

ผลกระทบของมลพิษทางอากาศจากฝุ่น PM2.5 ต่อสุขภาพทางเดินหายใจ ของประชาชนในเขตเมืองและแนวทางป้องกัน*

THE IMPACT OF AIR POLLUTION FROM PM2.5 DUST ON THE RESPIRATORY HEALTH OF URBAN POPULATIONS AND PREVENTIVE MEASURES

ฉัตรสนัน สรรวงษ์ละคร^{1*}, เรืองวิทย์ วรรีวรรช²Chatthasanan Sanwonglakorn^{1*}, Ruangwit Wareewarach²¹นักวิชาการอิสระ อุบลราชธานี ประเทศไทย¹Independent Visitor, Ubon Ratchathani, Thailand²นักวิชาการอิสระ สระบุรี ประเทศไทย²Independent Visitor, Saraburi, Thailand

*Corresponding author E-mail: dr.chatthasanan.s.88@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัญหามลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนทั่วโลก โดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจสามารถเข้าสู่ปอดและกระแสเลือด ส่งผลให้เกิดการอักเสบของระบบทางเดินหายใจ และเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคต่าง ๆ เช่น โรคหืด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) และมะเร็งปอด งานวิจัยหลายชิ้นชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างระดับ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นกับอัตราการเกิดโรคทางเดินหายใจที่สูงขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มเสี่ยง เช่น เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคเรื้อรัง กลไกที่ PM2.5 ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นปฏิกิริยาการอักเสบ การเกิดภาวะออกซิเดชัน การเปลี่ยนแปลงของระบบภูมิคุ้มกัน อนุภาคเหล่านี้ยังประกอบด้วยสารพิษ เช่น โลหะหนักและสารก่อมะเร็ง ซึ่งสามารถทำให้เซลล์เยื่อปอดเสียหาย และเพิ่มความเสี่ยงต่อการติดเชื้อทางเดินหายใจ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากภาคขนส่ง อุตสาหกรรม และการเผาไหม้ชีวมวล แนวทางป้องกันที่มีประสิทธิภาพแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ ระดับบุคคลและระดับนโยบาย ในระดับบุคคล ควรมีการสวมหน้ากากป้องกันฝุ่นชนิด N95 หลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งในช่วงที่ค่าฝุ่นสูง และติดตั้งเครื่องกรองอากาศภายในที่อยู่อาศัย ระดับนโยบาย ภาครัฐควรบังคับใช้มาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวด ควบคุมการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะและอุตสาหกรรม ส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด และเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองเพื่อลดปริมาณฝุ่นละออง การศึกษานี้เน้นให้เห็นถึงความเชื่อมโยงระหว่างมลพิษทางอากาศจากฝุ่น PM2.5 กับอัตราการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจ พร้อมเสนอแนวทางป้องกันที่มีประสิทธิภาพเพื่อช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายและมาตรการเชิงปฏิบัติเพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศและลดความเสี่ยงด้านสุขภาพในระยะยาว

คำสำคัญ: ฝุ่น PM2.5, มลพิษทางอากาศ, โรคระบบทางเดินหายใจ, มาตรการป้องกัน, คุณภาพอากาศ

Abstract

Air pollution caused by fine particulate matter (PM2.5) poses a significant threat to public health worldwide, particularly affecting the respiratory system. These microscopic particles can penetrate deep into the lungs and enter the bloodstream, leading to inflammation of the respiratory

*Received March 22, 2025; Revised April 23, 2025; Accepted April 28, 2025

tract and increasing the risk of various diseases such as asthma, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), and lung cancer. Numerous studies have demonstrated a correlation between rising PM_{2.5} levels and a higher incidence of respiratory diseases, particularly among vulnerable groups, including children, the elderly, and individuals with pre-existing chronic conditions. The mechanisms through which PM_{2.5} affects health involve inflammatory responses, oxidative stress, and immune system alterations. Additionally, PM_{2.5} contains toxic substances, including heavy metals and carcinogens, which can damage lung epithelial cells and increase susceptibility to respiratory infections. Major sources of PM_{2.5} emissions include fossil fuel combustion from transportation and industrial activities, as well as biomass burning. Effective prevention strategies can be categorized into individual-level and policy-level measures: At the individual level, people should wear N95 masks, avoid outdoor activities during high pollution periods, and install air purifiers in indoor spaces. At the policy level, governments should enforce stricter air quality standards, regulate emissions from vehicles and industries, promote the use of clean energy, and expand urban green spaces to reduce airborne particulate matter. This study highlights the link between PM_{2.5} air pollution and the prevalence of respiratory diseases, while also proposing effective prevention strategies to mitigate health impacts. These findings can serve as a basis for policy development and practical measures aimed at improving air quality and reducing long-term health risks.

Keywords: PM_{2.5}, Air Pollution, Respiratory Diseases, Preventive Measures, Air Quality

บทนำ

ปัญหามลพิษทางอากาศเป็นหนึ่งในประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนทั่วโลก โดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{2.5} ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนเมตร สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและแทรกซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้อย่างง่ายดาย ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพทั้งในระยะสั้นและระยะยาว (World Health Organization [WHO], 2021) ปัจจุบัน ฝุ่น PM_{2.5} ได้กลายเป็นปัญหาสำคัญในเขตเมืองที่มีความหนาแน่นของประชากรสูงและมีแหล่งกำเนิดมลพิษจำนวนมาก เช่น การคมนาคมขนส่ง การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากอุตสาหกรรม และการเผาไหม้ชีวมวล (United States Environmental Protection Agency (EPA), 2022) มลพิษทางอากาศจากฝุ่น PM_{2.5} มีความเชื่อมโยงโดยตรงกับการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจ งานวิจัยหลายชิ้นพบว่า การได้รับฝุ่น PM_{2.5} ในระดับสูงสามารถทำให้เกิดโรคหอบหืด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) การติดเชื้อทางเดินหายใจ และมะเร็งปอด (Pope, C. A. & Dockery, D. W., 2006) นอกจากนี้ ยังพบว่า ฝุ่น PM_{2.5} อาจทำให้เกิดการอักเสบเรื้อรังในปอด ส่งผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน และเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคหัวใจและหลอดเลือดอีกด้วย (Miller, M. D. & Peden, D. B., 2014) โดยเฉพาะกลุ่มเสี่ยง เช่น เด็ก ผู้สูงอายุ หญิงตั้งครรภ์ และผู้ที่มีโรคประจำตัว ถือเป็นกลุ่มที่ได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากการสัมผัส PM_{2.5} เป็นเวลานาน (World Health Organization (WHO), 2021) กลไกที่ทำให้ฝุ่น PM_{2.5} ส่งผลกระทบต่อสุขภาพเกิดจากองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคที่สามารถก่อให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์เยื่อในระบบทางเดินหายใจ เช่น โลหะหนัก สารไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย (VOCs) ซึ่งสามารถกระตุ้นปฏิกิริยาการอักเสบและความเครียดออกซิเดชันในปอด ทำให้เนื้อเยื่อปอดเสื่อมสภาพ และอาจนำไปสู่โรคเรื้อรังในระยะยาว (Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N., 2016) แนวทางป้องกันและลดผลกระทบของฝุ่น PM_{2.5} มีความสำคัญทั้งในระดับบุคคลและระดับนโยบาย ในระดับบุคคล ประชาชนสามารถป้องกันตนเองได้โดยการใช้หน้ากากอนามัยชนิด N95 หลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมกลางแจ้งในช่วง



ที่ค่าฝุ่นสูง ติดตั้งเครื่องกรองอากาศภายในบ้าน และติดตามข้อมูลคุณภาพอากาศอย่างสม่ำเสมอ (Liang et al., 2020) ในขณะที่ระดับนโยบาย ภาครัฐควรมีมาตรการควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษอย่างเคร่งครัด เช่น การกำหนดมาตรฐานการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะและอุตสาหกรรม ส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด และพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมือง (European Environment Agency, 2019)

ดังนั้น การศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของฝุ่น PM2.5 ต่อสุขภาพทางเดินหายใจจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้เกิดความตระหนักรู้ถึงอันตรายของมลพิษทางอากาศ และนำไปสู่การพัฒนา นโยบายที่มีประสิทธิภาพในการลดความเสี่ยง และสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นให้กับประชาชนในเขตเมือง

ความหมายและแหล่งที่มาของฝุ่น PM2.5

1. ความหมายของฝุ่น PM2.5 ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 (Particulate Matter 2.5) หมายถึงอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร หรือเล็กกว่าประมาณ 30 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์ (World Health Organization (WHO), 2021) เนื่องจากมีขนาดเล็กมาก อนุภาคเหล่านี้สามารถแทรกซึมเข้าสู่ถุงลมปอด และซึมผ่านเข้าสู่กระแสเลือด ส่งผลให้เกิดการอักเสบของเนื้อเยื่อและอาจเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด รวมถึงโรคเรื้อรังอื่น ๆ (Brook et al., 2010)

2. แหล่งที่มาของฝุ่น PM2.5 จำแนกออกเป็น 2 ประเภทหลัก ดังนี้ แหล่งกำเนิดโดยตรง (Primary Sources) ได้แก่ ควันจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะ เครื่องยนต์ดีเซล การเผาไหม้ชีวมวลในภาคเกษตรกรรม และการปล่อยมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งล้วนเป็นแหล่งที่ปล่อยอนุภาค PM2.5 สู่ชั้นบรรยากาศโดยตรง (United States Environmental Protection Agency (EPA), 2022)

แหล่งกำเนิดทางอ้อม (Secondary Sources) หมายถึง อนุภาค PM2.5 ที่เกิดจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในบรรยากาศ เช่น การรวมตัวของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), และแอมโมเนีย (NH₃) จนกลายเป็นสารประกอบซัลเฟต ไนเตรต หรืออนุภาคอินทรีย์ ซึ่งลอยลอยอยู่ในอากาศและรวมตัวเป็น PM2.5 ในภายหลัง (Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N., 2016)

ผลกระทบของฝุ่น PM2.5 ต่อสุขภาพทางเดินหายใจ

1. กลไกที่ PM2.5 ส่งผลต่อสุขภาพ

ผ่านกลไกหลัก 3 ประการ ได้แก่ การอักเสบของระบบทางเดินหายใจ ฝุ่น PM2.5 ทำให้เกิดปฏิกิริยาการอักเสบในปอดและเยื่อหุ้มทางเดินหายใจ จะนำไปสู่โรคหอบหืดและโรคปอดเรื้อรัง ความเครียดออกซิเดชัน (Oxidative Stress): อนุภาคฝุ่น PM2.5 กระตุ้นให้เซลล์สร้างสารอนุมูลอิสระ ทำให้เซลล์เยื่อปอดเสียหาย ผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน PM2.5 อาจลดความสามารถของระบบภูมิคุ้มกันในการป้องกันการติดเชื้อทางเดินหายใจ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เป็นมลพิษทางอากาศที่สามารถเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจและซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ ส่งผลกระทบต่อสุขภาพในหลายระดับ กลไกหลักที่ PM2.5 ส่งผลต่อสุขภาพ ได้แก่ (World Health Organization (WHO), 2021); (United States Environmental Protection Agency (EPA), 2022)

1.1 การอักเสบของระบบทางเดินหายใจ (Respiratory Inflammation) ฝุ่น PM2.5 สามารถกระตุ้นการอักเสบในทางเดินหายใจและปอด เนื่องจากอนุภาคเหล่านี้มีขนาดเล็กพอที่จะเข้าถึงถุงลมปอด (alveoli) และก่อให้เกิดปฏิกิริยาภูมิคุ้มกันในร่างกาย เซลล์ภูมิคุ้มกัน เช่น แมคโครฟาจ (macrophages) และนิวโทรฟิล (neutrophils) จะพยายามกำจัดอนุภาคเหล่านี้ ส่งผลให้เกิดการหลั่งสารไซโตไคน์อักเสบ (inflammatory cytokines) เช่น IL-6 และ TNF- α ซึ่งทำให้เกิดภาวะอักเสบเรื้อรังในปอด (Brook et al., 2010) ตัวอย่างของ ผลกระทบของ PM2.5 ต่อโรคหืด การสัมผัส PM2.5 เป็นเวลานานทำให้เยื่อหุ้มทางเดินหายใจบวมและอักเสบ เพิ่มความไวต่อสารก่อภูมิแพ้

ส่งผลให้ผู้ป่วยโรคหืดมีอาการรุนแรงขึ้น โดยพบว่า ในพื้นที่ที่มีระดับ PM2.5 สูง อัตราการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคหืดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Guarnieri, M. & Balmes, J. R., 2014)

1.2 ความเครียดออกซิเดชัน (Oxidative Stress) PM2.5 สามารถกระตุ้นให้เซลล์เยื่อปอดสร้างสารอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species, ROS) ในปริมาณสูง ซึ่งทำให้เซลล์เกิดความเครียดออกซิเดชัน ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อ DNA โปรตีน และเยื่อหุ้มเซลล์ หากความเครียดออกซิเดชันสะสมเป็นเวลานาน อาจนำไปสู่ภาวะอักเสบเรื้อรังและการพัฒนาของโรคเรื้อรัง เช่น โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) และมะเร็งปอด ตัวอย่างของผลกระทบของ PM2.5 ต่อโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) ในผู้ป่วย COPD ฝุ่น PM2.5 ทำให้เนื้อเยื่อปอดอักเสบเรื้อรัง และเพิ่มความเสียหายของถุงลมปอด ส่งผลให้ผู้ป่วยมีอาการหายใจลำบากมากขึ้น การศึกษาพบว่า ผู้ป่วย COPD ที่อาศัยอยู่ในเขตเมืองที่มีระดับ PM2.5 สูง มีอัตราการกำเริบของโรคต่ำกว่าผู้ป่วยที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีอากาศสะอาด (Hansel et al, 2013)

1.3 ผลกระทบต่อระบบภูมิคุ้มกัน (Immune System Impairment) PM2.5 สามารถลดประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้ร่างกายอ่อนแอลงและเสี่ยงต่อการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจมากขึ้น อนุภาคเหล่านี้สามารถยับยั้งการทำงานของแมคโครฟาจและเซลล์เดนไดรติก ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการกำจัดเชื้อโรค นอกจากนี้ยังพบว่า PM2.5 อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของไมโครไบโอมในทางเดินหายใจ ทำให้สมดุลของจุลินทรีย์เสียไป ส่งผลให้ร่างกายมีแนวโน้มติดเชื้อทางเดินหายใจได้ง่ายขึ้น (Miller, M. D. & Peden, D. B., 2014) ตัวอย่างของผลกระทบของ PM2.5 ต่อการติดเชื้อทางเดินหายใจ งานวิจัยพบว่าผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับ PM2.5 สูง มีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อไวรัสและแบคทีเรียในทางเดินหายใจสูงขึ้น เช่น โรคปอดบวมและไข้หวัดใหญ่ โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กและผู้สูงอายุ (Zhou, Y., 2020)

ฝุ่น PM2.5 ส่งผลกระทบต่อสุขภาพผ่านกลไกหลัก 3 ประการ ได้แก่ 1) การอักเสบของระบบทางเดินหายใจ ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคหืดและปอดอุดกั้นเรื้อรัง 2) ความเครียดออกซิเดชัน ที่ทำให้เกิดความเสียหายของเซลล์ และเพิ่มความเสี่ยงต่อมะเร็งปอด และ 3) การลดประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกัน ทำให้เสี่ยงต่อการติดเชื้อทางเดินหายใจมากขึ้น การทำความเข้าใจกลไกเหล่านี้ช่วยให้เราตระหนักถึงอันตรายของมลพิษทางอากาศและความสำคัญของมาตรการป้องกัน เช่น การลดการปล่อยมลพิษจากยานพาหนะ การใช้หน้ากากป้องกันฝุ่น และการติดตามคุณภาพอากาศอย่างใกล้ชิด

2. โรคระบบทางเดินหายใจที่เกี่ยวข้องกับ PM2.5

การได้รับ PM2.5 ในระดับสูงเชื่อมโยงกับโรคทางเดินหายใจหลายชนิด ได้แก่ โรคหืด (Asthma): ฝุ่น PM2.5 กระตุ้นการอักเสบของทางเดินหายใจ ทำให้ผู้ป่วยโรคหืดมีอาการรุนแรงขึ้น, โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD): การได้รับ PM2.5 เป็นเวลานานทำให้เนื้อเยื่อปอดถูกทำลาย และลดประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนก๊าซ, มะเร็งปอด: อนุภาค PM2.5 ที่มีสารก่อมะเร็งสามารถสะสมในปอดและเพิ่มความเสี่ยงต่อมะเร็งปอด, การติดเชื้อทางเดินหายใจ: ฝุ่น PM2.5 ทำให้ระบบภูมิคุ้มกันอ่อนแอลง เพิ่มโอกาสในการติดเชื้อ เช่น ปอดบวมและไข้หวัดใหญ่

มลพิษทางอากาศจากฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เป็นปัจจัยเสี่ยงสำคัญที่เชื่อมโยงกับการเพิ่มขึ้นของอัตราการเกิดโรคระบบทางเดินหายใจในประชากร โดยเฉพาะในพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นของมลพิษสูง อนุภาค PM2.5 สามารถเข้าสู่ปอดและกระแสเลือด กระตุ้นให้เกิดการอักเสบและความเครียดออกซิเดชันในเซลล์ ส่งผลให้เกิดความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจทั้งในระยะสั้นและระยะยาว (Brook et al., 2010); (World Health Organization (WHO), 2021)

โรคระบบทางเดินหายใจที่เกี่ยวข้องกับ PM2.5 ได้แก่

โรคหืด (Asthma) โรคหืดเป็นภาวะทางเดินหายใจเรื้อรังที่เกิดจากการอักเสบและการตีบแคบของหลอดลม ทำให้เกิดอาการหายใจลำบาก หายใจมีเสียงวี๊ด และไอ ฝุ่น PM2.5 สามารถกระตุ้นให้เกิดการอักเสบของเยื่อ



ทางเดินหายใจ กระตุ้นปฏิกิริยาภูมิแพ้ และทำให้ผู้ป่วยโรคหืดมีอาการรุนแรงขึ้น (Guarnieri, M. & Balmes, J. R., 2014) ตัวอย่างของ การศึกษาของ Meng พบว่า ผู้ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีค่าฝุ่น PM2.5 สูง มีอัตราการเข้ารับการรักษา ในโรงพยาบาลเนื่องจาก โรคหืดเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่ม เด็กและผู้สูงอายุ ที่มีความเสี่ยงสูง (Meng Y. et al., 2010) นอกจากนี้ ผู้ป่วยที่ได้รับ ฝุ่น PM2.5 เป็นเวลานานมีแนวโน้มต้องใช้ ยาขยายหลอดลม บ่อยขึ้น เนื่องจากฝุ่นละออง ขนาดเล็กสามารถกระตุ้นให้เกิด การอักเสบในระบบทางเดินหายใจ และทำให้ อาการของโรคหืดรุนแรงขึ้น (Meng Y. et al., 2010) ข้อสังเกต การลดการสัมผัส PM2.5 โดย หลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งในวันที่มีค่าฝุ่นสูง และการใช้ เครื่องฟอกอากาศภายในบ้าน อาจช่วยลดความเสี่ยงของการกำเริบของโรคหืดในผู้ป่วยกลุ่มเสี่ยง (World Health Organization (WHO), 2021)

โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD) COPD เป็นกลุ่มโรคทางเดิน หายใจเรื้อรังที่เกิดจากการอักเสบและการทำลายของเนื้อเยื่อปอด ทำให้การแลกเปลี่ยนก๊าซลดลงและส่งผลให้เกิด อาการหายใจลำบากเรื้อรัง PM2.5 สามารถกระตุ้นการอักเสบในหลอดลมและถุงลมปอด ทำให้ความสามารถของ ปอดลดลงเมื่อได้รับเป็นเวลานาน (Hansel et al, 2013) ตัวอย่างของ PM2.5 กับอัตราการกำเริบของ COPD งานวิจัยของ Liu พบว่าผู้ป่วย COPD ที่อาศัยอยู่ในเมืองที่มีค่าฝุ่น PM2.5 สูงมีอัตราการกำเริบของโรคสูงกว่าผู้ที่ อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีอากาศสะอาด โดยอัตราการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นถึง 20% ในช่วงที่ค่าฝุ่น PM2.5 สูงกว่าระดับมาตรฐาน (Liu, S. et al., 2017)

มะเร็งปอด (Lung Cancer) ฝุ่น PM2.5 มีสารก่อมะเร็ง เช่น โพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) และโลหะหนัก ซึ่งสามารถสะสมในปอดและทำให้เกิดการกลายพันธุ์ของเซลล์ ส่งผลให้เกิดมะเร็งปอด (International Agency for Research on Cancer (IARC), 2013) องค์การอนามัยโลก (WHO) ได้จัดให้ PM2.5 เป็นสารก่อมะเร็ง ประเภท 1 ซึ่งมีหลักฐานชัดเจนว่าเป็นสาเหตุของมะเร็งในมนุษย์ ตัวอย่างของ ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 กับ มะเร็งปอด งานวิจัยของ Hamra วิเคราะห์ข้อมูลจากหลายประเทศ และพบว่า การได้รับ PM2.5 ในระดับสูงเพิ่ม ความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งปอด โดยเฉพาะในผู้ที่ได้รับฝุ่น PM2.5 จากการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมและ บริเวณที่มีการจราจรหนาแน่น (Hamra, G. B. et al., 2014)

การติดเชื้อทางเดินหายใจ (Respiratory Infections) ฝุ่น PM2.5 สามารถลดประสิทธิภาพของระบบ ภูมิคุ้มกันในปอด ทำให้ร่างกายอ่อนแอลงและมีแนวโน้มติดเชื้อในทางเดินหายใจได้ง่ายขึ้น โดยเฉพาะในเด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัว (Miller, M. D. & Peden, D. B., 2014)

ตัวอย่างของ PM2.5 กับการติดเชื้อปอดบวม งานวิจัยของ Zhou พบว่า การได้รับ PM2.5 ในระดับสูง มีความสัมพันธ์กับอัตราการติดเชื้อปอดบวมที่สูงขึ้น โดยเฉพาะในเด็กอายุต่ำกว่า 5 ปี และผู้สูงอายุที่มีระบบ ภูมิคุ้มกันอ่อนแอ (Zhou, Y., 2020) PM2.5 เป็นมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจในหลายระดับ โดยมีความสัมพันธ์โดยตรงกับโรคหืด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง มะเร็งปอด และการติดเชื้อทางเดินหายใจ หลักฐาน ทางวิทยาศาสตร์ระบุว่า PM2.5 สามารถกระตุ้นการอักเสบของปอด ทำให้เกิดความเครียดออกซิเดชัน และลด ประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งนำไปสู่โรคเรื้อรังและเพิ่มความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต การลดความเสี่ยงจาก PM2.5 จำเป็นต้องดำเนินมาตรการป้องกันทั้งในระดับบุคคลและระดับนโยบาย เช่น การใช้หน้ากากกันฝุ่น หลีกเลี่ยง พื้นที่ที่มีมลพิษสูง และสนับสนุนมาตรการควบคุมมลพิษทางอากาศของภาครัฐ

จึงเห็นได้ว่า ฝุ่น PM2.5 ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจอย่างมีนัยสำคัญ ผ่านกลไกสำคัญ 3 ประการ ได้แก่ การกระตุ้นการอักเสบของทางเดินหายใจ ความเครียดออกซิเดชัน และการลดประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกัน ซึ่งนำไปสู่โรคเรื้อรังและการติดเชื้อทางเดินหายใจ ผลกระทบที่พบได้บ่อย ได้แก่ โรคหืด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) มะเร็งปอด และปอดบวม โดยกลุ่มเสี่ยง เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ป่วยโรคประจำตัว มีโอกาสได้รับผลกระทบมากที่สุด การตระหนักถึงกลไกเหล่านี้ช่วยส่งเสริมให้เกิดการป้องกันเชิงรุก เพื่อปกป้องสุขภาพของประชาชนในระยะยาว

3. ผลกระทบทางเศรษฐกิจจากปัญหาสุขภาพที่เกิดจาก PM2.5

นอกเหนือจากผลกระทบทางสุขภาพโดยตรงแล้ว ฝุ่น PM2.5 ยังสร้างภาระทางเศรษฐกิจที่สำคัญ โดยเฉพาะในเขตเมืองที่มีประชากรหนาแน่นและระบบสาธารณสุขต้องรองรับผู้ป่วยจำนวนมาก ผลกระทบเหล่านี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ด้านหลัก คือ 1) ค่าใช้จ่ายด้านสาธารณสุข การเพิ่มขึ้นของโรคระบบทางเดินหายใจจากฝุ่น PM2.5 ส่งผลให้เกิดภาระค่าใช้จ่ายด้านการรักษาพยาบาลสูงขึ้น ทั้งในระดับครัวเรือนและระดับประเทศ ไม่ว่าจะเป็นค่ารักษาโรคเรื้อรัง ค่ายา ค่าห้องพักรักษา และค่ารักษาในกรณีฉุกเฉิน งานวิจัย (World Bank, 2020) ระบุว่า มลพิษทางอากาศเป็นสาเหตุของค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพทั่วโลกมากกว่า 5 ล้านล้านดอลลาร์สหรัฐต่อปี โดยประเทศรายได้ปานกลางและต่ำได้รับผลกระทบมากที่สุดในประเทศไทย งานศึกษาของสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (สผ.) พบว่าในปี 2563 ปัญหาฝุ่น PM2.5 ทำให้เกิดความเสียหายทางเศรษฐกิจจากค่ารักษาพยาบาลและการสูญเสียรายได้ของผู้ป่วยมากกว่า 2 แสนล้านบาทต่อปี และ 2) ผลกระทบต่อแรงงานและผลิตภาพแรงงาน มลพิษทางอากาศส่งผลให้แรงงานมีอัตราการเจ็บป่วยสูงขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน การลางาน และการขาดงานบ่อยครั้ง ในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะในพื้นที่เมืองที่มีความหนาแน่นของแรงงานสูง เช่น เขตเศรษฐกิจหรือนิคมอุตสาหกรรม ผลกระทบดังกล่าวยังส่งผลต่อผลิตภาพแรงงานและความสามารถในการแข่งขันทางเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ องค์การแรงงานระหว่างประเทศ (ILO) ได้รายงานไว้ว่า มลพิษทางอากาศสามารถทำให้เศรษฐกิจสูญเสียศักยภาพแรงงานมากถึง 1 - 2% ของ GDP ต่อปีในประเทศที่มีระดับ PM2.5 สูง (ILO, 2021)

จึงเห็นได้ว่า การประเมินผลกระทบของฝุ่น PM2.5 ควรมองอย่างครอบคลุม ไม่เพียงแต่ในมิติทางสุขภาพเท่านั้น แต่ยังรวมถึงมิติทางเศรษฐกิจที่แสดงถึงต้นทุนแฝงอันเกิดจากการเจ็บป่วยและการสูญเสียผลิตภาพแรงงาน การดำเนินการมาตรการควบคุมฝุ่น PM2.5 จึงไม่ใช่เพียงเรื่องของสิ่งแวดล้อมหรือสุขภาพเท่านั้น แต่ยังเป็นการลงทุนเพื่อความยั่งยืนทางเศรษฐกิจในระยะยาว

มาตรการป้องกันผลกระทบจากฝุ่น PM2.5

1. มาตรการป้องกันในระดับบุคคล มาตรการป้องกันในระดับบุคคลเป็นกลยุทธ์พื้นฐานที่สามารถลดความเสี่ยงจากฝุ่น PM2.5 ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเน้นการลดการสัมผัสโดยตรงกับมลพิษทางอากาศในชีวิตประจำวัน ผ่านแนวทางสำคัญ ได้แก่ การใช้หน้ากาก N95 การหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งในวันที่ค่าฝุ่นสูง และการใช้เครื่องฟอกอากาศภายในบ้าน

1.1 การใช้หน้ากากป้องกันฝุ่นชนิด N95 หน้ากาก N95 ได้รับการรับรองว่าสามารถกรองอนุภาคขนาดเล็กได้ถึง 95% รวมถึงฝุ่น PM2.5 ที่เป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีค่าฝุ่นสูง งานวิจัยของ (Liang et al., 2020) พบว่า ผู้ที่ใช้หน้ากาก N95 เป็นประจำมีอาการทางเดินหายใจลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับผู้ที่ไม่สวมใส่ การเลือกหน้ากากควรคำนึงถึงมาตรฐานรับรองและการสวมใส่ที่แนบสนิทกับใบหน้า เพื่อให้การกรองฝุ่นมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 หลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งในวันที่ค่าฝุ่นสูง การติดตามข้อมูลคุณภาพอากาศแบบเรียลไทม์จากแหล่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ เช่น AirVisual, Air4Thai หรือ AirNow ช่วยให้ประชาชนสามารถวางแผนหลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งเมื่อค่าฝุ่นสูงเกินมาตรฐาน ตัวอย่างในกรุงเทพมหานครและเมืองใหญ่หลายแห่งทั่วโลกแสดงให้เห็นว่า การยกเลิกกิจกรรมกลางแจ้งและปรับพฤติกรรมตามข้อมูลคุณภาพอากาศ สามารถช่วยลดการสัมผัสกับมลพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Zhang, Y. et al., 2019)

1.3 การใช้เครื่องฟอกอากาศภายในบ้าน เครื่องฟอกอากาศที่มีแผ่นกรอง HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยลดปริมาณ PM2.5 ภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการปิดประตูหน้าต่างเพื่อป้องกันฝุ่นจากภายนอก งานวิจัยของ MacIntyre, E. A., et al. ระบุว่า ผู้ใช้เครื่อง



ฟอกอากาศมีระดับการอักเสบของปอดลดลง และอาการของโรคหืดดีขึ้นอย่างชัดเจน การเลือกเครื่องฟอกอากาศควรคำนึงถึงค่า Clean Air Delivery Rate (CADR) ที่เหมาะสมกับขนาดของห้อง และการเปลี่ยนแผ่นกรองอย่างสม่ำเสมอ (MacIntyre, E. A. et al., 2019)

จึงเห็นได้ว่า การป้องกันฝุ่น PM2.5 ในระดับบุคคลสามารถดำเนินการได้ทันทีโดยประชาชนทั่วไปเป็นแนวทางสำคัญที่ช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพในระยะสั้นและระยะยาว โดยเฉพาะในช่วงเวลาที่มีมาตรการภาครัฐยังไม่สามารถควบคุมมลพิษได้เต็มที่ การเข้าถึงข้อมูลคุณภาพอากาศ เทคโนโลยีกรองอากาศ และความรู้ในการป้องกันตนเอง จะช่วยให้ประชาชนสามารถปรับพฤติกรรมและใช้ชีวิตอย่างปลอดภัยในภาวะอากาศเป็นพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. มาตรการป้องกันในระดับนโยบาย การจัดการปัญหาฝุ่น PM2.5 อย่างยั่งยืนจำเป็นต้องดำเนินการในระดับนโยบายเพื่อควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษโดยตรง ซึ่งครอบคลุมทั้งภาคอุตสาหกรรม คมนาคม พลังงาน และการพัฒนาเมือง แนวทางหลักที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพ ได้แก่ การกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวด การส่งเสริมพลังงานสะอาด และการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง

2.1 การกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวด การออกกฎหมายควบคุมมลพิษอย่างเข้มงวดเป็นรากฐานสำคัญของการจัดการฝุ่น PM2.5 โดยต้องมีการกำหนดค่ามาตรฐาน PM2.5 ที่ชัดเจน มีผลบังคับใช้จริง และมีบทลงโทษที่ชัดเจนต่อผู้กระทำผิด ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและยานพาหนะ การบังคับใช้เทคโนโลยีควบคุมการปล่อยมลพิษ เช่น ตัวกรองฝุ่นในโรงงานหรือระบบบำบัดไอเสียในรถยนต์ เป็นอีกมาตรการเสริมที่ช่วยลดมลพิษที่ต้นทางกรณีตัวอย่างสหภาพยุโรปได้ออก European Air Quality Directive กำหนดให้ระดับ PM2.5 ไม่เกิน $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ต่อปี และมีการตรวจสอบและรายงานผลอย่างเข้มงวด ส่งผลให้คุณภาพอากาศในเมืองใหญ่ปรับตัวดีขึ้น (European Environment Agency, 2019)

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย 1) ปรับค่ามาตรฐาน PM2.5 ให้สอดคล้องกับข้อเสนอแนะของ WHO 2) เสริมระบบติดตามมลพิษแบบเรียลไทม์ และเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะ 3) จัดตั้งหน่วยงานอิสระในการกำกับดูแลคุณภาพอากาศและการบังคับใช้กฎหมาย

2.2 การส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด การเปลี่ยนผ่านจากพลังงานฟอสซิลไปสู่พลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ลม และชีวมวล เป็นกลยุทธ์สำคัญในการลดแหล่งกำเนิด PM2.5 จากภาคพลังงานโดยตรง นโยบายที่ประสบความสำเร็จในระดับนานาชาติได้แสดงให้เห็นว่า การลงทุนในโครงสร้างพื้นฐานด้านพลังงานสะอาดสามารถลดการปล่อยมลพิษและส่งเสริมเศรษฐกิจสีเขียวไปพร้อมกัน

กรณีตัวอย่างประเทศเยอรมนีดำเนินนโยบาย Energiewende เพื่อเปลี่ยนผ่านสู่พลังงานหมุนเวียน ส่งผลให้ลดการพึ่งพาถ่านหินและลดระดับฝุ่น PM2.5 ในเขตเมืองอย่างชัดเจน (Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, 2020) ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย 1) ให้เงินอุดหนุนแก่ประชาชนและภาคธุรกิจที่ลงทุนในพลังงานสะอาด 2) ส่งเสริมการใชยานยนต์ไฟฟ้าและระบบขนส่งสาธารณะที่ใช้พลังงานสะอาด และ 3) ผลักดันการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ในอาคารสาธารณะและภาคเอกชน

2.3 การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมือง พื้นที่สีเขียวในเมืองมีบทบาทสำคัญในการดูดซับฝุ่นละออง ลดความร้อนจากแหล่งมลพิษ และปรับปรุงคุณภาพชีวิตของประชาชน การเพิ่มต้นไม้ริมถนน สวนสาธารณะ และโครงสร้างพื้นฐานเขียว เช่น หลังคาเขียว (Green Roof) และกำแพงต้นไม้ (Vertical Garden) เป็นแนวทางที่ได้รับการสนับสนุนในเมืองใหญ่มาแล้วทั่วโลกกรณีตัวอย่างสิงคโปร์ได้พัฒนาโครงการ Green City โดยส่งเสริมการปลูกต้นไม้ในเขตเมือง การพัฒนาสวนแนวตั้ง และการออกแบบเมืองให้สอดคล้องกับธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้ระดับ PM2.5 ลดลงพร้อมกับอุณหภูมิที่เย็นลง (Tan, P. Y. et al., 2013)

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย 1) กำหนดพื้นที่สีเขียวชั้นต่ำในผังเมืองทุกโครงการพัฒนา 2) ส่งเสริมโครงการปลูกต้นไม้ในพื้นที่อุตสาหกรรมและเขตชุมชน 3) สนับสนุน Green Infrastructure ผ่านมาตรการภาษีและกฎหมาย จึงเห็นได้ว่า มาตรการในระดับนโยบายไม่เพียงแต่มีผลต่อการควบคุมมลพิษที่ต้นทาง แต่ยังส่งผลต่อทิศทางการพัฒนาเมืองในระยะยาว รัฐบาลควรผนวกแนวทางทั้ง 3 ด้าน กฎหมายที่เข้มงวด พลังงานสะอาด และการออกแบบพื้นที่สีเขียว ให้เป็นกลยุทธ์แบบบูรณาการ เพื่อสร้างความเปลี่ยนแปลงอย่างยั่งยืนในเชิงโครงสร้าง การดำเนินการเช่นนี้จะไม่เพียงช่วยลดระดับฝุ่น PM2.5 เท่านั้น แต่ยังส่งเสริมสุขภาพ เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อมของประเทศในภาพรวมมาตรการป้องกันฝุ่น PM2.5 ในระดับนโยบายการแก้ไขปัญหาฝุ่น PM2.5 อย่างยั่งยืน จำเป็นต้องดำเนินการในระดับนโยบายอย่างจริงจังและเป็นระบบ มาตรการที่มีประสิทธิภาพควรครอบคลุมทั้งด้านกฎหมาย การส่งเสริมเทคโนโลยีสะอาด การจัดการพลังงาน และการวางผังเมืองอย่างยั่งยืน โดยมีรายละเอียดสำคัญ ดังนี้ 1) การกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวดและมีผลบังคับใช้จริง ภาครัฐควรปรับปรุงเกณฑ์มาตรฐานค่าฝุ่น PM2.5 ให้สอดคล้องกับคำแนะนำขององค์การอนามัยโลก (WHO) เช่น ค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ไม่ควรเกิน 15 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ควบคู่กับการออกกฎหมายควบคุมการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิดหลัก ได้แก่ ยานพาหนะ บังคับใช้มาตรฐานไอเสียที่เข้มงวด เช่น Euro โรงงานอุตสาหกรรมบังคับให้ติดตั้งระบบดักจับฝุ่นและกรองอากาศ การเผาในที่โล่ง ออกมาตรการห้ามเผาอย่างเด็ดขาดในช่วงวิกฤตฝุ่น นอกจากนี้ควรมีหน่วยงานอิสระในการตรวจสอบคุณภาพอากาศและเปิดเผยข้อมูลต่อสาธารณะอย่างโปร่งใส 2) การส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดและเทคโนโลยีลดมลพิษ: เพื่อลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่น PM2.5 ภาครัฐควรสนับสนุนการลงทุนในพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และไบโอแมส รวมถึงการใช้เทคโนโลยีสะอาดในภาคอุตสาหกรรมและภาคขนส่ง ตัวอย่างแนวทาง ได้แก่ สนับสนุนการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (EV) โดยการลดภาษีและสร้างสถานีชาร์จ ให้เงินอุดหนุนแก่ครัวเรือนและภาคธุรกิจที่ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ สนับสนุนการเปลี่ยนเชื้อเพลิงในโรงงานจากถ่านหินเป็นก๊าซธรรมชาติ ส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีลดมลพิษ ตัวอย่างความสำเร็จของประเทศเยอรมนีที่ดำเนินโครงการ Energiewende ส่งผลให้สัดส่วนพลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้นและลดระดับ PM2.5 อย่างมีนัยสำคัญ และ 3) การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมืองและการวางผังเมืองอย่างยั่งยืน ต้นไม้และพืชพรรณมีความสามารถในการดูดซับฝุ่นละออง และช่วยฟอกอากาศให้สะอาดมากขึ้น การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเขตเมือง เช่น สวนสาธารณะ แนวต้นไม้ริมถนน หลังคาเขียว (green roof) และกำแพงพืช (vertical garden) จึงเป็นแนวทางที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีประสิทธิภาพ เช่น โครงการ “Green City” ของประเทศสิงคโปร์ ที่ใช้การวางผังเมืองร่วมกับการปลูกต้นไม้เพื่อลดมลพิษ นโยบาย “Urban Forests” ของหลายเมืองในยุโรป ที่เน้นการปลูกต้นไม้ชนิดที่ดูดซับฝุ่น PM2.5 ได้ดี เช่น ไม้ยืนต้นใบเล็กและพุ่มหนา ภาครัฐควรกำหนดให้มีพื้นที่สีเขียวในทุกโครงการพัฒนาเมืองใหม่ และส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในการดูแลพื้นที่สีเขียวในชุมชน ดังนั้นควรมีข้อเสนอแนะในการดำเนินมาตรการระดับนโยบาย 1) ควรมีแผนแม่บทระดับประเทศเกี่ยวกับการลด PM2.5 ที่ชัดเจน พร้อมเป้าหมายระยะสั้นและระยะยาว 2) จัดตั้ง “คณะกรรมการอากาศสะอาดแห่งชาติ” เพื่อกำกับ ติดตาม และประเมินผลมาตรการต่าง ๆ 3) ส่งเสริมความร่วมมือระหว่างหน่วยงานรัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาชน เพื่อให้มาตรการมีผลในทางปฏิบัติ และ 4) ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น ระบบ Big Data และ AI ในการติดตาม ป้องกัน และคาดการณ์วิกฤตฝุ่น

สรุป

จากการศึกษา พบว่า ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 เป็นมลพิษทางอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนอย่างรุนแรง โดยเฉพาะระบบทางเดินหายใจในกลุ่มประชากรเปราะบาง เช่น เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ป่วยโรคเรื้อรัง PM2.5 สามารถเข้าสู่ปอดและกระแสเลือด ก่อให้เกิดการอักเสบ ความเครียดออกซิเดชัน และการกด



ภูมิคุ้มกัน ซึ่งเพิ่มความเสี่ยงต่อโรคหืด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง มะเร็งปอด และโรคติดเชื้อทางเดินหายใจนอกจากผลกระทบทางสุขภาพแล้ว PM2.5 ยังสร้างภาระทางเศรษฐกิจจากค่าใช้จ่ายด้านการรักษาพยาบาล และการสูญเสียผลิตภาพแรงงานในเขตเมือง ซึ่งสะท้อนถึงต้นทุนแฝงที่สังคมต้องแบกรับ การป้องกัน PM2.5 จึงจำเป็นต้องดำเนินการควบคู่ทั้งในระดับบุคคลและระดับนโยบาย ในระดับบุคคล การใช้หน้ากาก N95 หลีกเลี่ยงกิจกรรมกลางแจ้งในวันที่คุณภาพอากาศแย่ และใช้เครื่องฟอกอากาศในอาคาร เป็นแนวทางที่ช่วยลดความเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนในระดับนโยบาย รัฐควรกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวด ควบคุมการปล่อยมลพิษจากแหล่งกำเนิด ส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด การพัฒนาระบบขนส่งสาธารณะ และการเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมือง ส่วนข้อเสนอแนะเชิงนโยบายและปฏิบัติที่สำคัญ ได้แก่ 1) ปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพอากาศให้สอดคล้องกับแนวทางขององค์การอนามัยโลก และบังคับใช้กฎหมายอย่างเข้มงวด 2) สนับสนุนการใช้เทคโนโลยีสะอาด เช่น ยานยนต์ไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องกรองอากาศ 3) พัฒนาโครงสร้างพื้นฐานสีเขียวในเขตเมือง และกำหนดพื้นที่สีเขียวขั้นต่ำในทุกแผนการพัฒนา 4) ส่งเสริมการเข้าถึงข้อมูลคุณภาพอากาศแบบเรียลไทม์ และให้ความรู้แก่ประชาชนเกี่ยวกับการป้องกันตนเอง และ 5) สนับสนุนการวิจัยและนวัตกรรมในการแก้ปัญหามลพิษ รวมถึงการบรรจุเนื้อหาเกี่ยวกับ PM2.5 ในหลักสูตรการศึกษา กล่าวโดยสรุป การจัดการปัญหาฝุ่น PM2.5 จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือแบบบูรณาการจากภาครัฐ ภาคเอกชน ประชาชน และภาควิชาการ เพื่อสร้างระบบป้องกันที่ยั่งยืน และยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในระยะยาว

เอกสารอ้างอิง

- สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2563). รายงานการประเมินความเสียหายทางเศรษฐกิจจากมลพิษฝุ่น PM2.5 ในประเทศไทย. เรียกใช้เมื่อ 20 มกราคม 2568 จาก https://www.pcd.go.th/pcd_news/11873/
- Brook et al. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*, 121(21), 2331-2378. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8e3e1>
- European Environment Agency. (2019). Air quality in Europe-2019 report. Retrieved February 2, 2025, from <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>
- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems. (2020). Energiewende-Energy transition in Germany. Retrieved February 2, 2025, from <https://www.ise.fraunhofer.de>
- Guarnieri, M. & Balme, J. R. (2014). Outdoor air pollution and asthma. *The Lancet*, 383(9928), 1581-1592.
- Hamra, G. B. et al. (2014). Outdoor particulate matter exposure and lung cancer: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 122(9), 906-911. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408092>
- Hansel et al. (2013). Inflammatory responses to indoor and outdoor air pollution in chronic obstructive pulmonary disease. *Proceedings of the American Thoracic Society*, 10(2), 112-117.
- ILO. (2021). The employment impact of air pollution. International Labour Organization. Retrieved February 2, 2025, from <https://www.ilo.org>

- International Agency for Research on Cancer (IARC). (2013). Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. World Health Organization. Retrieved February 2, 2025, from https://www.iarc.who.int/wpcontent/uploads/2018/07/pr221_E.pdf
- Liang et al. (2020). Protective effects of wearing N95 respirators on respiratory symptoms in urban populations exposed to PM_{2.5}. *Environmental Health Perspectives*, 128(6), 067007. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1438463921001218>
- Liu, S. et al. (2017). Association between exposure to ambient particulate matter and chronic obstructive pulmonary disease: Results from a cross-sectional study in China. *Thorax*, 72(9), 788-795. <https://thorax.bmj.com/content/72/9/788>
- MacIntyre, E. A. et al. (2019). Reducing the Effectiveness of Ward Particulate Matter, Bacteria and Influenza Virus by Combining Two Complementary Air Purifiers, 53(1), 1801533. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36012090/>
- Meng, Y. et al. (2010). Traffic-related air pollution and asthma hospitalizations in children and the elderly: A population-based study. *Environmental Health Perspectives*, 118(10), 1443-1449.
- Miller, M. D. & Peden, D. B. (2014). Environmental effects on immune responses in patients with atopy and asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 134(5), 1001-1008.
- Pope, C. A. & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 56(6), 709-742.
- Seinfeld, J. H. & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric chemistry and physics: From air pollution to climate change*. (3rd ed.). London: Wiley.
- Tan, P. Y. et al. (2013). Perspectives on five decades of the urban greening of Singapore. *Cities*, 32(2013), 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.02.001>
- United States Environmental Protection Agency (EPA). (2022). Particulate Matter (PM) Pollution. Retrieved February 2, 2025, from <https://www.epa.gov/pm-pollution>
- World Bank. (2020). The cost of air pollution: Strengthening the economic case for action. Retrieved February 2, 2025, from <https://www.worldbank.org>
- World Health Organization (WHO). (2021). Air pollution and health. Retrieved February 2, 2025, from <https://www.who.int>
- Zhang, Y. et al. (2019). Short-term effects of ambient PM_{2.5} on emergency department visits for respiratory diseases: A multicity study in China. Retrieved February 2, 2025, from <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108627>
- Zhou, Y. (2020). The associations between ambient air pollution and adult respiratory mortality in 32 major Chinese cities, 2006 - 2010. *Environmental Research*, 182(2020), 109-114.