



ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และโลหะใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคาร
ในจังหวัดราชบุรี



โดย
นางสาวสาวิตรี จำปาหอม

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) และโลหะใน PM₁₀ ภายในและภายนอกอาคาร
ในจังหวัดราชบุรี



โดย
นางสาวสาวิตรี จำปาหอม

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**PARTICULATE MATTER (PM₁₀) AND METALS IN INDOOR AND OUTDOOR
IN AN AREA OF RATCHABURI PROVINCE**



**By
Miss Sawitree Jampahom**

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

Master of Science Program in Environmental Science

Department of ENVIRONMENTAL SCIENCE

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2016

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้การค้นคว้าอิสระเรื่อง “ ฝุ่นละออง
ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) และโลหะใน PM₁₀ ภายในและภายนอกอาคารในจังหวัดราชบุรี ”
เสนอโดย นางสาวสาวิตรี จำปาหอม เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ชารท์สนวงศ์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ

รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาอะโป

คณะกรรมการตรวจสอบการค้นคว้าอิสระ

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อันแจ่ม)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลชนก พานิชการ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มัลลิกา ปัญญาอะโป)

...../...../.....

57311315 :สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀)/ ในอาคาร/ นอกอาคาร/ จังหวัดราชบุรี

สาขาวิชา : ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) และโลหะใน PM₁₀ ภายในและภายนอกอาคารในจังหวัดราชบุรี. อาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ : รศ.ดร. มลลิกา ปัญญาอะโป. 72 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) และความเข้มข้นของโลหะใน PM₁₀ จำนวน 15 ชนิด ได้แก่ Al As Cd Co Cr Cu Fe Hg Mg Mn Ni Pb Sb Zn และ V บริเวณภายในอาคารและนอกอาคาร ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยาราม ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ชุมชน และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ชนบท ผลการศึกษาความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามในฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่าภายในอาคารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41.67 และ 46.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และภายนอกอาคารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.70 และ 78.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินในฤดูฝนและฤดูแล้ง ภายในอาคารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.24 และ 27.39 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ภายนอกอาคารมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.47 และ 52.00 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย PM₁₀ ระหว่างโรงเรียนวัดเจติยารามกับโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ด้วยสถิติ T-Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความเข้มข้นสูงสุดของโลหะใน PM₁₀ 4 ลำดับแรก ของโรงเรียนวัดเจติยาราม ได้แก่ Fe Zn Mg และ Al และของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ได้แก่ Zn Fe Mg และ Al นอกจากนี้พบว่าความเข้มข้นของ PM₁₀ และโลหะหลายๆ ชนิดมีความสัมพันธ์กัน ได้แก่ Fe กับ Mn, Fe กับ Mg, Mg กับ Mn, Mn กับ Zn, PM₁₀ กับ Fe, PM₁₀ กับ Mn, Al กับ Fe, Al กับ Mg, Al กับ Mn และ Mg กับ Zn ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีแหล่งกำเนิดร่วมกัน และพบว่าทั้ง 2 บริเวณมีค่า Indoor to Outdoor ratio (I/O ratio) ของความเข้มข้นของ PM₁₀ ต่ำกว่า 1 ส่วนความเข้มข้นโลหะทุกชนิดใน PM₁₀ มีค่าสูง กว่า 1

ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาการค้นคว้าอิสระ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2559

57311315 : MAJOR : ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : PARTICULATE MATTER (PM₁₀)/ INDOOR/ OUTDOOR/ RATCHABURI PROVINCE

SAWITREE JAMPAHOM : PARTICULATE MATTER (PM₁₀) AND THEIR METALS IN INDOOR AND OUTDOOR IN RATCHABURI PROVINCE. INDEPENDENT STUDY ADVISOR : ASSOC. PROF. MALLIKA PANYAKAPO 72 pp.

The objectives of this research were to study the concentration of particulate matter less than 10 micrometers (PM₁₀) and to analyze 15 kinds of metal in PM₁₀ including Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mg, Mn Ni, Pb, Sb, Zn, and V. Indoor as well as ambient PM₁₀ were sampled in dry and wet seasons, at Wat Chetiyaram School (WS) and Ban ThamHin Border Patrol Police School (TS) represented as urban and rural areas, respectively. The results showed that the average concentrations of indoor PM₁₀ at WS during wet and dry season were 41.67 and 46.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and those of ambient PM₁₀ were 32.70 and 78.95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. For TS, the average concentrations of indoor PM₁₀ during wet and dry season 20.24 and 27.39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and those of ambient PM₁₀ were 19.47 and 52.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. All PM₁₀ concentrations were below the indoor and ambient air quality standards. According to T-Test statistical analysis at level of confidence of 95% the concentrations of PM₁₀ at WS and TS were significantly different. The descending of 4 highest metal concentrations in PM₁₀ at WS were Fe, Zn, Mg and Al; and at TS were Zn, Fe, Mg, and Al. Moreover, the relationships between PM₁₀ concentration and some metals were Fe with Mn, Fe with Mg, Mg with Mn, Mn with Zn, PM₁₀ with Fe, PM₁₀ with Mn, Al with Fe, Al with Mg, Al with Mn and Mg with Zn were found, indicating that these metals may originate from the same sources. For both areas, the Indoor to Outdoor ratio (I/O ratio) of PM₁₀ concentration were less than 1, whereas that of metal concentrations were higher than 1.

Department of Environmental Science Graduate School, Silpakorn University

Student's signature Academic Year 2016

Independent Study Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ในการวิจัยครั้งนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัยตลอดจนการแก้ปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์แก่งานวิจัยและขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อินเฒ่า และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กมลชนก พานิชการ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

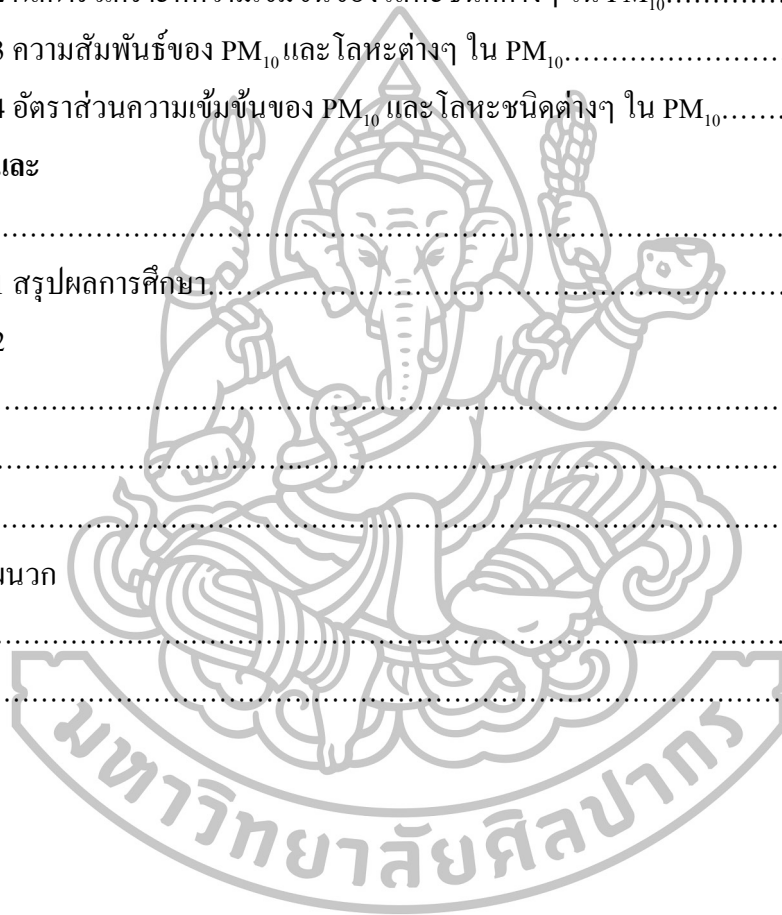
ขอขอบพระคุณคณาจารย์ นักวิทยาศาสตร์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่านที่ให้คำแนะนำต่างๆ พร้อมทั้งความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์ เครื่องมือ และสถานที่ในการวิจัย ขอขอบพระคุณสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 โรงเรียนวัดเจติยาราม (บัณฑิตประชาพานิช) โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คุณประสาธ นัฏไชยรัตน์ คุณกุลลดา เอกบุญชู คุณทวีชัย ลิ้มปสันติเจริญ และคุณเบญจวรรณ ชงริ้ว ที่ให้ความสะดวกและให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือทุกสิ่งทุกอย่างแก่ผู้ทำการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีตลอดช่วงเวลาในการดำเนินงานวิจัยนี้ ซึ่งประโยชน์จากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลจากทุกท่านที่ได้กล่าวนามมาข้างต้น

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
2 การตรวจสอบเอกสาร.....	4
2.1 อนุภาคมลสารหรือฝุ่นละออง.....	4
2.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง.....	5
2.3 ชาติที่มีในอนุภาคของฝุ่นละออง.....	5
2.4 ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม.....	6
2.5 โลหะหนัก.....	6
2.6 ลักษณะทั่วไปของจังหวัดราชบุรี.....	10
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	16
3.1 ภาพรวมของงานวิจัย.....	16
3.2 สถานที่ดำเนินงานวิจัย.....	17
3.3 เครื่องมือ สารเคมีและอุปกรณ์.....	21
3.4 การเก็บตัวอย่าง PM ₁₀	22
3.5 การหาความเข้มข้นของ PM ₁₀	22
3.6 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์โลหะ.....	24
3.7 การประมวลผลทางสถิติ.....	25

บทที่	หน้า
3.8 การหาค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของ โลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O ratio).....	26
4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล.....	27
4.1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10}	27
4.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10}	37
4.3 ความสัมพันธ์ของ PM_{10} และโลหะต่างๆ ใน PM_{10}	43
4.4 อัตราส่วนความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10}	53
5 สรุปและ	
ข้อเสนอแนะ.....	59
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	59
5.2	
ข้อเสนอแนะ.....	61
รายการอ้างอิง.....	62
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก	
ก.....	67
ประวัติผู้วิจัย.....	72



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....	5
2.2	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ ปี พ.ศ. 2557 บริเวณศูนย์วิศวกรรมกรรมแพทย์ที่ 1 และบริเวณสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี.13	
4.1	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายในอาคาร ในฤดูฝน.....	28
4.2	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร ในฤดูฝน.....	29
4.3	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายในอาคาร ในฤดูแล้ง.....	30
4.4	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร ในฤดูแล้ง.....	31
4.5	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายในอาคารระหว่าง งานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ.....	33
4.6	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายในอาคารระหว่าง งานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ.....	35
4.7	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณภายในอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูฝน.....	45
4.8	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูฝน.....	46
4.9	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูฝน.....	46
4.10	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูฝน.....	47
4.11	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณภายในอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูแล้ง.....	49
4.12	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณภายนอกอาคาร	

ตารางที่	หน้า
	โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูแล้ง..... 50
4.13	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูแล้ง..... 50
4.14	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูแล้ง..... 51
4.15	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณ โรงเรียนวัดเจติยาราม.....52
4.16	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน- บ้านถ้ำหิน..... 52
4.17	อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM ₁₀ และ โลหะชนิดต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบ บริเวณ โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูฝน..... 54
4.18	อัตราส่วนความเข้มข้นของ PM ₁₀ และ โลหะชนิดต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูฝน..... 55
4.19	อัตราส่วนความเข้มข้นของ PM ₁₀ และ โลหะชนิดต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบบริเวณ โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูแล้ง..... 57
4.20	อัตราส่วนระหว่าง ความเข้มข้นของ PM ₁₀ และ โลหะชนิดต่างๆ ใน PM ₁₀ ที่พบ บริเวณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูแล้ง..... 58
ตารางผนวก	
ก.1	ความเข้มข้นของโลหะใน PM ₁₀ ที่พบในพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูฝน...68
ก.2	ความเข้มข้นของโลหะใน PM ₁₀ ที่พบในพื้นที่โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน- บ้านถ้ำหิน ในฤดูฝน..... 69
ก.3	ความเข้มข้นของโลหะใน PM ₁₀ ที่พบในพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูแล้ง 70
ก.4	ความเข้มข้นของโลหะใน PM ₁₀ ที่พบในพื้นที่โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน- บ้านถ้ำหิน ในฤดูแล้ง..... 71

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ที่ตั้งจังหวัดราชบุรี.....	11
3.1	ขั้นตอนการวิจัย.....	16
3.2	ตำแหน่งของโรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี.....	17
3.3	จุดเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ ภายในอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี.....	18
3.4	จุดเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ ภายนอกอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี.....	18
3.5	ตำแหน่งของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี.....	19
3.6	จุดเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ ภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน- บ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี.....	19
3.7	จุดเก็บตัวอย่าง PM ₁₀ ภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน- บ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี.....	20
4.1	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายในอาคารระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	32
4.2	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายในอาคาร โรงเรียน ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินและโรงเรียนวัดเจติยาราม.....	34
4.3	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายนอกอาคารระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง.....	34
4.4	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM ₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียน ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินและโรงเรียนวัดเจติยาราม.....	36
4.5	ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM ₁₀ บริเวณภายในอาคาร โรงเรียน ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยาราม.....	37
4.6	ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM ₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียน ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยาราม.....	39
4.7	ร้อยละความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM ₁₀ บริเวณภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยาราม	
4.8	ร้อยละความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM ₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยาราม.....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ฝุ่นละอองในบรรยากาศเกิดจากกระบวนการในธรรมชาติและกิจกรรมของมนุษย์ กรณีที่เกิดจากกระบวนการทางธรรมชาติที่สำคัญ ได้แก่ การระเบิดของภูเขาไฟ การพัดพาอนุภาคของแข็งจากพื้นดินโดยกระแสลม และละอองเกลือจากทะเล เป็นต้น สำหรับฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ที่สำคัญ ได้แก่ ฝุ่นละอองที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรม ยานพาหนะ และการเผาไหม้ชีวมวลต่างๆ ฝุ่นละอองในบรรยากาศมีการเปลี่ยนแปลงไปตามสถานที่และตามฤดูกาลในรอบปี ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศบรรยากาศทั่วไปมีขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 100 ไมครอนลงไปจนถึงขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ได้แก่ ฝุ่น (Dust) ควัน (Smoke) ฟุ้ง (Fume) เป็นต้น PM_{10} สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานกว่าฝุ่นรวม (TSP) (ศรีรัตน์และคณะ, 2545) PM_{10} จัดเป็นมลพิษทางอากาศในหลายพื้นที่ของประเทศไทย

จังหวัดราชบุรีเป็นเมืองเก่าแก่เมืองหนึ่งของประเทศไทยที่มีบทบาทต่อเศรษฐกิจของภาคตะวันตกมีการพึ่งพิงสาขาการผลิตที่สำคัญคือสาขาอุตสาหกรรมประกอบกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรส่งผลให้เกิดผลกระทบทางด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมพื้นที่ป่าไม้ถูกบุกรุกเพื่อใช้ประโยชน์ทางธุรกิจซึ่งจังหวัดราชบุรีมีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันจังหวัดราชบุรีมีโรงงานทั้งสิ้น 1,818 โรงงาน (ข้อมูล ณ วันที่ 25 กันยายน, 2558) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558) โดยอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการตั้งอยู่บริเวณพื้นที่อำเภอเมืองและเนื่องจากจังหวัดราชบุรีมีลักษณะทางธรณีวิทยาที่มีหินปูนอยู่มากทำให้อุตสาหกรรมเหมืองหินและโรงโม่หินพบอยู่ในหลายพื้นที่ของจังหวัด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูปหินปูน ประกอบด้วย โรงงานผลิตปูนขาว โรงงานผลิตอิฐบล็อก โรงงานผลิตคอนกรีต และโรงงานผลิตสารส้ม กลุ่มที่สอง ได้แก่ โรงงานผลิตเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ดังกล่าวจะมีการตั้งอยู่ใกล้บริเวณชุมชน ทำให้เกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศ (ข้อมูล ณ วันที่ 25 กันยายน, 2558)

อุตสาหกรรมดังกล่าวมีการปลดปล่อยมลพิษออกสู่บรรยากาศ ได้ 3 ลักษณะ คือ การปลดปล่อยจากเตาเผาในกระบวนการผลิต การเทกองวัตถุดิบ และการขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ซึ่งปัญหาที่พบมากคือการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ฝุ่นละอองที่เกิดจากอุตสาหกรรมดังกล่าวประกอบด้วย TSP PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ ทำให้สุขภาพ

ของประชากรย้ายแหล่ง อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งก่อสร้างและสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ทั้งในด้านเชิงปริมาณ และในด้านองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งความเข้มข้นของโลหะหนัก

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงได้เก็บตัวอย่าง PM_{10} 2 จุด คือ จุดฝุ่นและจุดแฉ่ง และวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} และนำผลการวิเคราะห์หามาเปรียบเทียบกัน ระหว่าง 2 พื้นที่ คือ พื้นที่ที่รับสัมผัสฝุ่นจากการทำอุตสาหกรรมแปรรูปหินปูน ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชน (Urban area) กับบริเวณที่อยู่ห่างจากบริเวณที่มีการทำอุตสาหกรรมแปรรูปหินปูน ซึ่งเป็นพื้นที่ชนบท (Rural area) รวมทั้งได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคาร ใน 2 จุด คือ จุดฝุ่นและจุดแฉ่ง ในพื้นที่บริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชน (Urban area) และ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง ซึ่งเป็นพื้นที่ชนบท (Rural area)

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ในประเด็นต่างๆ ได้แก่ ระหว่างภายในและภายนอกอาคารในแต่ละพื้นที่ศึกษา ระหว่าง 2 พื้นที่ศึกษา และระหว่าง 2 จุดกาล

1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารใน 2 จุด คือ จุดฝุ่นและจุดแฉ่งในแต่ละพื้นที่ศึกษา

1.3 สมมติฐาน

1.3.1 ความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ในแต่ละพื้นที่ศึกษา ภายนอกอาคารมีค่าสูงกว่าภายในอาคาร

1.3.2 ความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามมีค่าสูงกว่าโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และจุดแฉ่งมีค่าสูงกว่าจุดฝุ่น

1.3.3 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} กับโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะกับโลหะใน PM_{10} บางชนิดมีความสัมพันธ์กัน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1.4.1 เก็บตัวอย่าง PM_{10} ในบริเวณอำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี ในโรงเรียนวัดเจติยาราม ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชน (Urban area) เทียบกับพื้นที่ชนบท (Rural area) ซึ่งเก็บตัวอย่างบริเวณโรงเรียน ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง โดยเก็บตัวอย่างภายในและภายนอกอาคาร เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง

1.4.2 เก็บตัวอย่าง PM_{10} เป็นเวลา 2 ฤดู คือ ฤดูฝน ระหว่างวันที่ 10 สิงหาคม ถึง 12 ตุลาคม พ.ศ. 2557 และฤดูแล้ง ระหว่างวันที่ 23 มกราคม ถึง 14 มีนาคม พ.ศ. 2558

1.4.3 ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ได้แก่ Al As Cd Co Cr Cu Fe Hg Mg Mn Ni Pb Sb Zn และ V ซึ่งเป็นองค์ประกอบอยู่ใน PM_{10}

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถทราบความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารใน 2 ฤดู คือ ฤดูฝนและฤดูแล้งของแต่ละพื้นที่ศึกษา

1.5.2 ความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ที่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ภายในและภายนอกอาคารใน 2 ฤดู คือ ฤดูฝนและฤดูแล้งของแต่ละพื้นที่ศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการศึกษาด้านมลพิษทางอากาศที่มีผลต่อสุขภาพอนามัยในพื้นที่ได้

1.5.3 สามารถนำผลการศึกษาไปเผยแพร่ต่อกลุ่มประชาชนและกลุ่มอุตสาหกรรม กลุ่มองค์กรของรัฐในระดับท้องถิ่นในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี และขยายผลในพื้นที่อื่นๆ ที่มีลักษณะของปัญหาคล้ายกัน

บทที่ 2

การตรวจสอบเอกสาร

สารมลพิษทางอากาศ (Air pollutant) หมายถึง สารปนเปื้อนหรือสิ่งเจือปนอยู่ในอากาศ ตั้งแต่ 1 สาร หรือมากกว่าที่มีปริมาณและคงอยู่ในบรรยากาศได้นานพอที่จะมีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ พืช หรือสัตว์ (Wark *et al.*, 1998)

สารมลพิษทางอากาศสามารถแบ่งตามลำดับการเกิดแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1 สารมลพิษปฐมภูมิ (Primary pollutant) หมายถึง สารมลพิษทางอากาศที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดโดยตรงโดยไม่ทำปฏิกิริยากับสารอื่น

2 สารมลพิษทุติยภูมิ (Secondary pollutant) หมายถึง สารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ โดยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารมลพิษปฐมภูมิ หรือกับกลุ่มของสารที่ปรากฏอยู่ในบรรยากาศ (Wark *et al.*, 1998)

สารมลพิษทางอากาศที่ปนเปื้อนอยู่ในอากาศมีมากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่มีการปนเปื้อนอยู่ในบรรยากาศทั่วไปและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต ต่อสุขภาพของคนและสิ่งแวดล้อมมากที่สุดคือ อนุภาคมลสารหรือฝุ่นละออง

2.1 อนุภาคมลสารหรือฝุ่นละออง

วรารุช (2546) กล่าวว่า “ฝุ่นละอองเป็นทั้งอนุภาคของแข็งและของเหลว ซึ่งไม่ใช่สารที่มีโมเลกุลเดียว ขนาดของอนุภาคทำให้อัตราการคงอยู่ในอากาศเป็นไปได้ตั้งแต่ 2-3 วินาที ไปจนถึงหลายๆ เดือน” ทั้งนี้ฝุ่นละอองมีขนาดระหว่าง 0.1-1 ไมครอนหรือไมโครเมตร มีความเร็วในการตกลงสู่พื้นน้อยมาก เมื่อเทียบกับความเร็วลม ทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปกับกระแสลมได้ดี ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่กว่า 20 ไมครอน จะเริ่มมีความเร็วการตกลงสู่พื้นเพียงพอที่จะตกสู่พื้นโดยน้ำหนักและแรงเฉื่อย ปัจจุบันมีการจำแนกประเภทของฝุ่นละอองตามขนาดของอนุภาค ไว้ 3 ประเภท ดังนี้

1 ฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (Total suspended particulate) หรือ (TSP) หมายถึง อนุภาคของแข็งและกึ่งของแข็งทุกขนาด อาจมีขนาดเพียง 0.005 ไมครอน หรือมากกว่า 100 ไมครอน สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นาน เราสามารถมองเห็นฝุ่นได้ขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอน ขึ้นไปได้ด้วยตาเปล่า

2 ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate matter less than 10 microns) หรือ (PM₁₀) ได้แก่ ฝุ่น (Dust) ควัน (Smoke) ฟุ้ง (Fume) เป็นต้น สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้

นานกว่าฝุ่นรวม สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนล่างได้ เป็นฝุ่นที่อันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์

3 ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Particulate matter less than 2.5 microns) หรือ (PM_{2.5}) หมายถึง อนุภาคของแข็งหรือกึ่งของแข็งอยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) ที่มีขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ซึ่งเกิดจากที่ไอระเหยในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงในกระบวนการเผาไหม้ เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่างอนุภาคแล้วรวมตัวเป็นฝุ่นละออง ได้แก่ ฝุ่นละอองจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากโรงงานไฟฟ้า การเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะ เป็นต้น สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้และซึมเข้าไปได้ถึงกระแสเลือดของมนุษย์ได้ (ศรีรัตน์ และคณะ, 2545)

2.2 แหล่งที่มาของฝุ่นละออง

แหล่งที่มาของฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนในอากาศจำแนกได้ 2 ประเภท ดังนี้

1 ฝุ่นละอองที่เกิดจากธรรมชาติ มักเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ เช่น ดิน ทราย หิน ฝุ่นเกลือจากทะเล ฝุ่นละอองประเภทนี้มีผลต่อสุขภาพอนามัยของคนน้อย เพราะเมื่อหายใจเข้าไปจะถูกกรองด้วยระบบทางเดินหายใจและกำจัดออกทางลมหายใจทำให้มีการสัมผัสน้อย

2 ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ ได้แก่ จากการคมนาคมขนส่ง การจราจร การก่อสร้าง อุตสาหกรรม เป็นต้น ฝุ่นละอองที่ปล่อยจากกระบวนการอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดใหญ่จะติดอยู่กับระบบบำบัด (ศรีรัตน์ และคณะ, 2545)

2.3 ธาตุที่มีในอนุภาคของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองแต่ละชนิดจะประกอบด้วยธาตุที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองชนิดนั้น เช่น ฝุ่นดิน ประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ ซิลิกา อะลูมิเนียม เป็นธาตุหลัก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของดิน ส่วนฝุ่นที่มาจากการก่อสร้างจะมีธาตุแคลเซียมซึ่งเป็นส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ ส่วนฝุ่นที่มาจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิง มีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ ธาตุคาร์บอน เป็นต้น (สุชาลินี, 2553) รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

แหล่งที่มา	ตัวบ่งชี้ (Markers elements)
ดิน	Al, Si, Sc, Ti, Fe, Sm, Ca
ฝุ่นถนน	Ca, Al, Sc, Si, Ti, Fe, Sm
การเผาไหม้น้ำมัน	V, Ni, Mn, Fe, Cr, As, S, SO ₄ ²⁻
การเผาไหม้ถ่านหิน	Al, Sc, Se, Co, As, Ti, Th, S
อุตสาหกรรมเหล็กเหล็กและอะลูมิเนียม	Mn, Cr, Fe, Zn, W, R
อุตสาหกรรมที่ไม่ใช่เหล็ก	Zn, Cu, As, Sb, Pb, Al
อุตสาหกรรมเครื่องแก้ว	Sb, As, Pb
อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	Ca
การเผาขยะ	K, Zn, Pb, Sb
รถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน	C _{ele} , Br, Ce, La, Pt, SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻
รถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล	C _{ele} , C _{org} , S, SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻

C_{ele} : Elemental Carbon

C_{org} : Organic Carbon

ที่มา : A study on air pollution by airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Bangkok urban atmosphere. (Garivait H., 1999)

2.4 ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

ฝุ่นละอองที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ในลักษณะเรื้อรัง โดยสามารถสะสมในร่างกายได้ เมื่อมีปริมาณมากจึงจะปรากฏอาการ ผลกระทบมี 3 รูปแบบ คือ

- 1 ฝุ่นละอองเป็นพิษเนื่องจากองค์ประกอบทางเคมี หรือลักษณะทางกายภาพ เช่น มีขนาดเล็ก มีลักษณะแหลมคม มีการปนเปื้อนของสารเคมี มีฤทธิ์เป็นกรด-ด่าง
- 2 ฝุ่นละอองเข้าไปรบกวนระบบหายใจโดยตรง ทำให้หายใจลำบากขึ้น
- 3 ฝุ่นละอองเป็นตัวพาหรือดูดซับสารมลพิษและพาเข้าสู่ร่างกาย เช่น แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) และเชื้อโรคประเภทต่างๆ ทำให้ร่างกายเกิดโรคจากสารเหล่านั้น

2.5 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5.0 ขึ้นไป ไม่รวมโลหะแอลคาไลน์ (Alkali) และโลหะแอลคาไลน์เอิร์ท (Alkaliearth) โดยทั่วไปโลหะหนักจะเป็นธาตุในตารางธาตุที่มีเลขอะตอม (Atomic number) อยู่ในช่วง 23-92 และอยู่ในคาบ 4-7 ของตารางธาตุ โลหะหนักมีทั้งหมด 68 ธาตุจากจำนวนธาตุที่เป็นโลหะทั้งหมด 83 ธาตุ ซึ่งอยู่ในกลุ่มของธาตุแทรนซิชัน (Transition elements) เช่น โครเมียม (Cr) ปรอท (Hg) และแคดเมียม (Cd) เป็นต้น และในกลุ่มของธาตุเรพรีเซนต์ (Representative elements) เช่น ตะกั่ว (Pb) อาร์เซนิก (As) และพลวง (Sb) เป็นต้น (วาสนา, 2549)

2.5.1 แหล่งที่มาของโลหะหนัก

1 แหล่งตามธรรมชาติ

เนื่องจากในธรรมชาติมีโลหะต่างๆ ปะปนอยู่กับหินแร่ธาตุต่างๆ เช่น ในหินอัคนีและหินแปรมีตะกั่ว 10-20 มิลลิกรัมต่อลิตร แคดเมียมพบปะปนอยู่กับแร่สังกะสี ส่วนปริมาณโลหะหนักที่มีในบรรยากาศจะขึ้นอยู่กับความมากน้อยของการชะกร่อนโดยลมองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละออง และความมากน้อยของการตกลงมาสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำของฝุ่นละออง ซึ่งควบคุมด้วยความถี่ของวันที่ฝนตกและขนาดของฝุ่นละอองนั้นๆ

2 แหล่งที่มนุษย์เกี่ยวข้อง

2.1 แหล่งที่อยู่กับที่ เช่น โรงงานประเภทต่างๆ ที่มีกระบวนการผลิตเกี่ยวข้องกับโลหะหนักจะปลดปล่อยโลหะหนักสู่สภาวะแวดล้อมเสมอ เช่น แคดเมียมจากโรงงานชุบโลหะหนัก โรงงานทำสีและโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก ตะกั่วจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่และโรงงานกลั่นน้ำมัน ยานพาหนะเป็นแหล่งใหญ่ในการเกิดการกระจายตัวของตะกั่วในบรรยากาศ แหล่งชุมชน

2.2 แหล่งที่เคลื่อนที่เป็นแหล่งที่ทำให้เกิดปัญหามลภาวะและได้รับความสนใจกันกว้างขวาง โดยเฉพาะในย่านชุมชนที่มีการจราจรหนาแน่นเพราะโลหะหนักที่ก่อให้เกิดปัญหามาก คือ ตะกั่วและแคดเมียม

2.3 การเกษตร โดยการนำสารเคมีต่างๆ มาใช้เพิ่มผลผลิตทั้งในรูปแบบของปุ๋ยซึ่งเป็นผลทางตรงและยาปราบศัตรูพืชต่างๆ ซึ่งมีผลในทางป้องกันการสูญเสีย ดังนั้นการเกษตรจึงเป็นแหล่งที่ส่งเสริมให้มีผลตกค้างของโลหะหนักได้อีกทางหนึ่ง

2.4 แหล่งอื่นๆ เป็นแหล่งที่มีการนำเอาโลหะหนักไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ เช่น สีทาบ้าน ผงซักฟอกจะมีตะกั่วและแคดเมียมปะปน เป็นต้น (อภิรดี, 2545)

2.5.2 ความเป็นพิษของโลหะหนัก

พิษของโลหะหนักเกิดจากการรบกวนกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์โดยกระบวนการที่สำคัญ คือ การรบกวนกระบวนการทำงานของเอนไซม์ ซึ่งโลหะที่มีค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (Electronegativity) สูง เช่นปรอท เงิน และทองแดง เป็นต้น จะยึดติดกับกลุ่มของอะมิโนและหมู่ซัลไฟไฮดริล (Sulfhydryl: -SH) ของเอนไซม์ และขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่มีกลุ่มเหล่านี้เป็นองค์ประกอบ

โดยทั่วไปแล้วโลหะหนักแต่ละชนิดจะแสดงความเป็นพิษต่อร่างกายได้แตกต่างกันจึงแบ่งโลหะหนักชนิดที่เป็นพิษต่อร่างกายได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1 โลหะที่ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับระบบหายใจ ส่วนใหญ่เป็นอนุภาคของโลหะที่แขวนลอยในอากาศ ได้แก่ เหล็ก ทังสเตน และซิลิเนียม

2 โลหะที่ทำให้เกิดโรคเกี่ยวกับอวัยวะภายใน เช่นตับ ไต และหัวใจ ธาตุโลหะที่เป็นพิษ ได้แก่ โครเมียม วานาเดียม นิกเกิล ทองแดง เงิน และแคดเมียม

3 โลหะหนักที่เป็นพิษร้ายแรง จนเกิดความสามารถที่จะรักษาให้หายขาด ได้แก่ ปรอท ตะกั่ว แมงกานีส สารหนู และพลวง สารพิษเหล่านี้อาจเป็นพิษต่อระบบหัวใจและระบบส่วนกลาง (สุทิสรา, 2549)

อันตรายของโลหะหนักต่อร่างกายโดยสรุปดังนี้

1 อลูมิเนียม (Al)

อลูมิเนียมเป็นโลหะสีเงินอมขาว น้ำหนักเบา ไม่มีกลิ่น ในธรรมชาติพบในรูปแร่ออกไซด์เป็นหลัก และมีคุณสมบัติเด่น คือต่อต้านการออกซิเดชันเป็นเยี่ยม (เนื่องจากปรากฏการณ์ Passivation) มีการใช้อลูมิเนียมในอุตสาหกรรมหลายประเภท เพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย ส่วนใหญ่ในชีวิตประจำวันเราได้รับอลูมิเนียมเข้าสู่ร่างกายโดยการกินเป็นหลัก อวัยวะที่มักเป็นเป้าหมายต่อพิษของอลูมิเนียม ได้แก่ ปอด กระดูก และระบบประสาท (สุปรียา, 2553)

2 อาร์เซนิก (As)

อาร์เซนิกหรือสารหนู เป็นโลหะสีเทาเงิน มันวาว ก่อนข้างเปราะ ในธรรมชาติเกิดเป็นออกไซด์ ซึ่งมักจะรวมอยู่กับแร่ธาตุอื่นๆ กลายเป็นรูปสารประกอบทั้งในน้ำและดินมักพบในการทำเหมืองดีบุก สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้ทางการหายใจ การดูดซึมของลำไส้ และผ่านผิวหนัง โดยจะมีอาการอย่างไร ขึ้นอยู่กับรูปแบบและปริมาณของสารหนูที่ร่างกายได้รับ อวัยวะเป้าหมายที่สารหนูแพร่กระจายไป คือ เส้นผม ขน เล็บ และสมอง (เพ็ญสุภา, 2553)

3 แคดเมียม (Cd)

แคดเมียมเป็นโลหะที่มีสีเงิน โดยทั่วไปแคดเมียมที่ปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจะพบในแหล่งทำเหมืองสังกะสีและตะกั่ว ความเป็นพิษแบบเรื้อรังมักจะปรากฏที่ไต และปอดเป็นส่วนใหญ่ ความเป็นพิษต่อปอด เกิดจากการหายใจเอาฝุ่นหรือฟุ้งของแคดเมียมเข้าไป จะทำให้เกิดอาการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด และเกิดอาการหายใจขัด ความเป็นพิษต่อไต ทำให้เกิดโรคที่เรียกว่า “โรคไต-อิต” จะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนปอด (ศิวพันธุ์, 2556)

4 โคบอลต์ (Co)

โคบอลต์ตามธรรมชาติจะมีสภาพเป็น Mononuclidic (^{59}Co) ส่วนสภาพอื่นสามารถแผ่รังสีได้ เช่น ^{54}Co , ^{55}Co , ^{56}Co , ^{57}Co , ^{58}Co และ ^{60}Co แต่ที่นิยมใช้กันมาก คือ ^{60}Co โดยใช้เป็นแหล่งกำเนิดรังสีแกมมา (Gamma ray source) โคบอลต์มีสมบัติแข็ง เปราะ และเป็น Hard magnetic metal มีการแลกเปลี่ยนเฟสจาก Hexagonal close packed (HCP) เป็น Face centered cubic (FCC) ที่ 417 องศาเซลเซียส สมบัติทางเคมีอยู่ระหว่างเหล็กและนิกเกิล มีความต้านทานการกัดกร่อนมากกว่าเหล็กแต่น้อยกว่านิกเกิล โคบอลต์ปกติในปริมาณเล็กน้อยไม่เป็นพิษต่อคนและสัตว์ แต่โคบอลต์ในรูปผงติดไฟได้ (อภิชาติ, 2543)

5 โครเมียม (Cr)

โครเมียมเป็นโลหะเงินสีขาว มันวาว มีความแข็งแรงทนต่อสภาพการกัดกร่อนได้ดี หากมีความบริสุทธิ์สูงจะมีสีขาวออกฟ้าอ่อน พบได้ตามธรรมชาติ ทั้งในดิน หิน น้ำ และอากาศ การสูดเอาละอองของโครเมียม เช่น โครเมียมออกไซด์ โครเมียมฟลูออไรด์ เป็นเวลานานจะทำให้เป็นมะเร็งปอด ในรายที่ดื่มกรดโครมิกหรือโครเมตโดยอุบัติเหตุ จะเป็นอันตรายต่อตับ ไต และระบบประสาทในทันทีทันใด จนอาจถึงตายได้ (ลักขณา, 2543)

6 ทองแดง (Cu)

ทองแดงส่วนมากพบทั้งในรูปไอและเกลือของทองแดง เมื่อสะสมในร่างกายทำให้เกิดการระคายเคืองและอักเสบที่ตา ระบบหายใจ ระบบทางเดินอาหารและประสาท รสสัมผัสเสีย ถ้าร่างกายได้รับไอทองแดงมากๆ จะทำให้เกิดการคลื่นไส้ อาเจียน เป็นไข้ อาจทำให้ผิวหนังและผมเปลี่ยนสีได้ถ้าได้รับในปริมาณมาก ทำให้เนื้อเยื่อจมูกอักเสบและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง (ฐิตียา, 2551)

7 เหล็ก (Fe)

เหล็กเป็นของแข็ง สีดำ ส่วนใหญ่มักพบในรูปออกซิไดซ์ ถ้าร่างกายมีการสะสมเหล็กมากๆ เนื่องจากความผิดปกติบางอย่าง เหล็กจะถูกสะสมไว้ในรูปเฮโมซิเดอรินเป็นผลึกที่ละลายได้ยาก ภาวะที่ร่างกายเก็บเหล็กไว้ในสภาพเฮโมซิเดอรินในปริมาณมากเรียก เฮโมซิ

เดอไรซีส อาการคือ ทำให้มีอาการเกาะของเหล็กแต่ละแห่งมาก โดยเฉพาะในตับและม้าม อาการตามมา คือ ตับแข็ง (ลักษณะ, 2543)

8 ปรอท (Hg)

ปรอทเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงิน เป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ สามารถทำให้เป็นของแข็งได้แต่เปราะที่อุณหภูมิปกติ ปรอทสามารถระเหยกลายเป็นไอได้ ทำให้เป็นอันตรายต่อร่างกายได้ง่ายขึ้น ปรอทเป็นพิษทั้งในรูปสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ มนุษย์สามารถดูดซึมเข้าร่างกายได้ทั้งทางเดินหายใจ ระบบทางเดินอาหารและซึมผ่านทางผิวหนัง ปรอทเป็นสารพิษเรื้อรัง ปกติมักไม่พบอาการของพิษปรอทเฉียบพลัน (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2547)

9 แมกนีเซียม (Mg)

แมกนีเซียมเป็นแร่ธาตุที่ร่างกายต้องการเพียงเล็กน้อยแต่มีประโยชน์ต่อร่างกายมากครั้งหนึ่งจะสะสมในเซลล์ส่วนต่างๆ ของร่างกาย อีกครั้งหนึ่งจะรวมกับแคลเซียมและฟอสฟอรัสเป็นเนื้อกระดูก แมกนีเซียมนอกจากจะไม่เป็นพิษต่อร่างกายแล้วยังเป็นธาตุที่ร่างกายต้องการด้วย (ชัยวัฒน์, 2558)

10 แมงกานีส (Mn)

แมงกานีสมีสีขาวคล้ายเงิน แข็งและเปราะพบได้ในธรรมชาติ แต่จะเกิดร่วมกับธาตุอื่นๆ ได้หลายรูปแบบ มีอันตรายต่อร่างกายเป็นอย่างมาก เมื่อหายใจเข้าไปในรูปของฝุ่นจะไปมีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง โดยจะมีอาการอ่อนเพลียต่อสมอง มีความยุ่งยากในการสั่งงาน พุดไม่ชัด น้ำลายไหล และหงุดหงิด (ลักษณะ, 2543)

11 นิกเกิล (Ni)

นิกเกิลเป็นโลหะแข็ง สีเงิน โลหะนิกเกิลไม่พบในสิ่งแวดล้อมทั่วไป แต่อาจพบในโรงงานถลุงแร่ นิกเกิล โลหะนิกเกิลใช้ทำเป็นโลหะผสมมีความแวววาวเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางผิวหนัง อาหาร และการหายใจ เมื่อร่างกายรับเข้าไปจะมีอาการในระยะแรก คือ คลื่นไส้ อาเจียน ปวดศีรษะ และเจ็บหน้าอก และมีอาการเกี่ยวกับโรคปอดอย่างร้ายแรง หัวใจเต้นเร็ว อ่อนเพลีย และอาจเสียชีวิตได้ภายใน 4-13 วัน (ธีรพงศ์, 2546)

12 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วเป็นโลหะสีเงินแกมฟ้าเกิดขึ้นตามธรรมชาติสามารถพบได้ทั่วไปในสิ่งแวดล้อม ตะกั่วมีพิษต่อร่างกาย ปกติเรามักพบตะกั่วปนอยู่กับกำมะถัน ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้หลายทาง ทั้งทางบริโภค การหายใจ และทางผิวหนัง ซึ่งเมื่อได้รับโลหะตะกั่วแล้วร่างกายจะเกิดการดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด และสะสมที่ตับ ไต และกระดูก ถ้าได้รับในปริมาณไม่

มากมักจะเกิดอาการวิงเวียนศีรษะ อ่อนเพลีย เป็นตะคริว หากได้รับในปริมาณมากๆ จะเกิดอาการประสาทหลอน เป็นอัมพาต และกลายเป็นคนวิกลจริตได้ (ศิวพันธุ์, 2556)

13 พลวง (Sb)

พลวงเป็นธาตุกึ่งโลหะ (Metalloid) เช่นเดียวกับสารหนูและซิลิกอน พลวงมีคุณสมบัติไปทางโลหะค่อนข้างมาก ลักษณะทางกายภาพเป็นมันเงา แข็ง สีขาวเงิน เปราะหักง่าย หรืออาจพบในรูปเป็นผงสีดำเทา อาการพิษของพลวงนั้นมีอาการคล้ายกับสารหนู แต่มีความรุนแรงค่อนข้างน้อยกว่า (จุฑารัตน์, 2556)

14 สังกะสี (Zn)

สังกะสีเป็นโลหะสีเงิน มันวานิยมนำมาใช้ในภาคอุตสาหกรรมมากมาย สำหรับเป็นโลหะโครงสร้างหรือโลหะผสมกับโลหะอื่น สังกะสีที่พบในธรรมชาติไม่พบในรูปของธาตุอิสระ โดยทั่วไปมักพบสังกะสีในดิน โดยอยู่ในรูปของซัลไฟด์ (ZnS) การสูดหายใจเอาฝุ่นละอองของสังกะสีมีอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจจะทำให้ระบบทางเดินหายใจอุดตัน ปอดอักเสบ และถ้าหายใจเอาสังกะสีออกไซด์มากๆ จะทำให้มีอาการอ่อนเพลีย หนาวสั่น ปวดตามแขนขาและปวดศีรษะอย่างรุนแรง (ศิวพันธุ์, 2556)

15 วานเนเดียม (V)

วานเนเดียมในรูปบริสุทธิ์จะเป็นโลหะของแข็ง เนื้อค่อนข้างอ่อนนุ่ม สีออกฟ้าเงินเทา วานเนเดียมพบอยู่ในรูปสารประกอบต่างๆ ในสินแร่หลายชนิดบนพื้นผิวโลก ฤทธิ์ก่อโรคที่สำคัญที่สุดเกิดจากการระคายเคืองเยื่อเยื่อเป็นหลัก เช่น เยื่อตา เยื่อหูทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังสามารถดูดซึมเข้าไปสะสมในเนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ด้วย (วิวัฒน์, 2555)

2.6 ลักษณะทั่วไปของจังหวัดราชบุรี

2.6.1 ขนาดและที่ตั้ง

จังหวัดราชบุรีตั้งอยู่ทางภาคตะวันตกของประเทศไทยอยู่ระหว่างเส้นละติจูดที่ 13 องศา 10 ลิปดาเหนือ ถึงละติจูดที่ 13 องศา 45 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 99 องศา 10 ลิปดาตะวันออก ถึงลองจิจูด 100 องศา 5 ลิปดาตะวันออก มีพื้นที่ประมาณ 5,196 ตาราง เป็นจังหวัดที่มีขนาดเล็กที่สุดของภาคตะวันตก อยู่ห่างจากกรุงเทพมหานครทางหลวงแผ่นดิน หมายเลขที่ 4 ประมาณ 100 กิโลเมตร มีพื้นที่ชายแดนติดกับสาธารณรัฐแห่งสหภาพพม่า โดยมีเทือกเขาตะนาวศรีเป็นพรมแดนสันปันน้ำ ระยะความยาว 73 กิโลเมตร มีจังหวัดที่มีอาณาเขตติดต่อกัน ดังนี้

ทิศเหนือ ติดต่อกับ อำเภอท่าม่วง อำเภอท่ามะกา และอำเภอเมือง
จังหวัดกาญจนบุรี

ทิศใต้	ติดต่อกับ	อำเภอเขาย้อย จังหวัดเพชรบุรี
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับ	อำเภอสามปราณ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม อำเภออัมพวา อำเภอเมือง และอำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสงคราม
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับ	สาธารณรัฐแห่งสหภาพพม่า ซึ่งมีแนวชายแดนยาว ประมาณ 73 กิโลเมตร (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8, 2557)

ที่ตั้งจังหวัดราชบุรีแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ที่ตั้งจังหวัดราชบุรี

ที่มา : การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. แผนที่จังหวัดราชบุรี, 2558, เข้าถึงเมื่อ 18 กุมภาพันธ์ 2558,
เข้าถึงได้จาก <http://123.242.157.9/document/fpdf-3112553-96.pdf>

2.6.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดราชบุรี แบ่งได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้

1 พื้นที่ภูเขาสูง ได้แก่ บริเวณชายแดนด้านตะวันตกกับสาธารณรัฐแห่งสหภาพพม่า และเขตแดนด้านใต้ติดกับจังหวัดเพชรบุรี มีสภาพเป็นที่อกเขาสูง อุดมด้วยป่าดิบ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง และป่าไผ่ ในระดับความสูง ตั้งแต่ 200 เมตร ถึง 1,100 เมตร ในเขตอำเภอสวนผึ้ง อำเภอบ้านคา และอำเภอปากท่อด้านตะวันตก

2 พื้นที่ราบสูง ได้แก่ บริเวณถัดจากบริเวณที่อกเขามาทางด้านตะวันออก จนถึงตอนกลางของพื้นที่จังหวัด มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบสูง และมีเนินลาด มีแม่น้ำภาชี และลำห้วยสาขา เป็นสายน้ำหลัก สภาพเนื้อดินเป็นดินปนทรายมีการชะล้างพังทลายของหน้าดินค่อนข้างสูงถึงปานกลาง อยู่ในเขตพื้นที่อำเภอสวนผึ้ง อำเภอบ้านคา อำเภอจอมบึง และด้านตะวันตกของอำเภอปากท่อ อำเภอเมืองราชบุรี อำเภอโพธาราม และอำเภอบ้านโป่ง

3 ที่ราบลุ่ม ได้แก่ บริเวณสองฝั่งแม่น้ำแม่กลอง และด้านตะวันออกของพื้นที่จังหวัด เนื้อดินเป็นดินร่วนและดินร่วนปนดินเหนียว มีความอุดมสมบูรณ์ มีระบบชลประทานแม่กลองใหญ่ ครอบคลุมทั่วพื้นที่ ได้แก่ บริเวณเขตอำเภอบ้านโป่ง อำเภอโพธาราม อำเภอบางแพ อำเภอเมืองราชบุรี และอำเภอปากท่อ

4 ที่ราบลุ่มต่ำ ได้แก่ บริเวณตอนปลายของแม่น้ำแม่กลองที่เชื่อมต่อกับจังหวัดสมุทรสงครามอยู่สูงจากระดับน้ำทะเล 1-2 เมตร ดินมีความสมบูรณ์ เหมาะแก่การทำสวนผักผลไม้ (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8, 2557)

2.6.3 ลักษณะภูมิอากาศ

จังหวัดราชบุรี ตั้งอยู่ในเขตที่ได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ แต่เนื่องจากมีเทือกเขาตะนาวศรีกั้นอยู่จึงได้รับลมมรสุมจากมหาสมุทรอินเดียและทะเลอันดามันไม่เต็มที่ จึงมีฝนตกน้อยในพื้นที่ อำเภอที่ติดกับเทือกเขาตะนาวศรี ได้แก่ อำเภอสวนผึ้ง อำเภอบ้านคา และอำเภอจอมบึง ฝนส่วนใหญ่จะถูกพัดเลยไปตกในแถบลุ่มแม่น้ำแม่กลอง และด้านตะวันออกของพื้นที่จังหวัด แต่ในฤดูหนาวบริเวณเชิงเขาหรือหุบเขาในพื้นที่อำเภอสวนผึ้ง และอำเภอบ้านคาจะมีสภาพอากาศหนาวมาก อุณหภูมิเฉลี่ย 8-15 องศาเซลเซียส (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8, 2557)

2.6.4 ทรัพยากรธรณี

ทรัพยากรแร่ของจังหวัดราชบุรี จำแนกตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่กำหนดไว้ในยุทธศาสตร์การบริหารจัดการทรัพยากรแร่ พ.ศ. 2550-2554 ได้จำแนกออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1 กลุ่มแร่เพื่อการพัฒนาสาธารณูปโภคพื้นฐานและโครงการขนาดใหญ่ของรัฐ
ทรัพยากรแร่กลุ่มนี้ที่พบในจังหวัดราชบุรี สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่

1.1 กลุ่มแร่เพื่ออุตสาหกรรมซีเมนต์ ได้แก่ หินปูนเพื่ออุตสาหกรรม
ซีเมนต์

1.2 กลุ่มแร่เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง ได้แก่ หินปูนเพื่ออุตสาหกรรม
ก่อสร้าง หินประดับชนิดหินแกรนิต และทรายก่อสร้าง

2 กลุ่มแร่เพื่อสนับสนุนเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม ทรัพยากรแร่กลุ่มนี้ที่พบใน
จังหวัดราชบุรีสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มย่อย ได้แก่

2.1 กลุ่มแร่โลหะ ได้แก่ ดีบุก พบที่บริเวณ ตำบลตะนาวศรี ตำบล สวน
ผึ้ง อำเภอสวนผึ้ง ตำบลบ้านบึง อำเภอบ้านคา

2.2 กลุ่มแร่อุตสาหกรรม ได้แก่ ดินขาว (พบบริเวณตำบลด่านทับตะดก
อำเภอจอมบึง) เฟลด์สปาร์ (พบที่ตำบลบ้านบึง ตำบลบ้านคา อำเภอบ้านคา) ควอตซ์ (พบที่ตำบล
บ้านบึง อำเภอบ้านคา) แคลไซต์ (พบที่ตำบลหนองแกว อำเภопоธาราม)

3 กลุ่มแร่เพื่อการเกษตร ทรัพยากรแร่กลุ่มนี้ที่พบในจังหวัดราชบุรี ได้แก่
โคโลไมน์และฟอสเฟส (กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2551)

2.6.5 สถานการณ์ของ PM_{10} ในจังหวัดราชบุรี

สำนักงานคุณภาพอากาศและเสียงได้ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} 2
บริเวณ คือ คุณภาพอากาศบริเวณศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่ 1 อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี และ
คุณภาพอากาศบริเวณสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี แสดงดังตารางที่
2.2 ซึ่งมีพื้นที่อยู่ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของ PM₁₀ ปี พ.ศ. 2557 บริเวณศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่ 1 และบริเวณสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เดือน	ค่าเฉลี่ย 24 ชม.			ค่าเฉลี่ยรายเดือน
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด	จำนวนตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน/ จำนวนตัวอย่างทั้งหมด	
มกราคม ^a	130	58	3/31	90
กุมภาพันธ์ ^a	78	38	0/16*	60
มีนาคม ^a	51	19	0/13**	32
เมษายน ^a	58	21	0/30	31
พฤษภาคม ^a	29	12	0/16*	19
มิถุนายน ^a	42	14	0/30	23
กรกฎาคม ^a	28	12	0/10**	19
สิงหาคม ^b	25	18	0/10**	21
กันยายน ^b	28	9	0/30	17
ตุลาคม ^b	29	13	0/31	35
พฤศจิกายน ^b	66	16	0/30	45
ธันวาคม ^b	114	45	0/30	75
ค่ามาตรฐาน			120	

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ. (ฝ่ายข้อมูลคุณภาพอากาศ สำนักงานคุณภาพอากาศและเสียง, 2558)

หมายเหตุ: * ข้อมูลร้อยละ 50-70
 ** ข้อมูลน้อยกว่าร้อยละ 50
 a ข้อมูลจากคุณภาพอากาศบริเวณศูนย์วิศวกรรมการแพทย์ที่ 1 อ.เมือง จ.ราชบุรี
 b ข้อมูลจากคุณภาพอากาศบริเวณสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 อ.เมือง จ.ราชบุรี

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สัญญา (2543) ศึกษาปริมาณฝุ่นละอองภายนอกอาคารเรียนและภายในห้องเรียนที่มาจากสิ่งแวดล้อมของโรงเรียนรวมถึงการศึกษาข้อมูลด้านความคิดเห็นของครูและนักเรียนที่มีต่อสภาวะฝุ่นละอองของโรงเรียนด้วย โดยทำการศึกษาในโรงเรียนในเขตเทศบาลนครขอนแก่นจำนวน 4 แห่ง การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายนอกอาคารเรียนได้เก็บ TSP และ PM_{10} ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ต่อโรงเรียน การเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองภายในห้องเรียนได้จัดเก็บ TSP และ PM_{10} ค่าเฉลี่ยระหว่างช่วงเวลาที่เรียนเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 1 สัปดาห์ต่อโรงเรียน การเก็บข้อมูลด้านความคิดเห็นใช้การตอบแบบสอบถามโดยครู-อาจารย์ จำนวน 276 คน นักเรียนจำนวน 584 คนจากโรงเรียนทั้ง 4 แห่ง จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณ TSP ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของทุกโรงเรียนพบว่า TSP มีค่าอยู่ในช่วง $94.01-326.96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ปริมาณ TSP ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงเกินค่ามาตรฐานเกือบทั้งหมด ส่วนปริมาณ PM_{10} ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $74.90-253.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีค่าเกินมาตรฐานทั้งหมด จากการสอบถามครู-นักเรียนด้วยแบบสอบถามพบว่าทั้งครูและนักเรียนส่วนใหญ่ตอบว่าปัญหาฝุ่นละอองภายนอกอาคารเรียนเป็นปัญหาในระดับปานกลาง โดยครู-อาจารย์ร้อยละ 47.77 ระบุว่ามีสาเหตุมาจากยานพาหนะ สำหรับนักเรียนส่วนใหญ่ร้อยละ 36.67 ระบุว่ามีสาเหตุมาจากลมพัดฝุ่นละอองภายในสนามของโรงเรียนฟุ้งกระจาย การแก้ไขปัญหาคครู-อาจารย์ส่วนใหญ่ร้อยละ 48.45 ตอบว่าควรเป็นหน้าที่ของเทศบาลนครขอนแก่น แต่นักเรียนร้อยละ 72.88 ตอบว่าโรงเรียนควรเป็นผู้ที่แก้ปัญหาเองในส่วนของปัญหาฝุ่นละอองในห้องเรียน ครู-อาจารย์ร้อยละ 37.46 ตอบว่าเป็นปัญหาในระดับปานกลาง แต่นักเรียนร้อยละ 46.09 ตอบว่าเป็นปัญหาในระดับต่ำ โดยทั้งครูและนักเรียนตอบว่ามีสาเหตุมาจากการใช้ชอล์กในการเรียนการสอนและระบุนักเรียนภายในห้องเรียนควรเป็นผู้แก้ปัญหาในส่วนนี้ในส่วนของข้อมูลด้านสุขภาพครูและนักเรียนมากกว่าร้อยละ 65 ตอบว่าตนเองเคยมีอาการป่วยอันมีสาเหตุมาจากฝุ่นละออง

พัชรีย์ (2543) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ระหว่างภายในและภายนอกอาคารเรียนของโรงเรียนในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมย่อยหิน จังหวัดสระบุรี โดยทำการศึกษาที่โรงเรียนหน้าพระลานและโรงเรียนบ้านคุงเขียว พบว่าค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของ TSP และ PM_{10} ของโรงเรียนหน้าพระลาน ภายนอกอาคารเรียน มีค่าเท่ากับ 237.47 และ $128.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ และภายในอาคารเรียน มีค่าเท่ากับ 145.91 และ $84.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ส่วนโรงเรียนบ้านคุงเขียวภายนอกอาคารเรียน มีค่าเท่ากับ 498.83 และ $275.01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ และภายในอาคารเรียน มีค่าเท่ากับ 441.01 และ $248.88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของ TSP ระหว่างภายในและภายนอกของโรงเรียนหน้าพระ

ลาน พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ส่วนโรงเรียนบ้านคูงเขียว แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Campa *et al.*, (2011) ศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีใน PM_{10} ในบรรยากาศ เพื่อวิเคราะห์แหล่งที่มาของแหล่งกำเนิดฝุ่นในพื้นที่เหมืองแร่เก่า Rio tinto ในประเทศสเปน ซึ่งเคยเป็นพื้นที่ที่มีการทำเหมืองแร่ในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 ถึงกลางศตวรรษที่ 20 โดยติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบ High volume $PM_{2.5}$ air sampler ณ บริเวณหลังคาของอาคารศาลาว่าการเมือง Nerva ซึ่งอยู่ห่างจากพื้นที่เหมืองแร่เก่าประมาณ 500 เมตร ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้งคือ 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุกๆ 4 วัน เป็นระยะเวลา 12 เดือน รวมจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 90 ตัวอย่าง นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศพาดผ่านบริเวณจุดเก็บตัวอย่างด้วยแบบจำลอง HYSPLIT (Hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory) ตัวอย่างฝุ่นที่เก็บได้นำมาวิเคราะห์ธาตุโลหะ (Bi As Cu Pb Cd Zn และ Sb) อีออน (SO_4^{2-} NO_3^- Cl^- และ NH_4^+) และปริมาณคาร์บอนรวม (Total carbon) และนำผลมาประเมินแหล่งทำให้เกิดมลพิษ (Source contribution) ด้วยสถิติการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ด้วยวิธี Principal component Analysis (PCA) ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่เหมืองเก่ามีส่วนที่ทำให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากการพัดพาโดยลมคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 32 และยังพบแหล่งที่มาของโลหะหนักจากฝุ่นที่พัดมาจากพื้นโลก (Crustal materials) หรือจากแหล่งกำเนิดระดับภูมิภาค (ร้อยละ 33) และแหล่งกำเนิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงและสารอนินทรีย์ (ร้อยละ 25)

Kong *et al.* (2011) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักใน PM_{10} ในเมือง Fushun สาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งเป็นเมืองที่ประกอบกิจการอุตสาหกรรมหลายชนิด ได้แก่ เหมืองถ่านหิน โรงหลอมโลหะ โรงไฟฟ้า โรงผลิตสารเคมี โดยทำการเก็บฝุ่นบนพื้น 4 บริเวณ ได้แก่ ฝุ่นดิน ฝุ่นบนถนน ฝุ่นจากการก่อสร้าง และฝุ่นที่มีการพัดพาและตก (Re-suspended dust) บนขอบหน้าต่างส่วนล่างของอาคารที่พักอาศัยและโรงเรียน โดยฝุ่นที่เก็บได้จะถูกจัดขนาดเลือกเฉพาะ PM_{10} และนำมาวิเคราะห์โลหะหนักด้วยวิธี Inductively coupled plasma-atomic emission spectroscopy (ICP-AES) โลหะหนักที่วิเคราะห์มี 11 ชนิด ได้แก่ Mn Cu Zn Bi As Pb Cr Ni Co Cd Hg และ V ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะหนักเกือบทั้งหมดมีค่าสูงกว่าที่พบในดินของจีน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Cu Zn Cd Hg และ Pb ที่พบว่ามีค่าครชนิมลพิษ (Pollution index) สูงกว่าโลหะชนิดอื่นๆ ในส่วนของความเสี่ยงที่มีต่อสุขภาพซึ่งประกอบด้วย Geoaccumulation index นั้นพบว่าฝุ่นที่มีการพัดพาและตก (Re-suspended dust) มีค่าอยู่ในระดับปานกลางถึงสูงชี้ให้เห็นถึงศักยภาพที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขภาพของผู้พักอาศัยและนักเรียน

การศึกษานี้ยังได้ใช้สถิติสหสัมพันธ์ (Correlation) และการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ด้วยวิธี Principal component analysis (PCA) เพื่อประเมินแหล่งที่มาของโลหะหนักในฝุ่น พบแหล่งกำเนิดหลักคือจากการปลดปล่อยจากยานพาหนะ กิจกรรมอุตสาหกรรม การเผาไหม้ถ่านหิน และผิวโลก

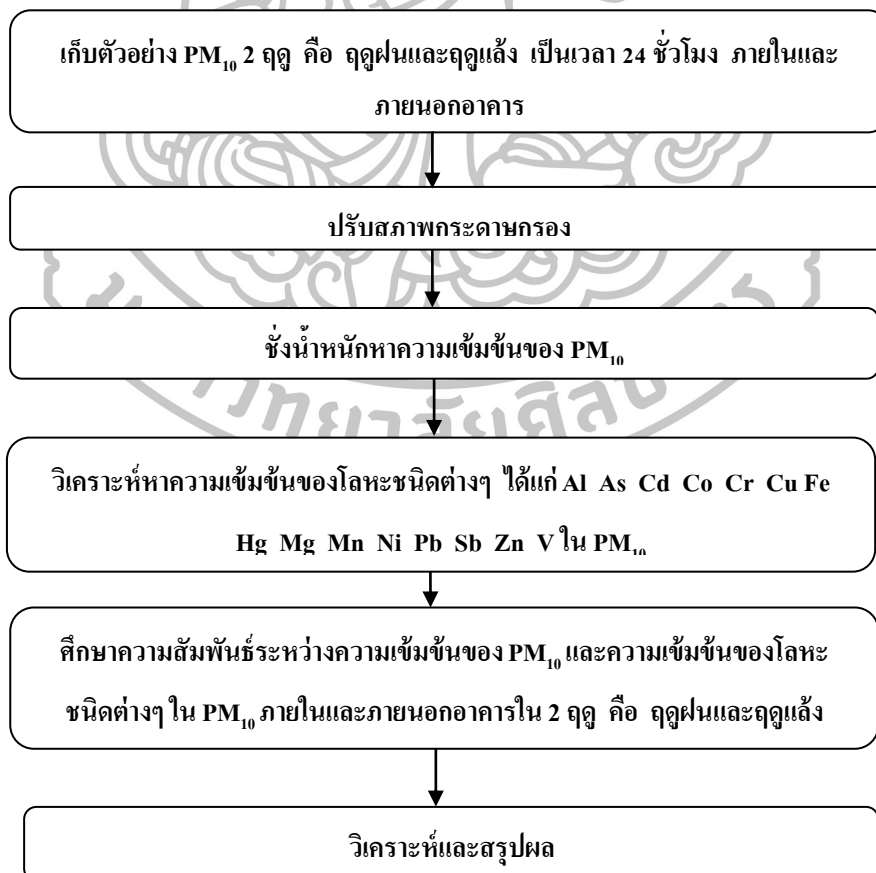
Zenget *al.* (2010) วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในฝุ่นบนท้องถนนที่ปนเปื้อนจากกิจกรรมการหลอมโลหะในเขตอุตสาหกรรมของเมือง Huludao สาธารณรัฐประชาชนจีน โลหะหนักที่ทำการศึกษา ได้แก่ Hg Pb Cd Zn และ Cu ผลการวิเคราะห์พบว่าโลหะทั้งหมดมีปริมาณสูงกว่าค่าพื้นฐานที่พบในดินประมาณ 77-6,724 เท่า และพบว่าสัดส่วนของ Hg Pb Cd Zn และ Cu ที่พบคล้ายกับสัดส่วนของโลหะที่พบในฝุ่นจากโรงงานสังกะสีแต่ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นจากโรงงานมีค่าสูงกว่า เมื่อนำปริมาณโลหะหนักมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์และเปรียบเทียบกับการศึกษาก่อนหน้านี้ทำให้พบว่าโลหะหนักที่ปนเปื้อนเกิดจากการตกสะสม (Deposition) หลังจากที่มีการแพร่กระจายจากกิจกรรมการหลอมโลหะมากที่สุด ขณะที่กิจกรรมจากการจราจรมีส่วนเพียงเล็กน้อย



บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ภาพรวมของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการเก็บตัวอย่าง PM_{10} ในบริเวณจังหวัดราชบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ ฤดูฝนและฤดูแล้งในพื้นที่บริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชน (Urban area) และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง ซึ่งเป็นพื้นที่ชนบท (Rural area) การเก็บตัวอย่างใช้เวลา 24 ชั่วโมง ทั้งภายในและภายนอกอาคาร ทั้งนี้เพื่อทำการหาความเข้มข้นของ PM_{10} และวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} โดยใช้เครื่อง Inductively coupled plasma (ICPs) ชนิดโลหะหนักที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Al As Cd Co Cr Cu Fe Hg Mg Mn Ni Pb Sb Zn และ V จากนั้นนำมาศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคาร ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดง ดังรูป ที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.2 สถานที่ดำเนินงานวิจัย

3.2.1 สถานที่เก็บตัวอย่าง

1 สถานที่เก็บตัวอย่างพื้นที่ชุมชน (Urban area)

พื้นที่ชุมชน (Urban area) ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ จุดฝน และจุดแสงบริเวณจังหวัดราชบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่าง ณ โรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง (ดังรูปที่ 3.2) โดยเป็นบริเวณที่อยู่ใกล้กับบริเวณอุตสาหกรรมแปรรูปหินปูน ซึ่งประกอบด้วย โรงงานผลิตอิฐ โรงงานผลิตเครื่องปั้นดินเผา และโรงงานผลิตปูนขาว นอกจากนี้ยังเป็นบริเวณอยู่ใกล้ถนน และแหล่งชุมชน ซึ่งเป็นบริเวณตัวแทนที่สามารถได้รับสัมผัสฝุ่นละอองจากการทำกิจกรรมต่างๆ ได้อย่างดี จึงได้ทำการเก็บตัวอย่าง PM_{10} บริเวณภายในอาคาร (ดังรูปที่ 3.3) และนอกอาคารเรียน (ดังรูปที่ 3.4)

2 สถานที่เก็บตัวอย่างพื้นที่ชนบท (Rural area)

พื้นที่ชนบท (Rural area) ผู้วิจัยได้ทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ จุดฝน และจุดแสงบริเวณจังหวัดราชบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่าง ณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน บ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง (ดังรูปที่ 3.5) เนื่องจากเป็นบริเวณที่ห่างไกลจากกิจกรรมการทำอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังอยู่ในทิศทางเหนือกระแสลมจึงเหมาะแก่การเป็นตัวแทนของลักษณะความเข้มข้นของฝุ่นละอองก่อนมีการทำอุตสาหกรรม โดยทำการเก็บตัวอย่าง PM_{10} บริเวณภายในอาคาร (ดังรูปที่ 3.6) และนอกอาคารเรียนเช่นเดียวกับพื้นที่ชุมชน (Urban area) (ดังรูปที่ 3.7)



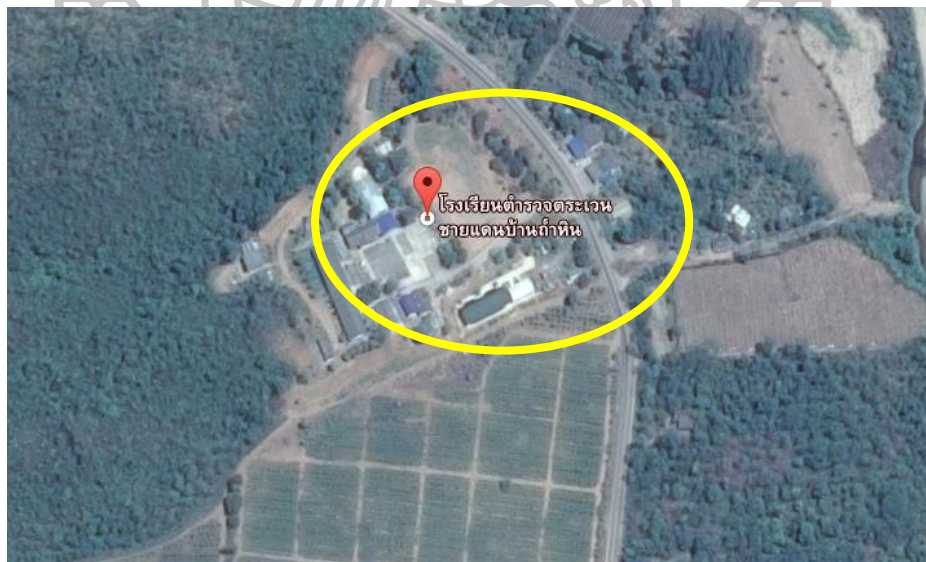
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งของ โรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี
ที่มา: โรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี (Google แผนที่, 2558)



รูปที่ 3.3 จุดเก็บตัวอย่าง PM_{10} ภายในอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี



รูปที่ 3.4 จุดเก็บตัวอย่าง PM_{10} ภายนอกอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี
ที่มา: โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี

(Google แผนที่, 2558)



รูปที่ 3.6 จุดเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านลำหิน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี



รูปที่ 3.7 จุดเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านลำหิน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี

3.2.2 สถานที่เตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์

ตัวอย่างกระดาษกรองที่เก็บบริเวณภายในอาคารทั้งก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างได้นำไปซั่งที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และตัวอย่างกระดาษกรองที่เก็บบริเวณภายนอกอาคารได้นำไปซั่งที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร หลังจากนั้นทำการเตรียมตัวอย่างที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม อาคารวิทยาศาสตร์ 4 ห้อง 4511 ว.4 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม แล้วจึงส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์โลหะที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

3.2.3 ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศ โดยเก็บ PM_{10} เก็บตัวอย่าง 2 ครั้ง ในระยะเวลา 1 ปี ใน 2 ฤดู คือ ฤดูฝน และฤดูแล้ง ดังนี้

1 การเก็บตัวอย่างภายในอาคาร

- ฤดูฝน ทำการเก็บตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนสิงหาคม–เดือนตุลาคม พ.ศ. 2557
เก็บตัวอย่าง PM_{10} ภายในอาคาร สถานที่ละ 10 ครั้ง จำนวนที่ละ 2 จุด จุดละ 4 แผ่น รวม 80 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 3 วัน

- ฤดูแล้ง ทำการเก็บตัวอย่าง ตั้งแต่ เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558
เก็บตัวอย่าง PM_{10} ภายในอาคาร สถานที่ละ 10 ครั้ง จำนวนที่ละ 2 จุด จุดละ 3 แผ่น รวม 66 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 3 วัน

2 การเก็บตัวอย่างภายนอกอาคาร

- ฤดูฝน ทำการเก็บตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนสิงหาคม– เดือนตุลาคม พ.ศ. 2557
เก็บตัวอย่าง PM_{10} ภายนอกอาคาร สถานที่ละ 14 ครั้ง จำนวนที่ละ 1 จุด จุดละ 1 แผ่น รวม 14 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 3 วัน

- ฤดูแล้ง ทำการเก็บตัวอย่าง ตั้งแต่ เดือนมกราคม – เดือนมีนาคม พ.ศ. 2558
เก็บตัวอย่าง PM_{10} ภายนอกอาคาร สถานที่ละ 14 ครั้ง จำนวนที่ละ 1 จุด จุดละ 1 แผ่น รวม 14 ตัวอย่าง โดยทำการเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 3 วัน

3.3 เครื่องมือ สารเคมีและอุปกรณ์

3.3.1 เครื่องมือ

1 เครื่อง Inductively coupled plasma, ICPs ยี่ห้อ Agilent technologies รุ่น 710 Series ICP-OES spectrometers สำหรับวิเคราะห์โลหะ

2 เครื่อง Personal PM₁₀ air sampler ยี่ห้อ YAMANO รุ่น AP-10 สำหรับเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ภายในอาคาร

3 เครื่อง High volume PM₁₀ air sampler ยี่ห้อ TISCH ENVIRONMENTAL รุ่น TE-5070X สำหรับเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ภายนอกอาคาร

4 เครื่องชั่งน้ำหนัก 7 ตำแหน่ง ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น XP2U สำหรับชั่งน้ำหนักกระดาศกรองก่อนเก็บตัวอย่างและหลังเก็บตัวอย่าง

3.3.2 สารเคมีและอุปกรณ์

1 กรดไนตริก (Nitric Acid; HNO₃) ความเข้มข้น 68.0 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) จากบริษัท BDH ประเทศอังกฤษ

2 95% Alcohol บริษัท MODERN CHEMICAL ประเทศไทย

3 น้ำปราศจากไอออน (Dionized water)

4 สารละลายมาตรฐานโลหะชนิดต่างๆ ได้แก่ อลูมิเนียม (Al) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) โคบอลต์ (Co) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) เหล็ก (Fe)ปรอท (Hg) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) ตะกั่ว (Pb) พลวง (Sb) สังกะสี (Zn) และวานาเดียม (V) สารละลายทุกชนิดมีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสารจากบริษัท Merck ประเทศเยอรมนี

5 กระดาศกรอง Whatman ชนิด Quartz ขนาด 8×10 นิ้ว

6 กระดาศกรอง Whatman ชนิด Quartz ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.7 เซนติเมตร

7 กระดาศกรอง Whatman เบอร์ 42

8 กระดาศกรอง Whatman ชนิดไนลอน

9 โถดูดความชื้น (Desiccator)

10 ถุงซิปล็อค

11 ที่คีบกระดาศกรอง (Forceps)

12 มีดตัดกระดาศกรอง

13 เครื่องแก้ว ได้แก่ บีกเกอร์ ปีเปต กระจกนาฬิกา ขวดวัดปริมาตร และ แท่งแก้ว

3.4 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀

การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ทำการตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง PM₁₀ (อ้างอิงวิธีการเก็บตัวอย่างจากวิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในฝุ่นละอองทั้งหมด ของ ASTM (2006)) โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ภายในอาคาร

ทำการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ในอาคารเรียน โดยวิธี Gravimetric method ด้วยเครื่อง Personal PM₁₀ air sampler โดยมีอัตราการไหลของอากาศ 1.7 ลิตรต่อนาที และใช้กระดาษกรองชนิด Quartz (SKC Ltd., 2011) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.4.2 การเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ภายนอกอาคาร

ทำการเก็บตัวอย่าง PM₁₀ ภายนอกอาคารเรียน โดยวิธี Gravimetric method ด้วยเครื่อง High volume PM₁₀ air sampler โดยมีอัตราการไหลของอากาศ 40 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที และใช้กระดาษกรองชนิด Quartz (Campa *et al.*, 2011) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.5 การหาความเข้มข้นของ PM₁₀

3.5.1 การหาน้ำหนักของ PM₁₀

การหาน้ำหนักของ PM₁₀ ที่เก็บได้บนกระดาษกรองหาได้จากการชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างผลต่างที่ได้คือน้ำหนักของอนุภาคแขวนลอยทั้งหมดที่อยู่บนกระดาษกรอง โดยกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่างต้องใส่ในเคซิเคเตอร์เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนัก เมื่อทำการเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้วนำกระดาษกรองที่ได้ใส่ในเคซิเคเตอร์เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับก่อนการเก็บตัวอย่าง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักที่ได้จำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย

3.5.2 การหาความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณในอาคาร

ความเข้มข้นของ PM₁₀ สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความเข้มข้นของ } PM_{10} \text{ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)} = \frac{(\text{นน. กระดาษหลังเก็บ} - \text{นน. กระดาษก่อนเก็บ (กรัม)}) \times 10^6}{\text{ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตร)}}$$

การเปลี่ยนเป็นปริมาตรที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (V_r) กรณีเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง Personal PM₁₀ air sampler ใช้สูตร

$$V_r = V_a \times \left(\frac{P_a}{P_r}\right) \times \left(\frac{T_r}{T_a}\right)$$

เมื่อ

V_r = ปริมาตรอากาศและความดันมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตร) (ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดันกดอากาศ 1,013.25 มิลลิบาร์ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท)

V_a = ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันกดอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (ลูกบาศก์เมตร)

P_a = ความกดอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (มิลลิบาร์ หรือมิลลิเมตรปรอท)

P_r = ความดันกดอากาศที่ 1,013.25 มิลลิบาร์ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท

T_r = อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส (องศาเคลวิน, K)

T_a = อุณหภูมิที่ขณะเก็บตัวอย่าง (องศาเคลวิน, K)

ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันกดอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (V_a) (ลูกบาศก์เมตร) คำนวณได้จาก

$$V_a = \frac{\text{อัตราการไหล (ลิตรต่อนาที)} \times \text{เวลาที่เก็บตัวอย่าง (นาที)}}{1000}$$

3.5.3 การหาความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณนอกอาคาร

ความเข้มข้นของ PM₁₀ สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความเข้มข้นของ PM}_{10} \text{ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)} = \frac{(\text{นน. กระจกหลังเก็บ} - \text{นน. กระจกก่อนเก็บ (กรัม)}) \times 10^6}{\text{ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตร)}}$$

การเปลี่ยนเป็นปริมาตรที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (V_r) กรณีเก็บตัวอย่างด้วยเครื่อง High volume PM₁₀ air sampler ใช้สูตร

$$V_r = \frac{V_a \times \left(\frac{P_a}{P_r}\right) \times \left(\frac{T_r}{T_a}\right)}{35.31}$$

เมื่อ

V_r = ปริมาตรอากาศและความดันมาตรฐาน (ลูกบาศก์เมตร) (ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดันกดอากาศ 1,013.25 มิลลิบาร์ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท)

V_a = ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันกดอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (ลูกบาศก์ฟุต)

P_a = ความกดอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (มิลลิบาร์ หรือ มิลลิเมตรปรอท)

P_r = ความดันกดอากาศที่ 1,013.25 มิลลิบาร์ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท

T_r = อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส (องศาเคลวิน, K)

T_a = อุณหภูมิที่ขณะเก็บตัวอย่าง (องศาเคลวิน, K)

35.31 = ตัวเลขใช้แปลงหน่วยจาก ลูกบาศก์ฟุตเป็นลูกบาศก์เมตร

ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันกดอากาศขณะเก็บตัวอย่าง V_a (ลูกบาศก์ฟุต) คำนวณได้จาก

$$V_a = \text{อัตราการไหล (ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที)} \times \text{เวลาที่เก็บตัวอย่าง (นาที)}$$

3.6 การเตรียมตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์โลหะ

3.6.1 การเตรียมตัวอย่างที่เก็บภายในอาคาร

ทำการเตรียมตัวอย่างในการวิจัยนี้ดัดแปลงจากวิธีการวิเคราะห์โลหะในฝุ่นละอองทั้งหมด ของ ASTM (2006) กรณีตัวอย่างจากในอาคารนำกระดาษกรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.7 เซนติเมตร ที่เก็บตัวอย่างแล้วมาจำนวน 2 แผ่น ตัดกระดาษกรองให้มีขนาดเล็กใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้นจำนวน 10 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้วประมาณ 3-4 เม็ด ปิดด้วยกระดาษฟิวส์ นำไปตั้งบนแผ่นให้ความร้อน (Hot plate) ประมาณ 30-60 นาที เพื่อย่อยฝุ่นละอองจากกระดาษกรองทั้งหมด จากนั้นนำลงมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษ

กรองชนิด Whatman เบอร์ 42 และกรองอีกครั้งด้วยกระดาษกรองชนิดไนลอน ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากอออน เก็บสารละลายที่ได้ลงในขวดพลาสติกปิดฝาให้เรียบร้อย และนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะต่อไป

3.6.2 การเตรียมตัวอย่างที่เก็บภายนอกอาคาร

ทำการเตรียมตัวอย่างในการวิจัยนี้ตัดแปลงจากวิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นละอองทั้งหมด ของ ASTM (2006) กรณีตัวอย่างจากนอกอาคารนำกระดาษกรองขนาด 8×10 นิ้ว ที่เก็บตัวอย่างแล้ว ซึ่งมีขนาดเท่ากับกระดาษ A4 ตัดกระดาษให้ได้ 9 ชิ้นเท่าๆ กันแล้วเลือกตัวอย่างมา 1 ชิ้น หลังจากนั้นตัดกระดาษกรองให้มีขนาดเล็กใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้วประมาณ 3-4 เม็ด ปิดด้วยกระจกนาฬิกานำไปตั้งบนแผ่นให้ความร้อน (Hot plate) ประมาณ 30-60 นาที เพื่อย่อยฝุ่นละอองจากกระดาษกรองจนหมด จากนั้นนำลงมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองชนิด Whatman เบอร์ 42 และกรองอีกครั้งด้วยกระดาษกรองชนิดไนลอน ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำปราศจากอออน เก็บสารละลายที่ได้ลงในขวดพลาสติกปิดฝาให้เรียบร้อย และนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะต่อไป

3.7 การประมวลผลทางสถิติ

3.7.1 การวิเคราะห์หาค่าสูงสุด-ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ในการวิเคราะห์หาค่าสูงสุด-ต่ำสุด ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล ใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistics) ซึ่งคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft excel version 2007

3.7.2 การวิเคราะห์ความแตกต่าง

ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ที่พบจะใช้สถิติในการทดสอบ คือ T-TEST แบบ Independent samples ในการทดสอบโดยใช้โปรแกรม Microsoft excel version 2007 ดังนี้

1 เปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารในแต่ละพื้นที่ศึกษา

2 เปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารระหว่างโรงเรียนวัดเจติยารามซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชน (Urban area) กับโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินซึ่งเป็นพื้นที่ชนบท (Rural area)

3 เปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารใน 2 จุด คือ ฤดูฝนและฤดูแล้งของแต่ละพื้นที่ศึกษา

3.7.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ที่พบจะใช้โปรแกรม SPSS version 16 โดยใช้ Pearson's correlation coefficients ในการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} กับความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะกับโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคารใน 2 จุด คือ ฤดูฝนและฤดูแล้งของแต่ละพื้นที่ศึกษา ดังนี้

- 1.1 ความสัมพันธ์ในอาคารของโรงเรียนวัดเจติยาราม ฤดูฝนและฤดูแล้ง
- 1.2 ความสัมพันธ์นอกอาคารของโรงเรียนวัดเจติยาราม ฤดูฝนและฤดูแล้ง
- 1.3 ความสัมพันธ์ในอาคารของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ฤดูฝนและฤดูแล้ง
- 1.4 ความสัมพันธ์นอกอาคารของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ฤดูฝนและฤดูแล้ง

3.8 การหาค่าอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในต่อภายนอกอาคาร (I/O ratio)

เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ภายในและภายนอกอาคาร แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณค่า I/O ratio ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะภายในและภายนอกอาคารหากค่าต่ำกว่า 1 หมายถึง แหล่งกำเนิดของ PM_{10} และโลหะภายนอกอาคารมีมากกว่าบริเวณภายในอาคาร หากค่าสูงกว่า 1 หมายถึง แหล่งกำเนิดของ PM_{10} และโลหะภายนอกอาคารมีน้อยกว่าภายในอาคาร (Chen and Zhao, 2011) โดยค่า I/O ratio นั้นสามารถบ่งบอกถึงแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองและโลหะในแต่ละสถานที่ที่มีอิทธิพลต่อการได้รับสัมผัส PM_{10} ซึ่งอัตราส่วน I/O ratio ในการศึกษาครั้งนี้คำนวณได้จากสมการ

$$\text{อัตราส่วนในอาคารกับนอกอาคาร} = \frac{\text{ความเข้มข้นของฝุ่นละอองหรือโลหะภายในอาคาร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)}}{\text{ความเข้มข้นของฝุ่นละอองหรือโลหะภายนอกอาคาร (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)}}$$

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 ผลการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10}

จากการเก็บตัวอย่าง PM_{10} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ จุดฝุ่น และจุดเลี้ยง บริเวณภายในและภายนอกอาคารบริเวณจังหวัดราชบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 บริเวณ คือ พื้นที่บริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชน (Urban area) และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง ซึ่งเป็นพื้นที่ชนบท (Rural area) ผลการศึกษามีดังนี้

4.1.1 ผลการตรวจวัดในจุดฝุ่น

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายในและภายนอกอาคาร 2 บริเวณ คือ โรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินในจุดฝุ่น ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างในวันเดียวกันได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.1 พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายในอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม พบความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 13 ก.ย. 2557 มีค่าเท่ากับ 76.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและพบความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 20 ก.ย. 2557 มีค่าเท่ากับ 16.46 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายในอาคารโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 13 ต.ค. 2557 มีค่าเท่ากับ 28.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 20 ก.ย. 2557 มีค่าเท่ากับ 3.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

จากตารางที่ 4.2 พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม พบความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 20 ก.ย. 2557 มีค่าเท่ากับ 46.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 31 ส.ค. 2557 มีค่าเท่ากับ 18.25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 19 ก.ย. 2557 มีค่าเท่ากับ 45.27 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 31 ส.ค. 2557 มีค่าเท่ากับ 1.17 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4.1 ความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายในอาคาร ในฤดูฝน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ร.ร.วัดเจติยาราม	ร.ร. ตชด.บ้านถ้ำหิน
12-ก.ย.-2557	-	14.97
13-ก.ย.-2557	76.45	-
14-ก.ย.-2557	-	-
19-ก.ย.-2557	20.27	-
20-ก.ย.-2557	16.46	3.93
26-ก.ย.-2557	43.64	22.49
27-ก.ย.-2557	46.18	28.33
4-ต.ค.-2557	34.79	18.31
5-ต.ค.-2557	47.12	26.35
11-ต.ค.-2557	27.38	14.20
12-ต.ค.-2557	62.73	25.07
13-ต.ค.-2557	-	28.51
$\bar{X} \pm SD$	41.67±19.53	20.24±8.17
Min - Max	16.46-76.45	3.93-28.51

หมายเหตุ: - คือ ไม่ได้เก็บตัวอย่าง เนื่องจากไฟดับระหว่างการเก็บตัวอย่างและสายเก็บตัวอย่างหลุดระหว่างการเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร ในฤดูฝน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ร.ร.วัดเจติยาราม	ร.ร. ตชด.บ้านถ้ำหิน
10-ส.ค.-2557	26.45	7.88
16-ส.ค.-2557	36.06	22.78
22-ส.ค.-2557	31.76	34.18
23-ส.ค.-2557	21.50	13.20
30-ส.ค.-2557	25.36	14.63
31-ส.ค.-2557	18.25	1.17
12-ก.ย.-2557	25.59	12.68
13-ก.ย.-2557	26.67	12.93
19-ก.ย.-2557	40.75	45.27
20-ก.ย.-2557	46.85	25.06
26-ก.ย.-2557	40.33	18.22
27-ก.ย.-2557	34.17	24.09
3-ต.ค.-2557	42.31	18.48
4-ต.ค.-2557	41.77	21.96
$\bar{X} \pm SD$	32.70 ± 8.89	19.47 ± 11.01
Min - Max	18.25-46.85	1.17 - 45.27

4.1.2 ผลการตรวจวัดในฤดูแล้ง

จากการตรวจวัดความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายในและภายนอกอาคาร 2 บริเวณ คือ โรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินในฤดูแล้ง ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างในวันเดียวกันได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.3 พบว่าความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายในอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม พบความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 7 ก.พ. 2558 มีค่าเท่ากับ 80.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 20 ก.พ. 2558 มีค่าเท่ากับ 5.12 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายในอาคารโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้น

สูงสุดในวันที่ 13 ก.พ. 2558 มีค่าเท่ากับ 47.78 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 24 ม.ค. 2558 มีค่าเท่ากับ 5.33 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

จากตารางที่ 4.4 พบว่าความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนจัดเจติยาราม พบความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 6 ก.พ. 2558 มีค่าเท่ากับ 153.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 14 มี.ค. 2558 มีค่าเท่ากับ 25.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นสูงสุดในวันที่ 30 ม.ค. 2558 มีค่าเท่ากับ 87.91 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบความเข้มข้นต่ำสุดในวันที่ 15 ก.พ. 2558 มีค่าเท่ากับ 23.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 4.3 ความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายในอาคาร ในฤดูแล้ง

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ร.ร. วัดเจติยาราม	ร.ร. ตชด.บ้านถ้ำหิน
23-ม.ค.-58	69.85	20.32
24-ม.ค.-58	48.24	5.33
30-ม.ค.-58	47.46	31.86
31-ม.ค.-58	-	27.09
6-ก.พ.-58	49.74	42.87
7-ก.พ.-58	80.80	30.24
8-ก.พ.-58	61.42	47.60
13-ก.พ.-58	37.03	47.78
14-ก.พ.-58	33.87	13.14
20-ก.พ.-58	5.12	16.79
21-ก.พ.-58	27.24	18.28
$\bar{X} \pm SD$	46.08±21.83	27.39±14.24
Min - Max	5.12-80.80	5.33-47.78

หมายเหตุ: - คือ ไม่ได้เก็บตัวอย่าง เนื่องจากไฟดับระหว่างการเก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร ในฤดูแล้ง

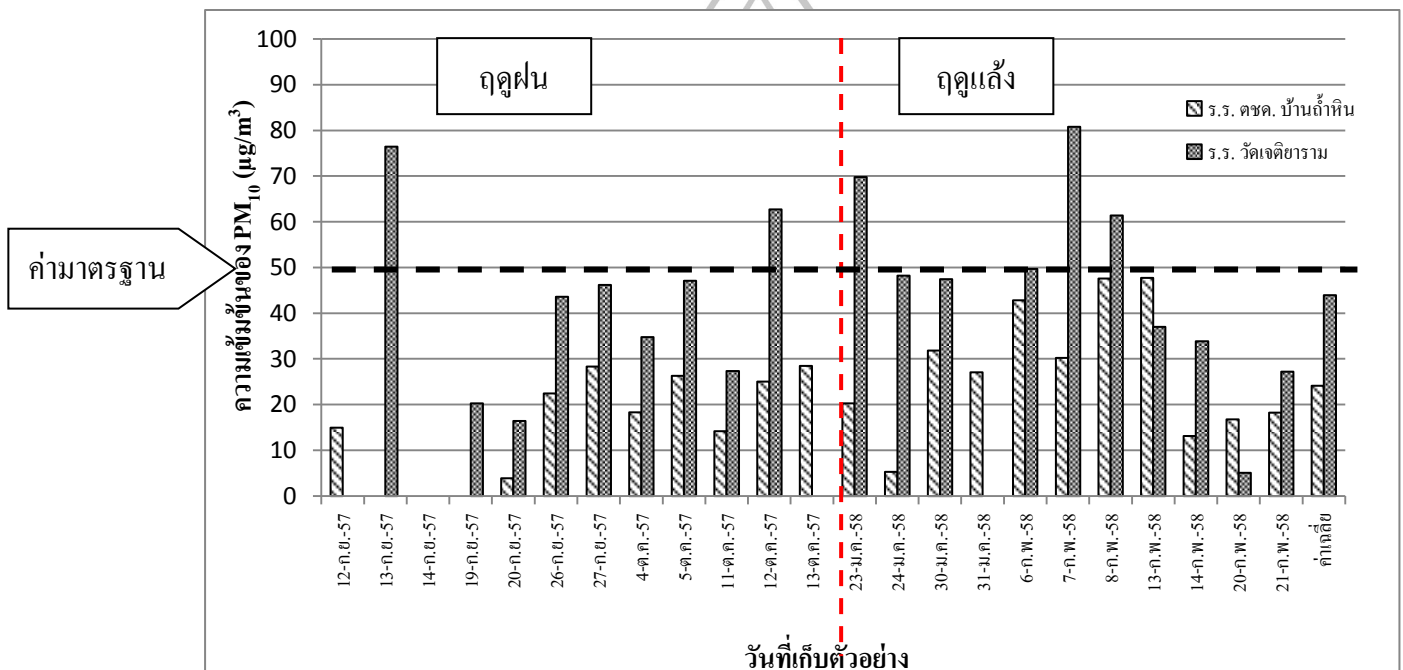
วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ PM ₁₀ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	
	ร.ร. วัดเจดีย์าราม	ร.ร. ทชด.บ้านถ้ำหิน
23-ม.ค.-2558	103.90	78.65
24-ม.ค.-2558	104.86	47.46
30-ม.ค.-2558	107.99	87.91
31-ม.ค.-2558	92.61	67.65
6-ก.พ.-2558	153.31	62.12
7-ก.พ.-2558	136.48	65.87
13-ก.พ.-2558	93.52	67.07
14-ก.พ.-2558	60.12	36.94
15-ก.พ.-2558	62.54	23.08
27-ก.พ.-2558	35.69	40.56
28-ก.พ.-2558	46.03	32.55
6-มี.ค.-2558	38.68	29.54
7-มี.ค.-2558	56.71	46.88
13-มี.ค.-2558	66.05	67.31
14-มี.ค.-2558	25.71	40.40
$\bar{X} \pm SD$	78.95±37.95	52.00±19.36
Min - Max	25.71-153.31	23.08-87.91

4.1.3 เปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM₁₀

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายในและภายนอกอาคารที่พบทั้ง 2 พื้นที่และ 2 ฤดูกาลที่เก็บตัวอย่างได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

(1) เปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายในอาคาร

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายในอาคารที่พบทั้ง 2 พื้นที่และ 2 ฤดูกาลที่เก็บตัวอย่างได้ผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ความเข้มข้นของ PM₁₀ บริเวณภายในอาคารระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM₁₀ ของการเก็บตัวอย่างส่วนมากมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในอาคารตามข้อกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศภายในอาคารของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุขที่กำหนดค่ามาตรฐาน PM₁₀ ใน 24 ชั่วโมงไว้ที่ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยโรงเรียนวัดเจติยารามมีตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน คือ ตัวอย่างในวันที่ 13 ก.ย. และ 12 ต.ค. 2557 ในฤดูฝน เนื่องจากวันดังกล่าวที่เก็บตัวอย่างเป็นวันที่ฟ้าโล่งไม่มีฝนตกจึงทำให้ตรวจพบความเข้มข้นของ PM₁₀ มีค่าเกินมาตรฐาน ส่วนในฤดูแล้งตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐาน คือ ตัวอย่างในวันที่ 23 ม.ค. 7 ก.พ. และ 8 ก.พ. 2558 เนื่องจากในวันที่เก็บตัวอย่างมีลมแรงกว่า

ปกติจึงทำให้ตรวจพบความเข้มข้นของ PM_{10} มีค่าเกินมาตรฐานเช่นกัน ส่วนบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานทุกครั้งที่ทำการเก็บทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง เนื่องจากพื้นที่ตั้งของโรงเรียนอยู่ในเขตพื้นที่ชนบทห่างไกลจากแหล่งอุตสาหกรรมและการจราจรที่จะทำให้เกิดฝุ่นละออง

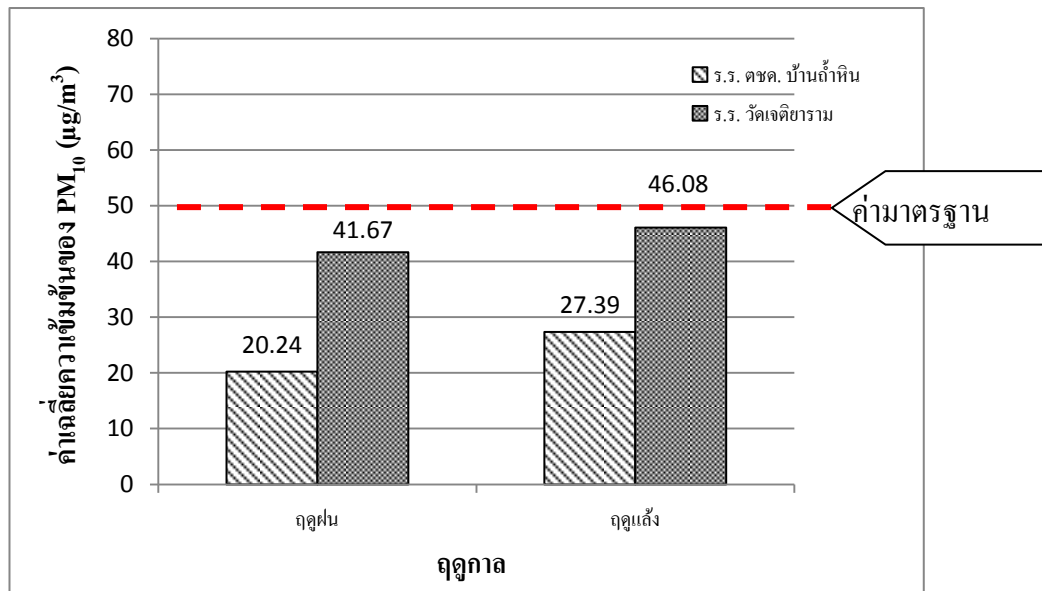
เมื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ บริเวณภายในอาคารพบว่า งานวิจัยนี้โรงเรียนวัดเจติยารามเป็นพื้นที่ชุมชนอยู่ในเขตอุตสาหกรรมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} สูงกว่าโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินที่อยู่ห่างไกลจากเขตที่มีการทำอุตสาหกรรม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่เป็นไปในทำนองเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายในอาคารระหว่างงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ

งานวิจัย	สถานที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu g/m^3$)	
		ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
งานวิจัยนี้	ร.ร.วัดเจติยาราม	41.67±19.53	46.08±21.83
	ร.ร.ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน	20.24±8.17	27.39±14.24
พัชรีย์ (2543)	โรงเรียนบ้านคุงเขี้ยว (เขตอุตสาหกรรม)	248.88	
	โรงเรียนหน้าพระลาน (นอกเขตอุตสาหกรรม)	84.33	
วนิดา (2543)	ที่พักอาศัยเขตกรุงเทพมหานครชั้นใน	77.9	
	ที่พักอาศัยเขตกรุงเทพมหานครชั้นนอก	58.4	

เมื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นของ PM_{10} ระหว่าง 2 พื้นที่ศึกษาในแต่ละฤดู แสดงดังรูปที่ 4.2 ผลการศึกษาพบว่ามีค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ในฤดูฝนและฤดูแล้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (P-value = 0.0039 และ 0.0150 ตามลำดับ) และเมื่อทำการเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นของ PM_{10} ระหว่าง 2 ฤดูกาลของแต่ละพื้นที่ศึกษาพบว่า ฤดูกาลไม่มีผลทำให้ความเข้มข้นของ PM_{10} แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05

(P-value สำหรับบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามเท่ากับ 0.3250 และสำหรับบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินเท่ากับ 0.0994 ตามลำดับ)

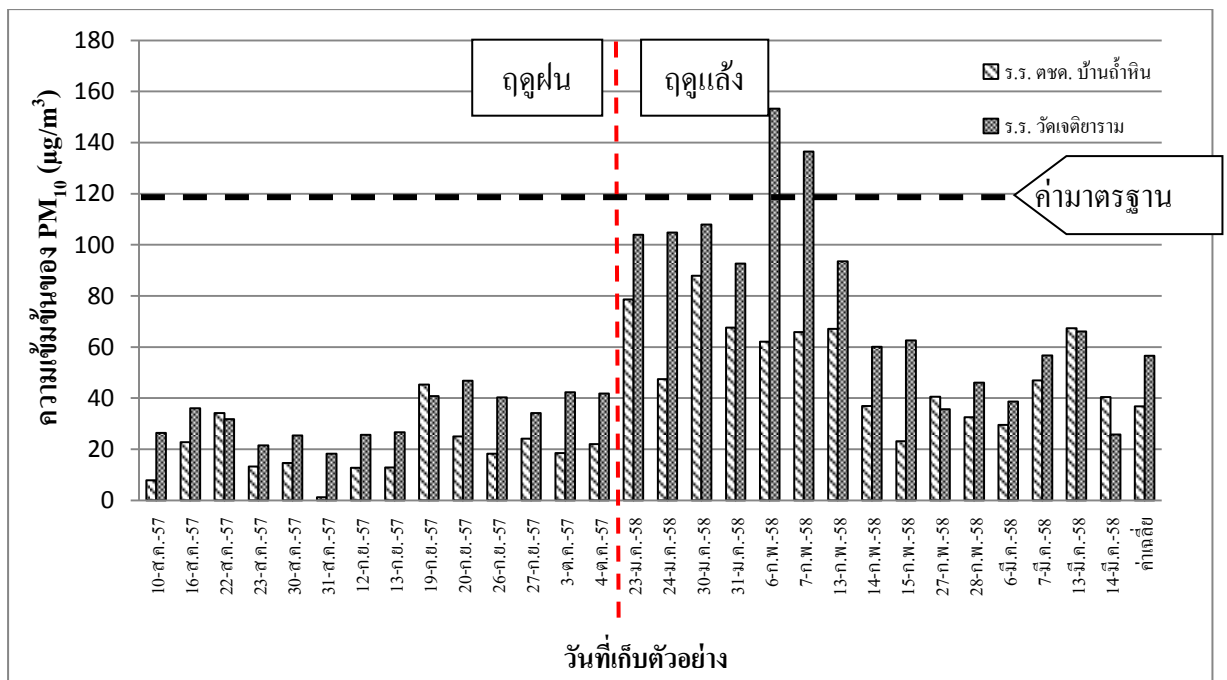


รูปที่ 4.2 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และ โรงเรียนวัดเจติยาราม (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)



(2) เปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคาร

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารที่พบ ทั้ง 2 พื้นที่และ 2 ฤดูกาลที่เก็บตัวอย่างได้ผลการศึกษาระบุดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารระหว่างฤดูฝนและฤดูแล้ง
(หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} เกือบทุกครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่าง ส่วนมากไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งได้กำหนดค่ามาตรฐาน PM_{10} ใน 24 ชั่วโมงไว้ที่ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยโรงเรียนวัดเจดีย์ารามมีตัวอย่างที่เกินเกินค่ามาตรฐาน คือ ตัวอย่างในวันที่ 6 ก.พ. และ 7 ก.พ. 2558 ในฤดูแล้ง ส่วนฤดูฝนมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานทุกครั้งของการเก็บตัวอย่าง ส่วนบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานทุกครั้งที่ทำกรเก็บทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง

จากการศึกษาของ Ho *et al.* (2003) ศึกษาลักษณะองค์ประกอบทางเคมีของ PM_{10} ในประเทศฮ่องกง โดยทำการตรวจวัดในบริเวณเขตเมืองที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น พื้นที่ในย่านพาณิชยกรรมและโรงงานอุตสาหกรรม และเขตชนบทบริเวณชายฝั่งทะเล ในช่วงฤดูหนาว จากการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} ในเขตเมืองมีค่าสูงกว่าในเขตชนบท

ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้กับการศึกษานี้ที่พบว่าโรงเรียนวัดเจติยารามอยู่ในเขตอำเภอเมือง ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชนมีความเข้มข้นของ PM_{10} สูงกว่าโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ซึ่งเป็นพื้นที่ชนบท

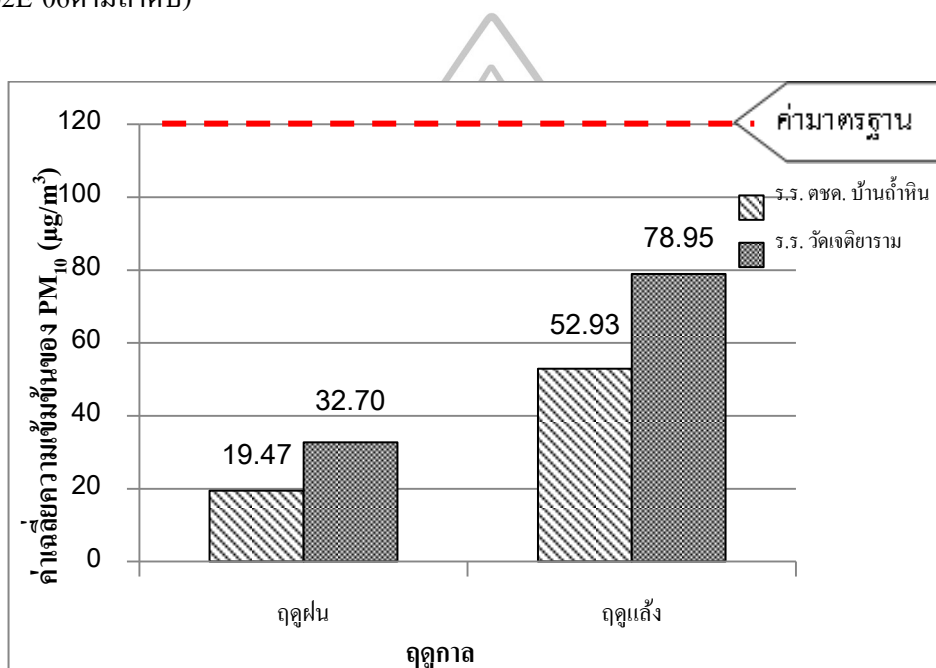
เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ บริเวณภายนอกอาคารพบว่า งานวิจัยนี้โรงเรียนวัดเจติยารามเป็นพื้นที่ชุมชนอยู่ในเขตอุตสาหกรรมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} สูงกว่าโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินที่อยู่ห่างไกลจากเขตที่มีการทำอุตสาหกรรม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ ที่เป็นไปในทำนองเดียวกัน แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารระหว่างงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ

งานวิจัย	สถานที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		ฤดูฝน	ฤดูแล้ง
งานวิจัยนี้	ร.ร.วัดเจติยาราม	32.70 ± 8.89	78.95±37.95
	ร.ร.ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน	19.47 ± 11.01	52±19.36
พัชรีย์ (2543)	โรงเรียนบ้านคุงเขียว (เขตอุตสาหกรรม)	275.01	
	โรงเรียนหน้าพระลาน (นอกเขตอุตสาหกรรม)	128.71	
วนิดา (2543)	ที่พักอาศัยเขตกรุงเทพมหานครชั้นใน	89.2	
	ที่พักอาศัยเขตกรุงเทพมหานครชั้นนอก	71.3	
ศรียรัตน์และคณะ (2545)	โรงเรียนที่อยู่ใกล้โรงโม่หิน	195.7	
	โรงเรียนที่อยู่ไกลจากโรงโม่หิน	175.3	

เมื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นของ PM_{10} ระหว่าง 2 พื้นที่ศึกษาในแต่ละฤดูแสดงดังรูปที่ 4.4 ผลการศึกษาพบว่ามีค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ในฤดูฝนและฤดูแล้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 (P-value = 0.0008 และ 0.0124 ตามลำดับ) และเมื่อทำ

การเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นของ PM_{10} ระหว่าง 2 ฤดูกาลของแต่ละพื้นที่ศึกษาพบว่า มีความเข้มข้นที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 เนื่องจากในช่วงฤดูฝนมีฝนตก เมื่อฝนตกก็ จะมีการชะล้างฝุ่นละอองที่ลอยอยู่ในบรรยากาศให้ตกลงสู่พื้นดิน ส่วนฤดูแล้งจะเป็นอากาศแห้งมี ปริมาณฝนน้อยทำให้ฝุ่นกระจายตัวในอากาศได้นาน (P-value สำหรับบริเวณ โรงเรียนวัดเจติยาราม เท่ากับ $6.6379E-05$ และสำหรับบริเวณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินเท่ากับ $2.5602E-06$ ตามลำดับ)



รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และ โรงเรียนวัดเจติยาราม (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

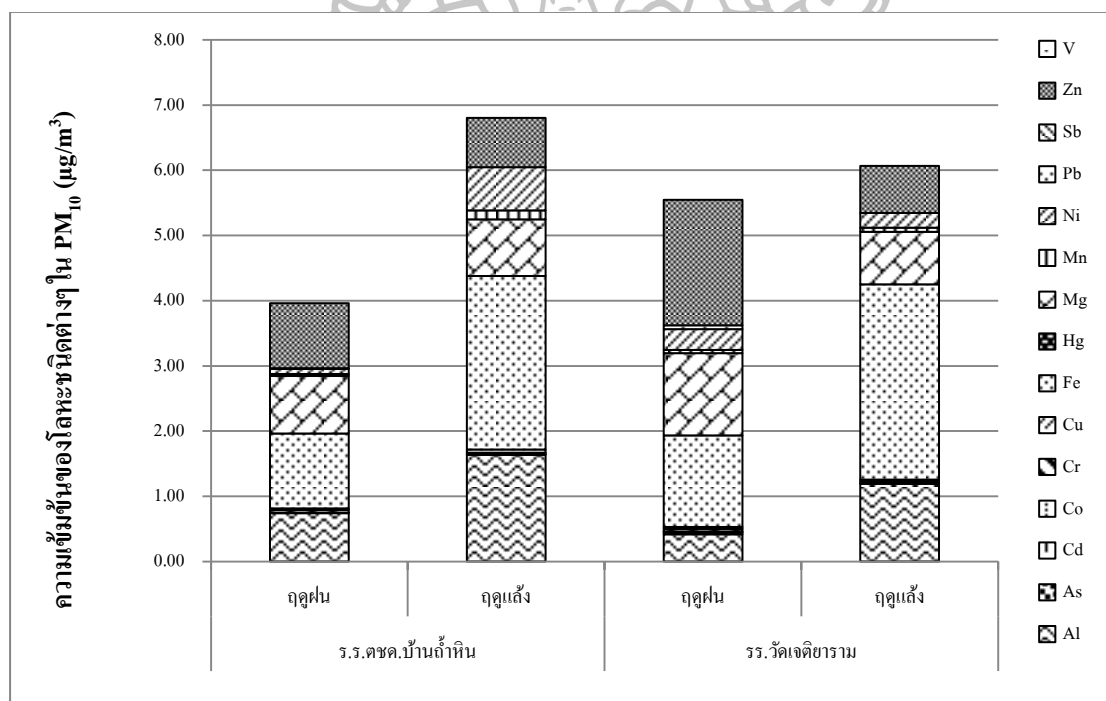
เมื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบความแตกต่างความเข้มข้นของ PM_{10} ระหว่างภายใน และภายนอกอาคารในแต่ละพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่ามีความเข้มข้นของ PM_{10} ในฤดูฝนไม่แตกต่างกัน (P-value สำหรับบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามเท่ากับ 0.0734 และสำหรับบริเวณ โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินเท่ากับ 0.4291 ตามลำดับ) ส่วนฤดูแล้งแตกต่างกัน (P-value สำหรับบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามเท่ากับ 0.0105 และสำหรับบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินเท่ากับ 0.0005 ตามลำดับ)

4.2 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀

เมื่อดำเนินการวิเคราะห์ความเข้มข้นของ PM₁₀ เรียบร้อยแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์ต่อเพื่อหาความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบในพื้นที่ได้ทำการศึกษาทั้งสองพื้นที่ คือ โรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ จุดฝุ่นและจุดแฉ่งภายในและภายนอกอาคารของพื้นที่ดังต่อไปนี้

4.2.1 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ บริเวณภายในอาคาร จุดฝุ่นและจุดแฉ่ง

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ ของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินและโรงเรียนวัดเจติยาราม ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ บริเวณภายในอาคารโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยาราม (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จากรูปพบว่าผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM₁₀ บริเวณภายในอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม พบโลหะที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด 4 ลำดับแรก ได้แก่ สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) และอะลูมิเนียม (Al) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.92 1.40 1.26 และ 0.42 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยที่โลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ปรอท (Hg) พลวง

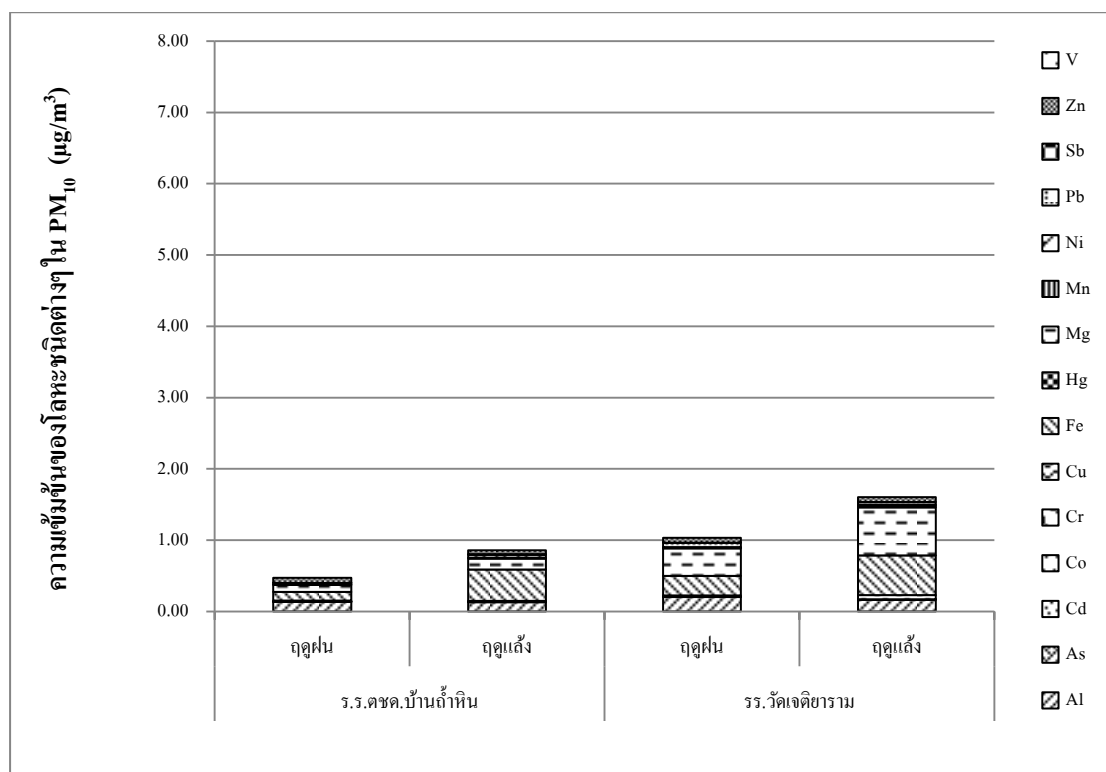
(Sb) และวานาเดียม (V) ส่วนผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นสูงสุดที่ 4 ลำดับแรก ได้แก่ เหล็ก (Fe) สังกะสี (Zn) แมกนีเซียม (Mg) และอะลูมิเนียม (Al) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.15 1.00 0.88 และ 0.74 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยที่โลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) และวานาเดียม (V) ในฤดูฝน

ส่วนผลการวิเคราะห์ในฤดูแล้งพบว่าความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณภายในอาคาร โรงเรียนวัดเจติยารามพบโลหะที่มีความเข้มข้นสูงสุดที่ 4 ลำดับแรก ได้แก่ เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.99 1.19 0.80 และ 0.72 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยที่โลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) โคบอล (Co) ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) พลวง (Sb) และวานาเดียม (V) ส่วนผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นสูงสุดที่ 4 ลำดับแรก ได้แก่ เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.66 1.64 0.86 และ 0.76 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยที่โลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) โคบอล (Co) ปรอท (Hg) ตะกั่ว (Pb) พลวง (Sb) และวานาเดียม (V)

จากการศึกษาของ Olujimia *et al.* (2014) ได้ทำการเก็บฝุ่นละอองบริเวณภายในอาคาร ซึ่งประกอบด้วย ห้องเรียน ห้องนั่งเล่น และห้องสำนักงาน ในรัฐ Ogun ประเทศไนจีเรีย ผลการศึกษาพบว่า Fe และ Mn มีความเข้มข้นสูงสุดในบริเวณห้องเรียนและบริเวณสำนักงาน และจากการศึกษาของสุราสีนิ (2553) ได้ทำการหาความเข้มข้นของฝุ่นละอองแขวนลอยและฝุ่นละอองขนาดเล็ก และปริมาณโลหะหนักในฝุ่นละออง ในบริเวณสำนักงานในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร โลหะที่วิเคราะห์ ได้แก่ Be Al V Cr Mn Fe Co Ni Cu Zn As Ag Sb และ Pb ผลการศึกษาพบว่าปริมาณฝุ่นละอองแขวนลอยและฝุ่นละอองขนาดเล็กมีค่าเฉลี่ยไม่เกินค่ามาตรฐาน จะเห็นได้ว่าจากกรณีศึกษาของทั้งสองพื้นที่ที่มีชนิดของโลหะที่พบเป็นองค์ประกอบมีความแตกต่างกันขึ้นกับกิจกรรมลักษณะพื้นที่ของแต่ละพื้นที่ แต่ทั้งสองกรณีศึกษาพบ Fe เป็นองค์ประกอบที่เหมือนกันแสดงว่าเป็นโลหะที่พบอยู่มากตามธรรมชาติ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้ทำการศึกษานี้ที่พบ Fe เป็นองค์ประกอบใน 4 อันดับแรกของทั้งสองพื้นที่ศึกษาทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งบริเวณภายในอาคาร

4.2.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณภายนอกอาคาร ฤดูฝนและฤดูแล้ง

การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ของโรงเรียนวัดเจติยาราม และโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยาราม (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

จากรูปพบว่าผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนวัดเจติยารามพบความเข้มข้นสูงที่สุด 4 ลำดับแรก ได้แก่ แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และสังกะสี (Zn) ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.39 0.27 0.20 และ 0.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยที่โลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ สารหนู (As) โคบอลต์ (Co)ปรอท (Hg) และวานาเดียม (V) ส่วนผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณภายนอกโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นสูงที่สุด 4 ลำดับแรก ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ

0.14 0.12 0.10 และ 0.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยที่โลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ โคบอล (Co) พรอท (Hg) พลวง (Sb) และวานาเดียม (V) ในฤดูฝน

ส่วนผลการวิเคราะห์ในฤดูแล้งพบว่าความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนวัดเจติยารามพบความเข้มข้นสูงสุดที่ลำดับแรก ได้แก่ แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และสังกะสี (Zn) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.68 0.55 0.16 และ 0.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยที่โลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ โคบอล (Co) พรอท (Hg) พลวง (Sb) และวานาเดียม (V) ส่วนผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินมีความเข้มข้นสูงสุดที่ลำดับแรก ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) อะลูมิเนียม (Al) และสังกะสี (Zn) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.44 0.15 0.13 และ 0.05 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ โดยที่โลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ โคบอล (Co) พรอท (Hg) พลวง (Sb) และวานาเดียม (V)

จากการศึกษาของ Wu *et al.* (2003) ศึกษาลักษณะทางเคมีของ PM_{10} ในประเทศจีน พบโลหะที่เป็นองค์ประกอบเด่น ได้แก่ ซิลิกอน (Si) แคลเซียม (Ca) อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) โพแทสเซียม (K) และแมกนีเซียม (Mg) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของอนุภาคเปลือกโลก และจากการศึกษาของ Celis *et al.* (2004) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของ PM_{10} ในประเทศชิลี พบโลหะที่เป็นองค์ประกอบเด่น ได้แก่ ซิลิกอน (Si) อะลูมิเนียม (Al) แคลเซียม (Ca) เหล็ก (Fe) โพแทสเซียม (K) และไททานเนียม (Ti) เป็นฝุ่นดินตามท้องถนน จะเห็นได้ว่าจากกรณีศึกษาของทั้งสองพื้นที่มีชนิดของโลหะที่พบเป็นองค์ประกอบเด่นมีความแตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นกับกิจกรรมลักษณะพื้นที่ของแต่ละพื้นที่ แต่ทั้งสองกรณีศึกษาพบอะลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบเด่นเช่นเดียวกัน ซึ่งโลหะที่พบทั้งสองเป็นองค์ประกอบหลักในดินที่พบมากตามธรรมชาติ (นัทธีรา, 2551) ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้ทำการศึกษาที่พบอะลูมิเนียม (Al) และเหล็ก (Fe) เป็นองค์ประกอบใน 4 อันดับแรกของทั้งสองพื้นที่ศึกษาทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง

เมื่อนำหัวข้อ 4.2.1 และ 4.2.2 มาสรุปจะได้ว่าบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามพบโลหะหลากหลายชนิดกว่าโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดโลหะจากหลายแหล่งเพราะตำแหน่งที่ตั้งของโรงเรียนตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินจะพบโลหะน้อยชนิดกว่าและพบโลหะที่ไม่ใช่องค์ประกอบหลักของดิน เนื่องจากมีการขุดดินจากบริเวณเหมืองที่ปิดตัวลงในบริเวณใกล้เคียงมากมามีจึงทำให้พบโลหะเหล่านี้และบริเวณภายในอาคารของทั้งสองพื้นที่ยังพบความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} สูงกว่าบริเวณภายนอกอาคารอีกด้วย

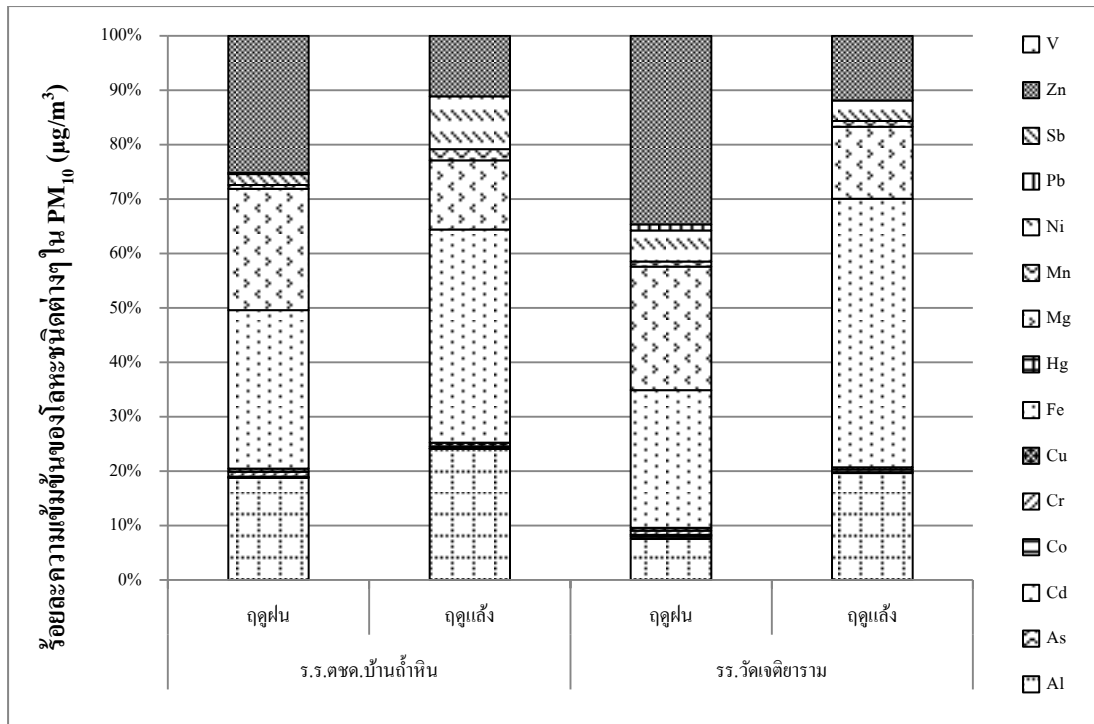
4.2.3 เปรียบเทียบร้อยละของความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀

เมื่อทำการเปรียบเทียบร้อยละความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ บริเวณภายในและภายนอกอาคารที่พบทั้ง 2 พื้นที่และ 2 ฤดูกาลที่เก็บตัวอย่างได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

(1) เปรียบเทียบร้อยละของความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ บริเวณภายในอาคาร

ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ บริเวณภายในอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม พบว่าในฤดูฝนมีร้อยละความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ จากมากไปน้อยดังนี้ Zn > Fe > Mg > Al > Ni > Pb > Mn > Cr > Cu > As > Cd > Co เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูแล้ง พบว่ามีร้อยละความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยพบว่าฤดูแล้งมีลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ Fe > Al > Mg > Zn > Ni > Mn > Cr > Cu > Cd จะเห็นได้ว่าร้อยละความเข้มข้นของโลหะที่พบมากที่สุด 4 อันดับแรกเหมือนกันแต่ร้อยละความเข้มข้นที่พบมาน้อยแตกต่างกัน ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบว่าในฤดูฝนมีร้อยละความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ จากมากไปน้อยดังนี้ Fe > Zn > Mg > Al > Ni > Cr > Mn > Cu > Sb > Co > Cd เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูแล้งพบว่ามีร้อยละความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยพบว่าฤดูแล้งมีลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ Fe > Al > Mg > Zn > Ni > Mn > Cu > Cr > Cd จะเห็นได้ว่าร้อยละความเข้มข้นของโลหะที่พบมากที่สุด 4 อันดับแรกเหมือนกันแต่ร้อยละความเข้มข้นที่พบมาน้อยแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 4.7





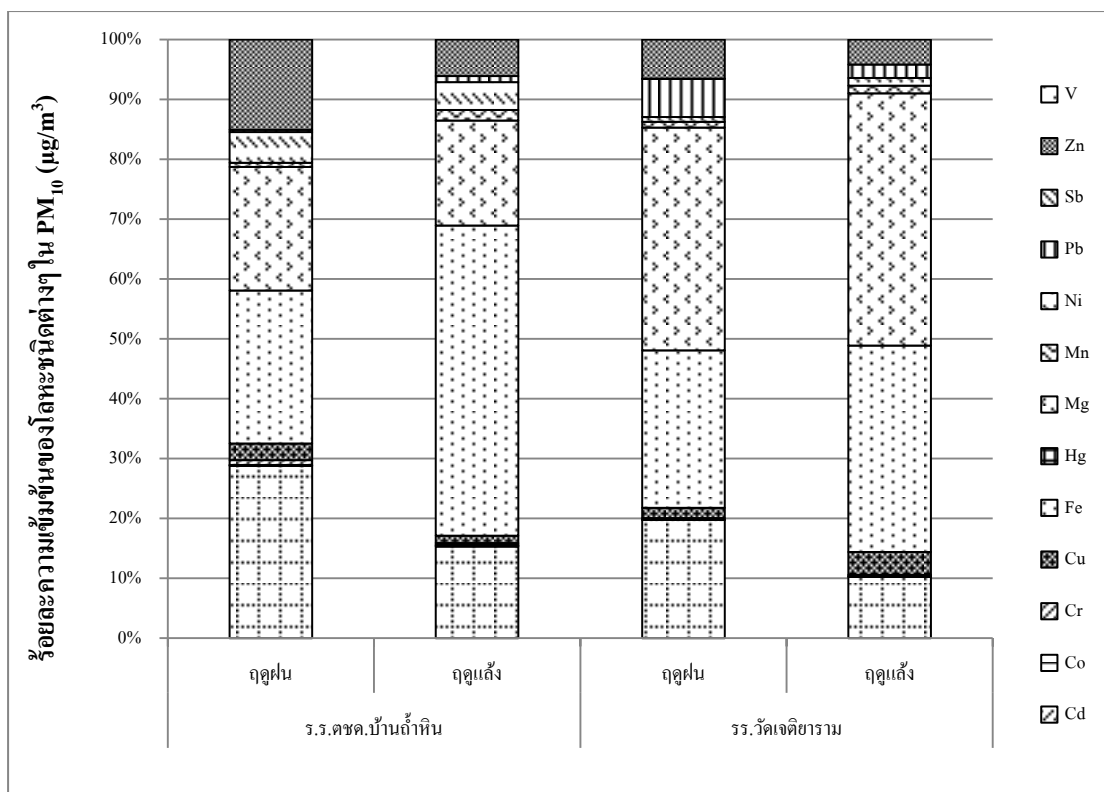
รูปที่ 4.7 ร้อยละของความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ บริเวณภายในอาคารโรงเรียน ตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยาราม (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

(2) เปรียบเทียบร้อยละของความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ บริเวณภายนอกอาคาร

ผลการวิเคราะห์ร้อยละความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ บริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม พบว่าในฤดูฝนมีร้อยละความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ จากมากไปน้อยดังนี้ Mg > Fe > Al > Zn > Pb > Cu > Mn > Ni > Cr > Sb > Cd เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูแล้งพบว่า มีร้อยละความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยพบว่าฤดูแล้งมีลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ Mg > Fe > Al > Zn > Cu > Pb > Mn > Ni > Cr > As > Cd จะเห็นได้ว่าร้อยละความเข้มข้นของโลหะที่พบมากที่สุด 4 อันดับแรกเหมือนกันแต่ร้อยละความเข้มข้นที่พบมากน้อยแตกต่างกัน ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบว่าในฤดูฝนมีร้อยละความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ จากมากไปน้อยดังนี้ Al > Fe > Mg > Zn > Ni > Cu > Cr > Mn > Pb > As > Cd เมื่อเปรียบเทียบกับฤดูแล้งพบว่า มีร้อยละความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โดยพบว่าฤดูแล้งมีลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ Fe > Mg > Al > Zn > Ni > Mn > Cu > Pb > Cr > As > Cd จะเห็นได้ว่าร้อยละความเข้มข้นของโลหะที่พบมากที่สุด 4 อันดับแรกเหมือนกันแต่ร้อยละความเข้มข้นที่พบมากน้อยแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 4.8

จากการศึกษาของ Morales *et al.* (1990) ศึกษาธาตุปริมาณน้อยที่อยู่ใน PM_{10} ในเขตชานานาของประเทศเวเนซุเอลา โดยทำการตรวจวัดในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนที่มีการเผาไหม้และไม่มี การเผาไหม้ชีวมวล จากการศึกษพบว่าแหล่งกำเนิดจากดินจะมีองค์ประกอบจำพวก อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) และแมงกานีส (Mn) ส่วนบริเวณชายฝั่งทะเลจะมีองค์ประกอบของ โซเดียม (Na) และแมกนีเซียม (Mg) ในขณะที่บริเวณที่มีการทำกิจกรรมของมนุษย์ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม และการจราจรจะมีองค์ประกอบของทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) นิกเกิล (Ni) วานเดียม (V) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) จะเห็นได้ว่าจากกรณีศึกษาพบองค์ประกอบเด่นของโลหะที่ สอดคล้องกับผลที่ได้ทำการศึกษานี้ 4 อันดับแรก คือ อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) ทั้งสองฤดูกาล

เมื่อนำหัวข้อ (1) และ (2) มาสรุปจะได้ว่าบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามในฤดูฝน บริเวณ ภายในอาคารพบ Zn Fe Mg และ Al บริเวณภายนอกอาคารพบ Mg Fe Al และ Zn ส่วนในฤดูแล้ง บริเวณภายในอาคารพบ Fe Al Mg และ Zn และบริเวณภายนอกอาคารพบ Mg Fe Al และ Zn ซึ่ง บริเวณภายในและภายนอกอาคารพบชนิดโลหะเหมือนกันแต่มีร้อยละความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โลหะที่พบส่วนมากจะเป็นองค์ประกอบหลักของดินทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง ส่วนโรงเรียนตำรวจ ตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินในฤดูฝน บริเวณภายในอาคารพบ Fe Zn Mg และ Al บริเวณภายนอก อาคารพบ Al Fe Mg และ Zn ส่วนในฤดูแล้ง บริเวณภายในอาคารพบ Fe Al Mg และ Zn และ บริเวณภายนอกอาคารพบ Fe Mg Al และ Zn ชนิดของโลหะบริเวณภายในและภายนอกอาคารที่ พบเหมือนกันแต่มีร้อยละความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โลหะที่พบส่วนมากจะเป็นองค์ประกอบหลัก ของดินทั้งฤดูฝนและฤดูแล้งเช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.8 ร้อยละของความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยาราม (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

4.3 ความสัมพันธ์ของ PM_{10} และโลหะต่างๆ ใน PM_{10}

จากการวิเคราะห์สถิติโดยใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficients) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficients) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} กับความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะกับความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณภายในและภายนอกอาคาร บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยจะทำการสรุปเฉพาะความสัมพันธ์ที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มากกว่า 0.70 ผลการศึกษามีดังนี้

4.3.1 ความสัมพันธ์ในฤดูฝน

จากตารางที่ 4.7 พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} ไม่พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญกับโลหะชนิดใดเลยทั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ส่วนความสัมพันธ์ของโลหะกับโลหะพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันของ As กับ Cd Mg

และ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.78 0.85 และ 0.94 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ Cd กับ Mg และ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.81 และ 0.78 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ Mg กับ Mn และ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.76 และ 0.96 ตามลำดับ

จากตารางที่ 4.8 พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญกับ Al Fe และ Ni ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.72 0.78 และ 0.78 ตามลำดับ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างโลหะกับโลหะพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญของ Al กับ Ni และ Sb ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.82 และ 0.70 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันของ Fe กับ Ni ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.81 และพบความสัมพันธ์ของ Ni กับ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.74

จากตารางที่ 4.9 พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} ไม่พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญกับโลหะชนิดใดเลยทั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างโลหะกับโลหะพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญของ Cr กับ Mn และ Ni ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.75 และ 0.70 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ Cu กับ Ni ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.80

จากตารางที่ 4.10 พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} ไม่พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญกับโลหะชนิดใดเลยทั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างโลหะกับโลหะพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญของ Fe กับ Mn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.71

เมื่อทำการสรุปผลในฤดูฝนพบว่า As กับ Cd Mg และ Zn ของโรงเรียนวัดเจติยารามบริเวณภายในอาคารพบความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ($r = 0.78$, $r = 0.85$ และ $r = 0.94$) ตามลำดับ งานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าโลหะทั้งสี่นี้มีแหล่งกำเนิดหลักจากเหมืองแร่ (Campa *et al.*, 2011) โรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Kong *et al.*, 2011) โรงงานปูนซีเมนต์ (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006) และโรงงานเซรามิก (Soriano *et al.*, 2012) และพบความสัมพันธ์ของ Cd กับ Mg และ Zn ($r = 0.81$ และ 0.78) ตามลำดับ และยังพบความสัมพันธ์ของ Mg กับ Mn และ Zn ($r = 0.76$ และ $r = 0.96$) ตามลำดับ ซึ่งมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากแหล่งกำเนิดข้างต้นเช่นเดียวกัน ส่วนบริเวณภายนอกอาคารของโรงเรียนวัดเจติยารามพบความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงของ PM_{10} กับ Fe และ Ni ($r = 0.78$ และ $r = 0.78$) ตามลำดับ ซึ่งอาจมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากดินและโรงงานที่ใช้ถ่านหิน

เป็นเชื้อเพลิง (Kong *et al.*, 2011) และพบความสัมพันธ์ของ Al กับ Ni และ Sb ($r = 0.82$ และ 0.70) ตามลำดับ พบความสัมพันธ์ของ Fe กับ Ni ($r = 0.81$) และยังพบความสัมพันธ์ของ Ni กับ Zn ($r = 0.74$) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากดินและโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงเช่นเดียวกัน ดังนั้นบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามภายในอาคารและนอกอาคารจึงมีแนวโน้มที่มีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากโลหะส่วนใหญ่ที่พบมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากดินและโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเราพบ PM_{10} มีความสัมพันธ์กับ Fe และ Ni, Al กับ Ni, Fe กับ Ni และ Ni กับ Zn ซึ่ง Fe และ Al อาจจะมาจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นบนถนน เนื่องจากบริเวณโรงเรียนเป็นพื้นที่ชุมชน (Urban area) และมีการจราจรอย่างหนาแน่น ส่วน Ni และ Zn มาจากอุตสาหกรรมใกล้เคียงบริเวณภายนอกอาคารโรงเรียน และเรายังพบ Zn บริเวณภายในอาคารอีกด้วย ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินบริเวณภายในอาคาร พบความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงของ Cu กับ Ni ($r = 0.80$) จากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าโลหะทั้งสองนี้มีแหล่งกำเนิดหลักจากเหมืองแร่และเหมืองถ่านหิน (Campa *et al.*, 2011) และยังพบความสัมพันธ์ของ Cr กับ Mn และ Ni มีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ($r = 0.75$ และ $r = 0.70$) ตามลำดับ โลหะทั้งสามนี้มีแหล่งกำเนิดหลักจากเหมืองถ่านหิน (Kong *et al.*, 2011) ส่วนบริเวณภายนอกโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินมีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงของ Fe กับ Mn ($r = 0.71$) เนื่องจาก Fe มีแหล่งกำเนิดมาจากดิน ส่วน Mn ก็เป็นองค์ประกอบในดินเช่นกันแต่มีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 0.085 (นัทธีรา, 2551) และประกอบกับโรงเรียนมีการขุดดินจากบริเวณเหมืองที่ปิดตัวลงในบริเวณใกล้เคียงมาถมที่ ดังนั้นจึงพบว่าบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินภายในอาคารและนอกอาคารมีความสัมพันธ์กัน

ตารางที่ 4.7 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ กับโลหะ
ต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณภายในอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูฝน

	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Zn
PM ₁₀	-0.11	0.23	-0.03	-0.22	0.05	-0.36	0.36	0.12	0.13	-0.41	-0.22	0.17
Al		0.15	0.29	0.10	0.56	0.54	0.65*	0.49	0.45	0.44	0.10	0.33
As			0.78**	-0.11	0.16	-0.17	-0.09	0.85**	0.46	-0.20	-0.11	0.94**
Cd				0.50	0.50	0.21	-0.04	0.81**	0.50	0.10	0.50	0.78**
Co					0.55	0.56	-0.00	0.04	0.06	0.29	0.10	-0.11
Cr						0.50	0.52	0.50	0.45	0.42	0.55	0.32
Cu							0.25	0.10	0.40	0.64*	0.56	-0.09
Fe								0.15	0.22	0.26	-0.00	0.02
Mg									0.76**	0.24	0.04	0.96**
Mn										0.66*	0.06	0.66
Ni											0.29	0.05
Pb												-0.11

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 4.8 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูฝน

	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	
PM ₁₀	0.72 **	-0.01	0.30	-0.64*	0.78 **	0.60*	0.49	0.78 **	-0.22	0.29	0.21	
Al		-0.01	0.19	-0.35		0.61*	0.27	0.55*	0.82 **	-0.01	0.70 **	0.48
Cd			-0.03	0.07		0.05	0.33	0.01	-0.01	-0.02	-0.11	-0.20
Cr				-0.01		0.34	0.10	0.36	0.07	-0.14	-0.09	0.25
Cu						-0.66*	-0.39	-0.02	-0.49	0.38	-0.38	0.27
Fe							0.44	0.52	0.81 **	-0.20	0.37	0.23
Mg								0.53*	0.46	-0.16	-0.10	0.46
Mn									0.57*	0.11	0.24	0.55*
Ni										0.17	0.45	0.74 **
Pb											0.17	0.01
Sb												0.37

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ตารางที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ กับโลหะ
ต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน
ในฤดูฝน

	Al	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Sb	Zn
PM ₁₀	0.11	-0.48	-0.50	0.10	0.02	0.42	-0.37	-0.02	0.05	-0.63*	0.33
Al		0.31	-0.31	0.53	0.55	0.60	-0.09	0.27	0.25	-0.18	0.29
Cd			0.68*	0.43	0.57	0.21	-0.10	0.68*	0.30	-0.16	0.10
Co				0.03	0.16	-0.42	0.01	0.35	0.18	-0.11	-0.28
Cr					0.64*	0.39	-0.01	0.75*	0.70*	-0.56	-0.03
Cu						0.54	-0.38	0.67*	0.80**	-0.27	0.10
Fe							-0.22	0.36	0.23	-0.34	0.54
Mg								-0.08	-0.10	0.22	-0.58
Mn									0.53	-0.41	-0.12
Ni										-0.40	-0.22
Sb											-0.18

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ตารางที่ 4.10 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูฝน

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Zn
PM ₁₀	0.05	-0.17	-0.43	0.03	0.58*	0.02	0.14	0.14	-0.15	-0.23	0.05
Al		-0.11	-0.35	-0.22	0.11	-0.03	0.55*	-0.11	-0.26	0.56*	0.42
As			0.35	-0.03	-0.20	-0.23	0.01	0.40	-0.12	0.24	-0.18
Cd				0.26	-0.38	-0.05	-0.51	-0.08	0.22	-0.06	-0.29
Cr					-0.17	-0.18	-0.02	0.15	-0.24	-0.22	-0.16
Cu						-0.15	0.05	-0.31	0.01	-0.41	0.32
Fe							0.42	0.71**	0.09	0.13	-0.55*
Mg								0.27	-0.51	0.14	0.24
Mn									-0.25	0.22	-0.53*
Ni										-0.15	-0.15
Pb											-0.28

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.2 ความสัมพันธ์ในฤดูแล้ง

จากตารางที่ 4.11 พบว่าความเข้มข้นของ PM₁₀ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญกับ Cr ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.70 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างโลหะกับโลหะพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญของ Al กับ Cu ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.84 และพบความสัมพันธ์ของ Fe กับ Ni ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.74 และพบความสัมพันธ์ของ Ni กับ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.79

จากตารางที่ 4.12 พบว่าความเข้มข้นของ PM₁₀ มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญกับ Al Cr Fe Mg Mn และ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.83 0.76 0.93 0.82 0.94 และ 0.86 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างโลหะกับโลหะพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญของ Al กับ Cr Fe Mg Mn และ Zn ที่ระดับ

นัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.83 0.94 0.91 0.90 และ 0.84 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ As กับ Cd Cr และ Pb ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.82 0.72 และ 0.89 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ Cd กับ Cr และ Pb ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.781 และ 0.70 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ Cr กับ Fe Mg Mn และ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.86 0.72 0.81 และ 0.70 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ Fe กับ Mg Mn และ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.91 0.97 0.87 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ Mg กับ Mn และ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.91 และ 0.89 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ Mn กับ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.91

จากตารางที่ 4.13 พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} ไม่พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญกับ โลหะชนิดใดเลยทั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ส่วนความสัมพันธ์ของโลหะกับโลหะพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันของ Cr กับ Mg ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.74 และยังพบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามของ Ni กับ Zn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ -0.70

จากตารางที่ 4.14 พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} ไม่พบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงกันข้ามอย่างมีนัยสำคัญกับ โลหะชนิดใดเลยทั้งที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างโลหะกับโลหะพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญของ Fe กับ Mg และ Mn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.73 และ 0.94 ตามลำดับ และพบความสัมพันธ์ของ Mg กับ Mn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.76

เมื่อทำการสรุปผลในฤดูแล้งพบว่า PM_{10} กับ Cr ของโรงเรียนวัดเจติยารามบริเวณภายในอาคารพบความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ($r = 0.70$) เนื่องจาก Cr มีแหล่งกำเนิดหลักจากโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Kong *et al.*, 2011) และพบความสัมพันธ์ของ Al กับ Cu ($r = 0.84$) เนื่องจาก Cu มีแหล่งกำเนิดหลักจากเหมืองแร่ (Campa *et al.*, 2011) ส่วน Al เป็นองค์ประกอบหลักของดิน และพบความสัมพันธ์ของ Fe กับ Ni ($r = 0.74$) เนื่องจาก Ni มีแหล่งกำเนิดหลักจากโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Kong *et al.*, 2011) ส่วน Fe เป็นองค์ประกอบหลักของดิน และยังพบความสัมพันธ์ของ Ni กับ Zn ($r = 0.79$) เนื่องจากโลหะทั้งสองชนิดนี้มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Kong *et al.*, 2011) ส่วนบริเวณภายนอกอาคารของโรงเรียน

วัดเจติยารามพบความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงของ PM_{10} กับ Al Cr Fe Mg Mn และ Zn ($r = 0.83$, $r = 0.76$, $r = 0.93$, $r = 0.82$, $r = 0.94$ และ $r = 0.86$) ตามลำดับ พบความสัมพันธ์ของ Al กับ Cr Fe Mg Mn และ Zn ($r = 0.83$, $r = 0.94$, $r = 0.91$, $r = 0.90$ และ $r = 0.84$) ตามลำดับ พบความสัมพันธ์ของ As กับ Cd Cr และ Pb ($r = 0.82$, $r = 0.72$ และ $r = 0.89$) ตามลำดับ พบความสัมพันธ์ของ Cd กับ Cr และ Pb ($r = 0.781$ และ $r = 0.70$) ตามลำดับ พบความสัมพันธ์ของ Cr กับ Fe Mg Mn และ Zn ($r = 0.86$, $r = 0.72$ และ $r = 0.81$) ตามลำดับ พบความสัมพันธ์ของ Fe กับ Mg Mn และ Zn ($r = 0.91$, $r = 0.97$ และ $r = 0.87$) ตามลำดับ พบความสัมพันธ์ของ Mg กับ Mn และ Zn ($r = 0.91$ และ $r = 0.89$) ตามลำดับ และยังพบความสัมพันธ์ของ Mn กับ Zn ($r = 0.91$) เนื่องจากโลหะส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากเหมืองแร่ (Campa *et al.*, 2011) โรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Kong *et al.*, 2011) โรงงานปูนซีเมนต์ (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006) และโรงงานเซรามิก (Soriano *et al.*, 2012) ดังนั้นบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามภายในอาคารและนอกอาคารมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากโลหะส่วนใหญ่ที่พบทั้งบริเวณภายในอาคารและภายนอกอาคารมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากแหล่งเดียวกัน ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินบริเวณภายในอาคารพบความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงของ Cr กับ Mg ($r = 0.74$) เนื่องจาก Cr มีแหล่งกำเนิดหลักจากเหมืองถ่านหิน (Kong *et al.*, 2011) ส่วน Mg เป็นองค์ประกอบหลักของดิน และพบความสัมพันธ์ของ Ni กับ Zn มีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ($r = 0.70$) เนื่องจากโลหะทั้งสองนี้มีแหล่งกำเนิดหลักจากเหมืองถ่านหิน (Kong *et al.*, 2011) เช่นเดียวกัน ส่วนบริเวณภายนอกโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินมีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงของ Fe กับ Mg และ Mn ($r = 0.73$ และ $r = 0.94$) ตามลำดับ เนื่องจาก Fe และ Mg เป็นองค์ประกอบหลักของดิน ส่วน Mn ก็เป็นองค์ประกอบในดินเช่นกันแต่มีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 0.085 (นัทธีรา, 2551) และยังพบความสัมพันธ์ของ Mg กับ Mn ($r = 0.76$) ดังนั้นบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินภายในอาคารและนอกอาคารมีความสัมพันธ์กัน เนื่องจากพบ Mg ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในดินบริเวณภายในอาคารและนอกอาคารของโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน

ตารางที่ 4.11 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ กับ โลหะต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณภายในอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูแล้ง

	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Zn
PM ₁₀	0.43	0.01	0.70*	0.62	0.47	0.29	0.46	0.30	0.14
Al		0.07	0.35	0.84**	0.47	-0.42	0.14	0.25	0.15
Cd			0.24	-0.02	-0.23	0.14	-0.30	0.27	0.18
Cr				0.64*	0.43	0.09	0.19	0.22	0.08
Cu					0.62*	-0.23	0.22	0.25	0.20
Fe						0.25	0.32	0.74**	0.68*
Mg							0.12	0.59	0.50
Mn								0.12	0.22
Ni									0.79**

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ตารางที่ 4.12 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ กับ โลหะต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูแล้ง

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Zn
PM ₁₀	0.83**	0.62*	0.62*	0.76**	-0.01	0.93**	0.82**	0.94**	-0.43	0.44	0.86**
Al		0.53*	0.51*	0.83**	0.04	0.94**	0.91**	0.90**	-0.21	0.33	0.84**
As			0.82**	0.72**	-0.06	0.66**	0.50	0.69**	-0.25	0.89**	0.47
Cd				0.78**	0.10	0.63*	0.45	0.60*	-0.31	0.70**	0.42
Cr					0.13	0.86**	0.72**	0.81**	-0.31	0.55*	0.70**
Cu						-0.10	-0.21	-0.16	-0.06	-0.21	-0.14
Fe							0.91**	0.97**	-0.31	0.51*	0.87**
Mg								0.91**	-0.28	0.31	0.89**
Mn									-0.36	0.55*	0.91**
Ni										-0.21	-0.45
Pb											0.31

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ตารางที่ 4.13 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ กับ โลหะต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณภายในอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูแล้ง

	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Zn
PM ₁₀	0.40	-0.16	0.06	-0.15	-0.11	0.48	-0.45	-0.01	-0.48
Al		0.13	0.46	0.04	-0.12	0.28	-0.05	-0.18	0.07
Cd			0.55	0.47	-0.15	0.09	-0.05	-0.06	0.31
Cr				0.69*	0.09	0.74**	0.09	0.02	0.12
Cu					-0.13	0.60*	0.24	0.38	-0.19
Fe						-0.03	0.10	-0.26	0.45
Mg							-0.05	0.31	-0.40
Mn								-0.28	0.41
Ni									-0.70*

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ตารางที่ 4.14 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ กับ โลหะต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน บ้านถ้ำหิน ในฤดูแล้ง

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Zn
PM ₁₀	0.26	0.26	0.33	0.50	0.06	0.62*	0.48	0.61*	-0.24	0.18	0.64**
Al		0.39	-0.07	-0.17	-0.19	0.69**	0.25	0.55*	0.31	-0.22	-0.01
As			0.05	0.27	-0.35	0.55*	0.32	0.47	0.11	-0.02	0.20
Cd				0.65**	0.50	-0.07	0.01	0.02	-0.26	0.30	0.29
Cr					0.01	-0.28	-0.33	0.40	-0.24	0.23	0.62*
Cu						-0.34	-0.22	-0.28	-0.45	0.08	-0.12
Fe							0.73**	0.94**	0.14	-0.09	0.52*
Mg								0.76**	-0.15	-0.24	0.63*
Mn									0.13	-0.04	0.68**
Ni										-0.19	-0.17
Pb											0.21

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

* ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.3.3 ความสัมพันธ์รวมทั้งปี

นอกจากนี้เมื่อนำผลข้างต้นมาสรุปความสัมพันธ์รวมทั้งปี พบว่าบริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนวัดเจติยาราม พบความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ PM₁₀ ในทิศทางเดียวกันกับ Fe ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.91 และพบว่าบริเวณภายนอกอาคาร โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินพบความสัมพันธ์ของโลหะกับโลหะในทิศทางเดียวกันของ Fe กับ Mn ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.94 แสดงดังตารางที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ และจากตารางทั้งสองพบว่าโลหะที่พบบริเวณภายในและภายนอกอาคารพบองค์ประกอบของโลหะต่างกัน เนื่องจากพื้นที่การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอยู่ในความสูงคนละระดับ เครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคารจะตั้งเครื่องที่ชั้น 2 และ 3 ของมุกตึกบริเวณภายในอาคาร ส่วนเครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณภายนอกอาคารจะตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณหน้าเสาธงซึ่ง

เป็นระดับต่ำกว่าตึกที่เก็บตัวอย่างภายในอาคาร ดังนั้นฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิดบริเวณใกล้เคียงถูกพัดพามาโดยลมอาจเข้าสู่ภายในอาคารซึ่งอยู่ในระดับสูงและนำโลหะมาด้วยจึงทำให้พบองค์ประกอบของโลหะภายในและนอกอาคารแตกต่างกัน

ตารางที่ 4.15 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ กับโลหะต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม

บริเวณภายในอาคาร	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รวมทั้งปี
As กับ Mg	0.85**		0.79**
As กับ Zn	0.94**		0.91**
Cd กับ Zn	0.78**		0.71**
Mg กับ Zn	0.96**		0.93**
Al กับ Cu		0.84**	0.83**
บริเวณภายนอกอาคาร	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รวมทั้งปี
PM ₁₀ กับ Al	0.72**		0.83**
PM ₁₀ กับ Fe	0.78**	0.93**	0.91**
PM ₁₀ กับ Mg		0.82**	0.80**
PM ₁₀ กับ Mn		0.94**	0.92**
Fe กับ Mg		0.91**	0.84**
Fe กับ Mn		0.79**	0.94**
Mg กับ Mn		0.91**	0.87**
Mn กับ Zn		0.91**	0.71**

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

ตารางที่ 4.16 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} กับโลหะต่างๆ ใน PM_{10} ที่พบบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน

บริเวณภายในอาคาร	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รวมทั้งปี
Cr กับ Mg		0.74**	0.80**
บริเวณภายนอกอาคาร	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	รวมทั้งปี
Fe กับ Mn	0.71**	0.94**	0.94**
Fe กับ Mg		0.73**	0.76**
Mg กับ Mn		0.76**	0.82**

หมายเหตุ ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

4.4 อัตราส่วนความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10}

อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณภายในและภายนอกอาคาร 2 พื้นที่ศึกษา คือ บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.1 อัตราส่วนความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ระหว่างบริเวณภายในและภายนอกอาคาร ในฤดูฝน (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณภายในและภายนอกอาคาร 2 พื้นที่ศึกษา คือ บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินในฤดูฝน ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.17 และ 4.18 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนที่ได้จากการนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} ระหว่างบริเวณภายในและภายนอกอาคารบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารมีมากกว่าบริเวณภายในอาคาร ดังนั้นความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารอาจส่งผลต่อความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายในได้

ส่วนอัตราส่วนความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าความเข้มข้นบริเวณภายในอาคารมากกว่าบริเวณภายนอกอาคาร ซึ่งแสดงว่าความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารมีน้อยกว่าในอาคาร เนื่องจากพื้นที่การตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างอยู่ในความสูงคนละระดับ เครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณภายในอาคารจะตั้งเครื่องที่ชั้น 2 และ 3 ของมุกติกบริเวณ

ภายในอาคาร ส่วนเครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณภายนอกอาคารจะตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างบริเวณหน้าเสา
 ธงซึ่งเป็นระดับต่ำกว่าตึกที่เก็บตัวอย่างภายในอาคาร ดังนั้นฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิดบริเวณ
 ใกล้เคียงถูกพัดพามาโดยลมอาจเข้าสู่ภายในอาคารซึ่งมีระดับสูงและนำโลหะมาด้วยและอาจมีผล
 เนื่องมาจากผนังห้องทาด้วยสี ซึ่งมีการใช้งานมานานทำให้สีหลุดลอก รวมทั้งจากการสังเกตุ
 ภายในห้องเรียนมีการสวมใส่รองเท้าภายในอาคารก่อให้เกิดฝุ่นดินจำนวนมากภายในอาคารและ
 พื้นที่ภายในอาคารขาดการระบายอากาศที่ดีจึงทำให้พบโลหะบริเวณภายในอาคารมากกว่าภายนอก
 อาคาร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของปิยนุช (2556) ที่พบว่าการเจาะผนังคอนกรีต และการสวมใส่
 รองเท้าภายในอาคารก่อให้เกิดฝุ่นในปริมาณมาก จากการศึกษาในครั้งนี้และการศึกษาของปิยนุช
 (2556) แสดงให้เห็นว่ากิจกรรมต่างๆ เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดฝุ่นละอองภายในอาคาร



ตารางที่ 4.17 อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณโรงเรียนวัดเจดีย์งาม ในฤดูฝน
(หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

	PM ₁₀ (I)/PM ₁₀ (O)	Al(I)/Al(O)	Cr(I)/Cr(O)	Cu(I)/Cu(O)	Fe(I)/Fe(O)	Mg(I)/Mg(O)	Mn(I)/Mn(O)	Ni(I)/Ni(O)	Pb(I)/Pb(O)	Zn(I)/Zn(O)
	0.00 25.59	0.641 0.162	0.043 0.005	0.033 0.027	1.929 0.277	1.646 0.290	0.069 0.009	0.661 0.005	0.000 0.031	2.558 0.030
	76.45 26.67	0.000 0.170	0.000 0.004	0.000 0.021	0.000 0.267	0.000 2.267	0.000 0.008	0.000 0.005	0.000 0.070	0.000 0.023
	20.27 40.75	0.000 0.249	0.000 0.003	0.000 0.016	0.000 0.300	0.000 0.915	0.000 0.012	0.000 0.012	0.000 0.053	0.000 0.053
	16.46 46.85	0.433 0.354	0.068 0.004	0.063 0.013	1.254 0.295	1.228 0.471	0.052 0.010	0.468 0.010	0.568 0.065	1.116 0.045
	43.64 40.33	0.462 0.185	0.047 0.004	0.016 0.018	0.993 0.280	3.117 0.360	0.084 0.008	0.153 0.016	0.000 0.034	6.943 0.066
	46.18 34.17	0.299 0.168	0.021 0.002	0.000 0.015	0.762 0.276	0.824 0.402	0.036 0.010	0.167 0.009	0.000 0.040	1.080 0.066
	34.79 41.77	0.196 0.441	0.051 0.003	0.000 0.008	0.870 0.362	0.901 0.323	0.026 0.012	0.122 0.027	0.000 0.057	1.424 0.120
ค่าเฉลี่ย	33.97 36.59	0.290 0.247	0.033 0.004	0.016 0.017	0.830 0.294	1.102 0.432	0.038 0.010	0.224 0.012	0.081 0.050	1.874 0.057
SD	24.82 8.05	0.242 0.110	0.026 0.001	0.024 0.006	0.683 0.032	1.074 0.224	0.032 0.002	0.248 0.008	0.215 0.015	2.401 0.032
I/O	0.93	1.174	9.091	0.950	2.823	2.550	3.898	18.665	1.629	32.616

โลหะที่ตรวจไม่พบ ได้แก่ As Cd Co Hg Sb และ V

หมายเหตุ (I) หมายถึง บริเวณภายในอาคาร

(O) หมายถึง บริเวณภายนอกอาคาร

ตารางที่ 4.18 อัตราส่วนความเข้มข้นของ PM₁₀ และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูฝน (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

	PM ₁₀ (I)/PM ₁₀ (O)		Al(I)/Al(O)		Cr(I)/Cr(O)		Cu(I)/Cu(O)		Fe(I)/Fe(O)		Mg(I)/Mg(O)		Mn(I)/Mn(O)		Ni(I)/Ni(O)		Zn(I)/Zn(O)	
	14.97	12.68	0.713	0.100	0.051	0.003	0.000	0.008	1.120	0.148	1.526	0.098	0.025	0.004	0.102	0.011	0.458	0.017
	0.00	12.93	0.000	0.353	0.000	0.001	0.000	0.006	0.000	0.129	0.000	0.123	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.018
	0.00	45.27	0.522	0.102	0.000	0.002	0.000	0.019	0.939	0.144	1.042	0.115	0.011	0.004	0.000	0.007	0.749	0.016
	3.93	25.06	0.367	0.154	0.037	0.002	0.037	0.023	0.892	0.165	0.892	0.103	0.042	0.003	0.116	0.092	0.614	0.036
	22.49	18.22	1.263	0.067	0.042	0.001	0.021	0.004	0.996	0.119	0.841	0.073	0.021	0.004	0.073	0.044	0.619	0.026
	28.33	24.09	0.839	0.070	0.037	0.018	0.031	0.010	1.158	0.107	0.736	0.071	0.026	0.003	0.096	0.009	1.496	0.030
	18.31	21.96	0.360	0.079	0.046	0.002	0.000	0.027	0.978	0.095	0.670	0.071	0.021	0.003	0.066	0.000	1.301	0.035
ค่าเฉลี่ย	12.58	22.89	0.581	0.132	0.030	0.004	0.013	0.014	0.869	0.130	0.815	0.093	0.021	0.004	0.065	0.023	0.748	0.025
SD	11.37	11.05	0.405	0.102	0.021	0.006	0.016	0.009	0.395	0.025	0.457	0.022	0.013	0.001	0.047	0.034	0.507	0.008
I/O	0.55		4.400		6.877		0.914		6.697		8.725		5.771		2.766		29.488	

โลหะที่ตรวจไม่พบ ได้แก่ As Cd Co Hg Pb Sb และ V

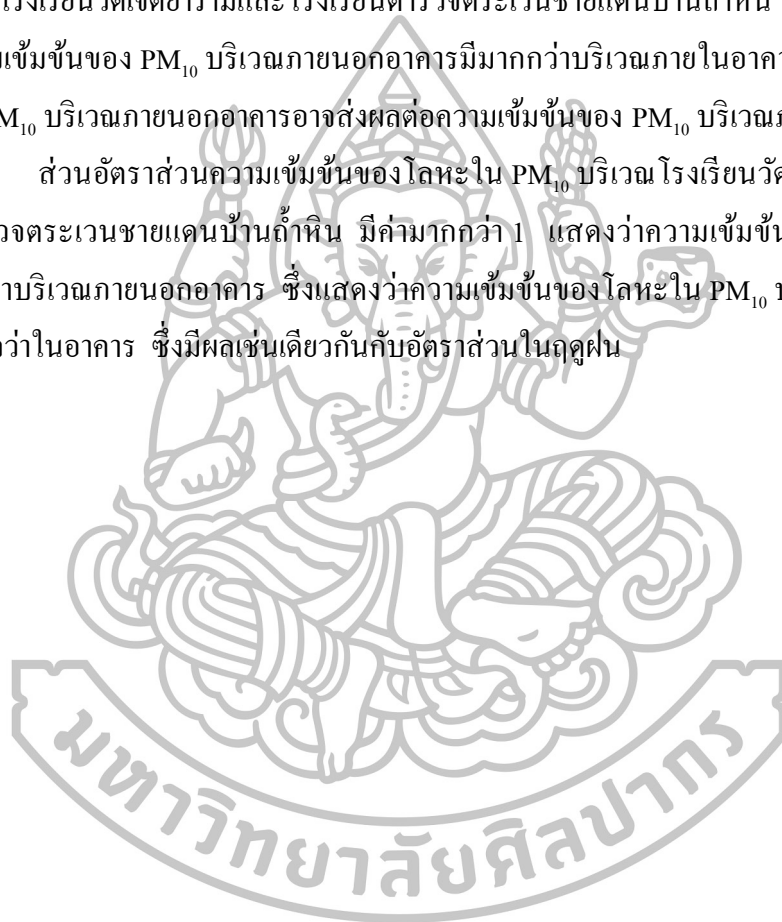
หมายเหตุ (I) หมายถึง บริเวณภายในอาคาร

(O) หมายถึง บริเวณภายนอกอาคาร

4.4.2 อัตราส่วนความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ระหว่างบริเวณภายในและภายนอกอาคาร ในฤดูแล้ง (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณภายในและภายนอกอาคารในฤดูแล้ง 2 พื้นที่ศึกษา แสดงดังตารางที่ 4.19 และ 4.20 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าอัตราส่วนที่ได้จากการนำค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} ระหว่างบริเวณภายในและภายนอกอาคารบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารมีมากกว่าบริเวณภายในอาคาร ดังนั้นความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารอาจส่งผลกระทบต่อความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายในได้

ส่วนอัตราส่วนความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าความเข้มข้นบริเวณภายในอาคารมากกว่าบริเวณภายนอกอาคาร ซึ่งแสดงว่าความเข้มข้นของโลหะใน PM_{10} บริเวณภายนอกอาคารมีน้อยกว่าในอาคาร ซึ่งมีผลเช่นเดียวกันกับอัตราส่วนในฤดูฝน



ตารางที่ 4.19 อัตราส่วนความเข้มข้นของ PM₁₀ และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูแล้ง
(หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

	PM ₁₀ (I)/PM ₁₀ (O)	Al(I)/Al(O)	Cr(I)/Cr(O)	Cu(I)/Cu(O)	Fe(I)/Fe(O)	Mg(I)/Mg(O)	Mn(I)/Mn(O)	Ni(I)/Ni(O)	Zn(I)/Zn(O)
	69.85 103.90	3.247 0.184	0.072 0.004	0.129 0.041	7.108 0.713	0.463 0.863	0.124 0.030	0.263 0.019	0.768 0.079
	48.24 104.86	1.173 0.193	0.000 0.004	0.000 0.037	1.744 0.759	0.753 0.782	0.034 0.028	0.107 0.008	0.706 0.079
	47.46 107.99	0.853 0.210	0.000 0.004	0.000 0.047	1.254 0.765	0.850 1.017	0.304 0.027	0.155 0.016	0.725 0.076
	0.00 92.61	1.253 .147	0.000 0.003	0.000 0.082	1.553 0.588	0.600 0.642	0.000 0.021	0.160 0.008	0.542 0.071
	49.74 153.31	1.115 0.285	0.031 0.005	0.031 0.051	10.111 0.938	1.161 1.487	0.112 0.037	0.719 0.004	1.201 0.137
	80.80 136.48	0.909 0.205	0.142 0.003	0.054 0.066	4.638 0.755	0.923 0.316	0.126 0.028	0.156 0.023	0.596 0.086
	37.03 93.52	0.708 0.196	0.000 0.003	0.000 0.084	0.939 0.611	0.699 0.823	0.000 0.025	0.119 0.007	0.403 0.090
	33.87 60.12	0.879 0.196	0.000 0.003	0.000 0.084	1.125 0.381	0.923 0.316	0.000 0.014	0.156 0.006	0.667 0.041
ค่าเฉลี่ย	45.87 106.60	1.267 0.193	0.031 0.004	0.027 0.062	3.559 0.689	0.795 0.832	0.087 0.026	0.229 0.011	0.701 0.082
SD	24.33 28.32	0.821 0.047	0.052 0.001	0.046 0.020	3.425 0.164	0.215 0.334	0.104 0.007	0.203 0.007	0.233 0.027
I/O	0.43	6.556	8.462	0.435	5.168	0.955	3.337	20.086	8.502

โลหะที่ตรวจไม่พบ ได้แก่ As Cd Co Hg Pb Sb และ V

หมายเหตุ (I) หมายถึง บริเวณภายในอาคาร

(O) หมายถึง บริเวณภายนอกอาคาร

ตารางที่ 4.20 อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของ PM₁₀ และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ ที่พบบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูแล้ง (หน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

	PM ₁₀ (I)/PM ₁₀ (O)		Al(I)/Al(O)		Cr(I)/Cr(O)		Cu(I)/Cu(O)		Fe(I)/Fe(O)		Mg(I)/Mg(O)		Mn(I)/Mn(O)		Ni(I)/Ni(O)		Zn(I)/Zn(O)	
	20.32	78.65	2.092	0.101	0.070	0.006	0.104	0.010	1.741	0.505	0.945	0.138	0.114	0.018	0.516	0.020	0.900	0.069
	5.33	47.46	1.717	0.074	0.030	0.004	0.106	0.011	2.622	0.350	0.808	0.123	0.452	0.014	0.574	0.003	0.813	0.064
	31.86	87.91	0.959	0.182	0.000	0.004	0.031	0.010	1.576	0.784	0.761	0.215	0.000	0.027	0.466	0.007	0.778	0.092
	27.09	67.65	1.561	0.098	0.000	0.004	0.046	0.007	1.730	0.448	0.657	0.201	0.000	0.016	2.031	0.005	0.584	0.067
	42.87	62.12	4.337	0.124	0.030	0.003	0.000	0.018	2.796	0.558	0.845	0.209	0.095	0.020	0.124	0.014	0.829	0.068
	30.24	65.87	1.062	0.117	0.040	0.002	0.081	0.009	1.213	0.419	1.315	0.151	0.076	0.015	2.293	0.030	0.485	0.081
	47.78	67.07	0.859	0.272	0.000	0.002	0.030	0.007	4.131	0.880	0.857	0.180	0.136	0.024	0.317	0.040	0.641	0.049
	13.14	36.94	0.862	0.176	0.036	0.001	0.030	0.004	8.222	0.537	0.812	0.132	0.132	0.018	0.381	0.341	0.979	0.042
ค่าเฉลี่ย	27.33	64.21	1.681	0.143	0.026	0.003	0.054	0.010	3.004	0.560	0.875	0.169	0.126	0.019	0.838	0.058	0.751	0.066
SD	14.26	16.13	1.164	0.064	0.025	0.002	0.039	0.004	2.304	0.182	0.196	0.037	0.142	0.005	0.832	0.115	0.167	0.016
I/O	0.43		11.764		7.716		5.564		5.362		5.183		6.678		14.557		11.327	

โลหะที่ตรวจไม่พบ ได้แก่ As Cd Co Hg Pb Sb และ V

หมายเหตุ (I) หมายถึง บริเวณภายในอาคาร

(O) หมายถึง บริเวณภายนอกอาคาร

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของ PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณจังหวัดราชบุรี โดยทำการเก็บตัวอย่าง 2 จุด คือ ฤดูฝนและฤดูแล้ง ในพื้นที่บริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง ซึ่งเป็นพื้นที่ชุมชน (Urban area) และบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง ซึ่งเป็นพื้นที่ชนบท (Rural area) การเก็บตัวอย่าง PM_{10} ใช้เวลา 24 ชั่วโมง ทั้งบริเวณภายในและภายนอกอาคาร ซึ่งให้ผลสรุปการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาความเข้มข้นของ PM_{10}

ผลการศึกษาความเข้มข้นของ PM_{10} บริเวณภายในอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม พบความเข้มข้นที่สูงที่สุด คือ 76.45 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นที่สูงที่สุด คือ 28.51 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยโรงเรียนวัดเจติยารามมีตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐานร้อยละ 22.22 ในฤดูฝน ส่วนในฤดูแล้งพบว่าภายในอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม พบความเข้มข้นที่สูงที่สุด คือ 80.80 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นที่สูงที่สุด คือ 47.78 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยโรงเรียนวัดเจติยารามมีตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐานร้อยละ 30.00 และตัวอย่างเกินค่ามาตรฐานรวมทั้งปีร้อยละ 22.72 ส่วนบริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม พบความเข้มข้นที่สูงที่สุด คือ 46.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นที่สูงที่สุด คือ 45.27 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งทั้งสองพื้นที่ในฤดูฝนมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานทุกครั้งของการเก็บตัวอย่าง ส่วนในฤดูแล้ง พบว่าบริเวณภายนอกอาคารโรงเรียนวัดเจติยาราม พบความเข้มข้นที่สูงที่สุด คือ 153.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบความเข้มข้นที่สูงที่สุด คือ 87.91 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยโรงเรียนวัดเจติยารามมีตัวอย่างที่เกินค่ามาตรฐานร้อยละ 13.33 และตัวอย่างเกินค่ามาตรฐานรวมทั้งปีร้อยละ 6.89 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย PM_{10} ระหว่างภายในกับภายนอกอาคารของโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ด้วยสถิติ T-Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่าทั้งสองพื้นที่ในฤดูฝนไม่แตกต่างกันแต่ในฤดูแล้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5.1.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀

ผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ บริเวณภายในและภายนอกอาคาร โรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูฝน พบร้อยละความเข้มข้นสูงสุด 4 ลำดับแรก ได้แก่ Fe Zn Mg และ Al ซึ่งชนิดของโลหะบริเวณภายในและภายนอกอาคารที่พบเป็นชนิดเดียวกันแต่มีร้อยละความเข้มข้นที่แตกต่างกัน โลหะที่พบส่วนมากเป็นองค์ประกอบหลักในดิน สำหรับฤดูแล้งบริเวณภายในอาคารและนอกอาคารโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบร้อยละความเข้มข้นสูงสุด 4 ลำดับแรก ได้แก่ Fe Al Mg และ Zn ซึ่งชนิดของโลหะบริเวณภายในและภายนอกอาคารที่พบเป็นชนิดเดียวกันแต่มีร้อยละความเข้มข้นที่แตกต่างกันเช่นเดียวกับฤดูฝน

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโลหะใน PM₁₀ ระหว่างโรงเรียนวัดเจติยารามกับโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบว่าบริเวณภายในอาคารโรงเรียนวัดเจติยารามในฤดูฝน มีความเข้มข้นของ Zn สูงที่สุด เนื่องจาก Zn มีแหล่งที่มาจากโรงงานปูนซีเมนต์ (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006) ซึ่งพื้นที่โรงเรียนตั้งอยู่ใกล้กับโรงงานดังกล่าว ส่วนในฤดูแล้งพบ Fe มีค่าสูงที่สุด เนื่องจากฤดูแล้งมีลมค่อนข้างแรงทำให้ฝุ่นจากดินมีการฟุ้งกระจายมากทำให้ตรวจพบ Fe มีค่าสูง ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง มีความเข้มข้นของ Fe สูงที่สุด เนื่องจาก Fe เป็นองค์ประกอบหลักในดิน และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโลหะใน PM₁₀ ระหว่างโรงเรียนวัดเจติยารามกับโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินบริเวณภายนอกอาคาร พบว่าโรงเรียนวัดเจติยารามทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง มีความเข้มข้นของ Mg สูงที่สุด เนื่องจาก Mg เป็นองค์ประกอบหลักในดิน ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินในฤดูฝนพบ Zn มีความเข้มข้นสูงสุด เนื่องจากบริเวณโรงเรียนมีการขุดดินจากบริเวณเหมืองที่ปิดตัวลงในบริเวณใกล้เคียงมาถมที่ ส่วนในฤดูแล้งพบ Fe มีค่าสูงที่สุด เนื่องจาก Fe เป็นองค์ประกอบหลักในดิน และพบว่าบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามพบโลหะหลากหลายชนิดกว่าโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน เนื่องจากมีแหล่งกำเนิดโลหะจากหลายแหล่งเพราะตำแหน่งที่ตั้งของโรงเรียนตั้งอยู่ในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม ส่วนโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินจะพบโลหะน้อยชนิดกว่าและพบโลหะที่ไม่ใช่องค์ประกอบหลักของดิน เนื่องจากมีการขุดดินจากบริเวณเหมืองที่ปิดตัวลงในบริเวณใกล้เคียงมาถมที่จึงทำให้พบโลหะเหล่านี้และบริเวณภายในอาคารของทั้งสองพื้นที่ยังพบความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM₁₀ สูงกว่าบริเวณภายนอกอาคารอีกด้วย

5.1.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์

จากการพิจารณาลักษณะความสัมพันธ์จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson's correlation coefficients) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของ PM_{10} กับความเข้มข้นของโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} และความเข้มข้นของโลหะกับโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินบริเวณภายในและภายนอกอาคาร พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะหลายๆ ชนิดมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการมีแหล่งกำเนิดร่วมกัน เช่น Fe กับ Mn, Fe กับ Mg, Mg กับ Mn, Mn กับ Zn, PM_{10} กับ Fe, PM_{10} กับ Mn, Al กับ Fe, Al กับ Mg, Al กับ Mn และ Mg กับ Zn ทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง

5.1.4 ผลอัตราส่วนภายในต่อภายนอก (I/O ratio)

ผลการพิจารณาอัตราส่วนความเข้มข้นของ PM_{10} และโลหะชนิดต่างๆ ใน PM_{10} ระหว่างภายในต่อภายนอกอาคาร บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน พบว่าความเข้มข้นของ PM_{10} มีค่า I/O ratio น้อยกว่า 1 ซึ่งหมายถึงแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองภายนอกอาคารมีอิทธิพลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง ส่วนความเข้มข้นของโลหะทุกชนิดใน PM_{10} มีค่า I/O ratio มากกว่า 1 แสดงว่าแหล่งกำเนิดของโลหะในฝุ่นละอองภายในอาคารมีอิทธิพลต่อคุณภาพอากาศภายในอาคารมากกว่าแหล่งกำเนิดภายนอกอาคาร ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างภายในและภายนอกคนละระดับกันและรวมถึงผนังห้องของโรงเรียนทาด้วยสี ซึ่งมีการใช้งานมานานทำให้สีหลุดลอก รวมทั้งมีการสวมรองเท้าภายในห้องเรียนจึงทำให้เกิดฝุ่นจำนวนมาก นอกจากนี้ภายในอาคารขาดการระบายอากาศที่ดีอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) รวมทั้งโลหะใน $PM_{2.5}$ ด้วย เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดเล็กสามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนล่างของมนุษย์ได้

5.2.2 ควรมีการศึกษาองค์ประกอบของ PM_{10} จากแหล่งกำเนิดโดยรอบพื้นที่ที่ทำการศึกษ เพื่อศึกษาอิทธิพลของแหล่งกำเนิดต่างๆ ต่อ PM_{10} ณ จุดเก็บตัวอย่าง

รายการอ้างอิง

- กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2551). แหล่งทรัพยากรใน
จังหวัดราชบุรี. กรมทรัพยากรธรณีกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม,
กรุงเทพฯ.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2558). ฝ่ายข้อมูลคุณภาพอากาศ สำนักงานคุณภาพอากาศและเสียง.
กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2558. ข้อมูลโรงงานจังหวัดราชบุรี. สืบค้นวันที่ 25 กันยายน, จาก
<http://userdb.diw.go.th/results1.asp?pageno=1&provname=%C3%D2%AA%BA%D8%C3%D5>.
- การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2558). แผนที่จังหวัดราชบุรี. สืบค้นวันที่ 18 กุมภาพันธ์, จาก
<http://123.242.157.9/document/fpdf-3112553-96.pdf>.
- จุฑารัตน์ จิโน. 2556. **Antimony**. สืบค้นวันที่ 24 เมษายน, จาก
http://www.summacheeva.org/index_thaitox_antimony.htm.
- ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. (2558). **Magnesium**. สืบค้นวันที่ 22 ธันวาคม, จาก
<https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/topic2/Mg.html>.
- จิตติยา แซ่ปึง. (2551). พิษวิทยาสังแวดล้อม. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- ชนพัฒน์ แซ่สวัสดิ์. (2548). ผลกระทบต่อสุขภาพของฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 และ
10 ไมครอนภายในห้องตรวจนับเงิน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธิดารัตน์ แก้วประสงศ์. (2550). อิทธิพลของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณการจราจร
ต่อความเข้มข้นของสารกรดในบรรยากาศ บริเวณการจราจรหนาแน่น. วิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธีรพงศ์ เทินเกษม. (2546). การกำจัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ผงไททาเนียมได
ออกไซด์ในกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- นัทธีรา สรรพณี. (2551). โลหะหนักในแหล่งน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. บริษัทจรัสณีทางศาสตร์พิมพ์ จำกัด,
กรุงเทพฯ.
- ปิยนุช ชัยพฤกษิตานนท์. (2556). การประเมินการได้รับสัมผัสฝุ่นละอองของบุคลากรและนักศึกษา
ในวิทยาลัยการอาชีพพนมทวน จังหวัดกาญจนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- พัชรีย์ ชูติมาสกุล. (2543). การศึกษาเปรียบเทียบปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นละอองในบรรยากาศระหว่างภายในและนอกอาคารเรียนของโรงเรียนในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมย่อยหินจังหวัดสระบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- เพ็ญสุภา ศรีพรหมทอง. (2553). ผลของสารหนุต่อความเป็นพิษต่อสายพันธุ์กรรมและความเป็นพิษต่อเซลล์เชื้อในหอยแมลงภู่ (*Pernaviridis*). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ยศกิต เรืองทวีป. (2552). การศึกษาปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากโรงโม่หินที่มีต่อสุขภาพของเด็กนักเรียน กรณีศึกษาโรงเรียนใน ตำบลทุ่งหลวง อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- ลักขณา อินทร์กลับ. (2543). โภชนศาสตร์เชิงชีวเคมี วิตามิน แกลือแร่ น้ำ และใยอาหาร. มีเดียการพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. (2555). Vanadium. มูลนิธิสัมมาอาชีพะ. สืบค้นวันที่ 22 ธันวาคม, จาก http://www.summacheeva.org/index_thaitox_aluminium.htm.
- วนิดา ทรัพย์สุข. (2543). ผลของฝุ่นขนาดเล็กและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ภายในที่พักอาศัยต่อสุขภาพของแม่บ้านและเด็กในกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรารุช เสือดี. (2546). การศึกษามลภาวะทางอากาศในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต. สถาบันไทยคดีศึกษา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ประทุมธานี.
- วาสนา พิภพประไพ. (2549). รายงานการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและโครเมียมในดินบ่อเลี้ยงกุ้ง อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม โดยใช้อะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตเมทรี. โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม.
- สัญญา กิรติวาที. (2543). สภาวะฝุ่นละอองจากสิ่งแวดล้อมในโรงเรียนในเขตเทศบาลนครขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สุทิสรา สว่างใจ. (2549). รายงานการวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว แคดเมียมและโครเมียมในสัผสมอาหารโดยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์. โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม.
- สุชาลีณี ไหมทอง. (2553). การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของโลหะหนักในอาคารในสำนักงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- สุปรียา คำฟู. (2553). การเปรียบเทียบสมบัติของวัสดุผสมระหว่างอนุภาคขนาดนาโนของซิลิกอนคาร์ไบด์และผงโลหะอะลูมิเนียม. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.
- สำนักงานจังหวัดราชบุรี. (2554). ข้อมูลจังหวัดราชบุรี. สำนักงานจังหวัดราชบุรี, ราชบุรี.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8. (2557). รายงานสถานการณ์สิ่งแวดล้อมภาคตะวันตก พ.ศ. 2550. สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 8, ราชบุรี.
- ศิวพันธุ์ ชูอินทร์. (2556). มลพิษทางอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ศรียรัตน์ ล้อมพงษ์, เฉลิมชัย ชัยกิตติภรณ์ และถิรณัฐ ภิรมณ์. (2545). ผลกระทบของปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่มีผลต่อสุขภาพนักเรียนในโรงเรียนที่อยู่ใกล้โรงงานโม่หินในเขตภาคตะวันออก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). (2547). ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสารปนเปื้อนอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. จัดพิมพ์โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- อภิชาติ อางนาเสียว. (2543). การชุบเคลือบผิวโลหะผสมสังกะสี-โคบอลต์ด้วยไฟฟ้าเพื่อสมบัติด้านความต้านทานการกัดกร่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อภิชาติ เมืองเดช. (2545). รายงานการวิจัยเรื่อง การแพร่กระจายและการสะสมโลหะหนักบริเวณชุมชนชายฝั่งแม่น้ำบางปะกง. โปรแกรมวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสถาบันราชภัฏราชนครินทร์, จังหวัดฉะเชิงเทรา.
- Al-Khashman O.A. and Shawabkeh R.A. (2006), Metals distribution in soils around the cement factory in southern. **Environmental Pollution** 140: 387-394
- ASTM. 2006. Section eleven water and environmental technology. **Annual book of ASTM Standards**. V11.03 D 4185-83.
- Campa A.M., Rosa J.D., Fernandez-Caliani J.C. and Gonzalez-Castanedo Y. (2011). Impact of abandoned mine waste on atmospheric respirable particulate matter in the historic mining district of Rio Tinto (Iberian Pyrite Belt). **Environmental Research** 111: 1018-1023
- Celis J.E., Molrales J.R., Zaron C. A. and Inzanza J. C. (2004). A study of the particulate matter PM₁₀ composition in the atmosphere of chillan, Chile. **Chemosphere** 54: 541-550.

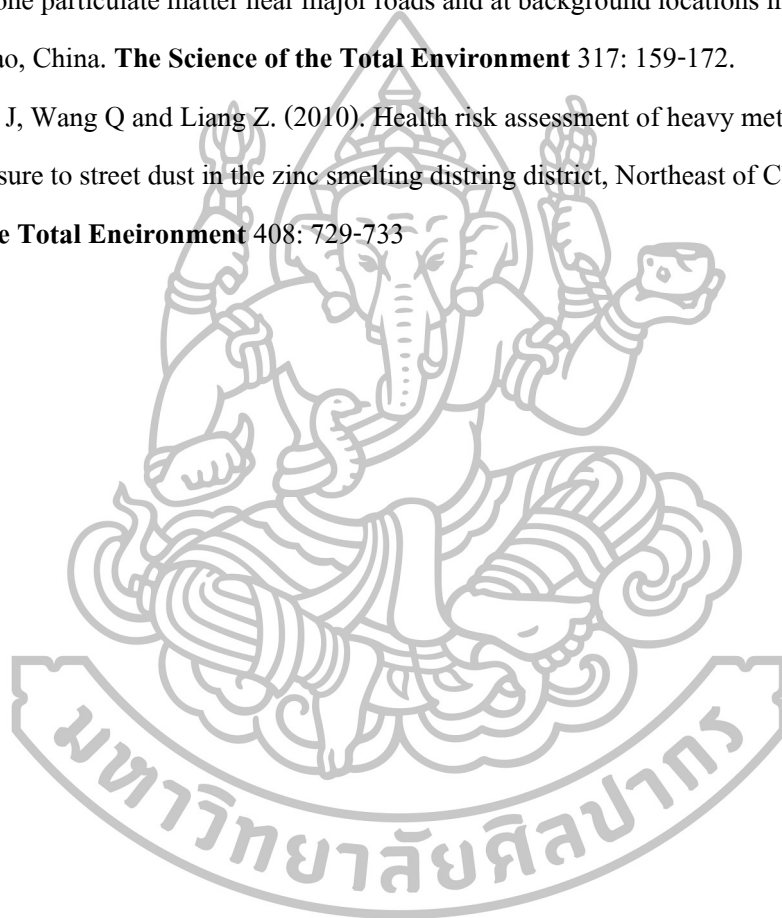
- Chen C and Zhao B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor, **Atmospheric Environment**, 45: 275-288
- Garivait H. (1999). A study on air pollution by airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Bangkok urban atmosphere, doctoral dissertation, Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand.
- Google แผนที่. (2558). โรงเรียนวัดเจติยาราม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี. Available from <https://www.google.co.th/maps/place/@13.5431643,99.7958028,1071m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x30e325f122c72a7d:0x68c97f261a10f392!8m2!3d13.5431643!4d99.7979915>
- _____. (2558). โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี. Available from <https://www.google.co.th/maps/place/@13.6226722,99.2914623,1070m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x30e35bc2402bce21:0x2622dd1460d85909!8m2!3d13.622667!4d99.293651>
- Ho K. F., Lee S. C., Chan C. K., Yu J. C., Chow J. C. and Yao X. H. (2003) Characterization of chemical species in PM_{2.5} and PM₁₀ aerosols in Hong Kong. **Atmospheric Environment** 37: 31-39
- Kong S., Lu B., Ji Y., Zhao X., Chen L., Li Z., Han B and Bai Z. (2011). Levels, risk assessment and sources of PM₁₀ fraction heavy metals in four types dust from a coal-based city. **Microchemical Journal** 98: 280-290
- Morales J. A., Hermoso J. and Sanhueza E. (1990). Trace element in the Venezuelan savannah atmosphere during dry and wet period, without vegetation burning. **Atmospheric Environment** 24: 407-414.
- Olujimia O., Oliver S and Walter G. (2014). Pollution indexing and health risk assessments of trace elements in indoor dusts from classrooms, living rooms and offices in Ogun State, Nigeria. **Journal of African Earth Sciences** 101: 396-404
- SKC Ltd. (2011). **The SKC global catalog and sampling guide**. P. 76.
- Soriano A., Pallares S., Pardo F., Vicente A.B., Sanfeliu and Bech J. (2012). Deposition of

Heavymetals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area. **Journal of Geochemical Exploration** 113: 36-44.

Wark K., Warner C.F. and Davis W.T. (1998). **Air pollution, its origin and control**. 3rd ed. New York: Addison-Wesley.

Wu Y., Hao J., Fu L., Hu J., Wang Z. and Tang U. (2003). Chemical characteristics of Airborne particulate matter near major roads and at background locations in Macao, China. **The Science of the Total Environment** 317: 159-172.

Zheng N, Liu J, Wang Q and Liang Z. (2010). Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China. **Science of the Total Environment** 408: 729-733







ตารางที่ ก. 3 ความเข้มข้นของโลหะใน PM₁₀ ที่พบในพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยาราม ในฤดูแล้ง (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ชนิดโลหะ	ในอาคาร				นอกอาคาร			
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Al	1.1935	0.7398	0.6646	3.2467	0.1644	0.0545	0.0586	0.2846
As	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0016	0.0016	0.0000	0.0052
Cd	0.0074	0.0175	0.0000	0.0542	0.0010	0.0009	0.0000	0.0023
Co	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr	0.0310	0.0460	0.0000	0.1416	0.0030	0.0010	0.0011	0.0046
Cu	0.0254	0.0394	0.0000	0.1288	0.0605	0.0243	0.0223	0.1087
Fe	2.9933	3.0264	0.9394	10.1113	0.5535	0.2043	0.2226	0.9376
Hg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mg	0.8030	0.1993	0.4635	1.1612	0.6752	0.3135	0.2695	1.4874
Mn	0.0636	0.0964	0.0000	0.3042	0.0207	0.0082	0.0095	0.0374
Ni	0.2285	0.1901	0.1020	0.7193	0.0199	0.0158	0.0039	0.0630
Pb	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0364	0.0482	0.0040	0.1969
Sb	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Zn	0.7214	0.2000	0.4028	1.2008	0.0665	0.0280	0.0303	0.1367
V	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ ก. 4 ความเข้มข้นของโลหะใน PM₁₀ ที่พบในพื้นที่โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ในฤดูแล้ง (ไม่โครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ชนิด โลหะ	ในอาคาร				นอกอาคาร			
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Al	1.6409	1.0769	0.8044	4.3365	0.1312	0.0519	0.0741	0.2717
As	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0015	0.0000	0.0039
Cd	0.0032	0.0105	0.0000	0.0347	0.0010	0.0011	0.0000	0.0031
Co	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr	0.0247	0.0268	0.0000	0.0696	0.0025	0.0016	0.0007	0.0061
Cu	0.0463	0.0406	0.0000	0.1060	0.0106	0.0039	0.0042	0.0179
Fe	2.6644	2.0253	1.2132	8.2221	0.4433	0.1918	0.1679	0.8802
Hg	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Mg	0.8643	0.2786	0.5024	1.4130	0.1501	0.0400	0.0756	0.2146
Mn	0.1375	0.1477	0.0000	0.4524	0.0150	0.0058	0.0059	0.0269
Ni	0.6627	0.7600	0.1107	2.2928	0.0399	0.0841	0.0030	0.3407
Pb	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0087	0.0058	0.0000	0.0196
Sb	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Zn	0.7561	0.1528	0.4854	0.9791	0.0521	0.0200	0.0266	0.0915
V	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นางสาวสาวิตรี จำปาหอม
ที่อยู่	280 หมู่ 5 ตำบลหนองปรือ อำเภอนองปรือ จังหวัดกาญจนบุรี 71220
ที่ทำงาน	-
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2555	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม จังหวัดนครปฐม
พ.ศ. 2557	ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2557- ปัจจุบัน	ผู้ช่วยวิจัย ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



