

บทความวิจัย (Research Article)

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการได้รับฝุ่น PM_{2.5} จากพื้นที่อุตสาหกรรมในอำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง

สุธารัตน์ หมื่นมี¹ และ ศุภิระ บุตรดี^{1*}

Health risk assessment of exposure PM_{2.5} from industrial area in Pluak Daeng district, Rayong province

Sutharat Muenmee¹ and Susira Bootdee^{1*}

¹ Chemical Industrial Process and Environment program, Faculty of Science, Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology North Bangkok (Rayong campus), Rayong, 21120

*Corresponding author : susira.b@sciee.kmutnb.ac.th

Naresuan Phayao J. 2021;14(3):95-110.

Received: 7 January 2021; Revised: 19 April 2021; Accepted: 7 September 2021

บทคัดย่อ

การหายใจรับฝุ่นละออง หรือฝุ่น PM_{2.5} มีผลต่อปัญหาสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจและอัตราการเสียชีวิต การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ที่ปลดปล่อยมาจากพื้นที่เขตอุตสาหกรรมในอำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง และนำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ โดยตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} สามารถเก็บบนกระดาษกรองใยหิน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองปริมาตรต่ำในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ในช่วงฤดูฝน ($38.8 \pm 25.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่าน้อยกว่าในช่วงฤดูแล้ง ($52.7 \pm 33.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ในฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยการคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) พบว่า ค่าเฉลี่ย HQ ของฝุ่น PM_{2.5} ของเด็กในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งมีค่ามากกว่าผู้ใหญ่และมีค่าเกิน 1.0 ซึ่งแสดงว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ ดังนั้นในระยะยาว เด็กมีโอกาสได้รับฝุ่น PM_{2.5} เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้มากกว่าผู้ใหญ่ จากการผลศึกษาฐานวิทยาศาสตร์และองค์ประกอบธาตุ พบกลุ่มธาตุออกซิเจน เหล็ก แมกนีเซียม อะลูมิเนียม โพแทสเซียม หรือโซเดียม ซึ่งอาจจะระบุดีได้ว่าฝุ่น PM_{2.5} ที่พบอาจจะถูกปลดปล่อยมาจากพื้นที่เขตอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: ฝุ่น PM_{2.5}, มลพิษทางอากาศ, การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ, ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ)

¹ สาขาวิชากระบวนการอุตสาหกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (วิทยาเขตระยอง) จังหวัดระยอง 21120

Abstract

The inhalation of fine particles ($PM_{2.5}$) has been associated with human health problems, which is affect to respiratory system and mortality. This research aims to investigate $PM_{2.5}$ released from industrial area of Pluak Daeng district, Rayong province to assess the human health risk. $PM_{2.5}$ samples were collected on quartz fiber filters using a mini volume air sampler during wet and dry seasons. It was found that the average $PM_{2.5}$ concentrations in wet season ($38.8 \pm 25.2 \mu g/m^3$) were lower than dry season ($52.7 \pm 33.9 \mu g/m^3$). When wet season were compared with dry season, the average $PM_{2.5}$ concentrations were not significantly different ($p > 0.05$). Moreover, the health risk assessments of exposure $PM_{2.5}$ were calculated by Hazard Quotient (HQ), the results found that the average HQ values of children in wet and dry season were higher than adult and exceeded 1.0, indicating the potential health risks. Consequently, in the long term, children will uptake more $PM_{2.5}$ into the respiratory tract than adults. The result of morphology and elemental composition study reveals that $PM_{2.5}$ were complexed chemistries that usually contained oxygen, iron, magnesium, aluminum, potassium or sodium. It could be released from industrial area.

Keywords: Fine particulate matter, Air pollution, Health risk assessment, Hazard Quotient (HQ)

บทนำ

ในสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$ ในประเทศไทย พบว่า ปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ เกินเกณฑ์มาตรฐานในหลายพื้นที่ โดยคุณภาพอากาศอยู่ในระดับปานกลางจนถึงมีผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่เกินค่ามาตรฐานทำให้ประเทศไทยถูกจัดอยู่ในลำดับต้นๆ ของเมืองที่มีคุณภาพอากาศแย่ที่สุดในโลก โดยการจัดอันดับตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา (US-AQI) สำหรับประเทศไทยพื้นที่ที่มีปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ มี 3 พื้นที่สำคัญ ได้แก่ พื้นที่ 9 จังหวัดภาคเหนือ คือ เชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน น่าน แพร่ ลำพูน ลำปาง พะเยา และอุตรดิตถ์ สาเหตุหลักมาจากการเผาในพื้นที่ป่าและการเผาวัสดุทางการเกษตร ส่วนจังหวัดสระบุรี สาเหตุหลักมาจากพื้นที่ที่มีการประกอบกิจการโรงโม่บดย่อยหิน เหมืองหิน โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานปูนขาว โรงแต่งแร่และกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง เช่น การจราจร และพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล สาเหตุหลักมาจากการถนนที่ใช้เชื้อเพลิงดีเซลและจากการจราจร อุตสาหกรรมและการเผาในพื้นที่โล่ง ประกอบกับสภาพอุตุนิยมวิทยาที่ไม่เอื้อต่อการกระจายตัวของฝุ่นละออง ในปี พ.ศ. 2563 ทางรัฐบาลได้มีการประกาศให้สภาวะฝุ่น $PM_{2.5}$ เป็นสภาวะฉุกเฉินที่จะต้องรีบมีการแก้ไขโดยเร่งด่วน เนื่องจาก

ส่งผลกระทบต่อทำให้ทัศนวิสัยภายในประเทศไทยเต็มไปด้วยฝุ่น $PM_{2.5}$ และมีการเพิ่มสูงขึ้นของจำนวนผู้ป่วยด้านทางเดินหายใจและทางผิวหนัง ทางรัฐบาลจึงได้ประกาศมาตรการต่างๆ เพื่อควบคุมปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่สูงเกินมาตรฐาน โดยการออกกฎหมายเกี่ยวกับการจราจร มีการตรวจหารถที่ปล่อยควันที่มีสีดำนากเกินมาตรฐาน ลดการเผาพวกพืชต่าง ๆ ลดการปล่อยมลพิษ เป็นต้น [1] ดังนั้น จะเห็นได้ว่าปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ มีผลกระทบต่อสภาพลักษณะของประเทศทั้งในเชิงเศรษฐกิจ เชิงสุขภาพอนามัย และเชิงสิ่งแวดล้อมอย่างชัดเจน ฉะนั้นพื้นที่ที่จะมีการพัฒนาทั้งเขตเมือง หรือเขตอุตสาหกรรม ต้องมีการพัฒนาควบคู่กับการควบคุมปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่จะปล่อยสู่บรรยากาศ เพื่อจะไม่เป็นผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในประเทศต่อไป

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (ฝุ่น $PM_{2.5}$) หรือฝุ่นละเอียด (Fine Particles) ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งเป็นอนุภาคของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) แต่ส่วนใหญ่ฝุ่น $PM_{2.5}$ จะเป็นอนุภาคทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในอากาศ เมื่อมีแก๊สต่าง ๆ เช่น แก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) แก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนรูป

ในอากาศ โดยทำปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคจากแก๊สไปอยู่ในรูปของอนุภาคที่อยู่ในอากาศ มีช่วงเวลาที่อยู่ในอากาศเป็นระยะเวลายาวนาน เป็นวันหรือสัปดาห์และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ระยะไกล 100 – 1,000 กิโลเมตร [2] ฝุ่น $PM_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการจราจร การเผาป่าไม้ การเผาในพื้นที่โล่ง และโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น [3], [4] โดยแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่น $PM_{2.5}$ มาจากการจราจร โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงจากถ่านหิน การเผาไหม้ชีวมวล และการเผาในพื้นที่โล่ง เป็นต้น มีหลายการศึกษาก่อนหน้านี้ได้ทำการตรวจวัดปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตเมือง พื้นที่เขตอุตสาหกรรม และพื้นที่เขตชนบท ของประเทศไทยศึกษา ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของเมืองโอจินท์ ในช่วงปี 2017-2018 ในพื้นที่เขตที่อยู่อาศัย จำนวน 2 แห่ง พื้นที่ริมถนน จำนวน 2 แห่ง และพื้นที่เขตเมือง จำนวน 1 แห่ง เมื่อเรียงลำดับค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ จากมากไปน้อยพบว่าพื้นที่เขตที่อยู่อาศัย (31.4 ± 12.0 และ $41.1 \pm 15.0 \mu g/m^3$) > พื้นที่ริมถนน (33.7 ± 10.9 และ $39.1 \pm 14.9 \mu g/m^3$) > พื้นที่เขตเมือง ($35.4 \pm 12.9 \mu g/m^3$) [5] นอกจากนี้มีรายงานการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ พบว่าค่าเฉลี่ยรายปีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตเมืองกรุงเทพมหานคร ($20.6 \mu g/m^3$) น้อยกว่าพื้นที่ใกล้เคียงเขตนิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี ($22.5 \mu g/m^3$) ขณะที่ผลของการศึกษาการจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง พบว่ามีแหล่งกำเนิดมาจากการจราจร (23.0-27.9 %) และการเผาไหม้ชีวมวล (26.1-41.2 %) [4]

ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่ผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ อาทิเช่น ทิศทางลม (Wind Direction) และความเร็วลม (Wind Speed) ที่จะมีผลต่อทิศทางของการกระจายสารมลพิษทางอากาศและการเพิ่มหรือลดปริมาณความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ เมื่อมีค่าความเร็วลมสูงจะพบว่ามีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ลดลง [5], [6] ส่วนปริมาณน้ำฝนก็มีผลต่อปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น

$PM_{2.5}$ เนื่องจากจะช่วยชะฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศให้ลดลงด้วย ซึ่งมีการวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในแต่ละช่วงของฤดูกาลของเมืองโฮจิมินห์ ประเทศเวียดนาม ได้รายงานค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ พบว่า ช่วงฤดูแล้ง ($39.2 \pm 13.7 \mu g/m^3$) มีค่ามากกว่า ช่วงฤดูฝน ($33.6 \pm 13.3 \mu g/m^3$) ส่วนประเทศไทยมีการศึกษาพบว่า ช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน (ช่วงเดือนกันยายน 2015 ถึง มีนาคม 2016) ของกรุงเทพมหานคร พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในฤดูแล้ง (29.0 ± 9.7 ถึง $32.6 \pm 11.2 \mu g/m^3$) มีค่ามากกว่า 1-2 เท่า ของช่วงฤดูฝน (14.7 ± 6.0 ถึง $15.2 \pm 5.3 \mu g/m^3$) ขณะที่ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ $PM_{2.5}$ ช่วงฤดูแล้ง (40.6 ± 17.2 ถึง $43.7 \pm 17.3 \mu g/m^3$) และฤดูฝน (35.7 ± 15.8 ถึง $35.8 \pm 17.0 \mu g/m^3$) มีค่าไปในทิศทางเดียวกับค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ เช่นเดียวกัน [4]

นอกจากนี้ ฝุ่น $PM_{2.5}$ ยังเป็นสารมลพิษที่สำคัญซึ่งนำมาคำนวณหาดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) เพื่อแสดงถึงผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชากรที่ใช้เป็นสากลทั่วโลก ซึ่งฝุ่น $PM_{2.5}$ เป็นฝุ่นขนาดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าสามารถเข้าไปในถุงลมปอดของร่างกายและสามารถเล็ดลอดผ่านผนังถุงลมเข้าสู่เส้นเลือดฝอยและกระจายอยู่ในกระแสเลือด ความเป็นอันตรายต่อร่างกายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ระยะเวลาที่สัมผัสรวมถึงสภาพร่างกายของผู้ที่สูดหายใจเข้าไป ผู้ที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับผลกระทบ คือเด็กและคนชราเมื่อสูดหายใจเข้าไปทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดโรคในระบบทางเดินหายใจ โรคปอดต่างๆ โรคหลอดเลือดในสมอง โรคหัวใจขาดเลือด โรคมะเร็งปอด [7-9] นอกจากนี้ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) ได้กำหนดให้ฝุ่น $PM_{2.5}$ จัดให้เป็นสารก่อมะเร็ง โดยเฉพาะมะเร็งปอด [10] อย่างไรก็ตาม สำหรับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงและ 1 ปี ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 36 (2553) เรื่องกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองไม่เกิน 2.5 ไมครอนในบรรยากาศทั่วไปของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยมี

การกำหนดค่าไม่เกิน $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับมาตรฐาน 24 ชั่วโมง (รายวัน) และค่าไม่เกิน $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ สำหรับมาตรฐาน 1 ปี องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (US-EPA National Ambient Air Quality Standards; US-EPA NAAQS) กำหนดที่ $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (24 ชั่วโมง) และ $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (รายปี) และองค์การอนามัยโลก (WHO) ค่ามาตรฐานรายวัน กำหนดที่ $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนรายปี กำหนดที่ $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ [11], [12], [13]

เนื่องจากอำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง เป็นหนึ่งในพื้นที่ของรัฐบาลที่กำหนดให้เป็นเขตพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor Development หรือ EEC) เพื่อรองรับอุตสาหกรรมยานยนต์แห่งอนาคต อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อัจฉริยะ อุตสาหกรรมหุ่นยนต์ และอุตสาหกรรมการบินและโลจิสติกส์ มีเนื้อที่พัฒนาประมาณ 19,592 ไร่ สำหรับการก่อตั้งนิคมอุตสาหกรรม 3 แห่ง คือ นิคมอุตสาหกรรมเหมราชอีสเทิร์นซีบอร์ด, นิคมอุตสาหกรรมเหมราชอีสเทิร์นซีบอร์ด แห่งที่ 4 และนิคมอุตสาหกรรมอีสเทิร์นซีบอร์ด ซึ่งแผนการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและระบบโลจิสติกส์ การพัฒนาอุตสาหกรรมต่อเนื่องที่เกิดจากการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐาน และการพัฒนาการบริหารจัดการในสาขาการขนส่ง [14] ดังนั้นการพัฒนาที่จะเกิดขึ้นอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อมีการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวอาจจะส่งผลกระทบต่อทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จะตามมา โดยเฉพาะปัญหาด้านมลพิษทางอากาศ ซึ่งปัญหามลพิษทางอากาศมีความสำคัญมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นปัญหาที่ก่อผลกระทบในวงกว้างและสามารถเป็นมลพิษข้ามแดนได้ โดยสารมลพิษอากาศหลักที่อาจเกิดจากพื้นที่เขตอุตสาหกรรม ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (ฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$) ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรในพื้นที่ได้

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตรวจสอบความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ จากพื้นที่อุตสาหกรรมในอำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง ก่อนที่จะเริ่มพัฒนาเข้าสู่โครงการพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาค

ตะวันออกหรือ EEC และนำผลการศึกษาที่ได้รับไปประเมินผลกระทบความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์จากความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในบรรยากาศ อีกทั้งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางของการบริหารจัดการมลพิษทางอากาศที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตของประชากรในเขตพื้นที่อุตสาหกรรมในอำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง เพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกที่มุ่งเน้นให้การเติบโตทางเศรษฐกิจสังคมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมให้จังหวัดระยองมีเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนต่อไป

วัสดุและวิธีการ

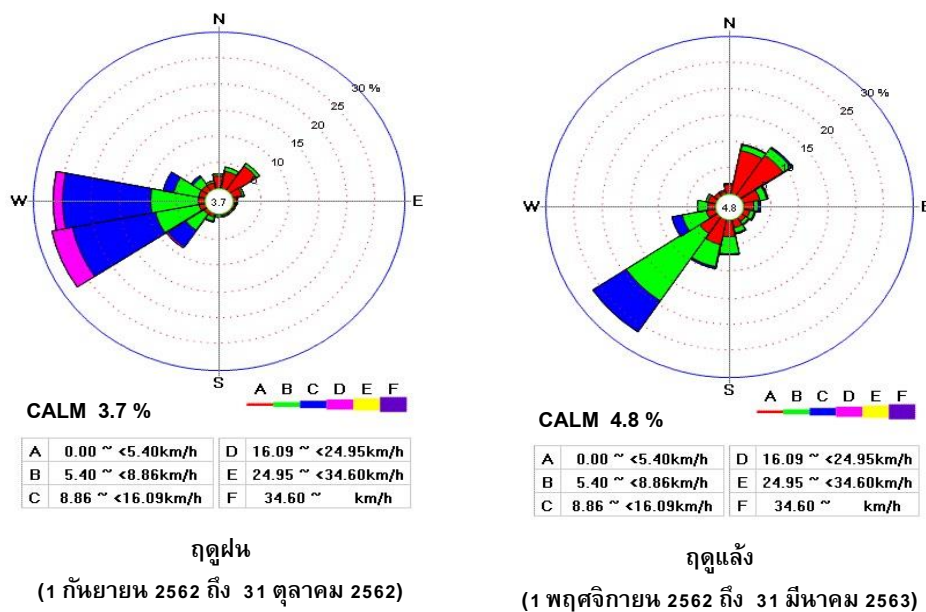
พื้นที่ศึกษา

อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยองตั้งอยู่ในภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยอำเภอปลวกแดงเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมที่สำคัญของจังหวัดระยองและประเทศไทย มีประชากรประมาณ 87,798 คน มีเนื้อที่ของพื้นที่อำเภอโดยรวม 618.341 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นเนื้อที่อุตสาหกรรม 78.395 ตารางกิโลเมตร (12.68% ของเนื้อที่ทั้งหมด) ในปัจจุบัน อำเภอปลวกแดง มีจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมประมาณ 1,233 โรงงาน ซึ่งมีประเภทของโรงงานหลัก ๆ 5 ลำดับ คือ กลุ่มผลิตยานพาหนะและอุปกรณ์รวมทั้งการซ่อมยานพาหนะและอุปกรณ์ 283 โรงงาน กลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะ 169 โรงงาน กลุ่มผลิตพลาสติก 136 โรงงาน กลุ่มผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล 115 โรงงาน และกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ 74 โรงงาน เป็นต้น [15]

ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในพื้นที่อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง โดยได้ติดตั้งเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองปริมาตรต่ำ (Mini volumetric air sampler) ไว้บนดาดฟ้าของอาคารการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาขาปลวกแดง ซึ่งมีความสูง 12 เมตรจากพื้น และจุดเก็บตัวอย่างอยู่ห่างพื้นที่เขตอุตสาหกรรมประมาณ 4.5-5.0 กิโลเมตร ดังแสดงตามรูป 1



ที่มา: Google map

รูป 1 แผนที่การเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่อำเภอปง จังหวัดเชียงรายรูป 1 การเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองปริมาตรต่ำ (Mini volumetric air sampler)

ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา

รูป 3 ผังลม (Wind rose) แสดงทิศทางลมที่พัดผ่านจังหวัดเชียงราย ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง

การเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5}

ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองปริมาตรต่ำ (Mini volumetric air sampler ยี่ห้อ Airmetrics ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยเก็บฝุ่น PM_{2.5} บนกระดาษกรองแบบใยหิน (Quartz fiber filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47.0 มิลลิเมตร (ยี่ห้อ Whatman ประเทศจีน) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูป 2) ซึ่งเป็นวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยระบบกราวิเมตริก (Gravimetric method) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ในช่วงฤดูฝน (Wet season) จำนวน 10 ตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนสิงหาคมถึงเดือนตุลาคม 2562 และช่วงฤดูแล้ง (Dry season) จำนวน 20 ตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2562 ถึงเดือนมีนาคม 2563 จากข้อมูลทิศทางลมและความเร็วลมได้จากสถานีอุตุนิยมวิทยา ระยอง กรมอุตุนิยมวิทยา โดยช่วงฤดูฝนจะมีทิศทางลมส่วนใหญ่มาจากทางทิศตะวันตกเฉียงใต้และทิศตะวันตก มีความเร็วลมส่วนใหญ่ประมาณ 8.86-16.09 km/h ส่วนช่วงฤดูแล้งมีทิศทางลมมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ มีความเร็วลมประมาณ 5.40-8.86 km/h พัดผ่านจังหวัดระยอง [16] ดังแสดงตามรูป 3

การเตรียมกระดาษกรองแบบใยหิน นำกระดาษกรองไปอบในเตาอบที่ 800 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในกระดาษกรอง หลังจากนั้นนำกระดาษกรองที่อบแล้วไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น (Desiccator) ก่อนนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 6 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Mettler-Toledo) จากนั้นนำไปเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษาเสร็จแล้ว นำฝุ่น PM_{2.5} ที่อยู่บนกระดาษกรองแบบใยหินมาเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าหนักสุทธิ (มวล)

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์

การศึกษาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ (Health risk assessment) โดยคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง หรือ ค่า Hazard Quotient (HQ) จากการสัมผัสกับฝุ่น PM_{2.5} ทางหายใจ [17], [18] ดังแสดงในสมการที่ 1 ได้อาศัยสมการการคำนวณประเมินการสัมผัสสิ่งคุกคาม (The Average Daily Dose; ADD) ดังสมการที่ 2

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (1)$$

โดยที่	HQ	คือ Hazard Quotient หรือค่าสัดส่วนความเสี่ยง
	ADD	คือ ปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับจากการหายใจ (µg/kg·day)
	RfD	คือ Inhalation Reference Dose หรือค่ามาตรฐานกำหนด (µg/kg·day)

สำหรับค่า RfD (Inhalation reference Dose) คือ ปริมาณสารที่สามารถหายใจรับเข้าสู่ร่างกายในแต่ละวัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2 โดยจะใช้ค่าความเข้มข้น

อ้างอิงมาตรฐานจากการได้รับสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} ด้วยการหายใจ (Inhalation reference Concentration; RfC) จากองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม (US-EPA NAAQS) ซึ่งมีค่า 35 µg/m³ [19]

$$RfD = \frac{RfC \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (2)$$

โดยที่ RfD คือ ปริมาณสารที่สามารถหายใจรับเข้าสู่ร่างกายในแต่ละวัน หรือ Inhalation reference Dose (µg/kg·day) RfC คือ ค่าความเข้มข้นอ้างอิงมาตรฐานคุณภาพอากาศจากการได้รับสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} ด้วยการหายใจ (Inhalation reference Concentration) จาก the US-EPA National Ambient air Quality Standards (NAAQS) คือ 35 µg/m³

IR คือ Inhalation Rate หรืออัตราการสัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา (m^3/hour) คือ $0.83 \text{ m}^3/\text{hour}$

ET คือ exposure time หรือ ระยะเวลาในการสัมผัส (hour/day) คือ 24 hour/day

EF คือ Exposure Frequency หรือความถี่ในการสัมผัส (days/year) คือ 350 days/year

ED คือ Exposure Duration หรือระยะเวลาที่สัมผัส (year) คือ 30 year

BW คือ Body Weight หรือน้ำหนักร่างกายเฉลี่ย (kg) คือ 70 kg

AT คือ Averaging Time หรือระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (day) = $\text{ED} \times 365 \text{ days/year}$

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์ สามารถคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient; HQ) โดยที่ค่า $\text{HQ} < 1.0$ แสดงว่าไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ และ $\text{HQ} > 1.0$ แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์

$$\text{ADD} = \frac{C_i \times \text{InhR} \times \text{EF} \times \text{ED}}{\text{BW} \times \text{AT}} \quad (3)$$

โดยที่	ADD	คือ ปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับจากการหายใจ ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$)
	C_i	คือ ความเข้มข้นเฉลี่ยของสิ่งคุกคามที่สัมผัส ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	InhR	คือ Inhalation Rate หรืออัตราการสัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา (m^3/day)
	EF	คือ Exposure Frequency หรือความถี่ในการสัมผัส (day/year : 350 days/year)
	ED	คือ Exposure Duration หรือระยะเวลาที่สัมผัส (year)
	BW	คือ Body Weight หรือน้ำหนักร่างกายเฉลี่ย (kg)
	AT	คือ Averaging Time หรือระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (day) = $\text{ED} \times 365 \text{ days/year}$

ตาราง 1 พารามิเตอร์จากการสัมผัสฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ เพื่อประเมินความเสี่ยงของสุขภาพมนุษย์

พารามิเตอร์	เด็ก 6-12 ปี	ผู้ใหญ่		อ้างอิง
		เพศชาย	เพศหญิง	
BW (kg)	15	67.3	57.5	[20]
EF (days/year)	350	350	350	[18]
ED (years)	12	30	30	[18]
InhR (m^3/day)	8.6	16.6	13.5	[20]
AT ($\text{ED} \times 365 \text{ days/year}$) (days)	4,380	10,950	10,950	[20]
RfD ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$)	9.55			[19]

การศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุ
ทำการสุ่มตัวอย่างฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ บนกระดาษกรอง
แล้วนำไปวิเคราะห์สัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุ
(Morphology and elemental composition) ด้วยกล้อง
จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งเครื่อง
วิเคราะห์รังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (Scanning

Electron Microscope- Energy Dispersive x-ray
Spectrometer; SEM-EDS) เพื่อศึกษารูปร่างของ
อนุภาคฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ และองค์ประกอบของธาตุที่ตรึงอยู่
กับฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ซึ่งอาจจะพิสูจน์ได้ว่ามาจากพื้นที่
อุตสาหกรรม

ผลการศึกษา

ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง

จากการเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง ช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง $18.0-162.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าเฉลี่ยช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่า $38.8 \pm 25.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $52.7 \pm 33.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ (ตาราง 2 และ 3) เมื่อเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ มีผลการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตเมืองจำนวน 5 เมืองของมณฑลเจ้อเจียง ประเทศจีน ซึ่งเป็นมณฑลใหญ่ที่เป็นพื้นที่เขตอุตสาหกรรมและชุมชนที่หนาแน่น พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตเมืองเรียงลำดับจากมากไปน้อยได้แก่ เมืองหางโจว ($79.4 \pm 40.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > เมืองหนิงโป ($63.0 \pm 35.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > เมืองจินหัว ($61.7 \pm 32.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > เมืองลี่ซู่ย ($49.0 \pm 24.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > เมืองโจวซาน ($41.9 \pm 31.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [21] โดยเฉพาะเมืองหนิงโปที่เป็นพื้นที่อุตสาหกรรมเคมีประเภทสิ่งทอและเสื้อผ้า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ มากกว่า 2 เท่าเมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ มีรายงานผลปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศในพื้นที่เขตเมืองทางตอนใต้ของกรุงจาการ์ตา ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งเป็นเขตพื้นที่อุตสาหกรรม ตั้งแต่ปี 2012 พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง $32-91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เฉลี่ย $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [19] ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการวิจัยนี้

การศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งของพื้นที่เขตอุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง พบว่า มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูฝนมีค่า $22.0-108.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เฉลี่ย $38.8 \pm 25.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และช่วงฤดูแล้งมีค่า $17.7-162.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เฉลี่ย $52.7 \pm 33.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ มีการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศใกล้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในฤดูแล้ง ($32.6 \pm 11.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่ามากกว่าฤดู

ฝน ($15.2 \pm 5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [4] นอกจากนี้ ในประเทศเวียดนามได้ทำการตรวจวัดค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตเมือง พื้นที่ริมถนน และพื้นที่เขตที่อยู่อาศัย ของเมืองโฮจิมินห์ พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูแล้ง ($39.2 \pm 13.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) มีค่ามากกว่าช่วงฤดูฝน ($33.6 \pm 13.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [5] ผลจากการศึกษาของงานวิจัยนี้ พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูฝนมีค่าน้อยกว่าฤดูแล้ง โดยมีผลสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ เมื่อนำข้อมูลทิศทางลมและความเร็วลมมาศึกษา พบว่า ในช่วงฤดูแล้ง (4.7 %) มีอัตราการสงบ (Calm) มากกว่าช่วงฤดูฝน (3.7%) ขณะที่ความเร็วลมในช่วงฤดูแล้ง ($5.40- < 8.86 \text{ km/h}$) มีค่าน้อยกว่าช่วงฤดูฝน ($8.86- < 16.09 \text{ km/h}$) ดังแสดงตามรูป 3 ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศในช่วงฤดูแล้งมากกว่าฤดูฝน เนื่องจากความเร็วลมถ้ามีค่าสูงจะมีผลต่อการกระจายสารมลพิษทางอากาศและลดการสะสมสารมลพิษในบรรยากาศในพื้นที่ [5], [6]

เมื่อนำผลการศึกษาของปริมาณความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ รายวันในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง มาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเฉลี่ยรายวัน (24 ชั่วโมง) ของกรมควบคุมมลพิษ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และองค์การอนามัยโลก ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) พบว่า ในช่วงฤดูฝนมีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเฉลี่ยรายวันจากกรมควบคุมมลพิษประมาณร้อยละ 10 มีปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา ประมาณร้อยละ 30 และองค์การอนามัยโลกเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศร้อยละ 80 ในขณะที่ในช่วงฤดูแล้งมีค่าเกินมาตรฐานทั้ง 3 องค์การประมาณร้อยละ 50, 65 และ 85 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าในช่วงฤดูแล้งจะพบว่ามีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศมากกว่าช่วงฤดูฝน ฉะนั้น ในช่วงฤดูแล้งจะต้องตระหนักถึงผลกระทบจากฝุ่น $PM_{2.5}$ ต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

ตาราง 2 ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) และค่าปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับจากการหายใจ (ADD) ในช่วงฤดูฝน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ฝุ่น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	ADD ($\mu g/kg \cdot day$)		
		เด็ก	ผู้ใหญ่	
			เพศชาย	เพศหญิง
27 ส.ค. 2562	22.0	12.1	5.2	5.0
2 ก.ย. 2562	108.3	59.5	25.6	24.4
11 ก.ย. 2562	25.8	14.2	6.1	5.8
12 ก.ย. 2562	33.2	18.2	7.8	7.5
16 ก.ย. 2562	28.7	15.8	6.8	6.5
17 ก.ย. 2562	33.8	18.6	8.0	7.6
24 ก.ย. 2562	39.5	21.7	9.4	8.9
25 ก.ย. 2562	42.0	23.1	9.9	9.5
16 ต.ค. 2562	24.8	13.6	5.9	5.6
17 ต.ค. 2562	29.8	16.4	7.0	6.7
ค่าเฉลี่ย	38.8 $\pm$ 25.2	21.3 $\pm$ 13.9	9.2 $\pm$ 6.0	8.7 $\pm$ 5.7

ตาราง 3 ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) และค่าปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับจากการหายใจ (ADD) ในช่วงฤดูแล้ง

วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ฝุ่น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	ADD ($\mu g/kg \cdot day$)		
		เด็ก	ผู้ใหญ่	
			เพศชาย	เพศหญิง
13 พ.ย. 2562	30.9	17.0	7.3	7.0
2 ธ.ค. 2562	26.9	14.8	6.4	6.0
3 ธ.ค. 2562	34.6	19.0	8.2	7.8
16 ธ.ค. 2562	45.1	24.8	10.7	10.2
23 ธ.ค. 2562	51.9	28.5	12.3	11.7
24 ธ.ค. 2562	54.8	30.1	13.0	12.3
25 ธ.ค. 2562	44.6	24.5	10.6	10.0
9 ม.ค. 2562	70.4	38.7	16.6	15.8
16 ม.ค. 2562	54.1	29.7	12.8	12.2
20 ม.ค. 2562	75.0	41.2	17.7	16.9
23 ม.ค. 2563	57.6	31.7	13.6	13.0

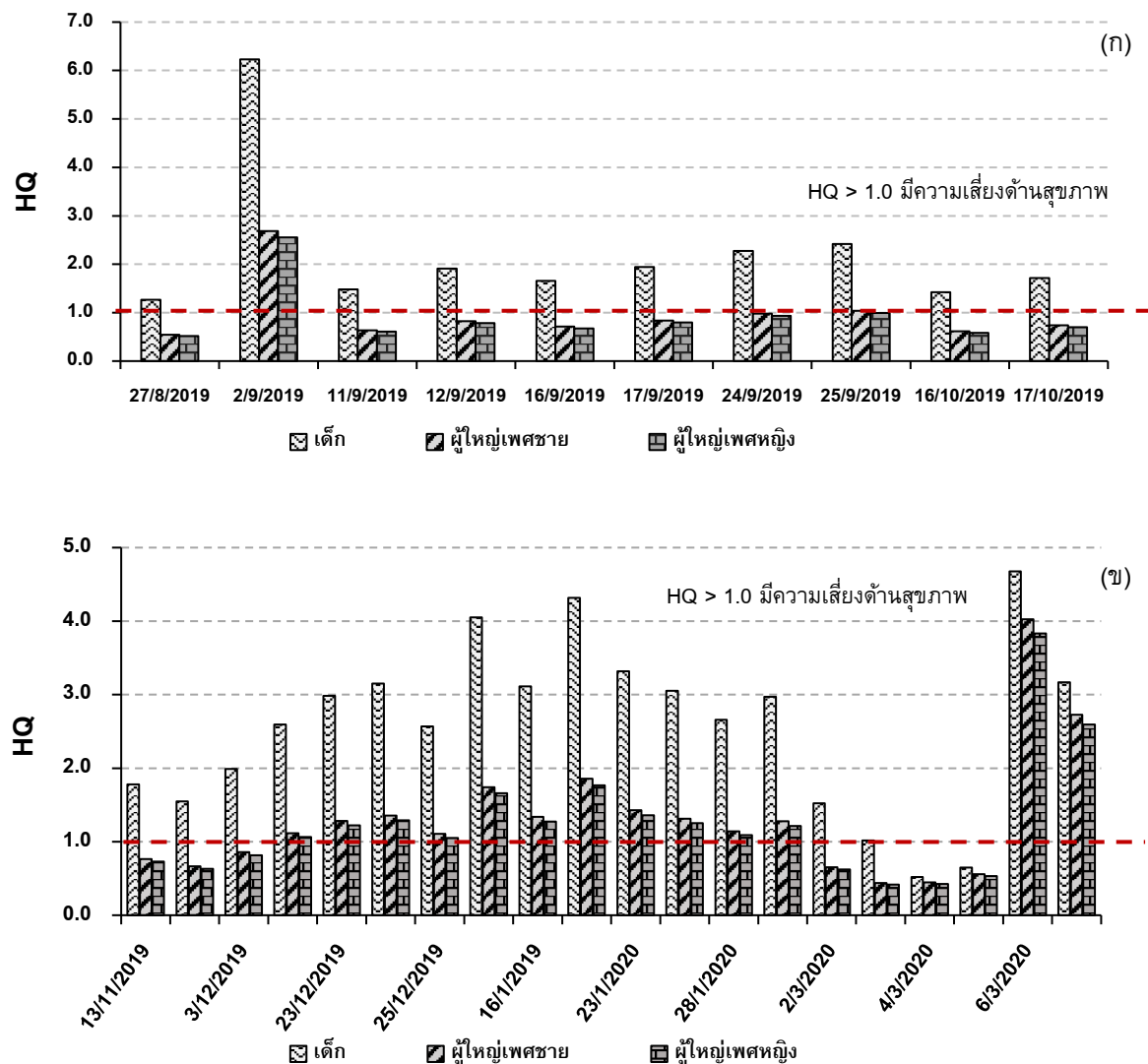
วันที่เก็บตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ ฝุ่น PM _{2.5} (µg/m ³)	ADD (µg/kg•day)		
		เด็ก	ผู้ใหญ่	
			เพศชาย	เพศหญิง
27 ม.ค. 2563	53.1	29.2	12.6	11.9
28 ม.ค. 2563	46.2	25.4	10.9	10.4
29 ม.ค. 2563	51.6	28.4	12.2	11.6
2 มี.ค. 2563	26.4	14.5	6.2	6.0
3 มี.ค. 2563	17.7	9.7	4.2	4.0
4 มี.ค. 2563	18.0	5.0	4.3	4.1
5 มี.ค. 2563	22.5	6.2	5.3	5.1
6 มี.ค. 2563	162.5	44.7	38.4	36.6
9 มี.ค. 2563	110.1	30.3	26.0	24.8
ค่าเฉลี่ย	52.7±33.9	24.7±11.0	12.5±8.0	11.9±7.6

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากฝุ่น PM_{2.5}

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ (Health risk assessment) โดยคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) จากการสัมผัสกับฝุ่น PM_{2.5} ทางทางหายใจของเด็ก ผู้ใหญ่เพศชายและเพศหญิงในพื้นที่อุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง ได้แสดงตามรูป 3 จากตาราง 2 และ 3 ทำการศึกษาปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับ (ADD) ของเด็ก ผู้ใหญ่เพศชายและเพศหญิง ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับในช่วงฤดูแล้งมีค่า 24.7±11.0, 12.5±8.0 และ 12.5±8.0 µg/kg•day ซึ่งมีค่ามากกว่าฤดูฝนที่มีค่า 21.3±13.9, 9.2±6.0 และ 8.7±5.7 µg/kg•day ตามลำดับ

จากรูป 3 แสดงค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) จากการสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} ทางทางหายใจของเด็ก ผู้ใหญ่เพศชายและเพศหญิงในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า ค่าเฉลี่ย HQ ของฝุ่น PM_{2.5} ทางทางหายใจของเด็ก

มีค่า 2.23 และ 2.58 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าผู้ใหญ่ ขณะที่ค่าเฉลี่ย HQ ของฝุ่น PM_{2.5} ของผู้ใหญ่เพศชาย (0.96 และ 1.30) สูงกว่าผู้ใหญ่เพศหญิง (0.91 และ 1.24) เนื่องจากมีอัตราการหายใจที่สัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลาในผู้ใหญ่เพศชายมีค่าสูงกว่าเพศหญิง นอกจากนี้ พบว่า ค่าเฉลี่ย HQ ของฝุ่น PM_{2.5} ในช่วงฤดูแล้งมีค่าเกิน 1.0 ซึ่งมีค่ามากกว่าช่วงฤดูฝน ส่วนใหญ่ค่า HQ ของฝุ่น PM_{2.5} ของเด็กจะมีค่าเกินกว่า 1.0 ซึ่งแสดงว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ และพบว่าค่า HQ ของฝุ่น PM_{2.5} จะผันแปรตรงกับความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ในบรรยากาศ หากมีความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} ในบรรยากาศสูงจะพบว่าค่า HQ ของฝุ่น PM_{2.5} จะมีค่าเกิน 1.0 จากการศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์ก่อนหน้านี้ในพื้นที่เขตเมืองทางภาคใต้ของเมืองจันทบุรี ประเทศอินโดนีเซีย พบว่า มีค่า HQ ของฝุ่น PM_{2.5} อยู่ในช่วง 0.22-1.75 เฉลี่ย 0.56 (ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} อยู่ในช่วง 32-91 µg/m³ เฉลี่ย 41 µg/m³) [19]



รูป 3 ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) จากฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่อุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง โดยที่ (ก) ช่วงฤดูฝน และ (ข) ฤดูแล้ง

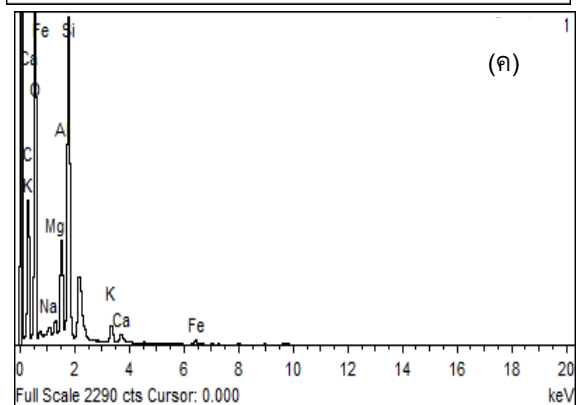
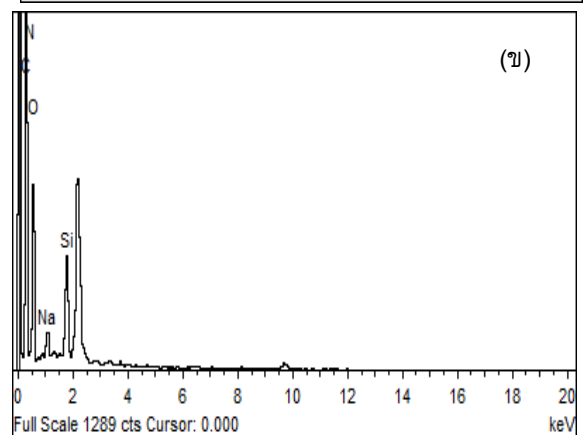
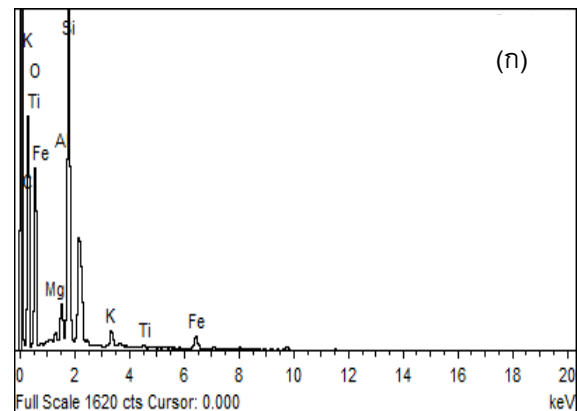
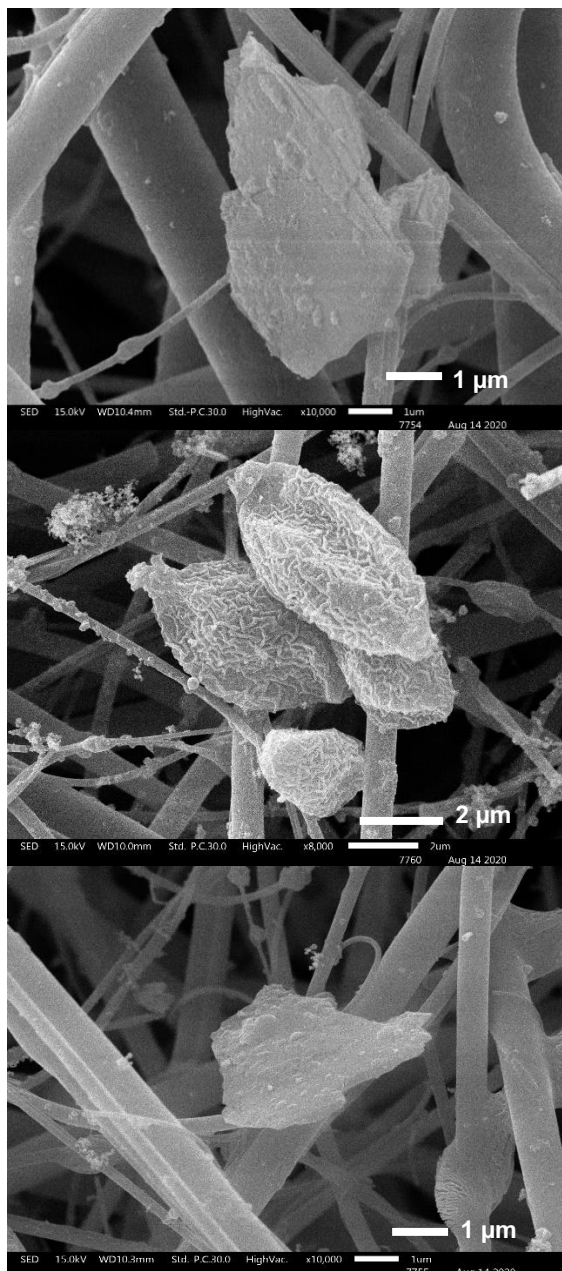
การศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุ

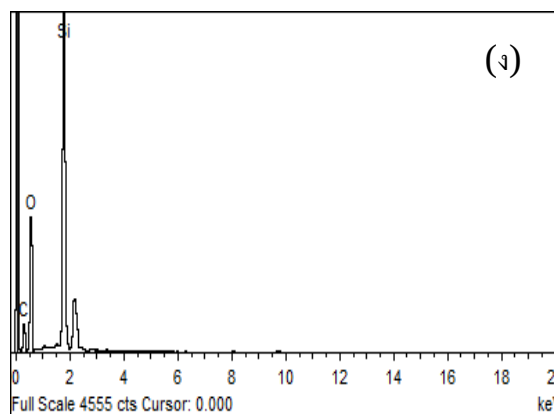
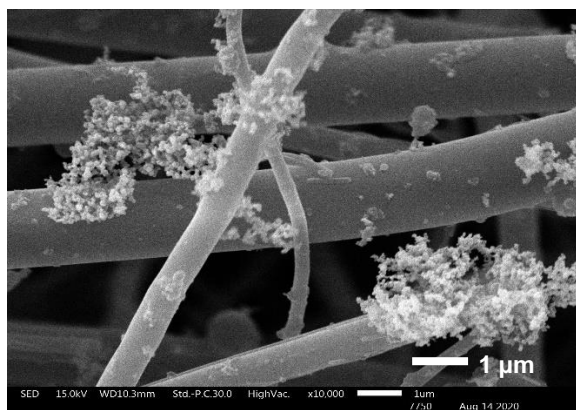
ภาพ 4 แสดงการศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุที่ตรึงอยู่กับฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่อุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง พบว่า มีสัณฐานเป็นลักษณะแผ่น (Flaky particle) ดังรูป 4 (ก) และ (ค) รูปทรงรี (Ellipsoidal particle: ดังรูป 4 (ข)) และรูปทรงกลม (Spherical particle) ซึ่งพบมากเป็นลักษณะทรงกลมที่ต่อเป็นสาย (fluffy soot aggregates) ดังแสดงรูป 4 (ง) ส่วนองค์ประกอบธาตุที่ตรึงอยู่กับฝุ่น $PM_{2.5}$ พบว่าธาตุหลักคือ ธาตุคาร์บอน (C: 37.0-50.9%) และออกซิเจน (O: 29.0-42.2%) จากรูป 4 (ก และ ค) เป็นรูปทรงแผ่น และมีธาตุซิลิกา

(Si:12.8-13.1%) เหล็ก (Fe:1.17-4.02%) อะลูมิเนียม (Al: 1.25-3.54%) โพแทสเซียม (1.30-1.35 %) ไทเทเนียม (Ti:0.40%) และแมกนีเซียม (Mg: 0.34-0.52%) ส่วนรูป 4 (ข) เป็นรูปทรงรี มีองค์ประกอบธาตุคือ ธาตุซิลิกา (Si: 5.21%) ไนโตรเจน (N: 7.42%) และโซเดียม (Na: 1.60%) นอกจากนี้ พบสัณฐานที่มีรูปทรงกลมและต่อกันเป็นสาย ดังแสดงตามรูป 4 (ง) คือเขม่าควัน (Soot aggregates) มีธาตุคาร์บอน (23.4%) ออกซิเจน (46.0%) และซิลิกา (34.0%) เป็นองค์ประกอบ ได้มีรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้ ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เก็บตัวอย่างจากทาง

ตอนเหนือของเมืองเม็กซิโก ซึ่งเป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการจราจรหนาแน่น และใกล้โรงกลั่นน้ำมัน พบว่ามีสัณฐานของฝุ่น $PM_{2.5}$ เป็นทรงกลมและไม่เป็นรูปทรง (irregular particle) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ มีการรายงานสรุปว่าพบธาตุเหล็กและออกซิเจนประมาณ 24 % ในฝุ่น $PM_{2.5}$ ซึ่งอาจมาจากการะบวนการอุตสาหกรรมหลอมเหล็ก ธาตุคาร์บอนที่เจือประมาณ 12% ในอนุภาคฝุ่นขนาด 600 nm และ 800 nm อาจมีสาเหตุมาจากการจราจรที่หนาแน่น และธาตุตะกั่ว (Pb) ซึ่ง

อาจมาจากการะบวนการอุตสาหกรรมที่ใช้ความร้อนสูง [22] และการศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของเมืองเหอเฟย มณฑลอานฮุย ประเทศจีน พบว่า ฝุ่น $PM_{2.5}$ มีหลายรูปทรง อาทิเช่น ทรงกลม แท่ง (Columnar) ไม่มีรูปทรง และ ปุกปุย (Flocculent) ซึ่งบ่งชี้ว่าอาจมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาไหม้ชีวมวล และการเผาไหม้ในเครื่องยนต์ [23]





รูป 4 แสดงการศึกษาสัณฐานวิทยาและองค์ประกอบธาตุที่ตรึงอยู่กับฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่ติดตั้งเครื่องวิเคราะห์รังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (SEM-EDS); (ก) คือรูปทรงแบบแผ่น (Flaky particle), (ข) คือ รูปทรงรี (Ellipsoidal particle), (ค) คือ รูปทรงแบบแผ่น (Flaky particle) และ (ง) คือ รูปทรงกลม (Spherical particle) ที่ต่อเป็นสาย (fluffy soot aggregates)

วิจารณ์

จากการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ ของพื้นที่เขตอุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูแล้งมีค่ามากกว่าในช่วงฤดูฝน อาจเนื่องมาจากในช่วงฤดูฝนจะทำให้มีการชะฝุ่นละอองจากบรรยากาศ ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ลดลง และในช่วงฤดูหนาว จะมีอุณหภูมิต่ำทำให้ชั้นบรรยากาศผสม (Mixing height) อยู่ระดับต่ำ ทำให้เกิดการสะสมของสารมลพิษในบรรยากาศ รวมถึงฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วย [24] อย่างไรก็ตาม เมื่อนำมาทดสอบทางสถิติด้วย T-test พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่อุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง ในช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศรายปีของฝุ่น $PM_{2.5}$ จากกรมควบคุมมลพิษ ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และ US-EPA National Ambient air Quality Standards ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) นอกจากนี้ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเฉลี่ยราย 24 ชั่วโมง ของความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูฝน มีต่ำกว่าค่ามาตรฐานจากกรมควบคุมมลพิษ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) แต่ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ทั้งสองฤดูกาลเกินค่ามาตรฐาน

ของ US-EPA National Ambient air Quality Standards ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) นอกจากนี้ ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยา อาทิ ทิศทางลมความเร็วลม และปริมาณน้ำฝน อาจจะมีผลต่อปริมาณความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ ได้ทำการประเมินค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) จากการสัมผัสกับฝุ่น $PM_{2.5}$ ทางการหายใจของเด็ก ผู้ใหญ่เพศชายและเพศหญิงในพื้นที่อุตสาหกรรม อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง พบว่า มีค่าปริมาณสิ่งคุกคามที่ได้รับ (ADD) และค่า HQ จากฝุ่น $PM_{2.5}$ ในเด็กจะมีค่าสูงกว่าผู้ใหญ่ และผู้ใหญ่เพศชายมีค่าสูงกว่าเพศหญิง นอกจากนี้ พบว่าส่วนใหญ่ค่า HQ ในเด็กมีค่าเกินกว่า 1.0 อาจเนื่องมาจากปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ สรีรวิทยา ระหว่างผู้ใหญ่และเด็กที่แตกต่างกัน เด็กจะมีความต้องการออกซิเจนที่สูงขึ้นและจะทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้นด้วย (ต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว) ซึ่งอัตราการหายใจเข้าเฉลี่ยของเด็กจะเป็นสามเท่าของผู้ใหญ่ [25] ดังนั้นระยะยาวเด็กจะดูดซึมฝุ่นละอองในอากาศเข้าสู่ทางเดินหายใจมากกว่าผู้ใหญ่ และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญ คือเส้นผ่านศูนย์กลางของทางเดินหายใจ ซึ่งพบว่าเด็กจะมีทางเดินหายใจขนาดเล็กกว่าผู้ใหญ่ ทำให้เด็กมีแนวโน้มจะเพิ่มการหายใจและมีโอกาสที่สะสมฝุ่นละอองมากขึ้น [26]

การศึกษาฐานวิทยาศาสตร์และองค์ประกอบธาตุของฝุ่น $PM_{2.5}$ พบว่ามีลักษณะแบบแผ่น รูปทรงรี และรูปทรงกลม ซึ่งพบมากเป็นลักษณะทรงกลมที่ต่อเนื่องเป็นสาย ส่วนองค์ประกอบธาตุที่ตรึงอยู่กับฝุ่น $PM_{2.5}$ พบว่าธาตุหลักคือ ธาตุคาร์บอน และออกซิเจน ซึ่งบ่งชี้ได้มีมาจากเผาไหม้ อาทิเช่น การเผาชีวมวล ถ่านหิน และการเผาในพื้นที่โล่ง เป็นต้น [27] ภาพที่ 4 (ก และ ค) ฝุ่น $PM_{2.5}$ มีลักษณะรูปทรงผลึกที่มีธาตุคาร์บอน ออกซิเจน ซิลิกา เหล็ก อะลูมิเนียม ไทเทเนียม และแมกนีเซียม มีรายงานองค์ประกอบธาตุที่ตรึงอยู่ในฝุ่น $PM_{2.5}$ พบว่า มีธาตุออกซิเจนและธาตุเหล็กเป็นหลัก ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าฝุ่นละอองในบรรยากาศมีแหล่งกำเนิดมาจากการทำเหมือง โรงงานถลุงแร่ โรงกลั่นน้ำมัน และกระบวนการแยกโลหะจากแร่ (Metallurgy activities) นอกจากนี้ พบธาตุไทเทเนียมเป็นองค์ประกอบด้วย อาจเกิดจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับสี เนื่องจากไทเทเนียมออกไซด์ (TiO_2) เป็นส่วนประกอบในเม็ดสีขาว [27] ส่วนภาพที่ 4 (ข) มีรูปทรงรีมีธาตุซิลิกาและโซเดียม โดยธาตุโซเดียมอาจมีแหล่งกำเนิดมาจากโซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) เนื่องจากมีพื้นที่ใกล้ทะเล [22] นอกจากนี้ มีการเปิดเผยข้อมูลรายงานว่า ฝุ่นละอองที่มีองค์ประกอบธาตุเป็นธาตุออกซิเจน ซิลิกา โซเดียม และอะลูมิเนียม จะมีแหล่งกำเนิดมาจากธรณีวิทยาที่ทำให้เกิดฝุ่นที่มาจากดิน [27] ฐานที่มีรูปทรงกลมและต่อเนื่องเป็นสาย ดังแสดงตามภาพที่ 4 (ง) คือเขม่าควัน (Soot aggregates) มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง การเผาไหม้ชีวมวล การเผาในเครื่องยนต์ เป็นต้น [23] อย่างไรก็ตาม การที่ฝุ่นละอองมีองค์ประกอบธาตุออกซิเจน เหล็ก แมกนีเซียม อะลูมิเนียม แคลเซียม โพแทสเซียม หรือโซเดียม อาจมีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมการสกัดโลหะ (Metal extraction industry) และกระบวนการเผาไหม้ที่หัวเผา (Air-breathing burner) ที่ใช้อุณหภูมิสูง [27]

ดังนั้น พื้นที่เขตอำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง อาจจะได้รับผลกระทบจากฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ปล่อยมาจากพื้นที่เขตอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมกลุ่มผลิตยานพาหนะและอุปกรณ์รวมทั้งการซ่อมยานพาหนะและอุปกรณ์ กลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะ กลุ่มผลิตเครื่องจักรและเครื่องกล และกลุ่มอุตสาหกรรม

ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์ ซึ่งการศึกษาฐานวิทยาศาสตร์และองค์ประกอบธาตุ พบกลุ่มธาตุออกซิเจน เหล็ก แมกนีเซียม อะลูมิเนียม แคลเซียม โพแทสเซียม หรือโซเดียม ซึ่งอาจจะระบุได้ว่าประชาชนที่อาศัยในพื้นที่เขตอำเภอปลวกแดง อาจได้รับผลกระทบจากฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ปล่อยมาจากอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกลุ่มเด็ก อาจจะได้รับผลกระทบด้านสุขภาพมากที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ พลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ (รหัสทุน: SciEE 003/63) และให้ความช่วยเหลือในการทำงานจนทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

1. Pollution Control Department (PCD). Action plan for the national agenda: Solving of the particulate matter problem [Internet]. Bangkok; 2019 [Cites 20 October 2020]. Assessed from; <https://multi.dopa.go.th/tspd/assets/modules/news/uploads/713db2d68d6f0f8c6aedb82b26586daf5e3283c67c5b8427323133072698485.pdf>
2. World Health Organization (WHO). Health risk of particulate matter from long-range transboundary air pollution [Internet]. Copenhagen, Denmark; 2006 [Cites 20 October 2020]. Assessed from; <http://www.euro.who.int/pubrequest>.
3. Koplitz SN, Jacob DJ, Sulprizio MP, Myllyvirta L and Reid C. Burden of Disease from Rising Coal-fired Power plant Emissions in Southeast Asia. Environ Sci Technol. 2017;51: 1467-1476.

4. Narita D, Kim Oanh NT, Sato K, Hao M, Permadi DA, Ha Chi NN, Ratanajaratroj T and Pawarmart I. Pollution characteristics and policy actions on fine particulate matter in a growing Asian economy: The case of Bangkok metropolitan region. *Atmosphere*. 2019;10 (227): 3-18.
5. Hien TT, Thien Chi ND, Nguyen NT, Vinh LX, Takenaka N and Huy DH. Current status of fine particulate matter (PM_{2.5}) in Vietnam's most populous city, Ho Chi Minh city. *Aerosol Air Qual Res*. 2019; 19: 2239-2251.
6. Mohanraj R, Dhanakumar S and Soloraj G. Polycyclic aromatic hydrocarbons bound to PM_{2.5} in urban Coimbatore, India with Emphasis on Source Apportionment. *Sci World J*. 2012; 980843: 1-8.
7. Polpiboon T, Jayasvasti I and Roongpisuthipong A. Disaster in the winter of particle matter (PM_{2.5}). *EAU Herit J*. 2014;8(1):40-46.
8. Li R, Zhou R and Zhang J. Function of PM_{2.5} in the pathogenesis of lung cancer and chronic airway inflammatory diseases (Review). *Oncol. Lett*. 2018; 15: 7506-7514.
9. Li T, Hu R, Chen Z, Huang M, Li Q-Y, Huang S-X, Zhu Z and Zhou L-F. PM_{2.5}: the culprit for chronic lung diseases in China. *CDTM*. 2018; 4: 176-186.
10. World Health Organization-International Agency for Research on Cancer (WHO-IARC). Outdoor Air pollution. The International Agency for Research on Cancer, France: China Foto Press; 2016.177 p.
11. Pollution Control Department (PCD). Air Quality standard [Internet]. Bangkok, Thailand; [Cites 1 April 2021]. Assessed from; http://pcd.go.th/info_serv/reg_std_airsnd01.html.
12. US-EPA National Ambient Air Quality Standards (US-EPA NAAQS). NAAQS Table [Internet]. United states; 2015 [Cites 1 April 2021]. Assessed from; <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>.
13. World Health Organization (WHO). Ambient (Outdoor) Air Pollution [Internet]. Geneva, Switzerland; 2018 [Cites 1 April 2021]. Assessed from; [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
14. Eastern Economic Corridor (EEC) office. EEC at glance [Internet]. Bangkok, Thailand; 2019 [Cites 20 November 2020]. Assessed from; <https://eeco.or.th/th/promotional-zone>.
15. Department of Industrial Works (DIW). Overview of the industry in Pluak Daeng District, Rayong Province [Internet]. Rayong; 2020 [Cites 15 November 2020]. Assessed from; reg.diw.go.th/executive/Amp3.asp?amp=6&prov=21.
16. Thai Meteorological Department (TWD). Wind Rose [Internet]. Bangkok, Thailand; 2008 [Cites 20 November 2020]. Assessed from; http://www.aws-observation.tmd.go.th/web/aws/aws_windroses.asp.
17. Adamiec E and Jarosz-Krzemińska. Human health risk assessment associated with contaminants in the finest fraction of sidewalk dust collected in proximity to trafficked roads. *Sci Rep*. 2019;9(16364):doi;10.1038/s41598-019-52815-0.
18. Olufemi AC, Mji A and Mukhola MS. Health risks of exposure to air pollutants among students in schools in the vicinities of coal mines. *Energ Explor Exploit*. 2019;37(6):1638-11656.
19. Hamastia A, Hermawati E, Marina R and Andrian R. Estimated analysis on environmental health risk of 2.5 microns particulate matter to urban communities in

- South Jakarta. *Indian J Public Health Res Dev.* 2019;10(2):332-337.
20. Liang B, Li X-L, Ma K and Liang S-X. Pollution characteristics of metal pollutants in $PM_{2.5}$ and comparison of risk on human health in heating and non-heating seasons in Baoding, China. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2019;170:166-171.
 21. Mo Z, Wang Z, Mao G, Pan X, Wu L, Xu P, Chen S, Wang A, Zhang Y, Luo J, Ye X, Wang X, Chen Z and Lou X. Characterization and health risk assessment of $PM_{2.5}$ -bound polycyclic aromatic hydrocarbons in 5 urban cities of Zhejiang province, China. *Sci Rep.* 2019; 9(1): 7296. DOI: 10.1038/s41598-019-43557-0.
 22. Labrada-Delgado G, Aragon-Pina A, Campos-Ramos A, Castro-Romero T, Amador-Munoz O and Villalobos-Pietrini R. Chemical and morphological characterization of $PM_{2.5}$ collected during MILAGRO campaign using scanning electron microscopy. *Atmos Pollut Res.* 2012;3:289-300.
 23. Xue H, Liu G, Zhang H, Hu R and Wang X. Elemental composition, morphology and sources of fine particulates ($PM_{2.5}$) in Hefei city, China. *Aerosol Air Qual Res.* 2019;19: 1688-1696.
 24. Chithra VS and Shiva Nagendra SM. Impact of outdoor meteorology on indoor PM_{10} , $PM_{2.5}$ and PM_1 concentrations in a naturally ventilated classroom. *Urban Clim.* 2014;10:77-91.
 25. U.S. EPA (United States-Environmental Protection Agency). *Exposure Factors Handbook: 2011 edition*; National Center for Environmental Assessment [Internet]. Washington, DC; 2011 [Cites 20 December 2020]. Assessed from; <http://www.epa.gov/ncea/efh>.
 26. Miller MD, Marty MA, Arcus A, Brown J, Morry D, Sandy M. Differences between Children and Adults: implications for Risk Assessment at California EPA. *Int J Toxicol.* 2002;21:403-418.
 27. Li CY, Ding M, Yang Y, Zhang P, Li Y, Wang Y, Huang L, Yang P, Wang M, Sha X, Xu Y, Guo C and Shan Z. Portrait and classification of individual haze particulates. *J Environ Prot.* 2016;7:1355-1379.