



การจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเมืองนครราชสีมาโดยใช้ แบบจำลอง PMF

Source Apportionment of Particulate Matter Size Less Than 2.5 Micron in Nakhon Ratchasima City by PMF Model

ภักวดี ทองแสง (Phakkawat Thongsang)¹* ดร.สุจิตต์ คุรุจิต (Dr.Sudjit Karuchit)**

ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล (Dr.Prapat Pongkriatkul)***

(Received: December 16, 2018; Revised: December 19, 2019; Accepted: December 24, 2019)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์เพื่อจำแนกแหล่งกำเนิดและสัดส่วนการปล่อยฝุ่นละออง PM_{2.5} ของแหล่งกำเนิดในเมืองนครราชสีมา โดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษแบบ Positive Matrix Factorization (PMF) โดยใช้ข้อมูลปฐมภูมิของ PM_{2.5} และองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ สารไอออนิก ธาตุ และ Black carbon ผลการศึกษาพบว่าพื้นที่เมืองมีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Traffic emission, Biomass burning, Soil dust, Construction dust และ Industry โดยมีสัดส่วนการปล่อย 35%, 31%, 15%, 14% และ 5% ตามลำดับ ส่วนพื้นที่อุตสาหกรรมมีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Traffic emission, Industry, Soil dust, Biomass burning และ Residual oil combustion โดยมีสัดส่วนการปล่อย 42%, 25%, 18%, 13% และ 1% ตามลำดับ ซึ่ง Traffic emission เป็นแหล่งกำเนิดที่ปล่อยฝุ่นมากที่สุดในทั้ง 2 พื้นที่ ส่วน Construction dust พบเฉพาะในพื้นที่เมืองเนื่องจากกิจกรรมการก่อสร้างในบริเวณย่านใจกลางเมือง และ Residual oil combustion พบเฉพาะในพื้นที่อุตสาหกรรมเนื่องจากการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตในโรงงาน

ABSTRACT

This research analyzed the source apportionment of PM_{2.5} in Nakhon Ratchasima city using the receptor model called Positive Matrix Factorization (PMF). It used primary data on PM_{2.5} and its chemical compositions – ionic species, elemental species, and black carbon. The study identifies 5 emission sources in the urban area – traffic emission, biomass burning, soil dust, construction dust, and industry – which account for 35%, 31%, 15%, 14%, and 5% contribution, respectively. On the other hand, the industrial area has 5 emission sources – traffic emission, industry, soil dust, biomass burning, and residual oil combustion – which account for 42%, 25%, 18%, 13%, and 1%, respectively. Traffic emission is the highest contributor in both areas. The construction dust which is found only in the urban area comes from construction activities around the city central district. The residual oil combustion which is found only in the industrial area comes from its usage as fuel in the production process of the factories.

คำสำคัญ: PM_{2.5}, การจำแนกแหล่งกำเนิด, แบบจำลอง PMF

Keywords: PM_{2.5}, Source apportionment, PMF model

¹Correspondent author: aptkrs@gmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

*** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

บทนำ

การจัดการคุณภาพอากาศในเขตเมืองใหญ่เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากภายในพื้นที่มีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศจำนวนมากและหลายแหล่งมีอัตราการปล่อยมลพิษสูง อาทิ พื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น หรือบริเวณที่มีโรงงานอุตสาหกรรมมลพิษทางอากาศที่สำคัญในชุมชนเมืองประกอบด้วยฝุ่นละอองขนาดเล็กซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ รวมทั้งโลหะหนักบางชนิด และก๊าซมลพิษชนิดต่าง ๆ อาทิ คาร์บอนมอนนอกไซด์ ไฮโดรคาร์บอน ไนโตรเจนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัลออกซิเดชั่น โดยเฉพาะก๊าซโอโซน การได้รับมลพิษอากาศเหล่านี้เป็นเวลานานส่งผลเสียที่สำคัญต่อสุขภาพของประชาชน โดยถือเป็นปัจจัยเสี่ยงในการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร [1] ทั้งนี้ จากการรายงานขององค์การอนามัยโลกในปี 2012 พบว่า ประชากรกว่า 7 ล้านคนได้เสียชีวิตเพราะมลพิษอากาศ โดยกว่า 3.7 ล้านคนที่เสียชีวิต เนื่องจากมลพิษอากาศในบรรยากาศทั่วไป [2]

หนึ่งในองค์ประกอบที่สำคัญของการจัดการคุณภาพอากาศคือการจำแนกแหล่งกำเนิด เพื่อให้ทราบสัดส่วนของแหล่งที่มาของสารมลพิษชนิดที่สนใจและสามารถดำเนินการลดหรือแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ แบบจำลองผู้รับมลพิษ (Receptor models) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดมลพิษอากาศโดยใช้ลักษณะทางเคมีและทางกายภาพของก๊าซและอนุภาคฝุ่นละอองที่ตรวจวัดได้ในการประเมิน โดยแบบจำลองผู้รับมลพิษที่องค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (US.EPA) ขอมรับและพัฒนา มี 3 แบบจำลอง คือ Chemical Mass Balance (CMB) UNMIX models และ PMF [3] และจากฐานข้อมูลการจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองในอากาศโดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษขององค์การอนามัยโลก [4] ซึ่งครอบคลุมงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ ตั้งแต่ปี 1990-2014 พบว่า มีข้อมูลการใช้แบบจำลอง PMF ในสัดส่วนที่สูงสุด คือ ร้อยละ 45 และยังพบว่ามีการใช้ในพื้นที่เมืองมากกว่าร้อยละ 77

ประเทศไทยได้มีการใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษครั้งแรก เมื่อปี 2534 ในการจัดทำแผนคุณภาพอากาศจังหวัดสมุทรปราการ หลังจากนั้นหน่วยงานราชการและนักวิชาการต่าง ๆ ก็ได้ให้ความสนใจและประยุกต์ใช้ในการจัดทำแผนคุณภาพอากาศ [5] โดยมีการศึกษาที่ใช้แบบจำลอง PMF ในการจำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษในเขตเมืองในจังหวัดปทุมธานีและกรุงเทพมหานคร [6] ซึ่งผลการศึกษาพบว่าแหล่งกำเนิดของ $PM_{2.5}$ มีสัดส่วนแหล่งกำเนิดจากการจราจรมากที่สุด ในทั้ง 2 พื้นที่ นอกจากนั้นทั้ง 2 พื้นที่ยังมีสัดส่วนที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ชีวมวลที่สูง อย่างไรก็ตามสำหรับเขตเทศบาลนครนครราชสีมาซึ่งเป็นเมืองที่มีประชากรมากเป็นอันดับ 5 ของประเทศ จากข้อมูลในปี 2558 มีจำนวนประชากรในเขตเทศบาลทั้งหมด 133,005 คน [7] อีกทั้ง มีแหล่งกำเนิดมลพิษที่หลากหลาย เช่น การจราจร การก่อสร้าง การประกอบอาหาร การเผาขยะ และโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งโดยรอบเขตเมืองนครราชสีมา นั้น มี 2 เขตอุตสาหกรรมตั้งอยู่ ได้แก่ เขตส่งเสริมอุตสาหกรรมนวนคร นครราชสีมา และเขตอุตสาหกรรมสุรนารี นอกจากนั้นยังมีโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ตั้งอยู่รอบเขตเมือง ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนมากที่สุด แต่จากการทบทวนวรรณกรรมยังไม่มีการศึกษาแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองโดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ

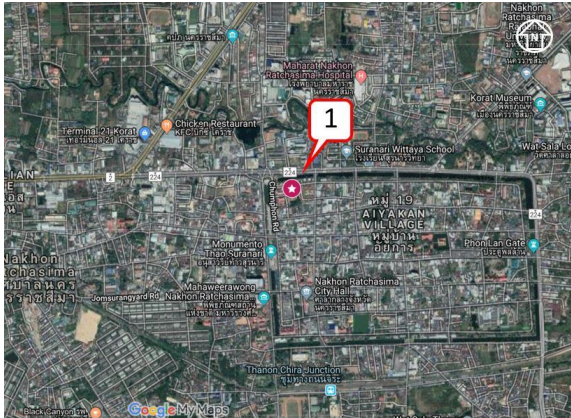
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและจำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ในเขตเมืองนครราชสีมา โดยใช้แบบจำลองผู้รับมลพิษ PMF ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จะช่วยในการบ่งชี้ว่าประชาชนในบริเวณพื้นที่ศึกษาได้รับผลกระทบจากแหล่งกำเนิดประเภทใดและในสัดส่วนเท่าใด ซึ่งหน่วยงานภาครัฐที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางมาตรการลดและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ



วิธีการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษาและการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

พื้นที่ศึกษาในเมืองนครราชสีมาถูกออกเป็นพื้นที่การใช้ประโยชน์ 2 ลักษณะ ได้แก่ พื้นที่เมือง คือบริเวณใจกลางเมืองนครราชสีมาที่มีประชากรหนาแน่น และพื้นที่อุตสาหกรรม คือบริเวณเขตอุตสาหกรรมสุรนารี ซึ่งมีโรงงานอุตสาหกรรมประเภทผลิตชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ จักรยานยนต์ และอิเล็กทรอนิกส์เป็นหลัก จากนั้นผู้วิจัยเลือกจุดเก็บตัวอย่างที่เป็นตัวแทนพื้นที่ละ 1 จุด โดยมีระยะห่างระหว่าง 2 จุด ประมาณ 10 กิโลเมตร (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 จุดเก็บตัวอย่าง จุดที่ 1 ที่วัดภายในพื้นที่เมือง และจุดที่ 2 ที่หอพักเอกชนในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี

การเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ ทำตามวิธีตรวจวัดมาตรฐาน [8] โดยใช้เครื่อง PQ200 Particulate Sampler ตั้งไว้จุดละ 1 เครื่อง เพื่อทำการเก็บตัวอย่างพร้อมกัน การเก็บตัวอย่างเป็นแบบต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง ต่อ 1 ตัวอย่าง ดำเนินการในเดือนพฤศจิกายน 2559 – กุมภาพันธ์ 2560 ซึ่งครอบคลุมฤดูหนาวอันเป็นช่วงฤดูกาลที่ระดับฝุ่นละอองมีค่าสูง โดยตั้งเครื่องมือเป็นช่วง ช่วงละประมาณ 7 วันต่อเนื่อง รวมตลอดระยะเวลาสามารถเก็บตัวอย่างได้ทั้งสิ้น 41 ตัวอย่างต่อจุด และนำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ (1) ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ โดยวิธี Gravimetric method (2) สารไอออนิก ทำการวิเคราะห์แคไทออน ได้แก่ Ca^{2+} K^+ Na^+ และ NH_4^+ และแอนไอออน ได้แก่ Cl^- NO_3^- และ SO_4^{2-} โดยใช้เทคนิค Ion chromatography [9] (3) ธาตุ ทำการวิเคราะห์ธาตุ 20 ชนิด ได้แก่ Ag Al As Ba Cd Co Cr Cu Fe Mg Mn Ni Pb Sb Se Sr Ti Tl V และ Zn โดยใช้เทคนิค ICP-MS [10] และ (4) Black Carbon โดยใช้เทคนิค Reflectance Measurement [11] รายละเอียดการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่น การวิเคราะห์สถิติพรรณนา และการเปรียบเทียบระดับความเข้มข้นและองค์ประกอบทางเคมีระหว่างสองพื้นที่ได้แสดงไว้ในเอกสารอื่นของคณะผู้วิจัย [12-13]

2. การจำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศด้วยแบบจำลอง PMF

หลักการพื้นฐานของแบบจำลองผู้รับมลพิษอากาศ คือการวิเคราะห์สมมูลมวล ดังแสดงในสมการที่ (1) [14]

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

โดยที่ x_{ij} คือ ความเข้มข้นของสาร (X) ชนิด j ในตัวอย่างที่ i, g_{ik} คือ source contribution หรือสัดส่วนของแหล่งกำเนิดที่ k ในตัวอย่างที่ i, f_{kj} คือ source profiles หรือความเข้มข้นของสารชนิด j ในแหล่งกำเนิดที่ k, e_{ij} คือ

residual หรือค่าความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นสารชนิด j ในตัวอย่างที่ i , p คือ จำนวนแหล่งกำเนิด, และ k คือ แหล่งกำเนิด ทั้งนี้ สมการที่ (1) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่ายได้เป็น $X = GF + E$ นั่นคือ ค่าเมทริกซ์ X ได้จากเมทริกซ์ source contribution (G) คูณกับเมทริกซ์ source profiles (F) แล้วบวกด้วยเมทริกซ์ residual (E)

ในกรณีแบบจำลอง PMF model version 5.0 ซึ่งพัฒนาโดย U.S. EPA ใช้สมการที่ (2) เป็นหลักในการคำนวณ [14]

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

โดยที่ Q คือ ฟังก์ชันจุดประสงค์ (objective function) ในรูปผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนต่อค่าความไม่แน่นอน ยกกำลังสอง, e_{ij} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของความเข้มข้นสารชนิด j ในตัวอย่างที่ i , σ_{ij} คือ ค่าความไม่แน่นอนของความเข้มข้นสารชนิด j ในตัวอย่างที่ i , m คือ จำนวนชนิดของสาร, และ n คือ จำนวนตัวอย่าง เมื่อจัดรูปสมการที่ (1) ในรูปของค่า e_{ij} แล้วนำมาแทนในสมการที่ (2) จะได้เป็นสมการที่ (3)

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left(\frac{x_{ij} - [\sum_{k=1}^p g_{ik} \times f_{kj}]}{\sigma_{ij}} \right)^2 \quad (3)$$

ในการคำนวณ แบบจำลอง PMF จะทำให้ค่า Q ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยการประมวลผลค่า g_{ij} (G) และค่า f_{kj} (F) โดยมีเงื่อนไขที่ไม่ให้ค่าเหล่านี้ติดลบ และเพื่อให้ผลคูณให้ได้ค่าใกล้เคียงกับค่า x_{ij} (X) มากที่สุด โดยการประมวลผลของแบบจำลอง PMF ของการศึกษานี้ แบ่งการวิเคราะห์ตามจุดตรวจวัดใน 2 พื้นที่ คือ พื้นที่เมืองและพื้นที่อุตสาหกรรม และใช้ข้อมูลความเข้มข้นสารเป็นค่าความเข้มข้นองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดที่ได้จากการตรวจวัดฝุ่น $PM_{2.5}$ ส่วนค่าความไม่แน่นอนของความเข้มข้นเลือกใช้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารนั้น ๆ [11] โดยในการศึกษานี้ได้เลือกจำนวน Factor หรือ แหล่งกำเนิดของมลพิษ ตามการพิจารณาแหล่งกำเนิดหลักภายในพื้นที่ศึกษา และได้ทำการเลือกปรับ F-peak คือ ค่าการหมุนแกน (rotation) ในช่วง -5 ถึง 5 ทั้งนี้ รายละเอียดเพิ่มเติมในการใช้งานแบบจำลอง แสดงไว้เอกสารอื่นของผู้วิจัย [15]

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

1. การจำแนกแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ

1) พื้นที่เมือง

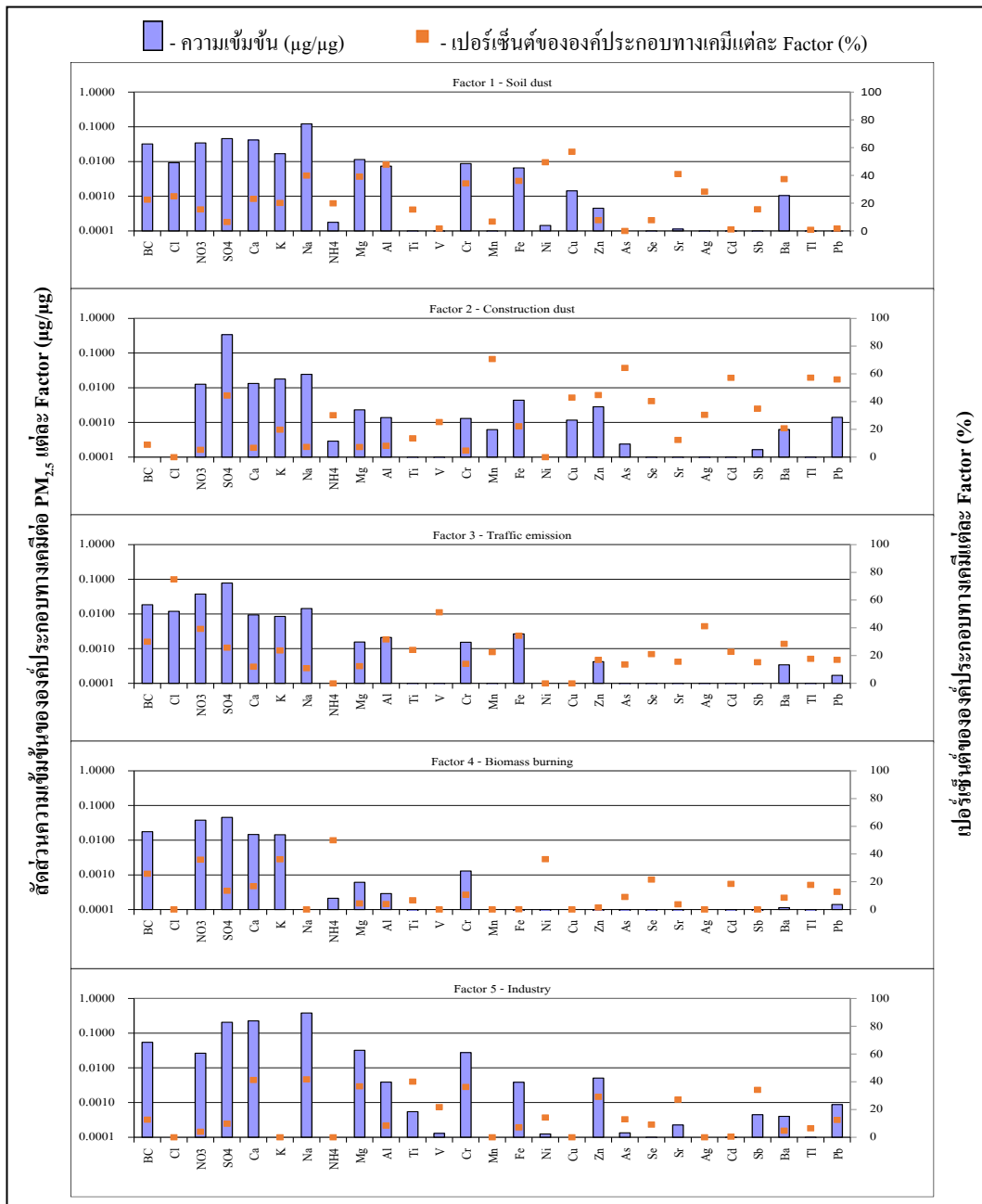
ผลการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เมือง (ภาพที่ 2) สามารถระบุแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 5 แหล่ง ได้แก่ ฝุ่นดิน การก่อสร้าง การจราจร การเผาไหม้ชีวมวล และโรงงานอุตสาหกรรม

แหล่งกำเนิดที่ 1 คือ ฝุ่นดิน (soil dust) มีสัดส่วนความเข้มข้นของ Ca^{2+} K^+ Na^+ Mg Al Fe และ Ba ที่เด่นชัด [16-17] เมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดอื่น ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ ส่วนมากเป็นฝุ่นมาจากพื้นดิน (crustal dust)

แหล่งกำเนิดที่ 2 คือ ฝุ่นจากการก่อสร้าง (construction dust) มีสัดส่วนความเข้มข้นของ Ca^{2+} Cu Fe As และ Pb [17-19] ที่เป็นองค์ประกอบหลักของแหล่งกำเนิดนี้ อีกทั้งยังมี SO_4^{2-} K^+ Al Cr Mn Zn และ Ba [16,20] ที่เป็นองค์ประกอบรองลงมา



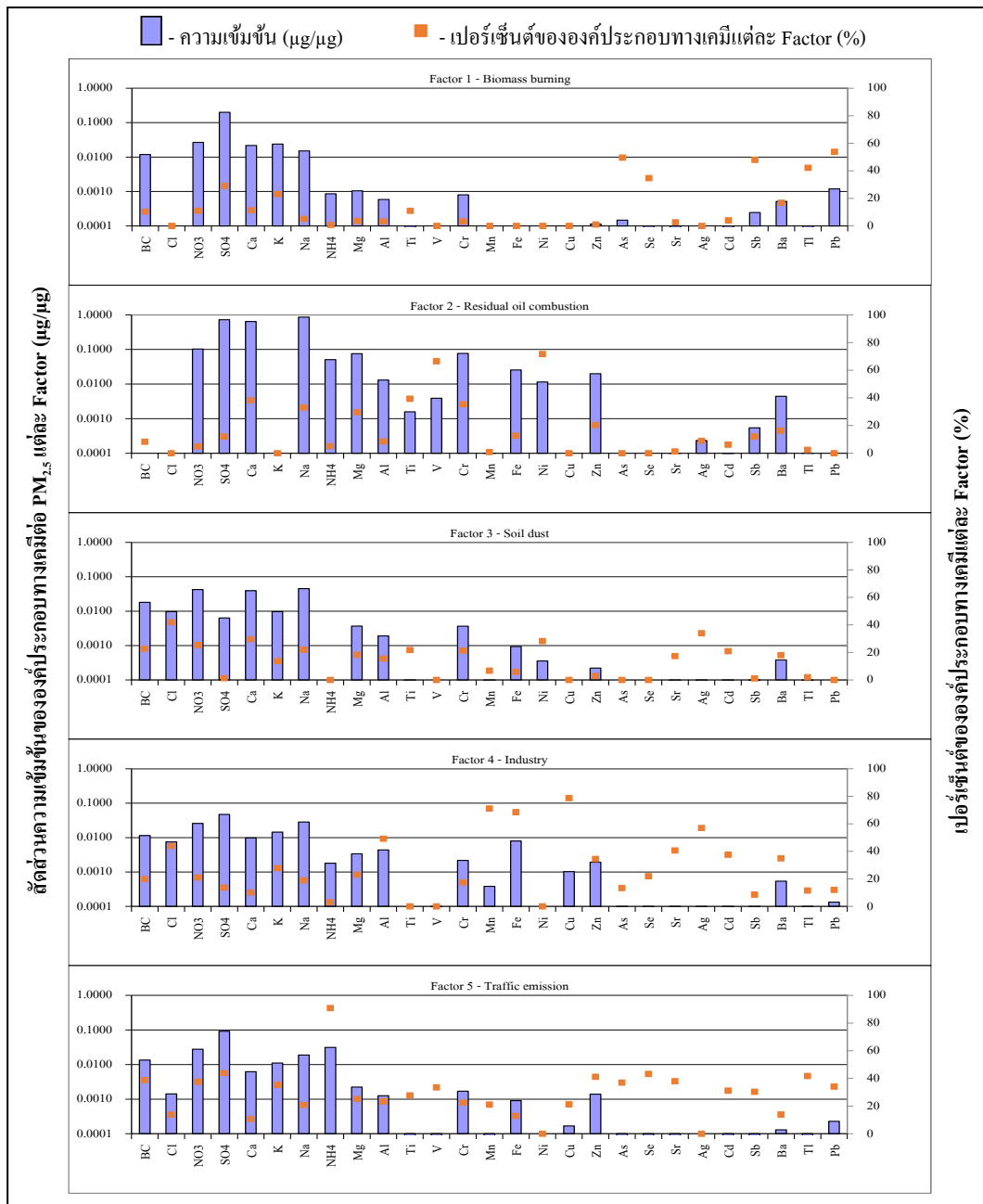
แหล่งกำเนิดที่ 3 คือ ฝุ่นจากการจราจร (traffic emission) เป็นฝุ่นจากถนนและยานพาหนะในการจราจร มีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC NO_3^- SO_4^{2-} ที่เด่นซึ่งเป็นมลพิษหลักที่ออกมาจากท่อไอเสีย โดยเฉพาะในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะปล่อย BC SO_4^{2-} [20-21] นอกจากนั้นยังมี Zn และ Ca^{2+} ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันหล่อลื่น [22-23] และนอกจากนั้นยังมี Cr Fe Pb และ Zn ที่เป็นองค์ประกอบรองลงมา โดยสารเหล่านี้เป็นกลุ่มที่ไม่ได้เกิดจากท่อไอเสีย (non-exhaust) ซึ่งมีที่มาจากผ้าเบรกและล้อรถเป็นหลัก [16-17,24] และยังมีฝุ่นจากถนนซึ่งมาจากพื้นดิน (crustal dust) โดยมีกลุ่มของ K^+ Na^+ Mg Al และ Ba ปนอยู่ด้วย



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เมือง

แหล่งกำเนิดที่ 4 คือ ฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวล (biomass burning) มีสัดส่วนความเข้มข้นของ K^+ และ BC ที่เด่น โดยมาจากการเผาไม้ ซากพืชหรือวัชพืช [20,25] นอกจากนั้นยังมี SO_4^{2-} ที่เด่นชัด [26] และมี NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} ซึ่งอาจมาจากการประกอบอาหารโดยใช้ชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง [19,27]

แหล่งกำเนิดที่ 5 คือ ฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม (industry) มีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC , NO_3^- , SO_4^{2-} , V , Cr , Fe , Ni , Zn , As , Sr , Sb และ Pb ที่สูงและเด่นชัดเมื่อเทียบกับแหล่งกำเนิดอื่น โดยสารที่เด่นของกลุ่มคือ Ni และ V ซึ่งเป็นตัวระบุแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้น้ำมันเตา (residual oil combustion) [17,28-29] ในกระบวนการผลิต อีกทั้งยังมี Pb และ Sb ซึ่งเป็นสารเคมีที่ระบุแหล่งกำเนิดที่มาจากเตาเผา (incinerator) [18]



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่อุตสาหกรรม



2) พื้นที่อุตสาหกรรม

ภาพที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์แหล่งกำเนิดฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่อุตสาหกรรม โดยมีแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 5 แหล่ง ได้แก่ การเผาไหม้ชีวมวล การเผาไหม้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา ฝุ่นดิน โรงงานอุตสาหกรรม และการจราจร

แหล่งกำเนิดที่ 1 คือ ฝุ่นจากการเผาไหม้ชีวมวล (biomass burning) มีสัดส่วนความเข้มข้นของ K^+ และ BC ที่เด่น และเป็นสารที่ระบุแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ ซากพืชหรือวัชพืช [20,25] นอกจากนั้นยังมี SO_4^{2-} ที่เด่น [26] และมี NO_3^- , NH_4^+ , Ca^{2+} ซึ่งอาจมาจากการประกอบอาหาร [19,27]

แหล่งกำเนิดที่ 2 คือ ฝุ่นจากการเผาไหม้น้ำมันเตา (residual oil combustion) มีสัดส่วนความเข้มข้นของ NO_3^- , SO_4^{2-} , V , Cr , Fe , Ni , Zn , As , Sr , Sb และ Pb ที่สูงและเด่นชัดเมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นใน Factor เดียวกัน โดยสารที่เด่นคือ Ni และ V ซึ่งเป็นสารระบุแหล่งกำเนิดที่มาจาก การเผาไหม้เชื้อเพลิงน้ำมันเตา [17,28-29]

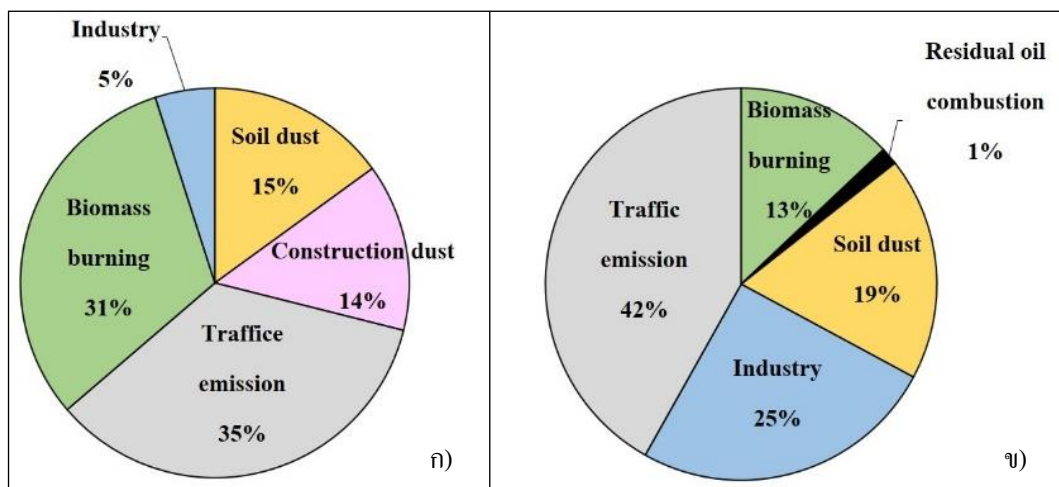
แหล่งกำเนิดที่ 3 คือ ฝุ่นดิน (soil dust) มีสัดส่วนความเข้มข้นของ Ca^{2+} , K^+ , Na^+ , Mg , Al , Fe และ Ba ที่เด่นชัด [16-17] เมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นใน Factor เดียวกัน ซึ่งสารเคมีเหล่านี้ ส่วนมากเป็นฝุ่นมาจากพื้นดิน (crustal dust)

แหล่งกำเนิดที่ 4 คือ ฝุ่นจากโรงงานอุตสาหกรรม (industry) มีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC , NO_3^- , SO_4^{2-} , Al , Cr , Cu , Mn , Fe และ Zn ที่สูงและเด่นชัดเมื่อเทียบกับสารเคมีชนิดอื่นใน Factor เดียวกัน

แหล่งกำเนิดที่ 5 คือ ฝุ่นจากการจราจร (traffic emission) เกิดจากฝุ่นถนนและฝุ่นจากยานพาหนะ มีสัดส่วนความเข้มข้นของ BC , NO_3^- , SO_4^{2-} ที่เด่นซึ่งเป็นมลพิษหลักที่ออกมาจากท่อไอเสียโดยเฉพาะในเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งจะปล่อย BC , SO_4^{2-} [20-21] นอกจากนั้นยังมี Zn และ Ca^{2+} ที่เกิดจากการเผาไหม้ของน้ำมันหล่อลื่น [22-23] และนอกจากนั้นยังมี Cr , Fe , Pb และ Zn ที่เป็นองค์ประกอบรองลงมา ซึ่งสารเหล่านี้มีที่มาจากผ้าเบรกและล้อรถ [16-17,24] และยังมีฝุ่นจากถนนซึ่งมาจากพื้นดิน (crustal dust) โดยมีกลุ่มของ K^+ , Na^+ , Mg , Al และ Ba อยู่ด้วย

2. สัดส่วนการปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิด

จากการประมวลผลของแบบจำลอง PMF ได้แหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ในทั้ง 2 พื้นที่ศึกษา ซึ่งเมื่อพิจารณาสัดส่วนการทำให้เกิดมลพิษแต่ละแหล่งกำเนิดโดยคิดจากค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแหล่งกำเนิดหรือค่า Source contribution ในแต่ละแหล่งกำเนิดต่อปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ เฉลี่ยทั้งหมดที่แบบจำลองประมวลผลได้ หรือ Calculated Mass สามารถสรุปสัดส่วนการปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิดได้ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สัดส่วนการปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิด ก) พื้นที่เมือง ; ข) พื้นที่อุตสาหกรรม

1) พื้นที่เมือง

แหล่งกำเนิดที่ 1 soil dust มีสัดส่วน 15% ส่วนมากจะเป็นฝุ่นละอองดินที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นฝุ่นละอองดินจากพื้นดินที่อยู่ในบริเวณวัดพายัพ สนามกีฬาโรงเรียน หรือพื้นที่ที่ไม่มีสิ่งปลูกสร้าง ที่เป็นพื้นที่โล่ง

แหล่งกำเนิดที่ 2 construction dust มีสัดส่วน 14% ซึ่งมีสัดส่วนใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่ 1 ซึ่งแหล่งกำเนิดที่ 2 มีแหล่งกำเนิดมาจากฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง ซึ่งบริเวณใกล้เคียงสถานที่ตั้งเครื่องเก็บตัวอย่าง มีการก่อสร้างสถานที่ราชการซึ่งเป็นห้องสมุดประชาชน อีกทั้งในเขตเมืองมีการก่อสร้างศูนย์การค้าขนาดใหญ่ Terminal 21 นอกจากนี้ห้างออกไปในทิศทางตะวันออกเฉียงจากจุดเก็บตัวอย่าง ก็ได้มีการก่อสร้างอาคารของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา อีกด้วย

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

แหล่งกำเนิดที่ 4 biomass burning มีสัดส่วน 31% จะมาจากการเผาในพื้นที่โล่ง (open burning) เช่น การเผาเศษวัชพืชในชุมชน การเผาวัชพืชเพื่อการเกษตร โดยในวัดพายัพซึ่งเป็นพื้นที่เก็บตัวอย่างและพื้นที่ใกล้เคียง ได้มีการเผาเศษวัชพืช เช่น เศษไม้ หญ้า กิ่งไม้ นอกจากนี้พื้นที่รอบเขตเมืองนครราชสีมา มีการเผาพื้นที่เพื่อทำการเกษตร หลังการเก็บเกี่ยว เพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูก และแหล่งกำเนิดนี้มาจากการประกอบอาหาร ซึ่งในเขตเมืองมีสินค้าอาหารประเภทปิ้งย่าง อยู่มาก และจะมากโดยเฉพาะวันที่มีการจัดเทศกาล

แหล่งกำเนิดที่ 5 industry มีสัดส่วน 5% แหล่งกำเนิดนี้มาจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งโดยรอบเขตเมืองนครราชสีมา มี 2 เขตอุตสาหกรรมตั้งอยู่ ได้แก่ เขตส่งเสริมอุตสาหกรรมนวนคร และเขตอุตสาหกรรมสุรนารี

2) พื้นที่อุตสาหกรรม

แหล่งกำเนิดที่ 1 biomass burning มีสัดส่วน 13% เป็นแหล่งกำเนิดที่มาจากเผาในพื้นที่โล่ง (open burning) เช่น การเผาเศษวัชพืชในชุมชน การเผาวัชพืชเพื่อการเกษตร โดยในเขตพื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารีมีการขนส่งสินค้าและผลิตภัณฑ์ตลอดเวลา อีกทั้งในเขตอุตสาหกรรมมีชุมชนอยู่ด้วย จึงทำให้มีการจราจรเขตชุมชนอยู่ด้วย จึงได้มีการเผาเศษวัชพืช อีกทั้งพื้นที่โดยรอบ ส่วนมากเป็นพื้นที่ทำการเกษตร จึงได้มีการเผาพื้นที่เพื่อทำการเกษตรหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต เพื่อเตรียมพื้นที่สำหรับการเพาะปลูกต่อไป

แหล่งกำเนิดที่ 2 residual oil combustion มีสัดส่วน 1% เป็นแหล่งกำเนิดที่มาจากกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้ น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมหนัก

แหล่งกำเนิดที่ 3 soil dust มีสัดส่วน 19% เป็นแหล่งกำเนิดที่มาจากฝุ่นละอองดินที่มีอยู่ในธรรมชาติ ซึ่งโดยรอบพื้นที่เขตอุตสาหกรรมสุรนารี เป็นพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งปลูกสร้างและพื้นที่ดินทำการเกษตร

แหล่งกำเนิดที่ 4 industry มีสัดส่วน 25% แหล่งกำเนิดนี้มาจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากพื้นที่โดยรอบจุดเก็บตัวอย่างมีโรงงานอยู่โดยรอบซึ่งเขตอุตสาหกรรมสุรนารีเมื่อจำแนกตามลักษณะของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปแล้ว ส่วนมากจะเป็นอุตสาหกรรมเบา ซึ่งอุตสาหกรรมเบา ได้แก่ โรงงานผลิตลวดสลิง ลิฟต์โดยสาร แบตเตอรี่รถยนต์ ผ้าเบรก เกียร์ในขพลอย ท่อ PVC หลอมพลาสติก แม่พิมพ์โลหะเส้นใยสังเคราะห์ พิมพ์ผ้าและกระดาษ ชิ้นส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งโรงงานประเภทนี้มีในเขตอุตสาหกรรมมาก ซึ่ง Cu จะมาจากแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ [30] และอุตสาหกรรมหนัก ได้แก่ โรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรกลหนัก เครื่องจักร โรงงานมันสำปะหลัง หม้อกำเนิดไอน้ำ ส่วนประกอบรถยนต์



แหล่งกำเนิดที่ 5 traffic emission มีสัดส่วน 42% เป็นสัดส่วนที่มากที่สุดในเขตอุตสาหกรรมสุรนารี เนื่องจากเขตอุตสาหกรรมสุรนารีมีการส่งสินค้า ผลิตภัณฑ์ตลอดเวลาอีกทั้งยังมีชุมชนที่อยู่ในเขตและรอบเขตอุตสาหกรรมสุรนารี จึงทำให้มีการคมนาคมที่หนาแน่น อีกทั้งสภาพถนนที่ชำรุดทำให้เกิดฝุ่นจากพื้นดินอีกด้วย

3.) การเปรียบเทียบกับผลการศึกษารายอื่น

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ กับการศึกษาอื่น ดังตารางที่ 1 พบว่าชนิดและสัดส่วนที่พบมีความใกล้เคียงกับการศึกษาที่กรุงเทพมหานคร แต่มีความแตกต่างกับผลการศึกษาต่างประเทศ ทั้งนี้ เนื่องจากในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกันทั้งทางด้านภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ การใช้ประโยชน์ที่ดินและแหล่งกำเนิด จึงทำให้ผลการวิเคราะห์ของแบบจำลอง PMF แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสัดส่วนของแหล่งกำเนิด $PM_{2.5}$ กับการศึกษาอื่น

การศึกษา	เมือง/ ประเทศ	แหล่งกำเนิด
เขตเมือง		
การศึกษานี้	นครราชสีมา/ ไทย	1. Traffic emission (35%) 2. Biomass burning (31%) 3. Soil dust (15%) 4. Construction dust (14%) 5. Industry (5%)
[6]	กรุงเทพมหานคร/ ไทย	1. Traffic emission (33%) 2. Aged sea salt (23%) 3. Biomass burning (20%) 4. Secondary sulfate (10%) 5. Soil dust (10%) 6. Zn rich (4%)
[23]	เมือง Baton Rouge รัฐ Louisiana/ สหรัฐอเมริกา	1. Secondary sulfate (38%) 2. Industry (19%) 3. Secondary nitrate (18%) 4. Traffic emission (11%) 5. Soil dust (6%) 6. Road dust (4%) 7. Sea salt (4%)
เขตอุตสาหกรรม		
การศึกษานี้	นครราชสีมา/ ไทย	1. Traffic emission (42%) 2. Industry (25%) 3. Soil dust (18%) 4. Biomass burning (13%) 5. Residual oil combustion (1%)
[21]	เมือง Kaduna/ ไนจีเรีย	1. Residual oil combustion (49%) 2. Soil dust (29%) 3. Continental dust (18%) 4. Vehicular emission (4%)
[31]	เมือง Belen/ คอสตาริกา	1. Secondary organic aerosol (27%) 2. Secondary sulfate (16%) 3. Secondary nitrate (12%) 4. Residual oil combustion (12%) 5. Crustal dust (10%) 6. Industrial emission (10%) 7. Vehicle emission (8%) 8. Sea salt (6%)

3. อิทธิพลของสภาพอุตุนิยมวิทยา

ในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบถาวรของกรมควบคุมมลพิษ ที่ตั้งอยู่ในเขตเมืองมาประกอบการพิจารณาการแพร่กระจายของ $PM_{2.5}$ ตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง ซึ่งพบว่าทิศทางลมส่วนมากมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ โดยที่มีความเร็วลมในช่วง 0.50-2.10 m/s เกิดขึ้น 68.06% มีความเร็วลมเฉลี่ย 0.59 m/s และมีลมสงบ (calm wind) หรือลมที่มีความเร็วลมน้อยกว่า 0.5 m/s เกิดขึ้น 31.94%

ทั้งนี้ ในทิศตะวันออกเฉียงเหนือของเมืองนครราชสีมา มีถนนและมีการจราจรที่หนาแน่น เนื่องจากมีโรงเรียนและสถานที่ราชการที่ประชาชนมาใช้บริการและมีโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่หลายแห่ง ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนแหล่งกำเนิดหลักที่พบ คือ ฝุ่นจากการก่อสร้างและการจราจร ส่วนเขตอุตสาหกรรมสุรนารี มีพื้นที่โดยรอบเป็นพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งปลูกสร้างและมีพื้นที่ทำการเกษตรทำให้มีฝุ่นละอองดิน ฝุ่นละอองที่เกิดจากการเผาพื้นที่เพื่อทำการเกษตร หลังการเก็บเกี่ยวผลผลิต และฝุ่นการจราจรขนส่งสินค้า ผลิตภัณฑ์ของโรงงานที่อยู่ในเขตอุตสาหกรรม

สรุปผลการวิจัย

การจำแนกแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ โดยใช้แบบจำลอง PMF ในเมืองนครราชสีมา พบว่า พื้นที่เมืองมีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Traffic emission, Biomass burning, Soil dust, Construction dust และ Industry โดยมีสัดส่วนการปล่อย 35%, 31%, 15%, 14% และ 5% ตามลำดับ ส่วนพื้นที่อุตสาหกรรมมีแหล่งกำเนิด 5 แหล่ง ได้แก่ Traffic emission, Industry, Soil dust, Biomass burning และ Residual oil combustion โดยมีสัดส่วนการปล่อย 42%, 25%, 18%, 13% และ 1% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าทั้ง 2 พื้นที่ มีแหล่งกำเนิด Traffic emission มีสัดส่วนมากที่สุด และมีแหล่งกำเนิดประเภทเดียวกัน 4 ประเภท ได้แก่ Soil dust, Traffic emission, Biomass burning และ Industry ส่วนแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน คือ Construction dust ที่พบเฉพาะในพื้นที่เมืองเนื่องจากกิจกรรมการก่อสร้าง และ Residual oil combustion ที่พบเฉพาะในพื้นที่อุตสาหกรรมเนื่องจากการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตในโรงงาน ทั้งนี้ การศึกษานี้มีข้อจำกัดในด้านระยะเวลาการเก็บตัวอย่างที่ครอบคลุมเฉพาะฤดูหนาว ซึ่งการศึกษาในอนาคตควรขยายระยะเวลาให้มากขึ้น เพื่อให้ครอบคลุมตลอดทั้งปี และผลการศึกษาที่ได้สามารถนำไปใช้ในวางแผนการจัดการคุณภาพอากาศ เพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ได้ตรงจุดตามประเภทและสัดส่วนการปล่อยมลพิษของแหล่งกำเนิดในแต่ละพื้นที่

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

1. Forouzanfar MH, Alexander L, Anderson HR, Bachman VF, Biryukov S, Brauer M, et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*. 2015; 386(10010): 2287-2323.
2. WHO. Burden of disease from the joint effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012 [Internet]. 2016 [updated 2016 Sep 27; cited 2016 Nov 2]. Available from: <https://goo.gl/mceuDN>
3. US EPA. Receptor Modeling [Internet]. 2015 [updated 2015 Jan 15; cited 2015 Jul 27]. Available from: <https://bit.ly/2P7WKRx>
4. WHO. Database on source apportionment studies for particulate matter in the air (PM_{10} and $PM_{2.5}$) [Internet]. 2015 [Update 2015 September 26; cited 2016 November 2]. Available from: http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/global/source_apport/en/
5. Wangkiat A. Mathematical models calculated from sources for air quality management. *RUS JET*. 2007; 10: 13-16. Thai.
6. Wimolwattanapum W, Hopke PK, Pongkiatkul P. Source apportionment and potential source locations of $PM_{2.5}$ and $PM_{2.5-10}$ at residential sites in metropolitan Bangkok. *Atmospheric Pollution Research*. 2011; 2: 172-181.
7. Nakhon Ratchasima City Municipality. Annual Report on Civil Registration 2015 [Internet]. 2015 [updated 2016 Jan 1; cited 2016 Nov 1]. Available from: <http://www.koracity.go.th/page/population58>
8. US EPA. Quality Assurance Guidance Document 2.12.; Monitoring $PM_{2.5}$ in Ambient Air Using Designated Reference or Class I Equivalent Methods [Internet]. 2016 [updated 2016 Jan 1; cited 2016 May 30]. Available from: <https://bit.ly/2DSQb41>
9. Chow JC, Watson JG. Ion chromatography in elemental analysis of airborne particles. *Elemental Analysis of Airborne Particles*. 1999; 1: 97-137.
10. US EPA. Method IO-3.4 Determination of Metals in Ambient Particulate Matter Using Inductively Coupled Plasma (ICP) Spectroscopy [Internet]. 2015 [update 2015 Dec 28; cited 2016 May 30]. Available from: <https://bit.ly/2QIX0g2>



11. Kim Oanh NT, Pongkiatkul P, Upadhyay N, Hopke PK. Designing ambient particulate matter monitoring program for source apportionment study by receptor modeling. *Atmospheric Environment*. 2009; 43: 3334-3344.
12. Thongsaeng P, Karuchit S, Pongkiatkul P, editors. Analyses of PM_{2.5} in Urban and Industrial Zones of Nakhon Ratchasima City. Proceeding of the 16th National Environmental Conference; 2017 May 17-18; Bangkok, Thailand.
13. Thongsaeng P, Karuchit S, Pongkiatkul P. Concentration levels and chemical composition of PM_{2.5} in Nakhon Ratchasima city. *Engineering journal of research and development*. Forthcoming 2018. Thai.
14. US EPA. EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 Fundamentals and User Guide [Internet]. 2014 [updated 2014 Apr 1; cited 2014 Aug 30]. Available from: <https://bit.ly/2Ro11SC>
15. Thonsaeng P. Source apportionment of particulate matter size less than 2.5 micron in Nakhon Ratchasima city area by PMF model [Meng thesis]. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology; 2017. Thai.
16. Chow JC. Measurement Methods to Determine Compliance with Ambient Air Quality Standards for Suspended Particles. *Journal of the Air and Waste Management Association*. 1995; 45: 320-382.
17. Watson JG, Chow JC. Introduction to Environmental Forensics. 3rd ed. California: Academic Press; 2015.
18. Gugamsetty B, Wei H, Liu CN, Awasthi A, Hsu SC, Tsai SC, et al. Source characterization and apportionment of PM₁₀, PM_{2.5} and PM_{0.1} by using Positive Matrix Factorization. *Aerosol and Air Quality Research*. 2012; 12: 476-491.
19. Zikova N, Wand Y, Yang F, Li X, Tian M, Hopke PK. On the source contribution to Beijing PM_{2.5} concentrations. *Atmospheric Environment* 2016; 134: 84-95
20. Lestari P, Mauliadi YD. Source apportionment of particulate matter at urban mixed site in Indonesia using PMF. *Atmospheric Environment*. 2009; 43: 1760-1770.
21. Orogade SA, Owoase KO, Hopke PK, Adie DB, Ismail A, et al. Source apportionment of fine and coarse particulate matter in industrial areas of Kaduna, Northern Nigeria. *Aerosol and Air Quality Research*. 2016; 16: 1179-1190.
22. Choi JK, Heo JB, Ban SJ, Yi SM, Zoh KD. Source apportionment of PM_{2.5} at the coastal area in Korea. *Science of the Total Environment*. 2013; 447: 370-380.
23. Han F, Kota SH, Wang Y, Zhang H. Source apportionment of PM_{2.5} in Baton Rouge, Louisiana during 2009-2014. *Science of the Total Environment*. 2017; 5(86): 115-126.
24. Hjortenkrans DST, Bergback BG, Gaggerud AV. Metal Emission from Brake Linings and Tires: Case Studies of Stockholm, Sweden 1995/1998 and 2005. *Environmental Science and Technology*. 2007; 41: 5224-5230.
25. Chen Y, Engling G, He K, Duan F, Du Z, Ma Y, et al. The characteristics of Beijing aerosol during two distinct episodes: Impacts of biomass burning and fireworks. *Environmental Pollution*. 2014; 185: 149-157.
26. Sharma KS, Sharma A, Saxena M, Choudhary N, Masiwal R, Mandal KT, et al. Chemical characterization and source apportionment of aerosol at an urban area of Central Delhi, India. *Atmospheric Pollution Research*. 2016; 7: 110-121.
27. Chow JC, Watson JG, Kuhns H, Etyemezian V, Lowenthal DH, Crow D, et al. Source profiles for industrial, mobile, and area sources in the Big Bend Regional Aerosol Visibility and Observational study. *Chemosphere*. 2004; 54: 185-208.
28. Linak WP, Meller CA, Snatoian DA, King CJ, Shinagawa T, Wendt JL, et al. Formation of Fine Particles from Residual Oil Combustion: Reducing Nuclei through the Addition of Inorganic Sorbent. *Korean Journal Chemical Engineering*. 2003; 20: 664-669.
29. Peltier RE, Lippmann M. Residual oil combustion: 2. Distributions of airborne nickel and vanadium within New York City. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 2010; 20: 342-350.
30. Hagler GSW, Bergin MH, Salmon LG, Yu JZ, Wan ECH, Zhen M, et al. Local and regional anthropogenic influence on PM_{2.5} elements in Hong Kong. *Atmospheric Environment*. 2007; 41: 5994-6004.
31. Murillo JH, Roman SR, Marin JFR, Ramos AC, Jimenez SB, Gonzalez EC, et al. Chemical characterization and source apportionment of PM₁₀ and PM_{2.5} in the metropolitan area of Costa Rica. *Atmospheric Pollution Research*. 2013; 4: 181-190.