

การระบายและการแพร่กระจายของโลหะในฝุ่นจากอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา

ทวีชัย ลิ้มปสันติเจริญ รัฐพล อันแจ้ง* และ มัลลิกา ปัญญาอะโป

บทคัดย่อ

ประเด็นสิ่งแวดล้อมในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาในระดับท้องถิ่นที่สำคัญ คือ ขั้นตอนการเผาที่ขาดระบบควบคุมมลพิษ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม การศึกษานี้ได้วิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นและโลหะในฝุ่นที่ระบายออกจากขั้นตอนการเผาที่ใช้ไม่เป็นเชื้อเพลิงและการแพร่กระจายของสารมลพิษในบรรยากาศด้วยแบบจำลอง AERMOD โดยเลือกโรงงานเครื่องปั้นดินเผาแห่งหนึ่งในอำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี เป็นกรณีศึกษา ตัวอย่างฝุ่นถูกเก็บที่ปล่องระบายของเตาเผาตลอดขั้นตอนการเผา จำนวน 2 รอบการผลิต และวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นด้วยวิธีกราวิเมตริก จากนั้นวิเคราะห์ปริมาณโลหะในฝุ่นทั้งหมด 15 ชนิด ด้วยเครื่อง ICP-OES ผลพบว่า มีความเข้มข้นของฝุ่นเฉลี่ย เท่ากับ 131 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และพบโลหะ 8 ชนิด ได้แก่ Fe Al Zn Mg Ni Cr Mn และ Cu ส่วนผลการคาดการณ์ด้วยแบบจำลอง พบว่า ฝุ่นมีการแพร่กระจายสอดคล้องกับผังลมของพื้นที่ โดยพบความเข้มข้นของฝุ่นสูงสุด 24 ชั่วโมง (เฉลี่ยสองรอบการผลิต) ไม่เกินค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) ในบรรยากาศ ส่วนโลหะที่เป็นอันตราย (Cr Mn และ Ni) ไม่เกินเกณฑ์ที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ

คำสำคัญ : อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา, ฝุ่นละออง, องค์ประกอบโลหะ, แบบจำลอง AERMOD, จังหวัดราชบุรี

Emission and Dispersion of Metals in Particulate Matter from Pottery Industry

Taweechai Limpasanticharoen, Rattapon Onchang^{*} and Mallika Panyakapo

Abstract

One of the critical environmental issue of a local pottery production industry is an air pollution emission from burning process without control systems. This may seriously cause health and environmental impacts. This study analyzed particulate matter (PM) concentration and its metal composition released from the wood-fueled burning process of the pottery production. Prediction of the pollutants dispersion was also performed using AERMOD model. A pottery factory in Muang district, Ratchaburi province was selected as a case study. PM sampling was performed at stack's furnace throughout the burning process in two production cycles. PM were quantified by means of gravimetric method. A number of 15 metal elements in PM were then analyzed by using the ICP-OES instrument. The results found that averaged PM emission was 131 mg/m³. There were totally 8 metal species found as follow: Fe, Al, Zn, Mg, Ni, Cr, Mn and Cu. The model's dispersion estimations showed PM alignments agreed with wind roses of the study area. The 24-hours-highest PM concentration (averaged both of the two production cycles) and the hazardous metals – Cr, Mn and Ni – were found below the national ambient PM₁₀ standard and health related guidelines, respectively.

Keywords: Pottery industry, Particulate matter (PM), Metal composition, AERMOD model, Ratchaburi province

Department of Environmental Science, Faculty of Science, Silpakorn University

^{*} Corresponding author, E-mail: onchang_r@su.ac.th, rattapon.onchang@gmail.com Received 3 November 2017, Accepted 22 February 2018

1. บทนำ

เครื่องปั้นดินเผาเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญในภูมิภาคอาเซียน ในประเทศไทยพบการผลิตเครื่องปั้นดินเผาอยู่ทั่วไปในทุกภูมิภาค ในส่วนของจังหวัดราชบุรีการผลิตเครื่องปั้นดินเผามีมานานกว่า 70 ปี และเป็นสัญลักษณ์ประจำของจังหวัด [1] โดยเครื่องปั้นดินเผาที่พบส่วนใหญ่เป็นแบบสโตนแวร์ (Stone ware) คือ มีส่วนผสมของดินสโตนแวร์ ดินหินทนไฟ ดินขาว หินฟันม้า หินแก้ว ดินเหนียวขาว ดินแดง เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนการผลิตเครื่องปั้นดินเผาประกอบด้วย การเตรียมดิน การหมักดิน การกวนและนวดดิน การปั้นขึ้นรูป การตกแต่ง การเขียนหรือทำลายบน การเคลือบ และการเผา ตามลำดับ ขั้นตอนการเผาเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากจะส่งผลถึงความแข็งแรงและความทนทานของตัวผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาประมาณ $1,300^{\circ}\text{C}$ โดยใช้เตาเผาที่เรียกว่าเตามังกร (รูปที่ 1) ซึ่งแต่ละรอบการเผาจะใช้เวลาประมาณ 3 วัน 2 คืน และใช้ฟืนจำนวนมาก [2] สารมลพิษที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ที่สำคัญคือ อนุภาคฝุ่นที่สามารถแพร่กระจายสู่บรรยากาศและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน รวมถึงสภาพแวดล้อมและภูมิ-ทัศน์ของพื้นที่ [2-4] อันตรายของฝุ่นนอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดแล้วยังขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีโดยเฉพาะอย่างยิ่งโลหะในฝุ่น

Shahid et al. [5] ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นที่ระบายจากการเผาไหม้ไม้ฟืน โดยไม้กระถินพบโลหะที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ คือ Al Fe P Si Ti และ Zn ส่วนไม้ยูคาลิปตัสพบ Cr Fe P Si Ti และ Zn Sánchez de la Campa et al. [6] ได้วิเคราะห์โลหะในฝุ่นจากอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาของประเทศสเปนที่

ใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง พบว่ามี Si Al Ca Fe K Mg และ Na ซึ่งบางชนิดเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

แบบจำลองคุณภาพอากาศ (Air Quality Modeling) ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือเพื่อคาดการณ์การแพร่กระจายของสารมลพิษที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิด ในกรณีของแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม แบบจำลองที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย คือ AERMOD Roy et al. [7] ได้ใช้แบบจำลองนี้เพื่อคาดการณ์การแพร่กระจายของฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) จากโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนและเหมืองถ่านหินที่เมือง Jharia ของอินเดีย ผลพบว่าความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง มีค่าเกินมาตรฐานของ U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) Phetravech and Thepanondh [8] ได้ประเมินสัดส่วนแหล่งที่มาของ PM_{10} ด้วยแบบจำลอง AERMOD บริเวณเขตควบคุมมลพิษในตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี พบว่าการฟุ้งกระจายของฝุ่นบนถนนมีสัดส่วนมากที่สุด

เป้าหมายของการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้คือเพื่อวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นและองค์ประกอบของโลหะในฝุ่นที่ระบายจากกระบวนการเผาของอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดราชบุรี และประเมินการแพร่กระจายของสารมลพิษดังกล่าว ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนให้กับหน่วยงานด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศในพื้นที่

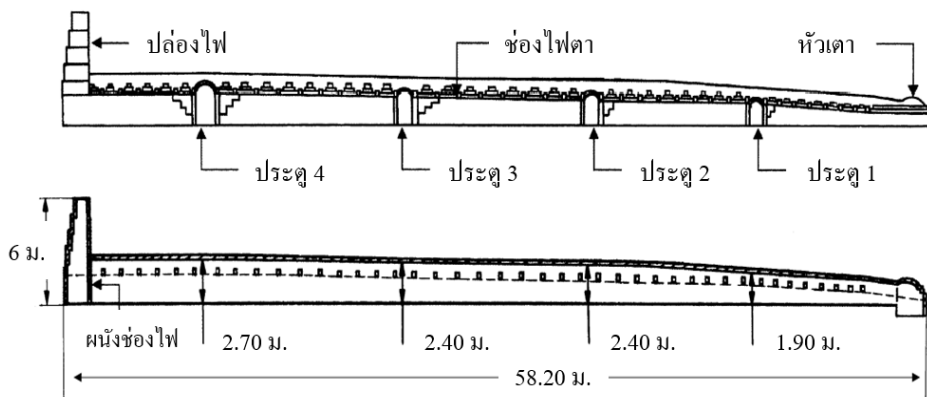
2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง

การศึกษาค้นคว้านี้ได้ดำเนินการเก็บตัวอย่างฝุ่นที่ระบายออกจากเตาเผาของโรงงานเครื่องปั้นดินเผา

แห่งหนึ่ง ใน ต.เจดีย์หัก อ.เมือง จ.ราชบุรี ซึ่งเป็นโรงงานผลิตเครื่องปั้นดินเผาชนิดเคลือบและชนิดไม่เคลือบ ได้แก่ โอ่งขนาดกลางและขนาดเล็ก ไห และกระถาง โดยมีกำลังการผลิตต่อปี ดังนี้ โอ่งขนาดกลาง 22,000-27,000 ชิ้น โอ่งขนาดเล็ก 9,000-18,000 ชิ้น

กระถาง 18,000-27,000 ชิ้น และไห 9,000-18,000 ชิ้น เตาเผาที่ใช้เป็นเตามังกร ขนาด 1.5×40 เมตร ความสูงของปล่องระบายควัน 6 เมตร (รูปที่ 1) และใช้ฟืนเป็นเชื้อเพลิงในการเผา [3]



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเตาที่ใช้ในการผลิตเครื่องปั้นดินเผาในจังหวัดราชบุรี (ที่มา: [2])

2.2 การเก็บตัวอย่าง

ตัวอย่างฝุ่นถูกเก็บที่ปากปล่องระบายของเตาโดยการชักตัวอย่างอากาศผ่านชุดเก็บที่มีกระดวยกรองชนิด Quartz ขนาด 47 มิลลิเมตรเป็นตัวรองรับฝุ่น โดยมีอัตราการดูดอากาศเท่ากับ 4 ลิตรต่อนาที เก็บตัวอย่างจำนวน 2 รอบการผลิต (ครั้งที่ 1 วันที่ 1-2 สิงหาคม พ.ศ. 2557 และ ครั้งที่ 2 วันที่ 26-27 มกราคม พ.ศ. 2558) โดยช่วงเวลาการเก็บตัวอย่างครอบคลุมตลอดกระบวนการเผาซึ่งแบ่งเป็น 4 ระยะ ได้แก่ สุมหัว (เริ่มจุดไฟที่หัวเตา) เดินไฟใหญ่ (เปิดช่องอากาศที่หัวเตา) เดินตา (เปิดช่องอากาศที่ข้างเตา) และปิดเตา (ปิดช่องอากาศทั้งหมด) แต่ละระยะทำการเก็บตัวอย่าง 5 ซ้ำ แต่ละซ้ำใช้เวลาในการเก็บ 3 นาที พร้อมทั้งตรวจวัดอัตราเร็วของกระแสอากาศเพื่อนำมาคำนวณอัตราการไหลและความเข้มข้น

ของฝุ่นและโลหะในฝุ่น หลังจากการเก็บตัวอย่าง กระดวยกรองได้นำมารวมกัน (Composite sampling)

2.3 องค์ประกอบของโลหะที่ทำการศึกษา

ภายหลังการเก็บตัวอย่าง ตัวอย่างได้ถูกส่งมายังห้องปฏิบัติการของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร เพื่อวิเคราะห์น้ำหนักฝุ่นบนกระดวยกรองด้วยวิธีการวิเมตริก (Gravimetric method) หลังจากนั้นกระดวยกรองได้ถูกนำไปวิเคราะห์ปริมาณโลหะโดยเตรียมตัวอย่างตามวิธีการของ ASTM [9] โลหะที่วิเคราะห์มีทั้งหมด 15 ชนิด ได้แก่ Al As Cd Co Cr Cu Fe Hg Mg Mn Ni Pb Sb Zn และ V โดยใช้เครื่อง Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES) ยี่ห้อ Agilent Technologies รุ่น 710 Series ซึ่งมีค่า Detection limit ของโลหะข้างต้น

เท่ากับ 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 และ 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2.4 การประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นและโลหะในฝุ่น

ในการประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นและโลหะในฝุ่นในพื้นที่ศึกษาได้ใช้แบบจำลอง AERMOD ซึ่งพัฒนาโดย American Meteorological Society และ US EPA โดยสามารถทำนายความเข้มข้นได้ในระยะไม่เกิน 50 กิโลเมตรจากแหล่งกำเนิดมลพิษ [10-12] แบบจำลอง AERMOD มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันเป็นรุ่น 15181 แบบจำลองนี้มีการนำมาใช้อย่างเป็นทางการ (Regulatory Model) ในประเทศไทย การศึกษานี้ใช้โปรแกรม AERMOD View (Lakes Environmental Co., Ltd.) รุ่น 9.2.0 (เทียบเท่ากับรุ่นล่าสุดของแบบจำลอง)

2.5 ข้อมูลนำเข้าแบบจำลอง AERMOD

ข้อมูลที่แบบจำลองต้องการประกอบด้วย 1) อนุษิมวิทยา 2) ความสูงของพื้นที่ และ 3) แหล่งกำเนิดมลพิษ การศึกษานี้ใช้ข้อมูลอนุษิมวิทยาผิวพื้นจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ จังหวัดราชบุรีร่วมกับข้อมูลจากสถานีอนุษิมวิทยา จังหวัดราชบุรี ในปี พ.ศ. 2557-2558 ส่วนข้อมูลอนุษิมวิทยาชั้นบนใช้ข้อมูลของกรมอนุษิมวิทยา (สถานีอนุษิมวิทยาบางนา กรุงเทพฯ) ข้อมูลอนุษิมวิทยาได้ถูกนำเข้าโปรแกรมย่อย AERMET เพื่อคำนวณพารามิเตอร์ทางอนุษิมวิทยาที่แบบจำลอง AERMOD ต้องการ ส่วนความสูงของพื้นที่ใช้ข้อมูลจาก Shuttle Radar Topography Mission (SRTM1/SRTM3) ของ NASA (ความละเอียด 30×30 เมตร) และนำเข้า

โปรแกรมย่อย AERMAP การศึกษานี้ใช้ระบบกริดแบบ Uniform Cartesian Grid มีขนาดของพื้นที่ศึกษา (Domain size) เท่ากับ 100 ตารางกิโลเมตร โดยมีระยะระหว่างกริด (Grid resolution) เท่ากับ 100 เมตร

ข้อมูลแหล่งกำเนิดของโรงงานเครื่องปั้นดินเผาที่นำเข้าแบบจำลอง AERMOD แสดงดังตารางที่ 1 ในการศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์การแพร่กระจายของฝุ่นในแต่ละรอบการผลิตโดยกำหนดให้แบบจำลองทำการคำนวณตามวันที่มีการผลิตจริง ส่วนการวิเคราะห์แบบเฉลี่ยสองรอบการผลิตได้ใช้ข้อมูลอนุษิมวิทยาทั้ง 2 ปี ดังกล่าวข้างต้น

3. ผลการวิจัย

3.1 ปริมาณฝุ่นและโลหะในฝุ่นที่ระบายออกจากปล่อง

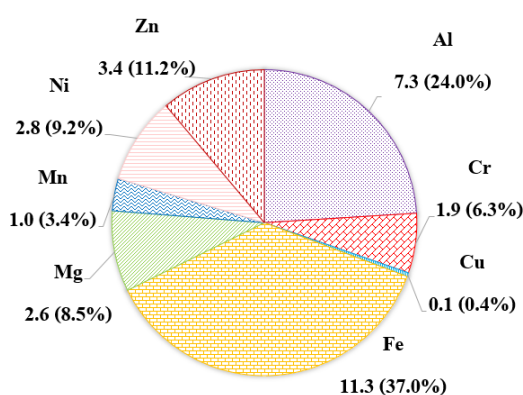
ผลจากการเก็บตัวอย่างฝุ่นที่ระบายออกจากปล่องของโรงงานเครื่องปั้นดินเผา พบว่า รอบการผลิตแรกมีปริมาณฝุ่น เท่ากับ 218 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งมากกว่ารอบการผลิตที่สองที่มีค่าเท่ากับ 45 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ตารางที่ 1)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณโลหะพบว่า รอบการผลิตแรกมีปริมาณโลหะสูงกว่ารอบการผลิตที่สองอย่างเห็นได้ชัด (ยกเว้น Cu) (รูปที่ 2 A และ B) โลหะที่พบในรอบการผลิตแรกเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ $Fe > Al > Zn > Ni > Mg > Cr > Mn > Cu$ ส่วนการเก็บตัวอย่างรอบการผลิตที่สองพบว่า มีลำดับโลหะที่พบในสองลำดับแรกเหมือนกับรอบการผลิตแรก โลหะที่พบเรียงตามลำดับจากมากไปน้อยได้ดังนี้ $Fe > Al > Mg > Zn > Mn$ ส่วน Cr และ Cu พบน้อยที่สุดและมีปริมาณที่เท่ากัน

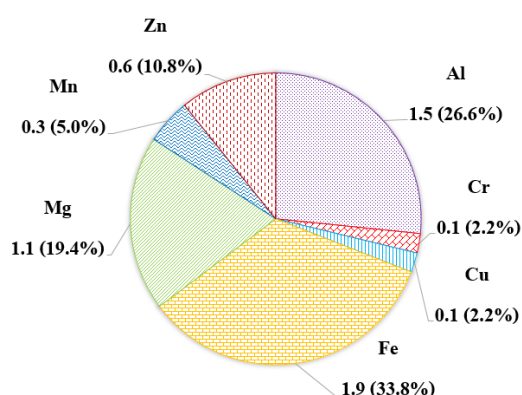
ตารางที่ 1 ขนาดของปล่องและอัตราการระบายฝุ่นของโรงงานเครื่องปั้นดินเผาสำหรับนำเข้าแบบจำลอง AERMOD

Production cycles	Stack dimension (m)			PM concentration (mg/m ³)	Emission rate (g/s)	Density of PM (g/cm ³)	Period specified in the model
	Width	Long	High				
1				218	0.05		1-2 ส.ค. 2557
2	0.5	2.3	6.0	45	0.01	1.22-1.92 ^A	26-27 ม.ค. 2558
เฉลี่ย				131	0.03		2 ปี (2557-2558)

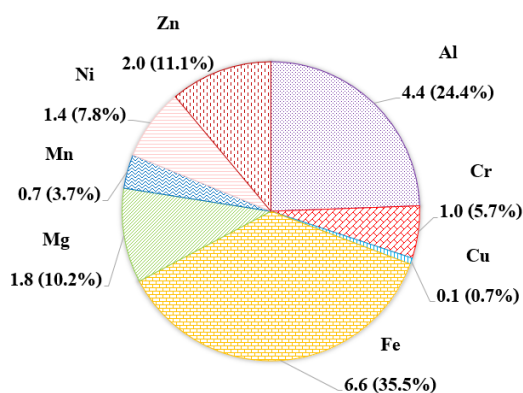
หมายเหตุ ^A ใช้ค่าเฉลี่ยของฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนจากการเผาไหม้ชีวมวล อ้างอิงจาก Levin et al. [13]



(A)



(B)

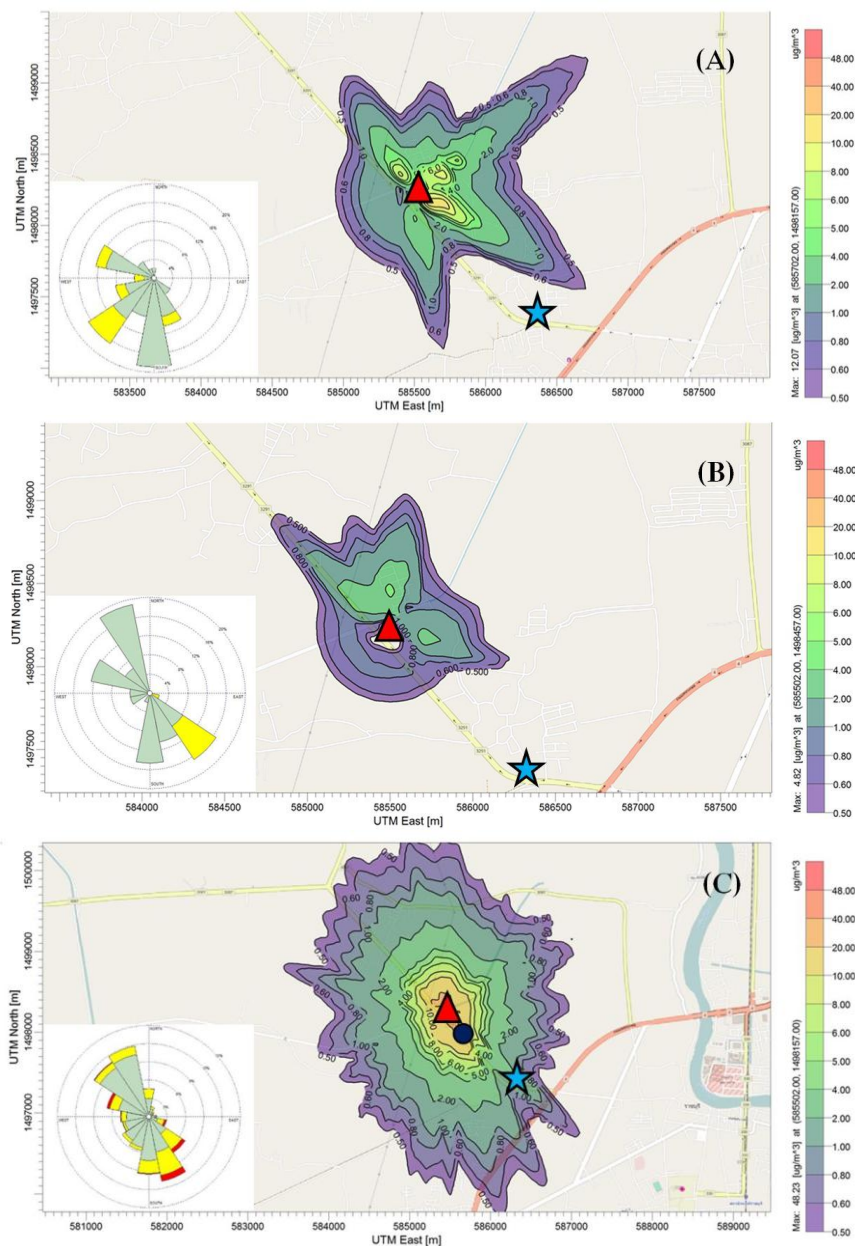


(C)

รูปที่ 2 ปริมาณโลหะในฝุ่น (หน่วย: นาโนกรัมต่อดูกาศก์เมตร) และสัดส่วนของโลหะที่ระบายออกจากปล่องจากการตรวจวัดรอบการผลิตแรก (A) รอบการผลิตที่สอง (B) และค่าเฉลี่ย (C)

หมายเหตุ As Cd Co Hg Pb Sb V ตรวจไม่พบ

ค่าที่ได้เป็นการตรวจวัดในสภาวะจริง (Actual condition) มิได้อยู่ในสภาวะอุณหภูมิและความดันมาตรฐาน



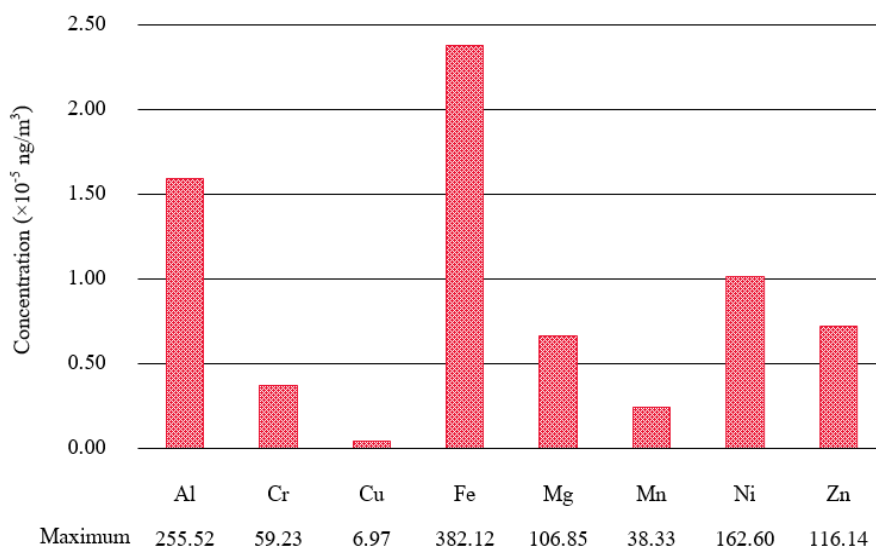
รูปที่ 3 เส้นระดับความเข้มข้นเท่าๆของ PM_{10} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง และผังลม ที่ได้จากแบบจำลอง AERMOD กรณี (A) รอบการผลิตแรก (B) รอบการผลิตที่สอง (C) เฉลี่ยสองรอบการผลิต ซึ่งมีค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เท่ากับ 48.2 และ 0.3 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (▲ คือ ตำแหน่งของโรงงานเครื่องปั้นดินเผาที่ทำการศึกษา ★ คือ จุดตรวจวัดฝุ่นในบรรยากาศ และ ● คือ ตำแหน่งที่พบความเข้มข้นสูงสุด)

3.2 การประเมินการแพร่กระจายของฝุ่น

ผลการประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นที่ระบายออกจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาด้วยแบบจำลอง AERMOD พบว่า การแพร่กระจายของฝุ่นทั้งสองรอบการผลิตมีทิศทาง การแพร่กระจายในแนวเดียวกับผัดลม (Wind rose) ของพื้นที่ (รูปที่ 3 A และ B) อนึ่งจะเห็นได้ว่าทิศทางลม ไม่กระจายทุกทิศทาง ทั้งนี้เนื่องจากช่วงเวลาที่ประเมิน ด้วยแบบจำลองมีระยะสั้น (2 วัน ดังตารางที่ 1) ซึ่ง กำหนดตามช่วงเวลาที่มีการเก็บตัวอย่างฝุ่นจาก แหล่งกำเนิด

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของฝุ่น 24 ชั่วโมงที่ได้จาก ค่าเฉลี่ย การระบายทั้งสองรอบการผลิต (รูปที่ 3 C) พบ

ความเข้มข้นสูงสุดเท่ากับ 48.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์ เมตร ห่างจากโรงงานไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ ประมาณ 200 เมตร ซึ่งอยู่ในบริเวณหมู่บ้านเจดีย์หัก เมื่อนำมารวมกับความเข้มข้น PM_{10} พื้นฐาน (Background concentration) ที่มีค่าเท่ากับ 18.3 ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตร ที่ได้จากการศึกษาของรัฐพลและคณะ [14] ที่ได้ตรวจวัดในบริเวณไม่ไกลจากโรงงานที่ศึกษาดังนั้นจึงมีความเข้มข้นเท่ากับ 66.5 ไมโครกรัมต่อ ลูกบาศก์เมตรหรือคิดเป็นร้อยละ 55.4 ของค่ามาตรฐาน คุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปของไทย [15] ใน ส่วนของความเข้มข้นของโลหะในบรรยากาศที่คำนวณ ด้วยแบบจำลอง AERMOD แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความเข้มข้นของโลหะในฝุ่นในบรรยากาศที่ระบายจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาที่คำนวณจากแบบจำลอง AERMOD ณ จุดตรวจวัดฝุ่นในบรรยากาศ

4. อภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบาย ออกจากปล่องของ โรงงานเครื่องปั้นดินเผา เมื่อ เปรียบเทียบปริมาณโลหะในฝุ่นพบว่า รอบการผลิตแรก

มีปริมาณมากกว่ารอบการผลิตที่สองในโลหะเกือบทุก ชนิดและมีลำดับของสัดส่วนโลหะที่พบในการผลิตทั้งสองรอบมีความใกล้เคียงกัน (รูปที่ 2) ทั้งนี้อาจเป็นไปได้ว่าการเก็บตัวอย่างทั้งสองรอบได้จากระบวนการเผา

ของโรงงานเดียวกันจึงมีลำดับสัดส่วนโลหะส่วนใหญ่เหมือนกัน อนึ่งเมื่อพิจารณาในเชิงปริมาณที่ซึ่งพบว่ารอบการผลิตแรกมีค่าสูงกว่ารอบที่สองนั้นสอดคล้องกับปริมาณการผลิตที่ซึ่งรอบการผลิตแรกมีมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ตารางที่ 2) พบว่าโลหะที่พบสัดส่วนมากที่สุด 5 อันดับแรกมีความแตกต่างกันไปในแต่ละประเภทของแหล่งกำเนิด แต่โลหะที่พบเป็นองค์ประกอบอยู่ในทุก ๆ แหล่งกำเนิดคือ Fe และ Al ซึ่งเป็นธาตุโลหะที่พบได้ในดิน หิน แร่ตามธรรมชาติ ในการศึกษครั้งนี้พบปริมาณ Fe และ Al อยู่ในลำดับต้น ๆ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโลหะที่พบมาจากดินและหินตามธรรมชาติ (โลหะที่พบในพื้นอาจเกิดจากการดูดซึมขณะที่เป็นพืช [5]) เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับ Sánchez de la Campa et al. [6] (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นการศึกษาในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผาที่ใช้ถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิงพบว่าโลหะที่เกิดจากกระบวนการผลิตมีองค์ประกอบทั้งที่เหมือนและแตกต่างกัน เช่น พบ Fe และ Al เหมือนกัน อาจเป็นเพราะวัตถุดิบที่นำมาใช้มาจากดินตามธรรมชาติ ส่วน Si และ Al นอกจากจะเป็นโลหะที่พบตามธรรมชาติแล้วยังพบได้จากกระบวนการเผาไหม้ที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง [18] แสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะเป็นอุตสาหกรรมที่คล้ายกันแต่ถ้ามีการใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกันองค์ประกอบทางเคมีที่เกิดจากกระบวนการเผาไหม้ก็

อาจแตกต่างกัน เมื่อเปรียบเทียบกับ Wangkiat et al. [17] ซึ่งวิเคราะห์ปริมาณโลหะจากกระบวนการเผาไหม้ที่ใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงซึ่งคล้ายกับการศึกษานี้ (ตารางที่ 2) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีมีความใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตามการศึกษานี้พบ Ni ซึ่งเป็นโลหะที่พบน้อยในธรรมชาติ แสดงให้เห็นว่าเชื้อเพลิงประเภทเดียวกันแต่หากมาจากสถานที่หรือรูปแบบการเผาไหม้ที่แตกต่างกันย่อมมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกันได้

ส่วนผลการประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นในพื้นที่ศึกษาพบว่ามีค่าสูงสุด 24 ชั่วโมงไม่เกินค่ามาตรฐาน PM₁₀ ของไทยที่กำหนดไว้ไม่เกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [15] อนึ่งมีข้อสังเกตว่าฝุ่นที่เป็นผลจากการประเมินด้วยแบบจำลองนี้ได้มาจากการเก็บตัวอย่างฝุ่นรวมทุกขนาด (Total Suspended Particulates หรือ TSP) มิได้จำแนกเฉพาะ PM₁₀ แต่อย่างไรก็ตามจากการศึกษาของ Simões Amaral et al. [19] พบว่าร้อยละ 98.4 ของปริมาณฝุ่นที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวลเป็น PM₁₀

เมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Roy et al. [7] พบว่าความเข้มข้นของฝุ่นจากการศึกษานี้มีค่าต่ำกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจาก Roy et al. [7] ศึกษาแหล่งกำเนิดฝุ่นที่เป็นอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ประกอบด้วยโรงไฟฟ้าและเหมืองถ่านหินซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยนี้เป็นอุตสาหกรรมระดับชุมชน

ตารางที่ 2 สัดส่วนโลหะ 5 ลำดับแรกที่ได้จากการศึกษานี้และงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาจากแหล่งกำเนิดต่าง ๆ

Source	Metal	Reference
ฝุ่นจากดิน	Al > K > Fe > Na > Ti	JICA [16]
การเผาเชื้อเพลิงชีวมวล	K > Fe > Zn > Al > Na	Wangkiat et al. [17]
โรงงานเครื่องปั้นดินเผา (มีถ่านโค้กเป็นเชื้อเพลิง)	Si > Al > Ca > Fe > K	Sánchez de la Campa et al. [6]
โรงงานเครื่องปั้นดินเผา (มีชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง)	Fe > Al > Zn > Mg > Ni	การศึกษานี้

ตารางที่ 3 โลหะที่เป็นอันตรายบางชนิดในฝุ่นของโรงงานเครื่องปั้นดินเผาและแพร่กระจายในบรรยากาศ จำนวนจากแบบจำลอง AERMOD

Metal	Concentration (ng/m ³) ^A		
	Mean	Maximum	Reference value ^{B,C}
Cr	3.69×10^{-6}	5.92×10^{-4}	100 (RfC)
Mn	2.39×10^{-6}	3.83×10^{-4}	50 (RfC)
Ni	1.01×10^{-5}	1.63×10^{-3}	14 (cREL)

หมายเหตุ ^A ค่าที่รายงานไม่ได้รวมค่าความเข้มข้นพื้นฐาน

^B Reference Concentration (RfC) คือ ปริมาณสารที่มนุษย์สามารถรับเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจได้ทุกวันโดยไม่ก่อให้เกิดความผิดปกติใด ๆ ต่อสุขภาพ (ค่า RfC ของ Cr อยู่ในรูป Cr⁶⁺)

^C ค่า Chronic Reference Exposure Level (cREL) คือ ความเข้มข้นสารเคมีสูงสุดในบรรยากาศที่สามารถรับสัมผัสได้ตามระยะเวลาที่กำหนดโดยเชื่อว่าจะไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพแบบเรื้อรัง

ในส่วนของโลหะที่เป็นองค์ประกอบของฝุ่นนั้น จากการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองกับค่าอ้างอิง (Reference Concentration หรือ RfC) ของโลหะจากฐานข้อมูล IRIS ของ US EPA [20] (มีรายงานเฉพาะ Cr และ Mn) (ตารางที่ 3) พบว่า Cr และ Mn มีปริมาณไม่เกินค่าอ้างอิงดังกล่าว ส่วน Ni มีปริมาณไม่เกินค่า Chronic Reference Exposure Level (หรือ cREL) ของ OEHHA [21]

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาครั้งนี้พบความเข้มข้นของฝุ่นที่ระบายจากโรงงานเครื่องปั้นดินเผาที่มีปริมาณแตกต่างกันในแต่ละรอบการผลิต ในส่วนของโลหะพบว่า มีลำดับสัดส่วนใกล้เคียงกันในแต่ละรอบการผลิต ส่วนการประเมินการแพร่กระจายของฝุ่นด้วยแบบจำลอง AERMOD พบความเข้มข้นสูงสุดใน 24 ชั่วโมงมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ การศึกษาครั้งนี้พบองค์ประกอบทางเคมีทั้งที่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และที่เป็นอันตรายในระดับที่รุนแรง (ได้แก่ Cr Mn และ Ni)

ถึงแม้ว่าจะไม่เกินค่าอ้างอิงที่กำหนด แต่ควรมีการประเมินความเสี่ยงจากการรับสัมผัสโลหะเหล่านี้รวมกับการศึกษาในแหล่งกำเนิดฝุ่นอื่น ๆ ที่อยู่ในพื้นที่ศึกษาเพื่อให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างชัดเจน อนึ่งเนื่องจากมลพิษที่เกิดขึ้นมีสาเหตุจากเชื้อเพลิงที่ใช้และการควบคุมเตาเผา (Operating conditions) ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบองค์ประกอบของเชื้อเพลิงที่ใช้ (Fuel ultimate analysis) ซึ่งจะทำให้การวิเคราะห์ผลมีความชัดเจนมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2560 และได้รับความอนุเคราะห์จากสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาค 8 (ราชบุรี) ในการอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลภาคสนาม และขอบคุณผู้ประกอบการโรงงานเครื่องปั้นดินเผาในการอนุญาตให้ใช้พื้นที่เพื่อดำเนินการศึกษา

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Somlang, “Ceramic Product and Material Innovation Center Ratchaburi Province”, CERAMICS Journal, 2007, pp. 16-19. (in Thai)
- [2] C. Chatreejansakul, “Energy and Environment Management of Pottery Kilns in Ratchaburi Province”, Master Thesis, King Mongkut’s University of Technology Thonburi, Thailand, 2002. (in Thai)
- [3] S. Chamatr, “Air pollution design approach to the problems arising from the operation of ceramics: a case study in Ratchaburi”, Thailand National Defence College, Thailand, 2011. (in Thai)
- [4] R. Onchang and P. Hemwat, “Students’ perception of industrial environmental stimuli: focus on particulate matter”, Veridian E-journal Science and Technology Silpakorn University 3(6), 2016, pp. 349-362. (in Thai)
- [5] I. Shahid, M. Kistler, A. Mukhtar, C.R.S. Cruz, H. Bauer and H. Puxbaum, “Chemical composition of particles from traditional burning of Pakistani wood species”, Atmospheric Environment 121, 2015, pp.35-41.
- [6] A.M. Sánchez de la Campa, J.D. Rosa, G.Y. Castanedo, F.R. Camacho, A. Alastuey, X. Querol and C. Pio, “High concentrations of heavy metals in PM from ceramic factories of Southern Spain”, Atmospheric Research 96, 2010, pp. 633-644.
- [7] D. Roy, G. Singh and P. Yadav, “Identification and elucidation of anthropogenic source contribution in PM10 pollutant: Insight gain from dispersion and receptor models”, Journal of Environmental Sciences 48, 2016, pp. 69-78.
- [8] T. Phetrawech and S. Thepanondh, “Source Contributions of PM-10 Concentrations in the Na Phra Lan Pollution Control Zone, Saraburi, Thailand”, Science & Technology Asia 22(4), 2017, pp. 60-70.
- [9] ASTM (American Society for Testing and Materials), “Section eleven water and environmental technology” Annual book of ASTM Standards V11.03. D4185-83. 2006.
- [10] C. Chusai, K. Manomaiphiboon, P. Saiyasitpanich and S. Thepanondh, “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), 2012, pp. 932-945.
- [11] US EPA, “User's guide for the ams/epa regulatory model - AERMOD” Available: https://www3.epa.gov/ttn/scram/models/aermod/aermod_userguide_addendum_v11059_draft.pdf, 25 November 2017.
- [12] K. Laddawan and T. Sarawut, “Analysis of Industrial Source Contribution to Ambient Air Concentration Using AERMOD Dispersion Model”, EnvironmentAsia 9(1), 2016, pp. 28-36.

- [13] E.J.T. Levin, G.R. McMeeking, C.M. Carrico, L.E. Mack, S.M. Kreidenweis, C.E. Wold and W.C. Malm, “Biomass burning smoke aerosol properties measured during Fire Laboratory at Missoula Experiments (FLAME)”, *Journal of Geophysical Research Atmospheres* 115, 2010, pp. 1-15.
- [14] R. Onchang, M. Panyakapo and P Paopuree, “Sources, Chemical Compositions and Health Risk of Respirable Particulate Matter in Muang District, Ratchaburi Province”, *Silpakorn University Research and Development Institute, Nakon Pathom*, 2016. (in Thai)
- [15] Pollution Control Department, “Thailand’s National Ambient Air Quality Standard” Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html#s1, 05 January 2017. (in Thai)
- [16] JICA (Japan International Cooperation Agency), “The Study on the Air Quality Management Planning for the Samut Prakarn Industrial District in the Kingdom of Thailand”, Final Report prepared for Pollution Control Department, Ministry of Science Technology and Environment, Bangkok, Thailand. 1991.
- [17] A. Wangkiat, N.W. Harvey, S. Okamoto, S. Wangwongwatana and P. Rachdawong, “Characterization of PM₁₀ Composition from Biomass Burning Emissions in Mae Moh area, Thailand”, *Proceedings of the 2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment*, Phuket, Thailand, 2003.
- [18] P. Thongthian and W. Chinese, “Chemical composition of PM₁₀ and its source apportionment in Muang Phitsanulok”, *The Thailand Research Found, Bangkok*, 2005. (in Thai)
- [19] S.S. Amaral, J. Andrade de Carvalho Jr, M.A.M. Costa and C. Pinheiro, “Particulate Matter Emission Factors for Biomass Combustion”, *Atmosphere* 7(12), 141, 2016.
- [20] US EPA, “IRIS Assessments”, Available: <https://cfpub.epa.gov/ncea/iris2/atoz.cfm>, 12 October 2017.
- [21] OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), “Nickel Reference Exposure Levels”, Available: <https://oehha.ca.gov/media/downloads/cnr/032312nirelfinal.pdf>, 12 October 2017.