals in urban soils with various types of land use in Beijing, China.** Journal of Hazardous Materials 186: 2043–2050
- Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C. and Posmentier, E. S. (2006). **Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China.** Science of the Total Environment 355: 176– 186.
- Zarcinas, B. A., Pongsakul, P., McLaughlin, M. J. and Cozens G. (2004). **Heavy metals in soils and crops in southeast Asia. 2. Thailand.** Environmental Geochemistry and Health 26: 359–371.





ภาคผนวก ก

ความเข้มข้นของโลหะหนักจากเครื่อง ICP-MS
และการคำนวณในหน่วย มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ตารางที่ ก.1 ค่าความเข้มข้นของดินจากเครื่อง ICP-MS ในหน่วย ไมโครกรัม/ลิตร (ppb)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก เริ่มต้น (g)	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
blank	0.000	12.508	38.269	226.921	75.733	31.719	2.401	0.077	2.594	3.505
ดินเทศบาล	0.2135	141.574	1567.154	52032.480	102.205	263.108	15.913	1.015	1.010	153.441
ดินหนองบัวศาลา	0.2082	154.101	654.255	37080.040	62.749	119.08	8.982	0.472	1.255	30.352
ดินบ้านเกาะ	0.1889	144.181	1204.286	67070.360	59.285	149.846	19.617	0.677	1.154	50.807
ดินหนองกระทุ่ม	0.1883	128.953	1309.616	63116.510	46.215	82.315	16.239	0.415	1.051	35.632
ดินสุรนารี	0.1850	75.971	299.100	21556.220	18.449	41.626	8.187	0.428	0.776	16.198
ดินพิมาย	0.1922	264.083	1223.743	90054.670	66.129	126.161	18.070	0.654	0.745	74.109
ดินปากช่อง	0.1960	147.264	2560.984	98589.210	63.902	132.465	13.995	0.506	0.569	37.119
ดินด่านขุนทด	0.1826	102.108	498.073	25338.350	83.996	72.353	9.977	0.613	1.168	23.289
ดินจระเข้หิน	0.1839	190.474	1905.285	49928.900	48.931	88.566	14.481	0.777	1.476	37.716
ดินไทยสามัคคี	0.1818	223.168	1284.091	96907.530	50.851	164.915	20.083	0.881	1.191	80.001

หมายเหตุ : หลังจากเตรียมตัวอย่างด้วย Microwave Digestion ทำการปรับปริมาตรที่ 25 มิลลิลิตร

ตารางที่ ก.2 ค่าความเข้มข้นของฝุ่นหลังจากเครื่อง ICP-MS ในหน่วย ไมโครกรัม/ลิตร (ppb)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก เริ่มต้น (g)	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
blank 1	0.000	12.508	38.269	226.921	75.733	31.719	2.401	0.077	2.594	3.505
blank 2	0.000	1.676	2.075	116.972	7.320	62.375	5.503	0.127	5.223	13.752
ฝุ่นเทศบาล	0.1849	5908.859	350.784	22595.400	203.918	340.368	6.678	1.802	3.153	73.611
ฝุ่นหนองบัวศาลา	0.1845	437.224	2180.482	189095.900	240.506	2547.068	25.500	1.774	0.773	252.156
ฝุ่นบ้านเกาะ	0.2074	197.893	1626.813	52578.220	93.233	622.611	16.427	0.830	2.852	67.839
ฝุ่นหนองกระทุ่ม	0.2003	187.969	1438.554	57167.710	64.416	139.194	19.468	0.786	2.403	43.885
ฝุ่นสุรนารี	0.2039	99.827	1202.312	38259.950	31.704	75.641	18.052	0.501	1.942	30.668
ฝุ่นพิมาย	0.2028	157.291	1726.63	61786.360	638.554	1108.479	18.854	3.660	2.343	234.255
ฝุ่นปากช่อง	0.2014	166.745	1314.948	65266.020	53.872	248.680	16.000	0.845	1.836	54.561
ฝุ่นด่านขุนทด	0.1938	106.083	512.414	26058.700	31.305	145.006	9.909	0.926	0.754	47.876
ฝุ่นจระเข้หิน	0.1790	365.652	2561.133	168750.800	208.488	2718.048	29.168	1.265	1.150	114.403
ฝุ่นไทยสามัคคี	0.1952	181.515	683.387	58652.580	140.042	127.268	10.839	1.247	0.929	49.433

หมายเหตุ : 1) ชุมชนที่ไม่ได้ขีดเส้นใต้ หลังจากเตรียมตัวอย่างด้วย Microwave Digestion ทำการปรับปริมาตรที่ 25 มิลลิลิตร

และใช้ Blank 1 ในการคำนวณหาความเข้มข้นของโลหะหนัก

2) ชุมชนที่ขีดเส้นใต้ หลังจากเตรียมตัวอย่างด้วย Microwave Digestion ทำการปรับปริมาตรที่ 50 มิลลิลิตร

และใช้ Blank 2 ในการคำนวณหาความเข้มข้นของโลหะหนัก

ตารางที่ ก.3 ค่าความเข้มข้นของฝุ่น Dustfall จากเครื่อง ICP-MS ในหน่วย ไมโครกรัม/ลิตร (ppb)

ตัวอย่าง	น้ำหนัก เริ่มต้น (g)	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
blank	0.000	1.676	2.075	116.972	7.320	62.375	5.503	0.127	5.223	13.752
ฝุ่นเทศบาล	0.1932	975.893	2240.710	35521.860	659.057	4058.693	22.869	9.679	42.005	4870.003
ฝุ่นหนองบัวศาลา	0.2059	239.640	2447.922	64209.540	711.818	2668.997	22.608	4.270	25.042	8694.985
ฝุ่นบ้านเกาะ	0.2101	142.282	2546.047	43555.280	229.908	1683.915	23.579	3.218	28.256	2924.139
ฝุ่นหนองกระทุ่ม	0.2132	286.526	2019.538	31654.080	473.223	2934.186	28.678	6.470	41.524	4369.194
ฝุ่นสุรนารี	0.2257	166.791	2175.446	27646.990	830.541	3943.331	25.663	9.899	123.469	4398.960
ฝุ่นพิมาย	0.2077	424.778	2353.040	34277.750	261.215	2643.821	24.465	9.546	40.639	6724.979
ฝุ่นปากช่อง	0.2057	172.535	2730.353	26687.230	331.446	5414.930	25.401	5.832	47.023	4010.567
ฝุ่นด่านขุนทด	0.2303	230.941	1858.992	31684.470	145.440	1988.802	21.545	2.629	19.903	1883.113
ฝุ่นจระเข้หิน	0.2023	330.822	4570.948	85328.680	263.359	3338.994	20.869	5.415	30.331	4244.609
ฝุ่นไทยสามัคคี	0.2051	265.726	2933.925	99094.650	222.032	4502.009	28.944	3.479	27.523	4724.876

หมายเหตุ : หลังจากเตรียมตัวอย่างด้วย Microwave Digestion ทำการปรับปริมาตรที่ 50 มิลลิลิตร

ตัวอย่างการคำนวณความเข้มข้นของโลหะหนักในหน่วย มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ไมโครกรัม/ลิตร) = ความเข้มข้น (จากเครื่อง) – Blank

$$Cr_{\text{(ดินเทศบาลนครฯ)}} = 141.574 - 12.508$$

$$= 129.066 \text{ (ไมโครกรัม/ลิตร)}$$

$$\text{ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)} = \frac{\text{ความเข้มข้น} \left(\frac{\text{ไมโครกรัม}}{\text{ลิตร}} \right) * \text{ปริมาตรที่ปรับ (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)}}$$

$$Cr_{\text{(ดินเทศบาลนครฯ)}} = \frac{129.066 * 25}{0.2135}$$

$$= 15.11 \text{ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)}$$





ภาคผนวก ข

ข้อมูลของโลโก้หนักจาก 10 ชุมชน ที่ทำการ Standardized
และการคำนวณค่า Factor Score

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลโลหะหนักที่ได้จากฝุ่นหลังคาที่ได้ทำการ Standardized

ชุมชน	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
เทศบาลนครฯ	2.84111	-1.52480	-1.31650	-0.22220	-0.56903	-1.63277	-0.02642	2.84605	-0.40529
หนองบัวศาลา	-0.23258	0.19276	1.64432	-0.11250	1.48413	0.58189	-0.02642	-0.31623	1.11219
บ้านเกาะ	-0.27509	0.89510	-0.05399	-0.14804	0.07163	0.14764	-0.29060	-0.31623	-0.18215
หนองกระทุ่ม	-0.27841	0.66581	0.15513	-0.28979	-0.72382	0.89455	-0.33463	-0.31623	-0.52814
สุรนารี	-0.37161	0.22081	-0.48616	-0.47124	-0.83317	0.53847	-0.64284	-0.31623	-0.73937
พิมาย	-0.31219	1.12695	0.28150	2.81235	0.91493	0.72085	2.79151	-0.31623	2.40778
ปากช่อง	-0.30135	0.43978	0.40870	-0.34881	-0.53800	0.13028	-0.24657	-0.31623	-0.36454
ด่านขุนทด	-0.42148	-1.39385	-1.27611	-0.60246	-0.75519	-1.29406	-0.55478	-0.31623	-0.64096
กระเซิง	-0.26669	0.62267	1.37469	-0.19566	1.71999	1.11168	-0.29060	-0.31623	-0.02858
ไทยสามัคคี	-0.38171	-1.24523	-0.73157	-0.42166	-0.77146	-1.19853	-0.37866	-0.31623	-0.63093

ตารางที่ ข.2 ค่า Factor loading ของโลหะหนักที่ได้ฝุ่นหลังคาหลังจากทำการหมุนแกน

	Component		
	1	2	3
Cr	0.007	-0.152	0.967
Mn	0.323	0.645	-0.509
Fe	0.067	0.937	-0.261
Cu	0.984	0.132	-0.068
Zn	0.324	0.860	0.043
As	0.157	0.761	-0.505
Cd	0.992	0.103	0.008
Hg	0.003	-0.204	0.960
Pb	0.873	0.421	-0.026

ตารางที่ ข.3 ค่า Factor Score ของฝุ่นหลังคาจากทั้ง 10 ชุมชน

ชุมชน	Factor 1	Factor 2	Factor 3
เทศบาลนครฯ (NKSM)	0.00666	-0.58220	2.73227
หนองบัวศาลา (NBS)	-0.08790	1.51355	0.24855
บ้านเกาะ (BKO)	-0.19680	0.15301	-0.38280
หนองกระทุ่ม (NKT)	-0.42040	0.07978	-0.58740
สุรนารี (SRN)	-0.55670	-0.36160	-0.63480
พิมาย (PIM)	2.79933	0.03533	-0.35460
ปากช่อง (PKC)	-0.36460	0.03506	-0.43150
ด่านขุนทด (DKT)	-0.34870	-1.40170	-0.37080
จระเข้หิน (JKH)	-0.53970	1.69662	0.11966
ไทยสามัคคี (TSK)	-0.29120	-1.16790	-0.33850

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลโลหะหนักที่ได้จากฝุ่น Dustfall ที่ได้ทำการ Standardized

ชุมชน	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Cd	Hg	Pb
เทศบาลนครฯ	2.69089	-0.20701	-0.36505	1.25746	0.85760	-0.04867	1.54420	0.11014	0.28315
หนองบัวศาลา	-0.32205	-0.13445	0.62271	1.30009	-0.50626	-0.55017	-0.60093	-0.61338	2.09138
บ้านเกาะ	-0.69925	-0.07732	-0.18377	-0.77217	-1.34607	-0.32892	-1.01232	-0.51046	-0.91500
หนองกระทุ่ม	-0.18237	-0.73563	-0.63765	0.21528	-0.36854	1.33781	0.10432	-0.04501	-0.21747
สุรนารี	-0.65088	-0.69417	-0.83784	1.49779	0.26455	-0.07817	1.08873	2.67088	-0.32398
พิมาย	0.36103	-0.27375	-0.50997	-0.62920	-0.54549	0.05458	1.25035	-0.04194	1.04498
ปากช่อง	-0.57414	0.21008	-0.78233	-0.31923	1.76450	0.46757	-0.04261	0.20845	-0.32334
ด่านขุนทด	-0.44639	-1.08394	-0.72137	-1.17547	-1.23615	-1.53841	-1.29149	-0.86223	-1.52575
จระเข้หิน	0.04321	2.52947	1.47090	-0.59131	0.09488	-1.06642	-0.16015	-0.39986	-0.16566
ไทยสามัคคี	-0.22004	0.46672	1.94438	-0.78322	1.02099	1.75081	-0.88009	-0.51660	0.05268

ตารางที่ ข.5 ค่า Factor loading ของโลหะหนักที่ได้ฝุ่น Dustfall หลังจากทำการหมุนแกน

	Component		
	1	2	3
Cd	0.773	-0.384	0.277
Cr	0.758	0.078	-0.039
Cu	0.740	-0.364	0.179
Pb	0.690	0.290	0.037
Fe	-0.021	0.908	0.166
Mn	0.083	0.800	0.140
Hg	0.259	-0.653	0.465
Zn	0.258	0.151	0.828
As	-0.061	0.035	0.814

ตารางที่ ข.6 ค่า Factor Score ของฝุ่น Dustfall จากทั้ง 10 ชุมชน

ชุมชน	Factor 1	Factor 2	Factor 3
เทศบาลนครฯ (NKSM)	1.94286	-0.19229	-0.03128
หนองบัวศาลา (NBS)	0.94218	0.62466	-0.85845
บ้านเกาะ (BKO)	-1.06580	-0.09668	-0.82042
หนองกระทุ่ม (NKT)	-0.35643	-0.63845	0.47248
สุรนารี (SRN)	0.31723	-1.73493	0.843497
พิมาย (PIM)	0.64878	-0.18510	-0.41394
ปากช่อง (PKC)	-0.55012	-0.24230	1.22872
ด่านขุนทด (DKT)	-1.27731	-0.58489	-1.60904
จระเข้หิน (JKH)	0.16732	1.69768	-0.32175
ไทยสามัคคี (TSK)	-0.76871	1.35229	1.51018

ค่า Factor Score สามารถคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$F_{ik} = W_{i1}Z_{1k} + W_{i2}Z_{2k} + W_{i3}Z_{3k} + \dots + W_{ip}Z_{pk} ; k = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

โดยที่ Z_{jk} = ข้อมูลความเข้มข้น โลหะหนักที่ j ที่ทำการ Standardized ของชุมชนที่ k

N = จำนวนข้อมูล

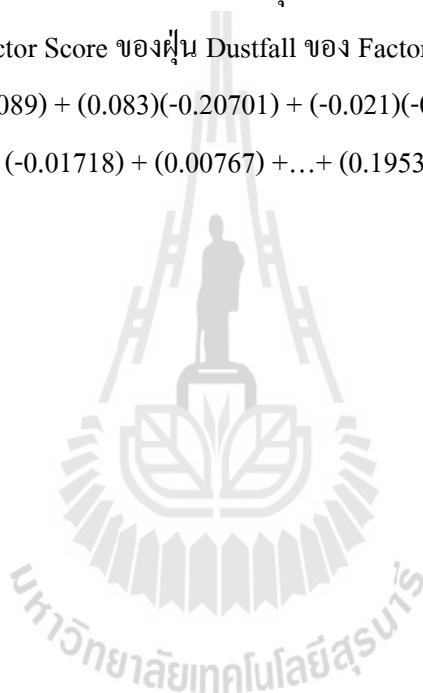
M = จำนวน Factor

W_{ij} = ค่า Factor loading ของโลหะหนักที่ j ของ Component ที่ i

F_{ik} = ค่า Factor Score ของ Factor ที่ i ของชุมชนที่ k

ตัวอย่างการคำนวณค่า Factor Score ของฝุ่น Dustfall ของ Factor ที่ 1 จากชุมชนเทศบาลนครฯ

$$\begin{aligned} F_{1\text{เทศบาลนครฯ}} &= (0.758)(2.69089) + (0.083)(-0.20701) + (-0.021)(-0.36505) + \dots + (0.690)(0.28315) \\ &= (2.03976) + (-0.01718) + (0.00767) + \dots + (0.19537) \\ &= 1.94286 \end{aligned}$$





ภาคผนวก ค

พิกัดตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดของจุดเก็บตัวอย่างฝุ่น

ตารางที่ ค.1 พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างฝุ่นหลังคา

ชุมชน	พิกัด	
	ละติจูด	ลองจิจูด
เทศบาลนครฯ	14.974170	102.087975
หนองบัวศาลา	14.917075	102.147180
บ้านเกาะ	15.003163	102.136421
หนองกระทุ่ม	15.008005	102.081072
สุรนารี	14.919340	102.017997
พิมาย	15.215894	102.493504
ปากช่อง	14.679555	101.397937
ด่านขุนทด	15.190850	101.758820
จระเข้หิน	14.522031	102.202723
ไทยสามัคคี	14.358804	101.922408

ตารางที่ ค.2 พิกัดตำแหน่งจุดเก็บตัวอย่างฝุ่น Dustfall

ชุมชน	พิกัด	
	ละติจูด	ลองจิจูด
เทศบาลนครฯ	14.974093	102.087935
หนองบัวศาลา	14.917218	102.147225
บ้านเกาะ	15.002979	102.137248
หนองกระทุ่ม	15.007767	102.080385
สุรนารี	14.920216	102.017624
พิมาย	15.215840	102.493486
ปากช่อง	14.679768	101.397197
ด่านขุนทด	15.190620	101.758970
จระเข้หิน	14.522031	102.202723
ไทยสามัคคี	14.358778	101.922030

ภาคผนวก ง

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา



รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Titiphat Hirunkam and Sudjit Karuchit, **Heavy Metal Contamination in Soil, Roof Dust, and Dustfall in Nakhon Ratchasima, Thailand**, Proceedings of The 2nd Asian Conference on Civil, Material and Environmental Sciences (ACCMES 2013), Osaka, Japan, 7-9 November 2013, pp. 612-619.



ACCMES-1059
Heavy Metal Contamination in Soil, Roof Dust, and Dustfall
in Nakhon Ratchasima, Thailand

Titiphat Hirunkam

School of Environmental Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand
obe_envi@hotmail.com

Sudjit Karuchit*

School of Environmental Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand
sudjit@sut.ac.th

Abstract

Concentration of 9 heavy metals – Pb, As, Cd, Hg, Cr, Mn, Fe, Cu, and Zn – in soil, roof dust, and dustfall samples in Nakhon Ratchasima, Thailand, were investigated in this study. Ten study areas were selected to represent both characteristic and spatial variability. Two methods of dust sampling – roof dust and dustfall – were used in this study. The dustfall sampling was performed according to the D1739-98 (Reapproved 2004) ASTM Standard. All samples were dried, screened, and digested before the analysis of heavy metals using ICP-MS equipment. The results show that the prevalent elements of roof dust and dustfall were Fe, Mn, Zn, Cr, Cu and Pb. The concentration levels are comparable to those of urban dust and soil found in other cities. Significant differences are found among the concentrations in soil and the two types of dust. The enrichment factors (EFs) indicate that contamination by human is evident at various levels in the study area. Nakhon Ratchasima city municipality and Pimai town municipality have more types and higher level of heavy metal enrichment than other areas. The heavy metals of concern include Cr, Cu, Zn, and Cd.

Keyword: heavy metals, contamination, roof dust, dustfall, Thailand

1. Introduction

Heavy metals contamination in the urban environment can lead to adverse health effects of the local population. Possible sources of heavy metals in urban dust are identified in several relevant studies, which can be summarized as shown in Table 1. From the literature, Pb, Zn, Cu, and Cd are often related to traffic source. The industrial processes can be the sources of various heavy metals, including Cu, Zn, Cr, Ni, and Hg. Elevated levels of these elements compared to the natural levels indicate possible anthropogenic contamination. Such knowledge is useful for local and governmental agencies responsible for protecting the environment and public health. This paper examines the concentration of 9 heavy metals – Pb, As, Cd, Hg, Cr, Mn, Fe, Cu, and Zn – in soil and dust in Nakhon Ratchasima province. Two methods of dust sampling were used in this study: roof dust and dustfall – the settleable dust.

Table 1: Possible sources of heavy metal in urban dust.

Reference	Sources of Heavy Metal in Urban Dust			
	Traffic-related	Industrial-related	Nature-related	Other
Meza-Figueroa et al. (2007)	Pb, Zn, Cu, Cd	Cd Ni V Pb	Fe, Co, Ba	Cr – power station, car-painting
Yongming et al (2006)	Pb, Zn	Cu, Cr, Pb, Zn, Sb	Mn and As	Hg and Ag – commercial and domestic sources
Li et al. (2004)	Pb, Zn, Cu, Ni	-	Mn Fe Cd Co Cr Al	-
Tokalioglu and Kartal (2006)	Pb	Cu Cd Ni Cr Co Zn	Mn	-
Huang et al. (2009)	Zn Cu Cd As Hg Mo S	Ni Cr	Mn Fe	Pb and Se – Coal combustion
Lu et al. (2010)	Pb As V Co	Cu Mn Hg Zn	Cr Ni	-
Shah and Shaheen (2007)	Pb Cd Ni	Fe and Mn	Na	Zn K Cr and Co – Solid waste incineration

2. Methodology

2.1 Study Area

Nakhon Ratchasima is the second largest province in Thailand, situated approximately 250 km. northeast of Bangkok Metropolitan Area. Ten study areas were selected to represent both characteristic and spatial variability. They comprised of, in descending order by size, 1 city municipality, 1 town municipality, 1 subdistrict municipality, and 7 subdistrict administrative organizations (SAOs). The biggest area is Nakhon Ratchasima city municipality (NRCM), one of the most populated city in Thailand and the center of the province. Its downtown area has dense population and heavy traffic, surrounded by residential area and industrial estates. Also known as the “Gateway to the Northeast”, large volume of traffic passes through NRCM via major highways. The next populated areas are Pakchong town municipality and Pimai subdistrict municipality. The former is well-known for its national park and tourist attractions, the latter is a relatively small city with remarkable historic background.

2.2 Sampling and Analysis

The sampling period was between June – August, 2012. At each location, a soil sample was collected from areas which are good representative of natural soil. Soil from 3 areas were taken from the depth of 15 cm. and mixed to make a composite sample of that location. The sampling method used for roof dust follow common practices found in relevant literature. The dust deposited on a selected 2-square-meter roof surface area was swept into a plastic bag using a plastic brush. Dustfall sampling was performed according to the method of the American Society for Testing and Materials – D1739-98 (Reapproved 2004) Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall (ASTM, 2004). It is a more standardized method among those utilizing simple apparatus to measure particle deposition, and fundamentally similar to the “dustfall jar” or “deposit gauge” methods. The container used to collect dustfall was made of a 30 cm. long PVC pipe, 15 cm. in diameter, with one end closed. Each container was placed on top of a 170 cm. stand with a ring-shaped windshield surrounding the opening of the container to reduce settling disturbance. After 30 days, the settled dust accumulated in the container was measured for its weight and then kept for further analysis. Several dustfall samples were composited at each location to meet the required amount for the heavy metal analysis.

All three types of samples – soil, roof dust, and dustfall – were oven-dried at 103°C, screened with 250 micron screening, and digested in a microwave device using a mixture of nitric and

fluoric acid. The solutions were then analyzed for 9 heavy metal elements using the Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry (ICP-MS) equipment.

2.3 Calculation of Enrichment Factor

The enrichment factor of an element x in roof dust, as well as in dustfall, can be calculated using the following equation:

$$EF(x) = \frac{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{dust}}{\left(\frac{x}{Ref}\right)_{soil}}$$

The numerator and the denominator are the mass ratio of x over the reference element in the dust sample and the soil sample, respectively. The reference element in study is Fe, which is commonly used in the literature. In general, EF values greater than 10 are regarded as having contamination from human activities. A more detailed enrichment classification of EF values are given by Yongming et al. (2006) as follow: EF < 2: minimal; EF = 2-5: moderate; EF = 5-20: significant; EF = 20-40: very high; and EF = >40: extremely high.

3. Results and Discussion

3.1 Heavy Metal Concentrations

Soil Samples

Eight out of nine heavy metals were detected in the soil samples collected. All Hg concentrations and most of Cu concentrations were below the detection limits. Fe is the highest concentration element of the group, followed by Mn, indicating their abundance in nature soil. When compared to those of Zarcinas et al. (2004) which studied heavy metals in soils and crops in Thailand, it was found that the concentrations in this study are comparable but generally lower. The median values of 5 elements, As, Cd, Cr, Pb, and Zn, in both studies are considerably close.

Dust Samples

Descriptive statistics and dot plots of the heavy metal concentrations analysis are shown in Table 2 and Figure 1, respectively. Based on the median values, the prevalent elements of roof dust were Fe>Mn>Zn>Cr>Cu, and those of dustfall were Fe>Pb>Zn>Mn>Cu. When compared to the concentration of heavy metals of urban dust and soil found in other cities, these results appear to be within the range of values reported in relevant literature. Distribution-wise, Cr has a log-normal shape in both types of dust. Most roof dust concentrations also distribute log-normally, except Mn, Fe, and As. On the other hand, most dustfall samples have near normal distribution, except Cr and Fe.

Comparison of heavy metal concentrations among the three types of samples is shown in Figure 2. Overall, the concentrations in soil are the smallest, followed by roof dust and dustfall. Heavy metals in soil are related to dust, since soil particles can be carried up by wind. The concentrations in the dust are expected to be at or above those levels in soil, due to possible addition from emission sources. Interestingly, the concentration values in dustfall samples are much higher than those in soil and roof dust, namely Cu, Zn, Cd, Hg, and Pb. The difference found between the two types of dust samples could be due to the representativeness of each dust type. The roof dust samples come from the dust accumulated on specific, uncontrolled surfaces during a short period of time – hours or a few days. Typically, sloped-roof surfaces do not allow large amounts of dust to accumulate. In addition, during the short period leading the sampling, the deposited dust can also be disturbed by wind and rain, or tampered by humans or animals. The roof dust samples, therefore, can be considered as “grab” samples of settleable dust in the environment. The dustfall samples, on the other hand, come from the dust accumulated in the pre-designed vessels for a relatively

long period of time – one month. The method allows dust accumulation and prevents the collected samples from significant disturbance as mentioned in the roof dust case. Hence, the dustfall samples can be considered as “composite” samples of settleable dust in the environment. Nevertheless, the dustfall results are under a re-examination for their validity. In the meantime, only the roof dust results were used to calculate the enrichment factors.

Table 2: Summary statistics of heavy metal concentrations in dust samples.

Element	Type	Concentration (mg/kg)			S.D.	COV.
		Mean	Median	Reference ^a		
Cr	Roof Dust	113.50	43.47	11 – 263	240.66	2.12
	Dustfall	78.56	61.08		64.50	0.82
Mn	Roof Dust	262.44	310.13	-	144.40	0.55
	Dustfall	620.96	586.65		200.94	0.32
Fe	Roof Dust	13,058.89	13,444.34	-	7,622.07	0.58
	Dustfall	11,528.47	8,693.18		6,480.57	0.56
Cu	Roof Dust	30.51	17.33	26 – 143	47.24	1.55
	Dustfall	96.99	71.04		57.01	0.59
Zn	Roof Dust	124.63	43.99	112 – 1,883	145.68	1.17
	Dustfall	781.93	741.67		294.21	0.38
As	Roof Dust	2.46	2.86	-	1.15	0.47
	Dustfall	4.52	4.48		0.68	0.15
Cd	Roof Dust	0.24	0.17	1 – 7	0.23	0.96
	Dustfall	1.42	1.35		0.68	0.48
Hg	Roof Dust	0.08	0.08	-	-	-
	Dustfall	8.80	7.36		6.51	0.74
Pb	Roof Dust	15.95	9.81	36 – 544	15.95	1.00
	Dustfall	1,126.62	1,036.46		470.70	0.42

^aLeung et al. (2003), Thornton (1991), Varrica et al. (2003), Tokalioglu and Kartal (2006), Meza-Figueroa et al. (2007).

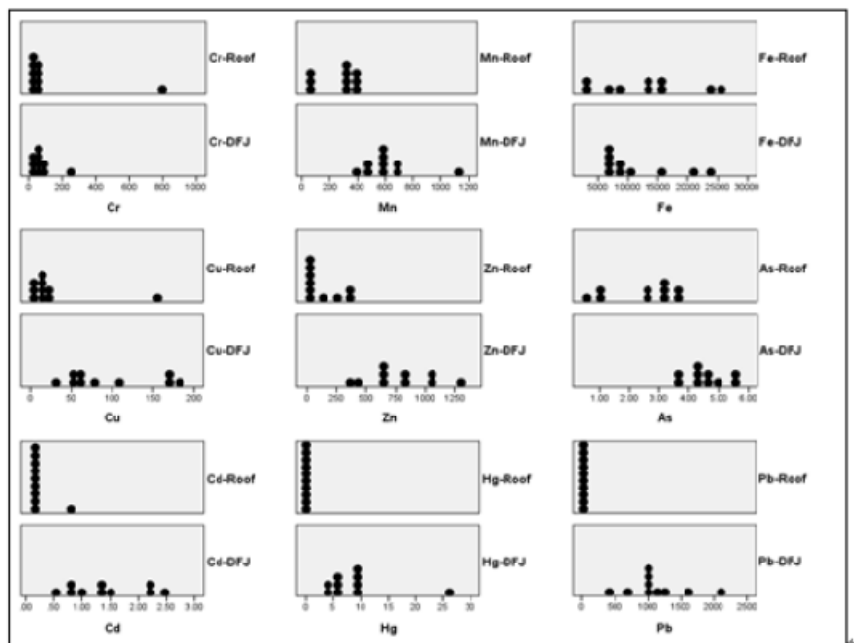


Figure 1: Dot plots of heavy metal concentrations (mg/kg) in roof dust and dustfall samples.

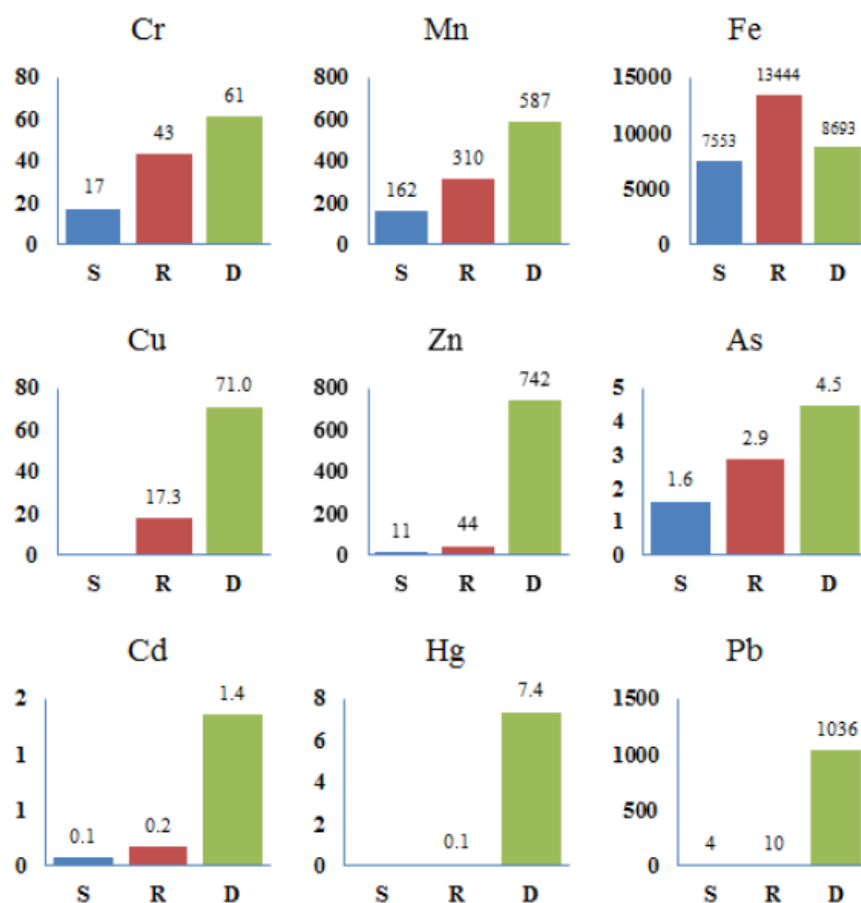


Figure 2: Median values (mg/kg) of heavy metal concentrations in three types of samples.

3.2 Enrichment Factors

Enrichment factors were calculated for 7 elements in roof dust samples (Table 3). Fe does not have EF values because it is the reference element. The Hg concentrations in soil samples were below detection limits so it was not possible to calculate EF. Nevertheless, the fact that it existed in roof dust samples implies human origin of this element. Overall, relatively high EFs values are found for Cu and Zn. The two elements also have high spatial variation of EF values. Most other heavy metals – Mn, Cd, Pb, and Cr – show moderate to significant enrichment in certain locations. For Cr, an extremely high enrichment value is found at one location, while the others have minimal enrichment. The element with very small EF values in all locations is As.

From the location standpoint, NRCM and Pimai have more types and higher level of heavy metal enrichment than other areas. NRCM is most likely to have Cr and Cu in dust which are originated from human activities. Similarly, Cu, Zn, and Cd in Pimai's dust could also come from anthropogenic sources. It should be noted that all locations have at least one element which is at moderate enrichment level or above. Based on the literature, Cu and Zn are related to both traffic and industrial sources. Their traffic-related sources could be gasoline, oil lubricants, tire wear, mechanical abrasion of vehicles, e.g. brass alloy, brake linings, oil leak sumps, cylinder head gaskets (Meza-Figuerou et al., 2007; Yongming et al., 2006). Their

industrial-related sources could be galvanization of steel sheets or manufacturing of electric devices. On the other hand, the literature suggests that Mn is the element that is commonly linked to natural soil origin, which corresponds to the small EF values found in this study.

Table 3: Enrichment Factors of heavy metals in roof dust samples.

Municipality /SAO	Enrichment Factor ^a						
	Cr	Mn	Cu	Zn	As	Cd	Pb
NRCM	<u>105.82</u>	0.47	<u>11.21</u>	3.09	0.00329	4.19	1.08
Nongbuasala	0.59	0.68	<u>1.75</u>	5.62	0.00162	0.80	1.81
Bankor	1.90	1.78	6.55	6.04	0.00143	1.48	1.46
Nongkratoom	1.76	1.25	3.78	1.67	0.00090	2.34	1.04
Suranaree	0.86	2.57	0.83	0.75	0.00057	0.55	0.75
Pimai	0.90	2.12	54.16	16.14	0.00130	9.55	4.55
Pakchong	1.85	0.79	4.06	2.79	0.00140	2.79	1.83
Dankoontod	1.01	1.00	-	2.71	0.00156	1.62	2.18
Jorakehin	0.59	0.40	2.41	13.93	0.00075	0.54	0.96
Thaisamakee	1.33	0.86	6.63	1.19	0.00109	2.42	0.99

^aEF < 2: minimal; EF = 2-5: moderate (bolded); EF = 5-20: significant (bolded & underlined); EF = 20-40: very high; and EF = >40: extremely high (bolded & double underlined) (Yongming et al., 2006)

4. Conclusion

The findings of heavy metal concentrations in Nakhon Ratchasima are comparable to the corresponding study. It was found that the prevalent elements of dust were Fe, Mn, Zn, Cr, Cu and Pb, with concentration levels within the range reported for urban dust and soil in relevant studies. The roof dust and dustfall samples show significant difference in concentration values. Most roof dust concentrations have log-normal, while several dustfall samples have near normal distribution. Human contamination, as indicated by the EF values, can be found at various levels in the study area. Two big municipalities, NRCM and Pimai, have more types and higher levels of heavy metal enrichment than other areas. The heavy metals of concern include Cr, Cu, Zn, and Cd, which could be from traffic-related and industrial-related sources. Mn, As, and Pb appear to have little anthropogenic influence.

5. References

- American Society for Testing and Materials (2004). D1739-98 (Reapproved 2004) Standard Test Method for Collection and Measurement of Dustfall.
- Huang, S., Jun, T., Liu, H., Hua, M., Liao, Q., Feng, J., Weng, Z. and Huang, G. (2009). Multivariate analysis of trace element concentrations in atmospheric deposition in the Yangtze River Delta, East China. *Atmospheric Environment*, 43: 5781–5790.
- Leung, N.G., Lung Sang, C., Kin Che, L., and Wing Kan, C., (2003). Heavy metal contents and magnetic properties of playground dust in Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment*, 89, 221-232.
- Li, X., Lee, S. L., Wong, S. C., Shi, W. and Thornton, I. (2004). The study of metal contamination in urban soils of Hong Kong using a GIS-based approach. *Environmental Pollution*, 129: 113–124.
- Lu, X., Wang, L., Li, L. Y., Lei, K., Huang, L. and Kang, D. (2010). Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*, 173: 744–749.
- Meza-Figueroa, D., O-Villanueva, M. D. L. and De la Parra, M. L. (2007). Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Atmospheric Environment*, 41: 276–288.

- Shah, M. H. and Shaheen, N. (2007). Statistical analysis of atmospheric trace metals and particulate fractions in Islamabad, Pakistan. *Journal of Hazardous Materials*, 147: 759–767
- Tokalioglu S. and Kartal S. (2006). Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment*, 40: 2797–2805.
- Varrica, D., Dongarra, G., Sabatino, G., and Monna, F. (2003). Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy. *Environmental Geology* 44, 222-230.
- Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C. and Posmentier, E. S. (2006). Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment*, 355: 176– 186.
- Zarcinas, B. A., Pongsakul, P., McLaughlin, M. J. and Cozcens G. (2004). Heavy metals in soils and crops in Southeast Asia. 2. Thailand. *Environmental Geochemistry and Health*, 26: 359–371.

ประวัติผู้เขียน

นายชิตพัฒน์ หิรัญคำ เกิดเมื่อวันที่ 4 พฤศจิกายน พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดชัยภูมิ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนชัยภูมิภักดีชุมพล จังหวัดชัยภูมิ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2551 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ณ สถาบันการศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยในขณะศึกษาได้รับทุนในการทำวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ในระหว่างที่ทำการศึกษาได้เผยแพร่บทความทางวิชาการเรื่อง **“Heavy Metal Contamination in Soil, Roof Dust, and Dustfall in Nakhon Ratchasima, Thailand”** ในงานสัมมนาวิชาการระดับนานาชาติ Proceedings of The 2nd Asian Conference on Civil, Material and Environmental Sciences (ACCMES 2013) ระหว่างวันที่ 7-9 พฤศจิกายน พ.ศ. 2556 ณ เมืองโอซาก้า ประเทศญี่ปุ่น

