

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการได้รับฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูแล้ง
จากพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง
Health Risk Assessment of $PM_{2.5}$ exposure in Dry season from
Map Ta Phut Town Municipality in Rayong Province

สุกัญญา พันธุ์, กนิษฐา แก่นบุบผา, ณัฐนันท์ พลอยพรม, ศุภิระ บุตรดี*
Suganya Phantu, Kanittha Kaenbubpha, Nattanan Ployprom, Susira Bootdee*

คณะวิทยาศาสตร์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง
Faculty of Science, Energy and Environment, King Mongkut's University of Technology North Bangkok,
Rayong Campus

บทคัดย่อ

ฝุ่นละอองหรือฝุ่น $PM_{2.5}$ เป็นสารมลพิษทางอากาศที่มีผลต่อปัญหาสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจและอัตราการเสียชีวิต การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ปลดปล่อยมาจากพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง และนำมาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ในช่วงฤดูแล้ง โดยตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ สามารถเก็บบนกระดาษกรองใยหิน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบปริมาตรต่ำ พบว่า มีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ มีค่าอยู่ในช่วง $3.9-136.0 \mu g/m^3$ และมีค่าเฉลี่ย $44.0 \pm 28.4 \mu g/m^3$ นอกจากนี้ เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพด้วยการคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) พบว่า ค่าเฉลี่ย HQ ของฝุ่น $PM_{2.5}$ ของเด็กในช่วงฤดูแล้งมีค่ามากกว่าผู้ใหญ่และมีค่าเกิน 1.0 ซึ่งแสดงว่า มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจาก เด็กมีความต้องการปริมาณออกซิเจนสูงจึงส่งผลให้อัตราการหายใจต่อน้ำหนักตัวสูง เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งปอดในมนุษย์ (R_{IC}) จากการได้รับฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง 10^{-6} ถึง 10^{-4} ซึ่งหมายความว่า ความเสี่ยงในการก่อมะเร็งอาจเกิดขึ้นได้ ผลการวิจัยนี้จะสรุปได้ว่า ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ จะไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ อย่างไรก็ตาม ในระยะยาวเด็กมีโอกาสได้รับฝุ่น $PM_{2.5}$ เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้มากกว่าผู้ใหญ่ ซึ่งอัตราการหายใจเข้าเฉลี่ยของเด็กจะมีค่าเป็นสามเท่าของผู้ใหญ่

คำสำคัญ: ฝุ่น $PM_{2.5}$ มลพิษทางอากาศ การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ)
ค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (R_{IC})

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

Abstract

Delicate particulate matter (PM_{2.5}) is a hazardous air pollutant associated with human health problems, affecting respiratory and mortality. This research investigates PM_{2.5} emitted from Maptaphut town Municipality, Rayong province, to assess the human health risk. PM_{2.5} samples were collected on quartz fiber filters using a mini-volumetric air sampler during dry seasons. The result found that the PM_{2.5} concentrations ranged 3.9-136.0 µg/m³, mean 44.0±28.4µg/m³. Moreover, the health risk assessments of exposure PM_{2.5} calculated by Hazard quotient (HQ) showed that the average HQ values of children were higher than adults and exceeded 1.0, indicating the potential health risks. Children have a higher resting metabolic rate and oxygen demand rate per unit of body weight than adults because of their rapid growth and relatively larger lung surface area per unit of body weight. Furthermore, the individual lifetime cancer risk (R_{lc}) values induced by PM_{2.5} were 10⁻⁶ to 10⁻⁴ for children and adults, which indicated a potential risk. The results of the research concluded that the concentrations of PM_{2.5} were not affected human health. However, in the long term, children will uptake more PM_{2.5} into the respiratory tract than adults with inhalation rates for child being three times higher than adult.

Keywords: PM_{2.5}, Air pollution, Health risk assessment, Hazard quotient (HQ), The individual lifetime cancer risk (R_{lc})

1. บทนำ

เมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 ตามมติคณะรัฐมนตรี ให้มีการดำเนินการแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละออง พ.ศ. 2562-2567” เพื่อใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการดำเนินการด้านการแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเป็นรูปธรรม และรัฐบาลได้มีการประกาศให้สภาวะฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือฝุ่น PM_{2.5} เป็นสภาวะฉุกเฉินที่จะต้องรับมือการแก้ไขโดยเร่งด่วน เนื่องจากส่งผลกระทบต่อทัศนวิสัยภายในประเทศและส่งผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราผู้ป่วยด้านทางเดินหายใจและทางผิวหนัง ทางรัฐบาลจึงได้ประกาศมาตรการต่างๆ เพื่อลดและควบคุมปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ที่สูงเกินมาตรฐาน โดยมีการออกนโยบายที่มีการเชื่อมโยงระบบขนส่งสาธารณะและส่งเสริมการใช้รถไฟฟ้าภายในปี พ.ศ. 2564 ด้านการเกษตรลดการเผาไร่อ้อยร้อยละ 100 และใช้มาตรฐาน Euro 6 ในปี พ.ศ. 2565 และในปี พ.ศ. 2567 ให้ใช้น้ำมันที่มีกำมะถันไม่เกิน 10 ppm เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาฝุ่น PM_{2.5} ไม่ได้เป็นปัญหาระดับประเทศอย่างเดียว ยังเป็นปัญหาระหว่างประเทศด้วย โดยเฉพาะปัญหามลพิษทางอากาศข้ามแดน รวมถึงปัญหาด้านอุตุนิยมวิทยาด้วย ล้วนส่งผลกระทบต่อการกระจายและกักเก็บฝุ่น PM_{2.5}

ภายในประเทศด้วย (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) ดังนั้นปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ จึงเป็นปัญหาที่สำคัญที่จะต้องแก้ไข เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อประชาชนภายในประเทศ

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (ฝุ่น $PM_{2.5}$) หรือฝุ่นละอองเล็ก (Fine Particles) มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน ซึ่งเป็นอนุภาคของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ที่อยู่ในสภาพกึ่งระเหย (Semi-volatile) แต่ส่วนใหญ่ ฝุ่น $PM_{2.5}$ จะเป็นอนุภาคทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในอากาศ เมื่อมีก๊าซต่างๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถูกเปลี่ยนรูปในอากาศ โดยทำปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคจากแก๊สไปอยู่ในรูปของอนุภาคที่อยู่ในอากาศ มีช่วงเวลาที่อยู่ในอากาศเป็นระยะเวลายาวนาน เป็นวันหรือสัปดาห์และสามารถเคลื่อนที่ไปได้ (Cao et al., 2013)

ฝุ่น $PM_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการจราจร การเผาป่าไม้ การเผาในพื้นที่โล่ง และโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น (Li et al., 2018) ฝุ่น $PM_{2.5}$ เป็นฝุ่นขนาดเล็กมาก สามารถเข้าไปอุดตันของร่างกายและสามารถเล็ดลอดผ่านผนังถุงลมเข้าสู่เส้นเลือดฝอยและกระจายอยู่ในกระแสเลือด มีการศึกษาทางระบาดวิทยา พบว่า ฝุ่น $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการตายและอัตราการเจ็บป่วยจากโรคต่างๆ (Li, Zhou & Zhang, 2018). Song et al. (2017) รายงานว่า ฝุ่น $PM_{2.5}$ มีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งปอด (Lung cancer) ร้อยละ 21.9 การเกิดโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) ร้อยละ 18.7 โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) ร้อยละ 40.3 และเกิดโรคหัวใจขาดเลือด (Ischemic Heart Disease; IHD) ร้อยละ 26.8 นอกจากนี้ การประเมินสถานการณ์ทั่วโลก พบว่า ประชากรประมาณ 3.3 ล้านคนที่เสียชีวิตก่อนวัยอันควรในแต่ละปีที่เกิดจากมลพิษทางอากาศที่เกิดจากฝุ่น $PM_{2.5}$ (Lelieveld et al., 2015) ในหลายประเทศมีการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ ที่มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรม Zhang et al. (2020) ได้ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศจากเขตเมืองอุตสาหกรรม ในภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศจีน พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ ฤดูร้อน ฤดูใบไม้ร่วง และฤดูหนาว มีค่า 21.0 ± 10.5 , 19.8 ± 5.96 , 34.5 ± 13.6 และ $50.0 \pm 15.3 \mu g/m^3$ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม พบว่า ช่วงฤดูหนาวมีความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ เกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศจีน ($35 \mu g/m^3$) ประมาณ 76.2% ซึ่งปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ มีผลกระทบในช่วงฤดูหนาว โดยมีแหล่งกำเนิดหลักจากการเผาไหม้ถ่านหิน นอกจากนี้ การศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของเมืองเทียนจิน ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรถ่านหินที่สำคัญ รวมถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และใช้พลังงานจากถ่านหินเพื่อผลิต อะลูมิเนียม เหล็ก ซีเมนต์ และเซรามิค พบว่า มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง $23.0 - 367 \mu g/m^3$ เฉลี่ย $93.5 \mu g/m^3$ เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยรายปีตามมาตรฐานของ WHO ($10 \mu g/m^3$) และประเทศจีน ($35 \mu g/m^3$) มีค่าเกินมาตรฐาน (Fang et al, 2020) สำหรับประเทศไทย Narita et al. (2019) ทำการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เขตพญาไท กรุงเทพฯ และพื้นที่ใกล้อุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี ในปี 2016 พบว่า ค่าเฉลี่ยความ

เข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ใกล้อุตสาหกรรมนวนคร ($22.5 \mu g/m^3$) มีค่ามากกว่าพื้นที่เขตเมืองของกรุงเทพฯ ($20.6 \mu g/m^3$) อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ไม่เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปีของกรมควบคุมมลพิษ ($25 \mu g/m^3$)

งานวิจัยจำนวนมากรายงานว่ามีการปนเปื้อนที่ตรงอยู่ด้วยฝุ่น $PM_{2.5}$ อาจส่งผลต่อสุขภาพของมนุษย์เมื่อสัมผัส อาทิเช่น สารก่อมะเร็ง โลหะหนัก เป็นต้น เช่น งานวิจัยของ Liu et al. (2018) รายงานการศึกษาโลหะหนักที่ตรงอยู่ด้วยฝุ่น $PM_{2.5}$ ในประเทศจีน พบว่า โลหะหนักที่ตรงอยู่ด้วยฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ปลดปล่อยมาจากอุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง 60% คือ โครเมียม (Cr), โคบอลต์ (Co), นิกเกิล (Ni), สารหนู (As) และพลวง (Sb) ขณะที่เมืองเป่ดิ่ง มณฑลเหอเป่ย์ เป็นอุตสาหกรรมประเภททำกระดาษ ขนสัตว์ สิ่งทอ พืชและย้อมสี ยา และวัสดุก่อสร้าง พบว่า มีโลหะหนักที่ตรงอยู่ด้วยฝุ่น $PM_{2.5}$ คือ ตะกั่ว (Pb) > แมงกานีส (Mn) > โครเมียม (Cr) > สารหนู (As) > พลวง (Sb) > ซีลีเนียม (Se) (Liang et al., 2019) นอกจากนี้ ฝุ่น $PM_{2.5}$ ยังพบสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs) ที่ตรงอยู่ โดยเฉพาะสารเบนโซ(เอ)ไพรีน (Benzo(a)pyrene; BaP) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งกลุ่มที่ 1 คือ ก่อมะเร็งในมนุษย์ (Fang et al., 2020; Mo et al., 2019) จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าฝุ่น $PM_{2.5}$ มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ และอาจส่งผลต่อเศรษฐกิจของประเทศด้วย โดยจะเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับนำไปเป็นแนวทางของการบริหารจัดการมลพิษทางอากาศที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตของประชากรในเขตพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ตามนโยบายแผนพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ที่มุ่งเน้นให้การเติบโตทางเศรษฐกิจ สังคม ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมให้จังหวัดระยองมีเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนต่อไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ จากพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง ในช่วงฤดูแล้ง
- 2.2 เพื่อประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์จากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศจากพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 พื้นที่ศึกษา

นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด เป็นนิคมอุตสาหกรรมที่สำคัญของจังหวัดระยอง ประเทศไทย โดยตั้งอยู่ในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมืองระยอง มีเนื้อที่ประมาณ 9,845 ไร่ ประกอบด้วยนิคมอุตสาหกรรม จำนวน 4 แห่ง คือ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด นิคมอุตสาหกรรมดับบลิวเอชเอตะวันออก นิคมอุตสาหกรรมผาแดง และนิคมอุตสาหกรรมอาร์ ไอ แอล ซึ่งมีโรงงานในเขตนิคมอุตสาหกรรม จำนวน 190 โรงงาน และโรงงานนอกเขตนิคมอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ในอำเภอเมืองระยอง จำนวน 505 โรงงาน และมีพนักงาน

โรงงานประมาณ 32,672 คน โดยสามารถแบ่งเป็นประเภทของโรงงานหลัก ๆ 5 ลำดับ คือ กลุ่มอุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี จำนวน 143 โรงงาน กลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะ จำนวน 88 โรงงาน กลุ่มอาหาร จำนวน 47 โรงงาน กลุ่มผลิตภัณฑ์พลาสติก จำนวน 41 โรงงาน และกลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะ จำนวน 39 โรงงาน เป็นต้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2564) นอกจากนี้ แผนพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) มีการกำหนดพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดเป็นเขตส่งเสริมนิคมอุตสาหกรรม Smart Park เพื่อรองรับอุตสาหกรรมการเกษตรและเทคโนโลยีชีวภาพ อุตสาหกรรมหุ่นยนต์ อุตสาหกรรมการบินและโลจิสติกส์ อุตสาหกรรมดิจิทัล อุตสาหกรรมการแพทย์ครบวงจรและการท่องเที่ยว กลุ่มรายได้ดีและการท่องเที่ยวเชิงสุขภาพ ในพื้นที่ 1,466 ไร่ (ประกาศคณะกรรมการนโยบายการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก, 2561) ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวอาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศที่อาจจะเพิ่มขึ้นในอนาคต

3.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5}

ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบปริมาตรต่ำ (Mini Volumetric air sampler ยี่ห้อ Airmetrics ประเทศสหรัฐอเมริกา) โดยตั้งไว้บนดาดฟ้าของสถานีตำรวจภูธรมาบตาพุด ซึ่งมีความสูง 9 เมตรจากระดับพื้นดิน และจุดเก็บตัวอย่างอยู่ห่างพื้นที่เขตอุตสาหกรรมประมาณ 2 กิโลเมตร (ภาพที่ 1) โดยการเก็บฝุ่น PM_{2.5} ไว้บนกระดาษกรองแบบใยหิน (Quartz fiber filter) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47.0 มิลลิเมตร (ยี่ห้อ Whatman ประเทศจีน) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ภาพที่ 2) เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยระบบกราวิเมตริก (Gravimetric method) ซึ่งเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} จำนวน 32 ตัวอย่าง ตั้งแต่เดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนมีนาคม 2564 ในช่วงฤดูแล้ง (Dry season)

การเตรียมกระดาษกรองแบบใยหินก่อนนำไปเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ขั้นแรกนำกระดาษกรองไปเผาในเตาเผาอุณหภูมิสูงที่ 800 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในกระดาษกรอง หลังจากนั้นเผากระดาษกรองแล้วไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 5 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Mettler-Toledo) จากนั้นนำไปเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษาเสร็จแล้ว นำฝุ่น PM_{2.5} ที่อยู่บนกระดาษกรองมาเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาคำนวณน้ำหนักสุทธิ (มวล) ตามสมการที่ 1

$$\text{Conc. PM}_{2.5} \left(\mu\text{g}/\text{m}^3 \right) = \frac{W_{\text{after}} - W_{\text{before}}}{V_{\text{act}}} \times 10^3 \quad (1)$$

เมื่อ W_{after} คือ น้ำหนักฝุ่นละอองรวมกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (mg)

W_{before} คือ น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (mg)

V_{act} คือ ปริมาตรอากาศที่ใช้เก็บตัวอย่าง (~7.0 m³)



แหล่งที่มา: Google map

ภาพที่ 1 แผนที่การเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่อำเภอปลวกแดง จังหวัดระยอง



ภาพที่ 2 การเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองแบบปริมาตรต่ำ

3.3 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์

การศึกษาประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ (Health risk assessment) โดยคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง หรือ ค่า Hazard Quotient (HQ) จากการสัมผัสกับฝุ่น PM_{2.5} ทางการหายใจ (Adamiec & Jarosz-Krzemińska, 2019; Olufemi, Mji, & Mukhola, 2019) แสดงดังสมการที่ 2 และการคำนวณประเมินค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวัน (The Average Daily Dose; ADD) แสดงดังสมการที่ 4 และตารางที่ 1 ดังนี้

$$HQ = \frac{ADD}{RfD} \quad (2)$$

เมื่อ	HQ	คือ ค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient)
	ADD	คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวัน (μg/kg•day)
	RfD	คือ Inhalation Reference Dose หรือค่ามาตรฐานกำหนด (μg/kg•day)

สำหรับค่า RfD (Inhalation reference Dose) คือ ปริมาณสารที่สามารถหายใจรับเข้าสู่ร่างกายในแต่ละวัน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 (Hamastia et al., 2019) โดยจะใช้ค่าความเข้มข้นอ้างอิงมาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จากการได้รับสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} ด้วยการหายใจ (Inhalation reference Concentration; RfC) จากองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา (United States-Environmental Protection Agency; US-EPA NAAQS) ซึ่งมีค่า 35 μg/m³ (US-EPA NAAQS, 2015) และกรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department; PCD) กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มีค่ามาตรฐาน 50 μg/m³ (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2553)

$$RfD = \frac{RfC \times IR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (3)$$

เมื่อ	RfD	คือ ปริมาณสารที่สามารถหายใจรับเข้าสู่ร่างกายในแต่ละวัน หรือ Inhalation reference Dose (μg/kg•day)
	RfC	คือ ค่าความเข้มข้นอ้างอิงมาตรฐานคุณภาพอากาศจากการได้รับสัมผัสฝุ่น PM _{2.5} ด้วยการหายใจ (Inhalation reference Concentration)
	IR	คือ Inhalation Rate หรืออัตราการสัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา (m ³ /hour) คือ 0.83 m ³ /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) = ED X 365 days/year

การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์ สามารถคำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (Hazard Quotient; HQ) โดยที่ค่า HQ <1.0 แสดงว่า ไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ และ HQ >1.0 แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์

$$ADD = \frac{C_i \times InhR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (4)$$

เมื่อ	ADD	คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวัน ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$)
	C_i	คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	InhR	คือ อัตราการสัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา (m^3/day)
	EF	คือ ความถี่ในการสัมผัส (day/year: 350 days/year)
	ED	คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (year)
	BW	คือ น้ำหนักร่างกายเฉลี่ย (kg)
	AT	คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเฉลี่ย (day) = ED x 365 days/year

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์จากการสัมผัสฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ เพื่อประเมินความเสี่ยงของสุขภาพมนุษย์ (Olufemi et al., 2019, Mji, & Mukhola, 2019)

พารามิเตอร์	เด็ก ^[20]	ผู้ใหญ่
BW (kg)	15	71.8
EF (days/year)	350	350
ED (years)	12	30
InhR (m^3/day)	8.6	21.4
AT (ED×365 days/year) (days)	4,380	10,950
SF (per $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$)	6.2×10^{-5}	5.2×10^{-6}
RfD ($\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$)	US-EPA	9.6
	PCD	13.6

3.4 การประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็ง

การประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์จากการได้รับฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ คำนวณจากค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต หรือ ค่า R_{ic} (The individual lifetime cancer risk) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5 (Greene & Morris, 2006) ซึ่งคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันตลอดช่วงชีวิต หรือ LADD (The potential Lifetime Average Daily Dose) และค่าสัมประสิทธิ์ความชันในการก่อมะเร็งหรือ SF (The Slope Factor for Inhalation) ดังสมการที่ 6 และ 7 ตามลำดับ

$$R_{ic} = LADD \times SF \quad (5)$$

- เมื่อ R_{ic} คือ ค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต
LADD คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันตลอดช่วงชีวิต ($\mu\text{g/kg-day}$)
SF คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความชันในการก่อมะเร็ง (per $\mu\text{g/kg-day}$)

หากค่า R_{ic} มีค่าน้อยกว่า 10^{-6} (หนึ่งในล้าน) แสดงว่า ไม่มีความเสี่ยงในการก่อมะเร็ง หรือความเสี่ยงในก่อมะเร็งต่ำ (Low potential health risk) หากมีค่าอยู่ในช่วง 10^{-6} - 10^{-4} แสดงว่า มีความเสี่ยงในการก่อมะเร็งอาจเกิดขึ้นได้ (potential health risk) และถ้ามีค่ามากกว่า 10^{-4} แสดงว่า มีความเสี่ยงในการก่อมะเร็งที่สูง (High potential health risk) (Liao & Chiang, 2006)

$$LADD (\mu\text{g/kg-day}) = \frac{C \times InhR \times ED}{BW \times 70 \text{ years}} \quad (6)$$

- เมื่อ LADD คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันในตลอดช่วงชีวิต ($\mu\text{g/kg-day}$)
 C_i คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g/m}^3$)
InhR คือ Inhalation Rate หรืออัตราการสัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา (m^3/day)
ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (year)
BW คือ น้ำหนักร่างกายเฉลี่ย (kg)

$$SF (\text{per } \mu\text{g/kg-day}) = \frac{UR}{BW \times InhR} \quad (7)$$

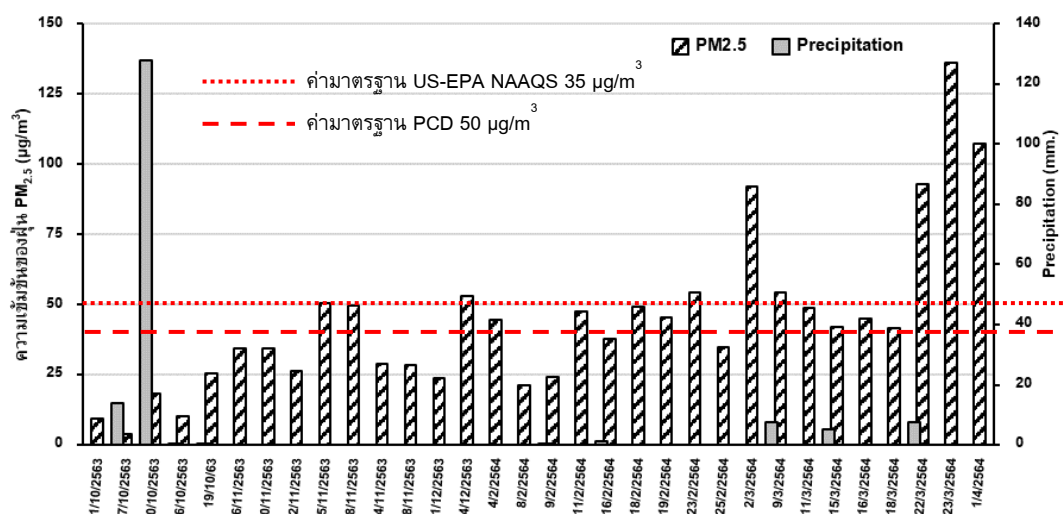
- เมื่อ SF คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความชันในการก่อมะเร็ง (per $\mu\text{g/kg-day}$) แสดงในตารางที่ 1
InhR คือ Inhalation Rate หรืออัตราการสัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา (m^3/day)
BW คือ น้ำหนักร่างกายเฉลี่ย (kg)
UR คือ Unit Risk (per $\mu\text{g/m}^3$) สำหรับฝุ่น $PM_{2.5}$ คือ 0.008 per $\mu\text{g/m}^3$ (Greene & Morris, 2006)

4. ผลการวิจัย

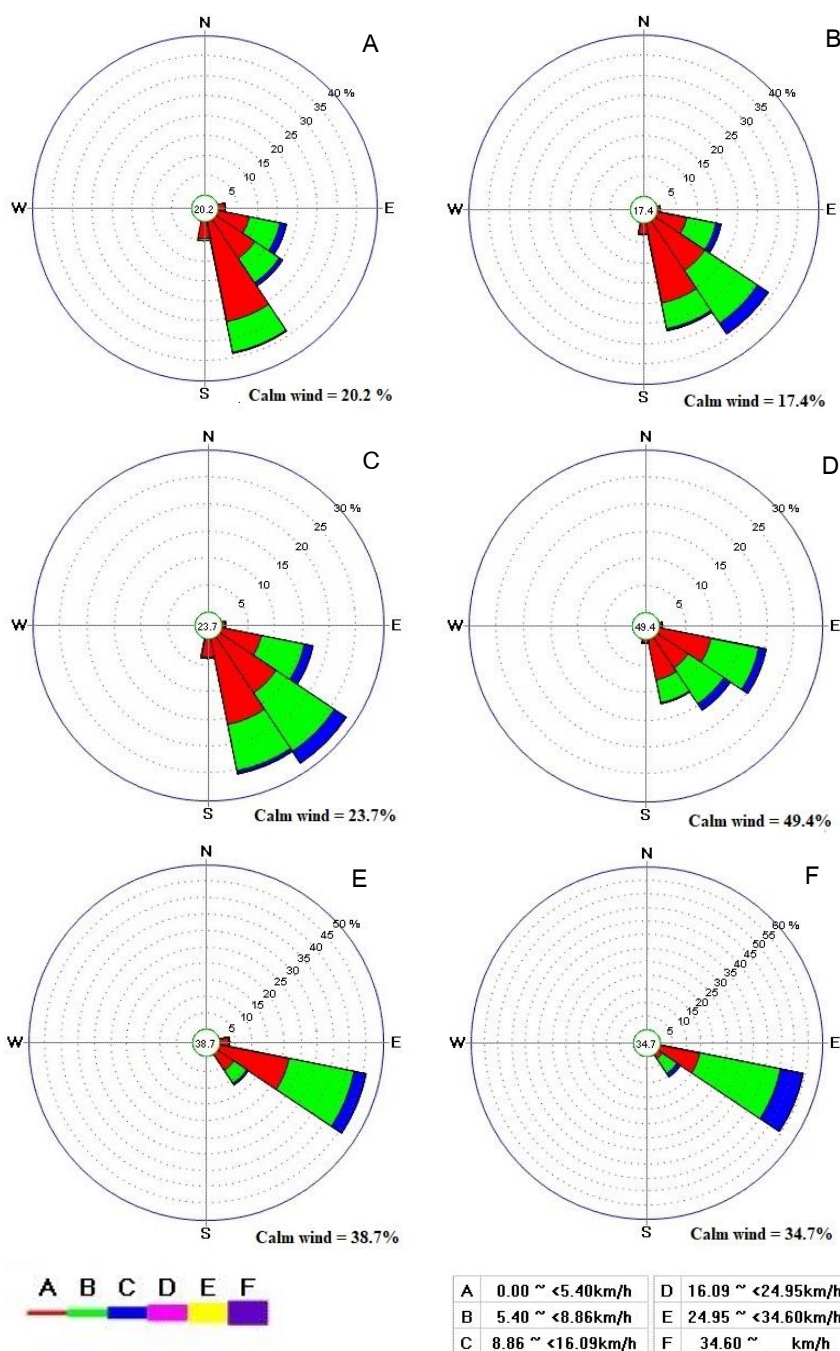
4.1 ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด

จากภาพที่ 3 และตารางที่ 2 แสดงปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง ช่วงฤดูแล้ง พบว่า มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง 3.9-136.0 $\mu\text{g/m}^3$ มีค่าเฉลี่ย $44.0 \pm 28.4 \mu\text{g/m}^3$ และค่ามัธยฐาน 41.7 $\mu\text{g/m}^3$ เมื่อนำผลการศึกษามาเทียบกับ

งานวิจัยก่อนหน้านี้ ในพื้นที่เขตเมือง จำนวน 5 เมือง ของมณฑลเจ้อเจียง ประเทศจีน ซึ่งเป็นมณฑลที่สำคัญ ซึ่งมีพื้นที่เขตอุตสาหกรรมและชุมชนหนาแน่น พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของแต่ละเมืองเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ เมืองหางโจว ($79.4 \pm 40.1 \mu g/m^3$) > เมืองหนิงโป ($63.0 \pm 35.9 \mu g/m^3$) > เมืองจินหัว ($61.7 \pm 32.4 \mu g/m^3$) > เมืองลี่ส่วย ($49.0 \pm 24.4 \mu g/m^3$) > เมืองโจวซาน ($41.9 \pm 31.6 \mu g/m^3$) (Mo et al., 2019) โดยอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมเคมีประเภทสิ่งทอและเสื้อผ้า Fang et al., (2020) รายงานการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของเมืองเทียนจิน ซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรถ่านหินที่สำคัญ รวมถึงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และใช้พลังงานจากถ่านหินเพื่อผลิต อะลูมิเนียม เหล็ก ซีเมนต์ และเซรามิก พบว่ามีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง $23.0 - 367 \mu g/m^3$ เฉลี่ย $93.5 \mu g/m^3$ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ มากกว่า 1-2 เท่า เมื่อเทียบกับงานวิจัยนี้ นอกจากนี้ Hamastia et al. (2019) รายงานผลปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศในพื้นที่เขตเมืองอุตสาหกรรมทางตอนใต้ของกรุงจาการ์ตา ประเทศอินโดนีเซีย เมื่อปี 2012 พบว่า มีค่าอยู่ในช่วง 32-91 $\mu g/m^3$ เฉลี่ย 41 $\mu g/m^3$ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการวิจัยนี้ สำหรับประเทศไทย มีการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศใกล้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี ในช่วงฤดูแล้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ มีค่า $32.6 \pm 11.2 \mu g/m^3$ (Narita et al., 2019)



ภาพที่ 3 ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และปริมาณน้ำฝนรวมในพื้นที่จังหวัดระยอง



ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา (2564)

ภาพที่ 4 ฝั่งลม (Wind rose) ของความเร็วลมและทิศทางลมที่พัดผ่านในพื้นที่จังหวัดระยอง; A: ตุลาคม 2563; B: พฤศจิกายน 2563; C: ธันวาคม 2563; D: มกราคม 2564; E: กุมภาพันธ์ 2564; F: มีนาคม 2564

เมื่อนำผลการศึกษาของปริมาณความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศรายวันของพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง ช่วงฤดูแล้ง มาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเฉลี่ยรายวัน (24 ชั่วโมง) ของกรมควบคุมมลพิษ ($50 \mu g/m^3$) และองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา ($35 \mu g/m^3$) พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศช่วงฤดูแล้งมีค่าเกินมาตรฐานทั้ง 2 องค์การ ประมาณร้อยละ 25 และ 56.2 ตามลำดับ (ภาพที่ 3) อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ไม่เกินค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ขณะที่มาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา มีค่าเฉลี่ยเกินค่ามาตรฐาน จากภาพที่ 3 ในช่วงเดือนตุลาคม 2563 เป็นช่วงปลายฤดูฝน ซึ่งมีปริมาณฝนตกสูง ทำให้มีปริมาณความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ น้อย ขณะที่เมื่อเริ่มเข้าสู่เดือนพฤศจิกายน 2563 ถึงเดือนมีนาคม 2564 พบว่า ปริมาณฝนเริ่มลดลงจึงทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณฝนมีผลต่อการชะฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ (Chithra & Shiva Nagendra, 2014) ภาพที่ 4 แสดงผังลม (Wind rose) ของความเร็วลมและทิศทางลมในพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด ในช่วงเดือนตุลาคม 2563 ถึงเดือนมีนาคม 2564 พบว่า ทิศทางลมทั้งหมดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ มีความเร็วลมประมาณ 0.00 ถึง <16.09 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และลมสงบ (Calm wind) อยู่ในช่วงร้อยละ 17.4 ถึง 49.4 ซึ่งความเร็วลมที่มีค่าต่ำและสภาวะลมสงบ จะส่งผลต่อการสะสมของสารมลพิษในบรรยากาศ (Chithra & Shiva Nagendra, 2014) อย่างไรก็ตาม พื้นที่ศึกษาของการวิจัยในครั้งนี้ อยู่ใกล้อุตสาหกรรมโรงกลั่นน้ำมัน เขตชุมชน และสถานที่ราชการที่ ดังนั้น อาจจะสรุปได้ว่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด อาจจะมาจากการอุตสาหกรรมและการจราจรหนาแน่นที่เกิดขึ้นในพื้นที่ นอกจากนี้ ในช่วงฤดูแล้งจึงต้องตระหนักถึงผลกระทบจากฝุ่น $PM_{2.5}$ ต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุดด้วยเช่นกัน

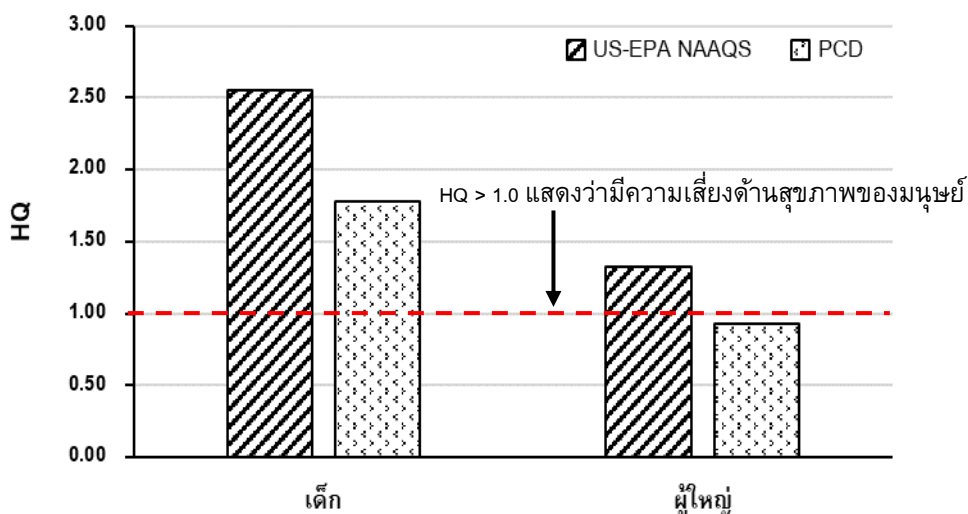
4.2 การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์จากฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด

ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ (Health risk assessment) คำนวณจากค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) จากการสัมผัสกับฝุ่น $PM_{2.5}$ ทางการหายใจของเด็กและผู้ใหญ่ ในพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง แสดงได้ดังตารางที่ 2 ทำการศึกษาปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวัน (ADD) ของเด็กและผู้ใหญ่ พบว่า ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวัน มีค่า 24.3 ± 15.6 และ $12.6 \pm 8.1 \mu g/kg \cdot day$ ตามลำดับ

จากภาพที่ 5 และตารางที่ 3 แสดงค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) จากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยการหายใจของเด็กและผู้ใหญ่ พบว่า ค่าเฉลี่ย HQ ของฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยการหายใจตามมาตรฐานองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา (US-EPA NAAQS) มีค่า 2.55 และ 1.32 ตามลำดับ ในขณะที่ค่าเฉลี่ย HQ ของฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยการหายใจตามมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ (PCD) มีค่า 1.78 และ 0.93 ตามลำดับ ค่าเฉลี่ย HQ ของฝุ่น $PM_{2.5}$ ของเด็กและผู้ใหญ่มีค่าเกินกว่า 1.0 ซึ่งแสดงว่า มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ และพบว่าค่า HQ ของฝุ่น $PM_{2.5}$ จะผันแปรตามความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ นั่นคือ ถ้าความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศสูงจะพบค่า HQ ของฝุ่น $PM_{2.5}$ จะมีค่าเกิน 1.0 จากการศึกษาการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพมนุษย์ก่อนหน้านี้ในพื้นที่เขตเมืองอุตสาหกรรมทางภาคใต้ของเมืองจันทบุรี ประเทศอินโดนีเซีย พบว่า มีค่า

HQ ของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง 0.22-1.75 เฉลี่ย 0.56 (ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง $32-91 \mu g/m^3$ เฉลี่ย $41 \mu g/m^3$) แสดงว่าไม่มีความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ (Hamastia et al., 2019) นอกจากนี้ Prasertsin & Nathapindhu (2020) รายงานค่าเฉลี่ย HQ ของจากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยการหายใจของเด็กและผู้ใหญ่ ในพื้นที่อุตสาหกรรมซีเมนต์ (5.92 ± 3.56 และ 1.17 ± 0.70) > พื้นที่เขตเมือง (4.79 ± 3.62 และ 0.95 ± 0.72) > พื้นที่โรงไฟฟ้าถ่านหิน (3.98 ± 4.02 และ 0.79 ± 0.80) > พื้นที่อุตสาหกรรมปิโตรเคมี (3.31 ± 2.91 และ 0.65 ± 0.58) จากการศึกษาี้สามารถสรุปได้ว่า เด็กช่วงอายุ 1-11 ปี ควรหลีกเลี่ยงการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อความเสี่ยงด้านสุขภาพ

อย่างไรก็ตาม การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์ พบว่า มีค่า HQ ของเด็กสูงกว่าผู้ใหญ่ เนื่องจากปัจจัยด้านสรีรวิทยาระหว่างผู้ใหญ่และเด็กที่แตกต่างกัน เด็กมีความต้องการปริมาณออกซิเจนสูงจึงส่งผลให้อัตราการหายใจต่อน้ำหนักตัวสูงขึ้นด้วย (Prasertsin & Nathapindhu, 2020) ซึ่งอัตราการหายใจเข้าเฉลี่ยของเด็กจะเป็นสามเท่าของผู้ใหญ่ (US-EPA, 2011) ดังนั้น ระยะยาวเด็กจะดูดซึมฝุ่นละอองในอากาศเข้าสู่ทางเดินหายใจมากกว่าผู้ใหญ่ และอีกปัจจัย คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของทางเดินหายใจของเด็กมีขนาดเล็กกว่าผู้ใหญ่ ทำให้เด็กอัตราการหายใจเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลทำให้มีโอกาสการสะสมของฝุ่นละอองมากขึ้นได้ (Miller et al., 2002)



ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) จากฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวัน (ADD) และค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันในตลอดช่วงชีวิต (LADD)

วันที่เก็บตัวอย่าง	ฝุ่น $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	ADD ($\mu g/kg\text{-day}$)		LADD ($\mu g/kg\text{-day}$)	
		เด็ก	ผู้ใหญ่	เด็ก	ผู้ใหญ่
1 ต.ค. 2563	9.5	5.2	2.7	0.9	1.2
7 ต.ค. 2563	3.9	2.1	1.1	0.4	0.5
10 ต.ค. 2563	18.1	9.9	5.2	1.8	2.3
16 ต.ค. 2563	10.3	5.7	3.0	1.0	1.3
19 ต.ค. 2563	25.4	14.0	7.3	2.5	3.2
6 พ.ย. 2563	34.5	19.0	9.9	3.4	4.4
10 พ.ย. 2563	34.5	19.0	9.9	3.4	4.4
12 พ.ย. 2563	26.5	14.6	7.6	2.6	3.4
15 พ.ย. 2563	50.7	27.9	14.5	5.0	6.5
18 พ.ย. 2563	49.5	27.2	14.1	4.9	6.3
24 พ.ย. 2563	28.7	15.8	8.2	2.8	3.7
28 พ.ย. 2563	28.6	15.7	8.2	2.8	3.7
1 ธ.ค. 2563	23.7	13.0	6.8	2.3	3.0
4 ธ.ค. 2563	53.0	29.1	15.1	5.2	6.8
4 ก.พ. 2564	44.7	24.6	12.8	4.4	5.7
8 ก.พ. 2564	21.2	11.7	6.1	2.1	2.7
9 ก.พ. 2564	24.1	13.2	6.9	2.4	3.1
11 ก.พ. 2564	47.7	26.2	13.6	4.7	6.1
16 ก.พ. 2564	37.9	20.8	10.8	3.7	4.8
18 ก.พ. 2564	49.0	27.0	14.0	4.8	6.3
19 ก.พ. 2564	45.5	25.0	13.0	4.5	5.8
23 ก.พ. 2564	54.4	29.9	15.5	5.3	6.9
25 ก.พ. 2564	34.8	19.1	9.9	3.4	4.4
2 มี.ค. 2564	91.9	50.5	26.3	9.0	11.7
9 มี.ค. 2564	54.3	29.9	15.5	5.3	6.9
11 มี.ค. 2564	48.6	26.7	13.9	4.8	6.2
15 มี.ค. 2564	42.0	23.1	12.0	4.1	5.4
16 มี.ค. 2564	45.1	24.8	12.9	4.4	5.8
18 มี.ค. 2564	41.5	22.8	11.9	4.1	5.3
22 มี.ค. 2564	92.8	51.0	26.5	9.1	11.8
23 มี.ค. 2564	136.0	74.8	38.9	13.4	17.4
1 เม.ย. 2564	107.3	59.0	30.7	10.5	13.7
ค่าเฉลี่ย (Mean)	44.2±28.4	24.3±15.6	12.6±8.1	4.3±2.8	5.6±3.6
ค่ามัธยฐาน (Median)	41.7	22.9	11.9	4.1	5.3

ตารางที่ 3 ค่า HQ ของฝุ่น PM_{2.5} ตามมาตรฐานองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา (US-EPA NAAQS)
กรมควบคุมมลพิษ (PCD) และค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (R_c)

วันที่เก็บตัวอย่าง	HQ – US-EPA NAAQS		HQ – PCD		R _c	
	เด็ก	ผู้ใหญ่	เด็ก	ผู้ใหญ่	เด็ก	ผู้ใหญ่
1 ต.ค. 2563	0.55	0.28	0.38	0.20	5.8×10 ⁻⁵	9.8×10 ⁻⁶
7 ต.ค. 2563	0.22	0.12	0.16	0.08	2.4×10 ⁻⁵	4.0×10 ⁻⁶
10 ต.ค. 2563	1.04	0.54	0.73	0.38	1.1×10 ⁻⁴	1.9×10 ⁻⁵
16 ต.ค. 2563	0.59	0.31	0.42	0.22	6.3×10 ⁻⁵	1.1×10 ⁻⁵
19 ต.ค. 2563	1.46	0.76	1.02	0.53	1.5×10 ⁻⁴	2.6×10 ⁻⁵
6 พ.ย. 2563	1.98	1.03	1.39	0.72	2.1×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁵
10 พ.ย. 2563	1.98	1.03	1.39	0.72	2.1×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁵
12 พ.ย. 2563	1.53	0.79	1.07	0.56	1.6×10 ⁻⁴	2.7×10 ⁻⁵
15 พ.ย. 2563	2.92	1.52	2.04	1.06	3.1×10 ⁻⁴	5.3×10 ⁻⁵
18 พ.ย. 2563	2.85	1.48	1.99	1.04	3.0×10 ⁻⁴	5.1×10 ⁻⁵
24 พ.ย. 2563	1.65	0.86	1.16	0.60	1.7×10 ⁻⁴	3.0×10 ⁻⁵
28 พ.ย. 2563	1.65	0.86	1.15	0.60	1.7×10 ⁻⁴	3.0×10 ⁻⁵
1 ธ.ค. 2563	1.37	0.71	0.96	0.50	1.4×10 ⁻⁴	2.5×10 ⁻⁵
4 ธ.ค. 2563	3.05	1.59	2.14	1.11	3.2×10 ⁻⁴	5.5×10 ⁻⁵
4 ก.พ. 2564	2.57	1.34	1.80	0.94	2.7×10 ⁻⁴	4.6×10 ⁻⁵
8 ก.พ. 2564	1.22	0.64	0.86	0.45	1.3×10 ⁻⁴	2.2×10 ⁻⁵
9 ก.พ. 2564	1.39	0.72	0.97	0.50	1.5×10 ⁻⁴	2.5×10 ⁻⁵
11 ก.พ. 2564	2.75	1.43	1.92	1.00	2.9×10 ⁻⁴	4.9×10 ⁻⁵
16 ก.พ. 2564	2.18	1.13	1.53	0.79	2.3×10 ⁻⁴	3.9×10 ⁻⁵
18 ก.พ. 2564	2.82	1.47	1.98	1.03	3.0×10 ⁻⁴	5.1×10 ⁻⁵
19 ก.พ. 2564	2.62	1.36	1.83	0.95	2.8×10 ⁻⁴	4.7×10 ⁻⁵
23 ก.พ. 2564	3.13	1.63	2.19	1.14	3.3×10 ⁻⁴	5.6×10 ⁻⁵
25 ก.พ. 2564	2.00	1.04	1.40	0.73	2.1×10 ⁻⁴	3.6×10 ⁻⁵
2 มี.ค. 2564	5.29	2.75	3.70	1.92	5.6×10 ⁻⁴	9.5×10 ⁻⁵
9 มี.ค. 2564	3.13	1.63	2.19	1.14	3.3×10 ⁻⁴	5.6×10 ⁻⁵
11 มี.ค. 2564	2.80	1.45	1.96	1.02	3.0×10 ⁻⁴	5.0×10 ⁻⁵
15 มี.ค. 2564	2.42	1.26	1.69	0.88	2.6×10 ⁻⁴	4.4×10 ⁻⁵
16 มี.ค. 2564	2.59	1.35	1.82	0.94	2.7×10 ⁻⁴	4.7×10 ⁻⁵
18 มี.ค. 2564	2.39	1.24	1.67	0.87	2.5×10 ⁻⁴	4.3×10 ⁻⁵
22 มี.ค. 2564	5.34	2.78	3.74	1.94	5.7×10 ⁻⁴	9.6×10 ⁻⁵
23 มี.ค. 2564	7.83	4.07	5.48	2.85	8.3×10 ⁻⁴	1.4×10 ⁻⁴
1 เม.ย. 2564	6.18	3.21	4.32	2.25	6.5×10 ⁻⁴	1.1×10 ⁻⁴
ค่าเฉลี่ย (Mean)	2.55±1.63	1.32±0.85	1.78±1.14	0.93±0.59	2.7×10 ⁻⁴	2.9×10 ⁻⁵
ค่ามัธยฐาน (Median)	2.40	1.25	1.68	0.87	2.5×10 ⁻⁴	2.8×10 ⁻⁵

4.3 การประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งปอดจากการสัมผัสหายใจรับฝุ่น $PM_{2.5}$ ของพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด

จากตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันตลอดช่วงชีวิต (LADD) จากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ของเด็กและผู้ใหญ่ มีค่า 4.3 ± 2.8 และ 5.6 ± 3.6 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{day}$ ตามลำดับ เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์จากการได้รับฝุ่น $PM_{2.5}$ โดยคำนวณจากค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (R_c) แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า ค่า R_c จากการสัมผัสด้วยการหายใจรับฝุ่น $PM_{2.5}$ มีค่าเฉลี่ยของเด็กและผู้ใหญ่ อยู่ในช่วง 2.4×10^{-5} ถึง 8.3×10^{-4} เฉลี่ย 2.7×10^{-4} และ 4.0×10^{-6} ถึง 1.4×10^{-4} เฉลี่ย 2.9×10^{-5} ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์ จากการได้รับฝุ่น $PM_{2.5}$ อยู่ในช่วง 10^{-6} ถึง 10^{-4} หมายความว่า ความเสี่ยงในการก่อมะเร็งอาจเกิดขึ้นได้ แสดงให้เห็นว่า จากจำนวนประชากรหนึ่งล้านคน มีโอกาสพบเด็กที่มีความเสี่ยงในการก่อมะเร็งจากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ จำนวน 270 คน ซึ่งมีโอกาสมากกว่าผู้ใหญ่ที่มีความเสี่ยงในการก่อมะเร็งของผู้ใหญ่ จำนวน 29 คน

5. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง ช่วงฤดูแล้ง พบว่า มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศช่วงฤดูแล้งรายวัน (24 ชั่วโมง) มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศเฉลี่ยรายวันของกรมควบคุมมลพิษ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ประมาณร้อยละ 25 และ 56.2 ตามลำดับ นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ จากตัวอย่างทั้งหมด มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ แต่มีค่าเกินค่ามาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา ส่วนการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพของมนุษย์ ด้วยการประเมินค่าสัดส่วนความเสี่ยง (HQ) จากการสัมผัสกับฝุ่น $PM_{2.5}$ ทางหายใจของเด็กและผู้ใหญ่ในพื้นที่นครมาบตาพุด พบว่า ส่วนใหญ่ค่า HQ ในเด็กและผู้ใหญ่มีค่าเกินกว่า 1.0 แสดงว่า มีความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์ สำหรับการประเมินค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (R_c) ของเด็กและผู้ใหญ่ พบว่า อยู่ในช่วง 10^{-6} ถึง 10^{-4} แสดงว่า ความเสี่ยงในการก่อมะเร็งอาจเกิดขึ้นได้ อย่างไรก็ตาม แม้งานวิจัยนี้จะสรุปได้ว่า ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ จะไม่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ แต่หากมีการพัฒนามาตรฐานนโยบายพื้นที่เศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในอนาคตได้ ดังนั้น หน่วยงานราชการ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีส่วนเกี่ยวข้อง จึงต้องดำเนินการวางแผนการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศ เพื่อรองรับการพัฒนาเศรษฐกิจต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุด จังหวัดระยอง ช่วงฤดูแล้ง อาจไม่เพียงพอสำหรับการประเมินผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศที่มีผลต่อความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์ เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการแพร่ระบาดของโรคเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) แต่อย่างไรก็ตาม ในช่วงฤดูแล้งเป็นฤดูกาลที่มีปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ สูงกว่าในช่วงฤดูฝน จึงอาจจะอนุมานได้ว่าในช่วงฤดู

แล้งอาจพบว่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์มากกว่าฤดูฝนเช่นกัน นอกจากนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสารมลพิษทางอากาศชนิดอื่นร่วมด้วย เนื่องจากพื้นที่เทศบาลเมืองมาบตาพุดมีอุตสาหกรรมการกลั่นปิโตรเลียมและผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ซึ่งอาจมีสารมลพิษประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่าย ก๊าซโอโซน และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ รวมถึงการศึกษาองค์ประกอบของสารมลพิษที่ตรึงอยู่กับฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วย เช่น โลหะหนัก สารก่อมะเร็ง เป็นต้น อาจทำให้การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

วิจัยขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ (รหัสทุน: SciEE 003/64) และห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์เพื่อทำวิจัย และขอขอบคุณสถานีตำรวจภูธรมาบตาพุด ที่อำนวยความสะดวกให้ติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างฝุ่นละอองในบรรยากาศ รวมถึงให้ความช่วยเหลือในการทำงานจนทำให้งานวิจัยครั้งนี้เสร็จสมบูรณ์ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ทุกประการ

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2562). *แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ การแก้ไขปัญหาหมอกพิษด้านฝุ่นละออง*. https://www.pcd.go.th/strategy/แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ_การแก้ไขปัญหาหมอกพิษด้านฝุ่นละออง/
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม. (2564). *ข้อมูลสำหรับเจ้าหน้าที่กรมโรงงานอุตสาหกรรม-จังหวัดระยอง*. <http://reg.diw.go.th/executive/Amp3.asp?amp=1&prov=21>.
- กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2564). *Wind Rose*. http://www.aws-observation.tmd.go.th/web/aws/aws_windroses.asp
- ประกาศคณะกรรมการนโยบายการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก. (2561). *ราชกิจจานุเบกษา*, 135 (ตอนพิเศษ 41 ง). 26.
- ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. (2553). *ราชกิจจานุเบกษา*, 127 (ตอนพิเศษ 37 ง). 36.
- Adamiec, E., & Jarosz-Krzemińska, E. (2019). Human health risk assessment associated with contaminants in the finest fraction of sidewalk dust collected in proximity to trafficked roads. *Scientific Reports*, 9, 16364. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52815-0>.
- Cao, J., Chow, J.C., Lee, F.S.C., & Watson, J.G. (2013). Evolution of $PM_{2.5}$ measurements and standards in the U.S. and future perspectives for China. *Aerosol and Air Quality Research*, 13, 1197-1211. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2012.11.0302>

- Chithra, V.S., & Shiva Nagendra, S.M. (2014). Impact of outdoor meteorology on indoor PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ concentrations in a naturally ventilated classroom. *Urban Climate*, 10, 77-91. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.10.001>
- Fang, B., Zhang, L., Zeng, H., Liu, J., Yang, Z., Wang, H., Wang, Q., & Wang, M. (2020). PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons: Sources and health risk during non-heating and heating periods (Tangshan, China). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2), 483. <https://doi.org/10.3390/ijerph17020483>.
- Greene, N.A. & Morris, V.R. (2006). Assessment of public health risk associated with atmospheric exposure to PM_{2.5} in Washington, DC, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 3(1), 86-97. <https://doi.org/10.3390/ijerph2006030010>
- Hamastia, A., Hermawati, E., Marina, R. & Andrian, R. (2019). Estimated analysis on environmental health risk of 2.5 microns particulate matter to urban communities in South Jakarta. *Indian Journal of Public Health Research and Development*, 10(2), 332-337.
- Lelieveld, J., Evans, J. S., Fnais, M., Giannadaki, D., & Pozzer, A. (2015). The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, 525, 367-371. <https://doi.org/10.1038/nature15371>
- Li, T., Hu, R., Chen, Z., Huang, M., Li, Q.-Y., Huang, S.-X., Zhu, Z. & Zhou, L.-F. (2018). PM_{2.5}: the culprit for chronic lung diseases in China. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, 4(3), 176-186. <https://doi.org/10.1016/j.cdtm.2018.07.002>
- Li, R., Zhou, R. & Zhang, J. (2018). Function of PM_{2.5} in the pathogenesis of lung cancer and chronic airway inflammatory diseases (Review). *Oncology Letters*, 15(5), 7506-7514. <https://doi.org/10.3892/ol.2018.8355>
- Liang, B., Li, X.-L., Ma, K., & Liang S.-X. (2019). 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. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170(15), 166-170. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.075>
- Liao, C.-M., & Chiang, K.-C. (2006). Probabilistic risk assessment for personal exposure to carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in Taiwanese temple. *Chemosphere*, 63(9), 1610-1619. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.08.051>
- Liu, Y., Xing, J., Wang, S., Fu, X., & Zheng, H. (2018). Source-specific speciation profiles of PM_{2.5} for heavy metals and their anthropogenic emissions in China. *Environmental Pollution*, 239, 544-553. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.047>

- Miller, M.D., Marty, M.A., Arcus, A., Brown, J., Morry, D. & Sandy, M. (2002). Differences between Children and Adults: implications for Risk Assessment at California EPA. *International Journal of Toxicology*, 21(5), 403–418. <https://doi.org/10.1080/10915810290096630>
- 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., & Lou, X. (2019). Characterization and health risk assessment of PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in 5 urban cities of Zhejiang province, China. *Scientific Reports*, 9(1), 7296. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43557-0>.
- Morakinyo, O.M., Adebawals, A.S., Mokgobu, M.I., & Mukhola, M.S. (2017). Health risk of inhalation exposure to sub- 10 µm particulate matter and gaseous pollutants in an urban-industrial area in South Africa: an ecological study. *BMJ Global Health*, 7(3), 1-9. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-013941>
- Narita, D., Kim Oanh, N.T., Sato, K., Huo, M., Permadi, D.A., Ha Chi, N.N., Ratanajaratroj, T., & Pawarmart, I. (2019). Pollution characteristics and policy actions on fine particulate matter in a growing Asian economy: The case of Bangkok metropolitan region. *Atmosphere*, 10, 227. <https://doi.org/10.3390/atmos10050227>
- Olufemi, A. C., Mji, A., & Mukhola, M.S. (2019). Health risks of exposure to air pollutants among students in schools in the vicinities of coal mines. *Energy Exploration and Exploitation*, 37(1), 1638-11656. <https://doi.org/10.1177/0144598718765489>
- Prasertsin, S. & Nathapindhu, G. (2020). The temporal pattern of ambient PM_{2.5} and Health risk assessment in Thailand. *Indian Journal of Public Health Research & Development*, 11(03), 1096-1100.
- Song, C., He, J., Wu, L., Jin, T., Chen, X., Li, R., Ren, P., Zhang, L. & Mao, H. (2017). Health burden attributable to ambient PM_{2.5} in China. *Environmental Pollution*, 223, 575-586. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.060>
- US-EPA National Ambient Air Quality Standards (US-EPA NAAQS). (2015). NAAQS Table. <https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table>.
- US-EPA (United States-Environmental Protection Agency). (2011). Exposure Factors Handbook: 2011 edition; National Center for Environmental Assessment [Internet]. Washington, DC. <http://www.epa.gov/ncea/efh>.
- Zhang, G., Ma, K., Sun, L., Liu, P., & Yue, Y. (2020). Seasonal pollution characteristics, source apportionment and health risk of PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in an industrial city in northwestern China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 27, 1054-1071. <https://doi.org/10.1080/10807039.2020.1799186>