



การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพจากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ในระยะเริ่มต้นพัฒนาโครงการพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก ในช่วงฤดูแล้ง ปี 2022: กรณีศึกษาพื้นที่เมืองระยอง

ศุภิระ บุตรดี^{1*} สุภานัน ทิพยางกูร¹ ศศิธร ทิมอยู่¹ และ แสง กาวิชัย²

¹ สาขาวิชากระบวนการอุตสาหกรรมเคมีและสิ่งแวดล้อม, คณะวิทยาศาสตร์พลังงานและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

² สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์สุขภาพ, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: susira.b@sciee.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 5 กันยายน 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 30 พฤศจิกายน 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 3 มกราคม 2566

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 21 มีนาคม 2566

บทคัดย่อ: การหายใจรับฝุ่น $PM_{2.5}$ มีผลต่อปัญหาสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุการก่อมะเร็งและเพิ่มอัตราการเสียชีวิต การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์จากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ปล่อยมาจากพื้นที่อุตสาหกรรมของจังหวัดระยอง ในช่วงฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2565 ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ บนกระดาษกรองแบบเทพรอน ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PQ 200 โดยพบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่น $PM_{2.5}$ มีค่า $20.1 \pm 10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($4.9\text{-}52.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และไม่พบความแตกต่างกันของปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ของแต่ละเดือนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยวิธีการคำนวณค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (R_{lc}) พบว่า ค่าเฉลี่ย R_{lc} ของวัยเด็ก วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ อยู่ในช่วง 10^{-6} ถึง 10^{-4} ซึ่งบ่งชี้ว่า ภาวะความเสี่ยงการก่อมะเร็งที่ยอมรับได้ และวัยเด็กเล็ก ช่วงอายุ 1-5 ปี มีค่า R_{lc} สูงที่สุด ดังนั้นในระยะยาวเด็กมีโอกาสดังกล่าวได้รับฝุ่น $PM_{2.5}$ เข้าสู่ระบบทางเดินหายใจได้มากกว่าผู้ใหญ่

คำสำคัญ: ฝุ่น $PM_{2.5}$; มลพิษทางอากาศ; การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ; ค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (R_{lc})



Health Risk Assessment of PM_{2.5} Exposure in the Initiative of the Eastern Economic Corridor Area Project during Dry Season in 2022: Case Study of Rayong City

Susira Bootdee^{1*}, Supanan Tipayangkul¹, Sasithorn Timyoo¹ and Sawaeng Kawichai²

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

² Research Institute for Health Sciences, Chiang Mai University

* Corresponding author, E-mail: susira.b@sciee.kmutnb.ac.th

Received: 5 September 2022; Revised: 30 November 2022; Accepted: 3 January 2023

Online Published: 21 March 2023

Abstract: Inhaling PM_{2.5} has been linked to a variety of impacts on human health, including cancer and increased mortality. The objective of this study is to investigate the carcinogenic risk of PM_{2.5} released from an industrial area in Rayong province during the dry seasons of 2022. A PQ 200 air sampler was used to collect PM_{2.5} samples on Teflon filters. The average PM_{2.5} concentrations during the dry season were observed to be 20.1±10.9 µg/m³ (4.9-52.3 µg/m³). Additionally, there was no apparent difference in the average PM_{2.5} concentrations during any month ($p>0.05$). Furthermore, the health risks of PM_{2.5} exposure were assessed using the individual lifetime cancer risk (R_{ic}), with the results revealing that the average R_{ic} values for children, teenagers, and adults in the dry season varied from 10⁻⁶ to 10⁻⁴, indicating probable carcinogenic health risks with young children aged 1-5 years having the highest of R_{ic} values. As a result, children are more likely than adults to exposure to more PM_{2.5} in their respiratory system for a long time.

Keywords: Fine particles (PM_{2.5}); Air pollution; Health risk assessment; the individual lifetime cancer risk (R_{ic})



1. บทนำ

ในสถานการณ์สิ่งแวดล้อมปัจจุบัน ฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศ ถือเป็นมลพิษทางอากาศที่สำคัญและอาจส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตของประชากรทั่วโลก โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (ฝุ่น $PM_{2.5}$) หรือฝุ่นละเอียด (Fine Particulate Matters) ซึ่งเป็นฝุ่นละอองที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2.5 ไมครอน แต่ส่วนใหญ่ฝุ่น $PM_{2.5}$ จะเป็นอนุภาคทุติยภูมิที่เกิดขึ้นในบรรยากาศ เมื่อมีแก๊สต่าง ๆ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) โดยเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ถูกเปลี่ยนรูปในอากาศ โดยทำปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงวิฤภาคจากแก๊สไปอยู่ในรูปของอนุภาคที่อยู่ในอากาศ มีช่วงเวลาที่อยู่ในอากาศเป็นระยะเวลายาวนานสามารถลอยอยู่ในอากาศได้เป็นเวลาหนึ่งปี [1-3] อย่างไรก็ตามการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่ามีสารมลพิษทางอากาศที่ตรึงอยู่กับฝุ่น $PM_{2.5}$ เป็นกลุ่มสารมลพิษที่ก่อโรคมะเร็ง ได้แก่ กลุ่มโลหะหนัก เช่น แคดเมียม (Cd) สารหนู (As) โครเมียม (Cr) นิกเกิล (Ni) และตะกั่ว (Pb) เป็นต้น กลุ่มสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: PAHs) และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOCs) [4-7] ซึ่งการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้ในระยะยาว

ฝุ่น $PM_{2.5}$ มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการจราจร ไฟป่า การเผาในที่โล่ง และโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เชื้อเพลิง ฟอสซิล เช่น ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น [8, 9] ดังนั้น พื้นที่ที่จะได้รับ

ผลกระทบจากปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ จะเป็นพื้นที่เขตเมืองที่มีการจราจรหนาแน่น และพื้นที่เขตเมืองอุตสาหกรรมที่มีการใช้เชื้อเพลิงถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ และชีวมวลเป็นต้น เนื่องจากฝุ่น $PM_{2.5}$ มีขนาดเล็กมาก สามารถเข้าไปในถุงลมปอดของร่างกายโดยเล็ดลอดผ่านผนังถุงลมเข้าสู่เส้นเลือดฝอยและกระจายอยู่ในกระแสเลือด ความเป็นอันตรายต่อร่างกายขึ้นอยู่กับค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ รวมถึงระยะเวลาที่สัมผัสและสภาพร่างกายของผู้ที่สูดหายใจเข้าไป ผู้ที่มีความเสี่ยงสูงที่จะได้รับผลกระทบคือ เด็กและคนชรา เมื่อสูดดมหายใจเข้าไปทำให้มีความเสี่ยงในการเกิดโรคในระบบทางเดินหายใจและโรคปอดต่าง ๆ โรคหลอดเลือดในสมอง โรคหัวใจขาดเลือด โรคมะเร็งปอด [10-12] นอกจากนี้ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) ได้กำหนดให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กในบรรยากาศเป็นสารก่อมะเร็ง [13] โดยมีการกำหนดค่ามาตรฐานของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศเฉลี่ยรายวัน (24 ชั่วโมง) มีค่า $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา (United States Environmental Protection Agency: US-EPA) มีค่า $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ส่วนในประเทศไทย กรมควบคุมมลพิษ (Pollution Control Department: PCD) ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานฝุ่น $PM_{2.5}$ รายวัน มีค่า $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$

โครงการพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (Eastern Economic Corridor Development หรือ EEC) เป็นโครงการภายใต้นโยบายพัฒนาชาติ 20 ปี หรือนโยบายพัฒนาระดับชาติไปสู่ "ไทยแลนด์ 4.0" ซึ่งมีพื้นที่ 3 จังหวัดของภาคตะวันออกของประเทศประกอบด้วย จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง โดยมีการเสริมสร้างและพัฒนาชีวิต

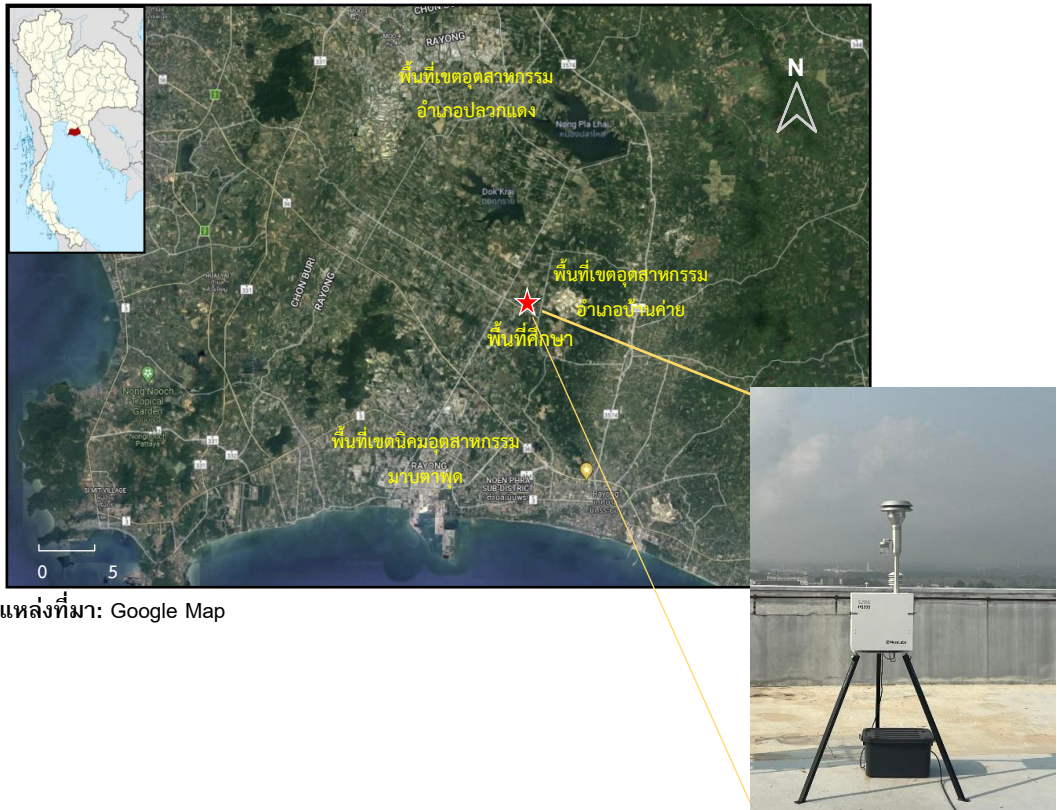


ความสามารถในการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรม การผลิตทางเกษตร บริการ และการค้าการลงทุน เพื่อยกระดับศักยภาพในการแข่งขันของประเทศ ต่อยอดความเข้มแข็งของอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพปัจจุบันเพื่อยกระดับไปสู่อุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง [14]

ปัจจุบันจังหวัดระยองเป็นเขตพื้นที่อุตสาหกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของประเทศไทย และมีเขตพื้นที่อุตสาหกรรมที่สำคัญ คือ นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุดอำเภอเมือง จากข้อมูลกรมโรงงานอุตสาหกรรม มีการสรุปภาพรวมจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในพื้นที่จังหวัดระยอง มีทั้งสิ้น 2,958 โรงงาน ประกอบด้วยโรงงานในเขตนิคมอุตสาหกรรม จำนวน 1,156 โรงงาน และนอกเขตนิคมอุตสาหกรรม จำนวน 1,802 โรงงาน มีพนักงานโรงงานอุตสาหกรรมทั้งสิ้น 189,233 คน คิดเป็นเนื้อที่โรงงาน 4.24% ของพื้นที่จังหวัด โดยมีกลุ่มอุตสาหกรรมที่สำคัญ คือ เคมีภัณฑ์และผลิตภัณฑ์เคมี ผลิตภัณฑ์พลาสติก ผลิตภัณฑ์โลหะและผลิตภัณฑ์ยานพาหนะและอุปกรณ์รวมทั้งการซ่อมยานพาหนะและอุปกรณ์ เป็นต้น [15] ภายใต้โครงการ EEC จังหวัดระยองจะได้รับการพัฒนาให้เป็นจังหวัดที่มีอุตสาหกรรมอนาคต ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมใหม่ที่ประเทศไทย มีศักยภาพในการแข่งขัน และมีผู้สนใจลงทุน ประกอบด้วยอุตสาหกรรมหุ่นยนต์เพื่อการอุตสาหกรรม (Robotics) อุตสาหกรรมการบินและโลจิสติกส์ (Aviation and Logistics) อุตสาหกรรมเชื้อเพลิงชีวภาพและเคมีชีวภาพ (Biofuels and Biochemicals) อุตสาหกรรมดิจิทัล (Digital) และอุตสาหกรรมการแพทย์ครบวงจร (Medical Hub) [16] ซึ่งการพัฒนาดังกล่าวอาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะมลพิษทางอากาศที่

อาจจะเพิ่มขึ้นในอนาคต ซึ่งมีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรมและการจราจร เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย และฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยเฉพาะฝุ่น PM_{2.5} เป็นต้น จากรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่น PM_{2.5} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ (Air Quality Monitoring Station: AQM) ในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา จังหวัดชลบุรี และจังหวัดระยอง ในปี พ.ศ. 2564 มีค่า 23.0, 16.9-19.5 และ 16.5-20.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายปี (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) อย่างไรก็ตาม ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน 2565 และเดือนธันวาคม 2564 มีปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ก่อนช่วงสูงและเกินค่ามาตรฐานเฉลี่ยรายวัน (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ซึ่งผลการตรวจวัดปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ได้รายงานสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันทั้ง 3 จังหวัด [17]

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อติดตามตรวจสอบความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} จากพื้นที่อุตสาหกรรมกรณีศึกษาในพื้นที่จังหวัดระยอง ก่อนที่จะเริ่มมีการพัฒนาเข้าสู่โครงการเขตพัฒนาพื้นที่ระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออกหรือ EEC และนำผลการศึกษาที่ได้รับไปประเมินผลกระทบต่อความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์จากการสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} ในบรรยากาศ ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานและแนวทางของการบริหารจัดการมลพิษทางอากาศที่จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตของประชากรในเขตพื้นที่อุตสาหกรรม เพื่อให้สอดคล้องกับแผนเขตพัฒนาพื้นที่ EEC ที่มุ่งเน้นให้การเติบโตทางเศรษฐกิจสังคมที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืนต่อไป



แหล่งที่มา: Google Map

รูปที่ 1 แผนที่การเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม เมืองระยอง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษาหรือจุดเก็บตัวอย่างได้เลือกบริเวณภายในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง ซึ่งตั้งอยู่ในอำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง โดยพื้นที่ศึกษาดังกล่าวมีระยะห่างจากพื้นที่เขตนิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด ประมาณ 23 กิโลเมตร จากพื้นที่เขตอุตสาหกรรมในอำเภอปลวกแดง 32 กิโลเมตร และจากพื้นที่เขตอุตสาหกรรม

อำเภอบ้านค่าย ประมาณ 6 กิโลเมตร โดยจุดเก็บตัวอย่างตั้งอยู่บนตาดฟ้าของอาคารกองงานวิทยาเขตระยอง ซึ่งมีความสูง 9 ชั้น เพื่อหลีกเลี่ยงแหล่งกำเนิดจากการจราจร โดยการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ในบรรยากาศ จากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม ซึ่งพื้นที่ศึกษาตั้งอยู่ระหว่างพื้นที่เขตอุตสาหกรรมทั้ง 3 แห่ง (รูปที่ 1) ดังนั้นพื้นที่ศึกษาอาจจะมีโอกาสได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศที่มาจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม โดย



หลักการเลือกพื้นที่ศึกษาพิจารณาจากทิศทางลมมรสุมที่พัดผ่านประเทศไทย ในช่วงกลางเดือนตุลาคมจนถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์จะมีลมมรสุมพัดมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือหรือทิศเหนือ และในช่วงกลางเดือนพฤษภาคมจนถึงเดือนกลางเดือนตุลาคมจะมีลมมรสุมพัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งอาจจะมีโอกาสพัดพาเอาสารมลพิษอากาศมาจากแหล่งกำเนิดในพื้นที่อุตสาหกรรมทั้ง 3 แหล่งมายังพื้นที่ศึกษาได้ [18]

2.2 การเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5}

ทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละออง PQ 200 (Ambient Air Particulate Sampler ยี่ห้อ BGI/MesaLabs ประเทศสหรัฐอเมริกา) ซึ่งได้รับมาตรฐาน US-EPA (RFPS-0498-116) โดยตั้งไว้บนดาดฟ้าของอาคารกองงานวิทยาเขตระยอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง อาคารมีความสูง 9 ชั้น ซึ่งมีความสูงประมาณ 30 เมตรจากระดับพื้นดิน โดยทำการเก็บฝุ่น PM_{2.5} ไว้บนกระดาษกรองแบบเทฟลอน (Teflon Filter หรือ Polytetrafluoroethylene: PTFE) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 47.0 มิลลิเมตร (ยี่ห้อ BGI/MesaLabs ประเทศสหรัฐอเมริกา) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (รูปที่ 1) เป็นวิธีการเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองด้วยระบบกราวิเมตริก (Gravimetric Method)

การเตรียมกระดาษกรองแบบเทฟลอนก่อนนำไปเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ชั้นแรกนำกระดาษกรองเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น (Desiccator) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

ก่อนนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 6 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Mettler-Toledo) จากนั้นนำไปเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่ศึกษาเสร็จแล้ว นำฝุ่น PM_{2.5} ที่อยู่บนกระดาษกรองมาเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาค่าหนักสุทธิ (มวล) ดังสมการที่ 1 โดยทำการเก็บตัวอย่างฝุ่น PM_{2.5} แบบวันเว้นวัน ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2565 ถึงเดือนเมษายน 2565 ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง โดยกรมอุตุนิยมวิทยาได้นิยามว่าเป็นช่วงฤดูหนาวต่อเนื่องถึงช่วงฤดูร้อน โดยเริ่มต้นช่วงกลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนพฤษภาคมของปีถัดไป [18] และทำการเก็บตัวอย่างปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ได้จำนวน 88 ตัวอย่าง

นอกจากนี้ การศึกษาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่มีความสัมพันธ์ต่อความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ในบรรยากาศ ได้กำหนดพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature: Temp.) ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ (%Relative Humidity: %RH) ความเร็วลม (Wind speed: WS) และปริมาณน้ำฝนรวม (Rainfall) ซึ่งได้รับข้อมูลมาจากสถานีอุตุนิยมวิทยาศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมอุตุนิยมวิทยา

$$PM_{2.5} \text{ concentrations} = \frac{W_{\text{after}} - W_{\text{before}}}{V_{\text{std}}} \quad (1)$$

W_{after} คือ น้ำหนักกระดาษกรองหลังเก็บตัวอย่าง (μg)

W_{before} คือ น้ำหนักกระดาษกรองก่อนเก็บตัวอย่าง (μg)

V_{std} คือ ปริมาตรอากาศมาตรฐาน (m^3)

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์จากการสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} เพื่อประเมินความเสี่ยงของสุขภาพมนุษย์ [20]

พารามิเตอร์	วัยเด็กเล็ก 1-5 ปี	วัยเด็ก 6-11 ปี	วัยรุ่น 12-19 ปี	วัยผู้ใหญ่ ≥ 20 ปี
BW (kg)	16	29	52	65
ED (years)	2	3	3.5	30
InhR (m ³ /day)	7.6	11	14	13
SF (per µg/kg-day)	6.6X10 ⁻⁵	2.5X10 ⁻⁵	1.1X10 ⁻⁵	9.5X10 ⁻⁶

2.3 การประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์

การประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์จากการสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} คำนวณจากค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต หรือ ค่า R_{ic} (The individual lifetime cancer risk) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 [19] ซึ่งคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันตลอดช่วงชีวิต หรือ LADD (The potential Lifetime Average Daily Dose) โดยมีพารามิเตอร์ของแต่ละช่วงอายุ เพื่อนำประเมินความเสี่ยงของสุขภาพมนุษย์อ้างอิงมาจาก Prasertsin and Natthapindhu [20] และค่าสัมประสิทธิ์ความชันในการก่อมะเร็ง (The Slope Factor for Inhalation: SF) ดังสมการที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

เมื่อผลการประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งด้วยค่า R_{ic} มีค่าน้อยกว่า 10⁻⁶ (หนึ่งในล้าน) แสดงว่า ไม่มีภาวะความเสี่ยงการก่อมะเร็งหรือภาวะความเสี่ยงการก่อมะเร็งต่ำ (Low Potential Health Risk) หากมีค่าอยู่ในช่วง 10⁻⁶ ถึง 10⁻⁴ แสดงว่า มีภาวะความเสี่ยงการก่อมะเร็งที่ยอมรับได้ (Potential Health Risk) และถ้ามีค่ามากกว่า 10⁻⁴ แสดงว่า มีความเสี่ยงการก่อมะเร็งสูง (High Potential Health Risk) [21]

$$R_{ic} = LADD \times SF \quad (2)$$

เมื่อ R_{ic} คือ ค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต

LADD คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันตลอดช่วงชีวิต (µg/kg-day)

SF คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความชันในการก่อมะเร็ง (per µg/kg-day)

$$LADD (\mu\text{g}/\text{kg} - \text{day}) = \frac{C \times \text{InhR} \times \text{ED}}{\text{BW} \times 70 \text{ years}} \quad (3)$$

เมื่อ LADD คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันในตลอดช่วงชีวิต (µg/kg-day)

C_i คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} (µg/m³)

InhR คือ Inhalation Rate หรืออัตราการสัมผัสสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา (m³/day)

ED คือ ระยะเวลาที่สัมผัส (year)

BW คือ น้ำหนักร่างกายเฉลี่ย (kg)



$$SF (\text{per } \mu\text{g}/\text{kg} - \text{day}) = \frac{UR}{BW \times \text{InhR}} \quad (4)$$

- เมื่อ SF คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความชันในการก่อมะเร็ง (per $\mu\text{g}/\text{kg}\text{-day}$) แสดงในตารางที่ 1
- InhR คือ Inhalation Rate หรืออัตราการสูดดมสิ่งคุกคามต่อหน่วยเวลา (m^3/day)
- BW คือ น้ำหนักร่างกายเฉลี่ย (kg)
- UR คือ Unit Risk (per $\mu\text{g}/\text{m}^3$) สำหรับฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ คือ 0.008 per $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [19]

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

3.1 ความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่อุตสาหกรรม เมืองระยอง

จากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่อุตสาหกรรม เมืองระยอง ในช่วงฤดูแล้ง ปี พ.ศ. 2565 ดังแสดงตามรูปที่ 2 และตารางที่ 2 ผลของการศึกษา พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2565 เรียงจากความเข้มข้นมากไปน้อยได้ดังนี้ เดือนธันวาคม 2564 ($22.7 \pm 12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > เดือนเมษายน พ.ศ. 2565 ($22.5 \pm 14.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > เดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ($22.2 \pm 9.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2565 ($21.4 \pm 10.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > เดือนมีนาคม พ.ศ. 2565 ($15.6 \pm 9.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) > เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2564 ($15.5 \pm 6.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และมีค่าอยู่ในช่วง $4.9\text{-}52.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และมีค่าเฉลี่ย $20.1 \pm 10.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เมื่อนำผลการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ มาทดสอบความแตกต่างของปริมาณความเข้มข้นฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ของ

แต่ละเดือนทางสถิติด้วยวิธีการ One-way ANOVA พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในแต่ละเดือนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

นำผลวิจัยครั้งนี้มาเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมของประเทศปากีสถาน พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในบรรยากาศช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน (ฤดูแล้ง) มีค่า $37.9 \pm 0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และ $36.9 \pm 12.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ [22] Lu *et al.*, [23] รายงานการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในบรรยากาศของเมืองไถหนาน ประเทศไต้หวัน ซึ่งเป็นพื้นที่อุตสาหกรรมที่สำคัญของประเทศ ประกอบด้วยกลุ่มอุตสาหกรรมประเภทเคมีภัณฑ์ เหล็กและโลหะ อุตสาหกรรมพลังงาน โรงงานไฟฟ้า ถ่านหิน เป็นต้น พบว่ามีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ อยู่ในช่วง $14.9 - 41.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เฉลี่ยต่อปี $31.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าว มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ มากกว่า 1-2 เท่าของงานวิจัยในครั้งนี้ สำหรับประเทศไทย มีการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในบรรยากาศใกล้พื้นที่นิคมอุตสาหกรรมนวนคร จังหวัดปทุมธานี ในช่วงฤดูแล้ง พบว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ มีค่า $32.6 \pm 11.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [9] ซึ่งมีค่ามากกว่างานวิจัยนี้

เมื่อนำผลการศึกษาของปริมาณความเข้มข้นฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในบรรยากาศรายวันของพื้นที่เขตอุตสาหกรรมจังหวัดระยอง ในช่วงฤดูแล้ง ปี 2565 มาเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเฉลี่ยรายวัน (24 ชั่วโมง) ของกรมควบคุมมลพิษ (PCD) องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา (US-EPA) และองค์การอนามัยโลก (WHO) พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น $\text{PM}_{2.5}$ ในบรรยากาศ มีค่าเกินมาตรฐานทั้ง 3 องค์การ ประมาณ



บทความวิจัย

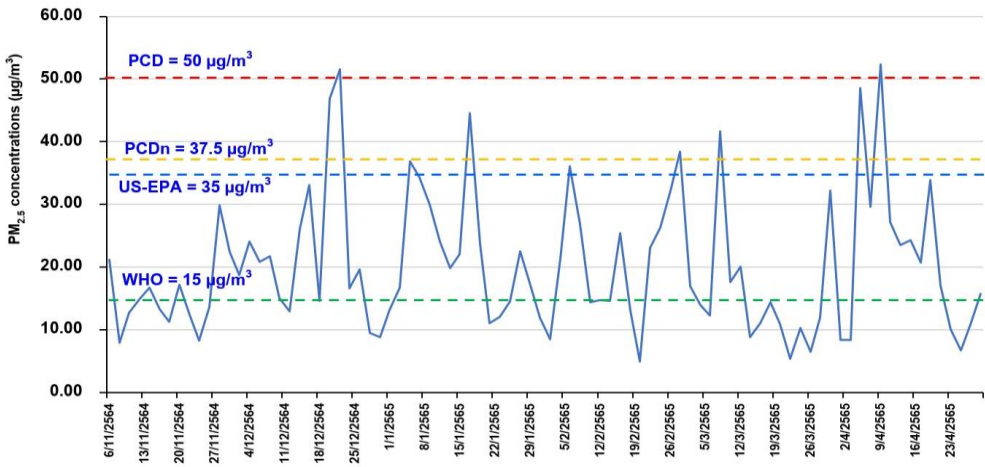
ร้อยละ 2.3 (2 วัน), 10.2 (9วัน) และ 56.8 (50 วัน) ตามลำดับ นอกจากนี้ กรมควบคุมมลพิษได้กำหนดค่ามาตรฐานใหม่ของฝุ่น PM_{2.5} ในบรรยากาศ (PCD_n) 24 ชั่วโมง มีค่าไม่เกิน 37.5 µg/m³ (มีผลบังคับใช้ในวันที่ 1 มิถุนายน 2566) จากผลการศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามีค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} เกินค่ามาตรฐานใหม่ของกรมควบคุมมลพิษประมาณร้อยละ 8.0 (7 วัน) ดังแสดงในรูปที่ 2 กล่าวโดยสรุป ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} ในช่วงฤดูแล้งไม่เกินค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษและมาตรฐานขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อม สหรัฐอเมริกา แต่ส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นฝุ่น PM_{2.5} เกินค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก นอกจากนี้ หลายงานวิจัยก่อนหน้านี้ [22, 23] พบว่า ฝุ่น PM_{2.5} มีค่าสูงที่สุดในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งต่างจากผลการศึกษาของงานวิจัยนี้ พบว่า ฝุ่น PM_{2.5} มีค่าน้อยกว่าการศึกษาก่อนหน้านี้ อาจเนื่องมาจากในช่วงแต่ละเดือนที่ทำการศึกษามีปริมาณน้ำฝนมาก (ตารางที่ 2) อาจจะเนื่องมาจาก

ปรากฏการณ์ลานีญา ทำให้มีปริมาณฝนตกมากในช่วงต้นปีที่ผ่านมา [24] ซึ่งอาจจะเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ลดลงจากบรรยากาศเนื่องจากการชะของน้ำฝนลงมา [25] แต่อย่างไรก็ตาม ในช่วงฤดูแล้งยังคงต้องตระหนักถึงผลกระทบจากฝุ่น PM_{2.5} ต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน เนื่องจากในช่วงฤดูแล้งมีปริมาณฝนตกน้อย นอกจากนี้ อุณหภูมิของอากาศที่มีค่าต่ำ อาจจะทำให้ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} เพิ่มขึ้นเนื่องจากชั้นบรรยากาศผสม (Mixing height) มีระดับที่ใกล้กับพื้นดิน [25] โดยจะเห็นได้จากกรณีเดือนมกราคมและเดือนมีนาคม 2565 พบว่า มีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ที่มีค่าใกล้เคียงกัน ในขณะที่เดือนมกราคม 2565 มีปริมาณน้ำฝนและปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} มากกว่าเดือนมีนาคม 2565 ซึ่งจะเห็นได้จากเดือนมกราคม 2565 มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของอากาศน้อยกว่าเดือนมีนาคม 2565

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} (µg/m³) ของพื้นที่เขตอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง

เดือน	พ.ย. 2564	ธ.ค. 2564	ม.ค. 2565	ก.พ. 2565	มี.ค. 2565	เม.ย. 2565
ค่าต่ำที่สุด	7.9	8.9	11.1	4.9	5.4	6.7
ค่าสูงที่สุด	29.8	51.6	44.6	38.4	41.6	52.3
ค่าเฉลี่ย±SD	15.5±6.1	22.7±12.5	22.2±9.9	21.4±10.2	15.6±9.7	22.5±14.1
Rainfall (mm)*	55.1	7.95	47.4	21.7	44.8	59.0
Air Temperature (°C)*	26.8±0.5	25.9±1.4	26.4±0.8	26.8±1.2	28.1±1.2	28.5±1.7
Relative Humidity (%)*	80.6±9.0	68.7±8.9	78.5±7.5	81.0±11.6	84.9±3.1	79.6±7.5
Wind Speed (m/s)*	1.86±0.72	1.91±0.59	1.10±0.44	1.12±0.52	0.81±0.18	1.19±0.76

*ที่มา: สถานีอุตุนิยมวิทยาศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง กรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 2 ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง

จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยากับฝุ่น PM_{2.5} โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient: *r*) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง -1.000 ถึง +1.000 ถ้าค่าเข้าใกล้ -1.000 หมายความว่า ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันอย่างมาก ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เข้าใกล้ +1.000 หมายความว่าตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตรงอย่างมาก และถ้าค่าเป็น 0 หมายความว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน แต่ถ้าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.900 - 1.000 หมายความว่า ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กันสูงมาก และช่วง 0.700-0.899 แสดงความสัมพันธ์กันสูง ส่วนตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันปานกลางมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.400 - 0.699 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อยู่ในช่วง 0.000 - 0.399 หมายความว่า ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์กันน้อย [26]

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของแต่ละพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยากับฝุ่น PM_{2.5} โดยใช้วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation) ดังแสดงผลในตารางที่ 3 โดยแสดงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (*r*) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{2.5} และพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยา ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิอากาศ (Temp.) ร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ (%RH) ความเร็วลม (WS) และน้ำฝนรวม (Rainfall) พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่น PM_{2.5} กับค่าร้อยละความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิอากาศ มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($r = -0.317$) และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างฝุ่น PM_{2.5} กับอุณหภูมิอากาศ ($p < 0.05$) มีค่า -0.224 อาจเนื่องมาจากสูงของชั้นบรรยากาศผสม (Mixing height) ที่สูงขึ้นและอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการลดปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ในบรรยากาศ [25] และร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของฝุ่น PM_{2.5} ลดลง ซึ่งอาจจะมาจากปริมาณน้ำฝนรวมที่เพิ่มขึ้นทำให้



บทความวิจัย

มีร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพิ่มขึ้นด้วย ($r = 0.251$; $p < 0.05$) และงานวิจัยในครั้งนี้มีพื้นที่ศึกษาอยู่ใกล้ทะเล เมื่อมีอุณหภูมิกอากาศเพิ่มขึ้นอาจจะส่งผลทำให้การระเหยของน้ำทะเลเพิ่มขึ้นด้วย โดยมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบแปรผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติตามระหว่างร้อยละความชื้นสัมพัทธ์กับอุณหภูมิกอากาศ ($r = 0.256$; $p < 0.05$) นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลม (WS) กับอุณหภูมิกอากาศและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ มีค่า -0.284 และ -0.358 ตามลำดับ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.01$) โดยความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิกอากาศและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ลดลง อีกทั้งหากมีปริมาณ

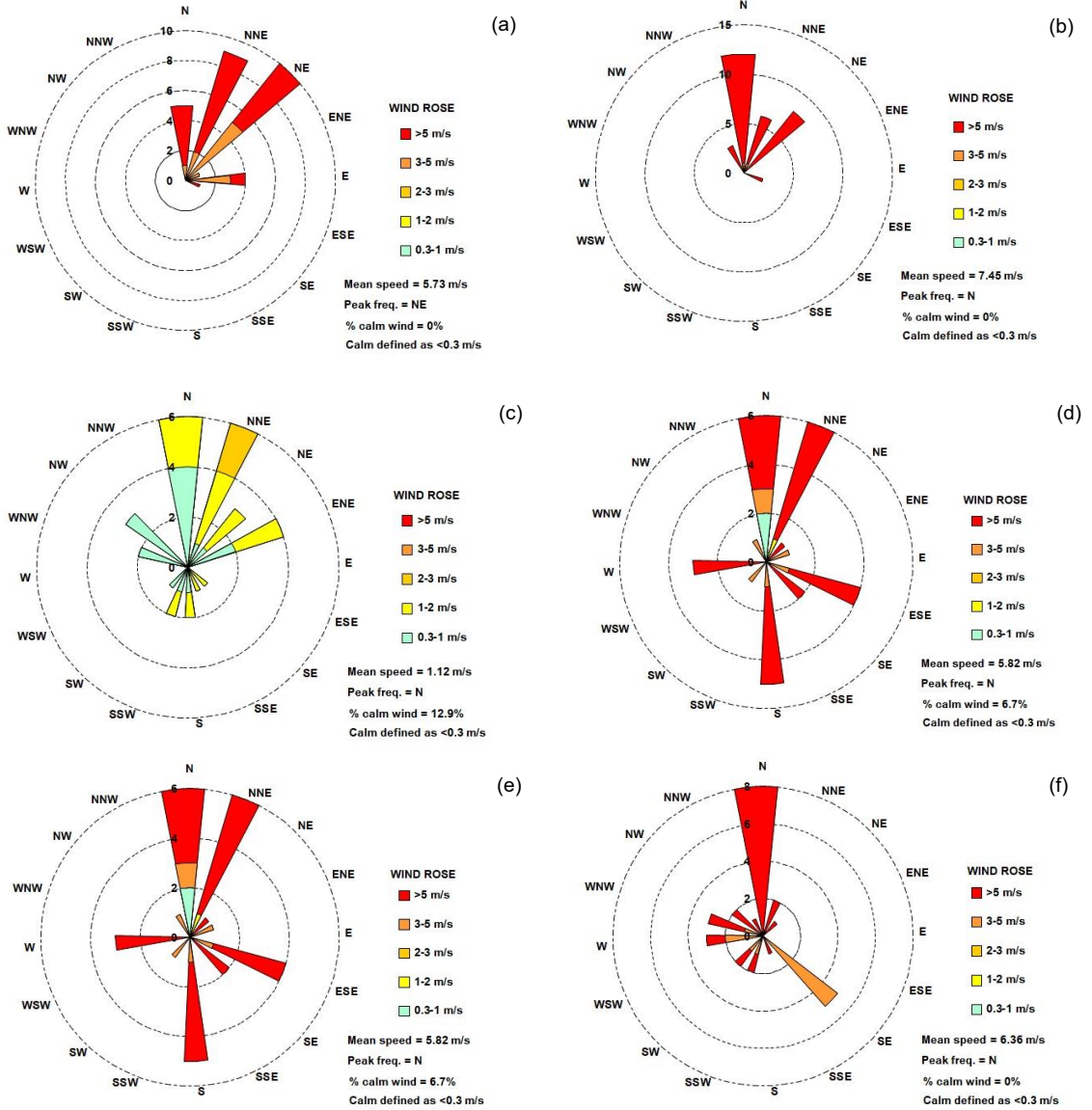
น้ำฝนรวมเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อร้อยละความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ($r = 0.251$) ซึ่งจะส่งผลต่อความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศที่จะลดลงด้วย เนื่องจากปริมาณน้ำฝนจะช่วยชะฝุ่น $PM_{2.5}$ จากบรรยากาศ [25] จากรูปที่ 3 พบว่าทิศทางลมส่วนใหญ่มาจากทางทิศเหนือหรือทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือไปสู่ทางทิศใต้ และมีความเร็วลมสูง ซึ่งอาจจะส่งผลให้ปริมาณการสะสมของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในระดับใกล้พื้นดินลดลง [25] และมีโอกาสที่จะพัดพาฝุ่น $PM_{2.5}$ ออกสู่ทะเล อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาในงานวิจัยในครั้งนี้ พบว่า ปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาที่อาจจะส่งผลต่อปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ คือ อุณหภูมิกอากาศและร้อยละความชื้นสัมพัทธ์

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ทางอุตุนิยมวิทยากับฝุ่น $PM_{2.5}$

พารามิเตอร์	$PM_{2.5}$	Temp.	%RH	WS	Rainfall
$PM_{2.5}$	1.000				
Temp.	-0.224*	1.000			
%RH	-0.317**	0.256*	1.000		
WS	0.052	-0.284**	-0.358**	1.000	
Rainfall	-0.055	-0.075	0.251*	0.227*	1.000

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).



รูปที่ 3 แผนภูมิลม (Wind rose) ของทิศทางลม (WD) และความเร็วม (WS) ในช่วงฤดูแล้งของจังหวัดระยอง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2564 ถึง เดือนเมษายน 2565: (a) พฤศจิกายน 2565 (b) ธันวาคม 2564 (c) มกราคม 2565 (d) กุมภาพันธ์ 2565 (e) มีนาคม 2565 และ (f) เมษายน 2565



3.2 การประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์จากการสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} ในบรรยากาศ

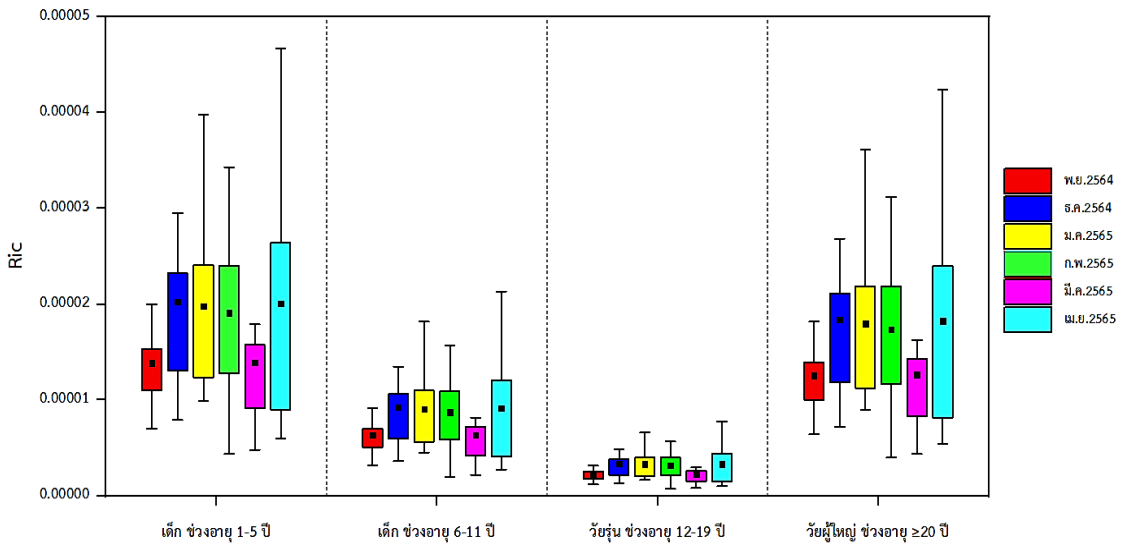
ผลการประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์ (Carcinogenic Health Risk Assessment) คำนวณจากค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต หรือ ค่า R_{ic} (The Individual Lifetime Cancer Risk) จากการสัมผัสกับฝุ่น PM_{2.5} ทางการหายใจของวัยเด็ก วัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่ ในพื้นที่เขตอุตสาหกรรมจังหวัดระยอง แสดงได้ดังตารางที่ 4 โดยได้ทำการศึกษาค่าเฉลี่ยปริมาณสารที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันตลอดช่วงชีวิต หรือ LADD วัยเด็ก วัยรุ่นและวัยผู้ใหญ่ พบว่าค่าเฉลี่ย LADD จากการสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} ของวัยเด็กเล็ก ช่วงอายุ 1-5 ปี, วัยเด็ก ช่วงอายุ 6-11 ปี, วัยรุ่น ช่วงอายุ 12-19 ปี และวัยผู้ใหญ่ ช่วงอายุ 20 ปีขึ้นไป มีค่าอยู่ในช่วง 0.21±0.08 ถึง 0.31±0.17, 0.25±0.10 ถึง 0.37±0.20, 0.21±0.08 ถึง 0.31±0.17 และ 1.33±0.52 ถึง 1.95±1.07 µg/kg-day ตามลำดับ

รูปที่ 4 แสดงค่าความเสี่ยงการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (R_{ic}) จากการสัมผัสฝุ่น PM_{2.5} ด้วยการ

หายใจของวัยเด็ก วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ พบว่าค่าเฉลี่ย R_{ic} ของฝุ่น PM_{2.5} ด้วยการหายใจในวัยเด็กเล็ก ช่วงอายุ 1-5 ปี, วัยเด็ก ช่วงอายุ 6-11 ปี, วัยรุ่น ช่วงอายุ 12-19 ปี และวัยผู้ใหญ่ ช่วงอายุ 20 ปีขึ้นไป มีค่าอยู่ในช่วง 1.4×10⁻⁵ ถึง 2.0 ×10⁻⁵, 6.3×10⁻⁶ ถึง 9.3 ×10⁻⁶, 2.3×10⁻⁶ ถึง 3.4×10⁻⁶ และ 1.3×10⁻⁵ ถึง 1.8×10⁻⁵ ตามลำดับ ค่าเฉลี่ย R_{ic} ของฝุ่น PM_{2.5} ของวัยเด็ก วัยรุ่นและผู้ใหญ่มีค่าอยู่ในช่วง 10⁻⁶ ถึง 10⁻⁴ แสดงว่า มีภาวะความเสี่ยงในการก่อมะเร็งที่ยอมรับได้ (Potential Health Risk) หากประเมินจากจำนวนประชากรหนึ่งล้าน พบว่าภาวะความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในวัยเด็กเล็ก ช่วงอายุ 1-5 ปี ประมาณ 14-20 คน วัยเด็ก ช่วงอายุ 6-11 ปี ประมาณ 6-9 คน วัยรุ่น ช่วงอายุ 12-19 ปี ประมาณ 2-3 คน และวัยผู้ใหญ่ ช่วงอายุ 20 ปีขึ้นไป ประมาณ 13-18 คน ขณะที่ภาวะความเสี่ยงในการก่อมะเร็งเฉลี่ย 70 ปี พบว่า ในวัยเด็กเล็ก ช่วงอายุ 1-5 ปี วัยเด็ก ช่วงอายุ 6-11 ปี วัยรุ่น และวัยผู้ใหญ่ ประมาณ 7-10, 2-3, 0.6-0.8 และ 0.4-0.6 คนต่อปี ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่น PM_{2.5} ที่ได้รับจากการหายใจในแต่ละวันตลอดช่วงชีวิต (LADD)

LADD (µg/kg-day)	พ.ย. 2564	ธ.ค. 2564	ม.ค. 2565	ก.พ. 2565	มี.ค. 2565	เม.ย. 2565
เด็กเล็ก ช่วงอายุ 1-5 ปี	0.21±0.08	0.31±0.17	0.30±0.13	0.29±0.14	0.21±0.13	0.31±0.19
เด็ก ช่วงอายุ 6-11 ปี	0.25±0.10	0.37±0.20	0.36±0.16	0.35±0.17	0.25±0.16	0.37±0.23
วัยรุ่น ช่วงอายุ 12-19 ปี	0.21±0.08	0.31±0.17	0.30±0.13	0.29±0.14	0.21±0.13	0.30±0.19
ผู้ใหญ่ ช่วงอายุ 20 ปีขึ้นไป	1.33±0.52	1.95±1.07	1.90±0.84	1.84±0.87	1.34±0.83	1.93±1.21



รูปที่ 4 ค่าความเสี่ยงการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (R_c) จากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ด้วยการหายใจในพื้นที่เขตอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง

อย่างไรก็ตาม ประเมินความเสี่ยงการก่อมะเร็งในมนุษย์ พบว่าวัยเด็กเล็ก ช่วงอายุ 1-5 ปี มีความเสี่ยงการก่อมะเร็งมากที่สุด เนื่องจากปัจจัยด้านสรีรวิทยาเด็ก โดยวัยเด็กจะมีความต้องการปริมาณออกซิเจนสูงเมื่อเทียบจากอัตราการหายใจต่อน้ำหนักตัวที่สูง [12] ซึ่งอัตราการหายใจเข้าเฉลี่ยของวัยเด็กจะมีค่ามากกว่าสามเท่าของวัยผู้ใหญ่ [27] ดังนั้น ระยะเวลาวัยเด็กจะได้รับสัมผัสฝุ่นละอองในอากาศเข้าสู่ทางเดินหายใจมากกว่าผู้ใหญ่ และอีกปัจจัย คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของทางเดินหายใจของวัยเด็กมีขนาดเล็กกว่าวัยผู้ใหญ่ จึงทำให้อัตราการหายใจของเด็กเพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลทำให้มีโอกาสการสะสมของฝุ่นละอองมากขึ้นได้ [28]

4. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่เขตอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง ช่วงฤดูแล้ง พบว่า มีค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศช่วงฤดูแล้ง เฉลี่ยรายวัน (24 ชั่วโมง) มีค่าเกินค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเฉลี่ยรายวันของกรมควบคุมมลพิษ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมสหรัฐอเมริกา ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) และองค์การอนามัยโลก ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ประมาณร้อยละ 2.3, 10.2 และ 56.8 ตามลำดับ นอกจากนี้ สำหรับการประเมินค่าความเสี่ยงในการก่อมะเร็งในตลอดช่วงชีวิต (R_c) ของเด็กและผู้ใหญ่ พบว่า อยู่ในช่วง 10^{-6} ถึง 10^{-4} แสดงว่า



ภาวะความเสี่ยงในการก่อมะเร็งยอมรับได้ งานวิจัยนี้จะสรุปได้ว่า ปริมาณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ อาจจะไม่ส่งผลกระทบต่ออาการก่อมะเร็งในมนุษย์ในพื้นที่จังหวัดระยองที่มีการเริ่มต้นพัฒนาโครงการ EEC แต่การพัฒนาพื้นที่ EEC อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพในอนาคตได้ ดังนั้น หน่วยงานราชการองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีส่วนเกี่ยวข้อง จึงต้องดำเนินการวางแผนการจัดการปัญหาหามลพิษทางอากาศ เพื่อรองรับการพัฒนาเศรษฐกิจต่อไป

5. ข้อเสนอแนะ

การเก็บตัวอย่างฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศของพื้นที่เขตอุตสาหกรรม จังหวัดระยอง ในช่วงฤดูแล้ง อาจจะไม่เพียงพอสำหรับการประเมินผลกระทบด้านมลพิษทางอากาศและการนำไปประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของประชาชน ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับสารมลพิษทางอากาศชนิดอื่นร่วมด้วย อาทิเช่น สาร VOCs, สาร PAHs, O_3 , NO_2 และ SO_2 เป็นต้น และมีการศึกษาปริมาณฝุ่น $PM_{2.5}$ ทุกช่วงฤดูกาลหรือตลอดระยะเวลาหนึ่งปี (ระยะยาว) อาจทำให้การประเมินความเสี่ยงด้านสุขภาพของมนุษย์มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

แนวทางแก้ไขและป้องกันปัญหาหามลพิษทางอากาศที่จะเกิดขึ้น ประชาชนสามารถติดตามข้อมูลข่าวสารมลพิษทางอากาศจากกรมควบคุมมลพิษผ่านทางแอปพลิเคชัน (Application) ชื่อว่า Air 4 Thai ที่สามารถติดตั้งในโทรศัพท์มือถือได้ ซึ่งจะมีข้อมูลของสารมลพิษทางอากาศหลักที่ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ (AQM) ทั่วประเทศไทย นอกจากนี้

หากเกิดปัญหาหามลพิษทางอากาศ ควรเลือกใช้หน้ากากที่สามารถป้องกันฝุ่นละอองขนาดเล็กได้ เช่น N95 หรือ KN 95 สำหรับภายในอาคารที่อยู่อาศัยหรือสำนักงาน ควรมีระบบกรองอากาศ หรือเครื่องกรองอากาศติดตั้ง และหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมภายนอกอาคารเมื่อเกิดปัญหาหามลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นแนวทางเบื้องต้นในการป้องกันปัญหาหามลพิษทางอากาศที่อาจจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ตามสัญญาเลขที่ KMUTNB-FF-65-33 และขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ พลังงานและสิ่งแวดล้อม ที่สนับสนุนการทำวิจัยให้แล้วเสร็จตามวัตถุประสงค์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Jinsart, Air pollution and air quality management, 1st Ed., Chula Book center, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, 2008. (in Thai)
- [2] N. Panich, Air pollution treatment system textbook, 3rd Ed., Department of Industrial Works, Bangkok, Thailand, 2016. (in Thai)
- [3] J. Sun and T. Zhou, Health risk assessment of China's main air pollution, BMC Public Health, 2017, 17, 212.



- [4] H. Xu, J.-F. Léon, C. Liousse, B. Guinot, V. Yoboué, A.B. Akpo, J. Adon, K.F. Ho, S.S.H. Ho, L. Li, E. Gardrat, Z. Shen and J. Cao, Personal exposure to PM_{2.5} emitted from typical anthropogenic sources in southern West Africa: chemical characteristics and associated health risks, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2019, 19(10), 6637-6657.
- [5] X. Zhang, S. Gao, Q. Fu, D. Han, X. Chen, S. Fu, X. Huang and J. Cheng, Impact of VOCs emission from iron and steel industry on regional O₃ and PM_{2.5} Pollutions, *Environmental Science and Pollution Research*, 2020, 27, 28853-28866.
- [6] H. Shen, P.-H. Cheng, C.-S. Yuan, Z.-M. Yang, C.-M. Hung and I.-R. Ie, Chemical characteristics, spatiotemporal distribution, and source apportionment of PM_{2.5} surrounding industrial complexes in Southern Kaohsiung, *Aerosol and Air Quality Research*, 2020, 20, 557-575.
- [7] S. Kawichai and S. Bootdee, Health risk assessment on exposure to PM_{2.5}-bound PAHs from an urban-industrial area in Rayong city, Thailand, *Macedonian Journal of Medical Science*, 2022, 10(E), 1-10.
- [8] S.N. Koplitz, D.J Jacob, M.P Sulprizio, L. Myllyvirta and C. Reid, Burden of Disease from Rising Coal-fired Power plant Emissions in Southeast Asia, *Environmental Science & Technology*, 2017, 51, 1467-1476.
- [9] D. Narita, N.T Kim Oanh, K. Sato, M. Hao, D.A. Permadi, N.N. Ha Chi, T. Ratanajaratroj and I. Pawarmart, Pollution characteristics and policy actions on fine particulate matter in a growing Asian economy: The case of Bangkok metropolitan region, *Atmosphere*, 2019, 10(5), 227.
- [10] T. Ponpiboon, I. Jayasvasti and A. Roongpisuthipong, Disaster in the winter of particle matter (PM_{2.5}), *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 2014, 8(1), 40-46. (in Thai)
- [11] D. Hu and J. Jiang, PM_{2.5} pollution and risk for lung cancer: Arising issue in China, *Journal of Environmental Protection*, 2014, 5(8), 731-738.
- [12] L. Miller and X. Xu, Ambient PM_{2.5} human health effects-findings in China and research directions, *Atmosphere*, 2018, 9, 424.



- [13] International Agency for Research on Cancer (IARC), Outdoor air pollution, V.109, IARC publication, Lyon Cedex, France, 2015.
- [14] <https://www.eeco.or.th/th/rules-regulations>. (Accessed on 26 May 2022) (in Thai)
- [15] <https://reg.diw.go.th/executive/Prov3.asp?prove20>. (Accessed on 26 March 2022) (in Thai)
- [16] <https://www.ratchakitcha.soc.go.th/DATA/PDF/2561/E/041/25.PDF> (Accessed on 28 August 2022) (in Thai)
- [17] <https://air4thai.pcd.go.th/webV3/#/Histor> (Accessed on 27 November 2022) (in Thai)
- [18] <https://www3.tmd.go.th/info/Drought> (Accessed on 24 November 2022) (in Thai)
- [19] N.A. Greene and V.R. Morris, 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, 2006, 3(1), 86-97.
- [20] S. Prasertsin and G. Nathapindhu, The temporal pattern of ambient PM_{2.5} and Health risk assessment in Thailand, Indian Journal of Public Health Research and Development, 2020, 11(03), 1,096-1,100.
- [21] C.-M. Liao and K.-C. Chiang, Probabilistic risk assessment for personal exposure to carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in Taiwanese temples, Chemosphere, 2006, 63(9), 1610-1619.
- [22] A. Aslam, M. Ibrahim, I. Shahid, A. Mahmood, M. Kashif Irshad, M. Yamin, M. Gazala Tariq and R.R Shamshiri, Pollution characteristics of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) and constituent carbonaceous aerosols in a South Asian future megacity, Applied Sciences, 2020, 10, 8864.
- [23] H.Y. Lu, Y.L. Wu, K. Mutuku and K.-H. Chang, Various sources of PM_{2.5} and their impact on the air quality in Tainan city, Taiwan, Aerosol and Air Quality Research, 2019, 19, 601-619.
- [24] <http://climate.tmd.go.th/data/province>. (Accessed on 8 April 2022) (in Thai)
- [25] V.S. Chithra and S.M. Shiva Nagendra, Impact of outdoor meteorology on indoor PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ concentrations in a naturally ventilated classroom, Urban Climate, 2014, 10, 77-91.



- [26] P. Schober, C. Boer and L.A. Schwarte, Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation, *Anesthesia and Analgesia*, 2018, 126(5), 1763-1768.
- [27] <http://www.epa.gov/ncea/efh>. (Accessed on 26 May 2022)
- [28] M.D. Miller, M.A. Marty, A. Arcus, J. Brown, D. Morry and M. Sandy, Differences between children and adults: implications for risk assessment at California EPA, *International Journal of Toxicology*, 2002, 21, 403–418.