

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการหายใจจากการรับสัมผัสสารพีเอเอช
ที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแยกขนาดในอากาศช่วงฤดูหมอกควัน
พื้นที่เขตเมืองจังหวัดเชียงใหม่ ปี 2565

Health Risk Assessment of Inhalation Exposure to Ambient Size-Fractionated
PM-bound PAHs during Smog Season in Chiang Mai Urban Area in 2022

วิวัฒน์ อินเซียน* วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
ณัตติพร ยะบึง** ปร.ด. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)
สมพร จันทระ*** Dr.rer.nat. (Biogeography)
ดวงเดือน เทพนวล**** ปร.ด. (เคมี)

Wittawat Insian* M.Sc. (Environmental Science)
Nuttipon Yabueng** Ph.D. (Environmental Science)
Somporn Chantara*** Dr.rer.nat. (Biogeography)
Duangduean Thepnuan**** Ph.D. (Chemistry)

* สำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 1 เชียงใหม่ กรมควบคุมโรค Office of Disease Prevention and Control, Region 1 Chiang Mai, Department of Disease Control

** ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Environmental Science Research Center, Faculty of Science, Chiang Mai University

*** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Department of Chemistry, Faculty of Science, Chiang Mai University

**** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University

Received: May 1, 2024

Revised: May 22, 2024

Accepted: Jun 10, 2024

บทคัดย่อ

หมอกควันในฤดูแล้งทางภาคเหนือจะแขวนลอยทั้งฝุ่นและละอองสารก่อให้เกิดวิกฤติต่อระบบทางเดินหายใจ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณอนุภาคฝุ่นแยกขนาด และความเข้มข้นของสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาดในอากาศ และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารพีเอเอชในอนุภาคฝุ่นจากการหายใจ โดยเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นต่อเนื่อง 48 ชั่วโมงด้วยเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นที่สามารถแยกอนุภาคได้ 9 ช่วงในอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ช่วงฤดูหมอกควัน ปี 2565 (กุมภาพันธ์-เมษายน) วิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารพีเอเอช 16 ตัว โดยใช้เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี และประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการหายใจตามแนวทางขององค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอเมริกา พบความเข้มข้นฝุ่นรวมทั้ง 9 ขนาด ระหว่าง 36.86-126.87 มคก./ลบ.ม. (เฉลี่ย 84.28 ± 27.32 มคก./ลบ.ม.) โดยอนุภาคฝุ่นขนาด 0.65-0.43 ไมครอน มีสัดส่วนสูงสุด ร้อยละ 18.08 สารพีเอเอชรวมที่พบใน PM_{10} มีความเข้มข้นระหว่าง 1.30-3.19 นก./ลบ.ม. (เฉลี่ย 2.14 ± 0.51 นก./ลบ.ม.) โดยพบสัดส่วนสูงสุดในอนุภาคฝุ่นขนาด 0.60.43 ไมครอน ร้อยละ 20.37 ผลการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารพีเอเอชผ่านการหายใจ พบค่าความเสี่ยงในระดับปานกลาง มีค่าเฉลี่ยความเสี่ยง 7.19×10^{-5} และพบค่าความเป็นพิษสูงสุดในฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.1 ไมครอน เมื่อพิจารณาค่าความเสี่ยง (ILCR) ตามกลุ่มวัยพบว่า เด็กอายุ 1-15 ปี มีค่าความเสี่ยงสูงกว่าผู้ใหญ่ อายุ 16-70 ปี 1-2 เท่า ดังนั้นหากความเข้มข้นของฝุ่นละอองสูงขึ้นจะเพิ่มความเสี่ยงต่อกลุ่มอาการระบบทางเดินหายใจและความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจมากขึ้นในกลุ่มวัยเด็ก

คำสำคัญ: ความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการหายใจ, อนุภาคฝุ่นแยกขนาด, สารพีเอเอช, ฤดูหมอกควัน

ABSTRACT

Haze occurred in the dry season in the north suspended dust and particulate matters became a respiratory health crisis. Objectives of this research were to investigate size-fractionated particulate matter and their polycyclic aromatic hydrocarbon (PAHs) concentrations in ambient air and to assess human respiratory health risk. Size-fractionated PMs were collected in Muang District of Chiang Mai Province during smoke haze period from February to April, 2022. The samples were continuously probed for 48 hours by using a cascade impactor air sampler that could be separated into nine fractions. 16-PAHs were analyzed by GC-MS. PAHs compositions were determined for respiratory health risk assessment that followed the U.S. EPA guidelines. The results showed that the concentrations of total PM (PM_{10}) ranged from 36.86-126.87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (average 84.28 $\pm$ 27.32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). The PM concentration was found to be highest in particle size ranged 0.65-0.43 μm , accounted for 18.08%. The concentrations of total PAHs in all PM sizes ranged from 1.30-3.19 ng/m^3 (average 2.14 $\pm$ 0.51 ng/m^3). The highest average concentration of PAHs was found in particle size ranged 0.65-0.43 μm , accounted for 20.37%. The results from health risk assessment of inhalation exposed to PAHs showed that the inhalation cancer risk was moderate with an average value of 7.19×10^{-5} . The highest toxicity equivalent concentration (TEQ) was found in fine particles with the particle size range lower than 2.1 μm . The incremental lifetime cancer risk (ILCR) in children group (1-15 years) was about 1-2 times higher than in adult group (16-70 years). To sum up all the investigation results, the high concentration of fine particles found in ambient air leads to high respiratory health risk and the high inhalation the high cancer risk, especially, in children group.

Key words: Respiratory health risk, Size-fractionated particulate matter, PAHs, Smog

บทนำ

ปัญหาหมอกพิษทางอากาศเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมหลักที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยเฉพาะพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเกิดปัญหาหมอกพิษทางอากาศเป็นประจำทุกปีในช่วงฤดูร้อน (กุมภาพันธ์-เมษายน) โดยมีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาในที่โล่ง ทั้งที่เกิดจากพื้นที่ในประเทศและประเทศเพื่อนบ้าน ก่อให้เกิดมลพิษข้ามแดน พื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ตั้งอยู่ใน “แอ่งเชียงใหม่-ลำพูน” ถูกล้อมรอบด้วยแนวภูเขาสูงสภาวะอากาศนิ่งในช่วงฤดูแล้ง ทำให้ฝุ่นละอองแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้นานโดยไม่ตกลงสู่พื้นดิน ก่อให้เกิดการสะสมของมลพิษในบริเวณแอ่ง (Thepnuan *et al.*, 2019; Yabueng *et al.*, 2020) โดยเฉพาะอนุภาคฝุ่น (PM) สถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ 10 ปี

ย้อนหลัง (ปี 2554-2564) พบรูปแบบการเกิดอนุภาคฝุ่นจะเริ่มสูงขึ้นในเดือนธันวาคม และพบความเข้มข้นสูงสุดเดือนมีนาคม จากนั้นจะลดลงในเดือนพฤษภาคมเป็นประจำทุกปี

ความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ จะมีความสัมพันธ์กับจุดความร้อน และปรากฏการณ์ของภูมิอากาศในแต่ละปี (Climate phenomena) ปีที่มีความเข้มข้นของฝุ่นสูงจะพบจุดความร้อนในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน รวมถึงจุดความร้อนในพื้นที่ประเทศเพื่อนบ้านเพิ่มสูงขึ้นด้วย และในปีที่มีการเกิดปรากฏการณ์เอลนีโญหรือสภาวะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิวน้ำทะเลในแปซิฟิกเขตศูนย์สูตรและความผันแปรของระบบอากาศในซีกโลกใต้ที่อยู่ในสภาวะเอลนีโญ (El Niño) กล่าวคือ อนุภูมิผิวน้ำทะเลบริเวณตอนกลางและตะวันออกของแปซิฟิก

เขตศูนย์สูตรร้อนชื้นผิดปกติ จะพบความเข้มข้นของฝุ่นสูงด้วยเช่นกัน (Yabueng *et al.*, 2020) ฝุ่นที่เกิดขึ้นในบรรยากาศจะพบสัดส่วนฝุ่นละเอียดมากกว่าฝุ่นหยาบ มากกว่าร้อยละ 70 ในช่วงฤดูการเผาในจังหวัดเชียงใหม่ (สมพร จันทระ และคณะ, 2561) ฝุ่นละเอียดส่งผลกระทบต่อสุขภาพได้มากกว่าฝุ่นหยาบ การรับสัมผัสอนุภาคฝุ่นที่มีความเข้มข้นสูงเป็นระยะเวลานานจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะยาว (Kim *et al.*, 2015; Yin *et al.*, 2019) โดยอนุภาคฝุ่นหยาบที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 10.0-5.8 ไมครอน จะเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนบน คือ รูจมูกและช่องจมูก ฝุ่นขนาด 5.8-4.7 ไมครอน จะตกสะสมบนคอหอย (pharynx) ฝุ่นขนาด 4.7-3.3 ไมครอน จะตกสะสมในหลอดลม และหลอดลมฝอยส่วนต้น (trachea and primary bronchi) ฝุ่นขนาด 3.3-2.1 ไมครอน จะตกสะสมในหลอดลมฝอยส่วนกลาง (secondary bronchi) ฝุ่นขนาด 2.1-1.1 ไมครอน จะตกสะสมในหลอดลมฝอยส่วนปลาย (terminal bronchi) และฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1.1 ไมครอน ตกสะสมในถุงลม (alveoli) แล้วสามารถเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดในร่างกายของมนุษย์ได้ โดยเฉพาะฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน ซึ่งเรียกว่า ฝุ่นระดับนาโน (Löndahl *et al.*, 2006; Sarigiannis *et al.*, 2015) ทั้งนี้ไม่เพียงแต่อนุภาคฝุ่นแต่องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นที่มีความเป็นพิษ เช่น สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (พีเอเอช) ส่วนใหญ่จะเกาะกับอนุภาคขนาดเล็ก ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพเช่นกัน

สารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) หรือสารพีเอเอช (PAHs) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่ประกอบด้วยวงเบนซีนตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป แหล่งกำเนิดของพีเอเอชที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม เกิดจากการเผาไหม้สารอินทรีย์ที่ไม่สมบูรณ์ (Zhang *et al.*, 2019) องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมอเมริกา (The United States of America Environmental Protection Agency; U.S. EPA) ได้กำหนดสารพีเอเอช 16 ตัวในบรรยากาศ เป็นสารหลักที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ และ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization; WHO) กำหนดค่าระดับความเข้มข้น

ที่เป็นระดับเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งทางการหายใจไม่เกิน 1 นก./ลบ.ม. (WHO, 2000) สารพีเอเอชโดยทั่วไปแล้วไม่ค่อยเกิดพิษแบบเฉียบพลัน หากมีการรับสัมผัสในระยะเวลายาวนาน จะทำให้เกิดการระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ ผิวหนัง และตา หากได้รับสัมผัสเป็นระยะเวลายาวนานจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็ง เนื่องจากสารพีเอเอชมีคุณสมบัติเป็นสารก่อมะเร็ง (Goudarzi *et al.*, 2021) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการติดตามตรวจสอบสารมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เพื่อเป็นองค์ความรู้สำหรับสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพให้กับประชาชนในการป้องกันอันตรายจากสารมลพิษทางอากาศ รวมถึงเป็นข้อมูลสำหรับกำหนดนโยบายให้หน่วยงานสาธารณสุขทั้งในภาครัฐ ภาคเอกชน องค์กรอิสระ ในการเฝ้าระวัง ป้องกัน เพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพจากปัญหามลพิษทางอากาศสำหรับประชาชนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณอนุภาคฝุ่นและสารพีเอเอชรวมที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด และหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณอนุภาคฝุ่นและปริมาณสารพีเอเอชรวมที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด รวมถึงประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารพีเอเอชที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นในช่วงฤดูหมอกควัน

วิธีการศึกษา

พื้นที่ศึกษา

สถานีเก็บตัวอย่างตั้งอยู่ในพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ (18° 48' 5.40"N, 98° 57' 12.18"E) ที่มีความสูง 373 เมตรเหนือระดับน้ำทะเล อุปกรณ์เก็บตัวอย่างติดตั้งบนชั้นดาดฟ้าของอาคาร 9 ชั้น ตึก 30 ปี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ดังรูปที่ 1 มีความสูงประมาณ 30 เมตร พื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการจราจร เนื่องจากถูกล้อมรอบด้วยถนนเส้นหลักและแหล่งท่องเที่ยว เช่น ถนนนิมมานเหมินท์ ถนนสุเทพ และอยู่ห่างจากสนามบินนานาชาติเชียงใหม่ 4 กิโลเมตร นอกจากนี้ยังเป็นพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ

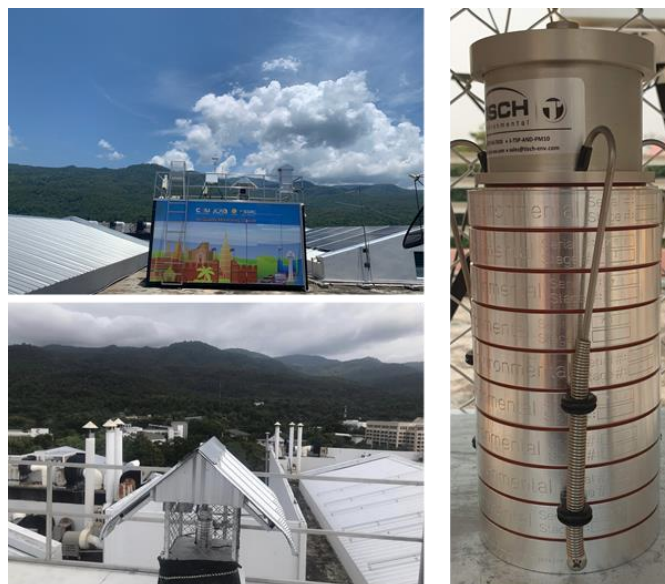
**การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพทางการหายใจจากการรับสัมผัสสารพีเอเอช
ที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแยกขนาดในอากาศช่วงฤดูหมอกควัน
พื้นที่เขตเมืองจังหวัดเชียงใหม่ ปี 2565**

หลักจากการเผาในที่โล่ง โดยเฉพาะในช่วงฤดูหมอกควัน อีกทั้งยังอยู่ใกล้กับพื้นที่อุทยานแห่งชาติดอยสุเทพ-ปุย ซึ่งเป็นพื้นที่ที่เกิดการเผาในที่โล่งเป็นประจำเกือบทุกปี สถานีเก็บตัวอย่างอยู่ห่างจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ (PCD35t) ศูนย์ราชการ จังหวัดเชียงใหม่ ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ประมาณ 4.3 กิโลเมตร

การเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นแยกขนาด

ทำการเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นแยกขนาดด้วย เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นแบบแยกขนาด eight-stage cascade impactor ยี่ห้อ TISCH Environment ประเทศสหรัฐอเมริกา ดังรูปที่ 1 ที่มีอัตราการไหลของอากาศ 28.3 ลิตรต่อนาที โดยแยกอนุภาคฝุ่นทั้งหมด 9 ขนาด ได้แก่ ได้แก่ 10.0-9.0, 9.0-5.8, 5.8-4.7, 4.7-3.3, 3.3-2.1, 2.1-1.1, 1.1-0.65, 0.65-0.43 และ < 0.43 ไมครอน ตั้งไว้บนชั้นดาดฟ้าของอาคาร 9 ชั้น ตึก 30 ปี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในช่วงฤดูหมอกควัน ปี 2565 (กุมภาพันธ์-เมษายน) ทำการเก็บแต่ละตัวอย่างแบบต่อเนื่องเป็นเวลา 48 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่าง

อย่างน้อย 3 ครั้งต่อเดือน เป็นระยะเวลา 3 เดือน ได้ตัวอย่างฝุ่นทั้งหมด 13 ชุด รวมเป็น 117 ตัวอย่าง (13 ชุด ๆ ละ 9 ตัวอย่าง) ทำการเก็บฝุ่นด้วยกระดาศกรองแบบควอตซ์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 81 มิลลิเมตร ยี่ห้อ TISCH Environment ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยกระดาศที่มีรูตรงกลางขนาด 22 มิลลิเมตร สำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นชั้นที่ 0-1 และกระดาศกรองที่ไม่มีรูตรงกลางสำหรับเก็บตัวอย่างฝุ่นชั้นที่ 2-8 กระดาศกรองจะถูกอบด้วยเครื่องอบ Ney® VULCAN D-1750 ที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในกระดาศกรอง หลังจากนั้นนำกระดาศกรองมาใส่ตู้ดูดความชื้นอย่างน้อยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 5 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์) ในห้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จากนั้นนำไปเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาดเป็นระยะเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นเสร็จแล้ว นำกระดาศกรองมาใส่ตู้ดูดความชื้นอย่างน้อยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อนำมาหาคำนวณอนุภาคฝุ่นสุทธิ โดยใช้หลักการวิเคราะห์แบบ Gravimetric Method



รูปที่ 1 สถานีเก็บตัวอย่าง และเครื่องเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นแยกขนาด eight-stage cascade impactor

การวิเคราะห์หาสารพอลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (สารพีเอเอช)

การวิเคราะห์หาสารพีเอเอช จำนวน 16 ชนิด ได้แก่ Naphthalene (NAP), Acenaphthylene (ACY), Acenaphthene (ACE), Fluorene (FLU), Phenanthrene (PHE), Anthracene (ANT), Fluoranthene (FLA), Pyrene (PYR), Benz[a]anthracene (BaA), Chrysene (CHR), Benzo[b]fluoranthene (BbF), Benzo[k]fluoranthene (BkF), Benzo[a]pyrene (BaP), Indeno [1,2,3cd] pyrene (IND), Dibenzo[a,h]anthracene (DbA) และ Benzo[g,h,i] perylene (BPER) โดยทำการสกัดสารพีเอเอชจากอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาดตามวิธีของ Insian *et al.* (2022) โดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างไดคลอโรมีเทน:เฮกเซน อัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 25 มิลลิลิตร สกัดด้วยเครื่องอัลตราโซนิก ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้มากรองด้วยกระดาษกรองชนิด Nylon ขนาดรูพรุน 0.45 ไมโครเมตร ระเหยเอาตัวทำละลายออกด้วยเครื่องระเหยสุญญากาศ จนกระทั่งสารละลายเหลือปริมาตรน้อยกว่า 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายมาตรฐานภายใน จำนวน 2 ตัว คือ Acenaphthene-d10 (ACE-d10) และ Perylene-d12 (PER-d12) และปรับปริมาตรเป็น 2 มิลลิลิตรด้วยตัวทำละลายผสม

จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ไปทำการวิเคราะห์หาปริมาณสารพีเอเอชจำนวน 16 ตัว ด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (GC-MS) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 7820A-5977E ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้คอลัมน์ Rxi-5Sil MS capillary column ใช้แก๊สฮีเลียมเป็น Carrier gas ปริมาตรในการฉีดคือ 1 ไมโครลิตร โหมด Splitless และอุณหภูมิในการฉีดที่ 275 องศาเซลเซียส สำหรับกำหนดโปรแกรมอุณหภูมิของคอลัมน์เริ่มต้นที่ 70 องศาเซลเซียส ตั้งให้อุณหภูมิคงที่ 2 นาที จากนั้นกำหนดให้อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 70-200 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 8 องศาเซลเซียสต่อนาที ตั้งให้อุณหภูมิคงที่ 2 นาที จากนั้นกำหนดให้อุณหภูมิสูงขึ้นจาก

200-260 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ตั้งให้อุณหภูมิคงที่ 8 นาที แล้วกำหนดให้อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 260 - 290 องศาเซลเซียส ด้วยอัตรา 15 องศาเซลเซียสต่อนาที ตั้งให้อุณหภูมิคงที่ 7 นาที และกำหนดให้อุณหภูมิสุดท้ายคงที่ที่อุณหภูมิ 290 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที รวมใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ทั้งสิ้น 45 นาทีต่อตัวอย่าง

การคำนวณหาความเข้มข้นของสารพีเอเอชในสารละลายตัวอย่างสกัด ใช้วิธีการเทียบกับกราฟมาตรฐานของสารพีเอเอชแต่ละตัว โดยแกน X แสดงความเข้มข้นของสาร 1, 2, 4, 6, 8, 10 และ 20 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และแกน Y แสดงความสูงของพีคระหว่างสารพีเอเอชแต่ละตัวที่ความเข้มข้นนั้นๆ เทียบกับ Internal standard คือ ACE-d10 หรือ PER-d12 โดยกราฟที่ยอมรับได้ต้องมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มากกว่า 0.995 จากนั้นคำนวณหาความเข้มข้นของสารพีเอเอชในหน่วยนาโนกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของอากาศ โดยเทียบจากปริมาณสารที่วิเคราะห์ได้กับปริมาตรของอากาศที่เก็บตัวอย่างความเข้มข้นของสารพีเอเอชรวมทั้ง 16 ชนิด (Total PAHs; tPAHs) แสดงดังสมการที่ 1

$$tPAHs = \sum [PAH_i] \quad (1)$$

โดยที่ $[PAH_i]$ คือ ความเข้มข้นของสาร PAH แต่ละชนิด จำนวน 16 ชนิด

ค่าขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of Detection: LOD) ของสารพีเอเอชทั้ง 16 ตัว อยู่ระหว่าง 0.079-0.355 นนก./มล. และค่าขีดจำกัดของการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantification: LOQ) อยู่ระหว่าง 0.304-1.154 นนก./มล. โดยวิธีวิเคราะห์นี้มีความถูกต้องสูง โดยมีร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) อยู่ระหว่าง 61%-120% สารแนฟทาลิน (NAP) มีค่า %Recovery ต่ำกว่า 80 เนื่องจากแนฟทาลินเป็นสารที่มีจุดเดือดต่ำและง่ายต่อการระเหยระหว่างการสกัด สำหรับความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์มีความเที่ยงสูง แสดงด้วยค่าร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) อยู่ระหว่าง 2%-14%

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพในมนุษย์ด้าน
การเกิดมะเร็ง

1) การคำนวณหาค่าความเป็นพิษจากสารพีเอเอช
(Toxicity equivalent concentration; TEQ)

คำนวณหาค่าความเป็นพิษจากสารพีเอเอช จาก
สมการที่ 2

$$TEQ = \sum_i [C_i \times TEF_i] \quad (2)$$

โดยที่ C_i คือ ความเข้มข้นของ PAH แต่ละชนิด
 TEF_i คือ ปัจจัยความเป็นพิษ

ค่า TEQ ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การคำนวณจาก
สมการที่ 3 ซึ่งกำหนดโดย Nisbet & LaGoy (1992)

$$TEQ = 0.001(NAP + ACY + ACE + FLU + PHE + FLA + PYR) + 0.01(ANT + BPER + CHR) + 0.1(BaA + BbF + BkF + IND) + BaP + DbA \quad (3)$$

โดย NAP หมายถึง Naphthalene, ACY หมายถึง Acenaphthylene, ACE หมายถึง Acenaphthene, FLU หมายถึง Fluorene, PHE หมายถึง Phenanthrene, FLA หมายถึง Fluoranthene, PYR หมายถึง Pyrene, ANT หมายถึง Anthracene, BPER หมายถึง Benzo[g,h,i]perylene, CHR หมายถึง Chrysene, BaA หมายถึง Benz[a]anthracene, BbF หมายถึง Benzo[b]fluoranthene, BkF หมายถึง Benzo[k]fluoranthene, IND หมายถึง Indeno[1,2,3-cd]pyrene, BaP หมายถึง Benzo[a]pyrene, DbA หมายถึง Dibenzo[a,h]anthracene

2) การประเมินความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็ง
จากการหายใจ

นำค่าความเป็นพิษจากสารพีเอเอชมาประเมิน
ความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งจากการหายใจ
(Inhalation cancer risk; ICR) ตลอดช่วงระยะเวลา
70 ปี โดยสมการที่ 4 ซึ่งกำหนดโดยองค์กรพิทักษ์
สิ่งแวดล้อมแห่งสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA, 2005)

$$ICR = TEQ \times IUR_{BaP} \quad (4)$$

IUR_{BaP} คือ หน่วยความเสี่ยงจากการหายใจ
หมายถึง ความเสี่ยงของการเกิดโรคมะเร็งจากอายุ
(ค่ากำหนดประมาณ 70 ปี) คำนวณในหน่วยมวลของ
เบนโซ(เอ)ไพรีน (BaP) (ลูกบาศก์เมตร/ไมโครกรัม)

โดยองค์การอนามัยโลก (WHO, 2000) ได้กำหนดค่า
 IUR_{BaP} มีค่าเท่ากับ 8.7×10^{-2} ลูกบาศก์เมตร/
ไมโครกรัม โดยค่า ICR ที่คำนวณได้

มีค่าน้อยกว่า 10^{-6} แปลว่า มีความเสี่ยงจากการ
สัมผัสต่ำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

มีค่าอยู่ระหว่าง 10^{-6} - 10^{-4} หมายถึง มีความเสี่ยง
จากการสัมผัสปานกลาง

มีค่ามากกว่า 10^{-4} หมายถึง มีความเสี่ยงจากการ
สัมผัสสูง

(Insian *et al.*, 2022; Wiriya *et al.*, 2013;
Thepnuan & Chantara, 2020)

สำหรับการประเมินความเสี่ยงของการเป็นมะเร็ง
จากการหายใจจำแนกรายกลุ่มอายุ ใช้การคำนวณหา
ค่าความเสี่ยงในการก่อให้เกิดมะเร็งตลอดช่วงชีวิต
(Incremental Lifetime Cancer Risk; ILCR) 70 ปี
จากการสัมผัสสาร PAHs ที่เกาะอยู่กับอนุภาคฝุ่น
ทางการหายใจ โดยพิจารณาแยกตามกลุ่มอายุ
ทั้งหมดจำนวน 6 กลุ่ม ประกอบด้วย วัยเด็ก ได้แก่
กลุ่มอายุ 1-<2 ปี กลุ่มอายุ 2-<3 ปี กลุ่มอายุ 3-<6 ปี
กลุ่มอายุ 6-<11 ปี กลุ่มอายุ 11-<16 ปี และวัยผู้ใหญ่
ได้แก่ กลุ่มอายุ 16-70 ปี คำนวณค่า ILCR จาก
สมการที่ 5

$$ILC = \frac{CSF \times \sqrt[3]{\frac{BW}{70}} \times TEQ \times InhR \times ET \times EF \times ED}{BW \times AT} \times CF$$

โดยที่ CFS (Inhalation carcinogenic slope
factor) คือ สัมประสิทธิ์ความชันในการก่อให้เกิด
มะเร็ง มีค่าเท่ากับ 3.85 มก./กก.วัน (Pongpiachan,
2016)

BW (Body Weight) คือ น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ย
มีหน่วยเป็น กก.

InhR (Inhalation Rate) คือ อัตราการหายใจ
มีหน่วยเป็น ลบ.ม.ต่อวัน

ET (Exposure Time) คือ ระยะเวลาที่ได้สัมผัส
มีหน่วยเป็น ชม.ต่อวัน

EF (Exposure Frequency) คือ ความถี่ของการ
สัมผัส มีหน่วยเป็น วันต่อปี

ED (Exposure Duration) คือ ระยะเวลาที่สัมผัส
มีหน่วยเป็น ปี

AT (Averaging Time) คือ อายุขัยเฉลี่ยของประชากรที่จะได้รับความเสี่ยง มีหน่วยเป็น ชั่วโมง (รายละเอียดดังตารางที่ 1)

ค่า ILCR อยู่ระหว่าง 10^{-6} - 10^{-4} แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจ ถ้ามีค่ามากกว่า 1.0×10^{-4} หมายถึง มีความเสี่ยงจากการรับสัมผัสสูงหรืออยู่ในระดับที่ไม่ปลอดภัย

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับใช้ประเมินความเสี่ยงของการเป็นมะเร็งจากการหายใจจำแนกรายกลุ่มอายุ (Kawichai & Bootdee, 2022; Tadsanaprasittipol *et al.*, 2021)

กลุ่มอายุ	BW (กก.)	InhR (ลบ.ม./วัน)	ET (ชม./วัน)	EF (วัน/ปี)	ED (ปี)	AT (ชั่วโมง)
วัยเด็ก (1-15 ปี)						
1 - <2 ปี	11.4	5.4	24	350	1	1,460
2 - <3 ปี	13.8	8.9	24	350	1	1,460
3 - <6 ปี	18.6	10.1	24	350	3	4,380
6 - <11 ปี	31.8	12.0	24	350	5	7,300
11 - <16 ปี	56.8	15.2	24	350	5	7,300
วัยผู้ใหญ่ (16-70 ปี)						
16-70 ปี	80	17.5	24	350	54	78,840

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นและความเข้มข้นของสารพีเอเอชรวมที่เกาะกับฝุ่นในอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาดโดยใช้ Pearson's Correlation

ผลการศึกษา

ความเข้มข้นอนุภาคฝุ่นแยกขนาด

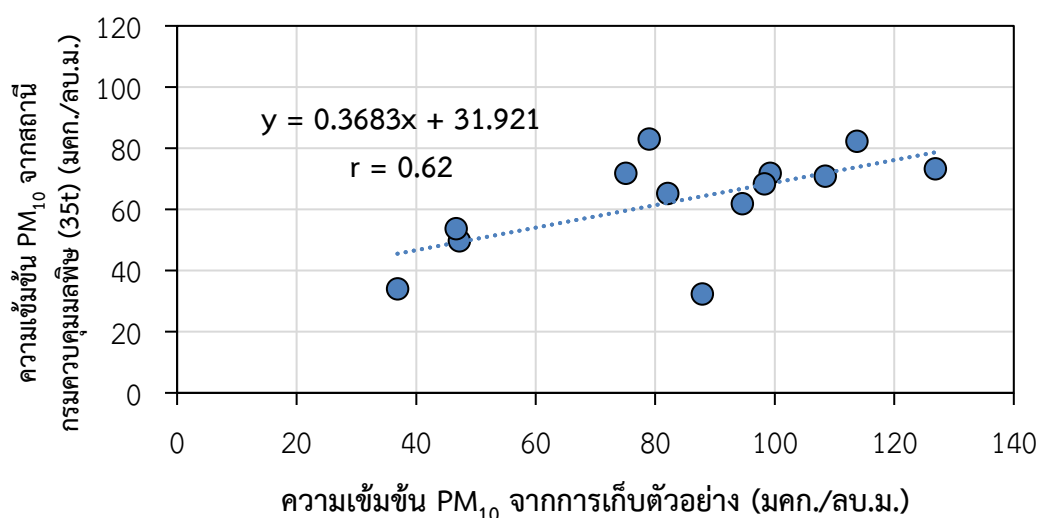
ความเข้มข้นฝุ่นรวมทั้ง 9 ขนาด (PM_{10}) มีค่าระหว่าง 36.86-126.87 มกค./ลบ.ม. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 84.28 ± 27.32 มกค./ลบ.ม. โดยพบสัดส่วนความเข้มข้นสูงสุดที่อนุภาคฝุ่นขนาด 0.65-0.43 ไมครอน ร้อยละ 18.08 (ค่าเฉลี่ย 15.24 ± 4.51 มกค./ลบ.ม.) รองลงมาเป็นอนุภาคฝุ่นขนาด 1.1-0.65 ไมครอน ร้อยละ 14.83 (ค่าเฉลี่ย 12.49 ± 4.29 มกค./ลบ.ม.) และอนุภาคฝุ่นขนาด 2.1-1.1 ไมครอน ร้อยละ 11.38

(ค่าเฉลี่ย 9.59 ± 3.26 มกค./ลบ.ม.) ตามลำดับ เมื่อจำแนกขนาดอนุภาคฝุ่นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่น ประกอบด้วย ฝุ่นหยาบ ที่มีขนาด 10.0-2.1 ไมครอน ฝุ่นละเอียด ประกอบด้วยฝุ่นที่มีขนาด 2.1-0.43 ไมครอน และฝุ่นละเอียดมากที่มีขนาดเล็กกว่า 0.43 ไมครอน พบสัดส่วนของฝุ่นหยาบสูงสุดร้อยละ 49.41 (ค่าเฉลี่ย 41.64 ± 15.08 มกค./ลบ.ม.) รองลงมาเป็นฝุ่นละเอียด ร้อยละ 44.29 (ค่าเฉลี่ย 37.32 ± 11.49 มกค./ลบ.ม.) และฝุ่นละเอียดมาก ร้อยละ 6.30 (ค่าเฉลี่ย 5.31 ± 3.14 มกค./ลบ.ม.) ดังตารางที่ 2

ความเข้มข้นของฝุ่นรวมทุกขนาด (PM_{10}) ที่ได้จากงานวิจัยเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นฝุ่น PM_{10} จากข้อมูลสถานีตรวจวัดฝุ่นของกรมควบคุมมลพิษ สถานี 35t ที่ตั้งอยู่บริเวณศูนย์ราชการจังหวัดเชียงใหม่ พบมีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่าระดับความสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.62 ดังรูปที่ 2

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นฝุ่นเฉลี่ย และสัดส่วนของอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด

ขนาดอนุภาคฝุ่น (ไมครอน)	ความเข้มข้นฝุ่น (มกก./ลบ.ม.)					สัดส่วน (ร้อยละ)
	ค่าเฉลี่ย	±	S.D.	สูงสุด	ต่ำสุด	
10.0-9.0	8.30	±	3.22	13.82	3.66	9.85
9.0-5.8	8.42	±	3.13	14.80	4.15	10.00
5.8-4.7	7.27	±	3.32	11.61	2.82	8.63
4.7-3.3	8.79	±	3.81	14.85	1.23	10.43
3.3-2.1	8.85	±	3.53	14.56	3.07	10.50
2.1-1.1	9.59	±	3.26	15.13	4.60	11.38
1.1-0.65	12.49	±	4.29	18.12	3.64	14.83
0.65-0.43	15.24	±	4.51	24.17	6.95	18.08
< 0.43	5.31	±	3.14	11.17	1.68	6.30
ฝุ่นหยาบ (10.0-2.1)	41.64	±	15.08	64.40	18.37	49.41
ฝุ่นละเอียด (2.1-0.43)	37.32	±	11.49	57.42	16.81	44.29
ฝุ่นละเอียดมาก (< 0.43)	5.31	±	3.14	11.17	1.68	6.30
ฝุ่นรวม (PM ₁₀)	84.28	±	27.32	126.87	36.86	100.00



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้น PM₁₀ จากสถานีกรมควบคุมมลพิษกับความเข้มข้น PM₁₀ จากการเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นแยกขนาด

ความเข้มข้นสารพอลิไซคลิกอะโรมาติก
ไฮโดรคาร์บอนที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด

ความเข้มข้นของสารพีเอเอชรวม (tPAHs) 16 ชนิด
ที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นรวมทั้ง 9 ขนาด มีค่าอยู่ระหว่าง

1.30-3.19 นก./ลบ.ม. ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.14±0.51
นก./ลบ.ม. เมื่อจำแนกตามขนาดอนุภาค จำนวน
3 ขนาด ได้แก่ ฝุ่นหยาบ (10.0-2.1 ไมครอน)
ฝุ่นละเอียด (2.1-0.43 ไมครอน) และฝุ่นละเอียดมาก
(<0.43 ไมครอน) พบสัดส่วนของสารพีเอเอชรวม

เกาะกับอนุภาคฝุ่นละเอียดสูงสุด ร้อยละ 51.06 ขนาด 1.1-0.65 ไมครอน ร้อยละ 18.21 (ค่าเฉลี่ย รองลงมาเป็นฝุ่นหยาบ ร้อยละ 40.70 และฝุ่น 0.39±0.18 นนก./ลบ.ม.) และอนุภาคขนาดฝุ่นขนาด ละเอียดมาก ร้อยละ 8.24 ตามลำดับ และเมื่อ 2.1-1.1 ไมครอน ร้อยละ 13.35 (ค่าเฉลี่ย 0.29± 0.11 นนก./ลบ.ม.) ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 พิจารณาสัดส่วนความเข้มข้นของสารพีเอเอชรวม ตามขนาดอนุภาคฝุ่น 9 ขนาด พบสูงสุดในอนุภาคฝุ่น ขนาด 0.65-0.43 ไมครอน ร้อยละ 20.37 (ค่าเฉลี่ย 0.44±0.15 นนก./ลบ.ม.) รองลงมาเป็นอนุภาคฝุ่น

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นและสัดส่วนของสารพีเอเอชรวมที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด

ขนาดอนุภาคฝุ่น (ไมครอน)	ความเข้มข้นสารพีเอเอชรวม (นนก./ลบ.ม.)					สัดส่วน (ร้อยละ)
	ค่าเฉลี่ย	±	S.D.	สูงสุด	ต่ำสุด	
10.0-9.0	0.15	±	0.05	0.26	0.10	7.15
9.0-5.8	0.17	±	0.06	0.29	0.10	8.18
5.8-4.7	0.17	±	0.05	0.24	0.07	7.78
4.7-3.3	0.17	±	0.05	0.23	0.07	7.91
3.3-2.1	0.19	±	0.05	0.29	0.12	9.08
2.1-1.1	0.29	±	0.11	0.45	0.15	13.35
1.1-0.65	0.39	±	0.18	0.86	0.16	18.21
0.65-0.43	0.44	±	0.15	0.65	0.26	20.37
<0.43	0.17	±	0.04	0.22	0.08	7.97
ฝุ่นหยาบ (10.0-2.1)	0.87	±	0.19	1.22	0.46	40.70
ฝุ่นละเอียด (2.1-0.43)	1.09	±	0.38	1.91	0.63	51.06
ฝุ่นละเอียดมาก (<0.43)	0.18	±	0.04	0.22	0.08	8.24
ฝุ่นรวม (PM ₁₀)	2.14	±	0.51	3.19	1.30	100.00

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอนุภาค ฝุ่น และความเข้มข้นของสารพีเอเอชรวมที่เกาะกับ อนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด ของฝุ่นในอนุภาคฝุ่นรวม (r=0.701) ฝุ่นละเอียด (r=0.606) ฝุ่นที่มีขนาดอนุภาค 3.3-2.1 ไมครอน (r=0.638) และฝุ่นขนาด 1.1-0.65 ไมครอน (r=0.606) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ดังตารางที่ 4

ผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของสาร พีเอเอชรวม 16 ชนิด มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้น

ตารางที่ 4 ผลวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด และความเข้มข้นของ
สารพีเอเอชรวม 16 ชนิดที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด

ขนาดอนุภาคฝุ่น (ไมครอน)	ค่าระดับความสัมพันธ์ (r)	p-value
10.0-9.0	-0.093	0.762
9.0-5.8	0.043	0.890
5.8-4.7	0.246	0.418
4.7-3.3	0.479	0.097
3.3-2.1	0.638*	0.019
2.1-1.1	0.447	0.126
1.1-0.65	0.606*	0.028
0.65-0.43	0.506	0.078
<0.43	0.499	0.083
ฝุ่นหยาบ (10.0-2.1)	0.423	0.150
ฝุ่นละเอียด (2.1-0.43)	0.606*	0.028
ฝุ่นละเอียดมาก (<0.43)	0.499	0.083
ฝุ่นรวม (PM ₁₀)	0.701*	0.008

* p-value<0.05

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการเป็น มะเร็งจากการหายใจ

ค่าความเป็นพิษจากการรับสัมผัสสารพีเอเอชรวม (TEQ) ในอนุภาคฝุ่นรวม (PM₁₀) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.83 ± 0.20 นก./ลบ.ม. พบว่า TEQ สูงในฝุ่นละเอียดที่มีขนาดเล็กกว่า 2.1 ไมครอน โดยพบค่าสูงสุดในอนุภาคฝุ่นขนาด 0.65-0.43 ไมครอน (ค่าเฉลี่ย 0.14 ± 0.04 นก./ลบ.ม.) ซึ่งพบสูงกว่าอนุภาคขนาดอื่น 1.1-2.0 เท่า เมื่อนำค่า TEQ มา

ประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการเป็นมะเร็งจากการหายใจ (ICR) ตลอดช่วงระยะเวลาอายุ 70 ปี พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.19×10^{-5} แสดงว่า มีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจอยู่ในระดับปานกลาง เมื่อพิจารณาตามขนาดอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด พบความเสี่ยงปานกลางจากการหายใจสัมผัสอนุภาคฝุ่นขนาด 1.1-0.65 ไมครอน และ 0.65-0.43 ไมครอน สำหรับอนุภาคฝุ่นขนาดอื่นพบความเสี่ยงต่ำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 5

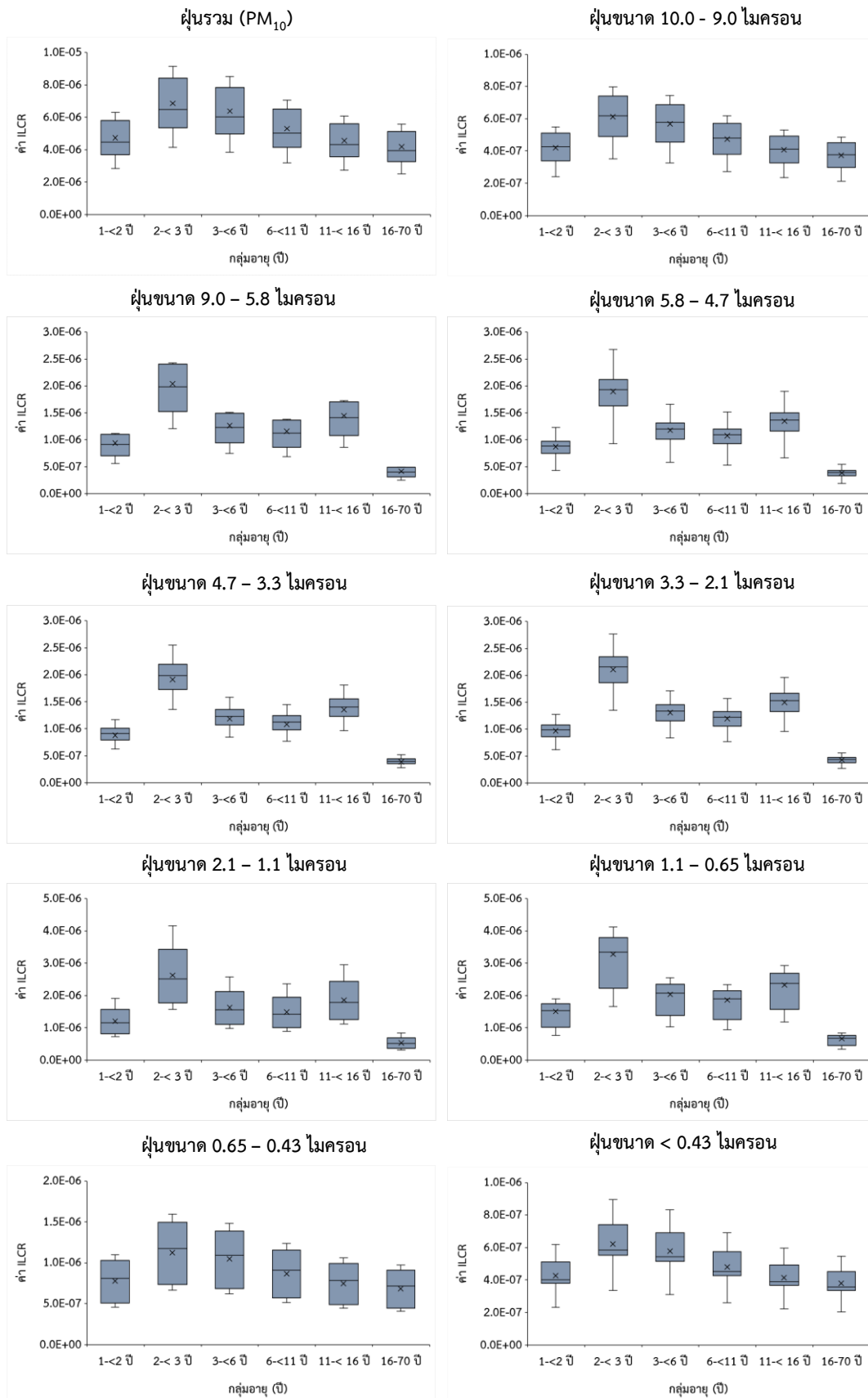
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยความเป็นพิษของสารพีเอเอชรวม (TEQ) และค่าเฉลี่ยความเสี่ยงของการเกิดมะเร็งจากการหายใจ (ICR)

ขนาดอนุภาคฝุ่น (ไมครอน)	TEQ (ng/m ³)			ICR			การแปลผล
	ค่าเฉลี่ย	±	S.D.	ค่าเฉลี่ย	±	S.D.	
10.0-9.0	0.07	±	0.02	6.40X10 ⁻⁶	±	1.51 X10 ⁻⁶	เสี่ยงต่ำ
9.0-5.8	0.08	±	0.03	7.12X10 ⁻⁶	±	2.32X10 ⁻⁶	เสี่ยงต่ำ
5.8-4.7	0.08	±	0.02	6.61X10 ⁻⁶	±	1.67X10 ⁻⁶	เสี่ยงต่ำ
4.7-3.3	0.08	±	0.02	6.66X10 ⁻⁶	±	1.57X10 ⁻⁶	เสี่ยงต่ำ
3.3-2.1	0.08	±	0.02	7.36X10 ⁻⁶	±	1.31X10 ⁻⁶	เสี่ยงต่ำ
2.1-1.1	0.11	±	0.04	9.16X10 ⁻⁶	±	3.05X10 ⁻⁶	เสี่ยงต่ำ
1.1-0.65	0.13	±	0.05	1.14X10 ⁻⁵	±	4.64X10 ⁻⁶	เสี่ยงปานกลาง
0.65-0.43	0.14	±	0.04	1.18X10 ⁻⁵	±	3.69X10 ⁻⁶	เสี่ยงปานกลาง
<0.43	0.07	±	0.02	6.50X10 ⁻⁶	±	1.63 X10 ⁻⁶	เสี่ยงต่ำ
ฝุ่นรวม (PM₁₀)	0.83	±	0.20	7.19X10⁻⁵	±	1.75X10⁻⁵	เสี่ยงปานกลาง

เมื่อทำการประเมินความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจตลอดช่วงชีวิต (ILCR) ในอนุภาคฝุ่นรวม (PM₁₀) จำแนกตามกลุ่มวัย พบว่า ค่า ILCR ในกลุ่มวัยเด็ก (1-15 ปี) มีค่าอยู่ระหว่าง 2.8x10⁻⁶-9.2x10⁻⁶ (เฉลี่ย 5.6x10⁻⁶±1.6x10⁻⁶) และวัยผู้ใหญ่ (16-70 ปี) มีค่าอยู่ระหว่าง 2.5x10⁻⁶-5.6x10⁻⁶ (เฉลี่ย 4.2x10⁻⁶±1.0x10⁻⁶) ค่า ILCR มีค่าอยู่ระหว่าง 10⁻⁶-10⁻⁴ แสดงว่ามีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจ กลุ่มวัยเด็กมีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็ง

จากการหายใจสูงกว่ากลุ่มวัยผู้ใหญ่ 1-2 เท่า เมื่อพิจารณาค่า ILCR ตามขนาดอนุภาคฝุ่น พบว่าอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กจะมีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจมากกว่าอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่ พบค่า ILCR สูงสุดในอนุภาคฝุ่นขนาด 0.65-0.43 ไมครอน รองลงมาเป็น 1.1-0.65 ไมครอน และ 2.1-1.1 ไมครอนตามลำดับ ทั้งในวัยเด็กและวัยผู้ใหญ่ รายละเอียดดังรูปที่ 3

**การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพทางการหายใจจากการสัมผัสสารพีเอเอช
ที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแยกขนาดในอากาศช่วงฤดูหมอกควัน
พื้นที่เขตเมืองจังหวัดเชียงใหม่ ปี 2565**



รูปที่ 3 ค่าประมาณการความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจตลอดช่วงชีวิต (ILCR) จำแนกตามกลุ่มอายุและขนาดอนุภาคฝุ่น

อภิปรายผล

จากผลการศึกษาพบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นและความเข้มข้นของสารพีเอเอชรวมที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแยกขนาดรวมทั้ง 9 ขนาด ในช่วงฤดูหมอกควันปี 2565 มีค่าต่ำกว่างานวิจัยของ Insian *et al.* (2022) ที่ศึกษาในปี 2562 อาจเนื่องจากปริมาณจุดความร้อนในพื้นที่และประเทศเพื่อนบ้าน และปรากฏการณ์เอนโซของภูมิภาคในแต่ละปี ข้อมูลจากกรมอุตุนิยมวิทยาพบว่า ปี 2562 เป็นปีที่ปรากฏการณ์เอนโซอยู่ในสภาวะเอลนีโญ ส่วนปี 2565 ปรากฏการณ์เอนโซอยู่ในสภาวะลานีญา ปีที่ปรากฏการณ์เอนโซอยู่ในสภาวะเอลนีโญจะพบความเข้มข้นเฉลี่ยของฝุ่นและสารพีเอเอชสูงกว่าลานีญา (Yabueng *et al.*, 2020) นอกจากนี้สัดส่วนของสารพีเอเอชรวมในอนุภาคฝุ่นละเอียด (2.1-0.65 ไมครอน) มากกว่าในอนุภาคฝุ่นหยาบ (10.0-2.1 ไมครอน) เนื่องจากอนุภาคฝุ่นละเอียดจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากกว่าอนุภาคฝุ่นหยาบ สารพีเอเอชจึงสามารถเกาะกับอนุภาคฝุ่นละเอียดได้มากกว่า (Wang *et al.*, 2018)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอนุภาคฝุ่นและความเข้มข้นของสารพีเอเอชรวมที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด พบว่าปริมาณฝุ่นละเอียดมีความสัมพันธ์กับปริมาณสารพีเอเอชรวมสูงกว่าฝุ่นหยาบ เนื่องจากฝุ่นละเอียดมีแหล่งกำเนิดฝุ่นมาจากแหล่งเดียวกัน รวมถึงสารพีเอเอชที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นจะแปรผกผันกับขนาดของอนุภาคฝุ่น โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่นที่ลดลงจะเพิ่มปริมาณและพื้นที่ผิวดูดซับสารพีเอเอชบนอนุภาคฝุ่นได้มากขึ้น (Li *et al.*, 2019) จึงพบสารพีเอเอชรวมในอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กมากกว่าอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่

การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจจากการรับสัมผัสสารพีเอเอชที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด พบว่ามีความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง กลุ่มวัยเด็กจะมีค่าความเสี่ยงมากกว่าวัยผู้ใหญ่ เนื่องจาก 2 ปัจจัยหลัก คือ สรีรวิทยา และเส้นผ่านศูนย์กลางของระบบทางเดินหายใจ (Booddee &

Muenmee, 2021) วัยเด็กมีความต้องการออกซิเจนสูง ทำให้อัตราการหายใจต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัวของวัยเด็กสูงขึ้นด้วย โดยพบอัตราการหายใจในกลุ่มวัยเด็กมากกว่าวัยผู้ใหญ่ 3 เท่า และเด็กมีเส้นผ่านศูนย์กลางของทางเดินหายใจเล็กกว่าผู้ใหญ่ ทำให้มีอัตราการหายใจสูงกว่าจึงมีโอกาสในการหายใจรับสัมผัสอนุภาคและสารพีเอเอชที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นมากกว่า โดยเฉพาะอนุภาคฝุ่นขนาดเล็กมากที่สามารถเข้าสู่ถุงลมปอด เพิ่มโอกาสในการเป็นมะเร็งจากการหายใจมากกว่าอนุภาคฝุ่นขนาดใหญ่

แม้ว่าความเสี่ยงของการรับสัมผัสสารพีเอเอชที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแยกขนาดทางการหายใจอยู่ในระดับปานกลางและยอมรับได้ แต่หากในพื้นที่มีแหล่งกำเนิดฝุ่นมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเกิดจากการเผาในที่พื้นที่ การเผาจากประเทศเพื่อนบ้าน และจากแหล่งกำเนิดทางการจราจร ก็จะทำให้ความเข้มข้นของฝุ่นละเอียดสูงขึ้นในบรรยากาศ ทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มอาการทางระบบทางเดินหายใจ และความเสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งจากการหายใจจากการรับสัมผัสสารพีเอเอชที่เกาะกับอนุภาคฝุ่น โดยเฉพาะกลุ่มวัยเด็กที่อาจจะได้รับผลกระทบด้านสุขภาพมากที่สุด ดังนั้นการสื่อสารความเสี่ยงให้กับผู้ปกครอง การส่งเสริมการใช้หน้ากากป้องกันฝุ่นสำหรับเด็ก รวมถึงการขยายการดำเนินงานห้องปลอดฝุ่นในศูนย์พัฒนาเด็กเล็กและโรงเรียนให้มีความครอบคลุมมีความสำคัญที่จะช่วยให้เด็กลดความเสี่ยงจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองและสารพีเอเอชที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นในช่วงฤดูหมอกควันได้

ข้อเสนอแนะ

1. การประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการหายใจจากการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศควรศึกษาสารมลพิษทางอากาศชนิดอื่นเพิ่มเติม เช่น สารอินทรีย์ระเหยง่าย รวมถึงองค์ประกอบทางเคมีอื่นที่เกาะกับอนุภาคฝุ่นแต่ละขนาด เช่น ธาตุโลหะ ที่อาจก่อให้เกิดมะเร็งจากการหายใจเช่นเดียวกับสารพีเอเอช

2. การเก็บตัวอย่างอนุภาคฝุ่นเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีสำหรับการประเมินความเสี่ยงควรดำเนินการเก็บตัวอย่างตลอดทั้งปีอย่างต่อเนื่อง

3. พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการประเมินความเสี่ยงต่อสุขภาพ เช่น น้ำหนักตัวโดยเฉลี่ย ระยะเวลาที่ได้รับสัมผัส ความถี่ของการสัมผัส และระยะเวลาที่สัมผัส ควรมีการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามสัมภาษณ์ประชาชนที่อาศัยอยู่จริงในพื้นที่ จะช่วยให้ผู้สูงอายุสามารถช่วยเหลือตนเองและดำเนินชีวิตขั้นพื้นฐานได้เหมาะสมต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ แพทย์หญิงเสาวนีย์ วิบูลสันติ ผู้อำนวยการสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 1 เชียงใหม่ นายแพทย์นัฐพนธ์ เอกภักฐ์รุ่งเรือง รองผู้อำนวยการสำนักงานป้องกันควบคุมโรคที่ 1 เชียงใหม่ที่ได้ ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการทำวิจัย ขอขอบคุณศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บตัวอย่าง และเครื่องมือในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างฝุ่นแยกขนาด การวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ปี 2565-2566

เอกสารอ้างอิง

กรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม. (2565). ปรากฏการณ์เอลนีโญ-ลานีญา [ออนไลน์]. [สืบค้นเมื่อ 1 มีนาคม 2567]; แหล่งข้อมูล:

https://www4.tmd.go.th/programs%5Cuploads%5Cphenomena%5C%E0%CD%C5%B9%D4%E2%AD_%C1%A1%C3%D2%A4%C12565.pdf

สมพร จันทระ และคณะ. (2561). โครงการการติดตามตรวจสอบการเผาในที่โล่งในภาคเหนือของประเทศไทย สำหรับการประเมินการปล่อยและการเคลื่อนที่ของมลพิษทางอากาศเพื่อการวางแผนการจัดการปัญหาหมอกควัน: รายงานฉบับสมบูรณ์. สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม. (เอกสารอัดสำเนา).

Bootdee, S., & Muenmee, S. (2021). Health Risk Assessment of Exposure PM_{2.5} from Industrial Area in Pluak Daeng district, Rayong province. Health Science, Science and Technology Reviews, 14(3), 95-110. [cited 2024 March 1]; Available from:

<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/journalup/article/view/248513>

Goudarzi, G., Baboli, Z., Moslemnia, M., & et al. (2021). Assessment of incremental lifetime cancer risks of ambient air PM₁₀-bound PAHs in oil-rich cities of Iran. Journal of Environmental Health Science & Engineering, 19(1), 319-330. [cited 2022 January 5]; Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40201-020-00605-6>

Insian, W., Yabueng, N., Wiriya, W., & Chantara, S. (2022). Size-fractionated PM-bound PAHs in urban and rural atmospheres of northern Thailand for respiratory health risk assessment. Environmental Pollution, 293: 118488. [cited 2023 April 5]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118488>

- Kawichai, S., & Bootdee, S. (2022). Health Risk Assessment on Exposure to PM_{2.5}-bound PAHs from an Urban-industrial Area in Rayong City, Thailand. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 10(E), 1-10. [cited 2023 April 5]; Available from: <https://doi.org/10.3889/oamjms.2022.9977>
- Kim, K. H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136-43. [cited 2022 January 5]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>
- Li, H., Li, H., Zhang, L., & *et al.* (2019). High cancer risk from inhalation exposure to PAHs in Fenhe Plain in winter: A particulate size distribution-based study. *Atmospheric Environment*, 216, 116924. [Cited 2024 January 8]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116924>
- Löndahl, J., Pagels, J., Swietlicki, E., Zhou, J., Ketzel, M., Massling, A., & Bohgard, M. (2006). A set-up for field studies of respiratory tract deposition of fine and ultrafine particles in humans. *Journal of Aerosol Science*, 37, 1152-1163. [cited 2021 December 20]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2005.11.004>
- Nisbet, I. C. T., & LaGoy, P. K. (1992). Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 16, 290-300.
- Pongpiachan, S. (2016). Incremental Lifetime Cancer Risk of PM_{2.5} Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) before and after the Wildland Fire Episode. *Aerosol and Air Quality Research*, 16: 2907-2919. [cited 2022 July 10]; Available from: <https://doi.org/10.4209/aaqr.2015.01.0011>
- Sarigiannis, D., Karakitsios, S. P., Zikopoulos, D., Nikolaki, S., & Kermenidou, M. (2015). Lung cancer risk from PAHs emitted from biomass combustion. *Environmental Research*, 137, 147-56. [cited 2021 December 20]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.12.009>
- Tadsanaprasittipol, A., Tonrub, P., Beverland, IJ., & Kalin, RM. (2021). Characterization of PM₁₀-Bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Associated Carcinogenic Risk in Bangkok, Thailand. *Applied Sciences*, 11(10):4501. [cited 2022 July 10]; Available from: <https://doi.org/10.3390/app11104501>
- Thepnuan, D., Chantara, S., Lee, C. T., Lin, N. H., & Tsai, Y. I. (2019) Molecular markers for biomass burning associated with the characterization of PM_{2.5} and component sources during dry season haze episodes in Upper South East Asia. *Sci Total Environ*, 658, 708-722. [cited 2021 December 20]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.201>
- Thepnuan, D. & Chantara S. (2020). Characterization of PM_{2.5}-bound Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Chiang Mai, Thailand during Biomass Open Burning Period of 2016. *Applied Environmental Research*, 42(3), 11-24. [cited 2021 December 20]; Available from: <https://doi.org/10.35762/AER.2020.42.3.2>

- U.S. EPA. (2005). Guidelines for Carcinogen Risk Assessment. Risk Assessment Forum, Washington DC. [cited 2021 December 20]; Available from:
<https://www.epa.gov/risk/guidelines-carcinogen-risk-assessment>
- WHO. (2000). Air Quality Guideline for Europe, 2nd ed. WHO, Copenhagen. WHO Regional Publications 2000: European series, NO.91. [cited 2021 December 20]; Available from:
<https://www.who.int/publications/i/item/9789289013581>
- Wang, R., Liu, G., Sun, R., & *et al.* (2018). Emission characteristics for gaseous- and size-segregated particulate PAHs in coal combustion flue gas from circulating fluidized bed (CFB) boiler. Environmental Pollution, 238, 581-589. [Cited 2022 July 10]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.051>
- Wiriya, W., Prapamontol, T., & Chantara, S. (2013). PM₁₀-bound polycyclic aromatic hydrocarbons in Chiang Mai (Thailand): Seasonal variations, source identification, health risk assessment and their relationship to air-mass movement. Atmospheric Research, 124, 109-122. [cited 2023 April 5]; Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.12.014>
- Yabueng, N., Wiriya, W., & Chantara, S. (2020). Influence of zero-burning policy and climate phenomena on ambient PM_{2.5} patterns and PAHs inhalation cancer risk during episodes of smoke haze in Northern Thailand. Atmospheric Environment, 232. [cited 2022 January 5]; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117485>
- Yin, G., Liu, C., Hao, L., *et al.* (2019). Associations between size-fractionated particle number concentrations and COPD mortality in Shanghai, China. Atmospheric Environment, 214. [cited 2022 January 5]; Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116875>
- Zhang, J., Yang, L., Ledoux, F., & *et al.* (2019). PM_{2.5}-bound polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and nitrated PAHs (NPAHs) in rural and suburban areas in Shandong and Henan Provinces during the 2016 Chinese New Year's holiday. Environmental Pollution, 250, 782-791. [cited 2022 January 5]; Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.040>