

The Association Between Long-Term Exposure to PM_{2.5} and Blood Pressure Levels among Military Personnel in Thailand: A Retrospective Cohort Study

*Sarun Poobunjirdkul, M.D., M.Sc.**

*Apisorn Laorattapong, M.D., M.Sc.**

*Wiroj Jiamjarasrangi, M.D., Ph.D.***

*Thanapoom Rattananupong, Ph.D.***

Abstract

Background: Currently, the world is facing health problems due to PM_{2.5} fine particulate matter, particularly with regard to blood pressure. In Thailand, there has been an increasing number of studies, although many of them are cross-sectional in nature.

Objective: To investigate the relationship between (1) “baseline PM_{2.5} levels,” (2) “changing PM_{2.5} levels,” and blood pressure levels among Thai army personnel.

Method: Data analysis was conducted using multilevel mixed-effects models with a total sample of 40,984 individuals.

Result: Controlling for population characteristics, health behaviors, and meteorological attributes, “baseline PM_{2.5} levels” per 1 µg/m³ showed a statistically insignificant association with blood pressure levels. However, when considering “changing PM_{2.5} levels” per 1 µg/m³, a significant relationship was found with both systolic blood pressure (β 0.91 mmHg, 95% CI; 0.76, 1.06) and diastolic blood pressure (β 0.60 mmHg, 95% CI; 0.48, 0.71), as well as mean arterial pressure (β 0.70 mmHg, 95% CI; 0.59, 0.81).

Conclusion: the impact of PM_{2.5} levels on blood pressure was more pronounced when considering individual-level changes in PM_{2.5}, compared to area-level PM_{2.5} levels, among Thai army personnel.

Keywords: particulate matter PM_{2.5}; blood pressure; retrospective cohort study

* Occupational medicine unit, Department of Family Medicine, Phramongkutklao Hospital

**Department of Preventive and Social Medicine, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University

Received: February 4, 2024; Revised: June 30, 2024; Accepted: August 31, 2024

ความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนและระดับความดันโลหิตในทหารประจำการ ประเทศไทย: การศึกษาตามรุ่นย้อนหลัง

ศรัณย์ ผู้บรรเจิดกุล, พ.บ., วท.ม.*

อภิสร ลออรรถพงศ์, พ.บ., วท.ม.*

ธนะภูมิ รัตนานพวงศ์, ประด.**

วิโรจน์ เจียมจรัสรังษี, พ.บ., ประด.**

บทคัดย่อ

ความเป็นมา: ปัจจุบันทั่วโลกกำลังเผชิญกับปัญหาที่เกิดจากฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับความดันโลหิต สำหรับประเทศไทยเริ่มมีการศึกษาแพร่หลายมากขึ้นแต่โดยมากยังเป็นการศึกษาชนิดภาคตัดขวางในขณะที่การศึกษาตามรุ่นย้อนหลังยังมีไม่มาก

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง (1) “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} พื้นฐาน” (2) “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงไป” และระดับความดันโลหิตในช่วงต่อมาในกำลังพลกองทัพบก ประเทศไทย

วิธีการศึกษา: วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ Multilevel mixed-effects models โดยมีกลุ่มตัวอย่างทั้งสิ้น 40,984 คน

ผลการศึกษา: เมื่อควบคุมลักษณะของประชากร พฤติกรรมสุขภาพ และลักษณะทางอุตุนิยมนิยาม “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} พื้นฐาน” ต่อ 1 ไมโครกรัม/เมตร³ พบเพียงแนวโน้มจะส่งผลกระทบต่อระดับความดันโลหิต อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจาก “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงไป” ต่อ 1 ไมโครกรัม/เมตร³ พบว่ามีความสัมพันธ์กับทั้งความดันซิสโตลิก (β 0.91 mmHg, 95% CI; 0.76, 1.06) ความดันไดแอสโตลิก (β 0.60 mmHg, 95% CI; 0.48, 0.71) และความดันเลือดแดงเฉลี่ย (β 0.70 mmHg, 95% CI; 0.59, 0.81)

สรุป: ผลกระทบต่อระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ต่อความดันโลหิต การเปลี่ยนแปลงระดับ PM_{2.5} ในระดับบุคคล มีแนวโน้มจะส่งผลกระทบต่อระดับความดันโลหิตมากกว่าฝุ่นละออง PM_{2.5} ในระดับพื้นที่ ในกำลังพลกองทัพบกประเทศไทย

คำสำคัญ : ฝุ่นละออง PM_{2.5}; ระดับความดันโลหิต; การศึกษาตามรุ่นย้อนหลัง

* หน่วยอาชีวเวชศาสตร์ กองตรวจโรคผู้ปวยนอกโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า

**ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ได้รับต้นฉบับ: 4 กุมภาพันธ์ 2567; แก้ไขบทความ: 30 มิถุนายน 2567; รับลงตีพิมพ์: 31 สิงหาคม 2567

บทนำ

ในปัจจุบันฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Particulate matter with diameter of less than 2.5 micron หรือ PM_{2.5}) จัดเป็นหนึ่งในปัญหาใหญ่ที่ทั่วโลกกำลังเผชิญ เนื่องจากมีหลักฐานทางวิทยาศาสตร์และงานวิจัยที่บ่งบอกถึงผลกระทบต่อภาวะสุขภาพเพิ่มมากขึ้น จนในปัจจุบันองค์การอนามัยโลก (World Health Organization หรือ WHO) มีความพยายามอย่างมากในการสร้างความตระหนักทางด้านสุขภาพ ทั้งในด้านการให้ข้อมูลแก่ประชาชนและการออกข้อกำหนดในเชิงนโยบาย⁽¹⁾ ส่งผลให้ในปัจจุบันหลายประเทศในทวีปยุโรปและอเมริกามีแนวโน้มฝุ่นละออง PM_{2.5} ลดลง ในทางตรงกันข้ามในแถบเอเชียระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} กลับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น⁽²⁾

จากข้อมูลขององค์การอนามัยโลก พบว่าฝุ่นละออง PM_{2.5} เพิ่มความเสี่ยงต่อการเป็นโรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิด เช่น ภาวะหัวใจขาดเลือด ภาวะเส้นเลือดในสมองตีบ ภาวะปอดอุดกั้นเรื้อรัง หอบหืด และมะเร็ง⁽¹⁾ ไม่เพียงเท่านั้นในปัจจุบันเริ่มมีการรายงานโรคอื่น ๆ เพิ่มมาเรื่อย ๆ ไม่ว่าจะเป็นผลกระทบต่อโรคเบาหวาน⁽³⁻⁴⁾ หรือแม้กระทั่งโรคความดันโลหิตสูง⁽⁵⁻⁸⁾ ซึ่งโรคความดันโลหิตสูงถูกจัดเป็นพหุฆาตเจียบโดย องค์การอนามัยโลก เนื่องจากเป็นปัจจัยเสี่ยงในการนำไปสู่โรคไม่ติดต่อเรื้อรังหลายชนิดและเป็นสาเหตุหลักในการนำไปสู่การตายก่อนวัยอันควรทั่วโลก ทั้งนี้แม้ว่าโรคนี้จะมีคามรุนแรงแต่พบว่าผู้ใหญ่กว่าร้อยละ 46 มีแนวโน้มว่าจะไม่ทราบว่าตนเองมีภาวะดังกล่าว ส่งผลให้เข้ารับการรักษาล่าช้าและในบางรายอาจเกิดภาวะแทรกซ้อนตั้งแต่ก่อนจะได้รับการวินิจฉัย⁽⁹⁾ จากข้อมูลของกองโรคไม่ติดต่อพบว่า

ปัจจุบันคนไทยเป็นโรคความดันโลหิตสูงถึง 14 ล้านคนและกว่า 7 ล้านคนไม่เข้ารับการรักษา⁽¹⁰⁾

ในปัจจุบันทั่วโลกมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM_{2.5} และความดันโลหิตสูงเป็นจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา⁽¹¹⁾ สเปน⁽⁵⁾ อังกฤษ⁽¹²⁾ ส่วนประเทศกำลังพัฒนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศในแถบเอเชียยังมีการศึกษาไม่มากนัก และการศึกษาส่วนมากกระจุกตัวอยู่ในพื้นที่ที่มีระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ในระดับสูง เช่น ประเทศจีนและอินเดีย^(8,13-15) สำหรับประเทศในกลุ่มอาเซียนซึ่งส่วนมากเป็นประเทศที่ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ไม่สูงมากนัก พบว่าการศึกษายังมีน้อย สำหรับประเทศไทยปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับฝุ่นละออง PM_{2.5} เพิ่มมากขึ้นแต่โดยมากยังเป็นการศึกษาชนิดภาคตัดขวาง เช่น การศึกษาของกัญรัฐชัย และคณะ⁽¹⁶⁾ ซึ่งเป็นการศึกษาในทหารบกเนื่องจากทหารบกมีบทบาทหน้าที่ในการป้องกันประเทศ ทำให้ต้องมีการฝึกภาคสนามเพื่อเตรียมพร้อมในการรบและปฏิบัติในพื้นที่กลางแจ้ง เช่น การอยู่เวรยาม การออกกำลังกาย การฝึกซ้อมการปฏิบัติในสนามรบ จึงมีโอกาสสัมผัสฝุ่นละออง PM_{2.5} มากกว่าคนทั่วไป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนและระดับความดันโลหิตในกำลังพลทหารบกประเทศไทยโดยเป็นการศึกษาตามรุ่นเพื่อต่อยอดช่องว่างงานวิจัยของกัญรัฐชัย และคณะ⁽¹⁶⁾ นำไปสู่การป้องกันและพัฒนาการเฝ้าระวังสุขภาพของกำลังพลกองทัพบก และประชาชนต่อไป

วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรเชิงพื้นที่ (Spatial variation) ของการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน ปี พ.ศ. 2558-2560 และระดับความดันโลหิตในช่วงต่อมาระหว่างปี พ.ศ. 2561-2564 ในกำลังพลทหารบก ประเทศไทย

(2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความผันแปรเชิงเวลา (Temporal variation) ของการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนตั้งแต่ปี 2558 จนถึงปี 2563 และระดับความดันโลหิตในช่วงต่อมาระหว่างปี พ.ศ. 2561-2564 ในกำลังพลทหารบก ประเทศไทย

วิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาตามรุ่นย้อนหลัง (retrospective cohort study) โดยใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากข้อมูลตรวจสุขภาพประจำปี กรมแพทย์ทหารบก

ประชากร คือกำลังพลทหารประจำการสังกัดกองทัพบกทั่วประเทศ โดยมีเกณฑ์การคัดเข้ากลุ่มตัวอย่างได้แก่ (ก) เป็นกำลังพลทหาร สังกัดกองทัพบก ที่มาตรวจสุขภาพประจำปีทั่วประเทศ และ (ข) ต้องได้รับการตรวจสุขภาพอย่างน้อย 2 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2561-2564 และเกณฑ์การคัดออกได้แก่ (ก) มีโรคประจำตัวที่อาจส่งผลให้เกิดโรคความดันโลหิตสูงชนิดทุติยภูมิได้ คือ โรคหลอดเลือด ไต โรคระบบต่อมหมวกไต โรคไทรอยด์เป็นพิษ ภาวะไตล้มเหลว โรคคุชชิง ภาวะหยุดหายใจขณะหลับจากการอุดกั้น โดยผู้วิจัยจะพิจารณาจากฐานข้อมูลผลการตรวจสุขภาพ

และ (ข) ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคความดันโลหิตสูงตั้งแต่การตรวจสุขภาพปีแรกระหว่างปี พ.ศ. 2561-2564 (ค) มีตำแหน่งในระดับนายพลขึ้นไป เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ทำงานในระดับบริหารเป็นหลัก งานส่วนใหญ่จึงเป็นงานในที่ตั้ง และมักไม่มีการฝึกภาคสนามและ (ง) มีการเคลื่อนย้ายสถานที่ทำงานระหว่างติดตาม ซึ่งเมื่อรวมปัจจัยด้านการขาดข้อมูลด้านสถานที่ปฏิบัติงาน และข้อมูลฝุ่นในบางจุด รวมจำนวนกลุ่มตัวอย่าง 40,984 คน ประจําการอยู่ในหน่วยทหารจำนวน 461 หน่วย ทั่วประเทศ ซึ่งมีจำนวนเพียงพอตามสูตรการคำนวณขนาดตัวอย่างของสูตรการหาขนาดตัวอย่างสำหรับการทดสอบสมมติฐานเปรียบเทียบอัตราการเกิดสองอัตราในการศึกษาชนิดติดตาม⁽¹⁷⁾ โดยกำหนดให้ค่าความผิดพลาดชนิดที่ 1 (Type I error) เท่ากับ 0.05 ค่าอำนาจทดสอบทางสถิติ (statistical power) เท่ากับร้อยละ 80 ค่า follow-up time เท่ากับ 3 ปีและค่า incidence rates ของโรคความดันโลหิตสูงเท่ากับ 47.8 และ 33.3 ต่อประชากร 1,000 คน⁽¹⁴⁾ ในควอไทล์ที่ 1 และ 4 ตามลำดับ โดยต้องมีกลุ่มตัวอย่างอย่างน้อย 5,500 คนสำหรับการศึกษาครั้งนี้

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลในการวิจัยนี้ ประกอบด้วย (ก) ข้อมูลการสัมผัสฝุ่นละออง PM_{2.5} หรือตัวแปรต้น (ข) ข้อมูลระดับความดันโลหิต หรือตัวแปรตาม และ (ค) ข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่อาจเป็นตัวกวนหรือตัวแปรร่วม

(1) ข้อมูลการสัมผัสฝุ่นละออง PM_{2.5} ในการศึกษาแบ่งการประเมินฝุ่นละออง PM_{2.5}

ออกเป็น 2 วิธี (1) “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} พื้นฐาน” โดยใช้ค่าเฉลี่ยฝุ่นละออง PM_{2.5} 3 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2558 - พ.ศ.2560 ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของความผันแปรของปริมาณการสัมผัสฝุ่นเชิงพื้นที่ หรือ Spatial variation (2) “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงไป” โดยใช้ค่าเฉลี่ยฝุ่นละออง PM_{2.5} 3 ปี หลังจากติดตามไปแต่ละปีด้วยระดับฝุ่นละอองพื้นฐาน ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของความผันแปรของปริมาณการสัมผัสฝุ่นเชิงเวลาหรือ Temporal variation หรือเป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงการรับสัมผัสระดับ PM_{2.5} ในระดับบุคคลในช่วงปี พ.ศ. 2561 ถึง 2564 โดยใช้ข้อมูลความถี่เชิงแสงของฝุ่นละอองจากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (Geo-Informatics and Space Technology Development Agency หรือ Gistda)⁽¹⁸⁾ นำมาหาค่าเฉลี่ยฝุ่นละออง PM_{2.5} ในระดับตำบล

(2) ข้อมูลระดับความดันโลหิต ผลกระทบสุขภาพที่เป็นจุดสนใจของการศึกษานี้ ประกอบด้วย ความดันซิสโตลิก (Systolic blood pressure, SP) ความดันไดแอสโตลิก (Diastolic blood pressure, DP) และความดันเลือดแดงเฉลี่ย (Mean arterial pressure, MAP) โดยนำข้อมูลมาจากข้อมูลผลการตรวจร่างกายประจำปีของกำลังพลกองทัพบก ปีงบประมาณ 2561 ถึง ปีงบประมาณ 2564 ของกรมแพทย์ทหารบก และ ความดันเลือดแดงเฉลี่ยคำนวณจากสูตร⁽¹⁹⁾ $MAP = DP + 1/3(SP - DP)$ or $MAP = DP + 1/3(PP)$

(3) ข้อมูลตัวกวน ปัจจัยที่อาจเป็นตัวกวนในการศึกษานี้ จำแนกเป็น 2 ระดับ คือ ตัวแปรระดับบุคคล ได้แก่ อายุ เพศ ดัชนีมวล

กาย ประวัติการสูบบุหรี่ ประวัติการดื่มแอลกอฮอล์ และประวัติการออกกำลังกาย (มีกิจกรรมทางกายมากกว่า 150 นาทีต่อสัปดาห์) โรคประจำตัว เบาหวาน (ระดับน้ำตาลในเลือดก่อนอาหารมากกว่าหรือเท่ากับ 126 มิลลิกรัม/เดซิลิตร หรือได้รับการวินิจฉัยโดยแพทย์) ภาวะไขมันในเลือดสูง (ความผิดปกติของ lipoprotein metabolism โดยประเมินจากระดับ Cholesterol และ Triglyceride) โดยนำข้อมูลมาจากแหล่งเดียวกับข้อมูลความดันโลหิตในข้อ (ข) และ **ตัวแปรระดับตำบล** (หน่วยทหาร) ได้แก่ ข้อมูลคุณภาพอากาศรายปี ประกอบด้วย ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลมและอุณหภูมิเฉลี่ยของปี พ.ศ. 2558 ถึงปี พ.ศ. 2560 นำมาจาก กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และข้อมูลผลิตภัณฑ์ภาคและจังหวัดแบบปริมาณนำมาจากเว็บไซต์ของสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ

การศึกษานี้ เริ่มติดตามข้อมูลความดันโลหิตของกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2560 และสิ้นสุดการติดตามเมื่อ วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2564

วิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง การสัมผัสฝุ่นละออง PM_{2.5} และระดับความดันโลหิต ในวัตถุประสงค์ข้อ (ก) ตัวแปรต้นคือ ปริมาณฝุ่นละออง PM_{2.5} รายตำบลระหว่างปี พ.ศ. 2558-2560 และตัวแปรตาม คือ ระดับความดันโลหิต ช่วงต่อมาระหว่างปี พ.ศ. 2561-2564 ส่วนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในวัตถุประสงค์ข้อ (ข)

ตัวแปรต้น คือ ค่าเฉลี่ยปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างปี พ.ศ. 2558-2563 และตัวแปรตาม คือ ระดับความดันโลหิตในช่วงต่อมาระหว่างปี พ.ศ. 2561-2564 โดยมีช่วงเวลาระหว่างสองเหตุการณ์ (lag time) เท่ากับ 1 ปี

ข้อมูลลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างนำเสนอโดยใช้จำนวนร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และระดับความดันโลหิตวิเคราะห์โดยใช้ Multilevel mixed-effects models โดยที่ตัวแปรระดับที่ 1 คือ ผลการตรวจสุขภาพ (ระดับความดันโลหิต) ประจำปีในช่วงพ.ศ.2561-2564 ตัวแปรระดับที่ 2 คือ ข้อมูลประชากร ข้อมูลสุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพของกลุ่มตัวอย่างแต่ละราย และตัวแปรระดับที่ 3 คือ ตัวแปรระดับจังหวัด อันประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยรายปีของปริมาณฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และมลพิษอากาศอื่น ๆ รวมทั้งข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา และระดับเศรษฐกิจของจังหวัด โดยกำหนดตัวแปรที่จะเข้าร่วมในสมการต้องมีค่า collinearity ไม่เกินร้อยละ 70⁽²⁰⁾ และมี 5 สมการ ประกอบด้วย **สมการที่ 1** มีตัวแปรต้นและตัวแปรตามอยู่ในสมการเท่านั้น **สมการที่ 2** เพิ่มตัวแปรร่วมระดับบุคคลเข้าในสมการที่ 1 **สมการที่ 3** เพิ่มตัวแปรคุณภาพอากาศรายปีเข้าในสมการที่ 2 โดยที่สมการที่ 1 ถึง 3 มีการแยกวิเคราะห์ระหว่างตัวแปรต้น 2 ตัวแปร (คือ “ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ พื้นฐาน” และ “ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงไป”) และ **สมการที่ 4** รวมตัวแปรต้นทั้ง 2 ตัวแปรพร้อมกันเข้าในสมการที่ 3 โดยทำการวิเคราะห์แยกกระหว่างตัวแปร

ตามแต่ละตัวแปร (อันได้แก่ ความดันซิสโตลิก ความดันไดแอสโตลิก และ ความดันเลือดแดงเฉลี่ย) และการกำหนดสมการอ้างอิงตามผลการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับปัจจัยที่อาจเป็นตัวแปรกวนในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์นี้^(3,5,16,21) ร่วมกับการเอื้ออำนวยของข้อมูลที่มีอยู่ในประเทศไทยการวิเคราะห์ทั้งหมดใช้โปรแกรม STATA version 16.0 (StataCorp. 2019. Stata Statistical Software: Release 16. College Station, TX: StataCorp LLC.)

การพิทักษ์สิทธิและจริยธรรมการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจาก คณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์วิทยาลัย เลขที่ IRB 0888/65 และคณะกรรมการพิจารณาโครงการวิจัย กรมแพทยทหารบก เลขที่ IRBRTA 0516/2566

ผลการวิจัย

ข้อมูลทั่วไป กลุ่มตัวอย่างในการศึกษาทั้งสิ้น 40,984 คน ร้อยละ 88.86 เป็นเพศชาย มีอายุเฉลี่ยอยู่ที่ 37.09 ปี ดัชนีมวลกายเฉลี่ย 24.22 กิโลเมตร/เมตร² กำลังพลส่วนมากปัจจุบันไม่ได้สูบบุหรี่ (ร้อยละ 69.24) ปัจจุบันยังดื่มแอลกอฮอล์ (ร้อยละ 62.71) และออกกำลังกายเพียงพอ (ร้อยละ 58.02) ค่าความดันซิสโตลิกเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) 121.16 (11.27) มิลลิเมตรปรอท และค่าความดันไดแอสโตลิกเฉลี่ย 73.71 (8.52) มิลลิเมตรปรอท ดังที่แสดงในตาราง 1

ตาราง 1 ข้อมูลทั่วไป (n = 40,984)

ข้อมูลทั่วไป	จำนวน	ร้อยละ
กลุ่มอายุ		
วัยทำงานตอนต้น (อายุ 18 - 29 ปี)	12,991	31.70
วัยทำงานตอนกลาง (อายุ 30 - 44 ปี)	16,666	40.66
วัยทำงานตอนปลาย (อายุ 45 - 60 ปี)	11,327	27.64
ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	37.09 (10.96)	
เพศ		
ชาย	36,420	88.86
หญิง	4,564	11.14
ดัชนีมวลกาย		
ไม่มีภาวะอ้วน	26,234	64.01
มีภาวะอ้วน	14,750	35.99
ค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	24.22 (3.54)	
ความดันโลหิต		
ค่าเฉลี่ยความดันซิสโตลิก, มม.ปรอท (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	121.16 (11.27)	
ค่าเฉลี่ยความดันไดแอสโตลิก, มม.ปรอท (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)	73.71 (8.52)	
การสูบบุหรี่		
ผู้ที่ไม่สูบบุหรี่ในปัจจุบัน	28,380	69.24
ผู้ที่สูบบุหรี่ในปัจจุบัน	11,774	28.73
ไม่ระบุ	830	2.03
การดื่มแอลกอฮอล์		
ผู้ที่ไม่ดื่มแอลกอฮอล์ในปัจจุบัน	14,473	35.31
ผู้ที่ดื่มแอลกอฮอล์ในปัจจุบัน	25,703	62.71
ไม่ระบุ	808	1.97
การออกกำลังกาย		
ออกกำลังกายไม่เพียงพอ	15,583	38.02
ออกกำลังกายเพียงพอ	23,780	58.02
ไม่ระบุ		
โรคประจำตัว		
โรคเบาหวาน	1,621	3.96
เป็น	2,917	7.12
ไม่เป็น	38,067	92.88
ภาวะไขมันในเลือดสูง		
เป็น	15,364	37.49
ไม่เป็น	25,620	62.51

ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ค่าเฉลี่ย “ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ พื้นฐาน” (ตั้งแต่ปี พ.ศ.2558 - พ.ศ.2560) มีพิสัยตั้งแต่ 14.64 ถึง 25.15 ไมโครกรัม/เมตร³ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 20.79 ไมโครกรัม/เมตร³ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.73 ไมโครกรัม/เมตร³ สำหรับค่าเฉลี่ย “ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงไป” มีพิสัยตั้งแต่ -3.80 ถึง 4.59 ไมโครกรัม/เมตร³ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ -0.49 ไมโครกรัม/เมตร³ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.88 ไมโครกรัม/เมตร³

ความสัมพันธ์ระหว่าง “ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ พื้นฐาน” เมื่อควบคุมปัจจัยอื่น ๆ กับระดับความดันโลหิต พบว่า “ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ พื้นฐาน” พบเพียงแนวโน้มที่จะเพิ่มระดับความดันโลหิตเมื่อพิจารณาจากสมการที่ 4 โดยพบผลต่อความดันซิสโตลิก (β 0.07 mmHg, 95% CI; -0.09, 0.25) ความดันไดแอสโตลิก (β 0.01 mmHg, 95% CI; -0.13, 0.16) และความดันเลือดแดงเฉลี่ย (β 0.02 mmHg, 95% CI; -0.10, 0.16) ดังที่แสดงในตาราง 2

ความสัมพันธ์ระหว่าง “ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงไป” เมื่อควบคุมปัจจัยอื่นๆ กับระดับความดันโลหิต เมื่อพิจารณาในสมการที่ 4 พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ความดันซิสโตลิก (β 0.91 mmHg, 95% CI; 0.76, 1.06) ความดันไดแอสโตลิก (β 0.60 mmHg, 95% CI; 0.48, 0.71) และความดันเลือดแดงเฉลี่ย (β 0.70 mmHg, 95% CI; 0.59, 0.81) ดังที่แสดงในตาราง 2 ทั้งนี้เมื่อพิจารณาแบ่งกลุ่ม “ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่เปลี่ยนแปลงไป” ออกเป็น 5 กลุ่มโดยใช้กลุ่มที่มีระดับการเปลี่ยนแปลง -0.5 ถึง 0.5 ไมโครกรัม/เมตร³ เป็นค่าอ้างอิง เราพบความสัมพันธ์กันในลักษณะของ dose-response pattern จากตัวแปรความดันโลหิตทั้ง 3 ตัวแปร (แผนภาพ 1)

จำแนกตามกลุ่มประชากร โดยดูผลกระทบจาก “ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ พื้นฐาน” โดยพิจารณาจากสมการที่ 4 พบว่าเพศหญิงจัดเป็นปัจจัยป้องกันที่สามารถลดระดับความดันโลหิตซิสโตลิกได้ (β -0.33 mmHg, 95% CI; -0.67, -0.00) ดังที่แสดงในแผนภาพ 2 สำหรับการจำแนกกลุ่มประชากรอื่น ๆ และระดับความดันอื่น ๆ ยังไม่พบหลักฐานที่จะสรุปถึงความสัมพันธ์ได้ (ไม่ได้แสดง)

ตาราง 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} พื้นฐาน” “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงไป” และความดันโลหิต

กลุ่ม	สมการที่ 1		สมการที่ 2		สมการที่ 3		สมการที่ 4	
	β	95% CI	β	95% CI	β	95% CI	β	95% CI
ศึกษาผลกระทบเชิงพื้นที่โดยใช้ “ระดับฝุ่นละออง PM _{2.5} พื้นฐาน” ต่อ 1 ไมโครกรัม/เมตร ³								
ความดันซิสโตลิก [†]	0.05	-0.03, 0.15	0.05	-0.03, 0.14	0.06	-0.04, 0.17	0.07	-0.09, 0.25
ความดันไดแอสโตลิก [†]	0.07	-0.01, 0.15	0.01	-0.06, 0.09	0.01	-0.07, 0.11	0.01	-0.13, 0.16
ความดันเลือดแดงเฉลี่ย [†]	0.06	-0.01, 0.13	0.02	-0.04, 0.09	0.02	-0.05, 0.11	0.02	-0.10, 0.16
ศึกษาผลกระทบเชิงแต่ละบุคคลโดยใช้ “ระดับฝุ่นละออง PM _{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงไป” ต่อ 1 ไมโครกรัม/เมตร ³								
ความดันซิสโตลิก [†]	0.90*	0.75, 1.05	0.91*	0.76, 1.06	0.91*	0.76, 1.06	0.91*	0.76, 1.06
ความดันไดแอสโตลิก [†]	0.60*	0.48, 0.71	0.60*	0.48, 0.71	0.60*	0.48, 0.71	0.60*	0.48, 0.71
ความดันเลือดแดงเฉลี่ย [†]	0.70*	0.58, 0.81	0.70*	0.59, 0.81	0.70*	0.59, 0.81	0.70*	0.59, 0.81

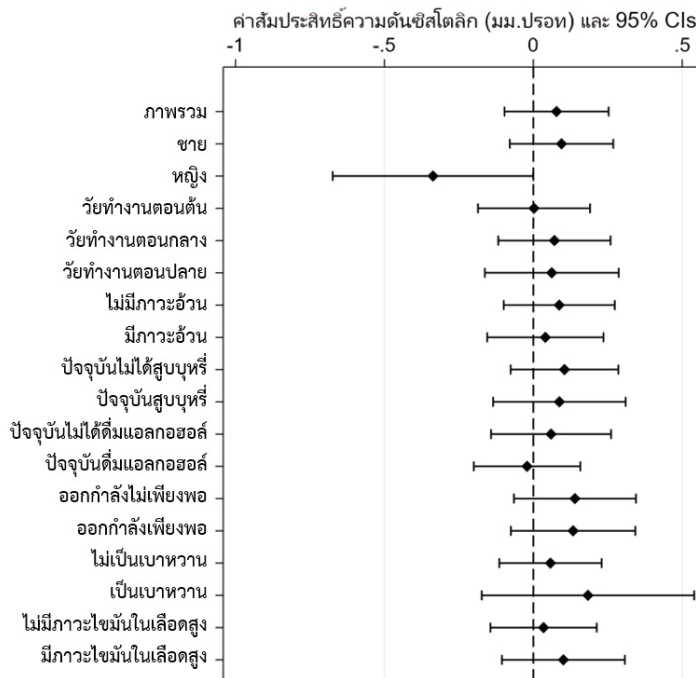
หมายเหตุ: [†]หน่วย มม.ปรอท; CI=Confidence interval; สมการที่ 1: ไม่มีการควบคุมปัจจัยอื่น;

สมการที่ 2: ควบคุมปัจจัย อายุ เพศ ดัชนีมวลกาย การสูบบุหรี่ การดื่มแอลกอฮอล์ กิจกรรมทางกาย โรคเบาหวาน ภาวะไขมันในเลือดสูง เพิ่มจากสมการที่ 1;

สมการที่ 3: เพิ่มปัจจัยควบคุมคือ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน เพิ่มจากสมการที่ 2;

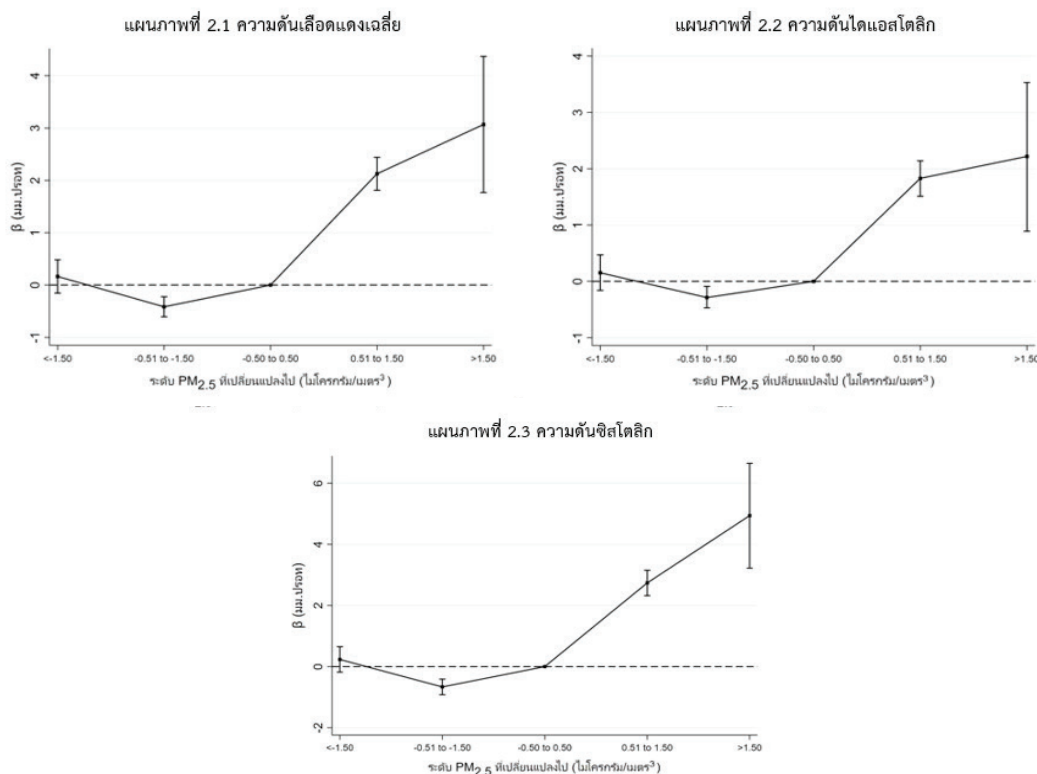
สมการที่ 4 รวมตัวแปรต้นทั้ง 2 ตัวแปรพร้อมกันเข้าไปในสมการที่ 3; * p < .05

แผนภาพ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงไป” กับระดับความดันโลหิต โดยพิจารณาใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -0.5 ถึง 0.5 ไมครอน เป็นค่าอ้างอิง สัญลักษณ์สี่เหลี่ยมแสดงถึงค่า β และพิสัย บน-ล่าง แสดงถึง 95% confidence interval วิเคราะห์โดยใช้การควบคุมตัวแปรตามสมการที่ 4



แผนภาพ 2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} พื้นฐาน”

และระดับความดันโลหิตรายกลุ่ม วิเคราะห์โดยใช้การควบคุมตัวแปรตามสมการที่ 4



วิจารณ์

จากการศึกษานี้พบว่า “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} พื้นฐาน” มีเพียงแนวโน้มจะส่งผลต่อระดับความดันโลหิตอย่างไม่เป็นนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาอื่น ๆ^(6,15-16) ซึ่งอาจเกิดจากข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลทุติยภูมิทำให้ตัวแปรควบคุมบางตัวไม่ได้ถูกนำเข้ามาในสมการ เช่น การรับประทานอาหารรสเค็ม (ปริมาณเกลือในอาหารที่รับประทานเฉลี่ยในแต่ละวัน) ความเครียด ความโกรธ ความกังวล ระดับการศึกษา ไม่เพียงเท่านั้นจากการศึกษาของ Song และคณะ⁽¹⁵⁾ พบว่า กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันโลหิตและฝุ่นละออง PM_{2.5} มีความชันสูงมากขึ้นเมื่อระดับฝุ่นละอองสูงกว่า

50 ไมโครกรัม/เมตร³ ซึ่งในการศึกษานี้พิสัยของฝุ่นละออง PM_{2.5} อยู่ที่ 14.64 ถึง 25.15 ไมโครกรัม/เมตร³ ผลจากการที่ค่าเฉลี่ยฝุ่นละออง PM_{2.5} ในประเทศไทยไม่สูงมากนักอาจทำให้ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง PM_{2.5} และความดันโลหิตไม่ชัดเจน

เมื่อเพิ่มตัวแปร “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงไป” ไปเป็นตัวแปรควบคุมตามสมการที่ 4 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} พื้นฐาน” และความดันโลหิตยังคงคล้ายเดิม แต่เมื่อเราพิจารณาไปที่ผลกระทบระหว่าง “ระดับฝุ่นละออง PM_{2.5} ที่เปลี่ยนแปลงไป” และความดันโลหิต เราพบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในลักษณะ J shape

ซึ่งพบว่าหากสามารถลดระดับ $PM_{2.5}$ ที่สัมผัสได้ ความดันโลหิตมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับการ มีการสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ความดันโลหิตมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งเหตุผลอาจเกิด จากผลกระทบของระดับ $PM_{2.5}$ ต่อความดันโลหิต อาจมีผลในระยะเวลาที่สั้นกว่าการเปรียบเทียบกับค่าพื้นฐานก่อนการศึกษา ทั้งนี้การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และความดันโลหิต ในระยะยาว เปรียบเทียบในลักษณะ lag-year ยังมีไม่มาก อย่างไรก็ตามมีการศึกษาของ Zhou และ คณะ⁽⁷⁾ ซึ่งศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในระยะยาวกับอุบัติการณ์ของโรคความดันโลหิตสูงในรูปแบบ Lag year พบว่าที่ Lag-year ที่ 1 ปี มีผลต่ออุบัติการณ์ในการเกิดโรคความดันโลหิตสูงมากที่สุด แต่ค่อย ๆ ลดลงเมื่อใช้ค่าเฉลี่ยหลายปีมากขึ้นจนไม่มีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อใช้ค่าเฉลี่ย Lag-year 1-7 ปี อย่างไรก็ตาม จำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

การวิเคราะห์ในระดับบุคคลโดยใช้ การควบคุมตัวแปรตามสมการที่ 4 พบว่าในกลุ่มเพศหญิงความสัมพันธ์ระหว่าง”ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ พื้นฐาน”และความดันซิสโตลิก พบเป็นเชิงลบ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Song และคณะ⁽¹⁵⁾ ทั้งนี้ในหลาย ๆ การศึกษาพบว่า ผลกระทบต่อ”ระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ พื้นฐาน”กับระดับความดันโลหิตในเพศหญิงมีผลน้อยกว่าหรือไม่เลยเมื่อเทียบกับเพศชาย⁽¹⁵⁻¹⁶⁾ ซึ่งจากการศึกษาของ Everett และคณะ⁽²²⁾ พบว่าเมื่อเทียบกันในระยะยาวแล้วผู้หญิงมีโอกาสเกิดโรคความดันโลหิตสูงน้อยกว่าเพศชาย นอกจากนี้เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างในการศึกษานี้

เป็นทหารประจำการ ซึ่งการทำงานของทหารหญิงมักจะถูกตัวอยู่ในส่วนกลางโดยเฉพาะอย่างยิ่ง กรุงเทพฯและปริมณฑล⁽²³⁾ ส่วนใหญ่ปฏิบัติหน้าที่ ส่วนงานธุรการและงานบริการทางการแพทย์⁽²⁴⁾ ซึ่งเป็นการทำงานในที่ที่ปิดและมีระบบจัดการอากาศที่ดีทำให้มีการสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ น้อยกว่าเพศชายที่ทำงานกลางแจ้งเป็นหลัก

การศึกษานี้เป็นการศึกษาผลกระทบของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และความดันโลหิตในลักษณะศึกษาตามรุ่น (Cohort study) ครั้งแรกในประเทศไทย การศึกษานี้มีจุดแข็งคือปริมาณกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเกิดจากการได้รับความร่วมมือกับสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ส่งผลให้สามารถลงลึกข้อมูลฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ได้ถึงค่าเฉลี่ยระดับตำบล อย่างไรก็ตามการศึกษานี้มีข้อจำกัดคือ (ก)การรับสัมผัสตัวแปรควบคุมในระดับพื้นที่อาจไม่ใช่สิ่งที่กำลังพลแต่ละคนสัมผัสจริงเนื่องจากข้อมูลฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ เป็นค่าเฉลี่ยในระดับตำบล ค่าความเร็วลม ปริมาณน้ำฝน ความชื้นสัมพัทธ์เป็นค่าเฉลี่ยในระดับจังหวัด (ข) ประชากรกลุ่มที่ใช้ศึกษาเป็นทหารประจำการซึ่งสถานที่ปฏิบัติงานบางครั้งอาจเป็นความลับส่งผลให้ไม่สามารถหาสถานที่ทำงานมาใช้ในการเทียบกับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ได้ (ค) การคัดผู้ที่ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคความดันโลหิตสูงออกจากการศึกษาอาจส่งผลต่อการเลือกประชากรได้ อย่างไรก็ตาม การคัดออกตามเกณฑ์นี้ดำเนินการโดยคณะผู้วิจัยมิได้ทราบหรือคำนึงถึงปริมาณการสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ของบุคคลเหล่านี้ ซึ่งจำนวนเพียง 25,776 คน จึงมีโอกาสน้อยที่จะเกิดอคติต่อการเลือกประชากร

ทั้งยังเป็นประโยชน์ในการควบคุมตัวแปรจาก การที่ระดับการเปลี่ยนแปลงความดันโลหิตของบุคคลเหล่านี้อาจมิได้เป็นผลจากการสัมผัสฝุ่น $PM_{2.5}$ แต่เป็นผลจากการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมสุขภาพและ/หรือได้รับยาลดความดันโลหิตหลังจากได้รับการวินิจฉัยโรคและ (ง) ในการศึกษาที่ใช้สถานที่ทำงานในการเทียบกับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ส่งผลให้เวลาที่สัมผัสจริงอาจมีเพียงร้อยละ 33 ของการสัมผัสในแต่ละวัน⁽²⁵⁾ นอกจากนี้ลักษณะงานระยะเวลาที่ปฏิบัติงานในที่แจ้ง และตัวกวนอื่น เช่น การใส่อุปกรณ์ป้องกันที่แตกต่างกันในแต่ละบุคคล อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการประเมิน “การสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ” ของกำลังพลแต่ละบุคคลมาอย่างใดก็ตามความคลาดเคลื่อนนี้มีแนวโน้มที่จะเป็นแบบสุ่มหรือเท่าเทียมกัน (random or non-differential exposure misclassification) ซึ่งมักจะส่งผลให้ผลการศึกษาพบความสัมพันธ์ได้ยากขึ้น (bias toward null) เป็นสำคัญสำหรับข้อเสนอแนะในอนาคต อาจพิจารณาทำการศึกษาตามรุ่นตามแผน (prospective cohort study) เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลตัวแปรควบคุมได้ครบสมบูรณ์มากขึ้น

สรุป

การศึกษาความสัมพันธ์ของการสัมผัสฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในระยะยาวกับความดันโลหิตเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยเชิงพื้นที่พบความเป็นไปได้ในเชิงบวกที่อาจก่อให้เกิดความดันโลหิตสูงขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางตรงกันข้ามเมื่อเปรียบเทียบกับปัจจัยในเชิงแต่ละบุคคลพบว่ามีความสัมพันธ์กับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษานี้ช่วยในการบ่งบอกถึงความสำคัญในการลดการปล่อยฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ออกสู่ธรรมชาติและพัฒนากลยุทธ์สำหรับการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศได้ในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการศึกษานี้เป็นการศึกษาแบบตามรุ่นย้อนหลัง (Retrospective cohort study) ซึ่งเป็นการใช้ข้อมูลทุติยภูมิ ทำให้เกิดข้อจำกัดในตัวแปรควบคุมในสมการ การศึกษาในอนาคตจึงอาจมีการพัฒนาการศึกษาเป็นการศึกษาไปข้างหน้า (Prospective cohort study) ซึ่งจะช่วยในการจัดเก็บข้อมูลทั้ง ลักษณะงานระยะเวลาที่ปฏิบัติงานในที่แจ้ง การบริโภคอาหารเค็ม และความรู้สึกในเชิงอารมณ์

2. แนะนำให้มีการปรับแก้ไขแบบสอบถามการตรวจสุขภาพประจำปี อาจพิจารณาเพิ่มหัวข้อลักษณะงานที่ทำ เพื่อให้สามารถพิจารณาปัจจัยเสี่ยงในการทำงานได้ดียิ่งขึ้น เช่น งานการฝึกงานส่งกำลังบำรุง งานขับรถ หรืองานเอกสาร ซึ่งจะช่วยในการคัดเลือกบุคคลเข้าสู่การศึกษาได้ดีมากยิ่งขึ้นเนื่องจากแม้ทหารบางรายจะมีชั้นยศที่ไม่สูงมากแต่อาจทำงานอยู่ในสำนักงานเป็นหลักทำให้ผลการศึกษาที่ได้ อาจมีการคลาดเคลื่อน

3. แนะนำให้มีการแยกศึกษาเพิ่มเติมในพื้นที่ที่มีปัญหาฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ สูง ภายในประเทศ เช่นทางภาคเหนือของประเทศไทย เพื่อให้ผลที่ได้ นำมาปรับใช้กับประชากรที่ได้รับผลกระทบต่อฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ได้มากขึ้น

4. แนะนำให้มีการแยกการวิเคราะห์ผลกระทบของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ตามภูมิภาคโดย

อิงจากกรมอุตุนิยมวิทยา เนื่องจากสาเหตุในการเกิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในแต่ละภูมิภาคมีความแตกต่างกัน เช่น ภาคเหนือเป็นการเผาไหม้จากการเผาป่า ภาคกลางเป็นการเผาไหม้จากโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อพิจารณาว่าผลกระทบของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ที่มีจุดกำเนิดต่างกันส่งผลกระทบต่อต่างกันหรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมแพทยทหารบกและสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ ที่อำนวยความสะดวกในการให้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ในการเขียนบทความครั้งนี้ และผู้วิจัยชื่อที่ 1 ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนการศึกษา ฝ่ายบัณฑิตศึกษา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization. Ambient (outdoor) air pollution 2022. [Internet]. [cited 2023 June 4] Available 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).
2. Southerland VA, Brauer M, Moheg A, Hammer MS, Van Donkelaar A, Martin RV, et al. Global urban temporal trends in fine particulate matter ($PM_{2.5}$) and attributable health burdens: estimates from global datasets. Lancet Planet Health 2022;6(2):e139-e46.
3. Ye Z, Li X, Han Y, Wu Y, Fang Y. Association of long-term exposure to $PM_{2.5}$ with hypertension and diabetes among the middle-aged and elderly people in Chinese mainland: a spatial study. BMC Public Health 2022;22(1):569.
4. Lee M, Ohde S. $PM_{2.5}$ and diabetes in the Japanese population. Int J Environ Res Public Health 2021;18(12):6653.
5. Doulatram-Gamgaram V, Valdés S, Maldonado-Araque C, Lago-Sampedro A, Badía-Guillén R, García-Escobar E, et al. Association between long term exposure to particulate matter and incident hypertension in Spain. Scientific reports 2021;11(1):1-8.
6. Lin H, Guo Y, Zheng Y, Di Q, Liu T, Xiao J, et al. Long-term effects of ambient $PM_{2.5}$ on hypertension and blood pressure and attributable risk among older Chinese adults. Hypertension 2017;69(5):806-12.
7. Wensu Z, Wen C, Fenfen Z, Wenjuan W, Li L. The association between long-term exposure to particulate matter and incidence of hypertension among Chinese elderly: aretrospective cohort study. F Front Cardiovasc Med 2021;8:784800.

8. Prabhakaran D, Mandal S, Krishna B, Magsumbol M, Singh K, Tandon N, et al. Exposure to particulate matter is associated with elevated blood pressure and incident hypertension in urban India. *Hypertension* 2020;76(4):1289-98.
9. World Health Organization. Hypertension 2021. [Internet]. [cited 2023 Jun6]. Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/hypertension>.
10. กรมควบคุมโรค. ควบคุมความดันโลหิตยืดยาวให้ยืนยาว [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 6 มิ.ย.2566]. เข้าถึงได้จาก: <http://www.thaincd.com/2016/media-detail.php?id=14537&gid=1-015-009>.
11. Coogan PF, White LF, Yu J, Burnett RT, Seto E, Brook RD, et al. PM_{2.5} and diabetes and hypertension incidence in the Black Women's Health Study. *Epidemiology* 2016;27(2):202-10.
12. Karamanos A, Lu Y, Mudway I, Ayis S, Kelly F, Beevers S, et al. Associations between air pollutants and blood pressure in an ethnically diverse cohort of adolescents in London, England. *PLoS One* 2023;18(2):e0279719.
13. Curto A, Wellenius GA, Milà C, Sanchez M, Ranzani O, Marshall JD, et al. Ambient particulate air pollution and blood pressure in peri-urban India. *Epidemiology* 2019;30(4):492-500.
14. Huang K, Yang X, Liang F, Li J, Xiao Q, Chen J, et al. Long-term exposure to fine particulate matter and hypertension incidence in China the China. *Hypertension* 2019;73(6):1195-201.
15. Song J, Gao Y, Hu S, Medda E, Tang G, Zhang D, et al. Association of long-term exposure to PM_{2.5} with hypertension prevalence and blood pressure in China: a cross-sectional study. *BMJ open* 2021;11(12):e050159.
16. กัญธรรักษ์ จันรุ่งเรือง, ธนะภูมิ รัตนานพวงศ์, วิโรจน์ เจริญจรัสศรี. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอนรายปีกับระดับความดันโลหิตและโรคความดันโลหิตสูงในกำลังพล กองทัพอากาศไทย: การศึกษาภาคตัดขวาง. *วารสารแพทยนาวิ* 2566;50(2):346-59.
17. Lwanga SK, Lemeshow S. Sample size determination in health studies: a practical manual. Geneva: World Health Organization; 1991.
18. สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน). ฝุ่นละออง PM_{2.5} [อินเทอร์เน็ต]. 2566 [เข้าถึงเมื่อ 6 มิ.ย. 2566]. เข้าถึงได้จาก: https://www.gistda.or.th/more_news.php?c_id=591&lang=TH

19. DeMers D, Wachs D. Physiology, mean arterial pressure. Treasure Island (FL): Stat Pearls Publishing; 2024.
20. Leiby BD, Ahner DK. Multicollinearity applied stepwise stochastic imputation: a large dataset imputation through correlation-based regression. J. Big Data 2023;10(1):1-20.
21. Chen H, Burnett RT, Kwong JC, Villeneuve PJ, Goldberg MS, Brook RD, et al. Spatial association between ambient fine particulate matter and incident hypertension. Circulation 2014;129(5):562-9.
22. Everett B, Zajacova A. Gender differences in hypertension and hypertension awareness among young adults. Biodemography Soc Biol 2015;61(1):1-17.
23. ศรีณย์ ผู้บรรเจิดกุล, กวิน วงศ์ธรรมริน, พงศ์พิสุทธิ ทาคำแปง, คทาฐ ดิปรีชา. การศึกษาอัตราความชุกและความสัมพันธ์ของโรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน ภาวะไขมันในเลือดผิดปกติ ภาวะอ้วนและภาวะลงพุง ในระดับกองทัพในกำลังพลกองทัพบก ประเทศไทย. วารสารสมาคมเวชศาสตร์ป้องกันแห่งประเทศไทย 2565;12(3):501-15.
24. อภิสร ลออรรถพงศ์, คทาฐ ดิปรีชา. การศึกษาอัตราความชุกของโรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคไขมันในเลือดสูง โรคอ้วนและภาวะ เมแทบอลิกซินโดรมระหว่างบุคลากรทางการแพทย์กับกำลังพลทั่วไปของกองทัพบกไทย. วารสารสมาคมเวชศาสตร์ป้องกันแห่งประเทศไทย 2566;12(3):598-608.
25. สำนักนายกรัฐมนตรี. กำหนดเวลาทำงานและวันหยุดราชการ (ฉบับที่ 12). 2502 [เข้าถึงเมื่อ 6 มิ.ย.2566]. เข้าถึงได้จาก: https://personweb.kku.ac.th/E-Administration/BackEnd/Program/Manage/view2.php?FILE_ID=2910.