

ฝุ่นละอองขนาดเล็กและผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ Particulate Matters and Its Impact on Human Respiratory Tract

ไยแพร ชาตรี และ ณหทัย โชติกกลาง*

Yaiprae Chatree and Nahathai Chotklang*

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

จังหวัดปทุมธานี

*ผู้นิพนธ์หลัก (Corresponding Author) E-mail: nahathai@vru.ac.th

Received: November 23,2024

Revised: February 11,2025

Accepted: March 24,2025

บทคัดย่อ

ฝุ่นละอองหรืออนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยในบรรยากาศ ที่มีความเข้มข้นสูงเกินกว่าที่ดัชนีคุณภาพอากาศกำหนดถูกจัดว่าเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ การจัดกลุ่มของฝุ่นละอองขนาดเล็ก ใช้หลักการเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ แบ่งเป็น PM_{10} $PM_{2.5}$ และ $PM_{0.1}$ เรียงตามลำดับจากใหญ่ไปเล็ก ปัจจุบันประเทศไทยประสบกับปัญหามลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยเฉพาะสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่มีแนวโน้มจะขยายขนาดของปัญหาไปในหลายจังหวัดไม่เพียงแต่ในเขตกรุงเทพมหานคร ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ระดับ 37.6-75.0 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะอาการทางระบบหายใจ อาการที่พบได้ คือ ไอและหายใจลำบาก การได้รับสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ ทางทางหายใจสามารถลงไปได้ลึกถึงระดับทางเดินหายใจส่วนล่างและเข้าสู่หลอดลมได้ จึงสามารถกระตุ้นการอักเสบและความเสียหายระดับเซลล์ของเซลล์เยื่อทางเดินหายใจได้นอกจากนั้นการได้รับสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ เป็นเวลายาวนานสามารถเพิ่มความเสี่ยงของการติดเชื้อทางเดินหายใจและการเกิดโรคปอดอุดกั้นได้อีกด้วย มีรายงานผู้ป่วยด้วยโรคทางเดินหายใจและโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังถึงร้อยละ 41 ในปี 2562 ดังนั้นการป้องกันการรับสัมผัสที่ระดับบุคคลโดยการใช้หน้ากาก N95 จึงเป็นสิ่งจำเป็นและการลดการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กในระดับนโยบาย เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าและการวางแผนพัฒนาเมืองลดมลพิษเพื่อป้องกันการเกิดมลพิษทางอากาศในระยะยาว

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดเล็ก, เส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์, ฝุ่นละอองขนาดเล็กเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กหรือเท่ากับ 2.5 ไมโครเมตร

Abstract

High concentrations of particulate matter (PM) in ambient air above the Air Quality Index (AQI) are notified as air pollution affecting human health. The classification of particulate matters was classified according to the aerodynamic diameter, ranging from the biggest particle size to the smallest particle size into PM_{10} , $PM_{2.5}$, and $PM_{0.1}$. Currently, Thailand is facing air pollution, particularly outdoor air pollution, as the result of ambient $PM_{2.5}$. The situation of $PM_{2.5}$ pollution is projected to increase in the urbanization not only in Bangkok but also in other provinces. Inhalation exposure to $PM_{2.5}$ at the concentration of $37.6-75.0 \mu g/m^3$ affected human health and had an adverse effect on the respiratory system attributed to clinical manifestations such as coughing and dyspnea. Exposure to $PM_{2.5}$ can penetrate deeply into the lower respiratory tract and trachea, causing inflammatory response and oxidative epithelial cell damage. Moreover, chronic exposure to $PM_{2.5}$ increases the risk of respiratory tract infection and the ongoing of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). It has been reported that the prevalence of respiratory diseases and COPD was 41% in 2019. Therefore, the use of individual protection such as N95 face mask is necessary. Reducing and limiting PM-emitted source policy should be introduced for preventing air pollution in the long term, such as the use of electric power and urban development planning to reduce pollution.

Keywords: Particulate matters, Aerodynamic diameter, $PM_{2.5}$

บทนำ

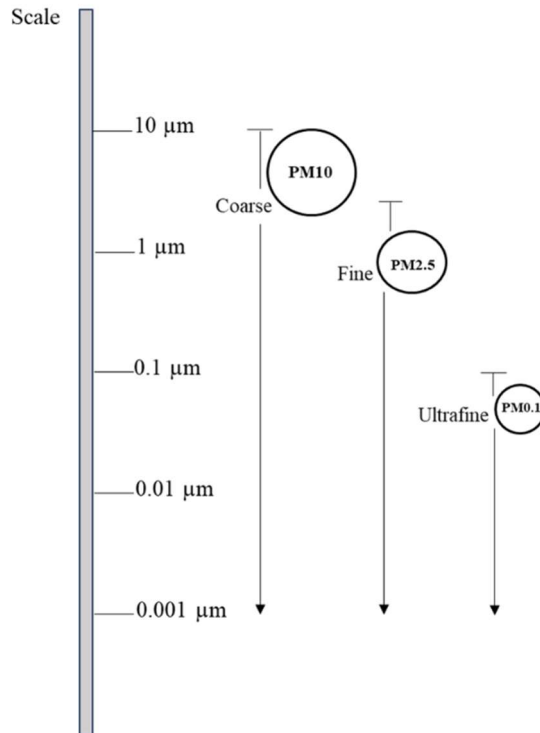
ปัญหามลพิษทางอากาศนับว่าเป็นที่สำคัญในลำดับต้นๆของประเทศไทย โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.5 ไมโครเมตร ($PM_{2.5}$) ที่สามารถหายใจเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนล่างทำให้เกิดการระคายเคืองและกระตุ้นกระบวนการอักเสบได้ เนื่องจากคุณสมบัติด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (aerodynamic diameter) ส่งผลต่อการเคลื่อนที่เข้าสู่ระบบการหายใจของมนุษย์สู่ทางเดินหายใจส่วนล่างของมนุษย์ได้ องค์การอนามัยโลกรายงานว่าในปี 2562 มลพิษทางอากาศจะทำให้มีผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรทั่วโลกถึง 4.2 ล้านคนต่อปี การเสียชีวิตนี้เกิดจากการสัมผัสกับอนุภาคขนาดเล็กซึ่งเป็นสาเหตุของโรคหลอดเลือดหัวใจและระบบทางเดินหายใจและโรคมะเร็ง โรคหัวใจขาดเลือดและโรคหลอดเลือดสมองเป็นสาเหตุทำให้เสียชีวิต 37% การเสียชีวิต 18% เกิดจากโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง 23% จากการติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนล่างเฉียบพลัน

และ 11% เสียชีวิตด้วยโรคมะเร็งในทางเดินหายใจ (WHO, 2024) ขณะที่ปี 2564 มีการรายงานว่ามีมลพิษทางอากาศเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตทั่วโลกถึง 8.1 ล้านคนและกลายเป็นปัจจัยเสี่ยงอันดับที่ 2 ของการเสียชีวิตซึ่งรวมถึงเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี และจากการเสียชีวิตทั้งหมด โรคไม่ติดต่อ เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง เบาหวาน มะเร็งปอด และโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง คิดเป็นสัดส่วนเกือบ 90% ของภาระโรคจากมลพิษทางอากาศ (State of Global Air, 2024) ขณะที่ประเทศไทยรายงานสถานการณ์การเจ็บป่วยในพื้นที่ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) สูงเกินมาตรฐาน จาก 4 กลุ่มโรค ประกอบด้วย กลุ่มโรคหัวใจหลอดเลือดและสมออดตันขาดเลือด กลุ่มโรคทางเดินหายใจ และกลุ่มโรคผิวหนังอักเสบในพื้นที่ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้ พบอัตราป่วยด้วยโรคกลุ่มทางเดินหายใจมากที่สุดระหว่างเดือนมีนาคมและเมษายน 2565 และกรุงเทพมหานครมีอัตราป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ 4 กลุ่มโรคมากที่สุด (กรมควบคุมโรค, 2566) นอกจากนี้กรมควบคุมมลพิษรายงานภาพรวมสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$ ทั่วประเทศในปี 2566 พบว่ามีแนวโน้มรุนแรงเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 จากปีที่ผ่านมา โดยจังหวัดที่มีปัญหาคุณภาพอากาศมากที่สุด 5 อันดับแรก คือ กรุงเทพมหานคร พิษณุโลก สุโขทัย น่าน และมุกดาหาร ซึ่งมีจำนวนวันที่คุณภาพอากาศเกินเกณฑ์มาตรฐาน เท่ากับ 121 120 106 101 และ 101 วัน ตามลำดับ โดยแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ $PM_{2.5}$ มาจากสภาพอุตุนิยมวิทยา การพัฒนาเข้าสู่ปรากฏการณ์เอลนีโญที่ส่งผลให้เกิดความแห้งแล้ง การเผาในพื้นที่เกษตร จำนวนจุดความร้อนที่เพิ่มขึ้น การขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรม การคมนาคม การใช้พลังงานเชื้อเพลิง รวมถึงปัญหาหมอกควันข้ามแดน (กรมควบคุมมลพิษ, 2566) ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายความหมายของฝุ่นละอองขนาดเล็กและปริมาณในบรรยากาศที่ส่งผลต่อสุขภาพด้านระบบการหายใจของมนุษย์ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์

ฝุ่นละอองหรืออนุภาคของแข็งหรือของเหลวที่แขวนลอยในบรรยากาศ (Particulate matters; PM)

สำนักงานปกป้องสิ่งแวดล้อมสหรัฐ หรือ U.S.EPA (United state Environmental Protection Agency) ได้ให้คำจำกัดความของฝุ่นละอองขนาดเล็ก (Particulate matters; PM) คือ อนุภาคมลพิษหรือฝุ่นละอองขนาดเล็กที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรือส่วนผสมของอนุภาคของแข็งและของเหลวที่พบในอากาศ หรืออนุภาคบางชนิด เช่น ฝุ่น ดิน เหมะ หรือควัน ที่มีขนาดใหญ่พอที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ 100 ไมครอนลงมาหรือส่วนอื่นๆ ที่มีขนาดเล็กมากสามารถตรวจพบได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเท่านั้น อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 10 ไมครอนเมตร จะเรียกว่า PM_{10} (coarse) ส่วนอนุภาคฝุ่น $PM_{2.5}$ (fine) เป็นฝุ่นละอองละเอียดขนาดเล็กที่สุดตามได้ มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 2.5 ไมครอนเมตร และขนาดของฝุ่นอนุภาคเล็กมากที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอนเมตรจะเรียกว่า $PM_{0.1}$ (ultrafine) (Bernstein et al., 2004; Mühlfeld et al., 2008) ขนาดของอนุภาคฝุ่น PM แสดงได้ในภาพที่ 1 การหายใจเอาอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5

ไมโครเมตร จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ได้มากกว่าฝุ่นอนุภาคขนาดใหญ่เนื่องจากสามารถลงไปถึงระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ลึกกว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่ (Loaiza-Ceballos, Marin-Palma, Zapata, & Hernandez, 2022)



ภาพที่ 1 ขนาดอนุภาคของฝุ่นอนุภาคขนาดเล็ก (Particulate Matter; PM)

ที่มา: Mühlfeld, C.(2008)

แหล่งกำเนิดของฝุ่นละอองขนาดเล็กในประเทศไทย

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก เช่น $PM_{2.5}$ และ PM_{10} มีแหล่งกำเนิดมาจากกระบวนการอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การเผาไหม้ การแปรรูปแร่ธาตุ การตัดหญ้า ไฟ และฝุ่นที่เกิดจากลม หรือจากธรรมชาติ เช่น ไฟป่า ละอองเกสร ละอองน้ำทะเล รวมถึงจากยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลหรือจากการสึกหรอของยาง ซึ่งประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับ $PM_{2.5}$ เนื่องจากเป็นฝุ่นที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าสามารถแพร่กระจายเข้าสู่ทางเดินหายใจ กระแสเลือด และเข้าสู่อวัยวะอื่น ๆ ในร่างกายได้ โดยแหล่งกำเนิดที่สำคัญของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทยในแต่ละพื้นที่มีที่มาที่แตกต่างกันและมีค่าฝุ่นละอองที่มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล โดยช่วงฤดูหนาวถึงต้นฤดูร้อนค่าฝุ่นละอองในบรรยากาศจะเพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากปัจจัยความกดอากาศสูง ปรากฏการณ์อุณหภูมิผกผันกลับในชั้นบรรยากาศและลมสงบจึงเกิดการสะสมของฝุ่น

ละอองในพื้นที่ โดยแหล่งกำเนิด PM_{2.5} ส่วนใหญ่มาจากภาคเกษตรกรรม เช่น การเผาในที่โล่ง เเผาในพื้นที่ป่าและการทำเกษตรกรรม การคมนาคม ภาคอุตสาหกรรม แหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} แต่ละพื้นที่มีดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ที่มาของฝุ่นละอองมาจากการจราจรและยานพาหนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรถยนต์ดีเซล โรงงานอุตสาหกรรม และการเผาในที่โล่ง และสถานการณ์ฝุ่นละอองจะเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคม (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน สถานการณ์ฝุ่นละอองมาจาก ไฟป่า และการเผาเศษวัสดุการเกษตรประเภทข้าว ข้าวโพด และอ้อย หมอกควันข้ามแดนและการจราจรและขนส่ง ในเขตเมืองใหญ่ระยะเวลาที่เกิดสถานการณ์วิกฤตฝุ่นละอองประมาณเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

เขตเมืองใหญ่ภาคกลาง ภาคตะวันตกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ปัญหาฝุ่นละอองมาจากการเผาเศษวัสดุการเกษตรประเภทข้าว ข้าวโพด และอ้อย รองลงมาคือการจราจรและการขนส่ง ฤดูกาลที่เกิดสถานการณ์วิกฤตฝุ่นละอองประมาณเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

เขตเมืองใหญ่ภาคใต้ ปัญหาฝุ่นละอองมาจากไฟไหม้ป่าพรุ และฝุ่นละอองข้ามแดนจากประเทศเพื่อนบ้าน ปัญหาฝุ่นละอองจะเริ่มเกิดขึ้นประมาณเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

ตำบลหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี ปัญหาฝุ่นละอองเกิดจากกิจการโรงโม่บดย่อยหิน เหมืองหิน โรงงานปูนซีเมนต์ โรงงานปูนขาว โรงแต่งแร่ การจราจร และการบรรทุกขนส่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2563)

มาตรการการลดปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กและมาตรฐานคุณภาพอากาศ

จากปัญหาฝุ่น PM_{2.5} ที่ส่งผลกระทบต่อประเทศ คณะรัฐมนตรีจึงมีมติให้มีการแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละอองถือเป็นวาระแห่งชาติ เมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ 2562 โดยมีกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดทำแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ พ.ศ. 2562–2567 ซึ่งเป็น “แผนแม่บท” ของรัฐบาลในการแก้ปัญหาฝุ่น PM_{2.5} ในประเทศไทย ประกอบด้วย 3 มาตรการ มาตรการที่ 1 มุ่งเน้นการบริหารจัดการ/ควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิด (พื้นที่ที่มีปัญหา/พื้นที่เสี่ยงต่อปัญหาฝุ่นละอองในช่วงวิกฤต) ผลผลิต : จำนวนวันที่ฝุ่นละอองอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานในช่วงวิกฤตเพิ่มขึ้นร้อยละ 5 ต่อปี มาตรการที่ 2 การป้องกันและลดการเกิดมลพิษที่ต้นทาง (แหล่งกำเนิด) มุ่งให้ความสำคัญในการควบคุมและลดการระบายมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดรวมถึงลดจำนวนแหล่งกำเนิดมลพิษและมาตรการที่ 3 การเพิ่มประสิทธิภาพและบริหารจัดการมลพิษ โดยภายในปี 2567 ให้มีเครือข่ายการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ ให้ครอบคลุมทั่วประเทศ และมีเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารจัดการ (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) ถึงแม้ว่าแผนการแก้ปัญหาตามวาระ

แห่งชาติยังไม่ประสบความสำเร็จตามตัวชี้วัดที่ได้ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามก็ได้มีการผลักดันให้ปรับค่ามาตรฐานฝุ่น $PM_{2.5}$ ได้สำเร็จในการกำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในบรรยากาศทั่วไปใหม่ ซึ่งมีผลบังคับใช้ตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน 2566 เป็นต้นไป โดยค่ามาตรฐานฝุ่น $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมงจาก $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ลดลงเป็น $37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ และค่าเฉลี่ย 1 ปี จาก $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ เป็น $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ อย่างไรก็ตามเมื่อนำค่ามาตรฐานฝุ่น $PM_{2.5}$ ของประเทศไทยเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ National Ambient Air Quality มาตรฐานของ California Ambient Air Quality Standard และค่ามาตรฐานขององค์การอนามัยโลก (WHO) พบว่าค่ามาตรฐานฝุ่น $PM_{2.5}$ ของประเทศไทยยังมีค่าสูงกว่า การเปรียบเทียบมาตรฐานคุณภาพอากาศแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ

มาตรฐาน	$PM_{2.5}$		PM_{10}	
	Annual	24-Hour	Annual	24-Hour
	Average	Average	Average	Average
กรมควบคุมมลพิษ	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$37.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-
National Ambient Air Quality Standard	$12 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$35 \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$
California Ambient Air Quality Standard	$12 \mu\text{g}/\text{m}^3$	None	$20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$
WHO				
ค่าเป้าหมายระหว่างทาง ระดับที่ 1 (Interim target)	$35 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$75^a \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-
ค่าเป้าหมายระหว่างทาง ระดับที่ 2 (Interim target)	$25 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$50^a \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-
ค่าเป้าหมายระหว่างทาง ระดับที่ 3 (Interim target)	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$37.5^a \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-
ค่าเป้าหมายระหว่างทาง ระดับที่ 4 (Interim target)	$10 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$5^a \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-
ค่าแนะนำคุณภาพอากาศ (AQG)	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$15^a \mu\text{g}/\text{m}^3$	-	-

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2566); U.S.EPA. (2023); California Air Resource Board (2024); WHO (2021)

หมายเหตุ: ^a 99th percentile (i.e. 3-4 exceedance days per year).

ดัชนีคุณภาพอากาศและข้อควรปฏิบัติ

กรมควบคุมมลพิษได้ปรับปรุงค่าดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย (Air Quality Index : AQI) เพื่อให้มีความสอดคล้องกับค่ามาตรฐานคุณภาพใหม่ รวมไปถึงปรับปรุงข้อควรปฏิบัติของประชาชนทั่วไป และประชาชนกลุ่มเสี่ยง เพื่อให้ประชาชนใช้เป็นแนวทางในการป้องกันผลกระทบทางสุขภาพอนามัย จึงได้มีประกาศกรมควบคุมมลพิษเรื่อง ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2666 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม 2566 โดยดัชนีคุณภาพอากาศประกอบด้วยสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ก๊าซโอโซน (O_3) ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ $PM_{2.5}$ ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศ แบ่งเป็น 5 ระดับ มีการแจ้งเตือนโดยใช้สีเป็นสัญลักษณ์ มีคะแนนตั้งแต่ 0 ถึงมากกว่า 200 โดยดัชนีคุณภาพอากาศ 100 มีค่าเทียบเท่าค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศมีค่าสูงเกินกว่า 100 แสดงว่าค่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศเกินมาตรฐาน ตารางค่าดัชนีคุณภาพอากาศแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีคุณภาพอากาศ

ดัชนีคุณภาพอากาศ	$PM_{2.5} \mu g/m^3$ ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง	การปฏิบัติตัว
0-25 สีฟ้า คุณภาพอากาศดีมาก	0-15.0	ประชาชนทุกคนสามารถดำเนินชีวิตได้ตามปกติ
26-50 สีเขียว คุณภาพอากาศดี	15.1-25.0	ประชาชนทั่วไป : สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ ประชาชนกลุ่มเสี่ยง : ควรสังเกตอาการผิดปกติ เช่น ไอบ่อย หายใจลำบาก หายใจถี่ แสบหน้าอก หายใจมีเสียงวี๊ด เจ็บหน้าอก เมื่อออกกำลังกาย หรือ วิ่งเวียนศีรษะใจสั่น คลื่นไส้
51-100 สีเหลือง คุณภาพอากาศปานกลาง	25.1-37.5	ประชาชนทั่วไป : ลดระยะเวลาการทำกิจกรรมหรือออกกำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก ประชาชนกลุ่มเสี่ยง : ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองทุกครั้งที่ออกนอกอาคาร ลดระยะเวลาการออกกำลังกายที่ใช้แรงมากหรือการทำกิจกรรมกลางแจ้ง และหากมีอาการผิดปกติให้รีบปรึกษาแพทย์
101-200 สีส้ม คุณภาพอากาศเริ่มมีผลต่อสุขภาพ	37.6-75.0	ประชาชนทั่วไป : ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองเช่น หน้ากากป้องกัน $PM_{2.5}$ ทุกครั้งที่ออกนอกอาคาร จำกัดระยะเวลาในการทำกิจกรรมหรือการออกกำลังกาย

ดัชนีคุณภาพอากาศ	PM _{2.5} µg/m ³	การปฏิบัติตัว
ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง		
201 ขึ้นไป สีแดง คุณภาพอากาศมีผล ต่อสุขภาพ	75.1 ขึ้นไป	กำลังกายกลางแจ้งที่ใช้แรงมาก ควรสังเกตอาการ ผิดปกติ เช่น ไอ หายใจลำบาก ระคายเคืองตา ประชาชนกลุ่มเสี่ยง : ปฏิบัติตัวเช่นเดียวกับ คุณภาพอากาศสีส้ม และหากมีอาการผิดปกติให้ รีบไปพบแพทย์ ประชาชนทุกคน : หากมีความจำเป็นต้องทำ กิจกรรมกลางแจ้งให้ใช้อุปกรณ์ป้องกันตนเองทุก ครั้งหรืองดกิจกรรมกลางแจ้ง หากมีอาการผิดปกติ ให้รีบไปพบแพทย์ ผู้ที่มีโรคประจำตัว ควรอยู่ใน พื้นที่ปลอดภัย ให้เตรียมยาและอุปกรณ์ที่จำเป็น ให้พร้อมและปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์อย่าง เคร่งครัด

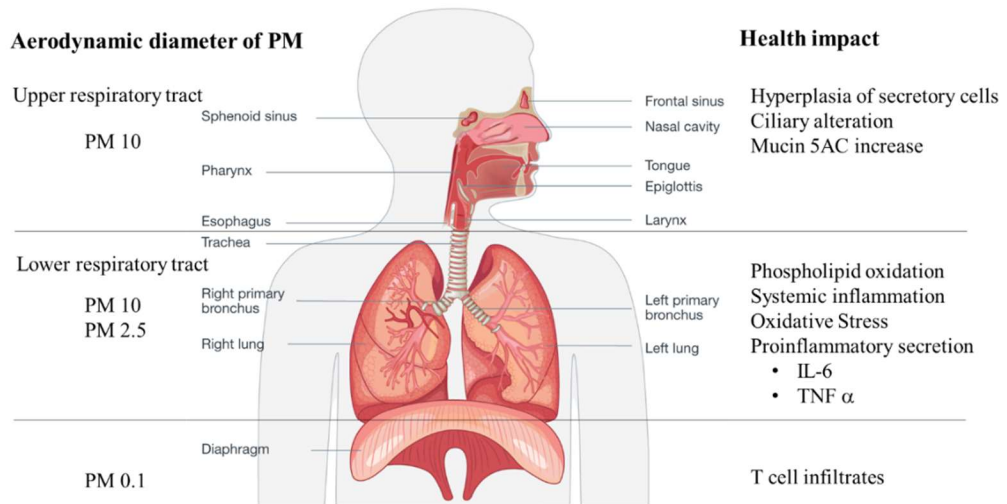
หมายเหตุ: “ประชาชนทั่วไป” หมายความว่า ประชาชนนอกเหนือจากประชาชนกลุ่มเสี่ยง

“ประชาชนกลุ่มเสี่ยง” หมายความว่า ประชาชนที่อาจเสี่ยงต่อการได้รับผลกระทบต่อสุขภาพ จากมลพิษทางอากาศมากกว่าประชาชนทั่วไป เช่น ผู้สูงอายุมากกว่า 60 ปีขึ้นไป เด็กเล็กอายุไม่เกิน 5 ปี หญิงตั้งครรภ์ ผู้ป่วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด และโรคระบบทางเดินหายใจ เป็นต้น

ที่มา: ราชกิจจานุเบกษา (พ.ศ.2566)

ผลกระทบทางสุขภาพ

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ PM สามารถพบโลหะหนักปนเปื้อนอยู่ในฝุ่นได้ โดยเป็นอนุภาคที่เป็นสารผสมแขวนลอยของโลหะหนัก เช่น สารตะกั่ว สารปรอท หรือแคดเมียม (Sakunkoo et al., 2022) ประกอบกับคุณสมบัติด้านเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic diameter) ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก สามารถผ่านเข้าสู่ทางเดินหายใจของมนุษย์ได้ อย่างไรก็ตามขึ้นกับขนาดของฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยที่ฝุ่นยังมีขนาดเล็กลงมากเท่าไรก็จะยิ่งเคลื่อนที่ลงสู่ทางเดินหายใจส่วนล่างได้ โดยที่ PM₁₀ สามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนบนได้ ขณะที่ PM_{2.5} สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนล่างของมนุษย์ และ PM_{0.1} จะสามารถแพร่กระจายเข้าสู่เซลล์ปอดและแทรกซึมสู่กระแสเลือดได้ ด้วยเหตุผลเรื่องผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของฝุ่นละอองขนาดเล็ก จึงก่อให้เกิดการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย เพิ่มการบวมของเซลล์ที่ทำหน้าที่หลังสารเยื่อเมือกที่ทางเดินหายใจส่วนบน กระตุ้นกระบวนการอักเสบ และเพิ่มปริมาณของสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบ ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผลกระทบต่อสุขภาพและตำแหน่งที่สามารถเข้าถึงได้ของอนุภาคฝุ่น PM ที่ขึ้นกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (PM_{10} , $PM_{2.5}$, $PM_{0.1}$) อากาศพลศาสตร์ต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์

ที่มา: Loaiza-Ceballos (2022)

การเคลื่อนที่ของ PM_{10} สู่ทางเดินหายใจส่วนบน สัมผัสกับเซลล์เยื่อบุจมูกทำให้เกิดการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายวิภาคของเซลล์ที่มีขน (Ciliary alteration) และทำให้เกิดการบวมของเซลล์หลัง (Hyperplasia of secretory cells) ทำให้มีการสร้างและหลั่งน้ำมูกและสารคัดหลั่งมากขึ้นด้วย (Cao, Chen, Dong, Xie, & Liu, 2020) การสัมผัส PM_{10} ยังกระตุ้นให้เกิดการสร้างอนุมูลอิสระ สร้างความเสียหายระดับเซลล์และสารพันธุกรรม ดังนั้นการได้รับสัมผัส PM_{10} ผ่านทางการหายใจเป็นระยะเวลานานเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สามารถพัฒนาสู่การเป็นโรคปอดอุดกั้นได้ (Chronic obstructive pulmonary disease; COPD)

เส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ของอนุภาคฝุ่นขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ สามารถลงไปได้ลึกถึงระดับทางเดินหายใจส่วนล่างและเข้าสู่หลอดลม (trachea) ได้ การได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ กระตุ้นกระบวนการอักเสบผ่านเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด มาโครฟาจ (macrophages) และนิวโทรฟิล (neutrophils) ให้มีการสร้างสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบ (proinflammatory cytokine) ชนิด IL-6 และ TNF α ได้ รวมถึงสามารถกระตุ้นให้เกิดความเครียดระดับเซลล์ (oxidative stress) ส่งผลให้เกิดความเสียหายระดับเซลล์ได้ (Loaiza-Ceballos et al., 2022) หากได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ในระยะยาวจะส่งผลต่อการเกิดพยาธิสภาพของเซลล์ที่ระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะในกลุ่มที่เป็นกลุ่มเปราะบางหรือมีโรคประจำตัวเป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจอยู่แล้ว เช่น โรคหอบหืด (asthma) (Yang, Guo, & Xiao, 2018) ผลการศึกษา

ทางระบาดวิทยาแสดงให้เห็นว่า หลังจากการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ในระดับที่สูงเกิน $10 \mu g/m^3$ เพิ่มการเจ็บป่วยด้วยโรคติดเชื้อที่บริเวณทางเดินหายใจในผู้ป่วยเด็กถึงร้อยละ 5 ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ สามารถเพิ่มความเสี่ยงของโรคติดเชื้อทางเดินหายใจได้อีกด้วย (Matus C. & Oyarzún G., 2019)

การได้รับสัมผัส $PM_{0.1}$ ทางทางหายใจ มีอิทธิพลต่อระบบการทำงานของปอดมากที่สุดเนื่องจากมีขนาดเล็กมากและมีคุณสมบัติทางเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ที่ลงไปสู่ระบบหายใจของมนุษย์ได้ลึกและคงอยู่ในระบบหายใจได้เป็นระยะเวลายาวนาน กระตุ้นให้เกิดกระบวนการอักเสบและความเสียหายระดับเซลล์ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความสามารถในการเลือกผ่านและแลกเปลี่ยนก๊าซของปอด (lung permeability) โดยมีการศึกษาในระดับหลอดทดลอง (*in vitro*) ที่ใช้เซลล์ประสาทเป็นโมเดลในการทดลองให้ได้รับสัมผัส $PM_{0.1}$ ความเข้มข้น $5 \mu g/ml$ ส่งผลให้มีการแสดงออกของยีน CD83 และ CCR7 เพิ่มจำนวนเม็ดเลือดขาวชนิด $CD8^+ T$ lymphocytes และการผลิตสารที่ก่อให้เกิดกระบวนการอักเสบ (proinflammatory cytokine) ชนิด $IFN-\gamma$, $TNF-\alpha$, และ IL-13 ผลกระทบเหล่านี้ทำให้เกิดความเสียหายในระดับเซลล์และทำให้เซลล์ที่บริเวณทางเดินหายใจถูกทำลาย (airway damage) (Pfeffer et al., 2018) จากการศึกษาในหนูทดลองให้ได้รับสัมผัส $PM_{0.1}$ ความเข้มข้น $100 \mu g/day$ เป็นเวลาติดต่อกัน 2 วัน พบว่าการได้รับสัมผัส $PM_{0.1}$ ก่อให้เกิดกระบวนการอักเสบที่เยื่อทางเดินหายใจและส่งผลให้มีการผลิตเยื่อเมือกชนิด mucin 5AC ที่สูงกว่าระดับปกติและยังกระตุ้นกระบวนการอักเสบผ่านกลไก NF-KB และ AP-1 pathways ซึ่งกระบวนการเหล่านี้มีผลให้เกิดการผลิตสารที่ก่อให้เกิดการอักเสบ ชนิด IL-8 และ IL-6 (Chen et al., 2016)

การแก้ปัญหาและการป้องกันปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ ในสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

จากสถานการณ์ฝุ่นละอองเกินมาตรฐานในช่วงต้นปีของทุกปีของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้ร่วมกันกำหนดแนวทางและมาตรการแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ ในกรุงเทพมหานคร/ปริมณฑล และในพื้นที่จังหวัดต่างๆ คณะรัฐมนตรีมีมติให้ “การแก้ไขปัญหาหมอกควันด้านฝุ่นละออง พ.ศ. 2562 - 2567” เป็นวาระแห่งชาติ ประกอบด้วยสาระสำคัญประกอบด้วย 3 มาตรการ ดังนี้

มาตรการที่ 1 การเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการเชิงพื้นที่ เป็นการควบคุมมลพิษในช่วงวิกฤตสถานการณ์ฝุ่นละออง เป็นการดำเนินงานในระยะเร่งด่วน เพื่อควบคุมพื้นที่ที่มีปัญหาฝุ่นละออง เช่น จังหวัดทางภาคเหนือ กรุงเทพมหานครและปริมณฑล) พื้นที่หน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี และพื้นที่เสี่ยงปัญหาฝุ่นละอองอื่นๆ

มาตรการที่ 2 การป้องกันและลดการเกิดมลพิษที่ต้นทาง (แหล่งกำเนิด) ทั้งระยะสั้นและระยะยาว การควบคุมและลดมลพิษจากยานพาหนะ ควบคุมและลดมลพิษจากการเผาในที่โล่ง/ภาคการเกษตร ควบคุมและลดมลพิษจากการก่อสร้างและผังเมือง ควบคุมและลดมลพิษจากอุตสาหกรรม และ ควบคุมและลดมลพิษจากภาคครัวเรือน รวมถึงการใช้เชื้อเพลิงและพลังงานทดแทน เช่น การทดแทนเชื้อเพลิงมาตรฐาน Euro4 และ Euro5 ทดแทนด้วย Euro 6 หรือทดแทนด้วยพลังงานไฟฟ้า เช่น การใช้รถยนต์

ไฟฟ้า (EV) การพัฒนาแผนพัฒนาเมืองลดมลพิษ ส่งเสริมการท่องเที่ยวในรูปแบบไม่ใช่เครื่องยนต์คู่ขนานไปกับการรณรงค์การท่องเที่ยวแบบใช้จักรยานเพื่อการส่งเสริมสุขภาพ

มาตรการที่ 3 การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการมลพิษเป็นการพัฒนาระบบ เครื่องมือ กลไกการบริหารจัดการ การศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาองค์ความรู้ โดยมีแนวทางการดำเนินงานทั้งในระยะสั้นและระยะยาวโดยการพัฒนาเครือข่ายการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ ขยายเครือข่ายการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศสู่ท้องถิ่น โดยการพัฒนาศักยภาพของท้องถิ่นในการดำเนินการติดตามการตรวจสอบคุณภาพอากาศในพื้นที่ที่รับผิดชอบ การทบทวนและปรับปรุงกฎหมายมาตรฐานให้สอดคล้องกับสถานการณ์ โดยปรับค่ามาตรฐาน $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศเฉลี่ยรายปีให้สอดคล้องกับเกณฑ์ขององค์การอนามัยโลก (WHO) นำสู่การเสนอกฎหมายอากาศสะอาด (Clean Air Act) และการส่งเสริมการวิจัยพัฒนาองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยี นวัตกรรมเพื่อลดมลพิษทางอากาศ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาหมอกควันข้ามแดน เพื่อป้องกันมลพิษจากหมอกควันข้ามแดน ไปสู่การพัฒนาระบบคาดการณ์สถานการณ์ฝุ่นละอองประจำปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2562)

นอกจากนี้ศูนย์ความเป็นเลิศด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมและพิษวิทยา (อสพ.) โดยสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ร่วมกับกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และกรมอนามัยกระทรวงสาธารณสุข จัดทำโครงการ “การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศเพื่อจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายของประเทศไทย (Air Quality Assessment for Health and Environment Policies in Thailand)” โดยมีข้อเสนอแนะเชิงนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ เพื่อประเมินสถานการณ์และข้อมูลทางวิชาการประกอบการจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายเรื่องการจัดการคุณภาพอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยจากการได้รับ $PM_{2.5}$ PM_{10} และโอโซน ในพื้นที่ที่เป็นตัวแทน 3 จังหวัด ได้แก่ สงขลา สระบุรี และเชียงใหม่ นำสู่การจัดทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ดังนี้ เพิ่มการควบคุมและลดการปลดปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด จัดทำข้อมูลที่ประชาชนเข้าถึงได้ง่ายและทันต่อเหตุการณ์ เพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมการปลดปล่อยมลพิษ และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการจับกุมข้อมูลด้านสุขภาพของหน่วยงานภาครัฐและเอกชน จากข้อเสนอแนะเชิงนโยบายเบื้องต้นเหล่านี้สามารถเพิ่มคุณภาพชีวิตของประชาชนอย่างยั่งยืน (Pollution Control Department, Chulabhorn Research Institute, and Department of Health, 2018)

บทสรุป

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก หรือ PM ในบรรยากาศที่เกินค่ามาตรฐานตามดัชนีคุณภาพอากาศจัดเป็นมลพิษทางอากาศที่มีอันตรายต่อสุขภาพ โดยฝุ่นละอองขนาดเล็กเหล่านี้มีคุณสมบัติด้านเส้นผ่านศูนย์กลางอากาศพลศาสตร์ ยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็กจะสามารถเข้าสู่ทางเดินหายใจส่วนล่างของมนุษย์ได้ โดยเฉพาะการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ผ่านทางการหายใจเป็นสาเหตุของการเกิดกระบวนการอักเสบ เพิ่มความเสี่ยงของการติดเชื้อและการก่อโรคปอดอุดกั้นได้ ดังนั้นการป้องกันการรับสัมผัสในระดับ

บุคคลเช่น การใส่แมส N95 จะช่วยลดความเสี่ยงในการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ณ ขณะที่ระดับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศเกินเกณฑ์มาตรฐาน อย่างไรก็ตามนโยบายการลดการเกิดฝุ่นละอองขนาดเล็กและเพิ่มการควบคุมมลพิษที่แหล่งกำเนิดเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องดำเนินการและนำสู่การทำข้อเสนอแนะเชิงนโยบายจากภาครัฐเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมโรค. (2566). สถานการณ์การเจ็บป่วยในพื้นที่ฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) สูงเกินมาตรฐาน. สืบค้นจาก : <https://spd.moph.go.th/wp-content/uploads/2023/03/4.4-P.M-v.3.pdf>
- กรมควบคุมมลพิษ. (2566). *ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ*. สืบค้นจาก : http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php
- กรมควบคุมมลพิษ (2563). คู่มือปฏิบัติการในการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ระดับจังหวัด. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2562). แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง”. สืบค้นจาก : https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2021/02/pcdnew-2021-02-18_08-03-46_086635.pdf.
- กรมควบคุมมลพิษ (2566). ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่อง กำหนดมาตรฐานฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในบรรยากาศโดยทั่วไป. สืบค้นจาก : <https://www.pcd.go.th/laws/26439/>.
- ประกาศกรมควบคุมมลพิษ เรื่อง ดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย พ.ศ. 2566 (2566, 16 พฤษภาคม). ราชกิจจานุเบกษา.
- Bernstein, J. A., Alexis, N., Barnes, C., Bernstein, I. L., Nel, A., Peden, D., . . . Bernstein, J. A. (2004). Health effects of air pollution. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 114(5), 1116-1123. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaci.2004.08.030>.
- California Air Resource Board. (2024). Inhalable Particulate Matter and Health ($PM_{2.5}$ and PM_{10}). Retrieved from : <https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalable-particulate-matter-and-health>.
- Cao, Y., Chen, M., Dong, D., Xie, S., & Liu, M. (2020). Environmental pollutants damage airway epithelial cell cilia: Implications for the prevention of obstructive lung diseases. *Thoracic Cancer*, 11(3), 505-510. doi:10.1111/1759-7714.13323.
- Chen, Z.-H., Wu, Y.-F., Wang, P.-L., Wu, Y.-P., Li, Z.-Y., Zhao, Y., . . . Shen, H.-H. (2016).

- Autophagy is essential for ultrafine particle-induced inflammation and mucus hyperproduction in airway epithelium. *Autophagy*, 12(2), 297-311.
doi:10.1080/15548627.2015.1124224.
- Loaiza-Ceballos, M. C., Marin-Palma, D., Zapata, W., & Hernandez, J. C. (2022). Viral respiratory infections and air pollutants. *Air Qual Atmos Health*, 15(1), 105-114.
doi:10.1007/s11869-021-01088-6.
- Matus C., P., & Oyarzún G., M. (2019). Impact of Particulate Matter (PM_{2.5}) and children's hospitalizations for respiratory diseases. A case cross-over study. 2019, 90(2), 9.
doi:10.32641/andespediatr.v90i2.750.
- Mühlfeld, C., Rothen-Rutishauser, B., Blank, F., Vanhecke, D., Ochs, M., & Gehr, P. (2008). Interactions of nanoparticles with pulmonary structures and cellular responses. *American journal of physiology. Lung cellular and molecular physiology*, 294, L817-829. doi:10.1152/ajplung.00442.2007.
- Pfeffer, P. E., Ho, T. R., Mann, E. H., Kelly, F. J., Sehlstedt, M., Pourazar, J., . . . Hawrylowicz, C. M. (2018). Urban particulate matter stimulation of human dendritic cells enhances priming of naive CD8 T lymphocytes. *Immunology*, 153(4), 502-512. doi:https://doi.org/10.1111/imm.12852.
- Pollution Control Department, Chulabhorn Research Institute, and Department of Health. (2018). Air Quality Assessments for Health and Environment Policies in Thailand.
- Sakunkoo, P., Thonglua, T., Sangkham, S., Jirapornkul, C., Limmongkon, Y., Daduang, S., . . . Pimonsree, S. (2022). Human health risk assessment of PM_{2.5}-bound heavy metal of anthropogenic sources in the Khon Kaen Province of Northeast Thailand. *Heliyon*, 8(6), e09572. doi:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09572.
- State of Global Air. *State of Global Air Report. 2024*. Retrieved from <https://www.stateofglobalair.org/resources/report/state-global-air-report-2024>.
- U.S.EPA. (2023). *Particulate Matter (PM) Pollution*. Retrieved from : <https://www.epa.gov/pm-pollution/national-ambient-air-quality-standards-naaqs-pm>.
- Yang, B., Guo, J., & Xiao, C. (2018). Effect of PM_{2.5} environmental pollution on rat lung. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(36), 36136-36146.
doi:10.1007/s11356-018-3492-y.
- WHO. *Ambient (outdoor) air pollution*. (2024). Retrieved from :[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).