



องค์ประกอบและแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในพื้นที่อุตสาหกรรม

จังหวัดราชบุรี

โดย

นายทวีชัย ลิ้มปสันติเจริญ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต

ภาควิชาภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

องค์ประกอบและแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ในพื้นที่
อุตสาหกรรม จังหวัดราชบุรี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2560
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

CHEMICAL COMPOSITION AND SOURCE CONTRIBUTION OF PM₁₀ IN AN
INDUSTRIAL AREA IN RATCHABURI PROVINCE



A Thesis Submitted in partial Fulfillment of Requirements
for Master of Science (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
Department of ENVIRONMENTAL SCIENCE
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2017
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ องค์กรประกอบและแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน
(PM₁₀) ในพื้นที่อุตสาหกรรม จังหวัดราชบุรี
โดย ทวีชัย ลิ้มปสันติเจริญ
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อันแจ่ม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

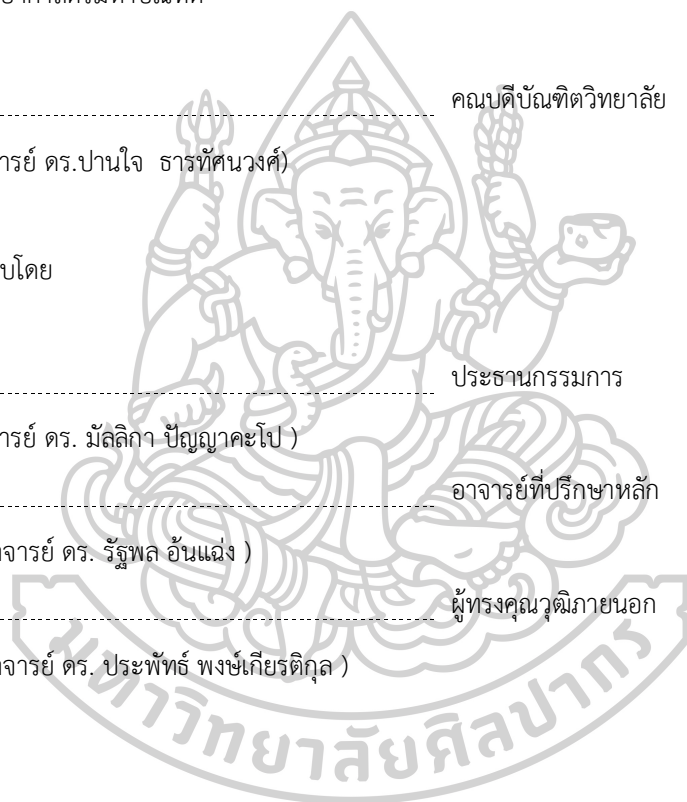
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปานใจ ธารทัศน์วงศ์)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อันแจ่ม)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล)



58311301 : วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : องค์ประกอบทางเคมี, ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน, สัดส่วนแหล่งกำเนิด, แบบจำลองสมมูลมวลเคมี (CMB), แบบจำลองการแพร่กระจายคุณภาพอากาศ AERMOD, จังหวัดราชบุรี

นาย ทวีชัย ลิ้มปสันติเจริญ: องค์ประกอบและแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ในพื้นที่อุตสาหกรรม จังหวัดราชบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อันแจ้ง

การศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) และประเมินแหล่งที่มาของฝุ่น ในพื้นที่ชุมชนใกล้กับโรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่ศึกษาแบ่งเป็น 2 บริเวณ คือ พื้นที่ในและนอกเขตอุตสาหกรรมซึ่งได้แก่ พื้นที่ในเขต อ.เมือง และ อ.สวนผึ้ง จ.ราชบุรี ตามลำดับ โดยในเขตอุตสาหกรรมได้เก็บตัวอย่างฝุ่นจากแหล่งกำเนิดในบรรยากาศ ส่วนนอกเขตอุตสาหกรรมเก็บเฉพาะในบรรยากาศ ครอบคลุมทั้งในช่วงฤดูแล้งและฤดูฝนในระหว่างปีพ.ศ. 2557-2558 ตัวอย่างฝุ่นได้นำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะ ไอออนที่ละลายน้ำและคาร์บอน จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ความแตกต่างและความสัมพันธ์เชิงปริมาณ ส่วนการประเมินแหล่งที่มาของฝุ่นในเขตอุตสาหกรรมได้วิเคราะห์ด้วยแบบจำลองสมมูลมวลเคมี (CMB) ร่วมกับการประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นและคำนวณสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นด้วยแบบจำลองการแพร่กระจายคุณภาพอากาศ AERMOD ผลการศึกษาพบว่าในเขตอุตสาหกรรมพบ PM₁₀ ในบรรยากาศเฉลี่ยเท่ากับ 56.62±36.15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งสูงกว่านอกเขตอุตสาหกรรม ที่มีค่าเฉลี่ย 36.81±23.07 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (α = 0.05) จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นในบรรยากาศในเขตอุตสาหกรรมพบความเข้มข้นของโลหะตามลำดับ ดังนี้ Fe > Zn > Mg > Al > Ni > Mn > Cr > Pb > Cu > Cd > As > Co ซึ่งพบว่าโลหะในบรรยากาศมีความหลากหลายมากกว่านอกเขตอุตสาหกรรม ในกลุ่มไอออนพบความเข้มข้นในบรรยากาศตามลำดับดังนี้ NO₃⁻ > SO₄²⁻ > Ca²⁺ > K⁺ > NH₄⁺ > Na⁺ > Cl⁻ > Mg²⁺ ในส่วนขององค์ประกอบคาร์บอนพบว่าในเขตอุตสาหกรรมมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากกว่านอกเขตอุตสาหกรรม และจากการประเมินแหล่งที่มาของฝุ่นในพื้นที่อุตสาหกรรมโดยใช้แบบจำลอง CMB พบว่า สัดส่วนของแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดฝุ่น ฝุ่นรับมาจากฝุ่นจากการเผาฟางข้าว มีสัดส่วนมากที่สุด (ร้อยละ 23.04) รองลงมา ได้แก่ โรงงานปูนขาว (ร้อยละ 6.34) โรงงานอิฐมอญ (ร้อยละ 6.31) ฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์ (ร้อยละ 5.44) โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป (ร้อยละ 5.11) ฝุ่นถนน (ร้อยละ 4.29) ฝุ่นจากการสร้างสะพาน (ร้อยละ 3.03) และโรงงานเครื่องปั้นดินเผา (ร้อยละ 2.14) ตามลำดับ ส่วนผลการประเมินแหล่งที่มาของฝุ่นด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD พบว่า ฝุ่นถนนมีสัดส่วนมากที่สุด (ร้อยละ 52.89) รองลงมา ได้แก่ โรงงานอิฐมอญ (ร้อยละ 36.54) โรงงานปูนขาว (ร้อยละ 4.37) ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน (ร้อยละ 2.55) โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป (ร้อยละ 2.52) และโรงงานเครื่องปั้นดินเผา (ร้อยละ 1.14) ตามลำดับ ส่วนการประเมินด้วยแบบจำลองโดยเทียบกับผลการตรวจวัดพบว่าแบบจำลอง CMB และ AERMOD ให้ความแม่นยำที่ต่างกัน

58311301 : Major (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

Keyword : CHEMICAL COMPOSITION, PM₁₀, SOURCE CONTRIBUTION, CMB MODEL, AERMOD MODEL, RATCHABURI PROVINCE

MR. Taweechai LIMPASANTICHAROEN: Chemical Composition and Source Contribution of PM₁₀ in an Industrial Area in Ratchaburi Province Thesis advisor : Assistant Professor Rattapon Onchang, Ph.D.

This study aims to quantify concentration and composition of particles less than or equal to 10 micrometers in diameter (PM₁₀) and assess its source contribution in a community near to factories. Two different community areas in Ratchaburi province, - located at Muang and at Suan Phueng district-, were selected to represent near to and far from industrial area, respectively. In the near-to-industrial area (NI), Particulate Matters were sampled at both emission sources and in the atmosphere, while at far-from-industrial area (FI), atmospheric sampling was conducted only. All sampling activities covered both dry and wet seasons during year 2014-2015. Metals, soluble ions and carbons in the collected samples were analyzed. Analyses of quantitative difference and correlation were then carried out. Assessment of source contribution in NI was performed using Chemical Mass Balance (CMB) model and Dispersion Model-AERMOD. The results show that average PM₁₀ in NI was $56.62 \pm 36.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, significantly higher than that in FI ($36.81 \pm 23.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ($\alpha = 0.05$). Metal species in atmospheric PM₁₀ in NI were found in order as following; Fe > Zn > Mg > Al > Ni > Mn > Cr > Pb > Cu > Cd > As > Co. Such metals were more variety than that of FI. Ion species in PM₁₀ in NI were found in order as following $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+}$. For carbons, it found that organic carbon in NI was higher than that found in FI. Assessment of particulate matter source contribution at a receptor in NI by CMB model indicates that rice straw burning shared the highest one (23.04%), while the rest were as following; lime factory (6.34%), brick factory (6.31%), vehicles exhaust (5.44%), concrete manufacturing factory (5.11%), road dust (4.29%), construction of flyover (3.03%) and pottery factory (2.14%), respectively. For the AERMOD model application, It indicates that road dust shared the highest (52.89%), while the rest sources were as following; brick factory (36.54%), lime industry (4.37%), construction of flyover (2.55%), concrete manufacturing factory (2.52%) and pottery factory (1.14%), respectively. For the models evaluation, when compared the models results with observation, the models CMB and AERMOD showed the different accuracy.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีโดยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2560 และได้รับความเมตตาจากอาจารย์หลายๆ ท่าน ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล อันแดง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำปรึกษาและข้อแนะนำของการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการหาแนวทางแก้ไขปัญหาต่างๆ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนการตรวจรายละเอียดต่าง ๆ ในการเขียนเล่มวิทยานิพนธ์อันเป็นประโยชน์ยิ่งสำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มลลิกา ปัญญาคะโป ที่กรุณาสละเวลาเป็นประธานกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล กรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ และยังให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องการจัดเตรียมข้อมูลบางส่วนที่ได้ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ พร้อมทั้งให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 (ราชบุรี) ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศ และอำนวยความสะดวกในการติดต่อกับผู้ประกอบการในพื้นที่ และขอขอบคุณผู้ประกอบการอุตสาหกรรมในพื้นที่ทุกท่าน ผู้อำนวยการโรงเรียนวัดเจติยาราม (บัณฑิตประชาน้อยพณิช) ครูใหญ่โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน ตลอดจนคณะครูที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การดำเนินการเอกสารข้อมูล และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการดำเนินการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ข้าพเจ้า ขอกราบขอบพระคุณ ครู อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาทั้งหลายแก่ผู้วิจัย และที่สำคัญที่สุดคือคุณพ่อบังเอิญ และคุณแม่สายฝน ลิมปสันติเจริญ รวมถึงทุกคนในครอบครัวที่เป็นกำลังใจพร้อมสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันตลอดมา ขอขอบพระคุณ พี่ น้อง และเพื่อนทุกๆ คนที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ทวีชัย ลิมปสันติเจริญ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม	5
2.1 มลพิษทางอากาศ (Air pollution)	5
2.2 ระบบภาวะมลพิษทางอากาศ (Air pollution system)	5
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายมลพิษทางอากาศ	6
2.3.1 อุตุนิยมวิทยาและสภาวะอากาศ	6
2.3.1.1 ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind direction and Wind speed)	6
2.3.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)	7
2.3.1.3 ฝน (Rain)	7
2.3.1.4 ความชื้น (Humidity)	7
2.3.2 ลักษณะภูมิประเทศ	8

2.4	ฝุ่นละออง (Particulate matter).....	8
2.5	ธาตุที่มีในอนุภาคของฝุ่นละออง	10
2.6.	ผลกระทบของโลหะในฝุ่นละอองบางชนิด	11
2.6.1	ตะกั่ว (Pb).....	11
2.6.2	แคดเมียม (Cd).....	12
2.6.3	ปรอท (Hg).....	13
2.7	อุตสาหกรรมในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี	13
2.7.1	อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา	13
2.7.2	อุตสาหกรรมอิฐมอญ.....	14
2.7.3	อุตสาหกรรมปูนขาว.....	15
2.7.4	อุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูป	16
2.8	แบบจำลองสมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance Receptor Model หรือ CMB).....	17
2.8.1	ข้อกำหนดของแบบจำลองสมดุลมวลเคมี.....	19
2.8.2	ดัชนีที่ใช้อธิบายแบบจำลองสมดุลมวลเคมี.....	20
2.8.3	ขั้นตอนการดำเนินงานของแบบจำลองสมดุลมวลเคมี	22
2.9	แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD	22
2.9.1	ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD.....	23
2.9.1.1	ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET	23
2.9.1.2	ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรมย่อย AERMAP	28
2.9.1.3	ข้อมูลแหล่งกำเนิดของสารมลพิษทางอากาศ	29
2.9.2	โครงสร้างการทำงานของแบบจำลอง AERMOD	29
2.9.2.1	แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD	29
2.9.2.2	โปรแกรมย่อย AERMAP	29
2.9.2.3	โปรแกรมย่อย AERMET	30

2.10 เปรียบเทียบแบบจำลอง CMB และแบบจำลอง AERMOD ในการประเมินสัดส่วนแหล่งที่มา ของฝุ่น	32
2.11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	39
3.1 แผนการศึกษา	39
3.2 พื้นที่เก็บตัวอย่าง.....	40
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง.....	41
3.4 การตรวจวัดอนุภาคและความดันบรรยากาศ	43
3.5 การตรวจวัด อัตราการไหล ความเร็ว และอุณหภูมิของอากาศที่ระบายออกจากปล่อง	43
3.6 วิธีการเก็บตัวอย่าง	44
3.6.1 การเก็บฝุ่นที่แหล่งกำเนิด.....	44
3.6.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ	47
3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา	48
3.8 การหาความเข้มข้นของฝุ่น	49
3.9 วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะ ไอออนละลายน้ำ และคาร์บอน.....	50
3.9.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะ	50
3.9.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำ	51
3.9.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของคาร์บอน	53
3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ	53
3.10.1 การวิเคราะห์ข้อมูล	53
3.10.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างและความสัมพันธ์	53
3.11 การประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	53
3.11.1 การประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง CMB.....	54
3.11.1.1 ข้อมูลนำเข้า	54

3.11.1.2 การประมวลผล	56
3.11.1.3 การแสดงผล	56
3.11.2 การประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง AERMOD	57
3.11.2.1 การกำหนดขนาดของพื้นที่ (Domain size)	57
3.11.2.1 การเตรียมข้อมูลนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET	57
3.11.2.2 ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMAP.....	59
3.11.2.3 ข้อมูลแหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ (Source data).....	59
บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผล	62
4.1 การตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	62
4.1.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ	62
4.1.2 เปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	64
4.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะ	65
4.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำ.....	73
4.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอน	79
4.5 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ธาตุโลหะ ไอออนที่ละลายน้ำ อินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนในบรรยากาศ	83
4.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่นจากแหล่งกำเนิด.....	87
4.7 การเปรียบเทียบสัดส่วนของโลหะ ไอออนและคาร์บอนที่แหล่งกำเนิด	89
4.8 การประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยแบบจำลองสมดุลมวลเคมี (CMB).....	90
4.9 การประเมินการแพร่กระจายและสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD.....	98
4.10 การเปรียบเทียบผลการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยแบบจำลอง CMB และแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD.....	103
บทที่ 5 สรุป และข้อเสนอแนะ	106
5.1 การตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	106

5.2 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบฝุ่น.....	106
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น และองค์ประกอบฝุ่น.....	106
5.4 การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบฝุ่นจากแหล่งกำเนิด.....	107
5.5 การประเมินสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของฝุ่น.....	107
5.6 เปรียบผลการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยแบบจำลอง CMB และแบบจำลอง คุณภาพอากาศ AERMOD.....	107
5.7 ข้อเสนอแนะ.....	108
5.7.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการบริหารจัดการและกำหนดนโยบายเพื่อลดมลภาวะ	108
5.7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไปในอนาคต	109
รายการอ้างอิง.....	110
ประวัติผู้เขียน.....	134



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ	10
ตารางที่ 2 ค่า Albedo แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล ในสภาวะที่อากาศแห้ง. 26	
ตารางที่ 3 ค่า Bowen Ratio แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล ในสภาวะที่มีความชื้นปกติ	27
ตารางที่ 4 ค่า Surface Roughness Length แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล... 28	
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบข้อมูลในการประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นด้วยแบบจำลอง 2 ประเภท. 33	
ตารางที่ 6 พารามิเตอร์ที่ศึกษาและวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ในแต่ละสถานที่เก็บตัวอย่าง	49
ตารางที่ 7 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (Detection limit) ของการวิเคราะห์โลหะด้วยเครื่อง ICP-OES	51
ตารางที่ 8 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (Detection limit) ของการวิเคราะห์ไอออนที่ละลายน้ำด้วยเครื่อง IC	52
ตารางที่ 9 ข้อมูลแหล่งกำเนิดชนิดที่เป็นแหล่งกำเนิดแบบปริมาตร (Volume source).....	60
ตารางที่ 10 ข้อมูลแหล่งกำเนิดชนิดที่เป็นแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (Area source).....	60
ตารางที่ 11 ค่าความหนาแน่นของฝุ่นที่มาจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ	61
ตารางที่ 12 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศในช่วงฤดูฝน	62
ตารางที่ 13 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศในช่วงฤดูแล้ง.....	63
ตารางที่ 14 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศรวมทั้งสองฤดู	64
ตารางที่ 15 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในบรรยากาศพื้นที่โรงเรียน ตชด.บ้านฉำหินช่วงฤดูฝน....	66
ตารางที่ 16 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในบรรยากาศพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยารามช่วงฤดูฝน	66
ตารางที่ 17 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในพื้นที่โรงเรียน ตชด.บ้านฉำหินช่วงฤดูแล้ง	67
ตารางที่ 18 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยารามช่วงฤดูแล้ง	67
ตารางที่ 19 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในพื้นที่โรงเรียน ตชด.บ้านฉำหินทั้งสองฤดู	68
ตารางที่ 20 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยารามทั้งสองฤดู	68

ตารางที่ 21	เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นที่พบของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	72
ตารางที่ 22	ความเข้มข้นไอออนที่ละลายน้ำในฝุ่นที่พบทั้งสองพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูฝน	73
ตารางที่ 23	ความเข้มข้นไอออนที่ละลายน้ำที่พบในฝุ่นทั้งสองพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูแล้ง	74
ตารางที่ 24	ความเข้มข้นไอออนที่ละลายน้ำที่พบในฝุ่นทั้งสองพื้นที่ศึกษารวมทั้งสองฤดู.....	75
ตารางที่ 25	เปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำที่พบในฝุ่นในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	78
ตารางที่ 26	ความเข้มข้นคาร์บอนที่พบในฝุ่นทั้งสองพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูฝน	79
ตารางที่ 27	ความเข้มข้นคาร์บอนที่พบในฝุ่นทั้งสองพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูแล้ง	79
ตารางที่ 28	ความเข้มข้นคาร์บอนที่พบในฝุ่นทั้งสองพื้นที่ศึกษาทั้งสองฤดู	80
ตารางที่ 29	เปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนที่พบในฝุ่นในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	82
ตารางที่ 30	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและโลหะในฝุ่นในบรรยากาศบริเวณโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน.....	83
ตารางที่ 31	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและโลหะที่พบในฝุ่นในบรรยากาศบริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม	84
ตารางที่ 32	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองและไอออนที่ละลายน้ำในฝุ่นที่พบในบรรยากาศบริเวณโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน	85
ตารางที่ 33	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองและไอออนที่ละลายน้ำในฝุ่นที่พบในบรรยากาศบริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม	85
ตารางที่ 34	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและคาร์บอนในฝุ่นที่พบในบรรยากาศบริเวณโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน	86
ตารางที่ 35	ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและคาร์บอนในฝุ่นที่พบในบรรยากาศบริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม	86
ตารางที่ 36	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุในฝุ่นที่แหล่งกำเนิดและกิจกรรมต่างๆ	88
ตารางที่ 37	เปรียบเทียบร้อยละของโลหะ และไอออนจากมากไปน้อย	90
ตารางที่ 38	ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของฝุ่นที่โรงเรียนวัดเจติยาราม	91
ตารางที่ 39	เปรียบเทียบสัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พบโดยแบบจำลอง CMB กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	97

ตารางที่ 40 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงและสัดส่วนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....	98
ตารางที่ 41 ความเข้มข้นและสัดส่วนของแหล่งกำเนิดฝุ่นโดยแบบจำลอง AERMOD	100
ตารางที่ 42 การเปรียบเทียบผลการประเมินสัดส่วนของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดของทั้ง 2 แบบจำลอง	104



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ส่วนประกอบของระบบภาวะมลพิษอากาศ.....	6
รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่อการแพร่กระจายฝุ่นละออง.....	7
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อสุขภาพกับอนุภาคทรายและเส้นผม.....	9
รูปที่ 4 ขนาดของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ.....	9
รูปที่ 5 เตาเผาและปล่องระบายนมลพิษของโรงงานเครื่องปั้นดินเผา.....	14
รูปที่ 6 การก่อเตาเผาอิฐมอญและการเผา.....	15
รูปที่ 7 เตาเผาของอุตสาหกรรมปูนขาว.....	16
รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่เก็บและผสมคอนกรีตผสมเสร็จ.....	17
รูปที่ 9 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานของแบบจำลองสมดุลมวลเคมี.....	22
รูปที่ 10 การจัดเรียงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นตามรูปแบบ SCRAM format.....	24
รูปที่ 11 การจัดเรียงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบนตามรูปแบบ FSL Format.....	25
รูปที่ 12 โครงสร้างการทำงานของแบบจำลอง AERMOD.....	32
รูปที่ 13 แผนการศึกษา.....	39
รูปที่ 14 พื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามที่กำหนดเป็นพื้นที่ที่ได้รับสัมผัสฝุ่นและแหล่งกำเนิดฝุ่นทั้ง 6 แหล่ง.....	40
รูปที่ 15 พื้นที่ศึกษาระดับโรงเรียน ตชด.บ้านลำหินที่กำหนดเป็นพื้นที่เปรียบเทียบ.....	41
รูปที่ 16 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นที่แหล่งกำเนิด.....	42
รูปที่ 17 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนชนิดแรงดูดสูง.....	43
รูปที่ 18 เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ.....	43
รูปที่ 19 เครื่องวัดอัตราการไหล ความเร็ว และอุณหภูมิของกระแสอากาศที่ระบายออกจากปล่อง.....	44
รูปที่ 20 การเก็บตัวอย่างฝุ่นที่แหล่งกำเนิดที่มีการเผา.....	45
รูปที่ 21 การตรวจวัดความดัน ความเร็วและอุณหภูมิของกระแสอากาศที่ปล่อยออกจากปล่อง.....	45
รูปที่ 22 การกวาดหรือตักฝุ่นบริเวณผิวหน้า.....	46

รูปที่ 23 การเก็บตัวอย่างฝุ่นที่แหล่งกำเนิดที่ไม่มีการเผา.....	47
รูปที่ 24 การติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ.....	48
รูปที่ 25 การเตรียมและวิเคราะห์หาความเข้มข้นโลหะในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	51
รูปที่ 26 การเตรียมและวิเคราะห์หาความเข้มข้นไอออนในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	52
รูปที่ 27 รูปแบบของข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง CMB.....	55
รูปที่ 28 ขั้นตอนการใส่ข้อมูลลงในแบบจำลอง CMB.....	56
รูปที่ 29 จอแสดงผลก่อนการเริ่มคำนวณผลโดยแบบจำลอง CMB.....	56
รูปที่ 30 การแสดงผลของแบบจำลอง CMB.....	57
รูปที่ 31 ตัวอย่างข้อมูลภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษาที่เตรียมจากโปรแกรมย่อย AERMAP.....	59
รูปที่ 32 เปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ.....	64
รูปที่ 33 เปรียบเทียบความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในบรรยากาศ.....	70
รูปที่ 34 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในบรรยากาศทั้งสองฤดู.....	71
รูปที่ 35 เปรียบเทียบความเข้มข้นไอออนที่พบในฝุ่นในบรรยากาศ.....	76
รูปที่ 36 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นไอออนที่พบในฝุ่นในบรรยากาศรวมทั้งสองฤดู.....	77
รูปที่ 37 เปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนที่พบในฝุ่นในบรรยากาศ.....	81
รูปที่ 38 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาร์บอนที่พบในบรรยากาศรวมทั้งสองฤดู.....	81
รูปที่ 39 สัดส่วนที่มาของแหล่งกำเนิดฝุ่นที่โรงเรียนวัดเจติยาราม.....	92
รูปที่ 40 สัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นจากการเก็บตัวอย่างตามช่วงเวลาต่างๆ ที่โรงเรียนวัดเจติยาราม....	93
รูปที่ 41 ดัชนีที่อธิบายความน่าเชื่อถือผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง CMB จำแนกตามการเก็บตัวอย่างตามช่วงเวลาต่างๆ.....	95
รูปที่ 42 สัดส่วนการแพร่กระจายของฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ.....	99
รูปที่ 43 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน.....	102
รูปที่ 44 แผนผังลมในพื้นที่ศึกษาของปี 2557.....	103
รูปที่ 45 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองกับการตรวจวัดที่ผู้รับ.....	105

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การปฏิวัติอุตสาหกรรมเป็นกระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลง ปรับปรุง แก้ไขกระบวนการผลิตจากเดิมที่ใช้แรงงานคนมาเป็นเครื่องจักรกลแทน ซึ่งเกิดขึ้นครั้งแรกในประเทศอังกฤษในคริสต์ศตวรรษที่ 18 และได้ขยายไปยังประเทศต่างๆ ทั่วโลก ซึ่งประเทศไทยจัดเป็นหนึ่งในประเทศที่ได้รับอิทธิพลจากการปฏิวัติอุตสาหกรรมในครั้งนี้ โดยได้ปรับเปลี่ยนจากเดิมที่เป็นยุคของเกษตรกรรมให้เข้าสู่ยุคอุตสาหกรรมโดยเครื่องมือที่รัฐบาลใช้เป็นแผนในการขับเคลื่อนเพื่อให้บรรลุเป้าหมายคือแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติซึ่งได้มีการประกาศใช้ฉบับแรกตั้งแต่ปีพ.ศ. 2504 จนมาถึงปัจจุบันมีการประกาศใช้มาแล้วทั้งหมด 11 ฉบับและมีการประกาศใช้ฉบับที่ 12 ในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งจากแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมดังกล่าวทำให้เกิดการขยายตัวของเศรษฐกิจทั้งทางด้านอุตสาหกรรม การคมนาคม และทางด้านอสังหาริมทรัพย์เป็นอย่างมาก ถึงแม้ว่าในแผนจะมีการกำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาเศรษฐกิจที่ควบคู่กับการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างยั่งยืนไว้ก็ตามแต่มักถูกมองข้าม มีเพียงแต่แผนการดำเนินงานแต่ไม่มีการนำไปปฏิบัติอย่างจริงจัง ทำให้การพัฒนาขาดความสมดุลกันของเศรษฐกิจ สังคมและสิ่งแวดล้อม เกิดปัญหามลพิษต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นมลพิษทางเสียง กลิ่น และฝุ่นละออง เป็นต้น ทั้งที่เกิดจากกระบวนการเตรียมวัตถุดิบ การผลิต ตลอดจนการขนส่ง เกิดปัญหาการร้องเรียนระหว่างโรงงานอุตสาหกรรมกับประชาชนในพื้นที่โดยรอบหรือการร้องเรียนหน่วยงานของรัฐที่ไม่กำกับดูแลโรงงานอุตสาหกรรมอย่างจริงจัง ดังจะเห็นได้จากภาพข่าวจากซึ่งนับวันยังมีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ

จังหวัดราชบุรีเป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ในภาคกลางทางด้านทิศตะวันตกของประเทศไทย โดยทางทิศเหนือติดต่อกับจังหวัดกาญจนบุรี ทิศใต้ติดกับจังหวัดเพชรบุรี ทิศตะวันออกติดกับจังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม ส่วนทิศตะวันตกติดกับสหภาพเมียนมา ซึ่งจังหวัดราชบุรีถือได้ว่าเป็นหนึ่งในจังหวัดที่มีการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่องอีกจังหวัดหนึ่งของประเทศไทยซึ่งจากข้อมูลสถิติจำนวนโรงงานที่เก็บรวบรวมโดยกรมโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อปีพ.ศ. 2556 พบว่ามีจำนวนโรงงานอยู่ทั้งสิ้น 1,796 โรงงาน และในปีพ.ศ. 2557 พบว่ามีโรงงานเพิ่มขึ้นเป็น 1,813 โรงงาน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2557) โดยอุตสาหกรรมที่พบในพื้นที่สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก กลุ่มแรก ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมแปรรูปหินปูน ประกอบด้วย โรงงานผลิตปูนขาว โรงงานอิฐบล็อก โรงงานผลิตคอนกรีต และโรงงานสารส้ม กลุ่มที่สอง ได้แก่ โรงงานผลิตเครื่องปั้นดินเผาเนื่องจากลักษณะทางธรณีวิทยาของจังหวัดราชบุรีมีความเหมาะสม โดยเฉพาะอุตสาหกรรม

เครื่องปั้นดินเผาถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีชื่อเสียงและมีความสำคัญของจังหวัดราชบุรีและของประเทศเนื่องจากเครื่องปั้นดินเผาที่ผลิตนั้นมีลักษณะเฉพาะตัวและมีความโดดเด่นทำให้เรียกกันจนติดปากว่าจังหวัดราชบุรีคือ “เมืองโอ่งมังกร” นอกจากนี้จังหวัดราชบุรียังเป็นจังหวัดที่มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผามากที่สุดของประเทศอีกด้วย (วลัยพร เล็กมณี, 2547) โดยกระบวนการผลิตของแต่ละอุตสาหกรรมที่พบในจังหวัดราชบุรีนั้นจะประกอบไปด้วยขั้นตอนย่อยๆ ที่แตกต่างกัน ซึ่งหากทำการจำแนกลักษณะของการปลดปล่อยสารมลพิษออกสู่บรรยากาศของอุตสาหกรรมในพื้นที่ของจังหวัดราชบุรีสามารถแยกได้เป็น 3 ลักษณะคือ การปลดปล่อยจากเตาเผา (มีการใช้ฟืนและถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง) การเทกอง การขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ ดังนั้นหากมีการจัดการคุณภาพอากาศไม่เหมาะสมกับสภาพในปัจจุบันจะส่งผลให้เกิดผลกระทบต่างๆ ตามมาทั้งปัญหาสิ่งแวดล้อมและปัญหาสุขภาพของประชาชนในพื้นที่อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งจากข้อมูลในรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี พ.ศ. 2557 พบว่าปัญหาฝุ่นละอองจัดเป็นปัญหาหลักที่เกิดขึ้นของประเทศไทย โดยแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโรงโม่บดหรือย่อยหิน โรงงานปูนขาว โรงงานปูนซีเมนต์ กิจการเหมืองหิน ตลอดจนการคมนาคมขนส่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศนั้นอาจมีสภาพเป็นของเหลวหรือของแข็ง โดยจะมีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอนซึ่งเป็นกลุ่มของโมเลกุล (ไม่สามารถมองด้วยตาเปล่าได้) จนถึงขนาดใหญ่มากกว่า 500 ไมครอน ซึ่งเป็นฝุ่นทรายขนาดใหญ่ (สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า) โดยฝุ่นละอองที่สามารถแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานนั้นจะเป็นฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) หากมีอยู่ในบรรยากาศในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคนได้ เนื่องจากเป็นฝุ่นที่มีขนาดเล็กจนสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจทำให้เกิดการเกาะหรือตกสะสมในส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจและถูกลมปอดได้ ซึ่งจะทำให้เกิดอาการต่างๆ เช่น เกิดการระคายเคืองเนื้อเยื่อของระบบทางเดินหายใจ ทำให้เยื่อหุ้มปอดถูกทำลาย หากได้รับในปริมาณมากและติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน จะเกิดการสะสมก่อให้เกิดเป็นพังผืดและแผลในปอดได้ทำให้การทำงานของปอดมีประสิทธิภาพต่ำลง หลอดลมอักเสบ เกิดเป็นโรกระบบทางเดินหายใจต่างๆ ตามมา โดยที่ความรุนแรงของอาการนั้นไม่ได้อันขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฝุ่นเพียงอย่างเดียวแต่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองนั้นด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2555; ธิดารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์, 2549) การศึกษาของเบญจวรรณ ธงรัฐ (2559) ได้ทำการประเมินความเสี่ยงทางด้านสุขภาพของประชากรในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรีจากการสัมผัสสัมผัสโลหะในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนพบว่าประชากรในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากการเกิดโรคมะเร็งในระดับที่ยอมรับไม่ได้จากการสัมผัสโลหะที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่น ดังนั้นหากสามารถประเมินแหล่งที่มาของฝุ่นละอองในพื้นที่ได้จะทำให้สามารถจัดการปัญหาหรือลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นการศึกษาดังนี้จึงมีเป้าหมายที่จะใช้การวิเคราะห์ที่มาของแหล่งกำเนิดฝุ่นในพื้นที่ศึกษาในอำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองผู้รับ (Receptor model) CMB (Chemical Mass Balance) ร่วมกับแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศ (Dispersion model) AERMOD เพื่อใช้เป็นหนึ่งในแนวทางที่จะช่วยแก้ไขปัญหาและลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้นจากสารมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่ส่งผลกระทบต่อพื้นที่ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในบรรยากาศและองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคฝุ่นในพื้นที่ศึกษา

1.2.2 เพื่อหาสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (Source Contribution) ในพื้นที่ศึกษาโดยใช้แบบจำลอง CMB และแบบจำลอง AERMOD

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบผลการประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่ได้จากแบบจำลอง CMB และที่ได้จากแบบจำลอง AERMOD

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 การวิจัยนี้กำหนดพื้นที่ศึกษาในเขตตำบลเจดีย์หักและตำบลเกาะพลับพลา อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรีโดยแบ่งพื้นที่ศึกษาออกเป็น 2 บริเวณ คือพื้นที่ที่เป็นแหล่งกำเนิดฝุ่น ซึ่งทำการเก็บจำนวน 6 แหล่ง ได้แก่ โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ โรงงานปูนขาว โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน และฝุ่นถนน ส่วนพื้นที่ที่ได้รับสัมผัสฝุ่นกำหนดให้ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่นจำนวน 1 แห่ง ได้แก่ โรงเรียนวัดเจติยาราม และกำหนดให้โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน (ตชด.บ้านถ้ำหิน) ซึ่งอยู่ในตำบลสวนผึ้ง อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ซึ่งไกลจากแหล่งกำเนิดฝุ่นเป็นพื้นที่เก็บตัวอย่างฝุ่นเพื่อใช้เป็นพื้นที่เปรียบเทียบ (Control site) รายละเอียดพื้นที่ศึกษาอธิบายในหัวข้อที่ 3.2

1.3.2 การเก็บตัวอย่างในพื้นที่ที่สัมผัสฝุ่นและพื้นที่ที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างในบรรยากาศ (Ambient air sampling) ระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง คือ 24 ชั่วโมง ต่อเนื่อง โดยตัวอย่างที่เก็บในบรรยากาศจะทำการวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ธาตุโลหะ ไอออนที่ละลายน้ำ อินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอน ส่วนการเก็บตัวอย่างที่แหล่งกำเนิดจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในลักษณะเดียวกัน และทำการตรวจวัดอัตราการไหล ความเร็วและอุณหภูมิของกระแสอากาศที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดนั้นๆ ด้วย

1.3.3 ช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงฤดูฝน คือเดือนกรกฎาคมถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2557 และช่วงฤดูแล้ง คือเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558

1.3.4 แหล่งกำเนิดอื่นที่ไม่ได้ทำการเก็บตัวอย่างนั้นจะใช้ข้อมูลจากข้อมูลทุติยภูมิที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ เช่น การเผาชีวมวล มลพิษจากยานพาหนะ เป็นต้น และการเก็บตัวอย่างที่แหล่งกำเนิดฝุ่นที่มีขั้นตอนการเผาไหม้จะไม่คำนึงถึงฝุ่นที่เกิดจากการพัดพาของลม (Wind Blow Dust)

1.3.5 การประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นละอองนั้นจะทำการประเมินเฉพาะบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่รับสัมผัสฝุ่น โดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ 2 ประเภท ได้แก่ แบบจำลองสมดุลมวลเคมี (CMB) และแบบจำลอง AERMOD เนื่องจากแบบจำลองทั้งสองมีทฤษฎีพื้นฐานที่แตกต่างกันซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบไว้ในหัวข้อที่ 2.10

1.3.6 การกำหนดระยะการกระจายของฝุ่น (Size Distribution) ในแบบจำลอง AERMOD จะกำหนดให้ฝุ่นที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดนั้นเป็นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนทั้งหมด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทำให้ทราบถึงองค์ประกอบของฝุ่นละอองที่ปลดปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งกำเนิดอื่นๆ ในพื้นที่ที่ทำการศึกษาและพื้นที่ผู้รับสัมผัสฝุ่นซึ่งสามารถนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงและเป็นแนวทางในการป้องกันตนเองจากการรับสัมผัสฝุ่นนั้น

1.4.2 ทำให้ทราบถึงความเข้มข้น แหล่งที่มาของฝุ่น (Emission source contribution) และการแพร่กระจาย (Pollution Dispersion) ของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด ซึ่งจะนำไปใช้ในการหาแนวทางป้องกันและลดการเกิดฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดที่มีสัดส่วนต่อผู้รับมาก

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 มลพิษทางอากาศ (Air pollution)

มลพิษทางอากาศ หมายถึง สภาวะการณ์ที่บรรยากาศกลางแจ้งมีสิ่งเจือปน เช่น ฝุ่นละออง ก๊าซต่างๆ ละออง ไอ คิวน์ กลิ่น ฯลฯ อยู่ในปริมาณสูงกว่าระดับปกติในระยะเวลาที่นานพอที่จะทำให้ เกิดอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์ พืช สัตว์ หรือทรัพย์สิน ตลอดจนสิ่งแวดล้อมต่างๆ โดยแหล่งกำเนิดที่สำคัญมี 2 แหล่ง คือ แหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ (Natural source) เช่น ภูเขาไฟระเบิด ฝุ่นละอองจากลมพายุ เป็นต้น และแหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made or anthropogenic source) เช่น มลพิษจากยานพาหนะ ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในเขตตัวเมืองใหญ่ๆ เช่น กรุงเทพมหานครและปริมณฑล และจังหวัดใหญ่ๆ ในภาคต่างๆ และมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งเกิดจากกระบวนการผลิตและกระบวนการเผาไหม้วัสดุที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้น เฉพาะพื้นที่ที่กระจายอยู่ทั่วประเทศทั้งในเขตเมืองและในเขตชนบท โดยแหล่งกำเนิดที่มนุษย์สร้างขึ้น ถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศที่สำคัญของประเทศและกำลังทวีความรุนแรงขึ้นตามลำดับ ซึ่งมีปัจจัยการเกิดที่สำคัญมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว โดยปัญหามลพิษทางอากาศเป็นปัญหาที่ต้องมีการจัดการและการควบคุมที่ดีเนื่องจากเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดผลกระทบในวงกว้าง (สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, 2556)

2.2 ระบบภาวะมลพิษอากาศ (Air pollution system)

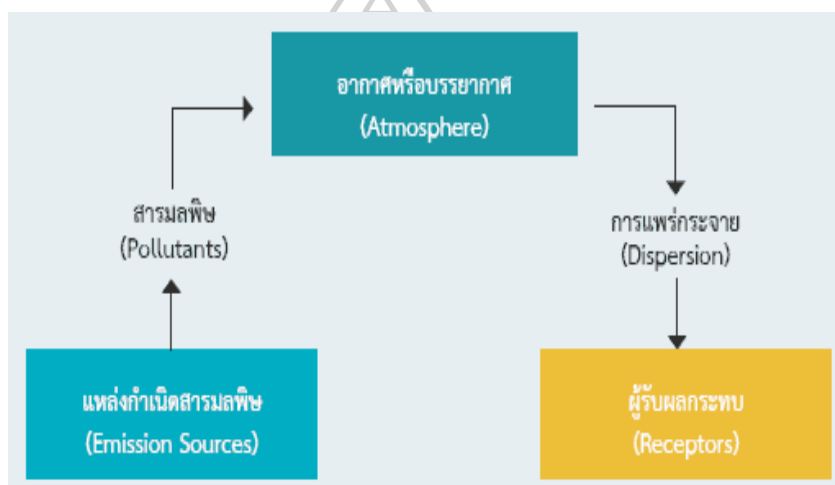
ระบบภาวะมลพิษอากาศ ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนซึ่งมีความสัมพันธ์กัน คือ แหล่งกำเนิดสารมลพิษอากาศ (Emission source) อากาศหรือบรรยากาศ (Atmosphere) และผู้รับผลกระทบ (Receptors) (นพภาพร พานิช, 2544) ดังรูปที่ 1

แหล่งกำเนิดสารมลพิษ (Emission source) เป็นส่วนที่ทำให้มลพิษออกไปสู่อากาศภายนอก เกิดเป็นระบบของสารมลพิษทางอากาศ โดยที่ชนิดและปริมาณของสารมลพิษทางอากาศที่ถูกปล่อย ออกสู่อากาศจะขึ้นอยู่กับประเภทของแหล่งกำเนิด และมีการควบคุมการระบายมลพิษทางอากาศหรือไม่

บรรยากาศ (Atmosphere) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่รองรับสารมลพิษอากาศที่ถูกระบายออก จากแหล่งกำเนิดและยังเป็นตัวกลางที่ให้สารมลพิษที่อยู่ในอากาศมีการแพร่กระจายออกไป โดยมีปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาเป็นตัวกำหนดลักษณะการแพร่กระจายของสารมลพิษ

ผู้รับผลกระทบ (Receptors) เป็นส่วนที่สัมผัสกับสารมลพิษ ทำให้ได้รับความเสียหายหรืออันตราย โดยผู้รับผลกระทบอาจเป็นสิ่งที่มีชีวิต เช่น คน พืช สัตว์ หรือเป็นสิ่งที่ไม่มีชีวิต เช่น อาคาร บ้านเรือน วัสดุและสิ่งก่อสร้าง โดยความเสียหายหรือผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศและระยะเวลาที่สัมผัส

จากส่วนประกอบของระบบภาวะมลพิษอากาศนั้นจะเห็นได้ว่าปริมาณและชนิดของสารมลพิษที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิด (Emission) และสภาพทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) จะเป็นสิ่งที่บอกชนิดและความเข้มข้นของสารมลพิษที่มีอยู่ในบรรยากาศ ซึ่งเป็นตัวกำหนดลักษณะและความรุนแรงของความเสียหาย (Air pollution effects) ที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของระบบภาวะมลพิษอากาศ

ที่มา: นพภาพร พานิช (2544)

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระจายมลพิษทางอากาศ

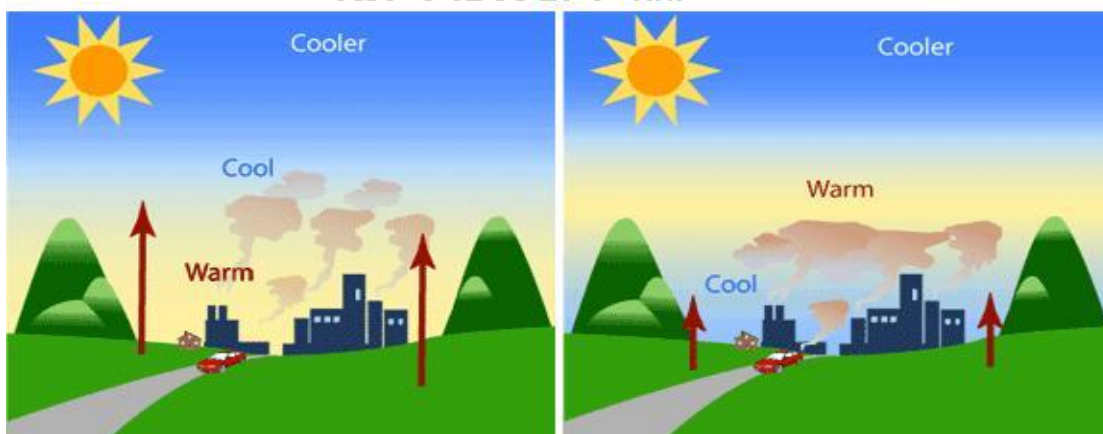
2.3.1 อุตุนิยมวิทยาและสภาวะอากาศ

2.3.1.1 ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind direction and Wind speed)

โดยทั่วไปอากาศจะมีการเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงไปยังบริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ ซึ่งการเคลื่อนที่ของอากาศในแนวนอนนั้นจะทำให้เกิดลม ซึ่งลมที่เกิดขึ้นจะทำให้สารมลพิษในบรรยากาศเกิดการกระจายตัว โดยที่ความเร็วและทิศทางลม จะเป็นตัวกำหนดว่าสารมลพิษจะกระจายตัวได้มากเท่าไรและในทิศทางใด ขึ้น โดยมลพิษจะกระจายตัวได้มากและไปได้ไกลในบริเวณพื้นที่โล่งเนื่องจากในพื้นที่โล่งๆ ไม่มีสิ่งกีดขวางซึ่งจะแตกต่างกับในเมืองที่มีอาคารสูงและตึกต่างๆ

2.3.1.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของบรรยากาศที่ระดับความสูงต่างกันจะมีอุณหภูมิไม่เท่ากัน ซึ่งอุณหภูมิแต่ละระดับความสูงจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการกระจายตัวของสารมลพิษ ในชั้นบรรยากาศที่ความสูงแปรผกผันกับอุณหภูมิหรือยิ่งสูงอากาศจะยิ่งเย็นลง โดยเฉพาะบรรยากาศในช่วงระดับความสูง 0-10 กิโลเมตร สารมลพิษจะกระจายตัวได้ดีเนื่องจากอากาศบนพื้นผิวโลกซึ่งอุ่นและลอยตัวสูงขึ้น ขณะที่ลอยตัวสูงขึ้นก็จะนำเอาสารมลพิษจากพื้นดินขึ้นไปด้วยเมื่อกระทบกับอากาศเย็นที่อยู่เบื้องบนก็จะขยายตัวออกในทางตรงกันข้ามสารมลพิษจะกระจายตัวได้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลยในชั้นบรรยากาศที่ความสูงแปรผันตรงกับอุณหภูมิ (Inversion) หรือยิ่งสูงอากาศยิ่งร้อนขึ้น ดังรูปที่ 2



ก) สภาวะปกติ

ข) สภาวะ Inversion

รูปที่ 2 ผลของอุณหภูมิต่อการแพร่กระจายฝุ่นละออง

ที่มา: ดัดแปลงจาก Pima County Department of Environmental Quality (2013)

2.3.1.3 ฝน (Rain)

ฝนจะช่วยชะล้างสารมลพิษที่มีอยู่ในชั้นบรรยากาศซึ่งอนุภาคฝุ่นในบรรยากาศจะจับกับอนุภาคของน้ำแล้วตกลงสู่พื้นดิน ช่วยลดการกระจายตัวของฝุ่นนอกจากนี้ น้ำฝนยังเป็นตัวทำลายที่ดีที่สุดสามารถรวมตัวกับก๊าซที่อยู่ในบรรยากาศได้อีกด้วย

2.3.1.4 ความชื้น (Humidity)

ในบริเวณที่มีความชื้นสูงควั่นที่เกิดจากการระบายนอกจากแหล่งกำเนิดจะรวมตัวกับหมอกที่อยู่บริเวณรอบๆ ทำให้เกิดเป็นหมอกควั่นปกคลุมในพื้นที่ส่งผลให้เกิดทัศนวิสัยการมองเห็นไม่ชัดเจน

2.3.2 ลักษณะภูมิประเทศ

ลักษณะภูมิประเทศจะเป็นตัวกำหนดการกระจายตัวของสารมลพิษ เช่น พื้นที่ราบ สารมลพิษที่อยู่ในบรรยากาศจะถูกถ่ายเทออกจากพื้นที่แหล่งกำเนิดได้ง่าย ในพื้นที่ที่มีภูเขา ล้อมรอบหรือมีลักษณะเป็นแอ่งกระทะจะทำให้เกิดการสะสมของสารมลพิษในบรรยากาศ ได้มาก ส่วนในพื้นที่ที่เป็นหุบเขากการถ่ายเทสารมลพิษในบรรยากาศเป็นไปได้ยากเนื่องจากการไหลเวียนของอากาศมีน้อยนอกจากนี้ลักษณะภูมิประเทศยังเป็นตัวกำหนดให้เกิดปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ และมีผลต่อการเกิดลมในแต่ละท้องถิ่น อีกทั้งในบางพื้นที่ลักษณะทางภูมิประเทศที่เป็นภูเขาในแนวระนาบจะช่วยลดอิทธิพลจากลมมรสุม เช่น ในช่วงฤดูฝน ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้พัดผ่านภูมิประเทศที่เป็นภูเขาในแนวราบจะเป็นแนวกั้นลมที่พัดผ่าน ทำให้ปริมาณน้ำฝนน้อยในบริเวณพื้นที่ที่เป็นหลังภูเขา (ยศกิต เรื่องทวีป, 2552; วีระพงษ์ หาญรินทร์, 2557)

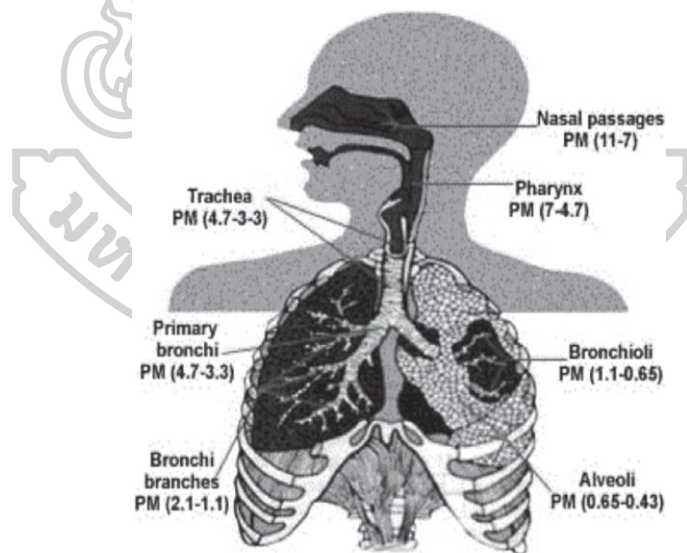
2.4 ฝุ่นละออง (Particulate matter)

ฝุ่นละออง (Particulate matter) หมายถึง อนุภาคของแข็งและละอองของเหลวซึ่งไม่รวมถึงหยดน้ำและแก๊สที่สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศโดยทั่วไปจะมีขนาดไม่เกิน 100 ไมครอนทั้งที่สามารถมองเห็นและที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าซึ่งอาจจะก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนวิสัยเกิดอุปสรรคในการเดินทางสัญจรบนท้องถนน รวมทั้งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สัตว์ พืช อาคารบ้านเรือน ตลอดจนเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ดังนั้นจึงมีการกำหนดมาตรฐานเพื่อจำกัดและบรรเทาปัญหาฝุ่นละอองเกิดขึ้น ได้แก่ การกำหนดมาตรฐานของฝุ่นละอองที่ปล่อยออกจากอาคารหรือสถานประกอบการ มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป สำหรับประเทศไทยตามประกาศของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 28 (พ.ศ. 2550) ได้กำหนดโดยจำแนกฝุ่นละอองออกเป็น 3 ขนาด คือ ฝุ่นละอองรวมซึ่งมีขนาดไม่เกิน 100 ไมครอน (Total suspended particulate หรือ TSP) ฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate matter less than 10 microns หรือ PM₁₀) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Particulate matter less than 2.5 microns หรือ PM_{2.5}) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบขนาด ดังรูปที่ 3 โดยฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ร่างกายจะดักไว้ได้ที่ขนจมูกซึ่งทำให้เกิดอาการรำคาญ เช่น อาการคายเคืองตา ส่วนฝุ่นที่มีขนาดเล็กนั้นสามารถเข้าไปในระบบหายใจ ทำให้ระคายเคือง แสบจมูก ไอ จาม มีเสมหะหรือมีการสะสมของฝุ่นในถุงลมปอดทำให้การทำงานของปอดเสื่อมลง ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบหายใจเมื่อเราสูดเอาอากาศที่มีฝุ่นละอองเข้าไป โดยอาการระคายเคืองนั้นจะเกิดขึ้นตามส่วนต่างๆ ของระบบทางเดินหายใจขึ้นอยู่กับขนาดของฝุ่นละออง ดังรูปที่ 4 โดยโรคระบบทางเดินหายใจที่เกิดจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก ได้แก่ โรคถุงลมโป่งพอง (Emphysema) โรคหลอดลม

ปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease, COPD) โรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง (Chronic bronchitis) โรคปอดอักเสบ (Interstitial lung disease) โรคหอบหืด (Asthma) (ฉัตรรัตน์ ผลพิบูลย์, อีสริย์ฐิกา ชัยสวัสดิ์, & อนุวัตร รุ่งพิสุทธิพงษ์, 2557; วนิดา จีนศาสตร์, 2551)



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบขนาดของฝุ่นละอองที่มีผลกระทบต่อสุขภาพกับอนุภาคทรายและเส้นผม
ที่มา: จิรวัดน์ จิงศิริกุลวิทย์ (2555)



รูปที่ 4 ขนาดของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจ
ที่มา: ฉัตรรัตน์ ผลพิบูลย์ et al. (2557)

2.5 ธาตุที่มีในอนุภาคของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองที่อยู่ในบรรยากาศประกอบด้วยองค์ประกอบที่ซับซ้อนแตกต่างกันอาจจะประกอบด้วยธาตุ อินทรีย์คาร์บอน แอมโมเนีย ไนเตรต ซัลเฟต ฝุ่นแร่ โลหะปริมาณน้อย และน้ำ โดยองค์ประกอบทางเคมีเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญที่เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของฝุ่นว่าจะเป็นฝุ่นที่มีพิษหรือไม่มีพิษและนอกจากนี้องค์ประกอบบางตัวยังส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอีกด้วย (Gupta, Nag, & Mukhopadhyay, 2006; Hueglin et al., 2005; U.S. EPA, 1996) ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีที่พบแตกต่างกันไปนั้นขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองชนิดนั้น เช่น ฝุ่นดินจะประกอบด้วยธาตุหลักๆ คือ ซิลิกา (Si) อลูมิเนียม (Al) และแคลเซียม (Ca) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของดินที่มีอยู่ในตามธรรมชาติ ส่วนฝุ่นที่มาจากอาคารก่อสร้างจะมีธาตุแคลเซียม (Ca) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของซีเมนต์ ส่วนฝุ่นที่มาจากท่อไอเสียของน้ำมันเชื้อเพลิงจะมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเป็นต้น ดังตารางที่ 1 ซึ่งจากองค์ประกอบที่แตกต่างกันนี้จะทำให้ฝุ่นแต่ละชนิดจึงมีลักษณะที่เฉพาะและแตกต่างกันออกไปในแต่ละแหล่งกำเนิด เช่น สี รูปร่าง และขนาด เป็นต้น (ยศกิต เรืองทวีป, 2552)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของธาตุในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

แหล่งที่มา	ตัวบ่งชี้ (Markers Elements)
ดิน	Al Si Sc Ti Fe Sm Ca
ฝุ่นถนน	Ca Al Sc Si Ti Fe Sm
ละอองไอทะเล	Na Cl Na ⁺ Cl ⁻ Br I Mg Mg ²⁺
การเผาไหม้น้ำมัน	V Ni Mn Fe Cr As S SO ₄ ²⁻
การเผาไหม้ถ่านหิน	Al Sc Se Co As Ti Th S
อุตสาหกรรมเหล็กและอลูมิเนียม	Mn Cr Fe Zn W R
อุตสาหกรรมที่ไม่ใช่เหล็ก	Zn Cu As Sb Pb Al
อุตสาหกรรมเครื่องแก้ว	Sb As Pb
อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์	Ca
การเผาขยะ	K Zn Pb Sb
การเผาต่อขางข้าว	K C _{ele} C _{org} Br
รถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน	C _{ele} Br Ce La Pt SO ₄ ²⁻ NO ₃ ⁻
รถยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล	C _{ele} C _{org} S SO ₄ ²⁻ NO ₃ ⁻
ฝุ่นทุติยภูมิ	SO ₄ ²⁻ NO ₃ ⁻ NH ₄ ⁺

C_{ele}: Elemental Carbon

C_{org}: Organic Carbon

ที่มา: ดัดแปลงจากปจรรย์ ทองสนธิ and วนิดา จินตาสตร (2548) อ้างจาก Garivait (1999)

จากผลการศึกษาร่วมกันขององค์ประกอบทางเคมีที่เป็นโลหะในฝุ่นละอองของอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ผ่านมานั้นจะพบองค์ประกอบแตกต่างกันไป เช่น โรงงานเซรามิกจะพบ แคดเมียม (Cd) บิสมัท (Bi) และ ตะกั่ว (Pb) (Soriano et al., 2012) โรงงานปูนซีเมนต์จะพบ ตะกั่ว (Pb) สังกะสี (Zn) และแคดเมียม (Cd) (Al-Khashman & Shawabkeh, 2006) เหมืองแร่จะพบ บิสมัท (Bi) สารหนู (As) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) สังกะสี (Zn) และพลวง (Sb) (de la Campa, de la Rosa, Fernandez-Caliani, & Gonzalez-Castanedo, 2011) เหมืองถ่านหินและโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงจะพบ แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn) สารหนู (As) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) นิลเกิล (Ni) โคบอล (Co) แคดเมียม (Cd) พรอท (Hg) และวานาเดียม (V) (Kong et al., 2011) นอกจากอุตสาหกรรมแล้วยังมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากยานพาหนะโดยพบว่าอนุภาคที่เกิดจากไอเสียของเครื่องยนต์นั้นส่วนใหญ่จะมีองค์ประกอบเป็นคาร์บอนทั้งที่อยู่ในรูปธาตุคาร์บอนและอินทรีย์คาร์บอนเป็นหลักแต่อาจจะมีโลหะบางชนิดที่มีผลกระทบต่อสุขภาพเช่น ตะกั่ว (Pb) แมงกานีส (Mn) นิลเกิล (Ni) สารหนู (As) แคดเมียม (Cd) และโครเมียม (Cr) (Hu et al., 2009) ซึ่งโดยทั่วไปมักจะพบธาตุโลหะอยู่ในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กมากกว่าฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวมากกว่าและความหนาแน่นน้อยกว่าฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ในปริมาตรของฝุ่นละอองที่เท่ากัน (Kong et al., 2011) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Ajmone-Marsan et al. (2008) ที่พบว่า Pb Zn และ Cu จะพบในฝุ่นดินที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) มากถึงร้อยละ 57-64 ซึ่งฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กนี้สามารถฟุ้งกระจายขึ้นสู่บรรยากาศได้ง่ายโดยการพัดพาของลมหรือการจลาจลบนท้องถนนส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้มากกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ถ้าหากฝุ่นละอองนั้นมีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบซึ่งมีความเป็นพิษสูงก็ย่อมส่งผลให้เกิดอันตรายร้ายแรงต่อสุขภาพได้ซึ่งปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็กนั้นถือว่าเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญของเมืองใหญ่ต่างๆ (Ho, Lee, Chow, & Watson, 2003; Lee, Yu, Yun, & Mayer, 2005) ซึ่งแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองส่วนใหญ่มาจากฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจาย (ฝุ่นจากถนนที่ปูหรือไม่ได้ปูผิวถนน ฝุ่นดิน ฝุ่นจากกองวัสดุต่างๆ) ไอเสียจากเครื่องยนต์ การเผาสิ่งเหลือใช้ทางการเกษตรหรือการเผาป่า ละอองไอน้ำจากทะเล การปล่อยมลพิษจากภาคอุตสาหกรรม และละอองไอน้ำจากแหล่งอื่นๆ (Samara, Kouimtzis, Tsitouridou, Kanias, & Simeonov, 2003)

2.6. ผลกระทบของโลหะในฝุ่นละอองบางชนิด

2.6.1 ตะกั่ว (Pb)

ตะกั่วเป็นธาตุโลหะที่มีน้ำหนักอะตอมเท่ากับ 207.2 จัดอยู่ในประเภทของโลหะหนัก เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะมากกว่า 5 เมื่อมีการเปรียบเทียบกับความถ่วงจำเพาะของน้ำที่ 4 องศาเซลเซียส (ฐิติยา แซ่ปึง, 2551) มีสีเทาเงินหรือแกมมน้ำเงิน จัดเป็นโลหะที่มีความเป็น

พิษสูง ส่วนมากจะพบอยู่ในสภาวะวาเลนซี 2 ซึ่งมีความเสถียรมากที่สุด ซึ่งปัจจุบันยังมีการใช้ตะกั่วในการทำแบตเตอรี่รถยนต์ อุตสาหกรรมโลหะบัดกรี เครื่องใช้ไฟฟ้า แผงวงจรไฟฟ้า เชื่อมโลหะ ใช้ทำเป็นสีทาวาสต์ และนอกจากนี้ยังใช้เป็นส่วนประกอบในยาฆ่าแมลงบางชนิด โดยพบว่าร้อยละ 90 ของตะกั่วจะสะสมอยู่ในกระดูก รองลงมาคือตับและไต ตะกั่วเป็นโลหะหนักที่มีอันตรายต่อมนุษย์หลายอย่างเช่น ผลต่อระบบทางเดินหายใจจะทำให้เกิดเป็นโรคพิษตะกั่ว (Lead poisoning) ผลต่อการสร้างฮีโมโกลบิน เนื่องจากตะกั่วจะเข้าไปยับยั้งกระบวนการสร้างฮีโมโกลบินซึ่งมีหน้าที่ในการนำพาออกซิเจนในเม็ดเลือดแดง และนอกจากนี้ยังทำให้เม็ดเลือดแดงแตกได้ง่ายกว่าปกติทำให้เกิดโรคโลหิตจาง ผลต่อการทำงานของไต โดยจะทำลายเซลล์ของท่อเล็กๆ ของไต โดยเฉพาะส่วนต้น เกิดเป็นเยื่อพังผืดระหว่างเนื้อเยื่อของไต ทำให้การกรองของไตลดลงและอาจเกิดอาการไตวายได้ ผลต่อสมองและระบบประสาท ซึ่งตะกั่วจะเข้าไปทำลายระบบประสาทที่มีหน้าที่จดจำ เรียนรู้ และการรับรู้สึกรู้สียง โดยที่ตะกั่วในรูปอินทรีย์จะสามารถสะสมในเนื้อเยื่อสมองได้ดี ส่งผลให้เกิดอาการปวดศีรษะ อ่อนเพลีย ภาวะวุ่นวาย นอนไม่หลับ ชัก ปฏิกิริยาอ่อน ความจำเสื่อม ประสาทหลอน และเป็นอัมพาตได้ (คอลเลอร์สตรอม นิค, 2530; มลิวรรณ บุญเสนอ, 2549; รพีพัฒน์ เกริกไควล์, 2543)

2.6.2 แคดเมียม (Cd)

แคดเมียมเป็นธาตุที่อยู่ร่วมกับสังกะสีและตะกั่วโดยธรรมชาติ เป็นโลหะสีเงินขาว แวววาว เป็นสีน้ำเงินจางๆ จัดอยู่ในประเภทโลหะหนัก นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมบางชนิด เช่น เป็นส่วนผสมของอัลลอยด์เพื่อเพิ่มความเหนียวและคงทนต่อการสึกกร่อนของผลิตภัณฑ์เคลือบโลหะต่างๆ ใช้ในการทำสารกำจัดเชื้อรา สารกำจัดแมลง สารกำจัดหนอน และยังใช้ทำเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีของการเกิดสี และแก้ว โดยแคดเมียมจะพบอยู่ในรูปของเกลือต่างๆ ไม่พบอยู่ในรูปของสารอินทรีย์ ซึ่งเกลือของแคดเมียมที่มีขนาดเล็กจะสามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจตอนล่างได้ เมื่อสูดดมเข้าสู่ร่างกายแล้วส่วนใหญ่จะไปสะสมในตับและไต โดยที่ความเป็นพิษมีหลายลักษณะ เช่น พิษต่อปอด โดยพบว่าผู้ป่วยจะมีอาการปอดบวม น้ำเจ็บหน้าอก คลื่นไส้ และท้องเดิน หลังจากได้รับแคดเมียมเข้าไป 2-3 ชั่วโมง และทำให้ปอดมีประสิทธิภาพในการระบายลมลดลงส่งผลให้อากาศอยู่ในปอดนานกว่าปกติทำให้เกิดอาการหายใจไม่ออก เมื่อได้รับเป็นเวลานานๆ พิษต่อไต โดยจะทำให้มีการขับโปรตีนออกมาในปัสสาวะมากกว่าปกติ เรียกว่า โปรตีนยูเรีย (Proteinuria) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดอาการกระดูกโก่ง แตร้าว ปวดตามกล้ามเนื้อ เรียกว่าโรคอิตาอิต (มลิวรรณ บุญเสนอ, 2549)

2.6.3 พรอท (Hg)

พรอทเป็นโลหะหนักที่มีสภาพเป็นของเหลวและสามารถระเหยเป็นไอได้ง่ายในสภาวะปกติ ซึ่งจะมีสีเงิน ในปัจจุบันใช้ทำเทอร์โมมิเตอร์ บารอมิเตอร์ เป็นส่วนประกอบของยาแดงที่ใช้รักษาแผลสดเพื่อฆ่าเชื้อและใช้ทำสีแดงในอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา เป็นต้น โดยรูปที่พบอยู่ในธรรมชาติในรูปแร่ Cinnaber Ore (HgS) ซึ่งพรอทสามารถพบได้ทั้งรูปที่เป็นไอรูปที่เป็นสารอนินทรีย์ และรูปที่เป็นสารอินทรีย์ โดยที่รูปของสารอินทรีย์นั้นจะมีคุณสมบัติละลายในไขมันได้ดีทำให้สามารถสะสมในร่างกายได้ดี โดยพิษของพรอทนั้นมีได้หลากหลาย เช่น พิษต่อระบบประสาทส่วนกลาง จะทำลายระบบประสาทสัมผัสทำให้เห็นภาพซ้อน กล้ามเนื้อบีบตัว ประสาทหูเสื่อม สูญเสียความรู้สึกรับรสและกลิ่น แขนขาทำงานไม่ประสานกันและอาจจะเป็นอัมพาตได้ ซึ่งเป็นที่มาของโรคมินามาตะ (Minamata diseases) ถ้าหากเกิดการสะสมในไตจะทำให้ไตขับปัสสาวะไม่ได้ ปัสสาวะผิดปกติ และอาจเกิดการสูญเสียโปรตีนในพลาสมาจนเกิดอาการบวมที่ข้อเท้า (มลิวรรณ บุญเสนอ, 2549)

โลหะชนิดอื่นที่ก่อให้เกิดอันตรายได้เช่น โครเมียม (Cr) ซึ่งจะทำให้เกิดการระคายเคืองตาและระบบทางเดินหายใจ วิงเวียนศีรษะ ช็อก และอาจเป็นมะเร็งระบบทางเดินหายใจ ทองแดง (Cu) จะทำให้เกิดโรควิลสัน ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากความผิดปกติทางพันธุกรรมที่มีการสะสมทองแดงในตับมากกว่าปกติ และยังเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคโลหิตจาง สารหนู (As) ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อ มะเร็งปอด มะเร็งผิวหนังได้ สังกะสี (Zn) ทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย ท้องร่วง ถ้าได้รับฝุ่นของสังกะสีจะเกิดอาการไข้ หนาวสั่น ปวดกล้ามเนื้อ อาเจียน เรียกว่า Zinc chills (ฐิติยา แซ่ปึง, 2551; มลิวรรณ บุญเสนอ, 2549; รพีพัฒน์ เกริกไกรวัล, 2543)

นอกจากโลหะหนักแล้วยังมีไอออนชนิดต่างๆ ได้แก่ ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ไนเตรท (NO_3^-) คลอไรด์ (Cl^-) แอมโมเนียม (NH_4^+) โซเดียม (Na^+) โพแทสเซียม (K^+) แคลเซียม (Ca^{2+}) และแมกนีเซียม (Mg^{2+}) ซึ่งหากมีอยู่ในบรรยากาศในปริมาณมากจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตทั้งมนุษย์ สัตว์ และพืช เช่น การลดจำนวนลง เป็นต้น (มงคล ราชะนาคร et al., 2550)

2.7 อุตสาหกรรมในพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี

2.7.1 อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

เครื่องปั้นดินเผาถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อและโดดเด่นของจังหวัดราชบุรี ซึ่งในอดีตจะเน้นผลิตภัณฑ์ประเภทโอ่งและไห ซึ่งได้รับความนิยมมากเนื่องจากโอ่งราชบุรีจะมีการเคลือบทั้งด้านในและด้านนอก ทำให้น้ำไม่รั่วซึม ทำความสะอาดง่าย แต่ในปัจจุบันโอ่งเริ่มได้รับความนิยมน้อยลง จึงมีการเปลี่ยนแปลงมาทำเป็นกระถางแดง กระถางเคลือบ มาเพิ่มเติมตามความ

ต้องการของตลาด โดยกระบวนการผลิตเครื่องปั้นดินเผา นั้นจะประกอบไปด้วยหลายขั้นตอน ตั้งแต่ขั้นตอนของการเตรียมดิน การหมักดิน การกวนและนวดดิน การปั้นขึ้นรูป การตากแห้ง เย็นลาย การเคลือบ และการเผา ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย และเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ ต้องใช้ผู้มีประสบการณ์และมีความชำนาญในการเผาเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งการเผานั้นจะต้องมีการใช้พื้นที่เป็นจำนวนมากและระยะเวลาการเผานานประมาณ 2 วัน ดังนั้นจึงมีวันที่ระบายออกจากเตาเผา (รูปที่ 5) สู้สิ่งแวดล้อมจำนวนมากซึ่งก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศตามมาได้ (ชัยศักดิ์ ชาตรีจันทร์สกุล, 2545.; วลัยพร เล็กมณี, 2547)



รูปที่ 5 เตาเผาและปล่องระบายมลพิษของโรงงานเครื่องปั้นดินเผา

2.7.2 อุตสาหกรรมอิฐมอญ

อิฐมอญเป็นอิฐรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีสีส้มสด โดยเป็นภูมิปัญญาของชาวมอญในการทำเครื่องปั้นดินเผาซึ่งถือได้ว่าเป็นอาชีพที่ชาวมอญมีความชำนาญมาก อิฐมอญนิยมนำมาใช้ในการก่อสร้างสิ่งปลูกสร้างต่างๆ มาตั้งแต่อดีตจะเห็นได้จากโครงสร้างของโบราณสถานต่างๆ ถึงแม้ว่าปัจจุบันจะได้รับความนิยมน้อยลงแต่ก็ยังมีการนำมาใช้ก่อสร้างอาคารบ้านเรือนอยู่เป็นจำนวนมากเนื่องจากอิฐมอญเป็นอิฐที่มีข้อดีหลายอย่างเช่น มีความแข็งแรงและทนทาน มีความทึบเสียงสูง ด้านทานต่อไฟไหม้สูง เก็บรักษาอุณหภูมิภายในตัวโครงสร้างได้ดี โดยในปัจจุบันอาชีพการทำอิฐมอญเริ่มน้อยลงเพราะระยะเวลาในการผลิตจนถึงจำหน่ายนาน

ประมาณ 1 เดือนและยังขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศอีกด้วยโดยเฉพาะช่วงฤดูฝนจะไม่สามารถทำอิฐได้ โดยกระบวนการผลิตอิฐมอญนั้นจะเริ่มตั้งแต่การเลือกดินที่เหมาะสมที่จะนำมาปั้นอิฐ การขุดและการย่ำดิน การขึ้นรูปซึ่งในอดีตจะขึ้นรูปโดยใช้แม่แบบโดยมีแรงงานคนเป็นคนขึ้นรูปแต่ในปัจจุบันมีเครื่องจักรมาช่วยในการขึ้นรูปแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือ การตากให้แห้ง ซึ่งขั้นตอนนี้จะใช้เวลา 7-8 วันขึ้นกับสภาพอากาศ การตากแต่งอิฐ และขั้นตอนสุดท้ายคือขั้นตอนของการเผาอิฐ ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเนื่องจากการเผาเพื่อให้ได้อิฐที่มีความแกร่งซึ่งการเผานั้นจะใช้ถ่านเป็นเชื้อเพลิง โดยนำอิฐมาเรียงเป็นชั้นก่อกให้เป็นช่องสี่เหลี่ยมและนำอิฐเข้าไปเรียงเป็นแถวๆ จากนั้นนำถ่านใส่ตรงกลาง โดยจะใช้ระยะเวลาในการเผานานประมาณ 7-10 วัน ดังนั้นสิ่งที่ตามมาคือควันไฟที่มาพร้อมกับขี้เถ้าถ่านที่ลอยออกสู่บรรยากาศ (รูปที่ 6) และนอกจากนี้ยังมีกลิ่นที่รุนแรงจึงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างผู้ประกอบการและชุมชนโดยรอบ (พงพันธ์ วรสุนทรโรสด & วรพงศ์ วรสุนทรโรสด, 2546; รณิดา สัมฤทธิ์โพธิ์, 2555; สุทัศน์ จันบัวลา, วิทวัส รัตนถาวร, & มานะ เอี่ยมบัว, 2556)



รูปที่ 6 การก่อเตาเผาอิฐมอญและการเผา

2.7.3 อุตสาหกรรมปูนขาว

การผลิตปูนขาวนั้นเป็นการนำหินปูนมาผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูง หินปูนเป็นหินตะกอนที่ประกอบด้วยสารแคลเซียมคาร์บอเนตหรือแมกนีเซียมคาร์บอเนต โดยจากข้อมูลวิทยาคินและลำดับชั้นหินของกรมทรัพยากรธรณีพบว่าหินที่พบในจังหวัดราชบุรีส่วนใหญ่เป็นหินตะกอน หินแปร และหินอัคนีซึ่งมีอายุตั้งแต่ยุคแคมเบรียนราว 570 ล้านปี โดยกระบวนการ

ผลิตนั้นจะเริ่มต้นด้วยการเตรียมหินปูนเข้าสู่เตาเผา (ดังรูป 7) โดยเริ่มต้นด้วยการขนหินเข้าไปเรียงในเตาซึ่งการเรียงนั้นจะเริ่มเรียงจากชั้นล่างได้เตาก่อนโดยใช้หินขนาดใหญ่จากนั้นจะเรียงสูงขึ้นเรื่อยๆโดยใช้หินที่มีขนาดลดหลั่นกันไปจนถึงปากเตา จากนั้นก็จะเริ่มขั้นตอนของการเผาโดยจะใช้เชื้อเพลิงคือ ถ่านหินและอาจจะมีการใช้ฟืนร่วมด้วย (นพดล ชีวะอิสระกุล, 2538)



รูปที่ 7 เตาเผาของอุตสาหกรรมปูนขาว

2.7.4 อุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูป

อุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูปเป็นอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีอยู่ในพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดราชบุรีซึ่งขั้นตอนการผลิตนั้นต้องเริ่มจากกระบวนการตรวจสอบคุณสมบัติของส่วนผสมต่างๆ ที่ใช้นำมาเป็นคอนกรีต ได้แก่ หิน ทราย จะต้องเลือกจากแหล่งที่มีคุณภาพ มีส่วนคละถูกต้องตามมาตรฐาน โดยนำมากองเก็บไว้โดยที่จะต้องไม่ให้เกิดการผสมกัน วัตถุประสงค์ดังกล่าวจะถูกลำเลียงเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป โดยเริ่มจาก การลำเลียงหิน ทราย ปูนซีเมนต์ และสารผสมอื่นๆ (ถ้ามี) เช่น เถ้าลอย ผ่านเครื่องซึ่งให้น้ำหนักถูกต้องตามที่กำหนดไว้ โดยในขั้นตอนนี้จะต้องคำนึงถึงสภาพความชื้นของหินและทรายด้วย เพราะหินและทรายอาจจะไม่อยู่ในสภาพที่ออกแบบไว้ อาจจะมี ความชื้น หรือแห้งมากเกินไป ซึ่งปัจจัยต่างๆนี้ จะต้องนำมาพิจารณาเพื่อปรับน้ำหนักหินทราย และน้ำให้ถูกต้องด้วย ส่วนน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีตจะผ่านเครื่องซึ่งหรือวัดปริมาตร แล้วนำเข้ามาผสมกันในเครื่องผสมคอนกรีต (ดังรูปที่ 8) ซึ่งจะต้องผสมตามเวลาที่กำหนด โดยต้องให้มีความเที่ยงตรงสม่ำเสมอ และรวดเร็ว คอนกรีตที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะถูกลำเลียงลงสู่รถผสมคอนกรีตเพื่อนำไปส่งยังหน่วยงานก่อสร้างหรือลำเลียงไปยังแม่แบบเพื่อขึ้นรูปเป็นวัสดุต่างๆ เช่น เส้าไฟฟ้า เป็นต้น ซึ่งปัญหาที่มักจะ

เกิดขึ้นจากการประกอบกิจการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จบ่อยๆ ได้แก่ เหตุเดือดร้อนรำคาญซึ่งมีผลกระทบต่อประชาชนและสภาพแวดล้อมจากฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในการขนส่งและลำเลียง วัสดุดิบ ปูนซีเมนต์ หิน ททราย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)



รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่เก็บและผสมคอนกรีตผสมเสร็จ
ที่มา: กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2549)

2.8 แบบจำลองสมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance Receptor Model หรือ CMB)

แบบจำลองสมดุลมวลเคมีเป็นแบบจำลองคุณภาพอากาศชนิดหนึ่งในกลุ่มแบบจำลองประเภทแหล่งรับ (Receptor model) ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดการแหล่งกำเนิดของปัญหามลพิษทางอากาศ ซึ่งแบบจำลองแหล่งรับนั้นจะใช้ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของก๊าซและอนุภาคที่ได้จากการวัดที่แหล่งกำเนิดและแหล่งผู้รับมลพิษ ซึ่งข้อมูลที่ได้นั้นจะช่วยในการบ่งชี้สัดส่วนของแหล่งกำเนิดของมลพิษที่ทำให้เกิดผลกระทบที่ผู้รับมลพิษ โดยใช้หลักการวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square) เพื่อหาสมดุลมวลเคมี (Coulter, 2004; Okamoto, Wangkiat, Pongkiatkul, Nakhwan, & Oanh, 2012) และนำมาหาสัดส่วนของแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งที่มีความสำคัญต่อแหล่งรับนั้นๆ (Bilkis, Swapan, & Philip, 2007) ดังสมการ

$$C_i = F_{i1}S_1 + F_{i2}S_2 + \dots + F_{ij}S_j \quad i=1\dots I, j=1\dots J \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

เมื่อ C_i = ความเข้มข้นขององค์ประกอบของสาร i ที่แหล่งรับ
 F_{ij} = สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของสาร i ในฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด j

- S_j = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิด j ที่แหล่งรับ
 i = จำนวนองค์ประกอบทางเคมี
 j = จำนวนแหล่งกำเนิด

เช่น สมมติว่าความเข้มข้นรวมของเหล็กที่ตรวจวัดได้ที่แหล่งรับมลพิษ ซึ่งพิจารณาออกได้เป็นผลรวมของการกระจายของอนุภาคเหล็กจากแหล่งกำเนิดต่างๆ (ปาจารย์ ทองสนิท & วนิดา จินาศาสตร์, 2548) ดังนี้

$$Fe_{total} = Fe_{soil} + Fe_{auto} + Fe_{coal} \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

- โดยที่
- Fe_{total} = ความเข้มข้นรวมของเหล็กที่แหล่งรับมลพิษ
 - Fe_{soil} = ความเข้มข้นของเหล็กที่ได้จากดิน
 - Fe_{auto} = ความเข้มข้นของเหล็กที่ได้จากเครื่องยนต์
 - Fe_{coal} = ความเข้มข้นของเหล็กที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหิน

จากสมการที่ 2.1 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสมการทั่วไปของความเข้มข้นองค์ประกอบทางเคมี i ได้ดังสมการที่ 2.3

$$C_i = \sum_{j=1}^m f_{ij} F_{ij} S_j + e_i \quad i=1,2,3,\dots,n \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

- เมื่อ
- f_{ij} = ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีอันเนื่องมาจากกระบวนการในบรรยากาศระหว่างแหล่งกำเนิดกับแหล่งรับ
 - e = ค่าคงที่ในสมการ

ซึ่ง f_{ij} จะสมมติให้มีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการสมมติให้ F_{ij} ไม่มีการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการแพร่กระจายในบรรยากาศระหว่างแหล่งกำเนิดกับแหล่งรับ ซึ่งสามารถเขียนสมการที่ 2.3 ใหม่ได้เป็น

$$C_i = \sum_{j=1}^m F_{ij} S_j + e_i \quad i=1,2,3,\dots,n \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

จากสมการที่ 2.4 ค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีแต่ละชนิดที่แหล่งรับจะเท่ากับผลบวกโดยตรงของการกระจายฝุ่นละอองจากแต่ละแหล่งกำเนิดที่มาสู่แหล่งรับนั้น ซึ่งทำให้สามารถ

หาค่า S_j ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการของแบบจำลองสมมูลมวลเคมีออกมาได้ แต่ในการตรวจวัดฝุ่นละอองในบรรยากาศจะทำการตรวจวัดด้วยจำนวนตัวอย่างที่มากเพราะฉะนั้นในแต่ละวันจะมีการกระจายของแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งไม่เท่ากัน ทำให้มีความจำเป็นที่ต้องเปลี่ยนรูปสมการที่ 2.4 ให้อยู่ในรูปทั่วไปสำหรับตัวอย่าง k จะได้เป็น

$$C_{ik} = \sum_{j=1}^m F_{ij} S_{jk} + e_i \quad i=1,2,3,\dots,n \quad \text{สมการที่ 2.5}$$

เมื่อ

- k = ลำดับที่ตัวอย่างฝุ่นละอองจากการตรวจวัด
 C_{ik} = ความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีที่ i ของตัวอย่างที่ k ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
 S_{jk} = ความเข้มข้นของฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดที่ j ของตัวอย่างที่ k ณ แหล่งรับ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดและแหล่งรับให้แบบจำลองสมมูลมวลเคมีจะนำสมการที่ 2.5 มาใช้ในการเริ่มต้นภายใต้สมมติฐานที่ว่าองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ จะไม่มีการทำปฏิกิริยาในอากาศที่ทำการศึกษา

2.8.1 ข้อกำหนดของแบบจำลองสมมูลมวลเคมี

ข้อกำหนดของแบบจำลองสมมูลมวลเคมี (Coulter, 2004; ปาจารย์ ทองสนธิ & วนิดา จินศาสตร์, 2548) คือ

- 1) ค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดจะต้องมีค่าคงที่ตลอดระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างทั้งที่แหล่งกำเนิดและในบรรยากาศ
- 2) องค์ประกอบทางเคมีที่ปล่อยออกมาจากแหล่งกำเนิดนั้นจะต้องไม่ทำปฏิกิริยากัน
- 3) แหล่งกำเนิดทุกแหล่งที่มีความสำคัญต่อแหล่งรับจะต้องนำมาพิจารณาและแต่ละแหล่งกำเนิดจะต้องมีองค์ประกอบทางเคมีที่มีลักษณะเด่น
- 4) องค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดนั้นๆจะต้องเป็นอิสระต่อกัน
- 5) จำนวนของแหล่งกำเนิดที่นำมาประเมินนั้นจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนขององค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์
- 6) ค่าความไม่แน่นอนของการตรวจวัดจะต้องมีลักษณะแบบสุ่ม ไม่มีสหสัมพันธ์และมีการแจกแจงแบบปกติ

2.8.2 ดัชนีที่ใช้อธิบายแบบจำลองสมมูลมวลเคมี

ดัชนีที่ใช้นั้นจะใช้ในการประเมินความมีเหตุผล (Validity) ของผลลัพธ์การประมาณสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด ผลลัพธ์และดัชนีที่ใช้อธิบายแบบจำลองสมมูลมวลเคมีมีดังนี้ (Wangkiat, Harvey, Garivait, & Okamoto, 2004; ปาจริย์ ทองสนิท & วนิดา จิน ศาสตร์, 2548)

1) สัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด (Source contribution estimate หรือ SCE) เป็นผลที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งค่า SCE ควรมีค่ามากกว่า 0 แต่ต้องไม่เกินค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง แต่ในบางครั้งการคำนวณโดยแบบจำลองอาจมีการประมาณสัดส่วนของแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งติดลบ (Negative SCE) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วไม่มีความหมาย และสามารถเกิดขึ้นได้เนื่องจากแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งอาจมีสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีที่คล้ายคลึงกันหรือเมื่อการกระจายของแหล่งกำเนิดมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

2) ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) เป็นค่าที่บอกถึงความแม่นยำของค่าสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด สัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิด และความคล้ายคลึงกัน (Collinearity) ระหว่างความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีของต่าง ๆ แหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งกำเนิด (Profiles) ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเป็นสิ่งที่บอกถึงค่าความไม่แน่นอนของข้อมูลที่ใส่เข้าไปในแบบจำลองและความคล้ายคลึงกันของสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิด โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานควรมีค่าน้อยกว่าค่าสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด

3) TSTAT เป็นอัตราส่วนระหว่างสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดกับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ค่า TSTAT ที่มีค่าสูงกว่า 2.0 แสดงให้เห็นว่าความแม่นยำของการทำนายสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดนั้นดีมาก ถ้าค่า TSTAT มีค่าน้อยกว่า 2.0 หมายความว่าผลการกระจายของแหล่งกำเนิดจะไม่แสดงถึงระดับที่จะเกิน 2 เท่าของค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานสำหรับค่า TSTAT ที่ต่ำจะเป็นผลให้สัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดที่คำนวณได้มาจากแหล่งกำเนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีคล้ายคลึงกัน

4) R-square เป็นค่าที่แสดงว่าสมการความเข้มข้นที่ได้จากการคำนวณอธิบายความเข้มข้นที่ได้จากการตรวจวัดที่แหล่งรับได้ดีเท่าใด ซึ่งสามารถหาได้จากการคำนวณค่าความถดถอยเชิงเส้นของค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้กับค่าความเข้มข้นที่คำนวณได้จากแบบจำลองสมมูลมวลเคมี ค่า R-square จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่าที่ได้มีน้อยกว่า 0.8 แสดงว่าการประมาณสัดส่วนของแหล่งกำเนิดจากสัดส่วนองค์ประกอบของแหล่งกำเนิดที่นำมาใช้สามารถที่อธิบายข้อมูลได้ไม่ดี

5) Chi- Square เป็นค่าที่ชี้ให้เห็นว่าผลบวกกำลังสองของค่าที่แตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีที่ได้จากการคำนวณและได้จากการตรวจวัด การชี้แจงน้ำหนักจะแปรผกผันกับกำลังสองของค่าความไม่แน่นอนของสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดและแหล่งรับสำหรับองค์ประกอบทางเคมีแต่ละตัว ในทางอุดมคติแล้วค่าที่ได้จากการคำนวณและที่ได้จากการตรวจวัดควรที่จะไม่มีความแตกต่างกันและ Chi- square จะต้องมามีค่าเท่ากับ 0 โดยถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 ถือว่าข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดจะเข้าได้กับสมการที่สร้างมาเป็นตัวแทน ถ้า Chi- square อยู่ระหว่าง 1-2 ถือว่ายังยอมรับได้ แต่ถ้า Chi- square มีค่ามากกว่า 4 แสดงว่าจำนวนธาตุใดธาตุหนึ่งหรือมากกว่านั้นอธิบายได้ไม่ตีจากการประเมินด้วยสัดส่วนของแหล่งกำเนิด

โดยสาเหตุที่ทำให้ค่า R-square และค่า Chi- square ได้ไม่ถึงค่าที่ต้องการนั้นอาจจะเป็นเพราะสาเหตุดังต่อไปนี้

- แหล่งกำเนิดที่นำมาใช้ในการคำนวณในแบบจำลองสมมูลมวลเคมีนั้นมีไม่เพียงพอ
- ส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดที่นำมาใช้ไม่ได้เป็นตัวแทนที่แท้จริงของแหล่งกำเนิดที่มีอยู่ในบริเวณนั้น
- ความแม่นยำของข้อมูลที่ตรวจวัดได้จากแหล่งกำเนิดและแหล่งรับมีค่าต่ำเกินไป
- ข้อมูลที่ได้จากแหล่งกำเนิดและแหล่งรับมีค่าไม่ถูกต้อง

6) Percent mass เป็นอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์ของผลบวกของค่าความเข้มข้นฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆ กับค่าความเข้มข้นของมวลทั้งหมดที่ตรวจวัดได้จริง ถ้า Percent mass มีค่าอยู่ระหว่าง 80-120 เปอร์เซ็นต์ก็ถือยอมรับได้

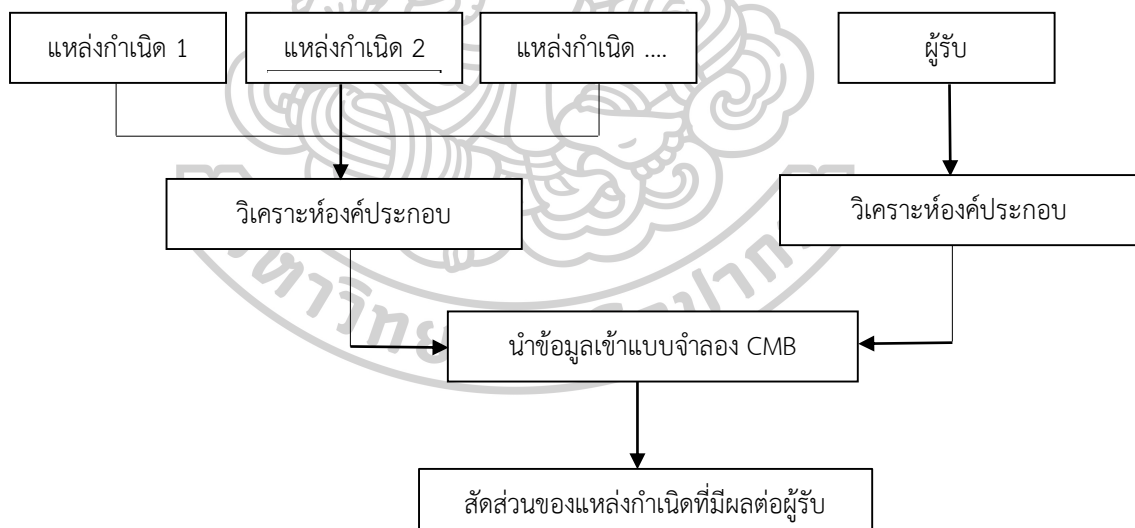
7) Uncertainty/Similarity cluster เป็นส่วนที่จะแสดงถึงผลของการวิเคราะห์เมื่อแหล่งกำเนิดมีความคล้ายคลึงกันในด้านขององค์ประกอบทางเคมี หมายถึงถ้ามีรหัสของแหล่งกำเนิด (รหัสนี้จะแทนแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งในแบบจำลองสมมูลมวลเคมีรุ่นที่ 8.2, CMB 8.2) แสดงอยู่ในส่วนนี้จะทำให้การทำนายของแบบจำลองสมมูลมวลเคมีนั้นค่อนข้างที่จะเบี่ยงเบนออกจากความเป็นจริงซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดกับแหล่งกำเนิดที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่ใกล้เคียงกัน เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นจากการเผาไหม้ของชีวมวลและไอเสียจากยานพาหนะ เป็นต้น หรืออาจเป็นเพราะมาจากค่าความไม่แน่นอนของการตรวจวัดหรือค่าความไม่แน่นอนของความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีจากแหล่งกำเนิดนั้นสูงมาก

8) C/M ratio เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าความเข้มข้นองค์ประกอบทางเคมีที่คำนวณได้กับค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ในบรรยากาศ พร้อมกับการคำนวณค่า Standard error ด้วย ซึ่งถ้าแบบจำลองคำนวณความถูกต้องได้ดีที่จะอธิบายความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ค่านี้นี้ควรมีค่าเท่ากับ 1.00

9) R/U ratio เป็นอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างระหว่างค่าความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีที่คำนวณได้และที่ตรวจวัดได้กับค่าความไม่แน่นอนขององค์ประกอบทางเคมีชนิดนั้น ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าต่ำกว่า -2.0 แสดงว่าสมการการกระจายแหล่งกำเนิดไปสู่องค์ประกอบทางเคมีชนิดนี้มีน้อยเกินไปหรืออาจจะขาดแหล่งกำเนิดที่สำคัญไป แต่ถ้าอัตราส่วนมีค่าเกิน 2.0 แสดงว่าการคำนวณของแบบจำลองสมดุลมวลเคมีจะเน้นไปที่องค์ประกอบทางเคมีนั้นมากเกินไป

2.8.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของแบบจำลองสมดุลมวลเคมี

ขั้นตอนการดำเนินงานของแบบจำลองสมดุลมวลเคมีแบ่งขั้นตอนได้ดังนี้ คือ ขั้นตอนแรกทำการเก็บตัวอย่างที่แหล่งกำเนิดมลพิษทุกแหล่งกำเนิดที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อผู้รับพร้อมกับทำการเก็บตัวอย่างที่ผู้รับมลพิษ ขั้นตอนต่อไปคือต้องนำตัวอย่างทั้งหมดมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี (เช่น ธาตุโลหะ) เมื่อได้ข้อมูลวิเคราะห์ได้แล้วนำข้อมูลเข้าแบบจำลองสมดุลมวลเคมีโดยที่แบบจำลองจะคำนวณออกมาเป็นสัดส่วนที่เรียกว่า สัดส่วนของแหล่งกำเนิดที่มีผลต่อผู้รับ ดังรูปที่ 9 โดยที่ข้อมูลองค์ประกอบที่แหล่งกำเนิดอาจจะใช้ผลจากการศึกษาของงานวิจัยอื่นได้



รูปที่ 9 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงานของแบบจำลองสมดุลมวลเคมี

2.9 แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

แบบจำลอง AERMOD นั้นเป็นแบบจำลองการแพร่กระจายของสารมลพิษ (Dispersion model) ที่พัฒนาโดยสมาคมอุตุนิยมวิทยาแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (American Meteorological Society หรือ AMS) และสถาบันคุ้มครองสิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. Environmental

Protection Agency หรือ U.S. EPA) นำมาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมแบบจำลอง ISCST (Industrial Sources Complex Short Term Model) (Chusai, Manomaiphiboon, Saiyakitpanich, & Thepanondh, 2012; U.S. EPA, 2004) โดย วรารุช เสือดี (2550) ได้กล่าวถึงหลักการทั่วไปของแบบจำลอง AERMOD ว่าอาศัยความรู้ในเรื่องของ Planetary Boundary Layer (PBL) ซึ่งก็คือ ชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลกซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากผิวโลกเป็นหลัก โดยในกลางวันจะมีช่วงตั้งแต่ 1-2 กิโลเมตร ในช่วงกลางคืนประมาณ 100 เมตร ซึ่งจะถูกแบ่งออกเป็น Convective Boundary Layer (CBL) เป็นชั้นที่อากาศเกิดการเคลื่อนที่ของมวลอากาศเนื่องมาจากการพาความร้อน (Sensible Heat Flux) และ Stable Boundary Layer (SBL) เป็นชั้นบรรยากาศที่ไม่ได้รับอิทธิพลอันเนื่องมาจากการพาความร้อนแต่จะได้รับอิทธิพลมาจากแรงเสียดทานจากผิวโลก โดยใน SBL จะสมมติว่าการแพร่กระจายความเข้มข้นของสารมลพิษเป็นแบบ Gaussian ทั้งในแนวดิ่งและในแนวราบ ส่วนใน CBL นั้นจะมีการแพร่กระจายความเข้มข้นในแนวราบแบบ Gaussian แต่ในแนวดิ่งจะมีการแพร่กระจายแบบ Bi-Gaussian Probability Density Function โดยที่แบบจำลอง AERMOD จะสามารถทำนายความเข้มข้นได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะทางไม่เกิน 50 กิโลเมตรจากแหล่งกำเนิดสารมลพิษ (Khamyingkert & Thepanondh, 2016)

2.9.1 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

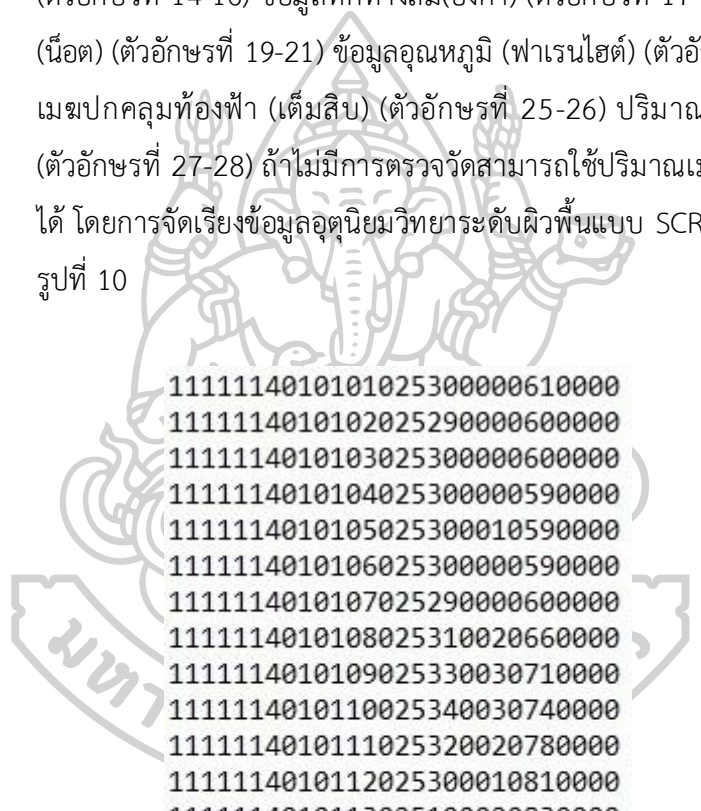
ข้อมูลที่ต้องเตรียมเพื่อนำเข้าแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD ประกอบด้วย ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ได้จากการเตรียมโดยโปรแกรมย่อย AERMET ข้อมูลความสูงของพื้นที่ที่ได้จากการเตรียมโดยโปรแกรมย่อย AERMAP และข้อมูลแหล่งกำเนิดของสารมลพิษทางอากาศ (วรารุช เสือดี, 2551) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.9.1.1 ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET

ข้อมูลพื้นฐานที่ต้องนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET คือ

- 1) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น (Surface data) ซึ่งได้แก่ ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind Speed and Direction) อุณหภูมิบรรยากาศ (Ambient Temperature) ปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud Cover) ความสูงของฐานเมฆ (Ceiling Height) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) และความกดอากาศ (Air Pressure) ซึ่งต้องเป็นข้อมูลตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นรายชั่วโมง โดยสามารถดึงข้อมูลจากแฟ้มข้อมูลดิบที่บันทึกจากการตรวจวัดได้ในหลายรูปแบบ เช่น MET-144 Format CD-144 หรือ SCRAM Format และ SAMSON Format ซึ่งในประเทศไทยเป็นการนำข้อมูลที่จัดเรียงอยู่ในรูปแบบที่โปรแกรมย่อย AERMET สามารถนำไปประมวลผลได้ โดยรูปแบบที่ง่ายที่สุดและเหมาะสมที่สุดคือ การจัดเรียงในรูปแบบ CD-144 หรือ SCRAM Format

การจัดเรียงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในระดับผิวพื้นแบบ SCRAM Format เป็นการจัดเรียงข้อมูลรายชั่วโมง โดยชั่วโมงที่ 1 ของวันที่ 1 เดือนมกราคมของปีนั้น ข้อมูลมาใช้ในการศึกษาจะเป็นข้อมูลแถวแรกและแถวสุดท้ายจะเป็นชั่วโมงสุดท้ายของเดือนธันวาคมของปีนั้น ซึ่งแต่ละแถวจะมี ข้อมูล 28 ตัวอักษร ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลหมายเลขประจำสถานีอุตุนิยมวิทยา (ตัวอักษรที่ 1-5) ข้อมูลปีที่เลือกใช้ข้อมูล เป็นคริสต์ศักราช (ตัวอักษรที่ 6-7) ข้อมูลเดือน (ตัวอักษรที่ 8-9) ข้อมูลวัน (ตัวอักษรที่ 10-11) ข้อมูลชั่วโมงที่ (ตัวอักษรที่ 12-13) ข้อมูลความสูงฐานเมฆ(ฟุต) (ตัวอักษรที่ 14-16) ข้อมูลทิศทางลม(องศา) (ตัวอักษรที่ 17-18) ข้อมูลความเร็วลม (น็อต) (ตัวอักษรที่ 19-21) ข้อมูลอุณหภูมิ (ฟาเรนไฮต์) (ตัวอักษรที่ 22-24) ปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้า (เต็มสิบ) (ตัวอักษรที่ 25-26) ปริมาณเมฆทึบแสง (เต็มสิบ) (ตัวอักษรที่ 27-28) ถ้าไม่มีการตรวจวัดสามารถใช้ปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้าแทนได้ โดยการจัดเรียงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในระดับผิวพื้นแบบ SCRAM Format แสดง ดังรูปที่ 10



```

1111114010101025300000610000
1111114010102025290000600000
1111114010103025300000600000
1111114010104025300000590000
1111114010105025300010590000
1111114010106025300000590000
1111114010107025290000600000
1111114010108025310020660000
1111114010109025330030710000
1111114010110025340030740000
1111114010111025320020780000
1111114010112025300010810000
1111114010113025100020830000
1111114010114025100030840101
1111114010115025350020820303
1111114010116025000020800404
1111114010117025100000770303
1111114010118025100000730101
1111114010119025350000690000

```

รูปที่ 10 การจัดเรียงข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นตามรูปแบบ SCRAM format

2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบน (Upper air data) โดยเป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ตรวจวัดได้ตั้งแต่ระดับ 100 เมตร จนถึง 5,000 เมตร ประกอบด้วย

ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind Speed and Direction) อุณหภูมิ (Ambient Temperature) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความกดอากาศ (Air Pressure) และความสูงเหนือระดับน้ำทะเล ซึ่งโปรแกรมย่อย AERMET สามารถคัดแยกหรือดึงข้อมูลที่ต้องการจากแฟ้มข้อมูลที่บันทึกจากการตรวจวัดแบบมาตรฐานของศูนย์ข้อมูลด้านภูมิอากาศแห่งชาติประเทศสหรัฐอเมริกา หรือ National Climatic Data Center (NCDC) หลายรูปแบบรวมถึงแบบ TD-6201 Format CD-144 Format และ FSL Format (Forecast System Laboratory)

การจัดเรียงข้อมูลอุตุนิยมวิทยากระดับชั้นบนได้ปรับรูปแบบจากแบบ FSL Format โดยประกอบด้วยการจัดเรียงข้อมูลทั้งหมด 365 วัน แต่ละวันจะใช้ข้อมูลจนถึงระดับความสูงประมาณ 5000 มิลลิบาร์ โดยแถวที่ 1 คือ ปีเดือนวันชั่วโมง และจำนวนระดับความสูงที่ทำการตรวจวัด สำหรับ แถวที่ 2-6 จะเป็นข้อมูลอากาศตามระดับความสูงจำนวน 6 คอลัมน์ ประกอบด้วย ความดันที่ระดับมาตรฐาน (มิลลิบาร์) ความสูงที่ระดับความดันมาตรฐาน (เมตร) อุณหภูมิที่ระดับความดันมาตรฐาน (เซลเซียส) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (เซลเซียส) ทิศทางลมที่ระดับความดันมาตรฐาน (องศา) และความเร็วลมที่ระดับความดันมาตรฐาน (น็อต) แสดงดังรูปที่

11

14010107	5				
10000	131	212	212	50	7
8500	1524	184	184	110	3
7000	3169	116	116	80	14
6000	4438	17	17	80	16
5000	5884	-63	-63	130	8
14010207	5				
10000	118	219	219	70	5
8500	1524	196	196	80	8
7000	3174	118	118	150	6
6000	4438	47	47	110	8
5000	5903	-49	-49	160	8
14010307	5				
10000	116	221	221	10	1
8500	1528	202	202	260	2
7000	3177	108	108	70	5
6000	4445	30	30	130	11
5000	5899	-57	-57	80	7

รูปที่ 11 การจัดเรียงข้อมูลอุตุนิยมวิทยากระดับชั้นบนตามรูปแบบ FSL Format

3) ค่าปัจจัยลักษณะพื้นผิว เป็นกลไกการแพร่กระจายของสารมลพิษทางอากาศมักเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศที่อยู่ติดกับผิวโลก (Planetary Boundary Layer) เหนือผิวโลกไปประมาณ 2-3 กิโลเมตรโดยบรรยากาศในชั้นนี้จะปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของมวล การถ่ายเทมวลที่ได้รับอิทธิพลจากพื้นผิวโลก ปรากฏการณ์ดังกล่าวก่อให้เกิดความปั่นป่วน (Turbulence) ภายในชั้นบรรยากาศนี้มากกว่าชั้นที่สูงขึ้นไปชั้นบรรยากาศพื้นผิวจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เนื่องจากคุณสมบัติของผิวพื้นและทางอุณหภูมิตามความสูง เช่น อุณหภูมิ เป็นต้น

ค่าปัจจัยลักษณะพื้นผิวสำหรับการคำนวณค่าพารามิเตอร์ของอากาศที่ติดกับพื้นผิวโลกโดยการประมวลผลด้วยโปรแกรมย่อย AERMET มี 3 ค่า ได้แก่ ค่า Albedo ค่า Bowen Ratio และค่า Surface Roughness Length ซึ่งในการหาค่าปัจจัยลักษณะพื้นผิวจะแบ่งตามลักษณะการใช้ที่ดินตามฤดูกาล ดังนี้

3.1) Albedo เป็นความสามารถในการสะท้อนของการแผ่รังสี (Solar radiation) จากบริเวณพื้นดินกลับสู่บรรยากาศโดยไม่มีการดูดซับ มีค่าระหว่าง 0.1 และสำหรับพื้นที่ที่เป็นป่าไม้ผลัดใบถึง 0.9 สำหรับช่วงหิมะตกใหม่ ๆ โดยค่า Albedo ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า Albedo แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล ในสภาวะที่อากาศแห้ง

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล	0.12	0.10	0.14	0.20
ป่าไม้ผลัดใบ	0.12	0.12	0.12	0.50
ป่าสน	0.12	0.12	0.12	0.35
หนองน้ำ, บึง	0.12	0.14	0.16	0.30
พื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว	0.14	0.20	0.18	0.60
ทุ่งหญ้า	0.18	0.18	0.20	0.60
พื้นที่เขตเมือง	0.14	0.16	0.18	0.35
พื้นที่ทะเลทราย	0.30	0.28	0.28	0.45

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2550)

3.2) Bowen Ratio เป็นอัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Sensible Heat Flux) ต่อการเปลี่ยนแปลงของความร้อนแฝง (Latent Heat Flux) ใช้สำหรับพิจารณาพารามิเตอร์ในสภาวะที่เกิดการพา (Convective Condition) ในบรรยากาศใกล้พื้นผิวโลกเป็นดัชนีของความชื้นที่พื้นผิว ณ เวลาตอนเที่ยงวัน Bowen Ratio มีช่วงอยู่ระหว่าง 0.1 ที่เหนือผิวน้ำถึง 10.0 ที่เหนือทะเลทราย โดยค่า Bowen Ratio ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่า Bowen Ratio แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล ในสภาวะที่มี
ความชื้นปกติ

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล	0.1	0.1	0.1	1.5
ป่าไม้ผลัดใบ	0.7	0.3	1.0	1.5
ป่าสน	0.7	0.3	0.8	1.5
หนองน้ำ, บึง	0.1	0.1	0.1	1.5
พื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว	0.3	0.5	0.7	1.5
ทุ่งหญ้า	0.4	0.8	1.0	1.5
พื้นที่เขตเมือง	1.0	2.0	2.0	1.5
พื้นที่ทะเลทราย	3.0	4.0	6.0	6.0

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2550)

3.3) Surface Roughness Length ตัวแปรที่ใช้อธิบายลักษณะพื้นผิวที่มีผลต่อความเร็วลมในแนวระดับซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงน้อยกว่า 0.001 เมตร เหนือผิวน้ำที่สงบถึง 1 เมตร หรือมากกว่าที่เหนือพื้นที่ป่าหรือพื้นที่เขตเมือง โดยค่า Surface Roughness Length ตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาลแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า Surface Roughness Length แบ่งตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและฤดูกาล

การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land-use)	ฤดูใบไม้ผลิ (Spring)	ฤดูร้อน (Summer)	ฤดูใบไม้ร่วง (Autumn)	ฤดูหนาว (Winter)
แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำทะเล	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
ป่าไม้ผลัดใบ	1.00	1.30	0.80	0.50
ป่าสน	1.30	1.30	1.30	1.30
หนองน้ำ, บึง	0.20	0.20	0.20	0.05
พื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว	0.03	0.20	0.05	0.01
ทุ่งหญ้า	0.05	0.10	0.01	0.001
พื้นที่เขตเมือง	1.00	1.00	1.00	1.00
พื้นที่ทะเลทราย	0.30	0.30	0.30	1.50

ที่มา: วราวุธ เสือดี (2550)

ซึ่งสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2556) ได้กำหนดเกณฑ์ที่ใช้ในการหาค่าปัจจัยลักษณะพื้นผิวโดยพิจารณาจากการใช้ประโยชน์ที่ดินซึ่งใช้แผนที่สภาพการใช้ที่ดินที่ละเอียดที่สุดของกรมพัฒนาที่ดินเวอร์ชันล่าสุด และกำหนดสถานีตรวจวัดข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยเป็นจุดศูนย์กลางและเลือกค่าอย่างเหมาะสมโดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

ค่า Albedo ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเลขคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนัก ภายในพื้นที่ 10 กิโลเมตร x 10 กิโลเมตร

ค่า Bowen Ratio ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบไม่ถ่วงน้ำหนักภายในพื้นที่ 10 กิโลเมตร x 10 กิโลเมตร

ค่า Surface Roughness Length ให้ใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิตแบบถ่วงน้ำหนักด้วยระยะทางผกผันในรัศมี 3 กิโลเมตร แบ่งออกเป็น 8 ส่วน (แต่ละส่วนไม่จำเป็นต้องเท่ากัน) และ ตัวอย่างการกำหนดลักษณะพื้นผิว

2.9.1.2 ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรมย่อย AERMAP

ข้อมูลนำเข้าสำหรับโปรแกรมย่อย AERMAP ประกอบไปด้วยข้อมูลลักษณะความสูงภูมิประเทศ เช่น ฐานข้อมูลลักษณะความสูง GTOPO30 ฐานข้อมูลลักษณะความสูง SRTM เป็นต้น ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ฟรีจาก <http://www.webgis.com> จากหน่วยงานของ U.S. Geological Survey (USGS)

2.9.1.3 ข้อมูลแหล่งกำเนิดของสารมลพิษทางอากาศ

ข้อมูลแหล่งกำเนิดนั้นประกอบด้วย 1) พิกัดแหล่งกำเนิดตามระบบในหน่วย UTM 2) ความสูงแหล่งกำเนิดในหน่วยเมตร 3) เส้นผ่าศูนย์กลางปากปล่องแหล่งกำเนิดในหน่วยเมตร 4) อุณหภูมิก๊าซที่ไหลผ่านปากปล่องแหล่งกำเนิดในหน่วยเคลวิน 5) ความเร็วก๊าซที่ไหลผ่านปากปล่องแหล่งกำเนิดในหน่วยเมตรต่อวินาที และ 6) อัตราการปล่อยสารมลพิษทางอากาศในหน่วยกรัมต่อวินาที

2.9.2 โครงสร้างการทำงานของแบบจำลอง AERMOD

กระบวนการในการทำงานจะเริ่มจากการเตรียมข้อมูลสำหรับนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET ที่ใช้ในการเตรียมข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและ AERMAP ที่ใช้ในการเตรียมข้อมูลภูมิประเทศซึ่งข้อมูลที่ผ่านการเตรียมจากโปรแกรมย่อยทั้งสองแล้วจะอยู่ในรูปแบบที่แบบจำลอง AERMOD ต้องการ จากนั้นนำเข้าข้อมูลของแหล่งกำเนิดสารมลพิษนั้น ซึ่งสามารถสรุปแผนผังโครงสร้างการทำงานได้ดังรูปที่ 12 วราวุธ เสือดี (2551) กล่าวว่า แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD มีระบบการทำงานที่สำคัญ 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

2.9.2.1 แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

AERMOD เป็นชุดคำสั่งหลักในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ซึ่งแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD จะทำการคำนวณหาค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในพื้นที่ศึกษาทั้งในส่วนของตำแหน่งของผู้ที่ได้รับผลกระทบ และตำแหน่งของผู้ก่อให้เกิดความเข้มข้นสูงสุดโดยอาศัยข้อมูลจากโปรแกรมย่อย AERMAP และตัวแปรต่าง ๆ ในชั้นบรรยากาศจากโปรแกรมย่อย AERMET

2.9.2.2 โปรแกรมย่อย AERMAP

AERMAP เป็นชุดคำสั่งสนับสนุน ซึ่งจะทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลความสูงพื้นที่ โดยจะประมวลผลความสูงพื้นที่ของทุกตำแหน่งที่ต้องการคำนวณความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศรวมทั้งทุกตำแหน่งของแหล่งกำเนิด และทุกตำแหน่งของผู้ที่ได้รับผลกระทบสำหรับพื้นที่ซับซ้อนหรือ Complex Terrain นั้น โปรแกรมย่อย AERMAP จะทำหน้าที่ประเมินกลไกที่เปลี่ยนแปลงไปของการแพร่กระจายบนพื้นที่ซับซ้อนนั้น โดยจะอาศัยข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่โดยรอบซึ่งจะประมวลผลหาความสูงของพื้นที่ที่มีผลต่อการแพร่กระจายของสารมลพิษที่มากที่สุดในแต่ละจุดที่ต้องการคำนวณหาความเข้มข้นหรือ Terrain Height Scale โปรแกรมย่อย AERMAP จะทำหน้าที่ในการคำนวณหาระดับความสูงโดยการใช้ข้อมูลความสูงต่ำของพื้นที่ ซึ่งมีอยู่

หลายรูปแบบ เช่น ฐานข้อมูลลักษณะความสูง GTOPO30 ฐานข้อมูลลักษณะความสูง SRTM เป็นต้น เพื่อทำการประมวลผลในการจัดเตรียมข้อมูลความสูงของพื้นที่และทำการประมวลค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

2.9.2.3 โปรแกรมย่อย AERMET

AERMET เป็นชุดคำสั่งสนับสนุนในการคำนวณตัวแปรต่างๆ ของชั้นบรรยากาศที่แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD ต้องการโดยจะทำหน้าที่ในการประมวลผลข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเพื่อใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของสารมลพิษ ณ ตำแหน่งต่างๆ โปรแกรมย่อย AERMET จะทำการประมวลผลข้อมูลอุตุนิยมวิทยาให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำเข้าแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD ได้ซึ่งข้อมูลสำคัญที่ใช้ในการประมวลผลด้วยโปรแกรมย่อย AERMET จะประกอบไปด้วยข้อมูลอย่างน้อย 2 ชุด ได้แก่ ชุดแรกข้อมูลการตรวจวัดทางอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นเป็นข้อมูลรายชั่วโมงและชุดที่สองข้อมูลการตรวจวัดอากาศชั้นบน ซึ่งกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.9.1.1

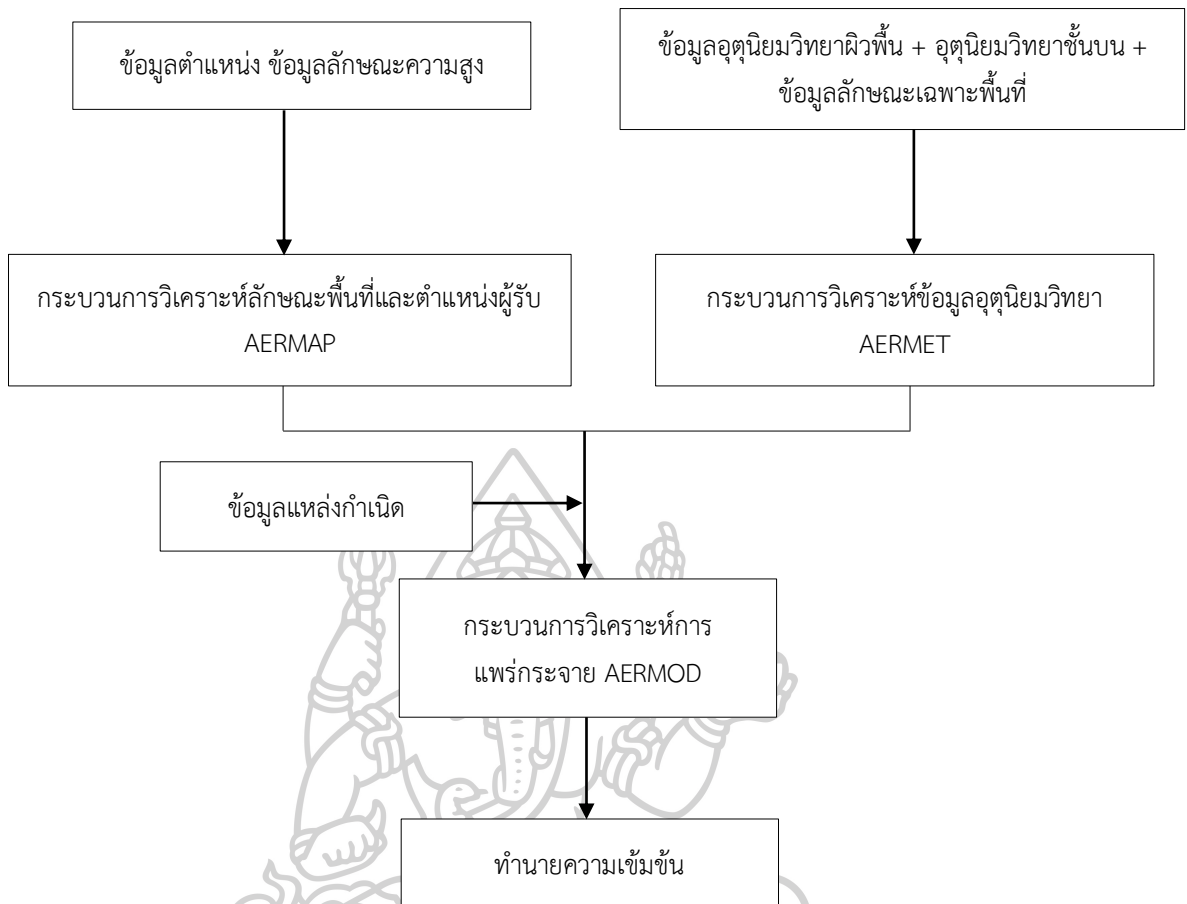
ขั้นตอนการเตรียมข้อมูลโดยโปรแกรมย่อย AERMET หลังจากได้ทำการเตรียมข้อมูลอุตุนิยมวิทยากระดับผิวพื้นและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบนตามแบบที่โปรแกรมย่อย AERMET ต้องการขั้นตอนต่อไปจะเข้าสู่กระบวนการประมวลผลด้วยโปรแกรมย่อย AERMET ซึ่งมีการทำงาน 3 ขั้นตอน ประกอบไปด้วย

1) การดึงข้อมูล (Extract) โดยที่โปรแกรมย่อย AERMET จะดึงข้อมูลจากชุดของอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นรายชั่วโมง และข้อมูลการตรวจวัดอากาศชั้นบนพร้อมกับการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเพื่อให้ได้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่สามารถทำงานในขั้นตอนต่อไปได้ สำหรับข้อมูลการตรวจวัดอากาศชั้นบนจำเป็นต้องจัดเรียงรูปแบบของข้อมูลให้อยู่ในรูปของ FSL Format (Forecast System Laboratory) ในกรณีการใช้ข้อมูลการตรวจวัดอากาศชั้นบนของกรมอุตุนิยมวิทยาจะไม่ผ่านกระบวนการดึงข้อมูลนี้เนื่องจากจำนวนของข้อมูลการตรวจวัดอากาศชั้นบนในประเทศไทยมีจำนวนข้อมูลน้อยจนไม่สามารถผ่านขั้นตอนการดึงข้อมูลได้

2) การรวมและการจัดเรียงข้อมูล (Merge) จากชุดข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นรายชั่วโมงซึ่งผ่านกระบวนการดึงข้อมูลและข้อมูลตรวจวัดอากาศชั้นบนที่ได้ผ่านการจัดเรียงในรูปแบบ FSL Format (Forecast System Laboratory) เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมย่อย AERMET จะทำการรวมข้อมูลทั้งสองชุดเขียนลงบนแฟ้มข้อมูลชั่วคราว (Merge File) โดยจะมีรายละเอียดของข้อมูลเป็นรายชั่วโมงสำหรับการคำนวณพารามิเตอร์ต่างๆ ของลักษณะบรรยากาศที่ติดกับผิวโลก

3) การคำนวณพารามิเตอร์ของลักษณะบรรยากาศที่ติดกับผิวโลก โปรแกรมย่อย AERMET จะคำนวณดัชนีหรือค่าบ่งชี้สำหรับลักษณะบรรยากาศที่ติดกับผิวโลก (Boundary Layer Parameter) จาก Merge File และทำการสร้างไฟล์ข้อมูลที่สำคัญสำหรับการประมวลผลด้วย แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD 2 ชุด ประกอบไปด้วย ชุดที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของอากาศระดับผิวพื้นหรือ Surface File เช่น ความเร็วลมและทิศทางลม (Wind Speed and Direction) อุณหภูมิ (Ambient Temperature) ปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud Cover) และความสูงฐานเมฆ (Ceiling Height) และข้อมูลชุดที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของอากาศชั้นบนหรือ Profile File ซึ่งประกอบด้วย ความดันที่ระดับมาตรฐาน ความสูงที่ระดับความดันมาตรฐาน อุณหภูมิที่ระดับความดันมาตรฐาน อุณหภูมิ จุดน้ำค้าง ทิศทางลมที่ระดับความดันมาตรฐาน และความเร็วลมที่ระดับความดันมาตรฐาน

สิ่งสำคัญในการคำนวณพารามิเตอร์ของลักษณะบรรยากาศที่ติดกับผิวโลก (Boundary Layer Parameter) ในขั้นตอนที่ 3 คือ ตัวแปรที่ใช้อธิบายลักษณะพื้นผิวที่มีผลต่อความเร็วลมในแนวระดับหรือ Surface Roughness Length สัดส่วนของความร้อนแฝงต่อความร้อนที่ใช้ในการระเหยของน้ำ หรือ Bowen Ratio และความสามารถในการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ของพื้นผิว หรือ Albedo ในการพิจารณาหาค่าปัจจัยลักษณะพื้นผิวดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดินและ ฤดูกาล (กนกพร ศิลาดี, 2552)



รูปที่ 12 โครงสร้างการทำงานของแบบจำลอง AERMOD

ที่มา: ดัดแปลงจาก วรารุช เสือดี (2550)

2.10 เปรียบเทียบแบบจำลอง CMB และแบบจำลอง AERMOD ในการประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่น

การประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นนั้นสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้แบบจำลอง CMB หรือการใช้แบบจำลอง AERMOD ซึ่งแต่ละแบบจำลองมีความแตกต่างกันออกไปทั้งในเรื่องของข้อมูลที่ใช้ในการนำเข้าการเตรียมข้อมูล หรือการวิเคราะห์ข้อมูล ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบข้อมูลในการประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นด้วยแบบจำลอง 2 ประเภท

ประเด็นเปรียบเทียบ	แบบจำลอง CMB	แบบจำลอง AERMOD
ข้อมูลแหล่งกำเนิด	ใช้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีที่มีอยู่ในฝุ่นที่อยู่ในลักษณะสัดส่วนน้ำหนักองค์ประกอบทางเคมีต่อน้ำหนักฝุ่น เช่น $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ เป็นต้น	ใช้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ในลักษณะความเข้มข้นขององค์ประกอบที่ระบายออกในหน่วยเวลา เช่น g/s เป็นต้น
ข้อมูลผู้รับมลพิษ	ต้องการข้อมูลที่อยู่ในลักษณะเดียวกับข้อมูลที่แหล่งกำเนิด แต่เป็นข้อมูลสำหรับผู้รับมลพิษ	ต้องการเพียงข้อมูลพิกัดทางภูมิศาสตร์ของตำแหน่งผู้รับมลพิษ (Discrete receptor)
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา	ไม่ต้องใช้	ต้องเตรียมข้อมูล อุตุนิยมวิทยา ผิวน้ำ อุตุนิยมวิทยาชั้นบน และค่าลักษณะเฉพาะพื้นที่ โดยผ่านโปรแกรมย่อย AERMET
ข้อมูลภูมิประเทศ	ไม่ต้องใช้	ต้องเตรียมพิกัดอ้างอิงของแหล่งกำเนิด ตำแหน่งผู้ได้รับผลกระทบ และข้อมูลลักษณะความสูง โดยผ่านโปรแกรมย่อย AERMAP
การวิเคราะห์ข้อมูล	ใช้หลักการวิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการสร้างสมการของแบบจำลองสมดุลมวลเคมี	ใช้สมการพื้นฐานทางคณิตศาสตร์แบบ Gaussian เพื่อคำนวณการแพร่กระจายมลพิษ

2.11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธิดารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์ (2549) ได้ศึกษาสัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในจังหวัดสมุทรปราการ โดยได้ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 4 จุด โดยใช้เครื่อง Mini Volume Air Sampler ระยะเวลาการตรวจวัดแบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงฤดูแล้ง และช่วงฤดูฝน ผลการศึกษาช่วงฤดูแล้งบริเวณศูนย์ฟีนฟูอาซีฟและสถานสงเคราะห์คนพิการพระประแดงพบโลหะเด่น

คือ Fe S Si Cl และ K ไอออนเด่น คือ SO_4^{2-} NO_3^- K^+ และ NH_4^+ บริเวณโรงเรียนวัดกิ่งแก้วพบโลหะที่เป็นลักษณะเด่นคือ S Fe Si และ K ไอออนเด่น คือ SO_4^{2-} NO_3^- Cl^- K^+ และ NH_4^+ บริเวณโรงเรียนปากคลองมอญพบโลหะเด่นคือ S และ Si ไอออนเด่น คือ SO_4^{2-} NO_3^- NH_4^+ Cl^- และ K^+ และบริเวณโรงเรียนคลองเจริญราษฎร์พบโลหะเด่นคือ S Fe Si และ K ไอออนเด่น คือ SO_4^{2-} NO_3^- Cl^- K^+ และ NH_4^+ ส่วนช่วงฤดูฝนบริเวณศูนย์ฟื้นฟูอาชีพและสถานสงเคราะห์คนพิการพระประแดงพบโลหะเด่นคือ Fe Cr Ni S Cl Si และ K ไอออนเด่น คือ SO_4^{2-} บริเวณโรงเรียนวัดกิ่งแก้วพบโลหะเด่นคือ Si S และ Cl ไอออนเด่น คือ SO_4^{2-} Cl^- และ Na^+ บริเวณโรงเรียนปากคลองมอญพบโลหะเด่นคือ Fe Si และ Cl ไอออนเด่น คือ Na^+ และบริเวณโรงเรียนคลองเจริญราษฎร์พบโลหะเด่นคือ Fe Cl Si S และ Cr ไอออนเด่น คือ SO_4^{2-} และ Cl^- ส่วนผลการประเมินแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง FA-MR และแบบจำลอง CMB ซึ่งผลการประเมินโดยแบบจำลอง CMB พบว่าแหล่งกำเนิดฝุ่นมาจากมาจากฝุ่นถนนร้อยละ 0-25.0 ฝุ่นจากไอเสียรถยนต์ดีเซลเบาร้อยละ 0-12.1 ฝุ่นจากไอเสียรถจักรยานยนต์ 4 จังหวะร้อยละ 3.3-14.3 ฝุ่นจากการเผาขยะร้อยละ 0-13.6 ฝุ่นจากการเผาชีวมวลร้อยละ 0-18.9 ฝุ่นจากหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 0-29.0 ฝุ่นจากหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 0-17.3 ฝุ่นจากหม้อไอน้ำที่ใช้ชีเลื้อยเป็นเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรมร้อยละ 0-4.7 ฝุ่นจากอุตสาหกรรมไม้ร้อยละ 0-22.9 ฝุ่นจากอุตสาหกรรมเซรามิกร้อยละ 7.1-15.4 ฝุ่นจากอุตสาหกรรมเหล็กร้อยละ 0-18.5 และละอองไอทะเลร้อยละ 2.8-4.7

Wangkiat, Harvey, Garivait, et al. (2004) ได้ประยุกต์แบบจำลอง CMB รุ่น 8 เพื่อศึกษาแหล่งที่มาของฝุ่น (Source apportionment) ในพื้นที่กรุงเทพฯ โดยเก็บตัวอย่างฝุ่นด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศชนิดแรงดูดสูง (High volume air sampler) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ณ สถานีตำรวจวัดบริเวณสำนักงานโยธาและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ระหว่างเดือนธันวาคม 2539 ถึง มกราคม 2540 และนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่น ได้ข้อมูลจำนวน 42 ชุดข้อมูล เพื่อนำเข้าแบบจำลอง ร่วมกับข้อมูลองค์ประกอบฝุ่นที่แหล่งกำเนิด (Source profiles) จำนวน 7 แหล่งกำเนิด ผลพบว่าการคำนวณแหล่งที่มาของฝุ่นจากแบบจำลองฯ มีค่าใกล้เคียงกับการวิเคราะห์ด้วยวิธีการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis – multiple regression (FA-MR)) โดยพบว่าแหล่งกำเนิดที่สำคัญของฝุ่นมาจากดินร้อยละ 33 ฝุ่นจากถนนร้อยละ 33 และยานพาหนะร้อยละ 15 แหล่งกำเนิดรอง ได้แก่ เกลือจากทะเล การเผาขยะและการเผาชีวมวล การหลอมโลหะและการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งการศึกษาที่พบข้อจำกัด คือ ขาดข้อมูลองค์ประกอบฝุ่นแหล่งกำเนิดการเผาชีวมวลในพื้นที่กรุงเทพฯ ทำให้การประเมินแหล่งที่มาของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดนี้ต่ำกว่าความเป็นจริงมากเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จาก FA-MR การศึกษานี้ได้เสนอแนะให้มีการนำข้อมูลองค์ประกอบฝุ่น

แหล่งกำเนิดการเผาไหม้ที่ถูกต้องมาใช้ในแบบจำลองเพื่อคำนวณองค์ประกอบฝุ่นในกรุงเทพฯ ซึ่งช่วยให้มีความถูกต้องมากขึ้น

Wangkiat, Harvey, Okamoto, Wangwongwatana, and Rachdawong (2004) เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นจากกิจกรรมต่างๆ ในพื้นที่แม่เมาะ จังหวัดลำปาง ซึ่งได้แก่ การเผาของเสียทางการเกษตร การเผาฟางข้าว การเผาใบไม้จากป่า ไอเสียรถบรรทุก ฝุ่นถนนที่มีการตาด ฝุ่นดิน ฝุ่นดินจากการเกษตร ฝุ่นถ่านหิน ถ่านในระบบบำบัดอากาศ Electrostatic precipitator และฝุ่นที่ระบายออกจากปล่องโรงไฟฟ้า โดยวิธีการวิเคราะห์ประกอบด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) ใช้ในการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ ไอออนโครมาโตกราฟี ใช้วิเคราะห์ไอออนละลายน้ำ และเครื่อง CHNS-O ใช้วิเคราะห์ชนิดของคาร์บอน จากการศึกษาพบว่า กิจกรรมการเผาไหม้ชีวมวลทุกรูปแบบมีอินทรีย์คาร์บอนในสัดส่วนที่สูงในระยะการเผาไหม้ที่ไม่มีเปลวไฟ (Smouldering phase) ขณะที่พบธาตุคาร์บอนในสัดส่วนที่สูงในระยะการเผาไหม้ที่มีเปลวไฟ (Flaming Phase) และพบ K เพิ่มขึ้นในขณะนี้เช่นกัน การเผาไหม้ชีวมวลและไอเสียรถบรรทุกพบทั้งอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนในปริมาณมาก แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสองกิจกรรมดังกล่าวพบว่า การเผาไหม้ชีวมวลจะปลดปล่อยธาตุคาร์บอนต่ำกว่าแต่จะปลดปล่อยอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่าไอเสียของรถบรรทุก ในส่วนของธาตุพบว่า Al K Mg Ca และ Fe พบมากในฝุ่นถนน ฝุ่นดิน ถ่านหิน ถ่านล้อย และฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง อนึ่งความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นที่เก็บตัวอย่างไม่เพียงพอต่อการจำแนก ระหว่างแหล่งกำเนิดที่เกิดจากวัตถุดิบกำเนิดทางธรณีและแหล่งกำเนิดฝุ่นที่ศึกษา องค์ประกอบฝุ่นจากถ่านล้อยมีความแตกต่างจากแหล่งกำเนิดอื่นเนื่องจากไม่พบอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอน ในขณะที่ Na และ Zn พบมากในฝุ่นที่มาจากปล่อง

Gupta, Karar, and Srivastava (2007) ได้เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และฝุ่นละอองแขวนลอยรวม (TSP) ในพื้นที่ที่อยู่อาศัย พื้นที่อุตสาหกรรม ของเขตเมือง Kolkata ประเทศอินเดีย โดยได้เก็บตัวอย่างอากาศระหว่างเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 2003 ถึงเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 2004 เพื่อทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง CMB โดยพบว่าแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในพื้นที่ที่อยู่อาศัยมาจากการเผาไหม้ของถ่านหิน (ร้อยละ 42) ถนนที่ลาดยาง (ร้อยละ 21) การเผาในที่โล่ง (ร้อยละ 7) และการเผาไหม้ไม้ (ร้อยละ 1) ส่วนพื้นที่อุตสาหกรรมมาจากการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะ (ร้อยละ 47) การเผาไหม้ของถ่านหิน (ร้อยละ 37) อุตสาหกรรมโลหะ (ร้อยละ 1) และฝุ่นถนน (ร้อยละ 1) ในขณะที่แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองแขวนลอยรวมนั้นในพื้นที่ที่อยู่อาศัยมาจากการเผาไหม้จากถ่านหิน (ร้อยละ 37) ฝุ่นดิน (ร้อยละ 16) ฝุ่นถนน (ร้อยละ 17) และการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซล (ร้อยละ 15) ส่วนพื้นที่อุตสาหกรรมมาจากฝุ่นดิน (ร้อยละ 36) การเผาไหม้ของถ่าน

หิน (ร้อยละ 17) ขยะมูลฝอย (ร้อยละ 17) ฝุ่นถนน (ร้อยละ 16) และจากการสึกกร่อนของยาง (ร้อยละ 7)

de la Campa et al. (2011) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีในฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) ในบรรยากาศ เพื่อวิเคราะห์แหล่งที่มาของแหล่งกำเนิดฝุ่นในพื้นที่เหมืองแร่เก่า Rio Tinto ในประเทศสเปน โดยติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนชนิดแรงดึงดูดสูง (High volume PM_{10} air sampler) บริเวณหลังคาของอาคารศาลาว่าการเมือง Nerva ซึ่งอยู่ห่างจากเหมืองแร่เก่าประมาณ 500 เมตร ระยะเวลาในการเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง คือ 24 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุกๆ 4 วัน เป็นระยะเวลา 12 เดือน รวมจำนวนตัวอย่างทั้งสิ้น 90 ตัวอย่าง นอกจากนี้ได้วิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนตัวของมวลอากาศที่พัดผ่านบริเวณจุดเก็บตัวอย่างด้วยแบบจำลอง HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) ฝุ่นที่เก็บได้นำมาวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก ธาตุโลหะ (Bi As Cu Pb Cd Zn และ Sb) ไอออน (SO_4^{2-} NO_3^- Cl^- และ NH_4^+) และปริมาณคาร์บอนรวม (Total Carbon) และนำผลมาประเมินแหล่งทำให้เกิดมลพิษ (Source contribution) ด้วยสถิติการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) ด้วยวิธี Principal Component Analysis (PCA) ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่เหมืองเก่ามีส่วนที่ทำให้มีการปนเปื้อนของโลหะหนักจากการพัดพาโดยลมคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 32 และยังพบแหล่งที่มาของโลหะหนักจากฝุ่นที่พัดพาจากพื้นโลก (Crustal materials) หรือจากแหล่งกำเนิดในระดับภูมิภาค (ร้อยละ 33) และแหล่งกำเนิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงและสารอินทรีย์ (ร้อยละ 25)

Kong et al. (2011) ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{10}) ในเมือง Fushun สาธารณรัฐประชาชนจีน ซึ่งเป็นเมืองที่มีการประกอบกิจการอุตสาหกรรมหลายชนิด ได้แก่ เหมืองถ่านหิน โรงหลอมโลหะ โรงไฟฟ้า โรงงานผลิตสารเคมี โดยทำการเก็บฝุ่นบนพื้น 4 บริเวณ ได้แก่ ฝุ่นดิน ฝุ่นบนถนน ฝุ่นจากการก่อสร้าง และฝุ่นที่มีการพัดพาและตก (Re-suspended dust) บนขอบหน้าต่างส่วนล่างของอาคารที่พักอาศัยและโรงเรียน โดยฝุ่นที่เก็บได้จะถูกคัดขนาดให้เหลือเฉพาะฝุ่นที่มีขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และนำมาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักด้วยวิธี Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES) โลหะที่วิเคราะห์มี 11 ชนิด ได้แก่ Mn Cu Zn As Pb Cr Ni Co Cd Hg และ V ผลการศึกษาพบว่า ค่าเฉลี่ยของปริมาณโลหะเกือบทั้งหมดมีค่าสูงกว่าที่พบในดินทั่วไปของจีน การศึกษานี้ยังได้ใช้สถิติสหสัมพันธ์ (Correlation) และการวิเคราะห์ปัจจัย (Factor analysis) (ด้วยวิธี PCA) เพื่อประเมินแหล่งที่มาของโลหะหนักในฝุ่นพบว่า แหล่งกำเนิดหลักมาจากการปลดปล่อยจากยานพาหนะ กิจกรรมอุตสาหกรรม การเผาไหม้ถ่านหิน และผิวโลก

Chusai et al. (2012) ได้ทำการศึกษาการแพร่กระจายและแหล่งที่มาของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) บริเวณนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดจังหวัดระยอง

โดยใช้แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD โดยแบ่งการปลดปล่อยมลพิษออกเป็น 11 กลุ่มมีทั้งที่ปลดปล่อยออกทางปล่องและไม่ใช่ปล่อง ซึ่งได้จำลองการแพร่กระจายในปี ค.ศ. 2006 โดยค่าความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองได้นำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงในพื้นที่ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของ NO_2 และ SO_2 ที่คำนวณโดยแบบจำลองมีค่าต่ำกว่าการตรวจวัดจริง จากนั้นได้ทำการประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาโดยเลือกพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบออกเป็น 4 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ที่เป็นแหล่งที่พักอาศัย 2 พื้นที่ (ตำบลบ้านฉาง และตำบลเนินพระ จังหวัดระยอง) และพื้นที่ที่มีอุตสาหกรรมหนาแน่น 2 พื้นที่ (ตำบลห้วยโป่ง และตำบลมาตาพุด จังหวัดระยอง) โดยทำการตรวจวัดใน 2 รูปแบบคือการวัดค่าเข้มข้นเฉลี่ยรายปี และค่าเข้มข้นสูงสุดของพื้นที่ สำหรับผลค่าความเข้มข้นของ NO_2 จากการตรวจวัดเฉลี่ยรายปีนั้นพบว่าการปลดปล่อยมลพิษจากรถยนต์มีสัดส่วนมากที่สุดในพื้นที่พักอาศัยทั้งสองพื้นที่ (ร้อยละ 36-38 จากค่าความเข้มข้นทั้งหมด) ในขณะที่การปลดปล่อยจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีสัดส่วนมากที่สุดในทั้งสองพื้นที่อุตสาหกรรม (ร้อยละ 34-51) สำหรับค่าเข้มข้นสูงสุดของ NO_2 พบว่าการเผาไหม้ชีวมวลมีสัดส่วนมากที่สุดในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบทั้งหมด (มากกว่าร้อยละ 90) ยกเว้นพื้นที่ตำบลเนินพระที่พบการปลดปล่อยมลพิษจากรถยนต์บนท้องถนนมากที่สุด (ร้อยละ 75) สำหรับค่าความเข้มข้นของ SO_2 รายปีพบว่าอุตสาหกรรมปิโตรเคมีมีสัดส่วนที่ทำให้เกิดผลกระทบในทุกพื้นที่ (ร้อยละ 38-56) ส่วนผลของค่าความเข้มข้นสูงสุดของ SO_2 พบว่าผลการประเมินสัดส่วนให้ผลที่แตกต่างกันออกไปในแต่ละพื้นที่

Wu et al. (2013) ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศจากพื้นที่อุตสาหกรรมในเมือง Shenzhen ประเทศจีนโดยทำการเก็บตัวอย่างอากาศจาก 5 พื้นที่ศึกษาในอุตสาหกรรมหนักของเมืองในปี 2005 จากนั้นตัวอย่างมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นประกอบด้วยปริมาณธาตุโลหะ 21 ชนิดด้วยเครื่อง ICP-AES ไอออน 9 ชนิดด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟีอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนด้วยเครื่อง IMPROVE thermal/Optical Carbon Analyzer ผลการศึกษาพบว่าค่าความเข้มข้นของฝุ่นมีค่าสูงสุดคือ 264 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร พบโลหะที่องค์ประกอบเด่น คือ S Na และ Ca ซึ่งโลหะที่พบส่วนใหญ่เป็นโลหะที่พบได้ตามธรรมชาติ เช่น โลหะที่เป็นองค์ประกอบของดิน ยกเว้น S นั้นน่าจะมาจากการเผาไหม้ของโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงพบ SO_4^{2-} ในสัดส่วนที่มากตามไปด้วย นอกจากนี้ยังพบอินทรีย์คาร์บอนในสัดส่วนที่มากธาตุคาร์บอน ซึ่งอินทรีย์คาร์บอนในบรรยากาศนั้นสามารถเกิดจากการกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ และการกระบวนการออกซิเดชันของ VOCs

Khamyingkert and Thepanondh (2016) ได้ทำการวิเคราะห์สัดส่วนของแหล่งกำเนิดของอุตสาหกรรมที่มีผลต่อความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ในบรรยากาศโดยใช้แบบจำลองการแพร่กระจายคุณภาพอากาศ AERMOD ในพื้นที่อุตสาหกรรม

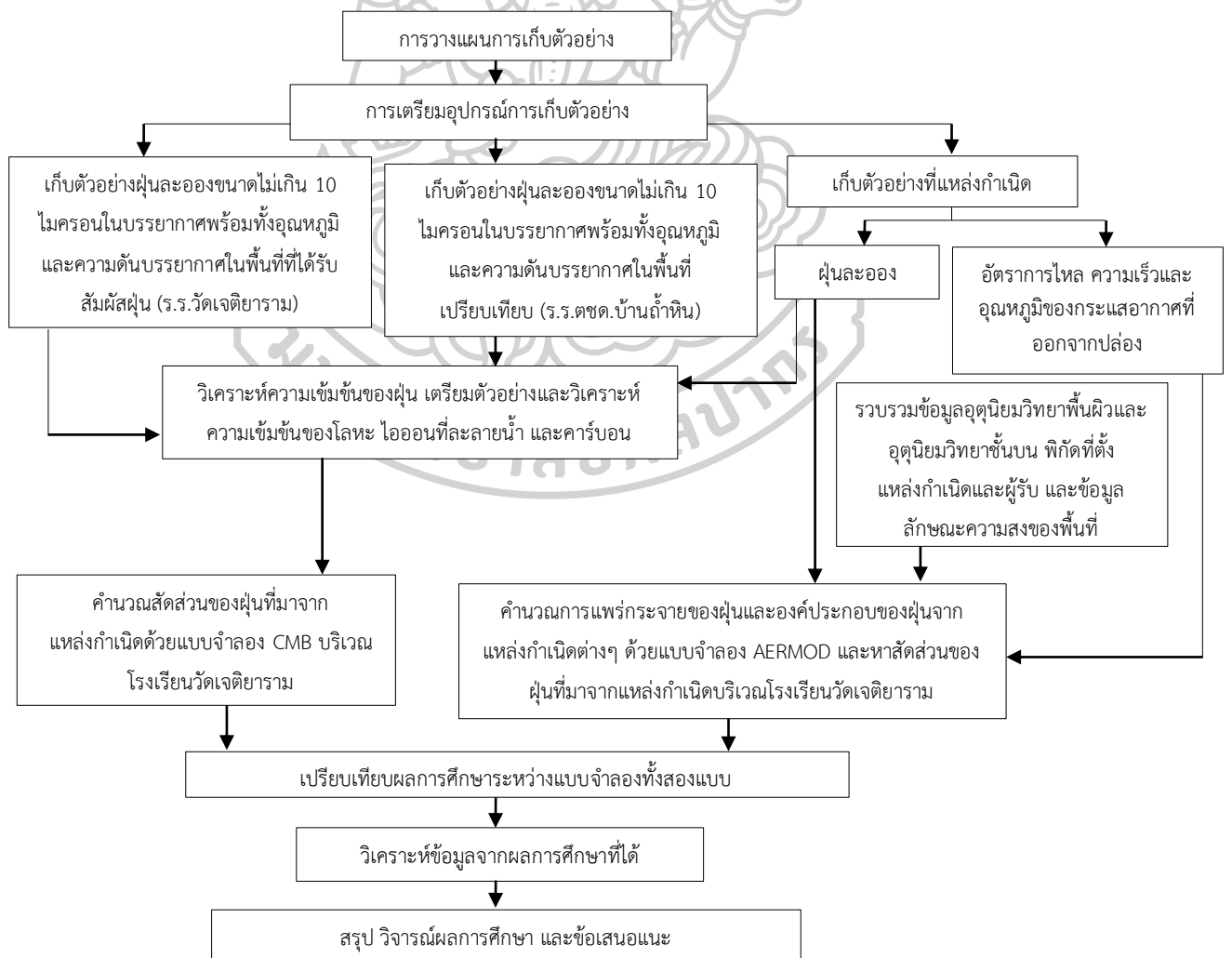
มาบตาพุด และนิคมอุตสาหกรรมใกล้เคียงเพื่อทำการจำลองเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงและค่าความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีโดยกำหนดปีที่ทำนายนโยบายโดยแบบจำลองคือปี ค.ศ. 2013 ซึ่งอุตสาหกรรมที่ปลดปล่อยมลพิษจะประกอบด้วย 5 กลุ่ม ได้แก่ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรมโลหะ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี โรงไฟฟ้า และโรงกลั่นน้ำมัน รวมทั้งสิ้น 422 ปล่องที่ใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ ซึ่งผลการศึกษาระดับความเข้มข้นของ SO_2 และ NO_2 เฉลี่ย 1 ชั่วโมง พบว่ามีสัดส่วนหลักมาจากโรงไฟฟ้า ส่วนระดับความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีนั้น พบว่ามีสัดส่วนหลักมาจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งผลจากแบบจำลองทำให้สามารถจัดลำดับความสำคัญในการควบคุมและจัดการปัญหามลพิษในพื้นที่อุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสมโดยผู้ที่ทำการวิจัยได้เสนอความคิดเห็นว่าให้ทำการควบคุมการปล่อย SO_2 จากโรงไฟฟ้า และการปลดปล่อย NO_x จากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

Roy, Singh, and Yadav (2016) ได้ทำการศึกษาแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ในพื้นที่ Jharia coalfield ประเทศอินเดีย โดยใช้แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษทางอากาศ AERMOD แบบจำลองสมดุลมวลเคมี (CMB) และด้วยวิธี PCA ซึ่งแบ่งพื้นที่ที่ตรวจวัดออกเป็น 3 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่บริเวณเหมือง (R_1) พื้นที่บริเวณเหมืองที่ได้รับผลกระทบจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (R_2) และพื้นที่เขตเมือง (R_3) ผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง AERMOD ใช้การคำนวณการแพร่กระจายของฝุ่นของ 2 แหล่งกำเนิดได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (แหล่งกำเนิดแบบจุด) และเหมืองถ่านหิน (แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่) พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นจากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 320-360 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง) ในพื้นที่ R_2 ส่วนความเข้มข้นของฝุ่นจากการทำเหมืองถ่านหินมีค่าอยู่ในช่วง 159-200 และ 80-159 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในพื้นที่ R_1 และ R_2 ตามลำดับ ผลการศึกษาประเมินแหล่งที่มาของฝุ่นด้วยแบบจำลอง CMB และด้วยวิธี PCA ให้ผลการศึกษาที่คล้ายคลึงกันคือ สัดส่วนแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมาจากการทำเหมืองถ่านหิน

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการศึกษา

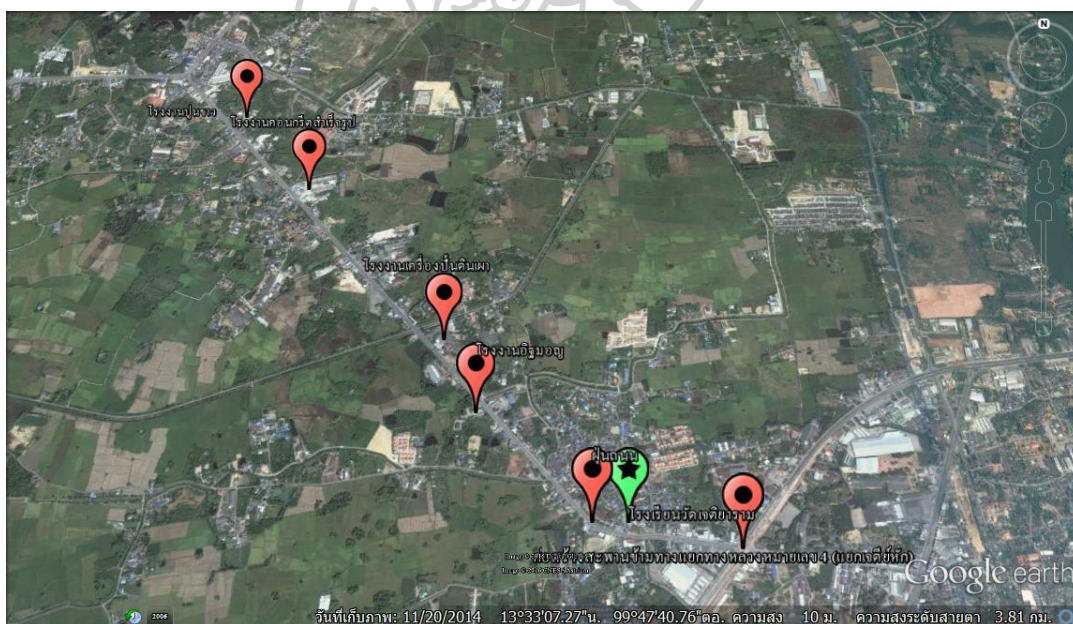
ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการศึกษาโดยเริ่มต้นจากการวางแผนการเก็บตัวอย่าง และคัดเลือกพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง การเตรียมอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง การเก็บตัวอย่างทั้งที่แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองและในบรรยากาศ (ได้แก่ แหล่งรับสัมผัสฝุ่น และพื้นที่ที่ทำการเปรียบเทียบ) จากนั้นก็จะทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฝุ่น การเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นของ โลหะ ไอออนที่ละลายน้ำ และคาร์บอน จากนั้นทำการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่น ณ แหล่งรับสัมผัสฝุ่น (โรงเรียนวัดเจติยาราม) โดยใช้แบบจำลอง CMB และแบบจำลอง AERMOD และเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลองทั้งสอง การสรุปผลการศึกษา ตลอดจนการวิจารณ์ผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนการศึกษา

3.2 พื้นที่เก็บตัวอย่าง

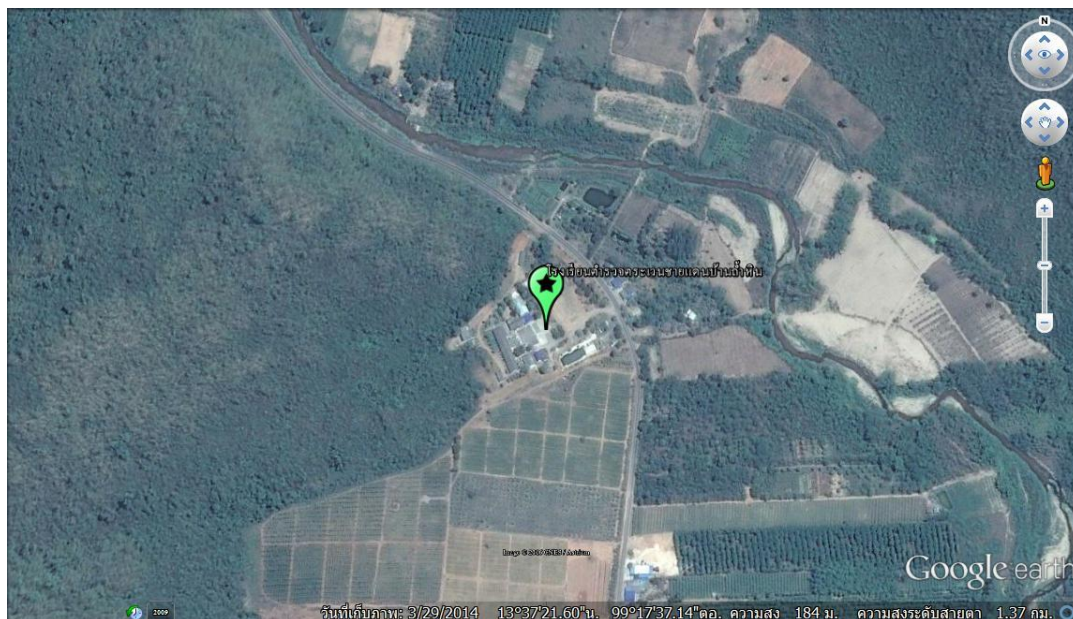
การศึกษาในครั้งนี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นทั้งหมด 6 แหล่ง ประกอบด้วย 1) โรงงานเครื่องปั้นดินเผา (พิกัด $X=585494$ $Y=1498226$) 2) โรงงานอิฐมอญ (พิกัด $X=585692$ $Y=1497857$) 3) โรงงานปูนขาว (พิกัด $X=584411$ $Y=1499553$) 4) โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป (พิกัด $X=584710$ $Y=1499093$) 5) ฝุ่นถนนทางหลวงหมายเลข 3291 และ 6) ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพานข้ามทางแยกทางหลวงหมายเลข 4 (แยกเจดีย์หัก) ซึ่งทั้งหมดจะอยู่ในเขตตำบลเจดีย์หักและตำบลเกาะพลับพลา อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี และได้กำหนดตำแหน่งผู้รับฝุ่นละออง (Receptor point) ได้แก่ โรงเรียนวัดเจดีย์าราม (พิกัด $X=586323$ $Y=1497389$) ซึ่งอยู่ในตำบลเจดีย์หัก อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี ซึ่งลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมที่มีชุมชนและอุตสาหกรรมอยู่ร่วมกัน ดังรูปที่ 14 โดยกำหนดให้โรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหิน (พิกัด $X=531762$ $Y=1506014$) (ดังรูปที่ 15) ตั้งอยู่ที่ตำบลสวนผึ้ง อำเภอสวนผึ้ง จังหวัดราชบุรี ซึ่งกำหนดให้เป็นพื้นที่เปรียบเทียบซึ่งห่างไกลจากแหล่งมลพิษโดยลักษณะพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ป่าไม้และพื้นที่การทำเกษตรกรรมมีชุมชนอาศัยอยู่อย่างไม่หนาแน่น



รูปที่ 14 พื้นที่เก็บตัวอย่างบริเวณโรงเรียนวัดเจดีย์ารามที่กำหนดเป็นพื้นที่ที่ได้รับสัมผัสฝุ่นและ

แหล่งกำเนิดฝุ่นทั้ง 6 แหล่ง

ที่มา: Google Earth (2013)

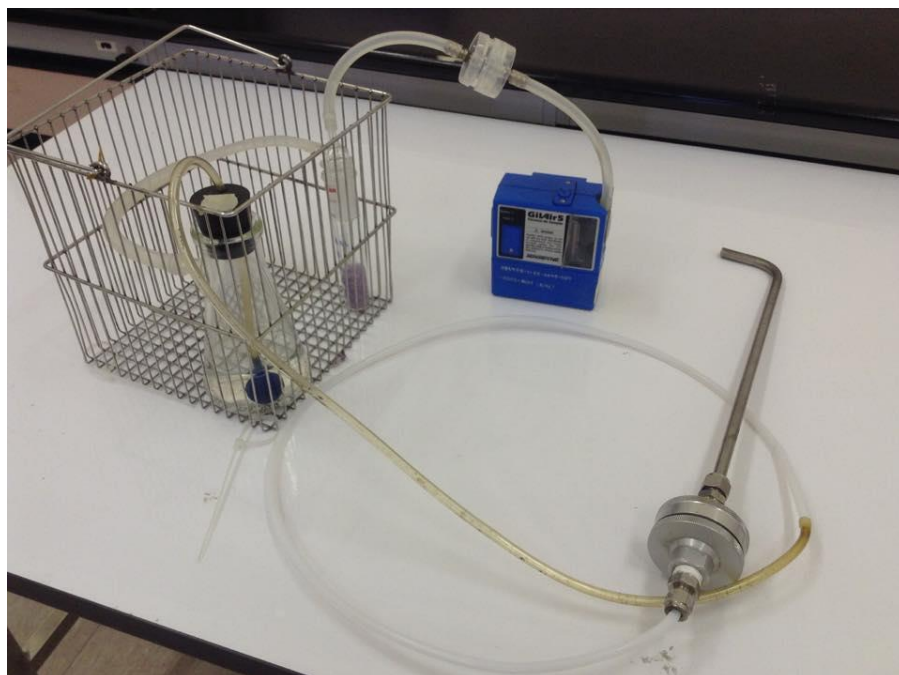


รูปที่ 15 พื้นที่ศึกษาบริเวณโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินที่กำหนดเป็นพื้นที่เปรียบเทียบ
ที่มา: Google Earth (2013)

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง

เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่างแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามสถานที่เก็บตัวอย่าง ประกอบด้วย การเก็บตัวอย่างฝุ่นที่แหล่งกำเนิด และการเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เครื่องมือและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นจากแหล่งกำเนิด ประกอบด้วย บั๊มดูดอากาศส่วนบุคคล (Personal air pump) ยี่ห้อ Gilian รุ่น GilAir 5 หัวเก็บตัวอย่างฝุ่น ท่อพลาสติกอ่อนความยาวประมาณ 2 เมตร ต่อระหว่างบั๊มและหัวเก็บตัวอย่างฝุ่นโดยจะมีการต่อให้อากาศผ่านน้ำเพื่อลดอุณหภูมิอากาศและผ่านที่ดูดความชื้นออกจากอากาศก่อนเข้าสู่บั๊มเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับบั๊มได้ ซึ่งจะใช้กระดาษกรองวงกลมชนิดควอทซ์ (Quartz fiber filter) รุ่น QR-100 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47 มิลลิเมตร มีขนาดรูพรุน 0.3 ไมครอน ของบริษัท ADVANTEC โดยจะบรรจุกระดาษกรองอยู่ภายในหัวเก็บตัวอย่างฝุ่น ดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นที่แหล่งกำเนิด

2) เครื่องมือและอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ ประกอบด้วย เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนชนิดแรงดูดสูง (High - volume air sampler) ยี่ห้อ Thermo scientific และยี่ห้อ Tish environmental รุ่น TE-5070X (ดังรูปที่ 17) (โดยขอความอนุเคราะห์จากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 8 (ราชบุรี)) และกระดาษกรองชนิดควอทซ์ (Quartz fiber filter) รุ่น QR-100 ขนาดกว้าง 8 นิ้ว ยาว 10 นิ้ว มีขนาดรูพรุน 0.3 ไมครอน ของบริษัท ADVANTEC เป็นแผ่นรองรับฝุ่นที่ถูกดูดเข้ามา



รูปที่ 17 เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนชนิดแรงดูดสูง

3.4 การตรวจวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ

การตรวจวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศขณะเก็บตัวอย่างจะใช้เครื่องวัดความดันบรรยากาศ (Barometer) ที่มีอุปกรณ์วัดอุณหภูมิอยู่ภายในตัวเครื่อง โดยขอความอนุเคราะห์เครื่องมือจากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 8 (ราชบุรี) ดังรูปที่ 18



รูปที่ 18 เครื่องตรวจวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ

3.5 การตรวจวัด อัตราการไหล ความเร็ว และอุณหภูมิของอากาศที่ระบายออกจากปล่อง

การตรวจวัดอัตราการไหล ความเร็ว และอุณหภูมิของกระแสอากาศที่ระบายออกจากปล่องของแหล่งกำเนิดนั้นจะใช้เครื่องยี่ห้อ KANE 905 Commercial Flue Gas Analyzer (รูปที่ 19)



รูปที่ 19 เครื่องวัดอัตราการไหล ความเร็ว และอุณหภูมิของกระแสอากาศที่ระบายออกจากปล่อง

3.6 วิธีการเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างฝุ่น แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเก็บตัวอย่างฝุ่นที่แหล่งกำเนิด และการเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ

3.6.1 การเก็บฝุ่นที่แหล่งกำเนิด

การเก็บฝุ่นที่แหล่งกำเนิดนั้นจะทำการเก็บในช่วงที่มีการผลิต หรือในช่วงที่มีกิจกรรมของแหล่งกำเนิดนั้นๆ ซึ่งจะแบ่งการเก็บออกเป็น 2 แบบดังนี้

1) แหล่งกำเนิดที่เกิดกระบวนการเผาไหม้ประกอบไปด้วย โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ และโรงงานปูนขาว โดยการเก็บตัวอย่างนั้นได้ทำการเก็บในช่วงที่มีการเผาและเก็บครอบคลุมทั้งกระบวนการตั้งแต่เริ่มเผาจนสิ้นสุดการเผา ซึ่งจุดที่เก็บตัวอย่างอยู่บริเวณปากปล่องระบายควัน โดยช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างจะแบ่งตามระยะเวลาของขั้นตอนการเผา ซึ่งแตกต่างกันไปในแต่ละโรงงานปูนขาว (รูปที่ 20 ก.) จะแบ่งเป็น 2 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงเริ่มจุดเตา และ 2) ช่วงที่ไฟติดหินแล้ว ส่วนที่โรงงานเครื่องปั้นดินเผาและโรงงานอิฐมอญ (รูปที่ 20 ข. และ ค.) แบ่งเป็น 4 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงเริ่มจุดเตา 2) ช่วงอุ่นเตาให้อุณหภูมิเหมาะสม 3) ช่วงเผาตัวผลิตภัณฑ์ และ 4) ช่วงปิดเตา แต่ละช่วงจะเก็บตัวอย่าง 5 ชั่วโมงแต่จะเก็บนาน 3 นาที โดยทำการเปรียบเทียบอัตราการดูดอากาศของเครื่องเก็บตัวอย่างอากาศที่ 4 ลิตรต่ออนาที นอกจากนี้ยังทำการตรวจวัดอัตราการไหล ความเร็วและอุณหภูมิของกระแสอากาศที่ปล่อย

ออกจากปล่องของแหล่งกำเนิดนั้นดังรูปที่ 21 โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ยี่ห้อ KANE 905 Commercial Flue Gas Analyzer



ก. โรงงานปูนขาว



ข. โรงงานเครื่องปั้นดินเผา



ค. โรงอิฐมอญ

รูปที่ 20 การเก็บตัวอย่างฝุ่นที่แหล่งกำเนิดที่มีการเผา



รูปที่ 21 การตรวจวัดความดัน ความเร็วและอุณหภูมิของกระแสอากาศที่ปล่อยออกจากปล่อง

2) แหล่งกำเนิดที่ฝุ่นละอองเกิดจากการพัดพาของลมประกอบด้วย การก่อสร้าง สะพานข้ามทางแยกทางหลวงหมายเลข 4 (แยกเจดีย์หัก) ฝุ่นถนนทางหลวงหมายเลข 3291 และโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป ซึ่งวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นได้ประยุกต์วิธีการเก็บตัวอย่างจากการทดลองของ Chow, Watson, and Houck (1994) โดยทำการเก็บตัวอย่างโดยการกวาดหรือตักฝุ่นบริเวณผิวหน้า (รูปที่ 22) จากนั้นนำฝุ่นมาอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ประมาณ 1 อาทิตย์ (จนกระทั่งมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณร้อยละ 20) เมื่อตัวอย่างแห้งแล้ว นำมาร้อนผ่านตะแกรงที่มีขนาดรูพรุน 0.075 ไมครอน (รูปที่ 23 ก.) จากนั้นทำการจำลอง การฟุ้งกระจายของฝุ่นโดยนำตัวอย่างฝุ่นที่ได้มาเป่าให้เกิดการฟุ้งกระจายภายในกล่อง (รูปที่ 23 ข.) ใช้อัตราการเป่าลมประมาณ 45 ลิตรต่อนาที โดยแต่ละครั้งใช้น้ำหนักฝุ่น 0.1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ (รูปที่ 23 ค.) ทำการเป่าเป็นเวลา 5 วินาที เว้น 4 นาที จากนั้นทำการเป่า อีกครั้ง ถ้าเป็นการวิเคราะห์โลหะกับไอออนที่ละลายน้ำ จะเป่า 20 ครั้ง (การเตรียมตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์จะนำกระดาษกรองไปย่อยทั้งแผ่น) ส่วนการวิเคราะห์คาร์บอนนั้นเป่า เพียง 10 ครั้ง (เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ต้องทำการตัดกระดาษกรองหากทำการเป่า 20 ครั้ง ฝุ่นที่เป่าจะไม่ติดอยู่กับเนื้อของกระดาษกรองอาจทำให้ฝุ่นหลุดร่วงได้จากการตัด) ระหว่างการเป่าฝุ่นจะถูกเก็บโดยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นที่อยู่อีกด้านหนึ่งของกล่องซึ่งมีหัวเก็บ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ต่ออยู่กับปั๊มดูดอากาศ (อัตราการดูดอากาศของเครื่อง เก็บตัวอย่างเท่ากับ 1.7 ลิตรต่อนาที)



รูปที่ 22 การกวาดหรือตักฝุ่นบริเวณผิวหน้า



ก. ตัวอย่างที่ผ่านการร่อนผ่านตะแกรง



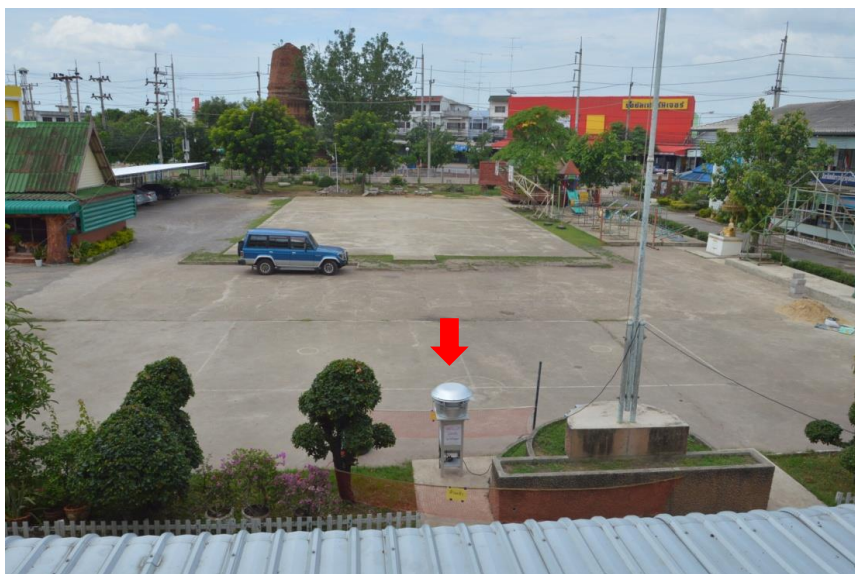
ข. การต่อชุดอุปกรณ์ที่ทำให้ฝุ่นฟุ้งกระจาย

ค. ฝุ่นที่อยู่ในขวดที่รอการเป่า

รูปที่ 23 การเก็บตัวอย่างฝุ่นที่แหล่งกำเนิดที่ไม่มีการเผา

3.6.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ

การเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศโดยทำการติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างปริมาตรสูง (High-volume air sampler) บริเวณกลางสนามกลางแจ้งของโรงเรียนทั้งสองแห่ง (รูปที่ 24) โดยทำการเก็บตัวอย่างโรงเรียนละ 29 ครั้ง ครอบคลุมทั้งในช่วงฤดูฝนจำนวน 14 ครั้ง (ระหว่างวันที่ 10 สิงหาคม 2557 ถึงวันที่ 12 ตุลาคม 2557) และฤดูแล้งจำนวน 15 ครั้ง (ระหว่างวันที่ 23 มกราคม ถึง 14 มีนาคม 2558) ซึ่งครอบคลุมทั้งช่วงของวันทำงานและวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ ในแต่ละครั้งได้ทำการเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมงต่อเนื่อง พร้อมทั้งบันทึกอุณหภูมิและความดันบรรยากาศก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างทุกครั้ง ก่อนการเก็บตัวอย่างได้ปรับเทียบอัตราการดูดอากาศของเครื่องให้อยู่ที่ 40 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที



รูปที่ 24 การติดตั้งเครื่องมือเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ

3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา

เมื่อการเก็บตัวอย่างเสร็จสิ้น ตัวอย่างได้ถูกส่งมายังภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เพื่อทำการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นละอองและองค์ประกอบทางเคมี โดยมีพารามิเตอร์ที่ศึกษาแตกต่างกันในแต่ละสถานที่เก็บตัวอย่าง โดยแสดงได้ดังตารางที่ 6

จากตารางที่ 6 ธาตุโลหะจำนวน 15 ชนิดที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ Al As Cd Co Cr Cu Fe Hg Mg Mn Ni Pb Sb Zn และ V ไอออนละลายน้ำจำนวน 8 ชนิด ได้แก่ Na^+ NH_4^+ K^+ Ca^{2+} Mg^{2+} Cl^- NO_3^- และ SO_4^{2-} และ คาร์บอนจำนวน 2 ชนิด ประกอบด้วย อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) และธาตุคาร์บอน (Elemental Carbon)

ตารางที่ 6 พารามิเตอร์ที่ศึกษาและวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ในแต่ละสถานที่เก็บตัวอย่าง

สถานที่เก็บตัวอย่าง	พารามิเตอร์	วัตถุประสงค์
ที่แหล่งกำเนิด	- ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน - ธาตุโลหะ 15 ชนิด - ไอออนที่ละลายน้ำ 8 ชนิด - ปริมาณคาร์บอน 2 ชนิด - อัตราการไหล ความเร็วและอุณหภูมิของกระแสอากาศ	เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง CMB และแบบจำลอง AERMOD เพื่อประเมินสัดส่วนและแหล่งที่มาของแหล่งกำเนิดฝุ่น
ในบรรยากาศ	- ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน - ธาตุโลหะ 15 ชนิด - ไอออนที่ละลายน้ำ 8 ชนิด - ปริมาณคาร์บอน 2 ชนิด - ความดันและอุณหภูมิอากาศ	เป็นข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง CMB เพื่อประเมินแหล่งที่มาของแหล่งกำเนิดฝุ่น

3.8 การหาความเข้มข้นของฝุ่น

1) การหาน้ำหนักของฝุ่นที่เก็บได้บนกระดาษกรองหาได้จาก การชั่งน้ำหนักกระดาษกรองก่อนและหลังการเก็บตัวอย่างผลต่างที่ได้คือน้ำหนักของอนุภาคแขวนลอยทั้งหมดที่อยู่บนกระดาษกรอง โดยกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่างต้องใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนัก เมื่อทำการเก็บตัวอย่างเรียบร้อยแล้วนำกระดาษกรองที่ได้มาใส่ในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเช่นเดียวกับก่อนทำการเก็บตัวอย่างจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักที่ได้จำนวน 3 ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

2) ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ คำนวณได้จาก

$$\text{ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน} = \frac{\text{นน.กระดาษหลังเก็บ} - \text{นน.กระดาษก่อนเก็บ}}{\text{ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน}}$$

การเปลี่ยนเป็นปริมาตรที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน ใช้สูตร

$$V_r = V_a \left(\frac{P_a}{P_r} \right) \left(\frac{T_r}{T_a} \right) \left(\frac{1}{35.31} \right)$$

เมื่อ

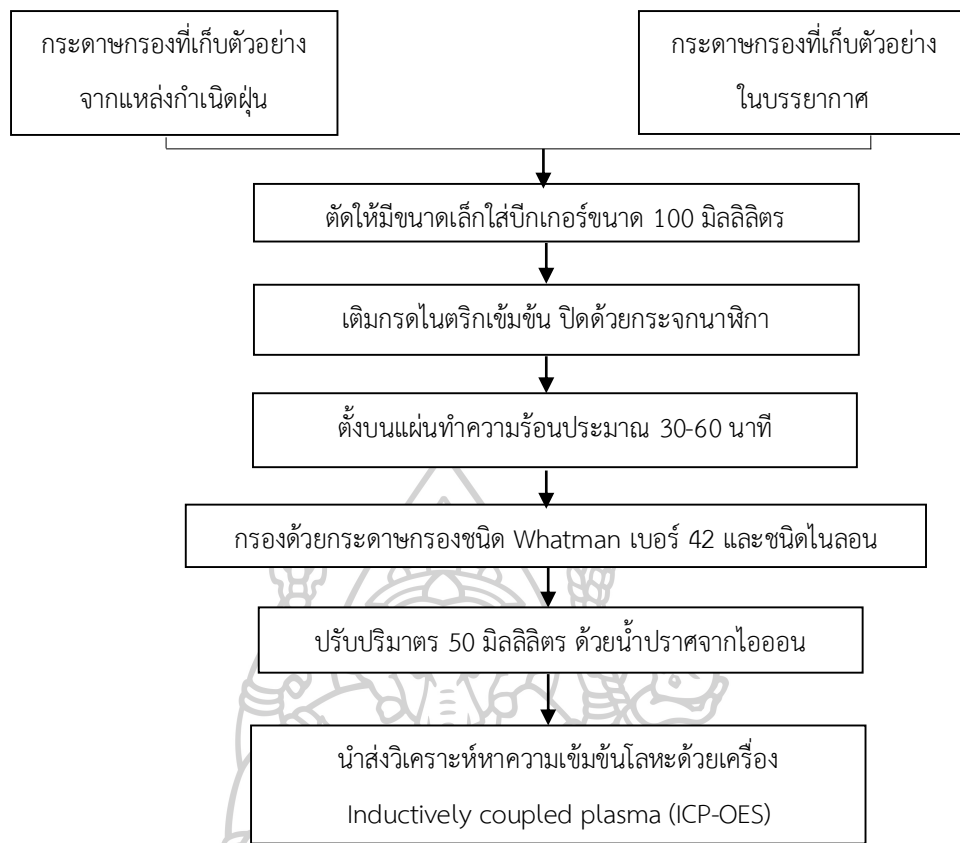
- V_r = ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความกดอากาศ 1,013.25 มิลลิบาร์ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท (ลูกบาศก์เมตร)
- V_a = ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความกดอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (ลูกบาศก์ฟุต)
- P_a = ความกดอากาศขณะเก็บตัวอย่าง (มิลลิบาร์ หรือ มิลลิเมตรปรอท)
- P_r = ความกดอากาศที่ 1,013.25 มิลลิบาร์ หรือ 760 มิลลิเมตรปรอท
- T_r = อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส (เคลวิน)
- T_a = อุณหภูมิขณะเก็บตัวอย่าง (เคลวิน)
- 35.31 = ตัวเลขใช้แปลงหน่วยจากลูกบาศก์ฟุตเป็นลูกบาศก์เมตร

โดยตัวอย่างการคำนวณสามารถดูได้ในภาคผนวก ง

3.9 วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะ ไอออนละลายน้ำ และคาร์บอน

3.9.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะ

ทำการเตรียมตัวอย่างตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีการวิเคราะห์โลหะหนักในฝุ่นละอองของ American Society for Testing materials (1988) ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์โลหะแสดงดังรูปที่ 25 โดยเริ่มจากการนำกระดาษกรองจากแต่ละจุดเก็บตัวอย่างได้แก่ ที่แหล่งกำเนิด และในบรรยากาศ ที่ผ่านการชั่งน้ำหนักเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฝุ่นละอองแล้วมาตัดกระดาษกรองให้มีขนาดเล็กใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมกรดไนตริกเข้มข้นให้ท่วมกระดาษกรอง ใส่เม็ดแก้วประมาณ 3-4 เม็ด ปิดด้วยกระดาษนาฬิกา นำไปตั้งบนแผ่นทำความร้อนประมาณ 30-60 นาที เพื่อย่อยฝุ่นละอองออกจากกระดาษกรองจนหมด จากนั้นนำลงมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็น กรองด้วยกระดาษกรองชนิด Whatman เบอร์ 42 และกรองอีกครั้งด้วยกระดาษกรองชนิดไนลอน ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตรในขวดปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน เก็บสารละลายที่ได้ในขวดพลาสติกและปิดฝาให้สนิท จากนั้นนำส่งวิเคราะห์หาความเข้มข้นโลหะด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 710 Series ณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Detection limit) แสดงในตารางที่ 7



รูปที่ 25 การเตรียมและวิเคราะห์หาความเข้มข้นโลหะในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

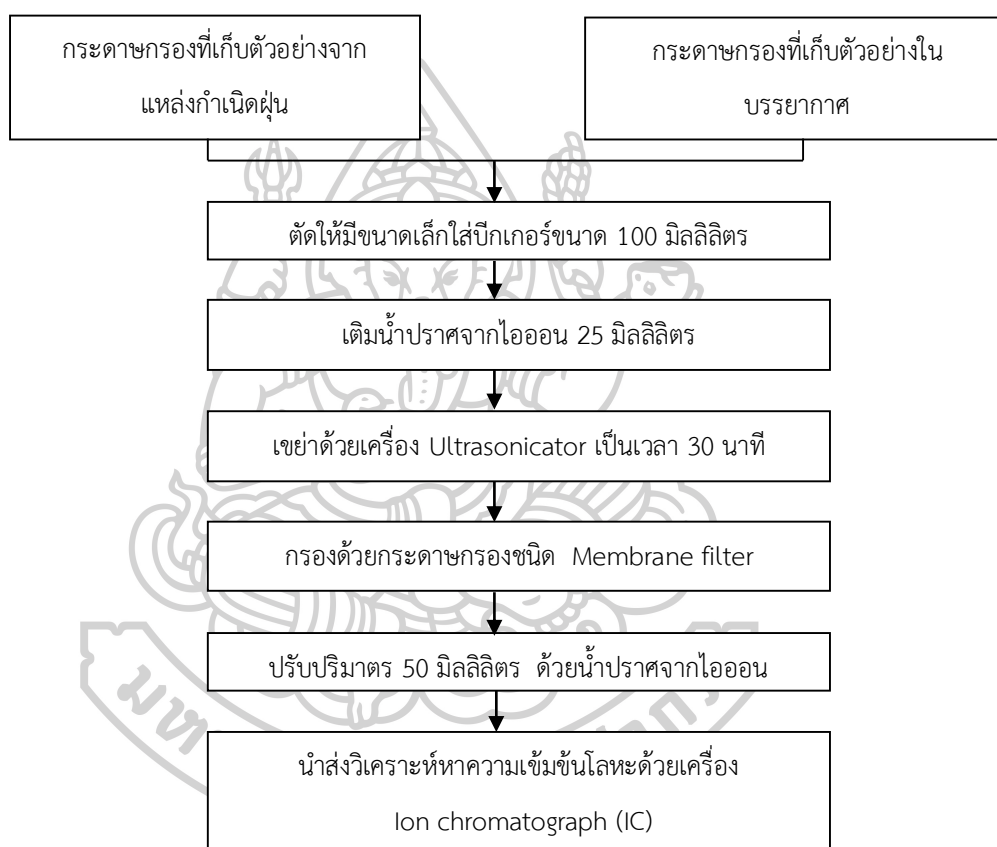
ตารางที่ 7 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (Detection limit) ของการวิเคราะห์โลหะด้วยเครื่อง ICP-OES

	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ (mg/L)														
	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	V
Detection limit	0.01	0.05	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.05	0.002	0.005	0.005	0.05	0.05	0.005	0.005

3.9.2 วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำ

ทำการเตรียมตัวอย่างตามวิธีการวิเคราะห์หาไอออนของ Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (2003) ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ไอออนละลายน้ำแสดงดังรูปที่ 26 โดยเริ่มจากการนำกระดาศกรองแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ได้แก่ บริเวณแหล่งกำเนิด และในบรรยากาศที่ผ่านการชั่งน้ำหนักเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฝุ่นละอองแล้วมาตัดกระดาศกรองให้มีขนาดเล็กใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำปราศจากไอออน 25 มิลลิลิตร ใส่เม็ดแก้วประมาณ 3-4 เม็ด ปิดด้วยพาราฟิล์ม นำไปเขย่าด้วยเครื่อง Ultrasonicator เป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้ฝุ่นละอองหลุดออกจากกระดาศ

กรองจนหมด จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Membrane filter ขนาดรูกรอง 0.45 ไมโครเมตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตรด้วยขวดปริมาตรโดยใช้ น้ำปราศจากไอออน สารละลายที่ได้เก็บลงขวดพลาสติก ปิดฝาให้สนิท และนำส่งวิเคราะห์หาความเข้มข้นไอออน ด้วยเครื่อง Ion chromatograph (IC) ยี่ห้อ Metrohm รุ่น Compact 761 ณ คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้แสดงในตารางที่ 8



รูปที่ 26 การเตรียมและวิเคราะห์หาความเข้มข้นไอออนในฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

ตารางที่ 8 ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ (Detection limit) ของการวิเคราะห์ไอออนที่ละลายน้ำ ด้วยเครื่อง IC

	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจพบ (mg/L)							
	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Detection limit	1	5	5	5	5	1	1	1

3.9.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิเคราะห์ความเข้มข้นของคาร์บอน

ทำการเตรียมตัวอย่างโดยเริ่มจากการนำกระดาษกรองแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ได้แก่ บริเวณแหล่งกำเนิด และในบรรยากาศที่ผ่านการชั่งน้ำหนักเพื่อวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฝุ่นละอองแล้วมาตัดกระดาษกรองให้มีขนาดประมาณ 0.5×0.5 เซนติเมตร ใส่ลงโถดูดความชื้นเพื่อรอการวิเคราะห์โดยจะทำการวิเคราะห์หาทั้ง TC (Total Carbon) และ OC (Organic Carbon) ซึ่งการวิเคราะห์นั้นได้ทำการเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิประมาณ 800 องศาเซลเซียสโดยใช้เครื่อง TOC Analyzer ยี่ห้อ Tekmar Dohrmann รุ่น PHOENIX 8000 ณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร โดยผลต่างระหว่างค่า TC กับ OC คือปริมาณของ EC (Elemental Carbon) ซึ่งค่าต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Detection limit) คือ 0.5 ไมโครกรัมคาร์บอน

3.10 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.10.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive statistic) ซึ่งจะใช้ในวิเคราะห์ พิสัย ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรม Microsoft excel รุ่น 2010

3.10.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างและความสัมพันธ์

ในการวิเคราะห์หาความแตกต่างของปริมาณฝุ่นที่พบบริเวณโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนบ้านถ้ำหินและที่โรงเรียนวัดเจติยารามจะใช้สถิติในการทดสอบคือ Independent t-test ด้วยโปรแกรม Microsoft excel รุ่น 2010 เพื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่พบว่ามี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05) หรือไม่ ส่วนการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนกับโลหะ ไอออนที่ละลายน้ำและคาร์บอนที่พบในบรรยากาศใช้โปรแกรม SPSS version 18 โดยใช้สถิติ Spearman rank difference method (กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05) ในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.11 การประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

การประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยารามซึ่งเป็นผู้รับผลกระทบในพื้นที่ศึกษา โดยจะใช้แบบจำลอง 2 ประเภท ได้แก่แบบจำลอง CMB และแบบจำลอง AERMOD โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.11.1 การประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง CMB

แบบจำลองสมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance หรือ CMB) เป็นแบบจำลองในกลุ่มของแบบจำลองแหล่งรับ (Receptor Model) ที่พัฒนาโดย U.S. EPA. (Coulter, 2004) โดยที่ปัจจุบันเป็นรุ่นที่ 8.2 ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง CMB ต้องใช้ข้อมูลองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นที่แหล่งกำเนิด (ข้อมูลส่วนนี้ส่วนหนึ่งได้มาจากการวิเคราะห์องค์ประกอบที่แหล่งกำเนิดประกอบด้วย โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ โรงงานปูนขาว โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป ฝุ่นถนน และฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน ส่วนฝุ่นจากการเผาฟางข้าว และฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์โดยนำมาจากงานวิจัยของ Pongkiatkul et al. (2014) ที่ได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบไว้เรียบร้อยแล้วซึ่งข้อมูลฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์ได้นำมาจัดเตรียมให้เหมาะสมกับพื้นที่ก่อนนำเข้าแบบจำลอง) และในบรรยากาศโดยมีขั้นตอนดังนี้

3.11.1.1 ข้อมูลนำเข้า

ข้อมูลที่ต้องจัดเตรียมเพื่อใส่เข้าไปในโปรแกรมแบบจำลอง CMB รุ่น 8.2 นั้นประกอบไปด้วย 5 ไฟล์ข้อมูล ได้แก่

1) ข้อมูลตัวอักษรย่อของแหล่งกำเนิดที่ต่างๆที่นำมาใส่ในแบบจำลอง (Source profile selection file) ซึ่งมีนามสกุลเป็น .sel โดยมีการกำหนดชื่อไฟล์เป็น PRrcbr.sel

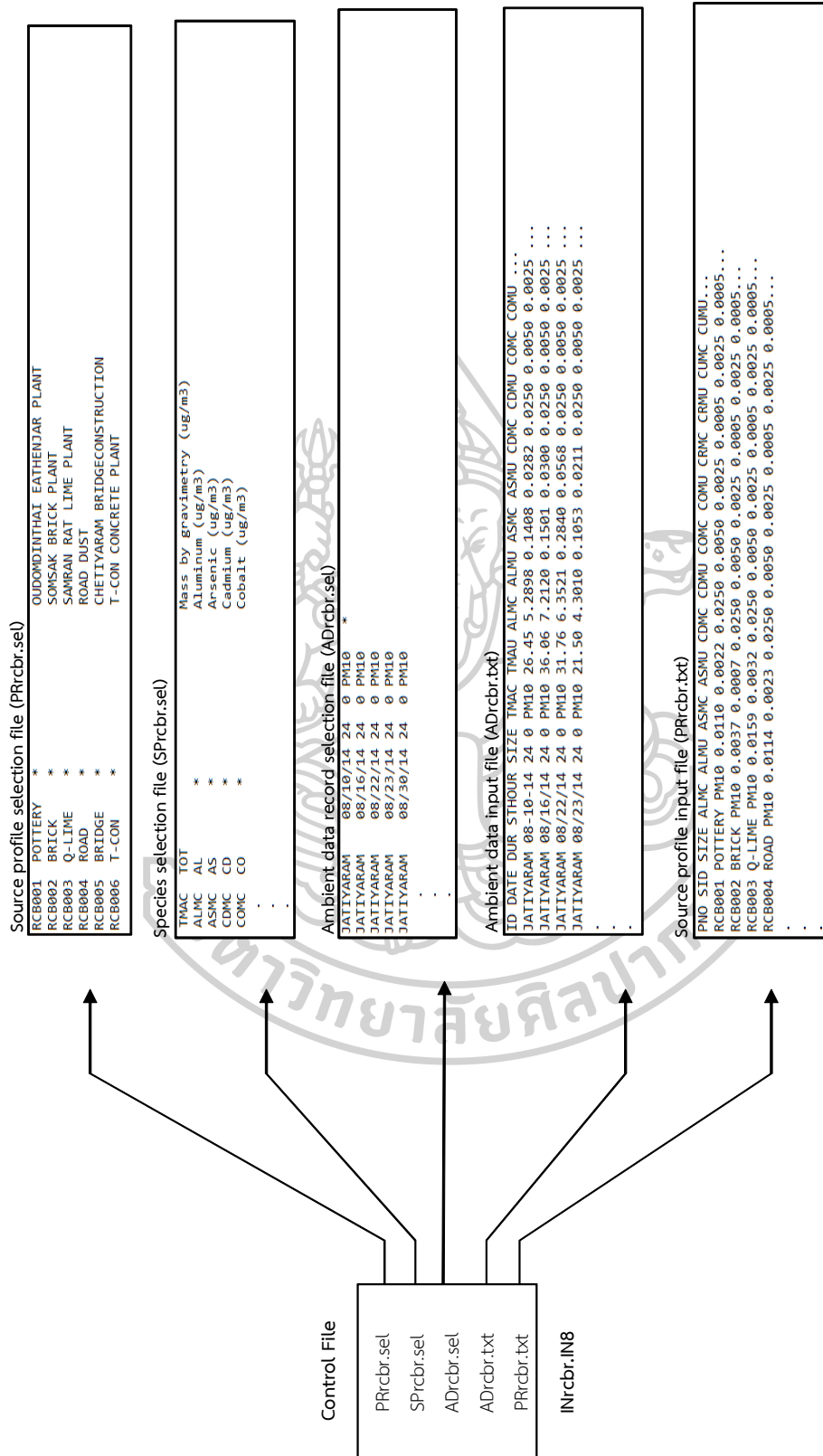
2) ข้อมูลตัวอักษรย่อขององค์ประกอบทางเคมีที่นำมาใส่ในแบบจำลอง (Species selection file) ซึ่งมีนามสกุลเป็น .sel โดยมีการกำหนดชื่อไฟล์เป็น SPrcbr.sel

3) ข้อมูลตัวอักษรย่อของบรรยากาศที่ทำการตรวจวัด (Ambient data record selection file) ซึ่งมีนามสกุลเป็น .sel โดยมีการกำหนดชื่อไฟล์เป็น ADrcbr.sel

4) ข้อมูลความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีในบรรยากาศรายวันที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่าง (Ambient data input file) ในตำแหน่งผู้รับ (โรงเรียนวัดเจติยาราม) ซึ่งจะมีนามสกุลเป็น .txt โดยมีการกำหนดชื่อไฟล์เป็น ADrcbr.txt

5) ข้อมูลความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ได้จากการเก็บตัวอย่างที่แหล่งกำเนิดต่างๆ (Source profile input file) ซึ่งมีนามสกุลเป็น .txt โดยมีการกำหนดชื่อไฟล์เป็น PRrcbr.txt

โดยจะมีการสร้างไฟล์ที่ชื่อว่า INrcbr.IN8 ซึ่งเป็นไฟล์ที่จะใช้ในการควบคุมการนำเข้าข้อมูลของทั้ง 5 ไฟล์นี้ ดังรูปที่ 27

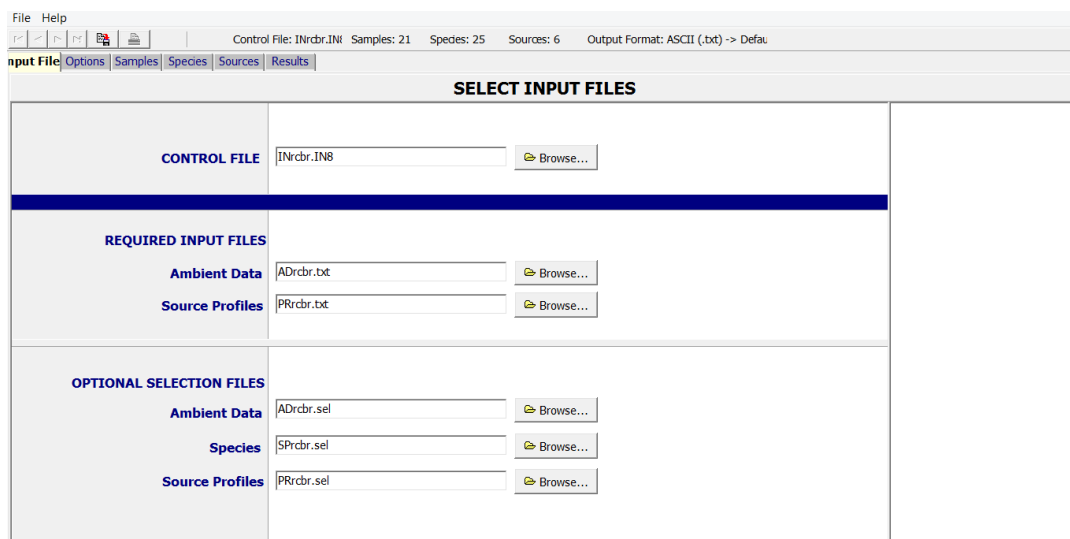


รูปที่ 27 รูปแบบของข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง CMB

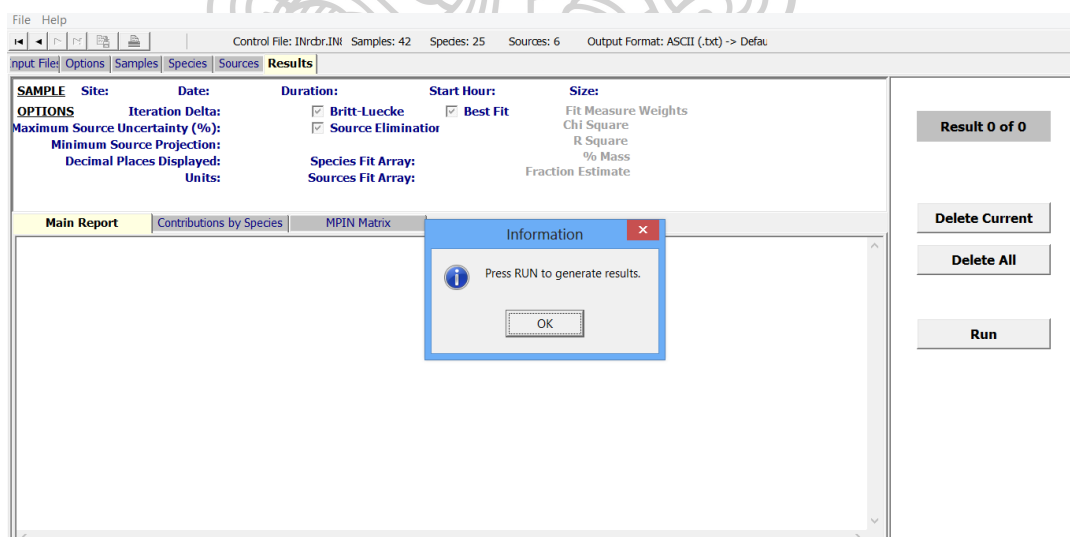
ที่มา: คัดแปลงจาก Coulter (2004)

3.11.1.2 การประมวลผล

เมื่อเตรียมข้อมูลนำเข้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้นำข้อมูลที่เตรียมไว้ใส่ในโปรแกรมแบบจำลอง CMB ดังรูป 28 จากนั้นเลื่อนหน้าต่างไปเรื่อยๆ เพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ใส่ไว้ เมื่อหน้าจอแสดงข้อความดังรูป 29 ก็สามารถกดปุ่ม RUN ได้



รูปที่ 28 ขั้นตอนการใส่ข้อมูลลงในแบบจำลอง CMB



รูปที่ 29 จอแสดงผลก่อนการเริ่มคำนวณผลโดยแบบจำลอง CMB

3.11.1.3 การแสดงผล

เมื่อแบบจำลองทำการประมวลผลเสร็จสิ้นก็จะแสดงผลออกมาดังรูป 30 ซึ่งเป็นหน้าการแสดงผลหลัก โดยค่าที่แสดงประกอบไปด้วย R-square Percent mass

Chi-square ค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ณ แหล่งรับ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า Tstat

The screenshot displays the AERMOD software interface. The 'RESULTS' tab is active, showing fitting statistics and source contribution estimates. The 'FITTING STATISTICS' section includes R SQUARE (0.41), CHI SQUARE (8.10), and DEGREES FREEDOM (14.3). The 'SOURCE CONTRIBUTION ESTIMATES' section lists six sources with their respective SCE (µg/m³), Std Err, and Tstat values.

SOURCE EST CODE	NAME	SCE(µg/m³)	Std Err	Tstat
YES RCB001	POTTERY	-2.56793	2.33189	-1.10122
YES RCB002	BRICK	-3.09125	4.90678	-0.62999
YES RCB003	Q-LIME	20.69835	4.73529	4.37108
YES RCB004	ROAD	2.75012	3.78621	0.72635
YES RCB005	BRIDGE	2.05009	4.00788	0.51151
YES RCB006	T-CON	-14.73117	4.78489	-3.07868

MEASURED CONCENTRATION FOR SIZE: PM10
35.7+- 7.1

รูปที่ 30 การแสดงผลของแบบจำลอง CMB

3.11.2 การประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง AERMOD

แบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ AERMOD เป็นแบบจำลองที่พัฒนาโดย U.S. EPA. ซึ่งปัจจุบันเป็นรุ่น 15181 โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้โปรแกรม AERMOD View รุ่น 9.2.0 ของบริษัท Lakes Environmental ประกอบด้วย ชุดโปรแกรมย่อย ARMOD AERMET และ AERMAP

3.11.2.1 การกำหนดขนาดของพื้นที่ (Domain size)

การศึกษานี้ทำการกำหนดพิกัดกึ่งกลางพื้นที่ศึกษา (พิกัด X=585202 Y=1498457) และกำหนดพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบโดยใช้ระบบ Uniform Cartesian Grid เท่ากับ 100 ตารางกิโลเมตร (X=Y=10 กิโลเมตร) ระยะห่างระหว่างกริดเท่ากับ 100 เมตร โดยครอบคลุมทุกแหล่งกำเนิดมลพิษและกำหนดจุดที่ได้รับผลกระทบ Discrete Cartesian 1 จุดคือ โรงเรียนวัดเจติยาราม (X=586323 Y=1497389) ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 13

3.11.2.1 การเตรียมข้อมูลนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET

1) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้น (Surface data) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นที่ใช้ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในปี พ.ศ. 2557 ประกอบด้วย ข้อมูลความเร็วลม (Wind Speed) ข้อมูลทิศทาง

ลม (Wind Direction) และข้อมูลอุณหภูมิ (Temperature) ส่วนข้อมูลความสูงฐานเมฆ (Ceiling Height) และข้อมูลปริมาณเมฆปกคลุม (Cloud Cover) ได้เลือกใช้ข้อมูลจากสถานีอุตุนิยมวิทยาจังหวัดราชบุรี ในปี พ.ศ. 2557 ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูล 3 ชั่วโมง จึงต้องทำการขยายข้อมูลเป็น 1 ชั่วโมงโดยใช้หลักการเฉลี่ยค่าเพื่อให้ได้ข้อมูลอีก 2 ชุด เช่น มีข้อมูลชั่วโมงที่ 1 และชั่วโมงที่ 4 แล้วต้องการ ประมาณข้อมูลในช่วง ชั่วโมงที่ 2 และชั่วโมงที่ 3 ดังนี้ ข้อมูลชั่วโมงที่ 2 = (ข้อมูลชั่วโมงที่ 1) + (ข้อมูลชั่วโมงที่ 4 - ข้อมูลชั่วโมงที่ 1)/3 และข้อมูลชั่วโมงที่ 3 = (ข้อมูลชั่วโมงที่ 1) + (ข้อมูลชั่วโมงที่ 4 - ข้อมูลชั่วโมงที่ 1) × 2/3 (วรารุช เสือดี, 2551) อนึ่งเนื่องจากข้อมูลความสูงฐานเมฆ (Ceiling Height) มีความไม่สมบูรณ์บางช่วงมีข้อมูลที่ขาดหายไปดังนั้นจึงทำการใส่ข้อมูล 9999 ลงในช่องข้อมูลที่ขาดหายไปเพื่อให้ข้อมูลมีความครบถ้วนสมบูรณ์และนำข้อมูลอุตุนิยมวิทยาผิวพื้นมาจัดเรียงในรูปแบบ SCRAM Format

2) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบน (Upper air data) ข้อมูลอากาศชั้นบนที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้เลือกใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ กรุงเทพมหานคร ในปี พ.ศ. 2557 ประกอบด้วย ข้อมูลความเร็วลมที่ระดับความดันมาตรฐาน (Wind Speed) ข้อมูลทิศทางลมที่ระดับความดันมาตรฐาน (Wind Direction) ข้อมูลอุณหภูมิที่ระดับความดันมาตรฐาน (Temperature) ข้อมูลความสูงที่ระดับความดันมาตรฐาน ซึ่งข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูล 3 ชั่วโมงจึง ต้องทำการขยายข้อมูลเป็น 1 ชั่วโมง อนึ่งเนื่องจากข้อมูลดังกล่าว มีความไม่สมบูรณ์บางช่วงมีข้อมูลที่ขาดหายไป ดังนั้นจึงใช้ข้อมูลของสถานีอุตุนิยมวิทยาบางนา กรุงเทพมหานคร ในเดือนมกราคมถึงเดือนมิถุนายนของปี พ.ศ. 2558 ใส่ลงในช่องข้อมูลของปี พ.ศ. 2557 ที่ขาดหายไปและในเดือนกรกฎาคมถึงเดือนธันวาคมของปี พ.ศ. 2556 ใส่ลงในช่องข้อมูลของปี พ.ศ. 2557 ที่ขาดหายไป เพื่อให้ข้อมูลมีความครบถ้วนสมบูรณ์และนำข้อมูลอุตุนิยมวิทยาชั้นบน มาจัดเรียงในรูปแบบ FSL Format (Forecast System Laboratory)

3) ค่าลักษณะเฉพาะพื้นที่ ลักษณะผิวพื้นเมื่อพิจารณาค่าทั่วไปในประเทศไทย จึงเลือกใช้กรณีพื้นที่หลังการเก็บเกี่ยว (Cultivated Land) ในฤดูร้อน ซึ่งจากทฤษฎีดังที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.9.1.1 แต่เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการประเมินจากสภาพจริงของพื้นที่ซึ่งในพื้นที่มีการผสมผสานกันระหว่างพื้นที่การเกษตร พื้นที่เขตเมือง จึงกำหนดค่าลักษณะเฉพาะพื้นที่ดังต่อไปนี้

- Albedo การสะท้อนของการแผ่รังสีจากพื้นดินกลับสู่บรรยากาศโดยไม่มีการดูดซับ ใช้ค่า 0.12

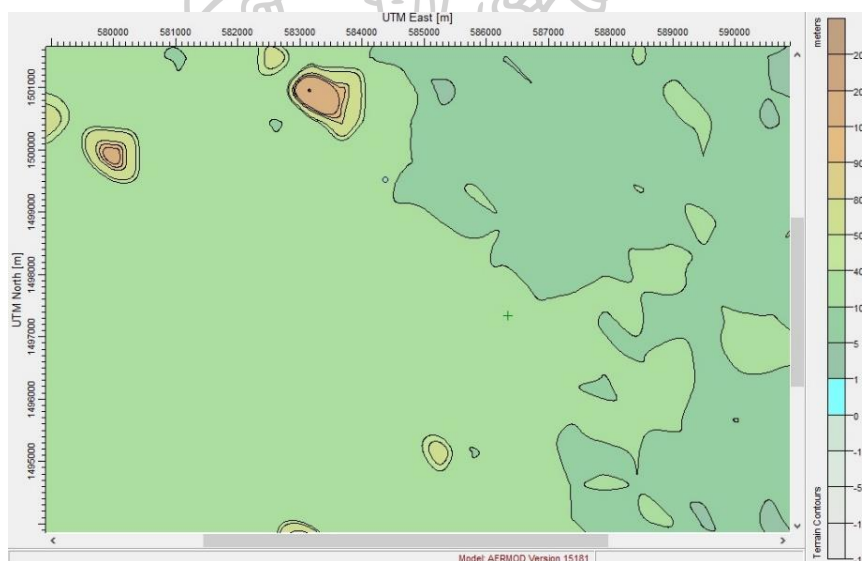
- Bowen Ratio อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงความร้อน (Sensible Heat Flux) ต่อการเปลี่ยนแปลงของความร้อนแฝง ใช้ค่า 0.2

- Surface Roughness Length ความสูงที่ความเร็วลมเฉลี่ยในแนวระดับเป็นศูนย์ ใช้ค่า 0.13

3.11.2.2 ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMAP

1) ข้อมูลตำแหน่งของพิกัดอ้างอิงของพื้นที่ศึกษา ซึ่งรวมถึงตำแหน่งของแหล่งกำเนิด (Sources) และผู้รับผลกระทบ (Receptor)

2) ข้อมูลความสูงของพื้นที่ (Terrain Data) โดยข้อมูลความสูงของพื้นที่ที่เลือกใช้ในการศึกษา คือ ฐานข้อมูลจาก Shuttle Radar Topography Mission (SRTM3/SRTM1) เนื่องจากเป็นข้อมูลความสูงที่สามารถเข้าถึงได้ง่ายโดยสามารถดาวน์โหลดข้อมูลได้จากเว็บไซต์ <http://www.webgis.com> ตัวอย่างข้อมูลภูมิประเทศแสดงดังรูปที่ 31



รูปที่ 31 ตัวอย่างข้อมูลภูมิประเทศในพื้นที่ศึกษาที่เตรียมจากโปรแกรมย่อย AERMAP

3.11.2.3 ข้อมูลแหล่งกำเนิดสารมลพิษทางอากาศ (Source data)

ข้อมูลแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) โดยกำหนดแหล่งกำเนิดที่ทำการศึกษาทั้งหมด 6 แหล่ง โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ แหล่งกำเนิดที่ฝุ่นเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ ประกอบด้วย โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ โรงงานปูนขาว ซึ่งจัดเป็นแหล่งกำเนิดแบบปริมาตร (Volume source) และแหล่งกำเนิดที่ฝุ่นเกิดจากการพัดพาของลม ประกอบด้วย โรงงานคอนกรีต

สำเร็จรูป ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน และฝุ่นถนน ซึ่งจัดเป็นแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (Area source) โดยข้อมูลแหล่งกำเนิดแสดงดังตารางที่ 9 ถึง 11 ตามลำดับ

ตารางที่ 9 ข้อมูลแหล่งกำเนิดชนิดที่เป็นแหล่งกำเนิดแบบปริมาตร (Volume source)

แหล่งกำเนิด	พิกัด (UTM)		กว้าง (m)	ยาว (m)	ความสูงของปล่อง (m)	อัตราการระบายมลพิษ (g/s)
	X	Y				
โรงงานเครื่องปั้นดินเผา	585494	1498226	0.5	2.3	6.0	0.02
โรงงานอิฐมอญ	585692	1497857	6.0	8.7	1.4	0.88
โรงงานปูนขาว	584411	1499553	6.5	6.5	6	0.72

ตารางที่ 10 ข้อมูลแหล่งกำเนิดชนิดที่เป็นแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ (Area source)

แหล่งกำเนิด	พิกัด (UTM)		ความกว้าง (m)	ความยาว (m)	อัตราการระบายมลพิษ (g/s·m ²)
	X	Y			
โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป	584710	1499093	140	200	1.08×10^{-5}
ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน	586678	1497102	13	450	9.46×10^{-6}
ฝุ่นถนน	586201	1497364	20	200	9.35×10^{-6}

จากตารางที่ 9 ถึง 10 เป็นข้อมูลของแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ ที่นำเข้าสู่แบบจำลอง AERMOD โดยค่าอัตราการระบายมลพิษของแหล่งกำเนิดแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะของแหล่งกำเนิดแต่ละแห่งนั้นซึ่งแสดงการคำนวณไว้ในภาคผนวก ข และเนื่องจากการประเมินการแพร่กระจายในการศึกษาครั้งนี้เป็นการประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นซึ่งมีลักษณะของการแพร่กระจายที่แตกต่างไปจากมลพิษที่เป็นก๊าซจึงต้องมีการกำหนดระยะการกระจายของฝุ่น (Size Distribution) โดยกำหนดให้ฝุ่นที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดนั้นเป็นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนทั้งหมดซึ่งการศึกษานี้ไม่ได้ทำการศึกษาความหนาแน่น (Density) ของฝุ่นจึงใช้ข้อมูลความหนาแน่นของฝุ่นประเภทต่างๆ จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้ โดยข้อมูลแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่าความหนาแน่นของฝุ่นที่มาจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆ

ประเภทของฝุ่น	ค่าความหนาแน่น (g/cm ³)	อ้างอิง
ถ่านหิน	1.3	Schlotthauer et al. (2008)
ดิน	2.6-2.7*	Chia (1993)
เชื้อเพลิงชีวมวล**	1.22-1.92*	Levin et al. (2010)
ซีเมนต์	2.038	Gopinath, Murthy, Ramya, and Iyer (2011)

หมายเหตุ * ใช้ค่าเฉลี่ย ** ค่าของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน

จากตารางที่ 11 การนำค่าความหนาแน่นของฝุ่นไปใช้นั้นจะเลือกใช้ให้เหมาะสมในแต่ละแหล่งกำเนิดโดยโรงงานเครื่องปั้นดินเผาและโรงงานผลิตอิฐมอญมีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล (ฟืนและแกลบ ตามลำดับ) เป็นเชื้อเพลิง ค่าความหนาแน่นของฝุ่นใช้ค่าของฝุ่นจากเชื้อเพลิงชีวมวล โรงงานปูนขาวใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง ค่าความหนาแน่นของฝุ่นใช้ค่าของฝุ่นจากถ่านหิน โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป เป็นโรงงานที่ใช้วัตถุดิบเป็นปูนซีเมนต์ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าความหนาแน่นของฝุ่นที่เกิดจากปูนซีเมนต์ ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพานและฝุ่นถนนจะใช้ค่าความหนาแน่นของฝุ่นดินเนื่องจากการก่อสร้างสะพานมีการขุดเปิดหน้าดินเพื่อวางฐานรากสะพานจึงทำให้ฝุ่นที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นฝุ่นดินซึ่งฝุ่นเหล่านี้อาจปลิวไปตกบนถนนโดยรอบ ประกอบกับพื้นที่ส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมอาจมีการไถพรวนซึ่งถือเป็นการเปิดหน้าดินจึงอาจทำให้ฝุ่นดินปลิวมาตกได้เช่นเดียวกัน ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง AERMOD นั้นจะนำผลความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ณ จุดที่ได้รับผลกระทบ Discrete Cartesian ที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองในแหล่งกำเนิดมลพิษ ทั้ง 6 แหล่งกำเนิดมาหาสัดส่วนของฝุ่นที่มาจากแหล่งกำเนิด

บทที่ 4

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1 การตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

จากการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในพื้นที่ทำการศึกษาทั้งสองพื้นที่ ได้แก่ โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยาราม ซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์หาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ ผลการศึกษามีดังนี้

4.1.1 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ

จากการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศทั้งที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินและโรงเรียนวัดเจติยารามซึ่งได้ทำการเก็บตัวอย่างในวันเดียวกันและทำการแบ่งช่วงการเก็บตัวอย่างเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงฤดูฝน และช่วงฤดูแล้ง โดยเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีผลการศึกษาดังตารางที่ 12 และตารางที่ 13

ตารางที่ 12 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศในช่วงฤดูฝน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	รร. ตชด.บ้านถ้ำหิน	รร. วัดเจติยาราม
10/8/2557	7.88	26.45
16/8/2557	22.78	36.06
22/8/2557	34.18	31.76
23/8/2557	13.20	21.50
30/8/2557	14.63	25.36
31/8/2557	1.17	18.25
12/9/2557	12.68	25.59
13/9/2557	12.93	26.67
19/9/2557	45.27	40.75
20/9/2557	25.06	46.85
26/9/2557	18.22	40.33
27/9/2557	24.09	34.17
3/10/2557	18.48	42.31
4/10/2557	22.93	41.77
$\bar{X} \pm \text{SD}$	19.47 \pm 11.01	32.70 \pm 8.89
Min – Max	1.17–45.27	18.25–47.73

จากตารางที่ 12 พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศช่วงฤดูฝนที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.47 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในวันที่ 19 กันยายน 2557 มีความเข้มข้นสูงที่สุดเท่ากับ 45.27 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โรงเรียน วัดเจติยารามมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.70 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในวันที่ 20 กันยายน 2557 มีความเข้มข้นสูงที่สุดเท่ากับ 46.85 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศช่วงฤดูแล้งมีผลการศึกษาดังตารางที่ 13 ซึ่งพบว่าที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 52.93 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในวันที่ 30 มกราคม 2558 มีความเข้มข้นสูงที่สุดเท่ากับ 87.91 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามมีค่าเท่ากับ 78.95 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยในวันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2558 มีความเข้มข้นสูงที่สุดเท่ากับ 153.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 13 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศในช่วงฤดูแล้ง

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	ร.ร. ตชด.บ้านถ้ำหิน	ร.ร. วัดเจติยาราม
23/1/2558	78.65	103.90
24/1/2558	47.46	104.86
30/1/2558	87.91	107.99
31/1/2558	67.65	92.61
6/2/2558	62.12	153.31
7/2/2558	65.87	136.48
13/2/2558	67.07	93.52
14/2/2558	36.94	60.12
15/2/2558	23.08	62.54
27/2/2558	40.56	35.69
28/2/2558	32.55	46.03
6/3/2558	29.54	38.68
7/3/2558	46.88	56.71
13/3/2558	67.31	66.05
14/3/2558	40.40	25.71
$\bar{X} \pm \text{SD}$	52.93±19.36	78.95±37.86
Min – Max	23.08-87.91	25.71-153.31

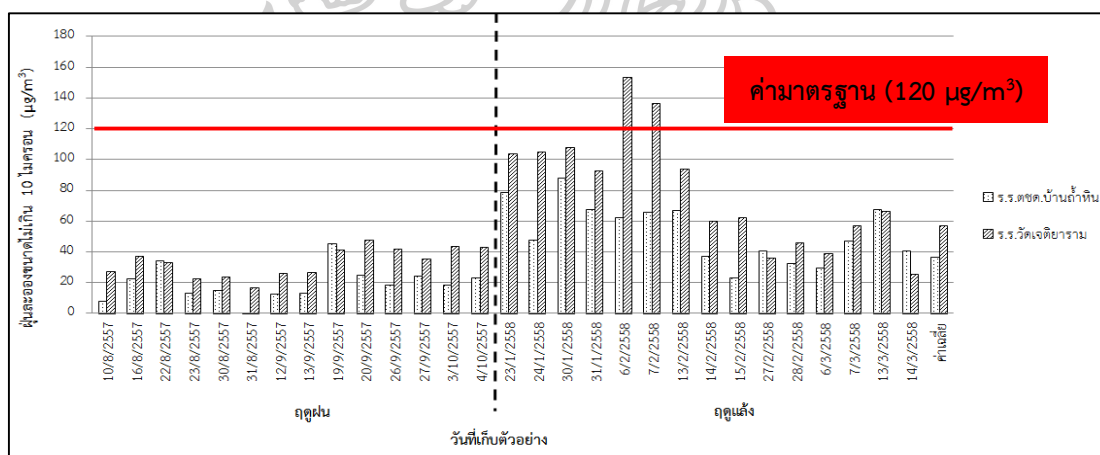
เมื่อทำการคำนวณหาความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศทั้งสองฤดู (ดังตารางที่ 14) พบว่าที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนเท่ากับ 36.81 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามมีค่าเฉลี่ยทั้งสองฤดูเท่ากับ 56.62 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน

ตารางที่ 14 ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศรวมทั้งสองฤดู

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
	ร.ร. ตชด.บ้านถ้ำหิน	ร.ร. วัดเจติยาราม
$\bar{X} \pm \text{SD}$	36.81 \pm 23.07	56.62 \pm 36.15
Min – Max	1.17-87.91	18.25-153.31

4.1.2 เปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน

เมื่อนำข้อมูลจากตารางข้างต้นมาเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศที่พบของพื้นที่เก็บตัวอย่างสองพื้นที่ ทั้งในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 เปรียบเทียบความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศ

หมายเหตุ: ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปใน 24 ชั่วโมง

จากกราฟรูปที่ 32 พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองในแต่ละครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างเป็นไปในทางเดียวกันกับค่าเฉลี่ยของฝุ่น คือ ส่วนใหญ่บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามพบความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมากกว่าโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน เนื่องจากโรงเรียนวัดเจติยารามเป็นพื้นที่ที่อยู่ไม่ไกลจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และติดกับถนนที่มีการจราจรพลุกพล่าน ส่วนบริเวณโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินเป็นพื้นที่ที่ห่างไกลจากโรงงานอุตสาหกรรมมีเพียงชุมชนที่อยู่

โดยรอบ อนึ่งในวันที่ 22 สิงหาคม 2557 วันที่ 19 กันยายน 2557 วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2558 วันที่ 13 มีนาคม 2558 และวันที่ 14 มีนาคม 2558 พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศที่โรงเรียน ตชด. บ้านถ้ำหินมีค่ามากกว่าที่โรงเรียนวัดเจติยาราม ซึ่งจากข้อมูลปริมาณฝนของกรมอุตุนิยมวิทยา บริเวณอำเภอเมืองราชบุรี พบว่าในวันดังกล่าวมีฝนตกจึงทำให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ที่โรงเรียนวัดเจติยารามมีค่าความเข้มข้นน้อยกว่า

จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนของทุกครั้งที่ทำการศึกษาเก็บตัวอย่างในช่วงฤดูฝน (สิงหาคม กันยายน และตุลาคม พ.ศ. 2557) มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปที่ได้กำหนดค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนใน 24 ชั่วโมงไว้ที่ 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ส่วนในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม กุมภาพันธ์ และ มีนาคม พ.ศ. 2558) ส่วนใหญ่ไม่เกินค่ามาตรฐาน ยกเว้นวันที่ 6 และ 7 กุมภาพันธ์ 2558 จุดตรวจวัดที่โรงเรียนวัดเจติยารามที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นสูงกว่ามาตรฐาน เมื่อนำข้อมูลการตรวจวัดมาวิเคราะห์ด้วยสถิติ Independent t-test ได้ค่า $P = 0.01$ แสดงว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองไม่เกิน 10 ไมครอนที่พบที่โรงเรียน ตชด. บ้านถ้ำหินและโรงเรียนวัดเจติยารามมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหากเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นที่พบ ณ โรงเรียนวัดเจติยาราม ซึ่งอยู่ในเขตอุตสาหกรรมที่พบความเข้มข้นอยู่ในช่วง 18.25-153.31 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กับการศึกษาของ Gupta et al. (2007) และ Wu et al. (2013) ที่ทำการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในเขตอุตสาหกรรมของเมือง Kolkata ประเทศอินเดีย และเมือง Shenzhen ประเทศจีน พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีค่าอยู่ในช่วง 62.4-401.2 และ 81.2-167 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นที่พบในการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่าที่พบในงานวิจัยก่อนหน้านี้ทั้งสองงานวิจัย ทั้งนี้เนื่องจากอุตสาหกรรมของจังหวัดราชบุรีส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดกลางที่มีการประกอบกิจการในลักษณะครัวเรือนจึงทำให้กำลังการผลิตไม่สูงมากนัก ซึ่งแตกต่างจากอุตสาหกรรมในเมือง Kolkata และเมือง Shenzhen ที่ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีกำลังการผลิตมาก และเป็นอุตสาหกรรมหนัก เช่น โรงไฟฟ้า โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น

4.2 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโลหะ

เมื่อดำเนินการวิเคราะห์ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนแล้ว ได้ทำการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะในพื้นที่ทำการศึกษาทั้งสองพื้นที่คือที่โรงเรียนวัดเจติยาราม และโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะ ในช่วงฤดูฝนแสดงดังตารางที่ 15 และ 16 ส่วนช่วงฤดูแล้งแสดงดังตารางที่ 17 และ 18 ส่วนผลการวิเคราะห์รวมทั้งสองฤดูดังตารางที่ 19 และ 20 (ผลการวิเคราะห์รายวันแสดงไว้ในภาคผนวก ก)

ตารางที่ 15 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในบรรยากาศพื้นที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินช่วงฤดูฝน

ชนิดโลหะ	ความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Al	0.1361	0.0880	0.0629	0.3527
As	0.0004	0.0015	0.0000	0.0057
Cd	0.0002	0.0004	0.0000	0.0010
Co	nd	nd	nd	nd
Cr	0.0040	0.0045	0.0009	0.0180
Cu	0.0130	0.0071	0.0041	0.0266
Fe	0.1209	0.0340	0.0752	0.1992
Hg	nd	nd	nd	nd
Mg	0.0975	0.0293	0.0500	0.1512
Mn	0.0033	0.0007	0.0022	0.0045
Ni	0.0241	0.0303	0.0000	0.0920
Pb	0.0019	0.0043	0.0000	0.0158
Sb	nd	nd	nd	nd
Zn	0.0711	0.0840	0.0162	0.2453
V	nd	nd	nd	nd

หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not detected) ค่า Detection limit แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 16 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในบรรยากาศพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยารามช่วงฤดูฝน

ชนิดโลหะ	ความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Al	0.2040	0.0976	0.1053	0.4414
As	nd	nd	nd	nd
Cd	0.0001	0.0002	0.0000	0.0006
Co	nd	nd	nd	nd
Cr	0.0037	0.0013	0.0017	0.0059
Cu	0.0177	0.0070	0.0038	0.0311
Fe	0.2717	0.0687	0.1567	0.4310
Hg	nd	nd	nd	nd
Mg	0.3850	0.1751	0.2193	0.9148
Mn	0.0097	0.0030	0.0051	0.0168
Ni	0.0084	0.0080	0.0000	0.0266
Pb	0.0656	0.0697	0.0089	0.2697
Sb	0.0004	0.0015	0.0000	0.0057
Zn	0.0674	0.0659	0.0205	0.2784
V	nd	nd	nd	nd

หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not detected) ค่า Detection limit แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 17 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในพื้นที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินช่วงฤดูแล้ง

ชนิดโลหะ	ความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Al	0.1312	0.0519	0.0741	0.2717
As	0.0013	0.0015	0.0000	0.0039
Cd	0.0010	0.0011	0.0000	0.0031
Co	nd	nd	nd	nd
Cr	0.0025	0.0015	0.0007	0.0061
Cu	0.0106	0.0039	0.0042	0.0179
Fe	0.4433	0.1918	0.1679	0.8802
Hg	nd	nd	nd	nd
Mg	0.1506	0.0398	0.0756	0.2146
Mn	0.0150	0.0058	0.0059	0.0269
Ni	0.0399	0.0841	0.0030	0.3407
Pb	0.0087	0.0058	0.0000	0.0196
Sb	nd	nd	nd	nd
Zn	0.0521	0.0200	0.0266	0.0915
V	nd	nd	nd	nd

หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not detected) ค่า Detection limit แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 18 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยารามช่วงฤดูแล้ง

ชนิดโลหะ	ความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Al	0.1644	0.0545	0.0586	0.2846
As	0.0016	0.0016	0.0000	0.0052
Cd	0.0010	0.0009	0.0000	0.0023
Co	nd	nd	nd	nd
Cr	0.0030	0.0010	0.0011	0.0046
Cu	0.0605	0.0243	0.0223	0.1087
Fe	0.5535	0.2043	0.2226	0.9376
Hg	nd	nd	nd	nd
Mg	0.6752	0.3135	0.2695	1.4874
Mn	0.0207	0.0082	0.0095	0.0374
Ni	0.0199	0.0158	0.0039	0.0630
Pb	0.0364	0.0482	0.0040	0.1969
Sb	nd	nd	nd	nd
Zn	0.0665	0.0280	0.0303	0.1367
V	nd	nd	nd	nd

หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not detected) ค่า Detection limit แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 19 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในพื้นที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินทั้งสองฤดู

ชนิดโลหะ	ความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Al	0.1335	0.0704	0.0629	0.3527
As	0.0009	0.0016	0.0000	0.0057
Cd	0.0006	0.0009	0.0000	0.0031
Co	nd	nd	nd	nd
Cr	0.0032	0.0034	0.0007	0.0180
Cu	0.0117	0.0057	0.0041	0.0266
Fe	0.2877	0.2140	0.0752	0.8802
Hg	nd	nd	nd	nd
Mg	0.1250	0.0438	0.0500	0.2146
Mn	0.0094	0.0072	0.0022	0.0269
Ni	0.0322	0.0634	0.0000	0.3407
Pb	0.0054	0.0061	0.0000	0.0196
Sb	nd	nd	nd	nd
Zn	0.0613	0.0597	0.0162	0.2453
V	nd	nd	nd	nd

หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not detected) ค่า Detection limit แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 20 ความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในพื้นที่โรงเรียนวัดเจติยารามทั้งสองฤดู

ชนิดโลหะ	ความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Al	0.1835	0.0795	0.0586	0.4414
As	0.0008	0.0014	0.0000	0.0052
Cd	0.0006	0.0008	0.0000	0.0023
Co	nd	nd	nd	nd
Cr	0.0033	0.0012	0.0011	0.0059
Cu	0.0398	0.0281	0.0038	0.1087
Fe	0.4175	0.2088	0.1567	0.9376
Hg	nd	nd	nd	nd
Mg	0.5351	0.2918	0.2193	1.4874
Mn	0.0154	0.0083	0.0051	0.0374
Ni	0.0143	0.0138	0.0000	0.0630
Pb	0.0505	0.0603	0.0040	0.2697
Sb	0.0002	0.0011	0.0000	0.0057
Zn	0.0669	0.0491	0.0205	0.2784
V	nd	nd	nd	nd

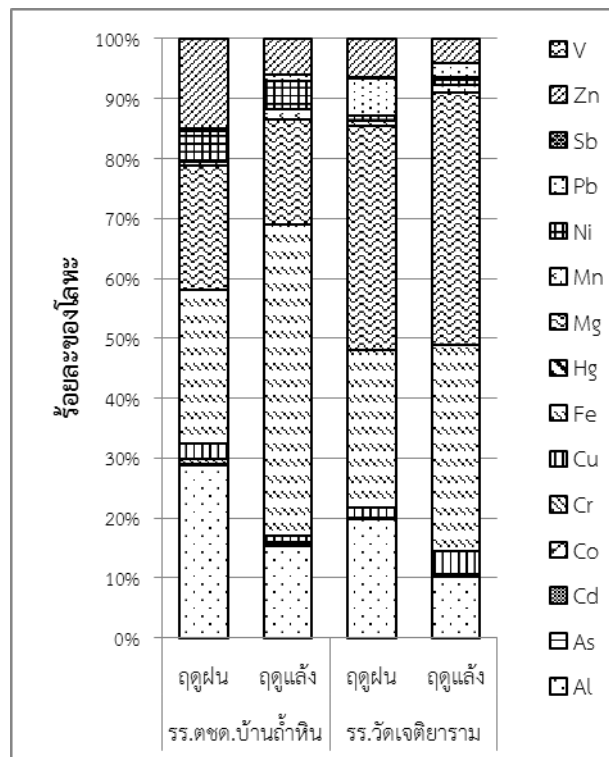
หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ (Not detected) ค่า Detection limit แสดงดังตารางที่ 7

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะในบรรยากาศในช่วงฤดูฝนที่โรงเรียน ตชด.บ้านลำหิน (ตารางที่ 15 และ 16) พบว่าโลหะที่มีความเข้มข้นมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) และแมกนีเซียม (Mg) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1361 0.1209 และ 0.0975 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 28.80 25.59 และ 20.63 ของความเข้มข้นโลหะรวม ตามลำดับ โดยมีโลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ โคบอล (Co)ปรอท (Hg) พลวง (Sb) และวานาเดียม (V) ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามพบปริมาณโลหะที่มีความเข้มข้นมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) และ อะลูมิเนียม (Al) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.3850 0.2717 และ 0.2040 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 37.24 26.28 และ 19.73 ของความเข้มข้นโลหะรวม ตามลำดับ มีโลหะที่ตรวจไม่พบทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ อาซีนิก (As) โคบอล (Co) ปรอท (Hg) และ วานาเดียม (V)

จากตารางผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นโลหะในช่วงฤดูแล้ง (ตารางที่ 17 และ 18) พบว่ามีความแตกต่างกับช่วงฤดูฝน โดยโลหะที่มีความเข้มข้นมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) และอะลูมิเนียม (Al) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.4433 0.1506 และ 0.1312 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 51.78 17.59 และ 15.32 ของความเข้มข้นโลหะรวม ตามลำดับ โดยมีโลหะที่ตรวจไม่พบมีทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ โคบอล (Co) ปรอท (Hg) พลวง (Sb) และวานาเดียม (V) ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามพบปริมาณโลหะที่มีความเข้มข้นมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) และ อะลูมิเนียม (Al) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6752 0.5535 และ 0.1644 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 42.13 34.54 และ 10.26 ของความเข้มข้นโลหะรวม ตามลำดับ มีโลหะที่ตรวจไม่พบทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ โคบอล (Co) ปรอท (Hg) พลวง (Sb) และ วานาเดียม (V)

เมื่อทำการหาค่าเฉลี่ยรวมของค่าเฉลี่ยโลหะที่พบทั้งสองฤดู (ตารางที่ 19 และตารางที่ 20) พบว่าความเข้มข้นโลหะในบรรยากาศที่โรงเรียน ตชด.บ้านลำหิน ที่มีความเข้มข้นมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และแมกนีเซียม (Mg) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2877 0.1335 และ 0.1250 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 42.88 19.90 และ 48.63 ของความเข้มข้นโลหะรวม ตามลำดับ ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามพบความเข้มข้นโลหะที่มีความเข้มข้นมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) และ อะลูมิเนียม (Al) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.5351 0.4175 และ 0.1835 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ หรือคิดเป็นร้อยละ 40.30 31.44 และ 13.82 ของความเข้มข้นโลหะรวม ตามลำดับ

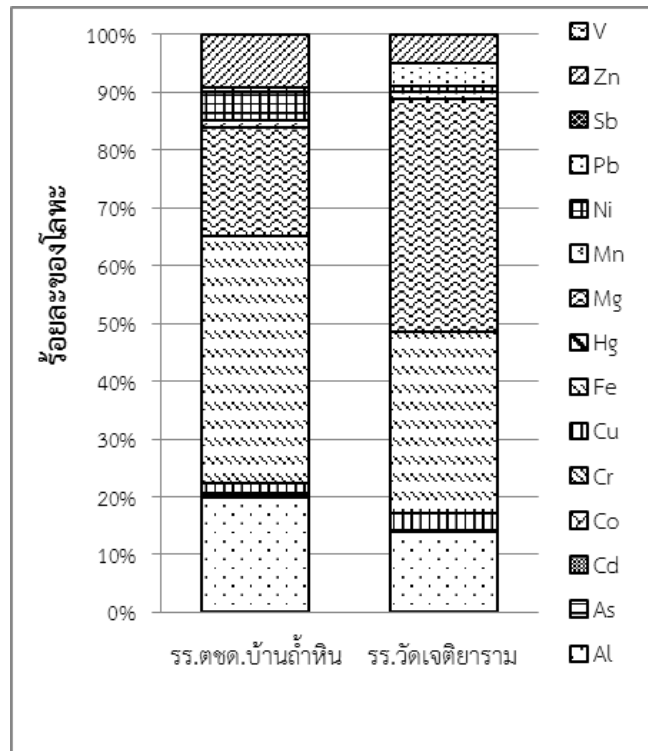
เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นโลหะที่พบในบรรยากาศของพื้นที่เก็บตัวอย่างทั้งสองพื้นที่ทั้งในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้งได้ผลดังรูปที่ 33



รูปที่ 33 เปรียบเทียบความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในบรรยากาศ

จากรูปที่ 33 พบว่าในช่วงฤดูฝนลำดับของความเข้มข้นโลหะในบรรยากาศที่โรงเรียน ตชด. บ้านลำหินจากมากไปน้อยเป็นดังนี้ $Al > Fe > Mg > Zn > Ni > Cu > Cr > Mn > Pb > As > Cd$ เมื่อเปรียบเทียบกับโรงเรียนวัดเจติยารามพบว่ามีลำดับดังนี้ $Mg > Fe > Al > Zn > Pb > Cu > Mn > Ni > Cr > Sb > Cd$ ส่วนในช่วงฤดูแล้งลำดับของความเข้มข้นโลหะในบรรยากาศที่โรงเรียน ตชด.บ้านลำหินจากมากไปน้อยดังนี้ $Fe > Mg > Al > Zn > Ni > Mn > Cu > Pb > Cr > Sb > As > Cd$ เมื่อเปรียบเทียบกับโรงเรียนวัดเจติยารามพบว่ามีค่าความเข้มข้นที่แตกต่างกันโดยพบว่ามีลำดับดังนี้ $Mg > Fe > Al > Zn > Cu > Pb > Mn > Ni > Cr > As > Cd$ จะเห็นได้ว่าโลหะที่พบความเข้มข้นมากที่สุด 3 แรกเหมือนกันทั้งสองฤดูและสองโรงเรียนแต่ความเข้มข้นที่พบมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน

หากทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของโลหะทั้งสองฤดูของทั้งสองโรงเรียนในบรรยากาศได้ผลดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นโลหะในฝุ่นที่พบในบรรยากาศทั้งสองฤดู

จากรูปจะเห็นว่าโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินมีลำดับความเข้มข้นของโลหะในบรรยากาศของโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน และโรงเรียนวัดเจติยารามมีลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน (Fe > Al > Mg > Zn > Ni > Cu > Mn > Pb > Cr > As > Cd) โรงเรียนวัดเจติยาราม (Mg > Fe > Al > Zn > Pb > Cu > Mn > Ni > Cr > As > Cd > Sb)

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้ในการศึกษารั้งนี้กับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 เปรียบเทียบความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นที่พบของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พื้นที่ศึกษา	ลักษณะพื้นที่ศึกษา	ลำดับความเข้มข้นของโลหะ
สมุทรปราการ ประเทศไทย ¹	เมืองและอุตสาหกรรม	Fe >Cr >S >Si >Cl >K >Ni
Kolkata ประเทศอินเดีย ²	เมืองและอุตสาหกรรม	Zn >Fe >Pb >Ni >Cr >Mn >Cd
เชียงใหม่ ลำพูน ประเทศไทย ³	เมือง	Ca >Si >K >Fe >Al >Mg >Zn
Rhodes Island ประเทศกรีซ ⁴	เมืองและอุตสาหกรรม	Ca >S >K >Si >Al >Fe >Ti
Delhi ประเทศอินเดีย ⁵	เมืองและอุตสาหกรรม	Ca >S >Na >Cl >Al >Si >K
กรุงเทพฯ ประเทศไทย ⁶	เมือง	Al >Fe >Zn >Cu >Pb >Mn >Ba
ราชบุรี ประเทศไทย (งานวิจัยนี้)	เมืองและอุตสาหกรรม*	Mg >Fe >Al >Zn >Cu >Pb >Mn

หมายเหตุ: ¹ ธิตารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์ (2549)

² Gupta et al. (2007)

³ Chantara, Wangkarn, Thengcharoenkul, Sangchan, and Raynakorn (2009)

⁴ Argyropoulos, Manoli, Kouras, and Samara (2012)

⁵ Sharma et al. (2014)

⁶ Pongpiachan and Iijima (2016)

* พิจารณาที่โรงเรียนวัดเจติยาราม

จากตารางที่ 21 เห็นได้ว่าลำดับความเข้มข้นของโลหะที่พบในแต่ละแหล่งแตกต่างกันไปในแต่ละสถานที่และกิจกรรมที่พบในพื้นที่ โดยพบว่าการศึกษาของ Chantara et al. (2009) และ Pongpiachan and Iijima (2016) มีลักษณะพื้นที่ศึกษาเป็นเมือง จะพบโลหะเด่นที่เป็นส่วนประกอบของดินในธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ เช่น Na Mg Al Si Ca Fe เป็นต้น (Pengchai et al., 2009; Shi et al., 2011) ส่วนพื้นที่ศึกษาที่มีลักษณะเป็นเมืองอยู่ร่วมกับอุตสาหกรรม เช่น การศึกษาของธิตารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์ (2549) Gupta et al. (2007) Argyropoulos et al. (2012) และ Sharma et al. (2014) ที่พบโลหะเด่นเป็นองค์ประกอบของดินตามธรรมชาติร่วมกับที่มีแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมและกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น โลหะ S ที่มาจากโรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Wu et al., 2013) หรืออาจมาจากฝุ่นที่มาจากสารประกอบทุติยภูมิ (Marcazzan, Ceriani, Valli, & Vecchi, 2003) ในขณะที่ Pb Zn Cr V และ Ni มาจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจากการปลดปล่อยของรถยนต์ที่ใช้แก๊สโซลีนและดีเซลเป็นเชื้อเพลิง หรืออาจมาจากโรงงานอุตสาหกรรมโลหะ (Contini et al., 2010; Thurston, Ito, & Lall, 2011; Wu et al., 2013) เป็นต้น จากการศึกษาครั้งนี้พื้นที่ศึกษามีลักษณะเป็นพื้นที่เมืองอยู่ร่วมกันอุตสาหกรรมจึงพบโลหะที่เป็น

องค์ประกอบเด่นเป็นองค์ประกอบของดินธรรมชาติเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งต่างจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่ได้ศึกษาในลักษณะเดียวกันที่พบโลหะที่มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมและกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เป็นองค์ประกอบเด่นใกล้เคียงกับโลหะที่เป็นองค์ประกอบของดินตามธรรมชาติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอุตสาหกรรมที่อยู่ในพื้นที่ของจังหวัดราชบุรีเป็นอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมคอนกรีต-สำเร็จรูป และอุตสาหกรรมแปรรูปหินปูน เป็นต้น ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้เป็นอุตสาหกรรมแปรรูปที่ใช้วัตถุดิบเป็นหินและดินที่มีอยู่ตามธรรมชาติ ดังนั้นจึงพบองค์ประกอบที่มีอยู่ในดินและหินเป็นองค์ประกอบเด่นในฝุ่นละอองที่กระจายในพื้นที่

4.3 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำ

จากการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำที่พบในพื้นที่ที่ได้ทำการศึกษาทั้งสองพื้นที่คือโรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน โดยทำการวิเคราะห์ทั้งในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 22 และ 23 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยทั้งสองฤดูได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 24

	ชนิดไอออน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ร.ร.วัดเจติยาราม	Na^+	0.4931	0.2502	0.1892	0.9812
	NH_4^+	0.1699	0.1464	0.0163	0.4836
	K^+	0.7929	0.1603	0.4978	0.9744
	Ca^{2+}	3.4938	1.0190	2.2698	5.8448
	Mg^{2+}	0.3529	0.1444	0.1701	0.6850
	Cl^-	0.3191	0.1971	0.1188	0.6672
	NO_3^-	0.0077	0.0100	0.0021	0.0385
	SO_4^{2-}	1.7037	2.1338	0.3212	8.4580
ร.ร.ตชด.บ้านถ้ำหิน	Na^+	0.3464	0.1602	0.1331	0.6153
	NH_4^+	0.2527	0.3720	0.0126	1.3159
	K^+	0.3063	0.0759	0.1112	0.4026
	Ca^{2+}	1.6354	1.1236	0.6424	4.544
	Mg^{2+}	0.1901	0.0893	0.0598	0.375
	Cl^-	0.1091	0.0724	0.0419	0.292
	NO_3^-	0.0093	0.0164	0.0009	0.053
	SO_4^{2-}	6.6441	9.6806	0.2320	30.2334

จากตารางผลการวิเคราะห์ช่วงฤดูฝนที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน (ตารางที่ 22) พบว่าไอออนบวกที่ละลายน้ำที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ Ca^{2+} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.6354 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ Mg^{2+} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1901 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนไอออนลบที่ละลายน้ำพบว่าไอออนลบที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ (SO_4^{2-}) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.6441 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ NO_3^- มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0093 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามพบไอออนบวกที่ละลายน้ำที่มีความเข้มข้นที่สูงสุด คือ Ca^{2+} ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 3.4938 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ NH_4^+ ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.1699 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนไอออนลบที่ละลายน้ำพบว่าไอออนลบที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ SO_4^{2-} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.7037 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ NO_3^- มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0077 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 23 ความเข้มข้นไอออนที่ละลายน้ำที่พบในฝนทั้งสองพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูแล้ง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

ชนิดไอออน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
Na^+	1.1823	0.4417	0.5508	1.8483
NH_4^+	2.0783	1.0115	0.5668	3.8066
K^+	1.7683	0.7948	0.6272	2.9866
Ca^{2+}	3.8737	2.1393	0.5768	8.9592
Mg^{2+}	0.6931	0.2810	0.1454	1.1641
Cl^-	0.7875	0.4829	0.1227	1.6276
NO_3^-	129.8682	101.1431	12.7085	344.9753
SO_4^{2-}	6.5337	2.3606	2.4063	11.2224
Na^+	0.4647	0.3855	0.0896	1.6070
NH_4^+	2.9627	1.7134	1.1219	7.8630
K^+	1.1611	0.5050	0.4402	2.3223
Ca^{2+}	0.8652	0.6959	0.2564	3.0814
Mg^{2+}	0.1811	0.1569	0.0508	0.6947
Cl^-	0.1380	0.1891	0.0327	0.8027
NO_3^-	133.1387	108.4606	10.7819	402.2816
SO_4^{2-}	6.0995	3.1644	3.4345	15.8495

ส่วนช่วงฤดูแล้งที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน (ตารางที่ 23) พบว่าไอออนบวกที่ละลายน้ำที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ NH_4^+ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.9627 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำ

ที่สุด คือ Mg^{2+} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1811 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนไอออนลบที่ละลายน้ำพบว่า ไอออนลบที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ NO_3^- มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 133.1387 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด Cl^- คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1380 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามพบไอออนบวกที่ละลายน้ำที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ Ca^{2+} ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 3.8737 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ Mg^{2+} ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.6931 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนไอออนลบที่ละลายน้ำพบว่า ไอออนลบที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ NO_3^- มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 129.8682 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ Cl^- มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.7875 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

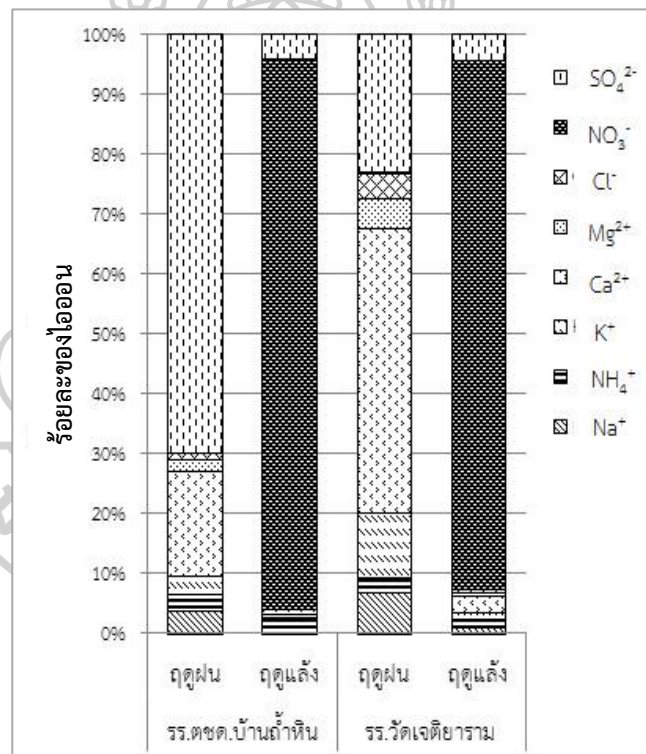
ตารางที่ 24 ความเข้มข้นไอออนที่ละลายน้ำที่พบในฝุ่นทั้งสองพื้นที่ศึกษารวมทั้งสองฤดู ($\mu g/m^3$)

ชนิดไอออน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	
ร.ร.วัดเจติยาราม	Na^+	0.8496	0.4995	0.1892	1.8483
	NH_4^+	1.1570	1.2097	0.0163	3.8066
	K^+	1.2974	0.7575	0.4978	2.9866
	Ca^{2+}	3.6903	1.6756	0.5768	8.9592
	Mg^{2+}	0.5289	0.2812	0.1454	1.1641
	Cl^-	0.5613	0.4375	0.1188	1.6276
	NO_3^-	67.1769	97.3462	0.0021	344.9753
	SO_4^{2-}	4.2020	3.3066	0.3212	11.2224
	ร.ร.ตชด.บ้านถ้ำหิน	Na^+	0.4076	0.2997	0.0896
NH_4^+		1.6544	1.8524	0.0126	7.8630
K^+		0.7484	0.5649	0.1112	2.3223
Ca^{2+}		1.2370	0.9908	0.2564	4.5443
Mg^{2+}		0.1855	0.1266	0.0508	0.6947
Cl^-		0.1241	0.1433	0.0327	0.8027
NO_3^-		68.8693	102.3010	0.0009	402.2816
SO_4^{2-}	6.3624	6.9709	0.2320	30.2334	

หากทำการหาค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำที่พบทั้งสองฤดู (ตารางที่ 24) พบว่าที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินไอออนบวกที่ละลายน้ำที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ NH_4^+ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.8524 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ Mg^{2+} มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1266 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนไอออนลบที่ละลายน้ำพบว่าไอออนลบที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ

NO_3^- มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 102.3010 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด Cl^- คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.1241 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามพบไอออนบวกที่ละลายน้ำที่มีความเข้มข้นที่สูงที่สุด คือ Ca^{2+} ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 3.6903 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ Mg^{2+} ซึ่งมีความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 0.5289 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนไอออนลบที่ละลายน้ำพบว่าไอออนลบที่มีความเข้มข้นสูงที่สุด คือ NO_3^- มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 67.1769 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเข้มข้นต่ำที่สุด คือ Cl^- มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.5613 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

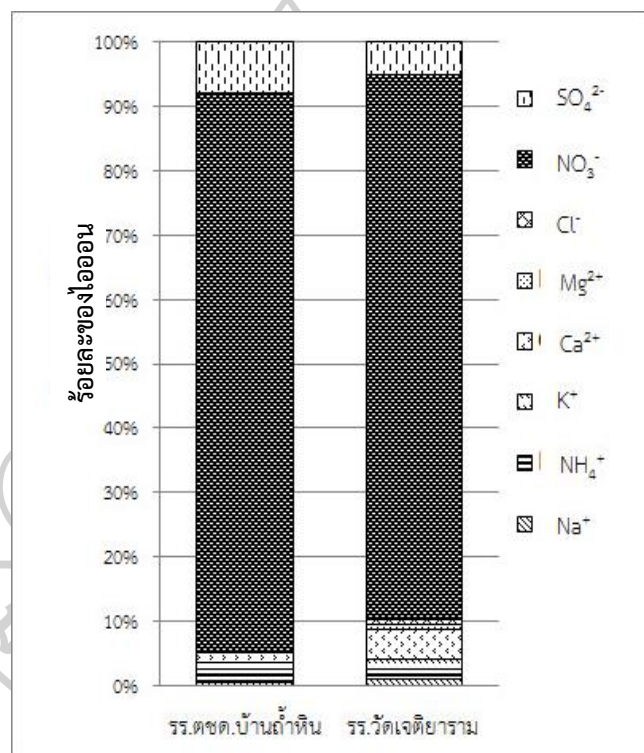
เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นไอออนที่ละลายน้ำที่พบในบรรยากาศของพื้นที่เก็บตัวอย่างทั้งสองพื้นที่ได้ผลดังรูปที่ 35



รูปที่ 35 เปรียบเทียบความเข้มข้นไอออนที่พบในฝุ่นในบรรยากาศ

จากรูปที่ 35 พบว่าลำดับของไอออนที่ละลายน้ำในช่วงฤดูฝน ที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินมีลำดับความเข้มข้นของไอออนบวกจากมากไปน้อยดังนี้ $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Mg}^{2+}$ ไอออนลบจากมากไปน้อยดังนี้ $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^-$ เมื่อเปรียบเทียบกับโรงเรียนวัดเจติยารามพบว่าลำดับที่แตกต่างกันโดยพบว่าลำดับของความเข้มข้นไอออนบวกที่โรงเรียนวัดเจติยารามมีลำดับดังนี้ $\text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+$ ส่วนไอออนลบมีลำดับเหมือนกันแต่ความเข้มข้นที่พบแตกต่างกัน ส่วน

ไอออนที่ละลายน้ำในช่วงฤดูแล้งที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน มีลำดับความเข้มข้นของไอออนบวกจากมากไปน้อยดังนี้ $\text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ ไอออนลบจากมากไปน้อยดังนี้ $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ เมื่อเปรียบเทียบกับโรงเรียนวัดเจติยารามพบว่าลำดับที่แตกต่างกันโดยพบว่าลำดับของความเข้มข้นไอออนบวกที่โรงเรียนวัดเจติยารามมีลำดับดังนี้ $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ ส่วนไอออนลบมีลำดับเหมือนกันแต่ความเข้มข้นที่พบแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าในช่วงฤดูฝนที่โรงเรียนตชด.บ้านถ้ำหิน พบ SO_4^{2-} สัดส่วนมากที่สุด ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามพบ Ca^{2+} สัดส่วนมากที่สุด ส่วนในฤดูแล้งนั้น พบ NO_3^- ในสัดส่วนที่มากที่สุดทั้ง 2 โรงเรียน



รูปที่ 36 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นไอออนที่พบในฝุ่นในบรรยากาศรวมทั้งสองฤดู

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยรวมทั้งสองฤดูทั้งสองโรงเรียนดังรูปที่ 36 ที่พบว่าไอออนลบที่ละลายน้ำคือ NO_3^- ซึ่งเป็นองค์ประกอบมากที่สุดทั้งสองโรงเรียนในช่วงฤดูแล้ง เมื่อเทียบกับไอออนตัวอื่นๆ และยังพบว่ายังมีร้อยละของความเข้มข้นใกล้เคียงกันอีกด้วย ซึ่งสามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาในครั้งนี้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 เปรียบเทียบความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำที่พบในฝุ่นในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พื้นที่ศึกษา	ลักษณะพื้นที่ศึกษา	ลำดับความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำ
กรุงเทพฯ ประเทศไทย ¹	เมือง	$\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$
สมุทรปราการ ประเทศไทย ²	เมืองและ อุตสาหกรรม	$\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$
เชียงใหม่ ลำพูน ประเทศไทย ³	เมือง	$\text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$
Shenzhen ประเทศจีน ⁴	อุตสาหกรรม	$\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{F}^-$
Delhi ประเทศอินเดีย ⁵	เมืองและ อุตสาหกรรม	$\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+}$
ราชบุรี ประเทศไทย (งานวิจัยนี้)	เมืองและ อุตสาหกรรม*	$\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+}$

หมายเหตุ: ¹ Wangkiat, Harvey, Garivait, et al. (2004)

² ฐิตารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์ (2549)

³ Chantara et al. (2009)

⁴ Wu et al. (2013)

⁵ Sharma et al. (2014)

* พิจารณาที่โรงเรียนวัดเจติยาราม

จากตารางเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 25) พบว่าการศึกษาที่ผ่านมาพบ SO_4^{2-} ในสัดส่วนที่มากกว่าทั้งในพื้นที่เมืองหรือในพื้นที่เมืองอยู่ร่วมกับอุตสาหกรรมซึ่งแตกต่างจากการศึกษาในครั้งนี้ที่พบ NO_3^- ในสัดส่วนที่มากกว่า SO_4^{2-} ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพื้นที่ศึกษาเป็นพื้นที่เกษตรกรรมถึงแม้จะเป็นชุมชนเมืองที่ประกอบไปด้วยอุตสาหกรรมต่างๆ อยู่รวมกัน แต่ส่วนใหญ่ก็ยังเป็นพื้นที่เกษตรกรรมจึงอาจจะมีการใส่ปุ๋ยเพื่อเป็นการเพิ่มธาตุไนโตรเจนแก่พืชในรูปของแอมโมเนียมไนเตรด (NH_4NO_3) ซึ่งถ้าหากเป็นช่วงฤดูแล้งจะตรวจพบในปริมาณมากกว่าในช่วงฤดูฝนเนื่องจากไม่เกิดการชะล้างอนุภาคต่างๆ ที่อยู่ในบรรยากาศ หรือแม้กระทั่งการปลดปล่อยสารมลพิษจากเครื่องยนต์ก็สามารถทำให้เกิดเป็น NO_3^- ได้เช่นกัน ส่วน SO_4^{2-} นั้นมาจากกระบวนการเผาไหม้ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงหรือการเผาไหม้ของน้ำมันเตา ซึ่งจากการศึกษาของฐิตารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์ (2549) Wu et al. (2013) และ Sharma et al. (2014) ที่ทำการศึกษาในเมืองที่มีอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และใช้ถ่านหิน

เป็นเชื้อเพลิงหลัก ซึ่งต่างจากพื้นที่เมืองราชบุรีที่เชื้อเพลิงส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลจึงพบ K^+ เป็นไอออนอันดับแรกๆ ของกลุ่มไอออนบวก นอกจากนี้ NO_3^- และ SO_4^{2-} และ NH_4^+ ยังเป็นฝุ่นทุติยภูมิที่พบในบรรยากาศที่อยู่ในรูปของปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรต และแอมโมเนียมซัลเฟต $((NH_4)_2SO_4)$ อีกด้วย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการศึกษาที่ผ่านมาและการศึกษาในครั้งนี้ด้วยสามารถพบทั้ง NO_3^- และ SO_4^{2-} ในสัดส่วนที่มากกว่าไอออนที่ละลายน้ำชนิดอื่นๆ ไม่ว่าพื้นที่นั้นจะมีลักษณะเป็นพื้นที่เมือง เมืองที่อยู่ร่วมกับอุตสาหกรรม หรือพื้นที่อุตสาหกรรมก็ตาม (Pey, Alastuey, & Querol, 2013; Salvador et al., 2016; Wangkiat, Harvey, Garivait, et al., 2004)

4.4 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอน

ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอน (OC) และธาตุคาร์บอน (EC) ที่พบในบรรยากาศบริเวณพื้นที่ได้ทำการศึกษาทั้งสองพื้นที่คือโรงเรียนวัดเจติยาราม และโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 26 และ 27 ตามลำดับ ส่วนค่าเฉลี่ยทั้งสองฤดูได้ผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 26 ความเข้มข้นคาร์บอนที่พบในฝุ่นทั้งสองพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูฝน ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	ชนิดคาร์บอน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ร.ร.วัดเจติยาราม	EC	2.5071	1.8947	0.2190	7.4610
	OC	15.9506	2.8399	11.4230	21.3247
ร.ร.ตชด.บ้านถ้ำหิน	EC	3.9681	3.0763	0.1434	9.9658
	OC	11.5767	2.7307	6.5752	14.8548

ตารางที่ 27 ความเข้มข้นคาร์บอนที่พบในฝุ่นทั้งสองพื้นที่ศึกษาในช่วงฤดูแล้ง ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)					
	ชนิดคาร์บอน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ร.ร.วัดเจติยาราม	EC	4.8617	2.5960	1.0408	9.1785
	OC	24.7876	12.1595	9.4734	52.4221
ร.ร.ตชด.บ้านถ้ำหิน	EC	3.8787	1.8748	1.2295	7.3709
	OC	20.6117	5.0758	10.6122	31.8167

จากตารางผลการวิเคราะห์ช่วงฤดูฝน (ตารางที่ 26) ที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน พบว่าอินทรีย์คาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 11.5767 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ธาตุคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.9681 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยาราม พบอินทรีย์คาร์บอนมี

ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15.9506 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ธาตุคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.5071 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

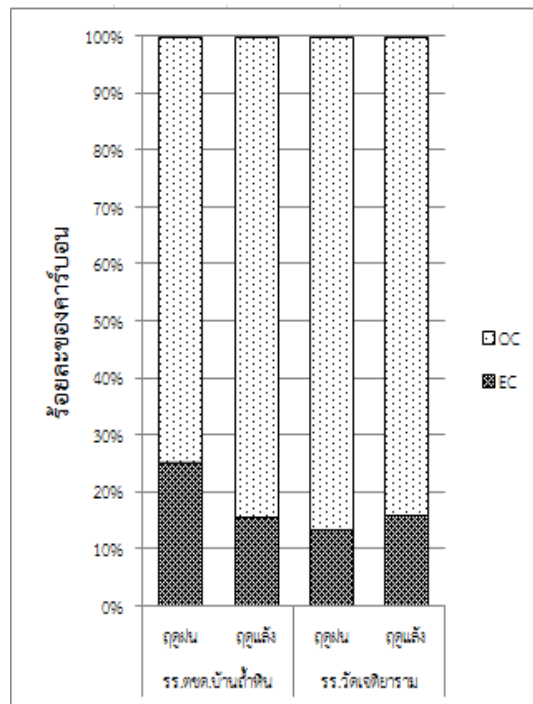
ส่วนช่วงฤดูแล้ง (ตารางที่ 27) ที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินพบว่าอินทรีย์คาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.6117 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ธาตุคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.8787 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยาราม พบอินทรีย์คาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 24.7876 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ธาตุคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.8617 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 28 ความเข้มข้นคาร์บอนที่พบในฝุ่นทั้งสองพื้นที่ศึกษาทั้งสองฤดู ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

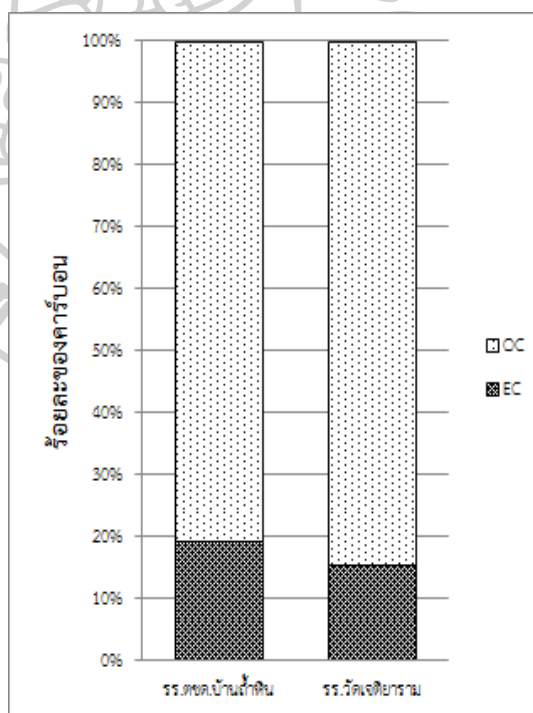
	ชนิดคาร์บอน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ร.ร.วัดเจติยาราม	EC	3.7250	2.5437	0.2190	9.1785
	OC	20.5214	9.8928	9.4734	52.4221
ร.ร.ตชด.บ้านถ้ำหิน	EC	3.9184	2.4287	0.1434	9.9658
	OC	16.5961	6.1611	6.5752	31.8167

ส่วนค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนที่พบทั้งสองฤดู (ตารางที่ 28) พบว่าอินทรีย์คาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 16.5961 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ธาตุคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.9184 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยาราม พบอินทรีย์คาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 20.5214 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ธาตุคาร์บอนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.7250 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อทำการเปรียบเทียบความเข้มข้นคาร์บอนอินทรีย์และธาตุคาร์บอนที่พบในบรรยากาศของพื้นที่เก็บตัวอย่างทั้งสองพื้นที่ได้ผลดังรูปที่ 37



รูปที่ 37 เปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนที่พบในฝุ่นในบรรยากาศ



รูปที่ 38 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของคาร์บอนที่พบในบรรยากาศรวมทั้งสองฤดู

จากรูปที่ 37 จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของคาร์บอนที่พบในบรรยากาศในช่วงฤดูแล้งจะพบองค์ประกอบทั้งที่เป็นอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนมากกว่าในช่วงฤดูฝนทั้งสองโรงเรียนยกเว้น

ปริมาณธาตุคาร์บอนที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน ส่วนการเปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนที่พบในบรรยากาศรวมทั้งสองฤดูพบว่าที่โรงเรียนวัดเจติยารามจะพบปริมาณอินทรีย์คาร์บอนมากกว่าโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินและจะพบธาตุคาร์บอนน้อยกว่าแต่ปริมาณที่พบแตกต่างกันไม่มากนักดังรูปที่ 38 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอินทรีย์คาร์บอนมีสัดส่วนมากที่สุดทั้ง 2 โรงเรียนและทั้ง 2 ฤดูกาล

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้ในการศึกษาครั้งนี้กับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้สามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 เปรียบเทียบความเข้มข้นของคาร์บอนที่พบในฝุ่นในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พื้นที่ศึกษา	ลักษณะพื้นที่ศึกษา	ลำดับความเข้มข้นของคาร์บอน
Sihwa ประเทศเกาหลีใต้ ¹	เมืองและอุตสาหกรรม	OC > EC
สมุทรปราการ ประเทศไทย ²	เมืองและอุตสาหกรรม	EC > OC
Chongqing ประเทศจีน ³	เมือง	OC > EC
Shenzhen ประเทศจีน ⁴	อุตสาหกรรม	OC > EC
Delhi ประเทศอินเดีย ⁵	เมืองและอุตสาหกรรม	OC > EC
กรุงเทพฯ ประเทศไทย ⁶	เมือง	OC > EC
ราชบุรี ประเทศไทย (งานวิจัยนี้)	เมืองและอุตสาหกรรม*	OC > EC

หมายเหตุ: ¹ Park, Kim, and Fung (2001)

² ธิดารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์ (2549)

³ Ye, Zhao, Jiang, Chen, and Meng (2007)

⁴ Wu et al. (2013)

⁵ Sharma et al. (2014)

⁶ Pongpiachan and Iijima (2016)

* พิจารณาที่โรงเรียนวัดเจติยาราม

จากตารางเปรียบเทียบลำดับความเข้มข้นของคาร์บอน (ตารางที่ 29) พบว่าผลการศึกษาของ Park et al. (2001) Ye et al. (2007) Wu et al. (2013) Sharma et al. (2014) และการศึกษาของ Pongpiachan and Iijima (2016) มีความสอดคล้องกันถึงแม้จะมีลักษณะพื้นที่ที่แตกต่างกันคือพบอินทรีย์คาร์บอนในสัดส่วนที่มากกว่าธาตุคาร์บอน ยกเว้นการศึกษาของธิดารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์ (2549) ที่พบธาตุคาร์บอนในสัดส่วนที่มากกว่า โดยธาตุคาร์บอนนั้นเกิดจากกระบวนการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ส่วนอินทรีย์คาร์บอนในบรรยากาศนั้นเกิดจากการกระบวนการเผาไหม้ต่างๆ (การเผาไหม้เครื่องยนต์จากการจราจร การเผาไหม้ถ่านหิน และจาก

อุตสาหกรรมต่างๆ) นอกจากนี้การกระบวนการออกซิเดชันของ VOCs สามารถทำให้เกิดเป็นอินทรีย์คาร์บอนได้เช่นกัน (Liu et al., 2016)

4.5 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ธาตุโลหะ ไอออนที่ละลายน้ำ อินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนในบรรยากาศ

การวิเคราะห์สถิติโดยใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) แบบสเปียร์แมน (Spearman rank difference method) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน กับความเข้มข้นโลหะ ไอออนที่ละลายน้ำ อินทรีย์คาร์บอน และธาตุคาร์บอนในบรรยากาศ ที่โรงเรียนวัดเจติยารามและโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน มีผลดังตารางที่ 30 ถึง 35

ตารางที่ 30 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและโลหะในฝุ่นในบรรยากาศบริเวณโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
PM ₁₀	.162	.247	.331	.060	.114	.762**	.508**	.749**	.041	.459**	-.034	.320
Al		.224	-.164	-.028	.230	.196	.488**	.219	-.019	.281	-.378	.407*
As			.134	.326	-.047	.451**	.543**	.499**	-.095	.581**	-.172	.236
Cd				.336	-.015	.268	-.061	.234	.092	.331	-.144	-.017
Cr					.107	.050	.264	.097	-.345	.263	-.310	.336
Cu						-.232	.024	-.163	-.198	-.040	-.447	.254
Fe							.721**	.952**	.152	.583**	-.103	.275
Mg								.727**	-.268	.563**	-.378	.546**
Mn									.097	.676**	.103	.345
Ni										-.057	.311	-.063
Pb											.114	.268
Sb												-.172

หมายเหตุ: ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 * ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตัวเลขแรเงา หมายถึง มีความสัมพันธ์มากกว่า 0.700

ตารางที่ 31 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและโลหะที่พบในฝุ่นในบรรยากาศบริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
PM ₁₀	.472**	.737**	.633**	.136	.523**	.932**	.820**	.847**	.328	.068	.310	.591**
Al		.664**	.238	.609**	-.199	.484**	.515**	.416*	.159	.503**	.447	.685**
As			.848**	.776**	.055	.719**	.644**	.748**	-.356	.937**	-	.537*
Cd				.208	.508**	.658**	.521**	.645**	.059	.309	-.113	.266
Cr					-.264	.139	.166	.107	-.266	.576**	-.172	.334
Cu						.568**	.312	.631**	.217	-.339	-.378	.096
Fe							.834**	.877**	.401*	.007	.378	.559**
Mg								.799**	.275	.045	-.103	.560**
Mn									.352	.012	.241	.624**
Ni										-.308	.452	.232
Pb											.172	.278
Sb												.378

หมายเหตุ: ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 * ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตัวเลขแรเงา หมายถึง มีความสัมพันธ์มากกว่า 0.700

ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและโลหะ (ตารางที่ 30 และตารางที่ 31) พบว่าที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 กับโลหะ 4 ชนิด คือ Fe Mg Mn และ Pb โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.762 0.508 0.749 และ 0.459 โดยไม่พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยารามพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับ 0.01 กับโลหะ 7 ชนิด ได้แก่ Al Cd Fe Mg Mn และ Zn โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.472 0.622 0.523 0.932 0.816 0.840 และ 0.594 ตามลำดับ และไม่พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 32 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองและไอออนที่ละลายน้ำในฝุ่นที่พบในบรรยากาศบริเวณโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน

	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
PM ₁₀	.055	.765**	.858**	-.338	-.121	-.058	.660**	.309
Na ⁺		.054	.193	.407*	.651**	.589**	-.286	.208
NH ₄ ⁺			.813**	-.577**	-.292	-.094	.676**	.457*
K ⁺				-.256	.036	.024	.684**	.209
Ca ²⁺					.853**	.185	-.661**	-.292
Mg ²⁺						.359	-.392*	-.305
Cl ⁻							-.088	.022
NO ₃ ⁻								.034

หมายเหตุ: ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ตัวเลขแรเงา หมายถึง มีความสัมพันธ์มากกว่า 0.700

ตารางที่ 33 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองและไอออนที่ละลายน้ำในฝุ่นที่พบในบรรยากาศบริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม

	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
PM ₁₀	.614**	.755**	.857**	.550**	.763**	.473**	.499**	.781**
Na ⁺		.584**	.605**	.058	.679**	.812**	.599**	.682**
NH ₄ ⁺			.780**	.184	.626**	.463*	.711**	.814**
K ⁺				.424*	.688**	.510**	.582**	.860**
Ca ²⁺					.506**	.012	-.171	.246
Mg ²⁺						.537**	.491**	.670**
Cl ⁻							.476**	.491**
NO ₃ ⁻								.673**

หมายเหตุ: ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ตัวเลขแรเงา หมายถึง มีความสัมพันธ์มากกว่า 0.700

ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและไอออนที่ละลายน้ำ (ตารางที่ 32 และตารางที่ 33) พบว่าที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 กับไอออนที่ละลายน้ำ NH₄⁺ K⁺ และ NO₃⁻ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.765 0.858 และ 0.660 โดยไม่พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกันที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนที่โรงเรียนวัดเจติยาราม ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 กับไอออนที่ละลายน้ำทุกชนิด ได้แก่ Na⁺ NH₄⁺ K⁺ Ca²⁺ Mg²⁺ Cl⁻ NO₃⁻ SO₄²⁻ โดยมี

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.610 0.752 0.850 0.556 0.760 0.474 0.484 และ 0.773 ตามลำดับ และไม่พบความสัมพันธ์ในทิศทางตรงข้ามกันที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งจะเห็นได้ว่า NH_4^+ NO_3^- SO_4^{2-} มีความสัมพันธ์กันอย่างมากระหว่างไอออนทั้ง 3 ชนิดนี้อาจมีแหล่งกำเนิดจากองค์ประกอบของปุ๋ยบำรุงดิน หรือ ฝุ่นทุติยภูมิ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อผลการศึกษาของไอออนที่ละลายน้ำ

ตารางที่ 34 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและคาร์บอนในฝุ่นที่พบในบรรยากาศบริเวณโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน

	OC	EC
PM ₁₀	.852**	.266
OC		.227

หมายเหตุ: ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ตัวเลขแรเงา หมายถึง มีความสัมพันธ์มากกว่า 0.700

ตารางที่ 35 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและคาร์บอนในฝุ่นที่พบในบรรยากาศบริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม

	OC	EC
PM ₁₀	.783**	.385*
OC		.263

หมายเหตุ: ** ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 * ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตัวเลขแรเงา หมายถึง มีความสัมพันธ์มากกว่า 0.700

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนและความเข้มข้นของคาร์บอน (ตารางที่ 34 และ 35) พบว่าที่โรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหินและโรงเรียนวัดเจติยารามพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นและอินทรีย์คาร์บอนโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.852 และ 0.783 ตามลำดับ ส่วนความสัมพันธ์กับธาตุคาร์บอนนั้นพบความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 ที่โรงเรียนวัดเจติยารามเท่านั้นซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.385 แสดงให้เห็นว่าฝุ่นที่มีอยู่ในบรรยากาศนั้นเป็นละอองที่มีองค์ประกอบหลักเป็นอินทรีย์คาร์บอน (Carbonaceous aerosols) ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล สารมลพิษทุติยภูมิ หรือการเผาในที่โล่ง เป็นต้น (Ye et al., 2007)

เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนธาตุโลหะ ไอออนที่ละลายน้ำในบรรยากาศ ในภาพรวมพบว่าที่โรงเรียนวัดเจติยารามมีค่าของความสัมพันธ์ที่มีระดับนัยสำคัญทางสถิติสูงกว่าโรงเรียน ตชด.บ้านถ้ำหิน ซึ่งให้เห็นถึงการมี

แหล่งกำเนิดขององค์ประกอบทางเคมีเหล่านั้นมากกว่า ที่โรงเรียนวัดเจติยารามพบความสัมพันธ์ระหว่างโลหะหลายชนิด เช่น As และ Cd ($r = 0.848$) งานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า As และ Cd มีแหล่งกำเนิดหลักจากเหมืองแร่ (de la Campa et al., 2011) โรงงานที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง (Kong et al., 2011) โรงงานปูนซีเมนต์ (Al-Khashman & Shawabkeh, 2006) และโรงงานเซรามิก (Soriano et al., 2012) นอกจากนี้ยังพบ PM_{10} มีความสัมพันธ์อย่างสูงกับ Fe Mn และ Mg ซึ่งโลหะเหล่านี้เป็นตัวบ่งชี้กิจกรรมการเผาไหม้น้ำมันและอุตสาหกรรมเหล็กและอลูมิเนียม ดังนั้นบริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามจึงอาจมีแนวโน้มที่มีความสัมพันธ์กับแหล่งกำเนิดดังกล่าว ส่วนโรงเรียนตชด. บ้านถ้ำหินพบความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงของ Fe กับ Mn เนื่องจาก Fe มีแหล่งกำเนิดมาจากดิน ส่วน Mn ก็เป็นองค์ประกอบในดินเช่นกันแต่มีปริมาณน้อยเพียงร้อยละ 0.085 (นัทธีรา สรรพณี, 2551) และประกอบกับโรงเรียนมีการขุดดินจากบริเวณเหมืองที่ปิดตัวลงในบริเวณใกล้เคียงมาถมที่ ดังนั้นความสัมพันธ์ของโลหะอาจเกิดจากดินที่มีการปนเปื้อนโลหะจากการทำเหมือง

4.6 การวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่นจากแหล่งกำเนิด

จากการดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นของแต่ละแหล่งกำเนิดในพื้นที่ได้แก่ กลุ่มอุตสาหกรรมและกิจการต่างๆ บริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม ดังนี้ โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ โรงงาน ปูนขาว โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป ฝุ่นถนนทางหลวงหมายเลข 3291 และฝุ่นจากการก่อสร้างสะพานข้ามทางแยกทางหลวงหมายเลข 4 (แยกเจดีย์หัก) แล้วนำตัวอย่างที่เก็บได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นของโลหะ ไอออนที่ละลายน้ำชนิดต่างๆ ตลอดจนอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนที่พบในกลุ่มอุตสาหกรรมและกิจการต่างๆ ในพื้นที่โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้โดยรายงานในหน่วยของไมโครกรัมของธาตุ ไอออน หรือคาร์บอนนั้นๆ ต่อด้วยไมโครกรัมของฝุ่นละอองที่พบโดยได้ทำการวิเคราะห์ทั้งในช่วงฤดูฝนและช่วงฤดูแล้ง ค่าเฉลี่ยที่พบทั้งสองฤดูแสดงดังตารางที่ 36

จากตารางที่ 36 พบว่าองค์ประกอบที่เป็นลักษณะเด่นของอุตสาหกรรมต่างๆ มีดังนี้ โรงงานเครื่องปั้นดินเผาองค์ประกอบที่เด่นที่เป็นโลหะคือ เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) ไอออนที่ละลายน้ำคือ Ca^{2+} K^+ SO_4^{2-} และ Cl^- ส่วนคาร์บอนคืออินทรีย์คาร์บอน (OC) โรงงานอิฐมอญองค์ประกอบที่เด่นที่เป็นโลหะคือ อะลูมิเนียม (Al) แมกนีเซียม (Mg) เหล็ก (Fe) และสังกะสี (Zn) ไอออนที่ละลายน้ำคือ Ca^{2+} NH_4^+ Na^+ SO_4^{2-} และ NO_3^- ส่วนคาร์บอนคืออินทรีย์คาร์บอน (OC) โรงงานปูนขาวองค์ประกอบที่เด่นของโลหะคือ อะลูมิเนียม (Al) เหล็ก (Fe) และแมกนีเซียม (Mg) ไอออนที่ละลายน้ำคือ Ca^{2+} K^+ NO_3^- และ SO_4^{2-} ส่วนคาร์บอนคืออินทรีย์คาร์บอน (OC) โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูปองค์ประกอบที่เด่นของโลหะคือ เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) และอะลูมิเนียม (Al) ไอออนที่ละลายน้ำคือ Ca^{2+} NO_3^- และ SO_4^{2-} ส่วนคาร์บอนคือธาตุคาร์บอน (EC) ฝุ่นถนนทางหลวงหมายเลข 3291 องค์ประกอบที่เด่นของโลหะคือ เหล็ก (Fe) แมกนีเซียม (Mg) และ

อะลูมิเนียม (Al) ไอออนที่ละลายน้ำคือ Ca^{2+} Na^+ และ NO_3^- ส่วนคาร์บอนจะมีทั้งธาตุคาร์บอน (EC) และอินทรีย์คาร์บอน ส่วนฝุ่นจากการก่อสร้างสะพานข้ามแยกทางหลวงหมายเลข 4 (แยกเจดีย์หัก) องค์ประกอบที่เด่นของโลหะคือ เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และ แมกนีเซียม (Mg) ไอออนที่ละลายน้ำคือ Ca^{2+} NH_4^+ และ NO_3^- ส่วนคาร์บอนคืออินทรีย์คาร์บอน (EC) โดยข้อมูลองค์ประกอบที่วิเคราะห์นี้ใช้เป็นข้อมูลแหล่งกำเนิด (Source profiles) ในแบบจำลอง CMB ต่อไป

ตารางที่ 36 ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของธาตุในฝุ่นที่แหล่งกำเนิดและกิจกรรมต่างๆ

	ความเข้มข้นของธาตุต่างๆ ($\mu\text{g}/\mu\text{g}$)*					
	โรงงานเครื่องปั้นดินเผา	โรงงานอิฐมอญ	โรงงานปูนขาว	โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป	ฝุ่นถนน	ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน
Al	0.0110	0.0037	0.0159	0.0079	0.0073	0.0114
As	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Co	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Cr	0.0026	0.0001	0.0013	0.0001	nd	nd
Cu	0.0003	0.0002	0.0003	0.0001	nd	nd
Fe	0.0164	0.0024	0.0129	0.0144	0.0262	0.0461
Hg	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Mg	0.0046	0.0031	0.0120	0.0165	0.0238	0.0082
Mn	0.0017	0.0003	0.0007	0.0004	0.0014	0.0012
Ni	0.0035	0.0002	0.0016	nd	nd	nd
Pb	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sb	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Zn	0.0050	0.0018	0.0031	0.0003	0.0022	0.0009
V	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Na^+	0.0258	0.0167	0.0642	0.0078	0.0349	0.0224
NH_4^+	0.0350	0.0146	0.0286	0.0023	0.0226	0.0273
K^+	0.2032	0.0144	0.1074	0.0067	0.0155	0.0155
Ca^{2+}	0.0864	0.1900	0.3297	0.1469	0.4982	0.1631
Mg^{2+}	0.0095	0.0091	0.0251	0.0025	0.0193	0.0136
Cl^-	0.0809	0.0102	0.0384	0.0026	0.0187	0.0111
NO_3^-	0.0363	0.0478	0.1050	0.0256	0.1658	0.1846
SO_4^{2-}	0.1105	0.0230	0.1000	0.0283	0.0273	0.0175
OC	0.1211	0.3152	0.1285	0.0040	0.0160	0.0092
EC	0.0375	0.1043	0.0262	0.0190	0.0229	0.0090

หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ * $\mu\text{g}/\mu\text{g}$ หมายถึง μg ของธาตุ ไอออน หรือคาร์บอนนั้นๆ/ μg ของฝุ่น

ค่า Dectection limit แสดงดังตารางที่ 7

4.7 การเปรียบเทียบสัดส่วนของโลหะ ไอออนและคาร์บอนที่แหล่งกำเนิด

จากผลการศึกษาความเข้มข้นของโลหะ ไอออนที่ละลายน้ำและคาร์บอนที่แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในพื้นที่อุตสาหกรรมของจังหวัดราชบุรีที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อผู้รับโดยคิดเป็นสัดส่วนน้ำหนักของธาตุ ไอออนที่ละลายน้ำหรือคาร์บอนชนิดนั้นต่อด้วยน้ำหนักของฝุ่นในหน่วยไมโครกรัมต่อไมโครกรัม เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทั้งสองฤดูที่พบทั้ง 6 แหล่งกำเนิด โดยเรียงลำดับสัดส่วนจากมากไปน้อยได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 37

จากตารางที่ 37 จะเห็นได้ว่าลำดับของสัดส่วนที่พบมีลักษณะค่อนข้างคล้ายคลึงกัน โดยโลหะส่วนใหญ่ที่พบเป็นองค์ประกอบเด่นได้แก่ เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) แต่พบในสัดส่วนที่แตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งกำเนิด ส่วนไอออนที่ละลายน้ำนั้นจะพบ Ca^{2+} ที่มีสัดส่วนมากที่สุดเกือบทุกแหล่งกำเนิดยกเว้นฝุ่นจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาที่พบ K^+ ส่วนคาร์บอนนั้นส่วนใหญ่คาร์บอนที่พบคืออินทรีย์คาร์บอน (OC) ยกเว้นโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป และฝุ่นถนนทางหลวงหมายเลข 3291 ส่วนฝุ่นจากการก่อสร้างสะพานข้ามทางแยกทางหลวงหมายเลข 4 (แยกเจดีย์หัก) ถึงแม้ว่าอินทรีย์คาร์บอนจะมีมากกว่าธาตุคาร์บอน (EC) แต่ก็มากกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดของฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้นั้น (โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ โรงงานปูนขาว) มีสัดส่วนของอินทรีย์คาร์บอนและธาตุคาร์บอนมากกว่าแหล่งกำเนิดที่ฝุ่นไม่ได้เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ไม่ว่าเชื้อเพลิงที่ใช้จะเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลหรือเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลก็ตาม อุตสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูปและฝุ่นถนนพบสัดส่วนของ Ca^{2+} มากกว่าแหล่งกำเนิดอื่นๆ เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ทำคอนกรีตสำเร็จรูปมีต้นกำเนิดมาจากหินปูน และฝุ่นที่เกิดจากถนนส่วนใหญ่อาจเกิดจากดินและหินที่เกิดการฟุ้งกระจายขึ้นสู่บรรยากาศ

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบร้อยละของโลหะ และไอออนจากมากไปน้อย

แหล่งกำเนิด	สัดส่วนที่พบ
โรงงานเครื่องปั้นดินเผา	$Fe > Al > Zn > Mg > Ni > Cr > Mn > Cu$ $K^+ > Ca^{2+} > NH_4^+ > Na^+ > Mg^{2+}$ $SO_4^{2-} > Cl^- > NO_3^-$ $OC > EC$
โรงงานอิฐมอญ	$Al > Mg > Fe > Zn > Mn > Ni, Cu > Cr$ $Ca^{2+} > Na^+ > NH_4^+ > K^+ > Mg^{2+}$ $NO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ $OC > EC$
โรงงานปูนขาว	$Al > Fe > Mg > Zn > Ni > Cr > Mn > Cu$ $Ca^{2+} > K^+ > Na^+ > NH_4^+ > Mg^{2+}$ $NO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ $OC > EC$
โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป	$Mg > Fe > Al > Mn > Zn > Cr, Cu$ $Ca^{2+} > Na^+ > K^+ > Mg^{2+} > NH_4^+$ $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$ $EC > OC$
ฝุ่นถนน	$Fe > Mg > Al > Zn > Mn$ $Ca^{2+} > Na^+ > NH_4^+ > Mg^{2+} > K^+$ $NO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ $EC > OC$
ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน	$Fe > Al > Mg > Mn > Zn$ $Ca^{2+} > NH_4^+ > Na^+ > K^+ > Mg^{2+}$ $NO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ $OC > EC$

4.8 การประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยแบบจำลองสมตุลมวลเคมี (CMB)

การประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยแบบจำลองสมตุลมวลเคมี (CMB) เริ่มจากนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นที่โรงเรียนวัดเจติยารามจำนวน 29 ชุดข้อมูล และข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดของฝุ่นในพื้นที่ทั้ง 8 แหล่ง ได้แก่ โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ โรงงานปูนขาว โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป ฝุ่นถนน ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน ฝุ่นจากการเผาฟางข้าว และฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์ เป็นข้อมูลสำหรับ

นำเข้าแบบจำลองสมดุลมวลเคมี (Chemical Mass Balance หรือ CMB) รุ่น 8.2 เพื่อประเมินสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของฝุ่นที่พบจากการเก็บตัวอย่างฝุ่นบริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม ซึ่งได้ผลการประเมินแหล่งกำเนิดดังตารางที่ 38

ตารางที่ 38 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของฝุ่นที่โรงเรียนวัดเจติยาราม

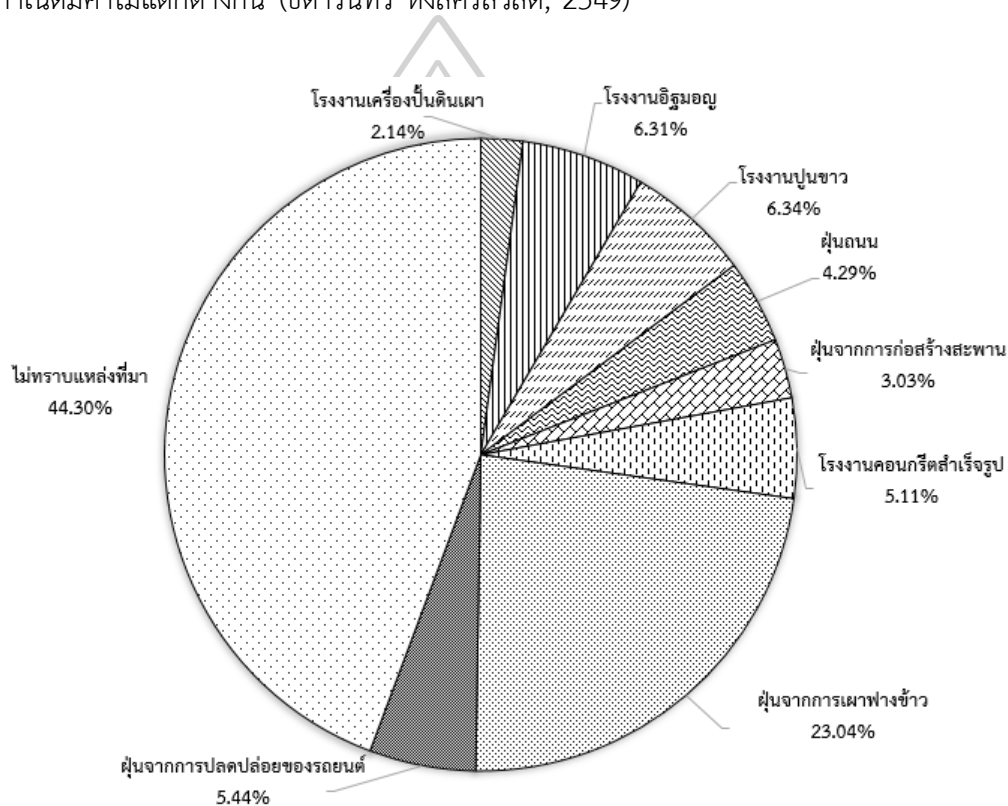
แหล่งกำเนิด	Source contributions ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Standard error	T-STAT
โรงงานปูนขาว	8.78	4.18	1.94
โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป	7.07	6.49	1.10
ฝุ่นถนน	5.94	3.65	-1.78
ฝุ่นจากการสร้างสะพาน	4.20	3.45	1.01
โรงงานอิฐมอญ	8.73	7.87	-1.01
โรงงานเครื่องปั้นดินเผา	2.96	2.54	0.54
ฝุ่นจากการเผาฟางข้าว	31.89	17.81	0.34
ฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์	7.53	3.47	2.34

% mass = 55.7, $R^2 = 0.7$, Chi-square = 8.3, d.f. = 6

จากตารางค่าเฉลี่ยของแหล่งกำเนิดของฝุ่นที่โรงเรียนวัดเจติยาราม (ตารางที่ 38) พบว่าฝุ่นจากการเผาฟางข้าว เป็นแหล่งกำเนิดหลักโดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นประมาณ 31.89 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนแหล่งกำเนิดรองได้แก่ โรงงานปูนขาว โรงงานอิฐมอญ ฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์ โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป ฝุ่นถนน ฝุ่นจากการสร้างสะพาน และ โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โดยมีสัดส่วนความเข้มข้นของฝุ่นประมาณ 8.78 8.73 7.53 7.01 5.94 4.20 และ 2.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร แต่อย่างไรก็ตามผลการประเมินที่ได้ในครั้งนี้อธิบายฝุ่นได้เพียงร้อยละ 55.7 โดยพบว่าอีกร้อยละ 44.3 เป็นฝุ่นที่ไม่สามารถระบุแหล่งที่มาซึ่งอาจเป็นฝุ่นหุติยภูมิที่พบในช่วงฤดูแล้งเป็นองค์ประกอบที่มีความเข้มข้นที่มากและยังพบความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่เป็นฝุ่นหุติยภูมิในชนิดต่างๆ อีกด้วย สามารถสรุปในรูปของร้อยละที่พบได้ดังรูปที่ 39

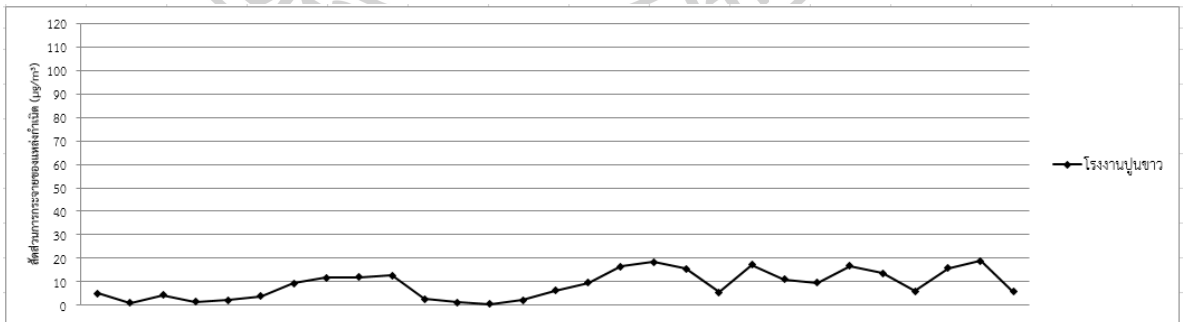
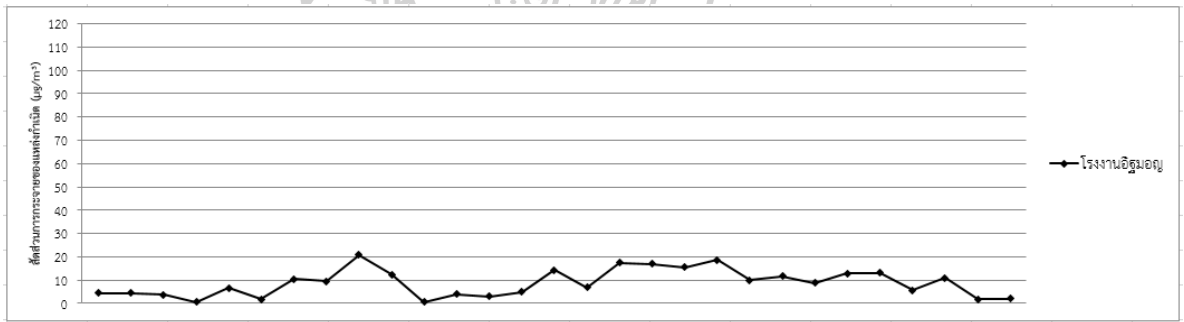
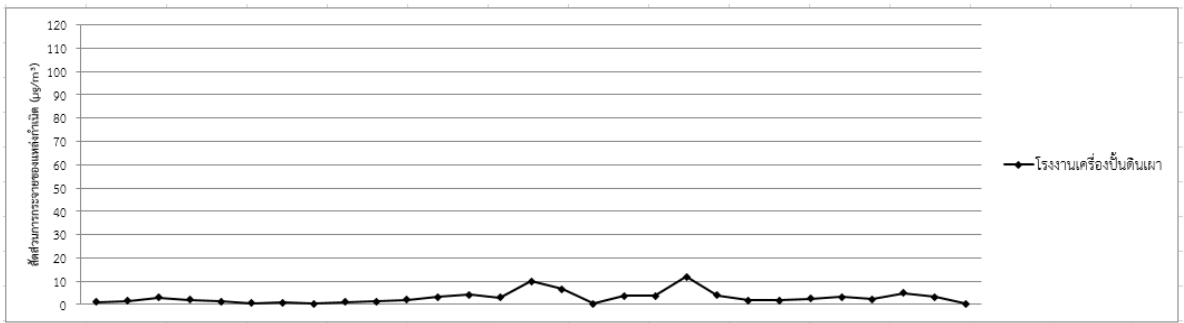
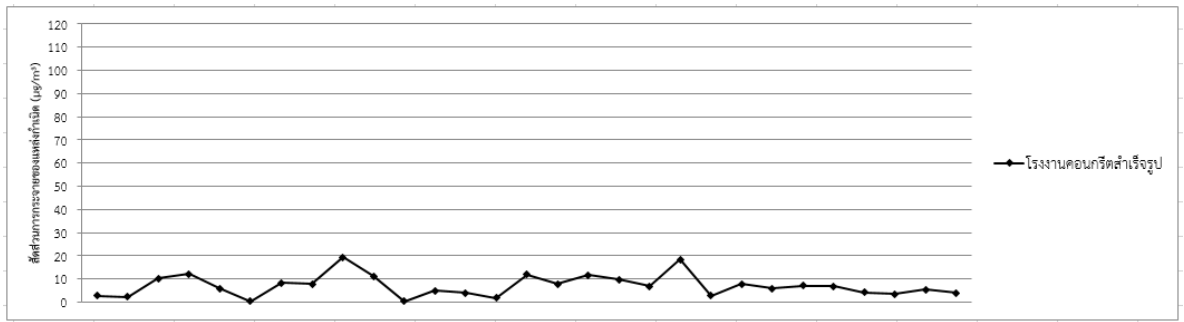
เมื่อพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard error) ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงความแม่นยำของสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด สัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิด และความคล้ายคลึงกันระหว่างความเข้มข้นขององค์ประกอบทางเคมีแต่ละแหล่งกำเนิดซึ่งจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่าสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิด (เช่น ฝุ่นจากการเผาฟางข้าว มีค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานเท่ากับ 17.81 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดที่มีค่าเท่ากับ 31.89)

(ธิตารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์, 2549) ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการทดลองเป็นไปตามข้อกำหนด และเมื่อพิจารณาค่า T-STAT (t-statistic) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างสัดส่วนของแหล่งกำเนิดที่คำนวณกับค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน พบว่า ฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์ มีค่า T-STAT เท่ากับ 2.34 แสดงว่าการคำนวณสัดส่วนการกระจายของแหล่งกำเนิดนี้มีความน่าเชื่อถือสูง (High reliability) อนึ่งค่า T-STAT ของแหล่งกำเนิดอื่นๆ มีค่าน้อยกว่า 2 (ค่าที่ยอมรับได้คือมากกว่า 2) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะค่าที่ได้ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าระดับต่ำสุดที่เครื่องมือสามารถวิเคราะห์ได้ (Detection limit) (Wangkiat, Harvey, Garivait, et al., 2004) หรืออาจเป็นเพราะองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นแต่ละแหล่งกำเนิดมีค่าไม่แตกต่างกัน (ธิตารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์, 2549)

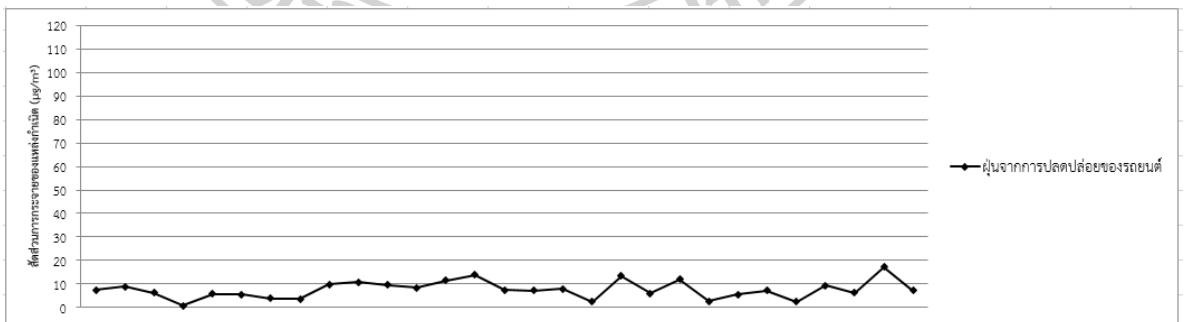
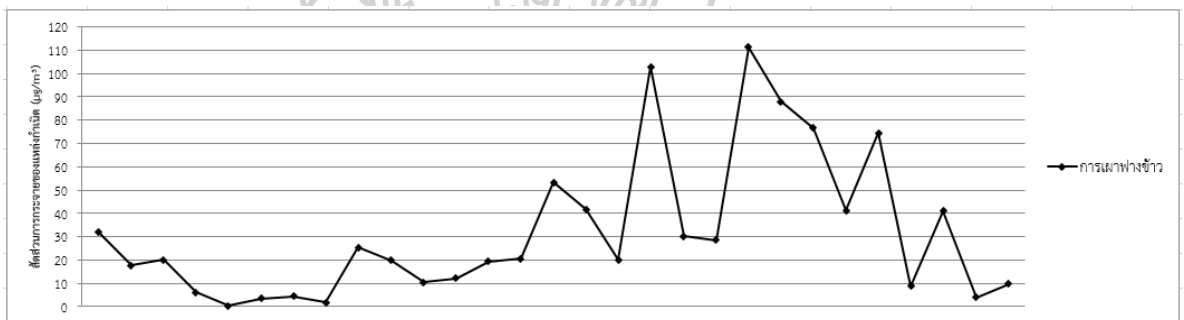
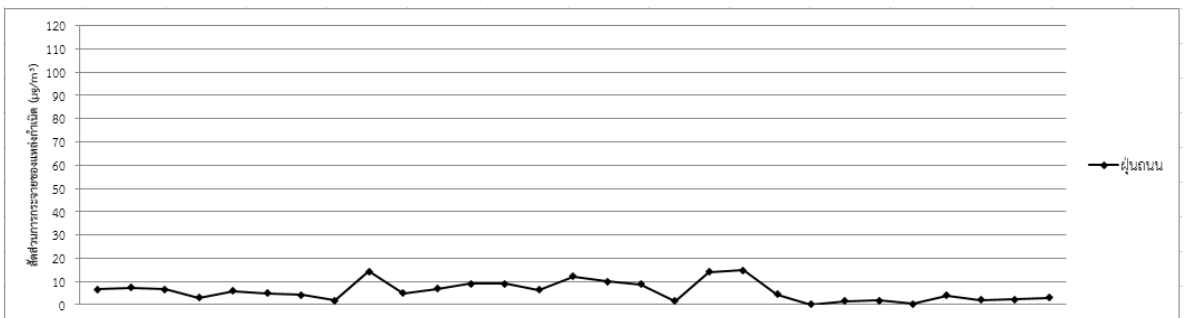
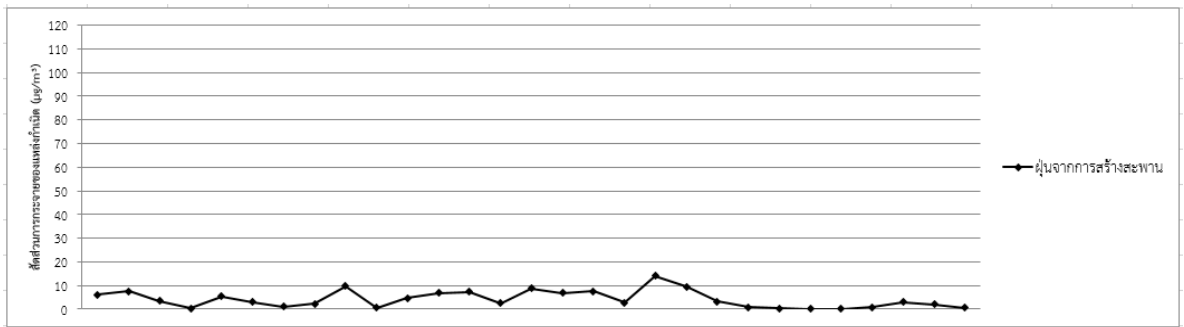


รูปที่ 39 สัดส่วนที่มาของแหล่งกำเนิดฝุ่นที่โรงเรียนวัดเจติยาราม

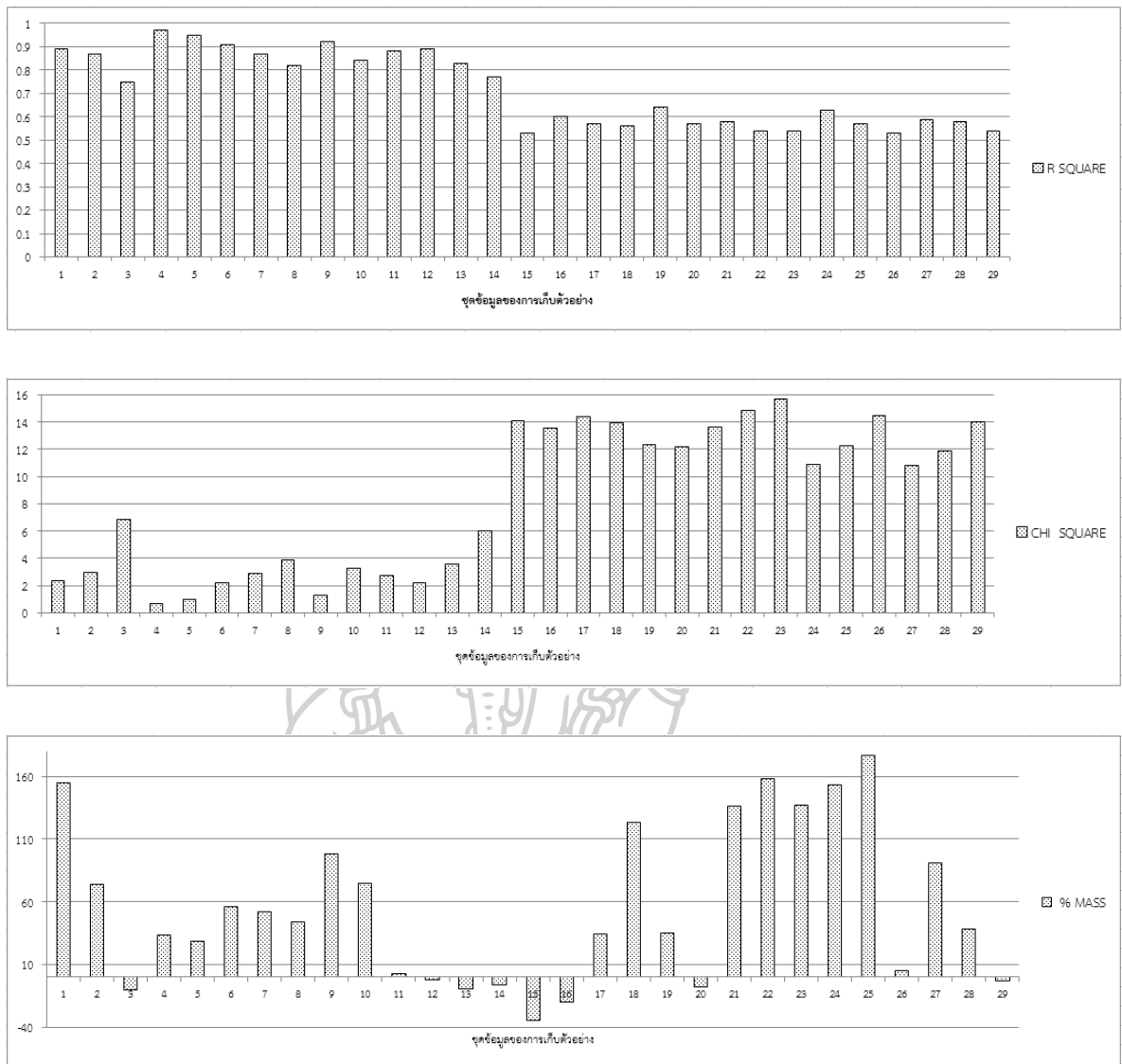
สัดส่วนของแหล่งกำเนิดฝุ่นตามข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีจำนวน 29 ชุด ข้อมูล (จากการเก็บตัวอย่าง 29 ครั้งตามช่วงเวลาต่างๆ) ที่โรงเรียนวัดเจติยาราม ซึ่งได้จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง CMB แสดงดังรูปที่ 40 และดัชนีที่อธิบายความน่าเชื่อถือของการวิเคราะห์ (R-Square Chi-Square และ Percent Mass) แสดงดังรูปที่ 41



รูปที่ 40 สัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นจากการเก็บตัวอย่างตามช่วงเวลาต่างๆ ที่โรงเรียนวัดเจติยาราม



รูปที่ 40 (ต่อ)



รูปที่ 41 ดัชนีที่อธิบายความน่าเชื่อถือผลการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง CMB จำแนกตามการเก็บตัวอย่างตามช่วงเวลาต่างๆ

จากรูปที่ 41 พบว่าค่า R-Square อยู่ในช่วง 0.5-0.9 ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าที่ถูกกำหนดไว้คือควรมีค่าไม่น้อยกว่า 0.8 (Wangkiat, Harvey, Garivait, et al., 2004) ซึ่งให้เห็นว่าค่าจากการตรวจวัดและจากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีความแปรปรวนสูง ส่วนค่า Chi-Square ที่ได้มีค่าอยู่ในช่วง 0.6-15.7 ซึ่งในทางทฤษฎีค่าที่ได้จากการตรวจวัดกับค่าที่คำนวณได้ไม่ควรมีความแตกต่างหรือมีค่าเท่ากับ 0 ในทางปฏิบัติค่า Chi-Square อยู่ในช่วง 1-2 ถือว่ายอมรับได้ ซึ่งจากการศึกษานี้มีค่าที่สูงกว่า (ส่วนใหญ่อยู่ในการตรวจวัดครั้งที่ 2 ช่วงฤดูแล้ง) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีแหล่งกำเนิดจำนวนหนึ่งที่ไม่ใช่แหล่งที่มาที่แท้จริงของฝุ่นที่ผู้รับ (โรงเรียนวัดเจติยาราม) (Hopke, 1991) ซึ่งสอดคล้องกับการคาดการณ์ในข้างต้นว่าอาจจะเป็นฝุ่นทุติยภูมิ ค่า Percent Mass เป็นค่าร้อยละโดยรวมของ

ที่มาของแหล่งกำเนิดฝุ่นของมวลที่ได้จากการตรวจวัด ซึ่งทางทฤษฎีควรมีค่าเท่ากับร้อยละ 100 แต่ในทางปฏิบัติควรอยู่ในช่วงร้อยละ 80-120 ซึ่งจากการศึกษานี้พบว่ามีความต่ำกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจำนวนข้อมูลแหล่งกำเนิดที่นำมาใช้ในการคำนวณในแบบจำลองมีไม่เพียงพอ หรืออาจเกิดจากสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของแหล่งกำเนิดที่นำมาใช้ในการคำนวณนั้นอาจไม่ใช่แหล่งกำเนิดที่มีอยู่ในบริเวณนั้นหรืออาจเกิดจากความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทั้งที่จากแหล่งรับและแหล่งกำเนิดที่อาจจะต่ำเกินไป หรืออาจจะเป็นเพราะเหตุผลอื่นๆ ที่ทำให้ค่าดัชนีที่ใช้อธิบายไม่เป็นที่ไปตามข้อกำหนด (ธิดารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์, 2549) เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาในการศึกษาครั้งนี้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้สามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 39

จากตารางที่ 39 จะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับอุตสาหกรรมและกิจกรรมที่เกิดขึ้นในพื้นที่นั้นๆ โดยการศึกษาของ Wangkiat, Harvey, Garivait, et al. (2004) พบว่าสัดส่วนแหล่งกำเนิดหลักของ PM_{10} มาจากฝุ่นถนน ฝุ่นดิน และฝุ่นจากการปลดปล่อยของเครื่องยนต์ดีเซล ตามลำดับ โดยในพื้นที่เมือง (กรุงเทพฯ) จะพบแหล่งกำเนิดที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการคมนาคมขนส่งเป็นหลัก เนื่องจากการจราจรในพื้นที่กรุงเทพฯ คับคั่งเป็นอย่างมากเมื่อมีการสัญจรของรถยนต์สามารถทำให้ฝุ่นที่ฟุ้งกระจายจากถนนขึ้นสู่บรรยากาศได้ ส่วนการศึกษาของ Gupta et al. (2007) และ Argyropoulos et al. (2012) ซึ่งมีลักษณะพื้นที่เป็นเมืองที่อยู่ร่วมกับอุตสาหกรรม พบว่าสัดส่วนแหล่งกำเนิดหลักมาจากการปลดปล่อยจากรถยนต์ และฝุ่นที่มีแหล่งกำเนิดจากอุตสาหกรรมของแต่ละพื้นที่ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาที่ผ่านมาจะแตกต่างจากงานวิจัยในครั้งนี้ซึ่งพื้นที่ศึกษาส่วนใหญ่เป็นพื้นที่เกษตรกรรมและส่วนหนึ่งเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมในเขตชุมชน หากไม่พิจารณาฝุ่นที่ไม่ทราบแหล่งที่มา (จำนวนร้อยละ 44.3 ในรูปที่ 39) จะเห็นได้ว่าแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นมาจากภาคเกษตรกรรม (การเผาฟางข้าว) เนื่องจากลักษณะพื้นที่โดยรอบมีการปลูกข้าวและทำเกษตรกรรมเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเกษตรกรจะใช้วิธีการเผาฟางข้าวเพื่อที่ทำการปลูกข้าวใหม่ในรอบถัดไป ซึ่งกิจกรรมการเผาฟางในพื้นที่ในบริเวณกว้างและต่อเนื่องดังนั้นจึงมีโอกาสที่ฝุ่นจะปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศอย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 39 เปรียบเทียบสัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นที่พบโดยแบบจำลอง CMB กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พื้นที่ศึกษา	ลักษณะพื้นที่ศึกษา	ข้อมูลแหล่งกำเนิด	จำนวนข้อมูลแหล่งรับ	สัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่น
กรุงเทพฯ ประเทศไทย ¹	เมือง	ข้อมูลทุติยภูมิ	42	ฝุ่นถนน > ฝุ่นดิน > ฝุ่นจากการปลดปล่อยของเครื่องยนต์ดีเซล > ละอองไอทะเล > การเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล > อุตสาหกรรมเหล็ก > ฝุ่นจากการเผาไหม้น้ำมันเตา
Kolkata ประเทศอินเดีย ²	เมืองและอุตสาหกรรม	ข้อมูลทุติยภูมิ	ไม่ระบุ	ฝุ่นจากการปลดปล่อยจากรถยนต์ > ฝุ่นจากการเผาไหม้ถ่านหิน > ฝุ่นอื่นๆ > ฝุ่นจากอุตสาหกรรมโลหะ และฝุ่นถนน
Castello ประเทศสเปน ³	อุตสาหกรรม	ข้อมูลทุติยภูมิ	ไม่ระบุ	ฝุ่นจากเหมืองและอุตสาหกรรม > ฝุ่นจากการปลดปล่อยจากรถยนต์ > ฝุ่นระดับภูมิภาค
Rhodes Island ประเทศกรีซ ⁴	เมืองและอุตสาหกรรม	เก็บตัวอย่าง	49	ฝุ่นจากการปลดปล่อยจากรถยนต์ > ฝุ่นดิน > ฝุ่นทุติยภูมิ > ฝุ่นจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวล > โรงไฟฟ้า > ละอองไอทะเล
ราชบุรี ประเทศไทย (งานวิจัยนี้)	เมืองและอุตสาหกรรม*	เก็บตัวอย่างและข้อมูลทุติยภูมิ	29	ไม่ทราบแหล่งที่มา > ฝุ่นจากการเผาฟางข้าว > โรงงานปูนขาว > โรงงานอิฐมอญ > ฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์ > โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป > ฝุ่นถนน > ฝุ่นจากการสร้างสะพาน > โรงงานเครื่องปั้นดินเผา

หมายเหตุ: ¹ Wangkiat, Harvey, Garivait, et al. (2004)

² Gupta et al. (2007)

³ Viana et al. (2008)

⁴ Argyropoulos et al. (2012)

* พิจารณาที่โรงเรียนวัดเจติยาราม

4.9 การประเมินการแพร่กระจายและสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

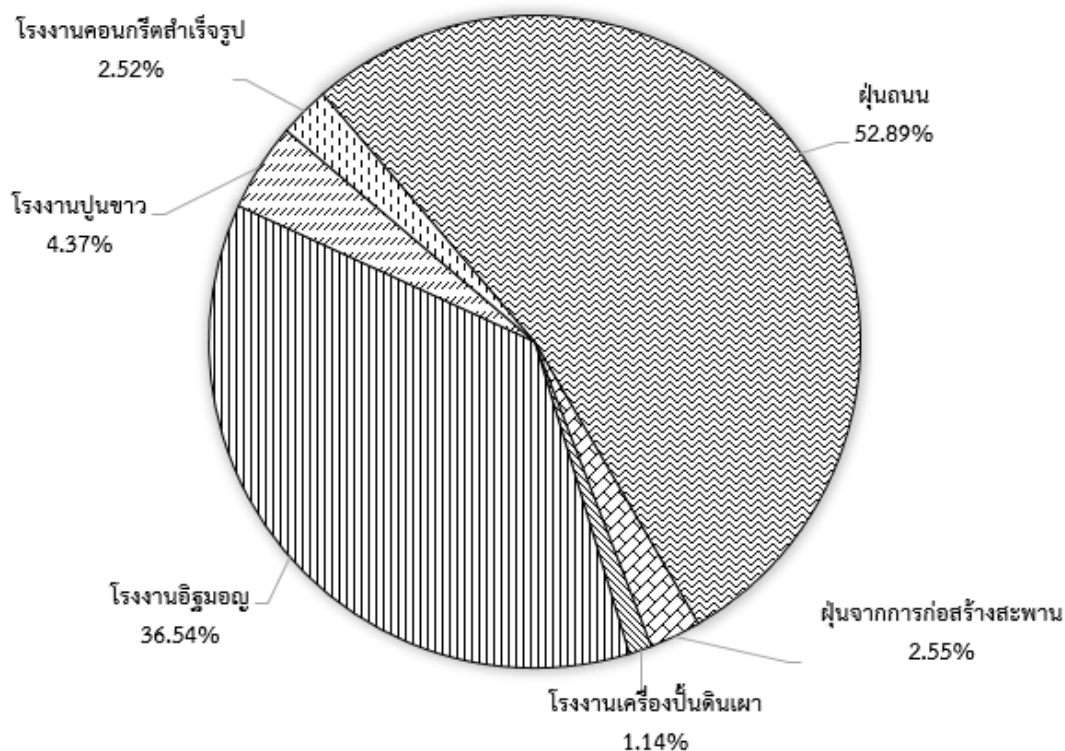
การประเมินการแพร่กระจายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนจากแหล่งกำเนิดทั้งหมด 6 แหล่งที่ทำการเก็บตัวอย่างในพื้นที่ศึกษา ได้แก่ โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ โรงงานปูนขาว โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป ฝุ่นถนน และฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน (ส่วนแหล่งกำเนิดที่เป็นฝุ่นจากการเผาฟางข้าว และฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์ไม่ได้นำมาพิจารณาเพราะเป็นข้อมูลทุติยภูมิ) โดยใช้โปรแกรม AERMOD View 9.2.0 ของบริษัท Lakes Environmental เพื่อคำนวณฝุ่นละอองเฉลี่ย 24 ชั่วโมง โดยนำเข้าสู่ข้อมูลของแหล่งกำเนิดข้างต้น ข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัยและจุดรับผลกระทบ(โรงเรียนวัดเจติยาราม) โดยได้กำหนดความผันแปรของค่าการระบายนมลพิษ (Variable emission) ในช่วงฤดูแล้งในแหล่งกำเนิดที่เป็นอุตสาหกรรม (โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ โรงงานปูนขาว และโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป) มีค่าเป็น 2 เท่า ส่วนแหล่งกำเนิดอื่น (ฝุ่นถนน และฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน) และมีค่าเป็น 1.5 เท่าของในช่วงฤดูฝน ได้ผลการคำนวณดังตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงและสัดส่วนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน จากแหล่งกำเนิดต่างๆ

แหล่งกำเนิด	ความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ร้อยละ
โรงงานเครื่องปั้นดินเผา	1.15	1.14
โรงงานอิฐมอญ	36.96	36.54
โรงงานปูนขาว	4.42	4.37
โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป	2.55	2.52
ฝุ่นถนน	53.50	52.89
ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน	2.58	2.55
รวม	101.16	100

จากตารางที่ 40 เห็นได้ว่าฝุ่นถนนเป็นแหล่งกำเนิดที่มีการแพร่กระจายความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนมาสู่โรงเรียนวัดเจติยารามมากที่สุด คือ 53.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร คิดเป็นร้อยละ 52.89 ส่วนแหล่งกำเนิดอื่นๆ นั้นมีลำดับจากมากไปน้อยดังนี้ โรงงานอิฐมอญ โรงงานปูนขาว ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป และโรงงานเครื่องปั้นดินเผา โดยพบความเข้มข้นเท่ากับ 36.96 4.42 2.58 2.55 และ 1.15 ไมโครกรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 36.54 4.37 2.55 2.52 และ 1.14 ตามลำดับ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 42



รูปที่ 42 สัดส่วนการแพร่กระจายของฝุ่นละอองที่มาจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

เหตุที่แหล่งกำเนิดที่พบเป็นสัดส่วนหลักนั้นมาจากฝุ่นถนนเป็นเพราะพื้นที่ของโรงเรียนวัดเจติยารามนั้นตั้งอยู่ติดกับถนนหลวงหมายเลข 3291 ซึ่งเป็นถนนสายรองเชื่อมต่อจากถนนเพชรเกษม ทำให้การจราจรบนถนนสายนี้มีรถค่อนข้างคับคั่งและรถสามารถใช้ความเร็วได้เนื่องจากเป็นถนนขนาด 4 ช่องทางจราจร ซึ่งเห็นว่าสภาพการจราจรเป็นปัจจัยหนึ่งส่งผลต่อการฟุ้งกระจายของฝุ่น โดยถ้าสภาพการจราจรคับคั่งและเคลื่อนตัวได้ดีทำให้การฟุ้งกระจายจากฝุ่นบนผิวถนนเกิดขึ้นมากและต่อเนื่อง

หากทำการเปรียบเทียบสัดส่วนของแหล่งกำเนิดเฉพาะส่วนที่เป็นอุตสาหกรรมในพื้นที่ พบว่าโรงงานอิฐมอญมีสัดส่วนของแหล่งกำเนิดมากกว่าโรงงานอื่น อาจเป็นเพราะขั้นตอนของการเผาอิฐเพื่อให้ได้อิฐมอญที่มีคุณภาพนั้นใช้ระยะเวลาค่อนข้างนานประมาณ 7-10 วัน ซึ่งการเผาขั้นนี้จะก่อให้เกิดกลุ่มควันที่ออกมาอย่างต่อเนื่องทำให้ฝุ่นเกิดการฟุ้งกระจายอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ประกอบกับระยะทางที่ตั้งของโรงงานกับโรงเรียนวัดเจติยารามห่างกันประมาณ 800 เมตรซึ่งมี

ระยะทางที่ใกล้มากกว่าโรงงานอื่นๆ (มีทิศทางลมในแนวเดียวกันทั้งหมด ดังรูปที่ 44) จึงทำให้มีสัดส่วนความเข้มข้นของการแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนมากกว่า

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการคาดการณ์ปริมาณฝุ่นที่ได้ในครั้งนี้กับการศึกษาที่ผ่านมาสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 41

ตารางที่ 41 ความเข้มข้นและสัดส่วนของแหล่งกำเนิดฝุ่นโดยแบบจำลอง AERMOD

พื้นที่ศึกษา	ลักษณะพื้นที่ศึกษา	ขนาดฝุ่น	ความเข้มข้นที่ผู้รับ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**	การศึกษาสัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่น
Pune ประเทศอินเดีย ¹	เมืองและอุตสาหกรรม	PM ₁₀	60-70	ไม่ได้ทำการศึกษา
Xuanwei ประเทศจีน ²	อุตสาหกรรม	PM ₁₀	500-1,200	ไม่ได้ทำการศึกษา
Jharia coalfield ประเทศอินเดีย ³	อุตสาหกรรม	PM ₁₀	402-443	โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (แหล่งกำเนิดแบบจุด) >พื้นที่เหมืองถ่านหิน (แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่)
ราชบุรี ประเทศไทย (งานวิจัยนี้)	เมืองและอุตสาหกรรม*	PM ₁₀	74.98	ฝุ่นถนน >โรงงานอิฐมอญ >โรงงานปูนขาว >ฝุ่นจากการสร้างสะพาน >โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป >โรงงานเครื่องปั้นดินเผา

หมายเหตุ: ¹ Kesarkar, Dalvi, Kaginalkar, and Ojha (2007)

² Ma et al. (2013)

³ Roy et al. (2016)

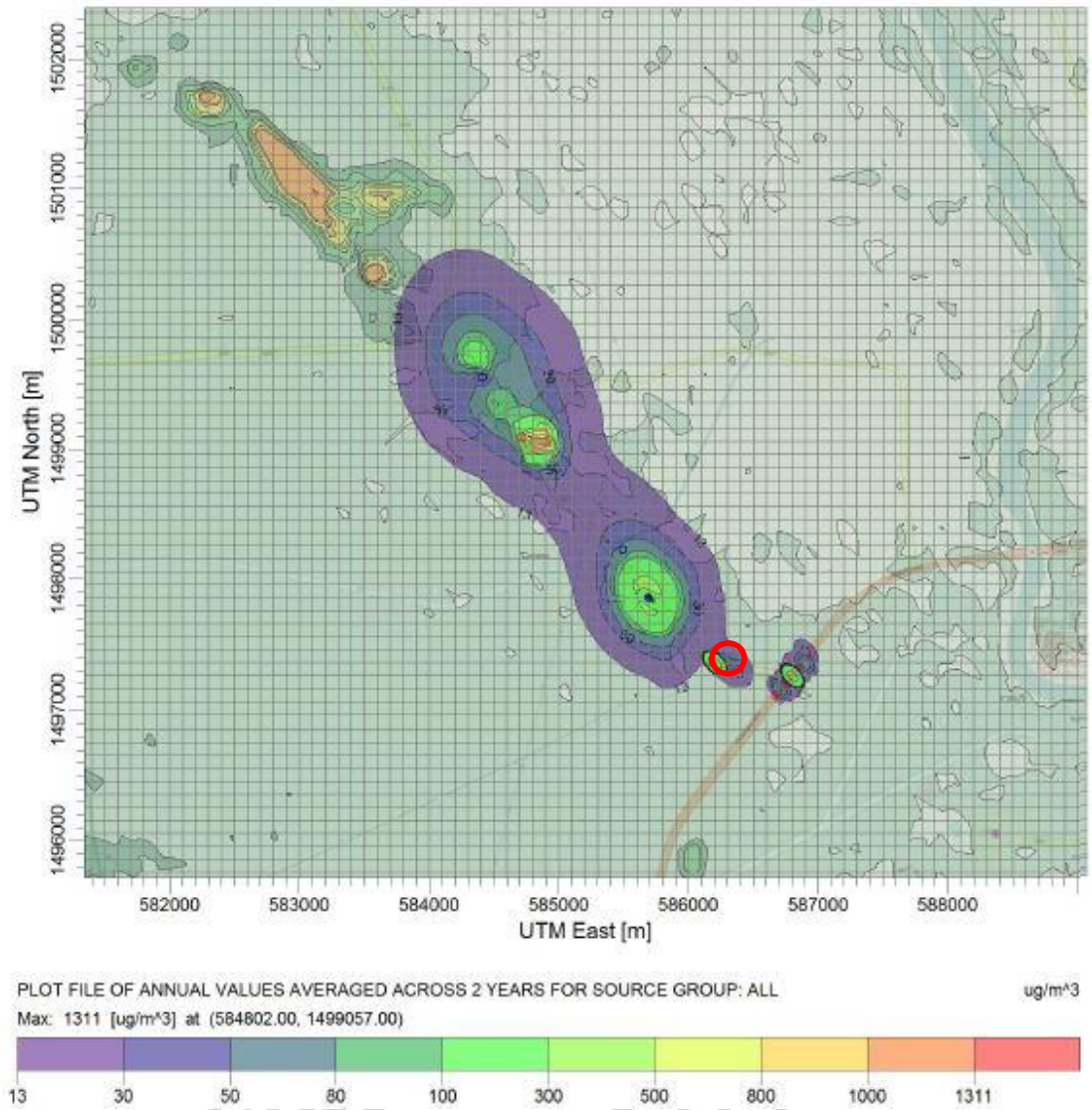
* พิจารณาที่โรงเรียนวัดเจติยาราม

** ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

จากตารางที่ 41 ซึ่งเปรียบเทียบผลการคาดการณ์ปริมาณฝุ่น พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นที่พบมีความแตกต่างกันไปตามพื้นที่และอุตสาหกรรมที่พบโดยที่เมือง Pune ในประเทศอินเดียนั้นส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งต่างในพื้นที่ของประเทศไทยและพื้นที่ Jharia coalfield ของประเทศอินเดียที่เป็นการคาดการณ์ปริมาณฝุ่นที่เกิดจากอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น โรงไฟฟ้า หรือพื้นที่การทำเหมืองจึงพบความเข้มข้นของฝุ่นในปริมาณที่มากกว่า โดยพบว่าการศึกษาของ Roy et al. (2016) ที่ได้ประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนแล้วทำการคำนวณสัดส่วนการแพร่กระจายของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดโดยได้ทำการศึกษา 2 แหล่งกำเนิด คือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (แหล่งกำเนิดแบบจุด) และพื้นที่เหมืองถ่านหิน (แหล่งกำเนิดแบบพื้นที่) ผลการ

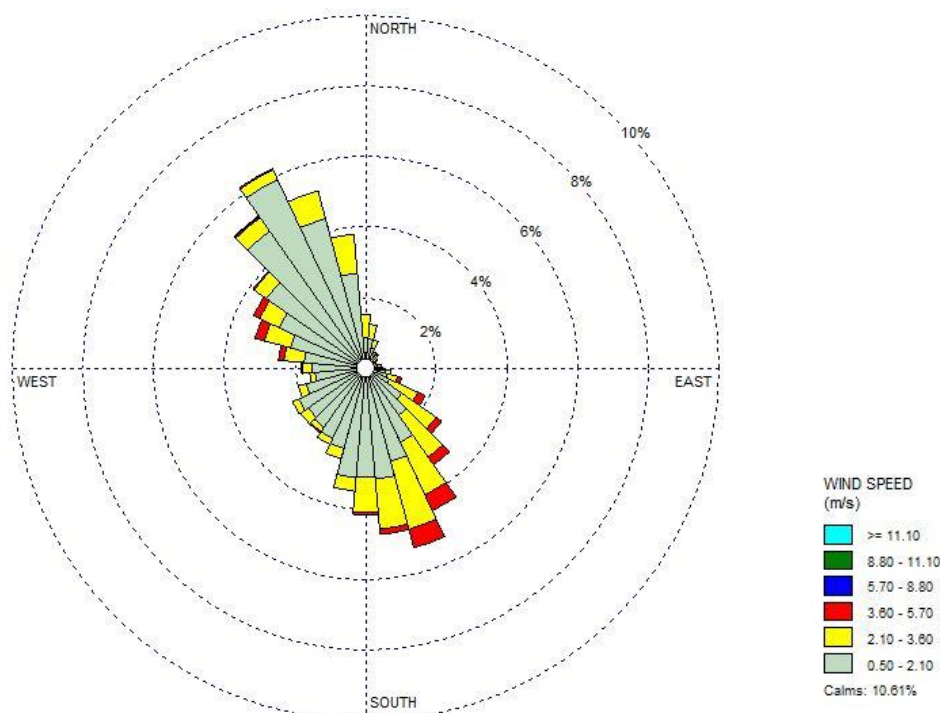
คำนวณการแพร่กระจายของฝุ่นละอองในพื้นที่โซนหลักของเหมืองถ่านหินและใกล้เคียงโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน พบว่าที่โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนพบความเข้มข้นสูงสุดใน 24 ชั่วโมงในพื้นที่โดยรอบอยู่ในช่วง 320-360 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนการคำนวณการแพร่กระจายของพื้นที่เหมืองถ่านหิน พบความเข้มข้นอยู่ในช่วง 159-200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการคำนวณที่พบมีความเข้มข้นมากกว่าที่ตรวจพบที่โรงเรียนวัดเจติยาราม (ซึ่งอยู่ในช่วง 1.15 – 53.50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ Jharia coalfield เป็นพื้นที่ที่มีแหล่งกำเนิดฝุ่นส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ มีทั้งเหมืองถ่านหิน โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน นอกจากนี้ยังมีแหล่งกำเนิดอื่นๆ เช่น การเผาไหม้ น้ำมันเชื้อเพลิงในชุมชน เป็นต้น ซึ่งแตกต่างจากพื้นที่บริเวณโรงเรียนวัดเจติยารามถึงแม้ว่าจะมีอุตสาหกรรมอยู่เป็นจำนวนมากแต่อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมขนาดเล็กเป็นกิจการแบบครัวเรือนที่มีกำลังการผลิตไม่สูงมากนักจึงทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่นที่พบจึงมีค่าต่ำกว่า

เมื่อทำการคำนวณการแพร่กระจายของฝุ่นละอองโดยกำหนดให้คำนวณรวมทุกแหล่งกำเนิดของฝุ่นเพื่อหาความเข้มข้นเฉลี่ยในรายปี (พ.ศ. 2557) (Annual Average) พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ณ โรงเรียนวัดเจติยารามมีค่าเท่ากับ 26.96 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ดังรูปที่ 43) ซึ่งมีความเข้มข้นไม่เกินค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนรายปีที่ไม่เกิน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากเป็นการคาดการณ์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ความเข้มข้นที่ได้ อาจจะมีค่าต่ำหรือสูงกว่าความเป็นจริง ทั้งนี้เนื่องมาจาก 1) ไม่ได้นำข้อมูลการระบายของแหล่งกำเนิดอื่นๆ มาพิจารณา (เช่น การเผาในที่โล่งและการจราจร) 2) ไม่ได้พิจารณาความเข้มข้นพื้นฐาน (Background concentration) 3) ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาที่ข้อมูลบางส่วนขาดหายไป และ 4) ความคลาดเคลื่อนของตัวแบบจำลองเอง (Model uncertainty) ผลการเปรียบเทียบข้อมูลจากแบบจำลองและการตรวจวัดสามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 45 อนึ่งเมื่อเปรียบเทียบแผนภาพการแพร่กระจายความเข้มข้นของฝุ่นกับแผนผังลมในพื้นที่ศึกษาในปี พ.ศ. 2557 (รูปที่ 44) พบว่าทิศทางการแพร่กระจายของฝุ่นเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของกระแสลม คือมีการแพร่กระจายไปทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ



○ ตำแหน่งของผู้รับผลกระทบ ณ โรงเรียนวัดเจติยาราม

รูปที่ 43 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายปีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน



รูปที่ 44 แผนผังลมในพื้นที่ศึกษาของปี 2557

4.10 การเปรียบเทียบผลการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยแบบจำลอง CMB และแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

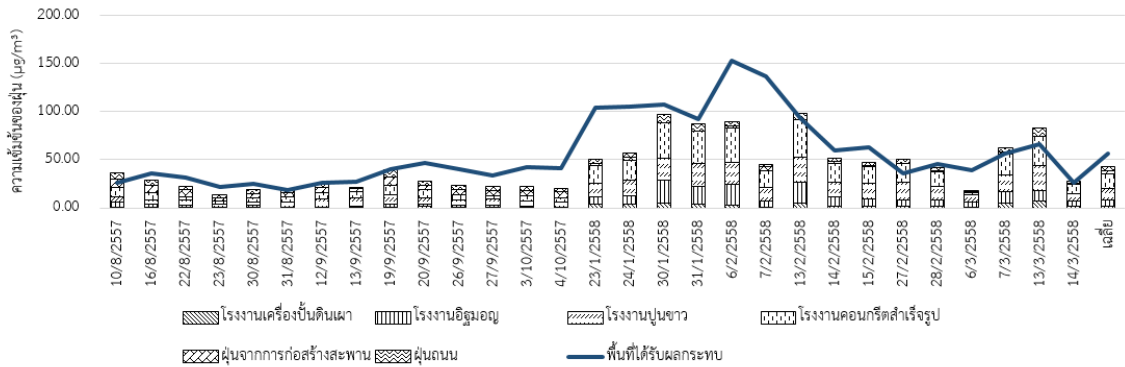
การเปรียบเทียบผลการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดโดยแบบจำลอง CMB และแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD นั้นได้ทำการประเมินทั้งหมด 6 แหล่งกำเนิด ได้แก่ โรงงานเครื่องปั้นดินเผา โรงงานอิฐมอญ โรงงานปูนขาว โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป ฝุ่นถนน และฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ได้จากการเก็บตัวอย่างในครั้งนี้ ดังนั้นจึงมีการประเมินแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง CMB ใหม่โดยได้ตัดข้อมูลแหล่งกำเนิดที่เป็นข้อมูลทุติยภูมิออกไป 2 แหล่งกำเนิด ได้แก่ ฝุ่นจากการเผาฟางข้าว และฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์ ส่วนการประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นและคำนวณสัดส่วนฝุ่นโดยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD นั้นจะทำการวิเคราะห์ตามวันที่ทำการเก็บตัวอย่างทั้งหมด 29 วัน และที่ใช้ในการนำเข้าแบบจำลอง CMB โดยใช้ผลการคำนวณค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่ได้จากแบบจำลอง AERMOD ของ 29 วันดังกล่าว มาคำนวณสัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นที่ผู้รับ (โรงเรียนวัดเจติยาราม) โดยผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 42

ตารางที่ 42 การเปรียบเทียบผลการประเมินสัดส่วนของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดของทั้ง 2 แบบจำลอง

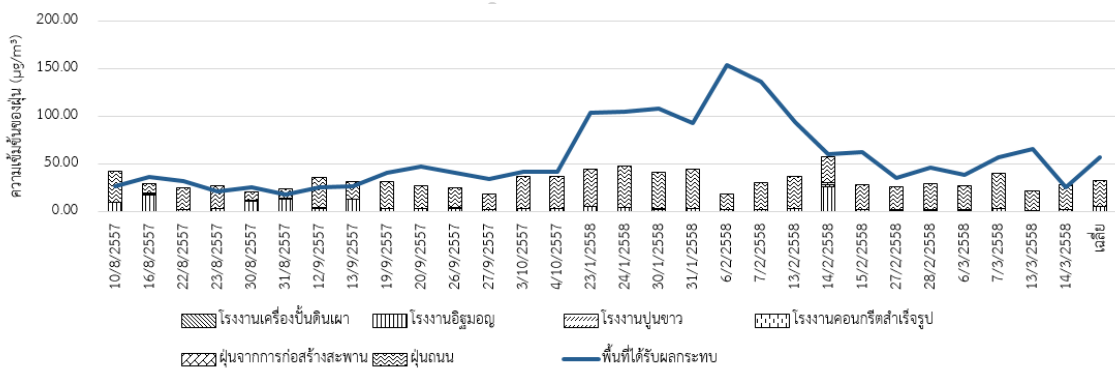
แหล่งกำเนิด	แบบจำลอง CMB		แบบจำลอง AERMOD	
	ความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ร้อยละ	ความเข้มข้น ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	ร้อยละ
โรงงานเครื่องปั้นดินเผา	1.71	3.96	0.06	0.18
โรงงานอิฐมอญ	6.95	16.13	5.20	16.16
โรงงานปูนขาว	11.96	27.74	0.25	0.79
โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป	14.59	33.82	0.10	0.30
ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน	3.47	8.04	0.13	0.41
ฝุ่นถนน	4.45	10.31	26.46	82.16
รวม	43.12	100.00	32.20	100.00

หมายเหตุ: * ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง

จากตารางการเปรียบเทียบผลการประเมินสัดส่วนของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดของทั้ง 2 แบบจำลอง (ตารางที่ 42) พบว่าผลการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง CMB คือฝุ่นจากโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป โรงงานปูนขาว และโรงงานอิฐมอญ ส่วนผลการประเมินโดยใช้แบบจำลอง AERMOD คือ ฝุ่นถนน แต่อย่างไรก็ตามจะพบว่าแบบจำลองทั้งสองชนิดมีผลการประเมินที่เหมือนกันคือพบโรงงานเครื่องปั้นดินเผาเป็นแหล่งกำเนิดที่มีสัดส่วนน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดฝุ่นในพื้นที่บริเวณโรงเรียนวัดเจติยาราม เมื่อเปรียบเทียบผลการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นที่ได้จากทั้งสองแบบจำลองกับค่าความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากการตรวจวัดจริงในพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (โรงเรียนวัดเจติยาราม) ได้ผลดังรูปที่ 45



ก. แบบจำลอง CMB



ข. แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

รูปที่ 45 เปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองกับการตรวจวัดที่ผู้รับ

จากรูปการเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองกับการตรวจวัดที่ผู้รับ (รูปที่ 45) พบว่าแบบจำลอง CMB ให้ผลค่าความเข้มข้นส่วนใหญ่ที่มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการตรวจวัดจริงในพื้นที่ ส่วนค่าความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลอง AERMOD นั้นในช่วงฤดูฝนพบความเข้มข้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับการตรวจวัด ส่วนในช่วงฤดูแล้งนั้นส่วนใหญ่มีค่าความเข้มข้นต่ำกว่าที่ได้จากการตรวจวัดจริงทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีแหล่งกำเนิดฝุ่นอื่นๆ เพิ่มขึ้น (เช่น การเผาในที่โล่งที่มักพบในช่วงฤดูแล้ง) หรือการเพิ่มอัตราการผลิตของโรงงานที่ดำเนินการได้อย่างจำกัดในช่วงฤดูฝน (เช่น โรงงานอิฐมอญที่ต้องมีการผึ่งก้อนดินในที่โล่งซึ่งทำได้ค่อนข้างจำกัดในช่วงฤดูฝน) โดยจากภาพรวมของการประเมินแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยใช้แบบจำลองทั้งสองประเภทนั้นให้ผลการศึกษาที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองทั้งสองประเภทนี้มีทฤษฎีพื้นที่ที่แตกต่างกันโดยแบบจำลอง CMB ใช้หลักทางสถิติวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบของสารที่แหล่งกำเนิดกับที่ผู้รับผลกระทบ ส่วนแบบจำลอง AERMOD นั้นใช้สมการการเคลื่อนย้าย (Transport) ของสารที่ปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดสู่ผู้รับด้วยตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยาและสภาพภูมิประเทศ

บทที่ 5

สรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 การตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน

จากการตรวจวัดความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศพบว่าชุมชนในเขตอุตสาหกรรม (จุดตรวจวัด ณ โรงเรียนวัดเจติยาราม) มีความเข้มข้นเฉลี่ยสูงกว่านอกเขตอุตสาหกรรม (จุดตรวจวัด ณ โรงเรียน ตชด. บ้านถ้ำหิน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเมื่อจำแนกตามฤดูกาลพบว่าในฤดูแล้งมีปริมาณฝุ่นสูงกว่าในฤดูฝนทุกกรณี

5.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่น

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนในบรรยากาศพบว่าพื้นที่ชุมชนในเขตอุตสาหกรรมมีความหลากหลายของโลหะมากกว่านอกเขตอุตสาหกรรม โดยพื้นที่ชุมชนในเขตอุตสาหกรรมพบความเข้มข้นโลหะรวมสองฤดูมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ Mg Fe และ Al ตามลำดับ ส่วนพื้นที่นอกเขตอุตสาหกรรมพบเหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) และแมกนีเซียม (Mg) ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของไอออนที่ละลายน้ำรวมสองฤดูพบว่าพื้นที่ในเขตอุตสาหกรรมพบ $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+}$ ส่วนนอกเขตอุตสาหกรรมพบ $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^-$ ในส่วนขององค์ประกอบคาร์บอนพบอินทรีย์คาร์บอน (OC) มากกว่าธาตุคาร์บอน (EC) ทั้งในพื้นที่ในและนอกเขตอุตสาหกรรม ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมมีปริมาณ OC มากกว่าแต่มี EC น้อยกว่านอกเขตอุตสาหกรรม

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น และองค์ประกอบฝุ่น

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยวิธีสเปียร์แมน (The Spearman Rank Difference Method) พบว่าความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับโลหะ Al Cd Fe Mg Mn และ Zn มากกว่าในพื้นที่นอกเขตอุตสาหกรรมที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 บริเวณ ยกเว้น Pb ที่พื้นที่นอกเขตอุตสาหกรรมพบความสัมพันธ์มากกว่า ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนกับไอออนที่ละลายน้ำนั้น ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันทั้งหมดที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ส่วนพื้นที่นอกเขตอุตสาหกรรมพบเฉพาะ K^+ NH_4^+ และ NO_3^- ที่มีระดับนัยสำคัญเดียวกัน และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนกับคาร์บอนนั้นพบความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันกับอินทรีย์คาร์บอนที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 ทั้งสองพื้นที่

5.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่นจากแหล่งกำเนิด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบฝุ่นจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมแหล่งกำเนิดอื่นๆ พบว่ามีลักษณะค่อนข้างคล้ายคลึงกัน โดยโลหะส่วนใหญ่ที่พบเป็นองค์ประกอบเด่นได้แก่ เหล็ก (Fe) อะลูมิเนียม (Al) แมกนีเซียม (Mg) และสังกะสี (Zn) แต่พบในสัดส่วนที่แตกต่างกันไปในแต่ละแหล่งกำเนิด ส่วนไอออนที่ละลายนั้นจะพบ Ca^{2+} ที่มีสัดส่วนมากที่สุดเกือบทุกแหล่งกำเนิดยกเว้นฝุ่นจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาที่พบ K^+ ส่วนคาร์บอนนั้นส่วนใหญ่คาร์บอนที่พบคืออินทรีย์คาร์บอน (OC) ยกเว้นโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป และฝุ่นถนน ส่วนฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน ถึงแม้ว่าอินทรีย์คาร์บอนจะมีมากกว่าธาตุคาร์บอน (EC) แต่ก็มากกว่าเพียงเล็กน้อย

5.5 การประเมินสัดส่วนของแหล่งกำเนิดของฝุ่น

จากการประเมินแหล่งที่มาของฝุ่นด้วยแบบจำลองสมดุลมวลเคมี (CMB) พบว่าสัดส่วนของแหล่งกำเนิดที่ทำให้เกิดฝุ่น ณ ผู้รับ (โรงเรียนวัดเจติยาราม) ที่อยู่ในเขตอุตสาหกรรม (ไม่พิจารณาฝุ่นที่ไม่ทราบแหล่งที่มา) มาจากฝุ่นจากการเผาฟางข้าว มีสัดส่วนมากที่สุด (ร้อยละ 23.04) รองลงมาได้แก่ โรงงานปูนขาว (ร้อยละ 6.34) โรงงานอิฐมอญ (ร้อยละ 6.31) ฝุ่นจากการปลดปล่อยของรถยนต์ (ร้อยละ 5.44) โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป (ร้อยละ 5.11) ฝุ่นถนน (ร้อยละ 4.29) ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน (ร้อยละ 3.03) และโรงงานเครื่องปั้นดินเผา (ร้อยละ 2.14) ตามลำดับ ส่วนผลการประเมินแหล่งที่มาของฝุ่นด้วยแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD พบว่า ฝุ่นถนนมีสัดส่วนมากที่สุด (ร้อยละ 52.89) รองลงมาได้แก่ โรงงานอิฐมอญ (ร้อยละ 36.54) โรงงานปูนขาว (ร้อยละ 4.37) ฝุ่นจากการก่อสร้างสะพาน (ร้อยละ 2.55) โรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป (ร้อยละ 2.52) และโรงงานเครื่องปั้นดินเผา (ร้อยละ 1.14) ตามลำดับ

5.6 เปรียบผลการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นโดยแบบจำลอง CMB และแบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD

จากการเปรียบเทียบผลการประเมินสัดส่วนของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดของทั้ง 2 แบบจำลอง พบว่าผลการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง CMB คือฝุ่นจากโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป ส่วนผลการประเมินสัดส่วนแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นโดยใช้แบบจำลอง AERMOD คือฝุ่นถนน แบบจำลองทั้งสองให้ผลการประเมินแหล่งกำเนิดหลักที่แตกต่างกัน แต่พบว่าแบบจำลองทั้งสองชนิดมีผลการประเมินที่เหมือนกันคือโรงงานเครื่องปั้นดินเผาเป็นแหล่งกำเนิดที่มีสัดส่วนน้อยที่สุดที่ทำให้เกิดฝุ่นในพื้นที่ เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นที่ได้จากแบบจำลองทั้งสองกับการตรวจวัดที่ผู้รับพบว่าแบบจำลอง CMB ให้ผลค่าความเข้มข้นส่วนใหญ่ที่มีแนวโน้มไปในทิศทาง

เกี่ยวกับการตรวจวัดจริงในพื้นที่ ส่วนค่าความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลอง AERMOD นั้นพบความเข้มข้นมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับการตรวจวัดเฉพาะในช่วงฤดูฝน

5.7 ข้อเสนอแนะ

5.7.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการบริหารจัดการและกำหนดนโยบายเพื่อลดมลภาวะ

1) มลพิษทางอากาศในบรรยากาศ: การศึกษาครั้งนี้ชี้ให้เห็นว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนในช่วงฤดูแล้งมีค่าสูงกว่าฤดูฝน ทั้งในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมและนอกเขตอุตสาหกรรม และพบว่าในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมในช่วงฤดูแล้งมีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ การจัดการ การปลูกต้นไม้ยืนต้นที่มีทรงพุ่มขนาดใหญ่เพื่อช่วยในการช่วยในกรองฝุ่น ในส่วนของโรงเรียน ตชด. บ้านถ้ำหิน ควรนำหน้าดินที่ไม่มีการปนเปื้อนมาถมทับหรือการปลูกหญ้าคลุมดินเพื่อไม่ให้เกิดการฟุ้งกระจาย

2) มลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิด: จากการศึกษาด้วยแบบจำลอง CMB พบว่าในภาคการเกษตรมีส่วนทำให้เกิดฝุ่นละอองในสัดส่วนที่มาก ดังนั้นควรมีการประชาสัมพันธ์ และรณรงค์ให้ลดการเผาตอซังข้าวหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตและหันมาใช้การไถกลับหรือนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน โดยรัฐอาจจะมีมาตรการในการช่วยเหลือเกษตรกรในส่วนนี้ แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้จากแบบจำลอง CMB และแบบจำลอง AERMOD พบว่าสถานประกอบการอุตสาหกรรมในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม มีส่วนที่ทำให้ฝุ่นละอองในโรงเรียนวัดเจติยารามในระดับหนึ่ง ดังนั้นควรสื่อสารข้อมูลนี้ให้กับผู้ประกอบการเพื่อให้เกิดความตระหนักถึงผลกระทบจากการประกอบกิจการเพื่อนำมาสู่ความร่วมมือกันอย่างสันติในการลดมลพิษในพื้นที่ เช่นการจัดตั้งกรรมการร่วมระหว่างผู้ประกอบการและชุมชนเพื่อกำกับดูแลมลภาวะในพื้นที่ โดยกำหนดมาตรการร่วมกันในการลดมลพิษ เช่น การหมุนเวียนกระบวนการผลิตที่มีขั้นตอนการเผา การสร้างระบบแจ้งเตือนเมื่อพบว่ามีปัญหามลพิษทางอากาศในชุมชน เป็นต้น ในส่วนของสถานประกอบการอุตสาหกรรมแต่ละแห่ง ควรหันมาพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการนำเชื้อเพลิงที่มีปริมาณมลพิษต่ำ (เช่น ก๊าซธรรมชาติ หากเป็นไม้พื้ก็ควรใช้ที่มีความชื้นในเนื้อไม้ต่ำ) มาใช้ การติดตั้งระบบบำบัดมลพิษและดูแลให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลีกเลี่ยงการระบายมลพิษสู่บรรยากาศในช่วงที่มีความกดอากาศสูงที่ซึ่งมักเกิดขึ้นในช่วงเช้ามืดและพลบค่ำของแต่ละวัน การฉีดพรมน้ำบริเวณรอบพื้นที่ประกอบการในช่วงฝนทิ้งช่วงเพื่อลดการฟุ้งกระจายของฝุ่น เป็นต้น

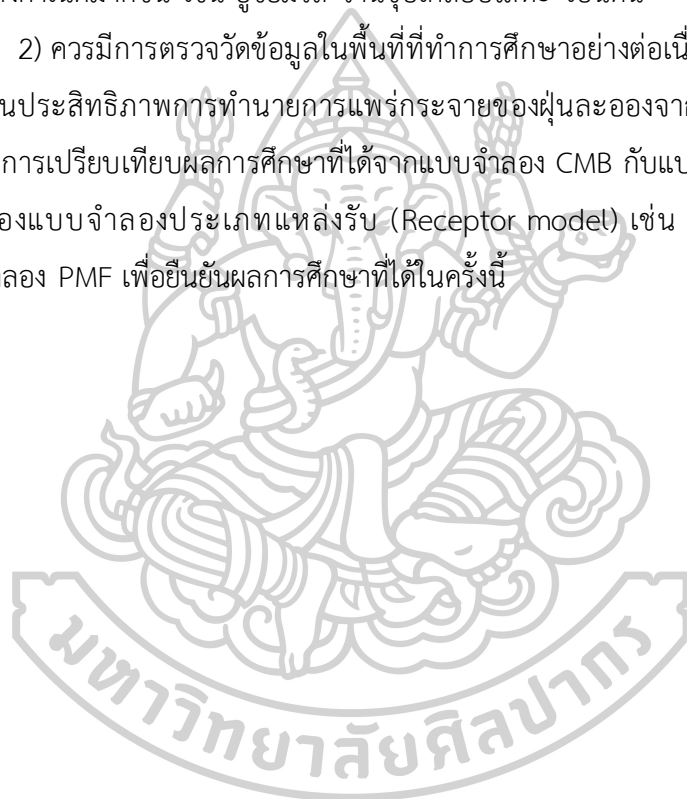
ในระดับนโยบาย มาตรการด้านผังเมืองมีความสำคัญอย่างยิ่ง การกำหนด “ผังเมืองเฉพาะ” เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์พื้นที่อย่างชัดเจน และบังคับใช้อย่างเข้มงวด จะช่วยมิให้

เกิดการทับซ้อนระหว่างการใช้ประโยชน์พื้นที่เพื่อพักอาศัยและอื่นๆ กับพื้นที่เขตอุตสาหกรรม ที่ซึ่งอาจนำไปสู่ความขัดแย้งในภายหลัง

5.7.2 ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไปในอนาคต

1) เพื่อให้ได้ผลการศึกษาที่แม่นยำมากขึ้นควรมีการปรับปรุงข้อมูลที่ใช้ในการนำเข้าแบบจำลอง เนื่องจากข้อมูลในพื้นที่ส่วนใหญ่มีไม่เพียงพอสำหรับให้นำเข้าแบบจำลองจึงจำเป็นต้องใช้ข้อมูลในพื้นที่ใกล้เคียง หรือข้อมูลจากงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลการระบายมลพิษของแหล่งกำเนิด และการควมมีการศึกษาให้ครอบคลุมทุกแหล่งกำเนิดมากขึ้น เช่น อุโมงค์จราจร ร้านชุบเคลือบโลหะ เป็นต้น

2) ควรมีการตรวจวัดข้อมูลในพื้นที่ที่ทำการศึกษาอย่างต่อเนื่องเพื่อเปรียบเทียบและประเมินประสิทธิภาพการทำนายการแพร่กระจายของฝุ่นละอองจากแบบจำลอง AERMOD และทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง CMB กับแบบจำลองตัวอื่นๆ ที่อยู่ในกลุ่มของแบบจำลองประเภทแหล่งรับ (Receptor model) เช่น แบบจำลอง PCA หรือแบบจำลอง PMF เพื่อยืนยันผลการศึกษาที่ได้ในครั้งนี้อย่างมีประสิทธิภาพ



รายการอ้างอิง

- Acid Deposition Monitoring Network in East Asia. (2003). The third interim scientific advisory group meeting of acid deposition monitoring network in East Asia. Retrieved from http://www.eanet.cc/product/techdoc_fp.pdf
- Ajmone-Marsan, F., Biasioli, M., Kralj, T., Grčman, H., Davidson, C. M., Hursthouse, A. S., . . . Rodrigues, S. (2008). Metals in particle-size fractions of the soils of five European cities. *Environmental Pollution*, 152, 73-81.
doi:10.1016/j.envpol.2007.05.020
- Al-Khashman, O. A., & Shawabkeh, R. A. (2006). Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan. *Environmental Pollution*, 140, 387-394.
doi:10.1016/j.envpol.2005.08.023
- American Society for Testing materials. (1988). *1988 annual book of ASTM standards : section 11 water and environmental technology*. Easton, Md.: ASTM.
- Argyropoulos, G., Manoli, E., Kouras, A., & Samara, C. (2012). Concentrations and source apportionment of PM10 and associated major and trace elements in the Rhodes Island, Greece. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 432, 12-22.
- Bilkis, A. B., Swapan, K. B., & Philip, K. H. (2007). Source Apportionment of Air Particulate Matter by Chemical Mass Balance (CMB) and Comparison with Positive Matrix Factorization (PMF) Model. *Aerosol and Air Quality Research.*, 7(4), 446-468.
doi:10.1.1.458.7321
- Chantara, S., Wangkarn, S., Thengcharoenkul, U., Sangchan, W., & Raynakorn, M. (2009). Chemical Analysis of Airborne Particulates for Air Pollutants in Chiang Mai and Lamphun Provinces, Thailand. *Chiang Mai J. Sci.*, 36(2), 123-135.
- Chia, Y. (1993). Data collection handbook to support modeling the impacts of radioactive material in soil.
- Chow, J. C., Watson, J. G., & Houck, J. E. (1994). A laboratory resuspension chamber to measure fugitive dust size distributions and chemical compositions. *Atmospheric Environment*, 28(21), 3463-3481. doi:10.1016/1352-2310(94)90005-1
- Chusai, C., Manomaiphiboon, K., Saiyasitpanich, P., & Thepanondh, S. (2012). NO₂ and

- SO₂ dispersion modeling and relative roles of emission sources over Map Ta Phut industrial area, Thailand. *JOURNAL OF THE AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION*, 62(8), 932-945.
- Contini, D., Genga, A., Cesari, D., Siciliano, M., Donateo, A., Bove, M. C., & Guascito, M. R. (2010). Characterisation and source apportionment of PM₁₀ in an urban background site in Lecce. *Atmospheric Research*, 95, 40-54.
doi:10.1016/j.atmosres.2009.07.010
- Coulter, C. T. (2004). *EPA-CMB8.2 Users Manual*. USA: United States Environmental Protection Agency.
- de la Campa, A. M. S., de la Rosa, J. D., Fernandez-Caliani, J. C., & 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(8), 1018-1023.
- Garivait, H. (1999). *A study on air pollution by airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Bangkok urban atmosphere*. (Ph.D. Thesis), Asian Institute of Technology.
- Google Earth. (2013). Google Earth (Version 7.1).
- Gopinath, S., Murthy, A. R., Ramya, D., & Iyer, N. R. (2011). Optimised Mix Design for Normal Strength and High Performance Concrete Using Particle Packing Method. *Archives of Civil Engineering*, 57(4). doi:10.2478/v.10169-011-0026-0
- Gupta, A. K., Karar, K., & Srivastava, A. (2007). Chemical mass balance source apportionment of PM₁₀ and TSP in residential and industrial sites of an urban region of Kolkata, India. *Journal of Hazardous Materials*, 142, 279-287.
doi:10.1016/j.jhazmat.2006.08.013
- Gupta, A. K., Nag, S., & Mukhopadhyay, U. K. (2006). Measurements of Inhalable Particles < 10 μm (PM₁₀) and Total Suspended Particulates (TSP) Concentrations along the North–South Corridor, in Kolkata, India. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 41(3), 431-445. doi:10.1080/10934520500428310
- Ho, K. F., Lee, S. C., Chow, J. C., & Watson, J. G. (2003). Characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} source profiles for fugitive dust in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 37, 1023-1032. doi:10.1016/S1352-2310(02)01028-2

- Hopke, P. K. (1991). *Receptor Modelling in Air Quality Management*. Amsterdam: Elseviers.
- Hu, S., Herner, J. D., Shafer, M., Robertson, W., Schauer, J. J., Dwyer, H., . . . Ayala, A. (2009). Metals emitted from heavy-duty diesel vehicles equipped with advanced PM and NOX emission controls. *Atmospheric Environment*, 43, 2950-2959. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.02.052
- Hueglin, C., Gehrig, R., Baltensperger, U., Gysel, M., Monn, C., & Vonmont, H. (2005). Chemical characterisation of PM_{2.5}, PM₁₀ and coarse particles at urban, near-city and rural sites in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 39, 637-651. doi:10.1016/j.atmosenv.2004.10.027
- Kesarkar, A. P., Dalvi, M., Kaginalkar, A., & Ojha, A. (2007). Coupling of the Weather Research and Forecasting Model with AERMOD for pollutant dispersion modeling. A case study for PM₁₀ dispersion over Pune, India. *Atmospheric Environment*, 41(9), 1976-1988. doi:10.1016/j.atmosenv.2006.10.042
- Khamyingkert, L., & Thepanondh, S. (2016). Analysis of Industrial Source Contribution to Ambient Air Concentration Using AERMOD Dispersion Model. *EnvironmentAsia, Vol 9, Iss 1, Pp 28-36* (2016)(1), 28. doi:10.14456/ea.1473.4
- Kong, S., Lu, B., Ji, Y., Zhao, X., Chen, L., Li, Z., . . . 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. doi:10.1016/j.microc.2011.02.012
- Lee, P.-K., Yu, Y.-H., Yun, S.-T., & Mayer, B. (2005). Metal contamination and solid phase partitioning of metals in urban roadside sediments. *Chemosphere*, 60, 672-689. doi:10.1016/j.chemosphere.2005.01.048
- Levin, E. J. T., McMeeking, G. R., Carrico, C. M., Mack, L. E., Kreidenweis, S. M., Wold, C. E., . . . Malm, W. C. (2010). Biomass burning smoke aerosol properties measured during Fire Laboratory at Missoula Experiments (FLAME). *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*, 115(D18), n/a.
- Liu, J., Li, J., Vonwiller, M., Liu, D., Cheng, H., Shen, K., . . . Zhang, G. (2016). The importance of non-fossil sources in carbonaceous aerosols in a megacity of central China during the 2013 winter haze episode: A source apportionment constrained by radiocarbon and organic tracers. *Atmospheric Environment*, 144,

60-68. doi:10.1016/j.atmosenv.2016.08.068

- Ma, J., Yi, H., Tang, X., Zhang, Y., Xiang, Y., & Pu, L. (2013). Application of AERMOD on near future air quality simulation under the latest national emission control policy of China: A case study on an industrial city. *Journal of Environmental Sciences*, 25(8), 1608-1617. doi:10.1016/s1001-0742(12)60245-9
- Marcazzan, G. M., Ceriani, M., Valli, G., & Vecchi, R. (2003). Source apportionment of PM10 and PM2.5 in Milan (Italy) using receptor modelling. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 317, 137-147. doi:10.1016/S0048-9697(03)00368-1
- Okamoto, S. i., Wangkiat, A., Pongkiatkul, P., Nakhwan, C., & Oanh, N. T. K. (2012). Comparative Study on the CMB-8 and PMF Models for a Coastal Industrial Area. *International Journal of Environmental Protection*, 2(3), 1-6.
- Park, S. S., Kim, Y. J., & Fung, K. (2001). Characteristics of PM2.5 carbonaceous aerosol in the Sihwa industrial area, Korea. *Atmospheric Environment*, 35, 657-665. doi:10.1016/S1352-2310(00)00357-5
- Pengchai, P., Chantara, S., Sopajaree, K., Wangkarn, S., Tengcharoenkul, U., & Rayanakorn, M. (2009). Seasonal variation, risk assessment and source estimation of PM 10 and PM10-bound PAHs in the ambient air of Chiang Mai and Lamphun, Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment*(1-4), 197.
- Pey, J., Alastuey, A., & Querol, X. (2013). PM10 and PM2.5 sources at an insular location in the western Mediterranean by using source apportionment techniques. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 456-457, 267-277. doi:10.1016/j.scitotenv.2013.03.084
- Pima Country Department of Environmental Quality. (2013). Change of Air Pollution Season Happening Now. Retrieved from <http://www.deq.pima.gov/New/newsrelease/WinterAirPollutionSeason.html>.
- Pongkiatkul, P., Oanh, N. T. K., Hao, Z., Wang, H., Philip, L., Lestari, P., & Simpas, J. (2014). Development of Particulate Composition Profiles for Major Emission Source in Asia. In N. T. K. Oanh (Ed.), *Improving Air Quality in Asian Developing Countries: Compilation of Research Findings*. Vietnam: Duong Dong Printing Co. LTD.
- Pongpiachan, S., & Iijima, A. (2016). Assessment of selected metals in the ambient air PM.sub.10 in urban sites of Bangkok (Thailand). *Environmental Science and Pollution Research*(3), 2948. doi:10.1007/s11356-015-5877-5

- Roy, D., Singh, G., & Yadav, P. (2016). Identification and elucidation of anthropogenic source contribution in PM₁₀ pollutant: Insight gain from dispersion and receptor models. *Journal of Environmental Sciences*, 48, 69-78. doi:10.1016/j.jes.2015.11.037
- Salvador, P., Almeida, S. M., Cardoso, J., Almeida-Silva, M., Nunes, T., Cerqueira, M., . . . Pio, C. (2016). Composition and origin of PM₁₀ in Cape Verde: Characterization of long-range transport episodes. *Atmospheric Environment*, 127, 326-339. doi:10.1016/j.atmosenv.2015.12.057
- Samara, C., Kouimtzis, T., Tsitouridou, R., Kaniyas, G., & Simeonov, V. (2003). Chemical mass balance source apportionment of PM₁₀ in an industrialized urban area of Northern Greece. *Atmospheric Environment*, 37, 41-54. doi:10.1016/S1352-2310(02)00772-0
- Schlotthauer, D. J., Boyhan, G. E., Robinson, W. D., Woodruff, K. L., Campbell, J. A., Sutin, G. L., . . . Greeley, R. H. (2008). Resource Recovery: Prepared Fuels Energy and Materials. In W. D. Robinson (Ed.), *The Solid Waste Handbook* (pp. 377-556): John Wiley & Sons, Inc.
- Sharma, S. K., Mandal, T. K., Saxena, M., Rashmi, Rohtash, Sharma, A., & Gautam, R. (2014). Source apportionment of PM₁₀ by using positive matrix factorization at an urban site of Delhi, India. *Urban Climate*, 10(Part 4), 656-670. doi:10.1016/j.uclim.2013.11.002
- Shi, G.-L., Zeng, F., Li, X., Feng, Y.-C., Wang, Y.-Q., Liu, G.-X., & Zhu, T. (2011). Estimated contributions and uncertainties of PCA/MLR-CMB results: Source apportionment for synthetic and ambient datasets. *Atmospheric Environment*, 45, 2811-2819. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.03.007
- Soriano, A., Pallarés, S., Pardo, F., Vicente, A. B., Sanfeliu, T., & Bech, J. (2012). Deposition of heavy metals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area. *Journal of Geochemical Exploration*, 113, 36-44. doi:10.1016/j.gexplo.2011.03.006
- Thurston, G. D., Ito, K., & Lall, R. (2011). A source apportionment of U.S. fine particulate matter air pollution. *Atmospheric Environment*, 45, 3924-3936. doi:10.1016/j.atmosenv.2011.04.070
- U.S. EPA. (1996). *Air Quality Criteria for Particulate Matter*. Washington, D.C.: U.S.

Environmental Protection Agency.

U.S. EPA. (2004). *USER'S GUIDE FOR THE AMS/EPA REGULATORY MODEL - AERMOD*

Retrieved from

https://www3.epa.gov/ttn/scram/models/aermod/aermod_userguide_addendum_v11059_draft.pdf

Viana, M., Pandolfi, M., Minguillón, M. C., Querol, X., Alastuey, A., Monfort, E., & Celades,

I. (2008). Inter-comparison of receptor models for PM source apportionment:

Case study in an industrial area. *Atmospheric Environment*, 42, 3820-3832.

doi:10.1016/j.atmosenv.2007.12.056

Wangkiat, A., Harvey, N. W., Garivait, H., & Okamoto, S. (2004). Source contribution of

atmospheric aerosols in Bangkok metropolitan area by CMB8 receptor model.

INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENT AND POLLUTION, 21(1), 80-96.

Wangkiat, A., Harvey, N. W., Okamoto, S., Wangwongwatana, S., & Rachdawong, P. (2004).

Characterization for some emission sources in CMB calculation for Mae Moh

area, Thailand. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENT AND POLLUTION*,

21(3), 223-239.

Wu, G., Du, X., Wu, X., Fu, X., Kong, S., Chen, J., . . . Bai, Z. (2013). Chemical composition,

mass closure and sources of atmospheric PM₁₀ from industrial sites in

Shenzhen, China. *Journal of Environmental Sciences*, 25, 1626-1635.

doi:10.1016/S1001-0742(12)60238-1

Ye, D., Zhao, Q., Jiang, C., Chen, J., & Meng, X. (2007). Characteristics of elemental

carbon and organic carbon in PM₁₀ during spring and autumn in Chongqing,

China. *China Particology*, 5, 255-260. doi:10.1016/j.cpart.2007.03.009

กนกพร ศิลาดี. (2552). การศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศที่คำนวณได้โดยแบบจำลองคุณภาพ

อากาศ *AERMOD* เมื่อใช้ค่าปัจจัยลักษณะผิวพื้นที่แตกต่างกัน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ),

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.

กรมควบคุมมลพิษ. (2553). มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป. Retrieved from

http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html#s1

กรมควบคุมมลพิษ. (2555). เกร็ดความรู้เรื่องฝุ่นละออง. Retrieved from

http://www.pcd.go.th/info_serv/air_dust.htm

กรมควบคุมมลพิษ. (2558). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2557. กรุงเทพฯ: บริษัท เท็กซ์ แอนด์ เจอร์

นัล พับลิเคชัน จำกัด.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2549). คู่มือมาตรฐานการตรวจสอบโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2557). ข้อมูลโรงงาน. Retrieved from

<http://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=dataservice&tabid=1>

คอลเลอร์สตรอม นิค. (2530). ตะกั่วในสมอง = *Lead on the brain*. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.

จิรวัดน์ จิงศิริกุลวิทย์. (2555). ฝุ่นละอองในอากาศกับการปรับตัว. ศูนย์การเรียนรู้สุขศึกษาและพฤติกรรมสุขภาพ.

Retrieved from [http://www.vachiraphuket.go.th/www/public-](http://www.vachiraphuket.go.th/www/public-health/?name=knowledge&file=readknowledge&id=290)

[health/?name=knowledge&file=readknowledge&id=290](http://www.vachiraphuket.go.th/www/public-health/?name=knowledge&file=readknowledge&id=290)

ชัยศักดิ์ ชาตรีจันทร์สกุล. (2545.). การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมของเตาเผาเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดราชบุรี.

(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

ฐิตติยา แซ่ปึง. (2551). พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธิดารัตน์ ผลพิบูลย์, อีสริย์ฐิกา ชัยสวัสดิ์, & อนุวัตร รุ่งพิสุทธิพงษ์. (2557). ภัยในหน้าหนาวจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก

(PM2.5). วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซียฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 8(1), 40-46.

ธิดารินทร์ หงส์ศรีสวัสดิ์. (2549). การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนสำหรับ

จังหวัดสมุทรปราการ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

นพดล ชีวะอิสระกุล. (2538). การผลิตปูนขาวในเขตจังหวัดสระบุรี. กรุงเทพฯ: กองการเหมืองแร่ กรมทรัพยากรธรณี.

นภาพร พานิช. (2544). แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้านคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นัทธีรา สรรมณี. (2551). เคมีสิ่งแวดล้อม (พิมพ์ครั้งที่ 2 ed.). นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

เบญจวรรณ ธงรั้ว. (2559). การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10

ไมครอน (PM10) บริเวณจังหวัดราชบุรี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยศิลปากร,

นครปฐม.

ปาจริย์ ทองสนิท, & วนิดา จินศาสตร์. (2548). โครงการองค์ประกอบทางเคมีและสัดส่วนของแหล่งกำเนิดฝุ่น PM10

ในเขตเมืองพิษณุโลก: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

พงษ์พันธ์ วรสุนทรโรสถ, & วรพงศ์ วรสุนทรโรสถ. (2546). วัสดุก่อสร้าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดเคชั่น.

มงคล ราชยานคร, สมพร จันทระ, สุนันทา ว่างานต์, อุไร เตังเจริญกุล, พิสิทธิ์ กิจสวัสดิ์ไพบูลย์, พรชัย จันทา, . . .

และดุจเดือน แสงบุญ. (2550). โครงการการวิเคราะห์เพื่อหามลพิษทางอากาศในอนุภาคฝุ่นในจังหวัด

เชียงใหม่และจังหวัดลำพูน. กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย.

มลิวรรณ บุญเสนอ. (2549). พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม (พิมพ์ครั้งที่ 4 ed.). นครปฐม: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ยศกิต เรืองทวีป. (2552). การศึกษาปริมาณของฝุ่นละอองขนาดเล็กจากโรงไหมหินที่มีต่อสุขภาพของเด็กนักเรียน :

กรณีศึกษาโรงเรียนในตำบลทุ่งหลวง อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ),

มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

รณิดา สัมฤทธิ์โพธิ์. (2555). องค์ความรู้ “การทำอิฐมอญ”. พระนครศรีอยุธยา: สำนักงานวัฒนธรรมจังหวัด
พระนครศรีอยุธยา.

รพีพัฒน์ เกริกโกวัล. (2543). องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานคร.

(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

วนิดา จินาศาสตร์. (2551). มลพิษทางอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.

วรารุจ เสือดี. (2550). แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD. วารสารความปลอดภัยและสุขภาพ, 1(2), 23-32.

วรารุจ เสือดี. (2551). แบบจำลองคุณภาพอากาศ AERMOD. ปทุมธานี: สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, ภาควิชา
วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

วลัยพร เล็กมณี. (2547). การวิเคราะห์รูปแบบทางที่ตั้งของอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดราชบุรี.

(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

วีระพงษ์ หาญรินทร์. (2557). มลพิษทางอากาศ. Retrieved from

<http://www.elearning.msu.ac.th/opencourse/0709%20307/page.html>

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2556). แนวทางการใช้แบบจำลองเพื่อประเมินการ
แพร่กระจายมลพิษทางอากาศ. Retrieved from

http://www.onep.go.th/eia/images/6interest/model_asia.pdf

สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม. (2556). คู่มือมาตรฐานอนามัยสิ่งแวดล้อม (ด้านอากาศ น้ำ ดิน เสียง ความสั่นสะเทือน
ความร้อน และความเข้มแสงสว่าง) (พิมพ์ครั้งที่ 4 ed.). กรุงเทพฯ: สำนักงานกิจการโรงพิมพ์องค์การ
สงเคราะห์ทหารผ่านศึก.

สุทัศน์ จันบัวลา, วิทวัส รัตนถาวร, & มานะ เอี่ยมบัว. (2556). การออกแบบและพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์
อิฐมอญในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.



ภาคผนวก



ตารางที่ ก1 ความเข้มข้นของโลหะในบรรยากาศ ณ โรงเรียนตชด. บ้านถ้ำหิน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นโลหะในบรรยากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)														
	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	V
10/8/2557	0.1455	nd	nd	nd	0.0092	0.0079	0.1992	nd	0.1512	0.0045	0.0010	nd	nd	0.0455	nd
16/8/2557	0.0803	nd	nd	nd	0.0047	0.0103	0.1147	nd	0.1133	0.0030	nd	nd	nd	0.0386	nd
22/8/2557	0.2906	nd	nd	nd	0.0033	0.0204	0.0978	nd	0.1137	0.0032	0.0102	nd	nd	0.2298	nd
23/8/2557	0.1695	nd	nd	nd	0.0026	0.0172	0.0797	nd	0.0898	0.0022	0.0261	nd	nd	0.2453	nd
30/8/2557	0.1620	nd	nd	nd	0.0009	0.0129	0.0752	nd	0.1316	0.0026	0.0056	nd	nd	0.1977	nd
31/8/2557	0.0629	nd	0.0010	nd	0.0019	0.0056	0.1043	nd	0.0500	0.0027	0.0623	nd	nd	0.0229	nd
12/9/2557	0.0997	0.0057	0.0009	nd	0.0034	0.0081	0.1481	nd	0.0982	0.0043	0.0107	0.0057	nd	0.0172	nd
13/9/2557	0.3527	nd	nd	nd	0.0014	0.0065	0.1290	nd	0.1233	0.0034	nd	0.0158	nd	0.0184	nd
19/9/2557	0.1020	nd	nd	nd	0.0022	0.0189	0.1442	nd	0.1151	0.0041	0.0070	nd	nd	0.0162	nd
20/9/2557	0.1537	nd	0.0001	nd	0.0023	0.0231	0.1654	nd	0.1030	0.0029	0.0920	nd	nd	0.0357	nd
26/9/2557	0.0669	nd	nd	nd	0.0015	0.0041	0.1192	nd	0.0727	0.0042	0.0445	0.0029	nd	0.0256	nd
27/9/2557	0.0697	nd	0.0009	nd	0.0180	0.0099	0.1074	nd	0.0711	0.0032	0.0094	nd	nd	0.0299	nd
3/10/2557	0.0704	nd	nd	nd	0.0026	0.0103	0.1136	nd	0.0618	0.0032	0.0683	0.0029	nd	0.0379	nd
4/10/2557	0.0792	nd	nd	nd	0.0022	0.0266	0.0951	nd	0.0706	0.0032	nd	nd	nd	0.0347	nd
23/11/2558	0.1014	0.0030	0.0020	nd	0.0061	0.0104	0.5054	nd	0.1385	0.0181	0.0203	0.0181	nd	0.0685	nd
24/11/2558	0.0744	nd	0.0020	nd	0.0044	0.0112	0.3504	nd	0.1230	0.0137	0.0030	0.0124	nd	0.0644	nd
30/11/2558	0.1817	0.0030	0.0021	nd	0.0039	0.0099	0.7839	nd	0.2146	0.0269	0.0074	0.0196	nd	0.0915	nd
31/11/2558	0.0979	0.0020	0.0017	nd	0.0035	0.0072	0.4481	nd	0.2014	0.0157	0.0048	0.0105	nd	0.0667	nd
6/2/2558	0.1239	nd	0.0020	nd	0.0034	0.0179	0.5582	nd	0.2093	0.0195	0.0138	0.0091	nd	0.0684	nd
7/2/2558	0.1166	nd	nd	nd	0.0020	0.0089	0.4190	nd	0.1512	0.0148	0.0304	0.0089	nd	0.0806	nd
13/2/2558	0.2717	0.0039	nd	nd	0.0019	0.0073	0.8802	nd	0.1802	0.0240	0.0399	0.0076	nd	0.0485	nd
14/2/2558	0.1757	0.0020	nd	nd	0.0014	0.0042	0.5366	nd	0.1325	0.0178	0.3407	0.0046	nd	0.0419	nd
15/2/2557	0.1305	nd	nd	nd	0.0015	0.0105	0.3636	nd	0.1492	0.0165	0.0317	0.0072	nd	0.0479	nd
27/2/2558	0.1319	nd	nd	nd	0.0024	0.0054	0.4143	nd	0.1734	0.0119	0.0201	0.0027	nd	0.0358	nd
28/2/2558	0.0980	0.0029	nd	nd	0.0008	0.0116	0.3038	nd	0.1470	0.0099	0.0090	nd	nd	0.0420	nd
6/3/2558	0.0932	0.0028	0.0016	nd	0.0031	0.0114	0.2838	nd	0.1299	0.0097	0.0113	0.0124	nd	0.0353	nd
7/3/2558	0.1763	nd	0.0031	nd	0.0017	0.0172	0.1679	nd	0.0756	0.0059	0.0371	0.0130	nd	0.0266	nd
13/3/2558	0.1205	nd	nd	nd	0.0008	0.0146	0.3992	nd	0.1387	0.0125	0.0087	0.0011	nd	0.0266	nd
14/3/2558	0.0741	nd	nd	nd	0.0007	0.0105	0.2357	nd	0.0940	0.0078	0.0200	0.0030	nd	0.0371	nd

หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางที่ ก2 ความเข้มข้นของโลหะในบรรยากาศ ณ โรงเรียนวัดเจติยาราม

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นโลหะในบรรยากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)														
	Al	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mg	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	V
10/8/2557	0.1408	nd	nd	nd	0.0053	0.0166	0.2418	nd	0.3513	0.0078	nd	0.0498	nd	0.0535	nd
16/8/2557	0.1501	nd	nd	nd	0.0059	0.0146	0.2620	nd	0.3823	0.0103	0.0035	0.0354	nd	0.0513	nd
22/8/2557	0.2840	nd	nd	nd	0.0049	0.0311	0.2667	nd	0.3069	0.0168	0.0123	0.1649	nd	0.2784	nd
23/8/2557	0.1053	nd	nd	nd	0.0020	0.0222	0.1947	nd	0.2193	0.0056	nd	0.2697	nd	0.0205	nd
30/8/2557	0.1221	nd	nd	nd	0.0026	0.0191	0.1935	nd	0.3481	0.0103	nd	0.0143	nd	0.0260	nd
31/8/2557	0.1121	nd	nd	nd	0.0020	0.0218	0.1567	nd	0.2255	0.0051	nd	0.0089	nd	0.0413	nd
12/9/2557	0.1619	nd	nd	nd	0.0049	0.0268	0.2774	nd	0.2901	0.0090	0.0045	0.0310	nd	0.0297	nd
13/9/2557	0.1696	nd	0.0006	nd	0.0038	0.0206	0.2669	nd	0.2669	0.0081	0.0054	0.0695	nd	0.0227	nd
19/9/2557	0.2494	nd	0.0004	nd	0.0034	0.0164	0.2998	nd	0.9148	0.0123	0.0120	0.0532	nd	0.0531	nd
20/9/2557	0.3541	nd	nd	nd	0.0045	0.0128	0.2991	nd	0.4708	0.0096	0.0103	0.0646	nd	0.0453	nd
26/9/2557	0.1848	nd	nd	nd	0.0037	0.0182	0.2800	nd	0.3596	0.0075	0.0162	0.0341	nd	0.0661	nd
27/9/2557	0.1681	nd	nd	nd	0.0017	0.0150	0.2763	nd	0.4016	0.0101	0.0091	0.0399	nd	0.0658	nd
3/10/2557	0.2119	nd	nd	nd	0.0043	0.0038	0.4310	nd	0.5306	0.0119	0.0171	0.0270	nd	0.0703	nd
4/10/2557	0.4414	nd	nd	nd	0.0033	0.0082	0.3622	nd	0.3226	0.0116	0.0266	0.0566	0.0057	0.1197	nd
23/1/2558	0.1840	0.0052	0.0022	nd	0.0039	0.0413	0.7132	nd	0.8627	0.0301	0.0190	0.0736	nd	0.0791	nd
24/1/2558	0.1927	0.0042	0.0023	nd	0.0038	0.0365	0.7593	nd	0.7820	0.0279	0.0081	0.1969	nd	0.0793	nd
30/1/2558	0.2095	0.0032	0.0019	nd	0.0042	0.0472	0.7646	nd	1.0172	0.0273	0.0157	0.0450	nd	0.0763	nd
31/1/2558	0.1472	0.0011	0.0019	nd	0.0032	0.0820	0.5876	nd	0.6418	0.0206	0.0081	0.0328	nd	0.0708	nd
6/2/2558	0.2846	0.0024	0.0020	nd	0.0046	0.0512	0.9376	nd	1.4874	0.0374	0.0039	0.0417	nd	0.1367	nd
7/2/2558	0.2051	0.0018	0.0011	nd	0.0034	0.0665	0.7552	nd	0.7241	0.0280	0.0233	0.0281	nd	0.0863	nd
13/2/2558	0.1958	0.0015	nd	nd	0.0030	0.0888	0.6108	nd	0.8230	0.0245	0.0070	0.0234	nd	0.0904	nd
14/2/2558	0.1271	0.0009	0.0015	nd	0.0028	0.0840	0.3814	nd	0.3165	0.0138	0.0064	0.0224	nd	0.0406	nd
15/2/2557	0.1312	0.0025	0.0015	nd	0.0025	0.1087	0.3721	nd	0.3895	0.0143	0.0189	0.0286	nd	0.0482	nd
27/2/2558	0.1879	0.0011	0.0011	nd	0.0035	0.0765	0.4983	nd	0.5859	0.0150	0.0461	0.0195	nd	0.0459	nd
28/2/2558	0.1186	nd	nd	nd	0.0026	0.0790	0.3668	nd	0.3819	0.0120	0.0233	0.0063	nd	0.0303	nd
6/3/2558	0.1095	nd	nd	nd	0.0015	0.0373	0.3410	nd	0.4518	0.0131	0.0630	0.0059	nd	0.0421	nd
7/3/2558	0.1297	nd	nd	nd	0.0011	0.0383	0.4029	nd	0.6357	0.0145	0.0209	0.0040	nd	0.0376	nd
13/3/2558	0.1841	nd	nd	nd	0.0026	0.0525	0.5892	nd	0.7596	0.0225	0.0143	0.0125	nd	0.0824	nd
14/3/2558	0.0586	nd	nd	nd	0.0016	0.0223	0.2226	nd	0.2695	0.0095	0.0210	0.0046	nd	0.0515	nd

หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 63 ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำในบรรยากาศ ณ โรงเรียนตชด.บ้านถ้ำหิน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นไอออนในบรรยากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)							
	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
10/8/2557	0.6153	0.0289	0.3100	1.6019	0.3497	0.2192	0.0009	0.2320
16/8/2557	0.5000	0.0327	0.3710	1.6772	0.2523	0.1344	0.0016	0.2875
22/8/2557	0.3322	0.0176	0.3137	4.5443	0.2339	0.1081	0.0022	6.9971
23/8/2557	0.3950	0.0190	0.3464	3.4773	0.3755	0.2923	0.0037	1.2923
30/8/2557	0.3531	0.0126	0.3598	2.4374	0.2301	0.1209	0.0080	0.4712
31/8/2557	0.1453	0.0976	0.1112	0.6424	0.0598	0.0485	0.0018	10.3052
12/9/2557	0.4210	0.4322	0.2911	1.0029	0.1209	0.0932	0.0013	22.6314
13/9/2557	0.5364	0.4562	0.1969	0.9001	0.1470	0.0733	0.0013	30.2334
19/9/2557	0.4303	0.1546	0.3685	0.7845	0.1277	0.1273	0.0020	15.7456
20/9/2557	0.4512	0.2210	0.2671	1.1760	0.1875	0.1258	0.0041	1.1143
26/9/2557	0.2380	0.0275	0.3094	0.9557	0.1279	0.0520	0.0419	1.0048
27/9/2557	0.1454	0.0293	0.3009	1.3728	0.1501	0.0419	0.0061	0.6431
3/10/2557	0.1331	0.6931	0.3403	0.9765	0.1368	0.0459	0.0528	0.7444
4/10/2557	0.1529	1.3159	0.4026	1.3462	0.1628	0.0453	0.0027	1.3148
23/1/2558	0.2608	3.5831	1.4746	0.7039	0.1108	0.0544	95.5011	7.2327
24/1/2558	0.3241	3.1914	1.3184	0.7501	0.1225	0.0408	26.8546	5.8587
30/1/2558	0.5806	7.8630	2.3223	1.1980	0.2509	0.0595	12.4563	15.8495
31/1/2558	0.9334	5.5243	1.8584	1.1965	0.2675	0.1653	11.2479	10.2312
6/2/2558	0.4754	1.8130	1.3925	1.3880	0.2580	0.0512	10.7819	3.6475
7/2/2558	0.2762	2.3598	1.5675	0.8209	0.1611	0.0588	156.1686	4.4804
13/2/2558	0.1152	3.0213	0.9901	0.2564	0.0919	0.1085	402.2816	5.5268
14/2/2558	0.0896	2.2751	0.4402	0.4242	0.1011	0.0742	158.1022	4.1061
15/2/2557	0.4150	3.1459	0.6313	0.5589	0.1297	0.1397	122.2783	5.9638
27/2/2558	0.2633	1.3781	0.7216	0.6167	0.1368	0.0327	202.4534	3.4345
28/2/2558	0.4664	2.1130	1.0609	0.6096	0.1297	0.0844	165.6204	4.9126
6/3/2558	1.6070	1.1219	0.9031	3.0814	0.6947	0.8027	94.3019	5.6814
7/3/2558	0.1398	2.0786	0.6485	0.3240	0.0508	0.0960	295.1662	4.4952
13/3/2558	0.6334	2.6163	1.0921	0.6315	0.1406	0.1725	120.3722	5.3799
14/3/2558	0.3901	2.3550	0.9946	0.4182	0.1112	0.1293	123.4933	4.6918

ตารางที่ ก4 ความเข้มข้นของไอออนละลายน้ำในบรรยากาศ ณ โรงเรียนวัดเจติยาราม

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นไอออนในบรรยากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻		
10/8/2557	0.9812	0.0661	0.5855	3.3218	0.3576	0.6034	0.0021	0.5305		
16/8/2557	0.6641	0.0213	0.8845	2.8474	0.2672	0.4739	0.0031	0.3212		
22/8/2557	0.3829	0.1607	0.8048	5.8448	0.1938	0.1201	0.0035	2.2038		
23/8/2557	0.1892	0.0604	0.5535	2.2698	0.1701	0.1338	0.0179	0.7210		
30/8/2557	0.2975	0.0614	0.4978	2.4308	0.1725	0.2048	0.0024	0.4895		
31/8/2557	0.2919	0.1355	0.6239	2.7585	0.2976	0.2645	0.0036	0.5337		
12/9/2557	0.5428	0.1816	0.8925	3.2463	0.3753	0.3914	0.0045	2.4994		
13/9/2557	0.7242	0.4836	0.9505	2.6845	0.3408	0.4022	0.0039	2.8381		
19/9/2557	0.8423	0.0163	0.9316	4.4285	0.5808	0.6672	0.0385	2.3414		
20/9/2557	0.7292	0.1546	0.9744	2.7226	0.4336	0.5809	0.0055	8.4580		
26/9/2557	0.3433	0.2018	0.7980	3.7400	0.3620	0.1790	0.0030	0.5697		
27/9/2557	0.3195	0.0867	0.8596	3.6926	0.3517	0.1746	0.0135	0.5934		
3/10/2557	0.2832	0.3140	0.8182	4.7127	0.3523	0.1520	0.0033	0.9493		
4/10/2557	0.3119	0.4942	0.9258	4.1533	0.6850	0.1188	0.0030	0.8032		
23/1/2558	0.6728	2.4800	2.7397	4.5282	0.6001	0.1227	22.9095	8.6517		
24/1/2558	0.8132	1.2936	2.7694	5.8675	0.5396	0.2240	21.3799	8.9506		
30/1/2558	1.2664	3.4065	2.2758	5.8928	1.1641	0.8248	21.2602	11.2224		
31/1/2558	1.4946	3.8066	2.3166	4.0637	0.8161	1.3715	12.7085	8.6829		
6/2/2558	1.1016	2.4745	2.9866	8.9592	0.6766	1.2384	18.2401	5.5608		
7/2/2558	0.5508	3.0186	2.6583	5.3210	0.8977	0.5786	155.5518	5.0972		
13/2/2558	1.7580	1.9494	1.8736	4.5798	1.1067	1.6276	190.0144	7.8501		
14/2/2558	1.4279	3.0818	1.3384	1.6992	0.4794	1.2125	233.5319	7.4251		
15/2/2557	1.6214	2.7706	1.2138	1.9817	0.4973	1.0662	344.9753	8.0507		
27/2/2558	1.0852	1.1043	1.4916	3.6720	0.8161	0.8594	184.2134	5.1531		
28/2/2558	1.2249	1.3224	1.1522	2.2005	0.4681	1.1204	126.8056	4.6895		
6/3/2558	0.6529	1.9078	0.9373	0.5768	0.1454	0.2253	256.9948	4.3615		
7/3/2558	1.6060	0.5668	0.8062	3.6944	0.9037	0.7068	105.9863	4.1830		
13/3/2558	1.8483	1.1904	1.3384	3.3890	0.8912	0.5045	104.1673	5.7210		
14/3/2558	0.6107	0.8016	0.6272	1.6801	0.3941	0.1292	149.2846	2.4063		

ตารางที่ ก5 ความเข้มข้นของคาร์บอนในบรรยากาศ ณ โรงเรียนตชด.บ้านถ้ำหิน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นคาร์บอนในบรรยากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	TC	OC	EC
10/8/2557	nd	nd	nd
16/8/2557	9.6359	8.6304	1.0055
22/8/2557	21.1928	13.4497	7.7431
23/8/2557	13.4890	10.9887	2.5003
30/8/2557	19.0509	14.0956	4.9552
31/8/2557	nd	nd	nd
12/9/2557	12.0786	9.9636	2.1151
13/9/2557	9.2539	6.5752	2.6787
19/9/2557	21.1260	14.3950	6.7309
20/9/2557	15.9829	14.1115	1.8714
26/9/2557	20.5691	10.6033	9.9658
27/9/2557	14.2765	12.5827	1.6938
3/10/2557	14.9981	14.8548	0.1434
4/10/2557	14.8833	8.6697	6.2136
23/1/2558	24.6498	20.9834	3.6664
24/1/2558	22.3180	18.2487	4.0692
30/1/2558	31.7290	24.8305	6.8985
31/1/2558	23.5571	21.3734	2.1838
6/2/2558	29.3367	26.8105	2.5262
7/2/2558	30.5167	24.4472	6.0695
13/2/2558	24.4844	19.7094	4.7750
14/2/2558	12.1006	10.6122	1.4884
15/2/2557	17.2261	14.3489	2.8772
27/2/2558	23.3940	20.6040	2.7899
28/2/2558	22.4479	19.1357	3.3122
6/3/2558	20.7718	17.2007	3.5711
7/3/2558	19.8313	18.6018	1.2295
13/3/2558	37.1698	31.8167	5.3531
14/3/2558	27.8233	20.4523	7.3709

หมายเหตุ: nd หมายถึง ตรวจไม่พบ

ตารางที่ 6 ความเข้มข้นของคาร์บอนในบรรยากาศ ณ โรงเรียนวัดเจติยาราม

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นคาร์บอนในบรรยากาศ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	TC	OC	TC
10/8/2557	17.5820	15.4156	2.1664
16/8/2557	18.4609	15.5706	2.8903
22/8/2557	21.1140	17.7402	3.3738
23/8/2557	17.1599	16.9409	0.2190
30/8/2557	15.1499	14.2981	0.8518
31/8/2557	16.2553	11.4229	4.8323
12/9/2557	16.2554	12.6374	3.6180
13/9/2557	16.3008	14.3646	1.9362
19/9/2557	18.1669	17.3720	0.7948
20/9/2557	19.3216	16.9754	2.3462
26/9/2557	16.0426	14.8391	1.2035
27/9/2557	20.9777	13.5167	7.4610
3/10/2557	23.3624	21.3247	2.0377
4/10/2557	22.2587	20.8899	1.3688
23/1/2558	34.0515	28.1183	5.9332
24/1/2558	44.5538	37.1632	7.3906
30/1/2558	26.7516	20.2398	6.5117
31/1/2558	38.1677	29.2075	8.9601
6/2/2558	61.6005	52.4221	9.1785
7/2/2558	48.7329	46.2632	2.4697
13/2/2558	25.2021	22.3161	2.8860
14/2/2558	19.3075	15.2686	4.0389
15/2/2557	20.2479	15.8957	4.3522
27/2/2558	25.8748	18.8027	7.0721
28/2/2558	21.2463	18.5837	2.6626
6/3/2558	23.3352	17.7679	5.5673
7/3/2558	17.7885	14.5058	3.2826
13/3/2558	26.8266	25.7858	1.0408
14/3/2558	11.0524	9.4734	1.5790



1. อัตราการระบายฝุ่นของโรงงานเครื่องปั้นดินเผา

- น้ำหนักของฝุ่นจากการเก็บตัวอย่างอากาศ 3 นาที เท่ากับ 0.0010 กรัม
- อัตราการดูดอากาศของปั๊ม เท่ากับ 4×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- อัตราการระบายของมลพิษที่ออกจากปล่องควัน เท่ากับ 0.205 เมตรต่อวินาที
- ขนาดของพื้นที่ปล่อง เท่ากับ 1.15 ตารางเมตร

จากข้อมูลข้างต้นสามารถหาปริมาณอากาศที่ออกจากปล่องได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณอากาศที่ออกจากปล่อง} &= \text{อัตราการระบายของมลพิษที่ออกจากปล่อง} \times \text{ขนาดของปล่อง} \\ &= 0.205 \text{ เมตรต่อวินาที} \times 1.15 \text{ ตารางเมตร} \\ &= 0.24 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

โดยความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง หาได้จาก

- น้ำหนักของฝุ่นจากการเก็บตัวอย่างอากาศ 3 นาที เท่ากับ 0.0010 กรัม
- ปั๊มอากาศ 1 นาที สามารถดูดอากาศเท่ากับ 4×10^{-3} ลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง} &= \left(\frac{1 \text{ นาที}}{4 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร}} \right) \left(\frac{0.0010 \text{ กรัม}}{3 \text{ นาที}} \right) \\ &= 0.083 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราการระบายของมลพิษจากปล่องหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{อัตราการระบาย} &= \text{ความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง} \times \text{ปริมาณอากาศที่ออกจากปล่อง} \\ &= 0.083 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \times 0.24 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \\ &= 0.02 \text{ กรัมต่อวินาที} \end{aligned}$$

2. อัตราการระบายฝุ่นของโรงงานอิฐมอลู

- น้ำหนักของฝุ่นจากการเก็บตัวอย่างอากาศ 3 นาที เท่ากับ 0.0004 กรัม
- อัตราการดูดอากาศของปั๊ม เท่ากับ 4×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
- อัตราการระบายของมลพิษที่ออกจากปล่องควัน เท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที
- ขนาดของพื้นที่เผา เท่ากับ 52.2 ตารางเมตร

จากข้อมูลข้างต้นสามารถหาปริมาณอากาศที่ออกจากปล่องได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณอากาศที่ออกจากปล่อง} &= \text{อัตราการระบายของมลพิษที่ออกจากปล่อง} \times \text{ขนาดของปล่อง} \\ &= 0.5 \text{ เมตรต่อวินาที} \times 52.2 \text{ ตารางเมตร} \\ &= 26.1 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

โดยความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง หาได้จาก

น้ำหนักของฝุ่นจากการเก็บตัวอย่างอากาศ 3 นาที เท่ากับ 0.0010 กรัม
 บีมอากาศ 1 นาที สามารถดูดอากาศเท่ากับ 4×10^{-3} ลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง} &= \left(\frac{1 \text{ นาที}}{4 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร}} \right) \left(\frac{0.0004 \text{ กรัม}}{3 \text{ นาที}} \right) \\ &= 0.034 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้นอัตราการระบายของมลพิษจากปล่องหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{อัตราการระบาย} &= \text{ความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง} \times \text{ปริมาตรอากาศที่ออกจากปล่อง} \\ &= 0.034 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \times 26.1 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \\ &= 0.88 \text{ กรัมต่อวินาที} \end{aligned}$$

3. อัตราการระบายฝุ่นของโรงงานปูนขาว

- น้ำหนักของฝุ่นจากการเก็บตัวอย่างอากาศ 3 นาที เท่ากับ 0.0004 กรัม
- อัตราการดูดอากาศของบีม เท่ากับ 4×10^{-3} ลูกบาศก์เมตรต่อนาที
- อัตราการระบายของมลพิษที่ออกจากปล่องควีน เท่ากับ 0.5 เมตรต่อวินาที
- ขนาดของพื้นที่เผา เท่ากับ 42.25 ตารางเมตร

จากข้อมูลข้างต้นสามารถหาปริมาตรอากาศที่ออกจากปล่องได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรอากาศที่ออกจากปล่อง} &= \text{อัตราการระบายของมลพิษที่ออกจากปล่อง} \times \text{ขนาดของปล่อง} \\ &= 0.5 \text{ เมตรต่อวินาที} \times 42.25 \text{ ตารางเมตร} \\ &= 21.125 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \end{aligned}$$

โดยความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง หาได้จาก

น้ำหนักของฝุ่นจากการเก็บตัวอย่างอากาศ 3 นาที เท่ากับ 0.0010 กรัม
 บีมอากาศ 1 นาที สามารถดูดอากาศเท่ากับ 4×10^{-3} ลูกบาศก์เมตร

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น ความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง} &= \left(\frac{1 \text{ นาที}}{4 \times 10^{-3} \text{ ลูกบาศก์เมตร}} \right) \left(\frac{0.0004 \text{ กรัม}}{3 \text{ นาที}} \right) \\ &= 0.034 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นอัตราการระบายของมลพิษจากปล่องหาได้จาก

$$\begin{aligned} \text{อัตราการระบาย} &= \text{ความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง} \times \text{ปริมาตรอากาศที่ออกจากปล่อง} \\ &= 0.034 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เมตร} \times 21.125 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที} \\ &= 0.72 \text{ กรัมต่อวินาที} \end{aligned}$$

4. อัตราการระบายฝุ่นของโรงงานคอนกรีตสำเร็จรูป

- ขนาดของพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง 1 ตารางเมตร

- อัตราการดูดอากาศ 2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เนื่องจากการเก็บตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์โลหะและไอออนกับการวิเคราะห์คาร์บอนต่างกัน

จึงต้องมีการแยกกันคำนวณ ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์โลหะและไอออน 0.0137 กรัม ระยะเวลาดูดอากาศผ่าน
กระดาศกรอง 4,880 วินาที

- ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์คาร์บอน 0.0466 กรัม ระยะเวลาดูดอากาศผ่าน
กระดาศกรอง 2,470 วินาที

จากข้อมูลข้างต้นสามารถหาอัตราการระบายของฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบต่างได้ดังนี้

- อัตราการระบายของฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์โลหะและไอออน

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์ 0.0137 กรัม ในเวลา 4,880 วินาทีและอัตราการดูดอากาศ 2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ดังนั้น อัตราการระบายของฝุ่น

$$= \left(\frac{0.0137 \text{ กรัม}}{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที} \times 4,880 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร}}{1 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{1}{1 \text{ ตารางเมตร}} \right)$$

$$= 2.81 \times 10^{-6} \text{ กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร}$$

- อัตราการระบายของฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์คาร์บอน

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์ 0.0466 กรัม ในเวลา 2,470 วินาทีและอัตราการดูดอากาศ
2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ดังนั้น อัตราการระบายของฝุ่น

$$= \left(\frac{0.0466 \text{ กรัม}}{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที} \times 2,470 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร}}{1 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{1}{1 \text{ ตารางเมตร}} \right)$$

$$= 1.89 \times 10^{-5} \text{ กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร}$$

เพราะฉะนั้น อัตราการระบายเฉลี่ย เท่ากับ $\left(\frac{2.81 \times 10^{-6} + 1.89 \times 10^{-5}}{2} \right) = 1.08 \times 10^{-5} \text{ กรัมต่อวินาที}$

ต่อตารางเมตร

5. อัตราการระบายนพิษของถนน

- ขนาดของพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง 1 ตารางเมตร
- อัตราการดูดอากาศ 2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เนื่องจากการเก็บตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์โลหะและไอออนกับการวิเคราะห์คาร์บอนต่างกัน จึงต้องมีการแยกกันคำนวณ ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์โลหะและไอออน 0.0015 กรัม ระยะเวลาดูดอากาศผ่าน กระจกกรอง 4,880 วินาที
- ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์คาร์บอน 0.0454 กรัม ระยะเวลาดูดอากาศผ่าน กระจกกรอง 2,470 วินาที

จากข้อมูลข้างต้นสามารถหาอัตราการระบายของฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบต่างได้ดังนี้

- อัตราการระบายของฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์โลหะและไอออน

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์ 0.0015 กรัม ในเวลา 4,880 วินาทีและอัตราการดูดอากาศ 2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ดังนั้น อัตราการระบายของฝุ่น

$$= \left(\frac{0.0015 \text{ กรัม}}{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที} \times 4,880 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร}}{1 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{1}{1 \text{ ตารางเมตร}} \right)$$

$$= 3.13 \times 10^{-7} \text{ กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร}$$

- อัตราการระบายของฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์คาร์บอน

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์ 0.0454 กรัม ในเวลา 2,470 วินาทีและอัตราการดูดอากาศ 2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ดังนั้น อัตราการระบายของฝุ่น

$$= \left(\frac{0.0454 \text{ กรัม}}{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที} \times 2,470 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร}}{1 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{1}{1 \text{ ตารางเมตร}} \right)$$

$$= 1.84 \times 10^{-5} \text{ กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร}$$

เพราะฉะนั้น อัตราการระบายเฉลี่ย เท่ากับ $\left(\frac{3.13 \times 10^{-7} + 1.84 \times 10^{-5}}{2} \right) = 9.35 \times 10^{-6} \text{ กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร}$

6. อัตราการระเหยมลพิษของการก่อสร้างสะพาน

- ขนาดของพื้นที่ที่ทำการเก็บตัวอย่าง 1 ตารางเมตร
- อัตราการดูดอากาศ 2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

เนื่องจากการเก็บตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์โลหะและไอออนกับการวิเคราะห์คาร์บอนต่างกัน จึงต้องมีการแยกกันคำนวณ ดังนี้

- ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์โลหะและไอออน 0.0027 กรัม ระยะเวลาดูดอากาศผ่าน กระจกกรอง 4,880 วินาที

- ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์คาร์บอน 0.0453 กรัม ระยะเวลาดูดอากาศผ่าน กระจกกรอง 2,470 วินาที

จากข้อมูลข้างต้นสามารถหาอัตราการระเหยของฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์หองค์ประกอบต่างได้ดังนี้

- อัตราการระเหยของฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์โลหะและไอออน

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์ 0.0027 กรัม ในเวลา 4,880 วินาทีและอัตราการดูดอากาศ 2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ดังนั้น อัตราการระเหยของฝุ่น

$$= \left(\frac{0.0027 \text{ กรัม}}{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที} \times 4,880 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร}}{1 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{1}{1 \text{ ตารางเมตร}} \right)$$

$$= 5.56 \times 10^{-7} \text{ กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร}$$

- อัตราการระเหยของฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์คาร์บอน

ค่าเฉลี่ยน้ำหนักฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์ 0.0453 กรัม ในเวลา 2,470 วินาทีและอัตราการดูดอากาศ 2.83 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

ดังนั้น อัตราการระเหยของฝุ่น

$$= \left(\frac{0.0453 \text{ กรัม}}{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร/วินาที} \times 2,470 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{2.83 \times 10^{-5} \text{ ลูกบาศก์เมตร}}{1 \text{ วินาที}} \right) \left(\frac{1}{1 \text{ ตารางเมตร}} \right)$$

$$= 1.84 \times 10^{-5} \text{ กรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร}$$

เพราะฉะนั้น อัตราการระเหยเฉลี่ย เท่ากับ $\left(\frac{5.56 \times 10^{-7} + 1.84 \times 10^{-5}}{2} \right) = 9.46 \times 10^{-6} \text{ กรัมต่อวินาที}$

ต่อตารางเมตร



ภาคผนวก ง

ตัวอย่างวิธีการคำนวณปริมาตรอากาศที่ STP

การคำนวณปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (STP)

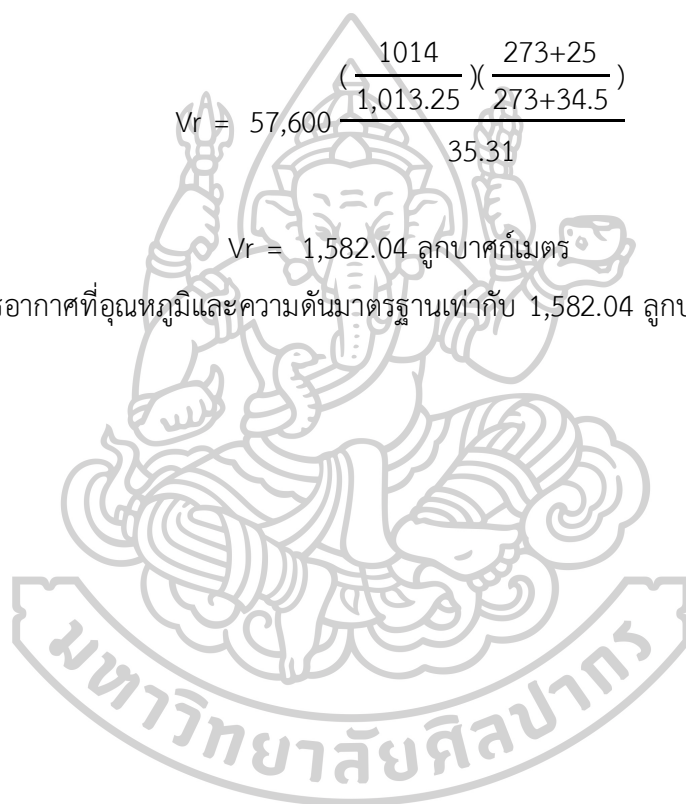
จากข้อมูลการเก็บตัวอย่างที่โรงเรียนวัดเจติยารามครั้งที่ 1 วันที่ 10 สิงหาคม 2557 ซึ่ง
อุณหภูมิเฉลี่ยขณะเก็บตัวอย่าง 34.5 องศาเซลเซียส ความดันขณะเก็บตัวอย่าง 1,014.0 มิลลิบาร์
ปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันขณะเก็บตัวอย่าง 57,600 ลูกบาศก์ฟุตต่อนาที
จากสูตร

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

$$V_r = 57,600 \frac{\left(\frac{1014}{1,013.25}\right) \left(\frac{273+25}{273+34.5}\right)}{35.31}$$

$$V_r = 1,582.04 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

ดังนั้นปริมาตรอากาศที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานเท่ากับ 1,582.04 ลูกบาศก์เมตร



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ทวีชัย ลิ้มปสันติเจริญ
วัน เดือน ปี เกิด	5 มกราคม 2536
สถานที่เกิด	นครปฐม
วุฒิการศึกษา	พ.ศ. 2554 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต วิชาเอก วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (เกียรตินิยมอันดับ 2) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พ.ศ. 2558 ศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	8/1 หมู่ 2 ตำบลสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000 โทรศัพท์ 092-3549017 E-mail address: taweechai.limpasanticharuan@gmail.com

