

Acute effect of pm2.5 from biomass burning on asthma-related hospital visits in Mae Sot, Tak province of Thailand: A time-series study

*Thanaphum Laithaisong, M.D.**

*Supakorn Tultrairatana, M.D.**

Abstract

Although it is well studied that the ambient fine particulate matter with a diameter less than 2.5 micrometers (PM_{2.5}) emitted from automobile or factory sources can increase the risk of asthmatic attack in human, there are such few evidences from the open-field biomass burning which has different chemical component. The goal of this study was to investigate the correlation between the daily PM_{2.5} concentrations and the numbers of hospital visits for asthma in Mae Sot area, Northern Thailand, where it was affected by the biomass-burning.

This time-series study collected a data from 2,046 hospital visits for asthma in Mae Sot hospital via out-patient department and emergency room department from January 1, 2017 to December 31, 2017. During the same period where the data of hospital visits for Asthma collected, the daily air pollutants including PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), CO (ppm), NO₂ (ppb), O₃ (ppb) were monitored at Mae Pa air-pollutant-monitoring station in Mae Sot. In this study, the association between daily PM_{2.5} and asthma-related hospital visits was analyzed using Negative Binomial Regression and Generalized Estimating Equations. The results found that, overall, daily average concentration levels of ambient PM_{2.5} were significantly positively associated with asthma visits in all patient group [adjusted ORs of 1.012 (95% CI=1.000-1.024) per 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in ambient PM_{2.5} level]. This was particularly high for male [adjusted ORs of 1.016 (95% CI=1.001-1.031)] and children younger than 15 years old [adjusted ORs of 1.022 (95% CI=1.002-1.042)]. In conclusion, the exposure to ambient PM_{2.5} from the biomass burning was associated with increased risk of asthma-related hospital visits particularly among male and young children patients. Asthma prevention strategies targeting at these high-risk sub-groups as well as the policies to control PM_{2.5} emission should therefore be implemented.

Keywords: Asthma Visit, Asthma, PM_{2.5}, Biomass burning

**Institute of Occupational and Environmental Medicine, Nopparat Rajathanee Hospital.*

ผลกระทบระยะเฉียบพลันของ PM2.5 จากการเผาไหม้ชีวมวลต่อจำนวนการเข้ารับบริการในโรงพยาบาล ด้วยโรคหืด ที่โรงพยาบาลแม่สอด จังหวัดตาก

ธนภูมิ ไชยไธสง, พ.บ.*

ศุภกร ตัญยไตรรัตน์, พ.บ.*

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันว่าฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) มีผลกระทบต่ออาการเกิดโรคหืดระยะเฉียบพลันในมนุษย์ แต่จากการศึกษาในปัจจุบัน มักมาจากแหล่งกำเนิดฝุ่นละอองจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ โรงงานอุตสาหกรรม แต่การศึกษาถึงผลกระทบต่ออาการเกิดโรคหืดระยะเฉียบพลันของ PM2.5 ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ชีวมวลซึ่งสารประกอบทางเคมีนั้นมีความแตกต่างกัน ยังมีน้อย การศึกษานี้ เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของฝุ่น PM2.5 ที่มาจากแหล่งกำเนิดการเผาไหม้ชีวมวลต่อจำนวนการเข้ารับบริการของคนที่มาโรงพยาบาลด้วยโรคหืดที่โรงพยาบาลแม่สอด โดยเป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา ซึ่งเก็บข้อมูลจำนวนครั้งที่ผู้ป่วยเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลด้วยโรคหืด ของโรงพยาบาลแม่สอด จังหวัดตาก รวมทั้งสิ้น 2,046 ครั้ง จากแผนกผู้ป่วยนอก และแผนกห้องฉุกเฉิน ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560 และเก็บข้อมูลมลพิษทางอากาศรายวัน ที่มีการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดอากาศ ในอำเภอแม่สอด ของช่วงวันเวลาเดียวกัน ประกอบไปด้วย PM2.5, PM10, คาร์บอนมอนนอกไซด์, ไนโตรเจนไดออกไซด์, และโอโซน ทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ PM2.5 และจำนวนครั้งของการเข้ารับบริการของคนที่มาโรงพยาบาลด้วยโรคหืด โดยใช้ตัวแบบสมการประมาณค่าányทั่วไป (Generalized Estimating Equations; GEE) เลือกสถิติถดถอยทวินามแบบลบ (Negative Binomial Regression) ผลการศึกษาพบว่า ทุกค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของปริมาณ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้น 1 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร จะเพิ่มโอกาสการเข้ารับบริการของคนที่มาโรงพยาบาลด้วยโรคหืดเป็น 1.012 เท่า [adjusted ORs 1.012 (95% CI = 1.000-1.024)] โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกลุ่มเพศชายเป็น 1.016 เท่า [adjusted ORs 1.016 (95% CI = 1.001-1.031)] และกลุ่มวัยเด็กที่มีอายุน้อยกว่า 15 ปีเป็น 1.022 เท่า [adjusted ORs 1.022 (95% CI = 1.002-1.042)] ปริมาณ PM2.5 ที่แหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ชีวมวล มีความสัมพันธ์ต่อการเพิ่มโอกาสการเข้ารับบริการของคนที่มาโรงพยาบาลด้วยโรคหืดมากขึ้น ในกลุ่มเด็ก และกลุ่มเพศชาย ควรเน้นการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพของ PM2.5 ต่อผู้ป่วยโรคหืด โดยเฉพาะในผู้ป่วยกลุ่มเสี่ยง และสร้างนโยบายที่สามารถควบคุมแหล่งกำเนิดของ PM2.5 เพื่อลดปริมาณ PM2.5 ในสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: โรคหืด, การเข้ามารับการรักษาที่โรงพยาบาล, ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน, การเผาไหม้ชีวมวล

บทนำ

มลพิษทางอากาศถือเป็นปัญหาทางสิ่งแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่สำคัญ เช่น สามารถทำให้เกิดภาวะเจ็บป่วย โรคทางระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคมะเร็ง โรคระบบการหายใจ⁽¹⁻⁷⁾ รวมถึงโรคหืด⁽⁴⁻⁷⁾ ข้อมูลจากองค์การอนามัยโลกมีการประมาณการว่า ร้อยละ 90 ของประชากรที่อาศัยอยู่ในเมืองในปี 2016 อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นละอองในอากาศมากกว่ามาตรฐานคุณภาพอากาศที่องค์การอนามัยโลกกำหนด⁽⁸⁾ โดยที่ร้อยละ 91 ของภาระโรคที่เกิดจากมลพิษทางอากาศนั้นเกิดในประเทศรายได้ต่ำถึงปานกลาง ส่วนมากพบในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และเอเชียแปซิฟิก

ภาคเหนือของประเทศไทย มักพบปัญหาฝุ่นละอองในอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ชีวมวล เช่น ไร่ป่าทั้งในประเทศ และเขตประเทศเพื่อนบ้าน การเผาเศษเหลือจากการเกษตรในพื้นที่เกษตรในช่วงเดือนมกราคมถึงเมษายนของทุกปี⁽⁹⁾ โดยเฉพาะเขตอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ซึ่งเป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีการตรวจวัดแล้วพบว่ามีปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (Particulate matter that have a diameter of less than 2.5 micrometers หรือ PM2.5) ปริมาณมากที่สุดแห่งหนึ่งในประเทศไทย⁽¹⁰⁾ แม้ว่าในจังหวัดตากจะมีโรงงานอุตสาหกรรม แต่ส่วนใหญ่เป็นโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เช่น โรงสีข้าว, ไซโลอบพืชหรือเมล็ดพืช เป็นต้น รองลงมาเป็นอุตสาหกรรมผลิตเครื่องแต่งกาย เช่น ตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูป ทอถุงเท้า เป็นต้น⁽¹¹⁾ โดยอุตสาหกรรมเหล่านี้มีการสร้าง PM2.5 ในบรรยากาศน้อย แหล่งกำเนิดของ PM2.5 ส่วนใหญ่คาดว่ามาจากการเผาไหม้ชีวมวล จากข้อมูลของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) แสดงตำแหน่งจุดความร้อนจากดาวเทียมระบบ MODIS เพื่อแสดง

ข้อมูลสถานการณ์ไฟป่าในปี พ.ศ. 2560 ซึ่งเกิดขึ้นมากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน⁽¹²⁾ โดยจะเห็นได้จากการมีค่า PM2.5 เกินค่ามาตรฐานดัชนีคุณภาพอากาศ มากที่สุดในช่วงเดือน มกราคมถึงเมษายน ของทุกปี⁽³⁾

การศึกษานี้เป็นการศึกษา PM2.5 ที่มีแหล่งกำเนิดหลักมาจากการเผาไหม้ชีวมวล ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของ PM2.5 นั้นจะมีความแตกต่างกันตามแหล่งกำเนิด เช่น ส่วนประกอบทางเคมีของ PM2.5 จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงรถยนต์นั้นพบธาตุโลหะมาก⁽¹³⁻¹⁵⁾ เป็นต้น การศึกษาทางพยาธิกำเนิดของโรคหืด พบว่ากระบวนการอักเสบของหลอดลมและการตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันนั้นมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบของธาตุโลหะของ PM2.5 จะกระตุ้นกระบวนการตอบสนองของหลอดลมที่ทำให้เกิดอาการโรคหืดได้มาก⁽¹⁶⁾ อย่างไรก็ตาม PM2.5 ที่แหล่งกำเนิดส่วนใหญ่มาจากการเผาไหม้ชีวมวล ที่มีส่วนประกอบของสารเคมีแตกต่างจากแหล่งกำเนิดเผาไหม้เชื้อเพลิงรถยนต์ คือ สัดส่วนของปริมาณธาตุโลหะ ซึ่งประกอบไปด้วย ทองแดง (copper), แมงกานีส (Manganese), แบเรียม (Barium), และแคลเซียม (Calcium) ในปริมาณที่น้อยกว่า ซึ่งปัจจุบันนี้ยังไม่มีการศึกษาวิจัยทางระบาดวิทยาว่า สัดส่วนของปริมาณธาตุโลหะที่น้อย จะส่งผลต่อความเสี่ยงของโรคหืดหรือไม่

การศึกษาวินิจฉัยครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของ PM2.5 จากการเผาไหม้ชีวมวลต่อจำนวนครั้งในการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลด้วยโรคหืด เพื่อใช้ในการวางแผนการเฝ้าระวังและดูแลปัญหาสุขภาพของประชาชนที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหืด

วิธีการดำเนินวิจัย

การวิจัยนี้เป็น การศึกษาเชิงนิเวศน์ (Ecological study) แบบการวิเคราะห์ย้อนกรรม

เวลา (Time-series analysis) โดยมีหน่วยเวลาเป็น “วัน” ประชากรกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยที่มีภูมิแพ้ในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก และเข้ารับการรักษาด้วยโรคหืดที่แผนกผู้ป่วยนอกหรือแผนกฉุกเฉิน โรงพยาบาลแม่สอด จังหวัดตาก ตามบัญชีจำแนกทางสถิติระหว่างประเทศของโรคและปัญหาสุขภาพที่เกี่ยวข้อง ฉบับทบทวนครั้งที่ 10 (the 10th revision of the International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems หรือ ICD-10) ด้วยรหัส J45-J46 ซึ่งเป็นประชากรที่กระจายอยู่ในพื้นที่อำเภอแม่สอด

วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

เก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของผู้ป่วย ได้แก่ เพศ อายุ ข้อมูลการเข้ารับบริการในโรงพยาบาลด้วยโรคหืด และเก็บข้อมูลปัจจัยมลพิษทางอากาศที่มีการบันทึกเป็นรายชั่วโมง ได้แก่ PM_{2.5} (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (Particulate matter that have a diameter of less than 10 micrometers: PM₁₀) (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร), คาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon monoxide: CO) (ส่วนในล้านส่วน), ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen dioxide: NO₂) (ส่วนในพันล้านส่วน), และโอโซน (Ozone: O₃) (ส่วนในพันล้านส่วน) จากสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ ที่สถานีตรวจวัดอากาศ ศูนย์การศึกษาออกโรงเรียน ตำบลแม่ปะ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560 เป็นระยะเวลา 1 ปี

จริยธรรมในการวิจัย

โครงการศึกษาวิจัยนี้ผ่านการพิจารณาด้านจริยธรรมจากคณะกรรมการวิจัยและจริยธรรมวิจัยจากโรงพยาบาลแม่สอด จังหวัดตาก เลขที่โครงการ

วิจัย MSHP 003/2562 และได้รับการอนุญาตให้เก็บข้อมูลจากสำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ และเพื่อเป็นการป้องกันปัญหาทางจริยธรรมที่อาจเกิดขึ้น จึงมีการป้องกันโดยไม่เปิดเผยรายชื่อ เพื่อเป็นการเก็บรักษาความลับของผู้เข้าร่วมศึกษา

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

1. การใช้สถิติเชิงพรรณนา เพื่ออภิปรายข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วย ได้แก่ เพศ นำเสนอในรูปแบบร้อยละ อายุ นำเสนอในรูปแบบร้อยละ ค่ามัธยฐาน (Median) และพิสัยควอไทล์ (Inter quartile range: IQR) และข้อมูลปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมในอากาศเฉลี่ยใน 1 เดือน ได้แก่ ปริมาณ PM_{2.5} PM₁₀ ปริมาณ CO, NO₂ และ O₃

2. การใช้สถิติเชิงอนุมาน เพื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยสิ่งแวดล้อมในอากาศรายวัน (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง) ต่อจำนวนผู้ป่วยที่เข้ามารับการรักษาที่โรงพยาบาลด้วยโรคหืด ในช่วงเวลา 365 วัน และควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้อง โดยใช้ตัวแบบสมการประมาณค่าันัยทั่วไป (Generalized Estimating Equations; GEE) ที่วิเคราะห์ด้วย สถิติถดถอยทวินามแบบลบ (Negative Binomial Regression) และทำการวิเคราะห์ subgroup analysis ตามเพศ และกลุ่มอายุ นำเสนอโดยใช้ดัชนี odds ratio

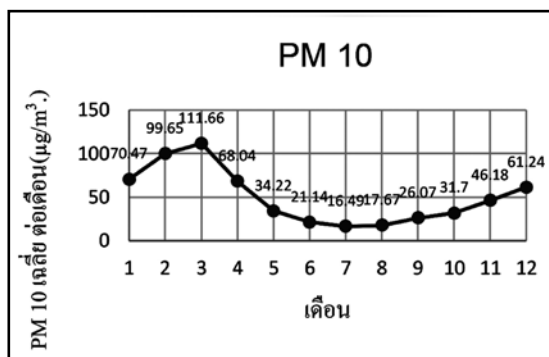
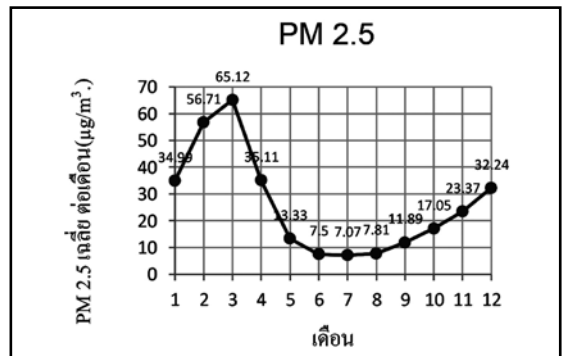
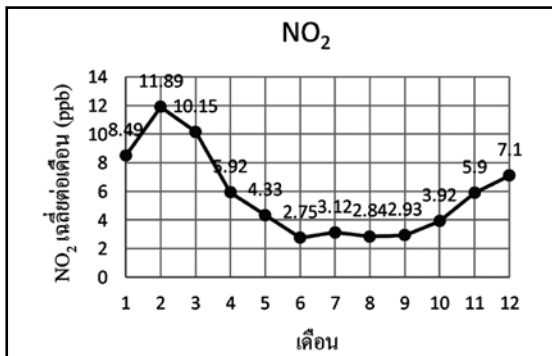
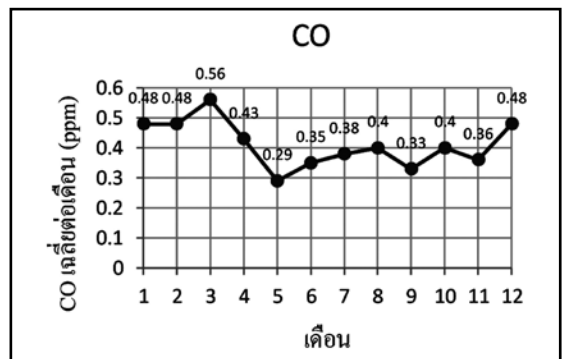
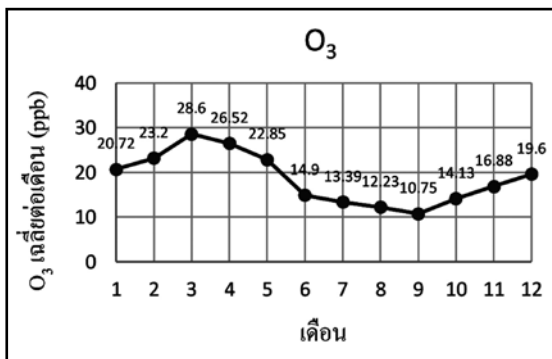
ผลการวิจัย

ผลการศึกษา จากข้อมูลปัจจัยมลพิษทางอากาศที่มีการบันทึกเป็นเฉลี่ยรายเดือน ได้แก่ PM_{2.5} (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) PM₁₀ (ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ส่วนในล้านส่วน ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) (ส่วนในพันล้านส่วน) โอโซน (O₃) (ส่วนในพันล้านส่วน) ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง 31

ธันวาคม 2560 เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่า ปริมาณ PM2.5 และปริมาณ PM10 เฉลี่ย 1 เดือน มีแนวโน้มสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ปริมาณ PM2.5 และ PM10 เฉลี่ย 1 เดือน สูงที่สุดในเดือนมีนาคม เท่ากับ 65.12 และ 111.66 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ในส่วนของปริมาณ NO₂ และ CO เฉลี่ย 1 เดือน มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงเดือนมกราคม ถึงมีนาคม

ปริมาณ NO₂ เฉลี่ย 1 เดือน สูงที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ เท่ากับ 11.89 ส่วนในพันล้านส่วน ปริมาณ CO เฉลี่ย 1 เดือน สูงที่สุดในเดือนมีนาคม เท่ากับ 0.56 ส่วนในล้านส่วน ในส่วนของปริมาณ O₃ เฉลี่ย 1 เดือน มีแนวโน้มสูงขึ้นในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึงเดือน พฤษภาคม เดือนที่มีปริมาณ O₃ เฉลี่ย 1 เดือน สูงที่สุดคือเดือนมีนาคม เท่ากับ 28.6 ส่วนใน พันล้านส่วน ดังแผนภูมิที่ 1

แผนภูมิที่ 1 ข้อมูลปริมาณฝุ่นและมลพิษในอากาศ ที่สถานีตรวจวัดอากาศ จังหวัดตาก ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึง 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560



จากการศึกษาข้อมูลการเข้ารับการรักษาด้วยโรคหืดของโรงพยาบาลแม่สอด พบว่าจำนวนครั้งที่ผู้ป่วยเข้ารับการรักษาที่แผนกผู้ป่วยนอก และแผนกฉุกเฉินด้วยโรคหืด ของโรงพยาบาลแม่สอด จังหวัดตาก ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2560 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560 มีจำนวนทั้งสิ้น 2,046 ครั้ง โดยส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 57.33 ค่ามัธยฐานของอายุเท่ากับ 44 ปี ค่าพิสัยควอไทล์ 42 ปี (17, 59) และพบว่าส่วนใหญ่เป็นผู้ป่วยกลุ่มอายุ 15-60 ปี เป็นกลุ่มวัยทำงาน

จำนวน 1,105 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 54.01, เป็นวัยเด็ก (0-14 ปี) จำนวน 485 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 23.70, และวัยสูงอายุ (61 ปีขึ้นไป) จำนวน 456 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 22.29 โดยเดือนที่มีจำนวนครั้งที่คนไข้เข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลด้วยโรคหืดมากที่สุดลำดับแรก ได้แก่ เดือนธันวาคม จำนวน 215 ครั้ง, เดือนตุลาคม จำนวน 201 ครั้ง, เดือนพฤศจิกายน จำนวน 196 ครั้ง, เดือนกรกฎาคม และสิงหาคม มีจำนวนเท่ากัน คือ 177 ครั้ง ซึ่งไม่สอดคล้องกับปริมาณมลพิษเฉลี่ยรายเดือน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนครั้งที่ผู้ป่วยเข้ารับการรักษาด้วยโรคหืดที่โรงพยาบาลแม่สอด จำแนกตามเพศ, ช่วงอายุ, และเดือน (n=2,046)

			เดือน											รวม	
			มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน		ธันวาคม
จำนวนครั้งที่เข้ารับการรักษา		จำนวน (ครั้ง)	162	154	158	113	159	160	177	177	174	201	196	215	2046
		ร้อยละ	7.92	7.53	7.22	5.52	7.77	7.82	8.65	8.65	8.50	9.82	9.58	10.50	100
จำแนกตามเพศ	ชาย	จำนวน (ครั้ง)	72	73	60	45	73	67	75	74	70	89	92	83	873
		ร้อยละ	44.44	47.40	37.97	39.82	45.91	41.88	42.37	41.81	40.23	44.28	46.94	38.60	42.67
	หญิง	จำนวน (ครั้ง)	90	81	98	68	86	93	102	103	104	112	104	132	1173
		ร้อยละ	55.56	52.60	62.03	60.18	54.09	58.13	57.63	58.19	59.77	55.72	53.06	61.40	57.33
จำแนกตามกลุ่มช่วงอายุ	วัยเด็ก (0-14 ปี)	จำนวน (ครั้ง)	42	28	29	19	27	39	41	35	28	66	73	58	485
		ร้อยละ	25.93	18.18	18.35	16.81	16.98	24.38	23.16	19.77	16.09	32.84	37.24	26.98	23.70
	วัยทำงาน (15-60 ปี)	จำนวน (ครั้ง)	88	84	87	65	92	86	108	112	96	93	90	104	1105
		ร้อยละ	54.32	54.55	55.06	57.52	57.86	53.75	61.02	63.28	55.17	46.27	45.92	48.37	54.01
	วัยสูงอายุ (61 ปีขึ้นไป)	จำนวน (ครั้ง)	32	42	42	29	40	35	28	30	50	42	33	53	456
		ร้อยละ	19.75	27.27	26.58	25.66	25.16	21.88	15.82	16.95	28.74	20.90	16.84	24.65	22.29

ตารางที่ 2 Odds ratio (OR) ผู้ป่วยโรคหืดและปริมาณมลพิษในอากาศเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จำแนกตามกลุ่มเพศ และกลุ่มช่วงอายุ

จำแนกตามกลุ่มต่างๆ	มลพิษทางอากาศ (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง)	หน่วย	Adjusted ORs	95% CI	p-value
กลุ่มผู้ป่วยทั้งหมด	PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.012	(1.000 , 1.024)	0.046*
	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.994	(0.986 , 1.002)	0.125
	CO	ppm	1.075	(0.621 , 1.861)	0.797
	NO ₂	ppb	1.008	(0.970 , 1.047)	0.684
	O ₃	ppb	0.989	(0.980 , 0.998)	0.019*
กลุ่มเพศชาย	PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.016	(1.001 , 1.031)	0.036*
	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.992	(0.983 , 1.000)	0.061
	CO	ppm	1.109	(0.616 , 1.998)	0.730
	NO ₂	ppb	1.014	(0.966 , 1.065)	0.565
	O ₃	ppb	0.988	(0.977 , 0.999)	0.028*
กลุ่มเพศหญิง	PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.009	(0.996 , 1.022)	0.194
	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.996	(0.988 , 1.005)	0.401
	CO	ppm	1.047	(0.554 , 1.977)	0.888
	NO ₂	ppb	1.001	(0.957 , 1.048)	0.951
	O ₃	ppb	0.990	(0.980 , 1.001)	0.066
กลุ่มวัยเด็ก (0-14 ปี)	PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.022	(1.002 , 1.042)	0.028*
	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.983	(0.972 , 0.995)	0.007*
	CO	ppm	0.792	(0.363 , 1.728)	0.558
	NO ₂	ppb	1.057	(0.991 , 1.126)	0.091
	O ₃	ppb	0.985	(0.972 , 0.997)	0.015*
กลุ่มวัยทำงาน (15-60 ปี)	PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.004	(0.989 , 1.019)	0.606
	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.998	(0.989 , 1.007)	0.625
	CO	ppm	1.420	(0.689 , 2.926)	0.342
	NO ₂	ppb	1.011	(0.959 , 1.065)	0.684
	O ₃	ppb	0.990	(0.977 , 1.002)	0.110
กลุ่มวัยสูงอายุ (61 ปี ขึ้นไป)	PM2.5	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1.016	(0.999 , 1.034)	0.058
	PM10	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.998	(0.988 , 1.008)	0.718
	CO	ppm	0.707	(0.346 , 1.445)	0.342
	NO ₂	ppb	0.964	(0.909 , 1.022)	0.215
	O ₃	ppb	0.992	(0.979 , 1.005)	0.241

*Negative binomial regression $p \leq 0.05$

จากตารางที่ 2 เมื่อทำการควบคุมตัวแปรมลพิษทางอากาศอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องแล้ว พบว่า ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่เพิ่มขึ้นทุก 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ทำให้เพิ่มโอกาสการมาโรงพยาบาลของผู้ป่วยทั้งหมดด้วยโรคหืดเป็น 1.012 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value = 0.046) เมื่อวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของปริมาณ PM_{2.5} และการมาโรงพยาบาลด้วยโรคหืดในประชากรกลุ่มย่อยแล้ว พบว่า ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่เพิ่มขึ้นทุก 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ จะเพิ่มโอกาสการมาโรงพยาบาลด้วยโรคหืด ในกลุ่มวัยเด็ก (0-14 ปี) มากที่สุด เป็น 1.022 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value=0.026) และลำดับถัดมาที่กลุ่มเพศชาย เป็น 1.016 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value=0.036) และจากการศึกษาพบว่า ปริมาณ O₃ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่เพิ่มขึ้นทุก 1 ppb ทำให้เพิ่มโอกาสการมาโรงพยาบาลด้วยโรคหืดเป็น 0.989, 0.988, และ 0.985 เท่า ในกลุ่มผู้ป่วยทั้งหมด กลุ่มเพศชายและกลุ่มวัยเด็ก อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value= 0.019), (P-value=0.028), และ (P-value=0.015) ตามลำดับ เมื่อควบคุมอิทธิพลของตัวแปร PM_{2.5}, PM₁₀, CO, และ NO₂ ในขณะที่ ปริมาณ PM₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่เพิ่มขึ้นทุก 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ทำให้เพิ่มโอกาสการมาโรงพยาบาลของผู้ป่วยกลุ่มวัยเด็กด้วยโรคหืดเป็น 0.983 เท่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-value=0.007) เมื่อควบคุมอิทธิพลของตัวแปร PM_{2.5}, CO, NO₂, O₃

สรุปและอภิปราย

ปริมาณ PM_{2.5} เฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นทุก 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ทำให้กลุ่มผู้ป่วยทั้งหมด กลุ่มผู้ป่วยเพศชายและกลุ่มวัยเด็ก (0-14 ปี) มีโอกาสเข้ารับการรักษาด้วยโรคหืดมากขึ้นที่ 1.01, 1.02 และ 1.02 เท่า (P-value=0.046), (P-value=0.036), และ (P-value=0.028) ตามลำดับ เมื่อควบคุมอิทธิพลของตัวแปร PM₁₀, CO, NO₂, O₃

สำหรับผลการวิเคราะห์จำแนกตามกลุ่มประชากร พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง ปริมาณ PM_{2.5} กับโอกาสการเข้ารับการรักษาด้วยโรคหืดในกลุ่มเพศชาย แต่ไม่พบความสัมพันธ์ดังกล่าวในกลุ่มเพศหญิง อาจเกิดจากลักษณะการทำงานของเพศชายในชนบท มักจะออกไปทำงานนอกบ้านมากกว่าเพศหญิง ดังนั้นจึงทำให้มีโอกาสสัมผัสกับฝุ่นละอองมากกว่าเพศหญิงซึ่งทำงานในบ้าน นอกจากนี้จะมีปัจจัยส่วนบุคคลอื่นๆ เช่น ประวัติการสูบบุหรี่ ซึ่งเพศชายมีแนวโน้มที่มีการสูบบุหรี่สูงกว่าเพศหญิง⁽¹⁷⁾ ก็อาจเป็นปัจจัยสนับสนุนทำให้โรคหืดกำเริบได้มากกว่าเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน แต่เนื่องจากมีข้อจำกัดของการเก็บข้อมูล งานวิจัยชิ้นนี้จึงไม่ได้ นำข้อมูลการสูบบุหรี่มาประกอบในการศึกษา ในส่วนของกลุ่มผู้ป่วยวัยเด็กนั้น ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้า โดยที่วัยเด็กมีโอกาสเป็นโรคหืดกำเริบได้มากกว่าในวัยผู้ใหญ่ อธิบายได้จาก ในวัยเด็กนั้นระบบภูมิคุ้มกันและระบบทางเดินหายใจยังพัฒนาไม่เต็มที่ที่มีความไวต่อการเกิดโรคทางเดินหายใจจากมลภาวะทางอากาศได้มากกว่า⁽¹⁸⁻²²⁾

ผลการศึกษาพบว่าปริมาณ PM₁₀ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ที่เพิ่มขึ้น 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ทำให้กลุ่มเด็กมีโอกาสเข้ารับการรักษาด้วยโรคหืดลดลง 0.98 เท่า (P-value=0.007) เมื่อควบคุมอิทธิพลของตัวแปร PM_{2.5}, CO, NO₂, O₃ ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาก่อนหน้าที่พบว่า PM₁₀ ส่งผลต่อการเกิดโรคหืดในเด็ก⁽²³⁾ อาจจะอธิบายได้ว่า PM₁₀ เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ สามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน และทำให้เกิดความระแวกในการใช้ผ้าปิดปากและจมูกเพื่อป้องกันได้มากกว่า นอกจากนี้เมื่อพบว่าปริมาณฝุ่นที่เพิ่มขึ้นจนทำให้มองเห็นได้ ทำให้ผู้ปกครองจะไม่อนุญาตให้เด็กออกมานอกบ้าน หรืออาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของข้อมูลคุณภาพอากาศ โดยค่าที่ใช้ศึกษาหาความสัมพันธ์เป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ซึ่งอาจมีผลทำให้คลาดเคลื่อนจากปริมาณ

PM10 ที่ผู้ป่วยสัมผัสจริง ส่งผลต่อความสัมพันธ์ของปริมาณ PM10 และการมาโรงพยาบาลด้วยโรคหืดคลาดเคลื่อน หรืออาจเกิดจากตัวแปรกวนที่เป็นข้อจำกัดในการควบคุมในการศึกษานี้ส่งผลต่อการมาโรงพยาบาลด้วยโรคหืด เช่น การระบาดของการติดเชื้อไวรัสในระบบทางเดินหายใจในเด็กกระตุ้นให้เกิดโรคหืด^(24,25) ควันบุหรี่สามารถกระตุ้นให้เกิดโรคหืดในเด็ก^(26,27) เป็นต้น

นอกจากนี้การศึกษายังพบปริมาณ O_3 เฉลี่ย 24 ชั่วโมงที่เพิ่มขึ้นทุก 1 ppb ทำให้กลุ่มผู้ป่วยทั้งหมด กลุ่มเพศชายและกลุ่มผู้ป่วยเด็ก มาเข้ารับการรักษาโรคหืดลดลง 0.99 เท่า (P-value=0.015) เมื่อควบคุมอิทธิพลของตัวแปร PM2.5, PM10, CO, NO₂ ซึ่งไม่สอดคล้องกับหลายการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าโอโซนส่งผลต่อการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคหืดในเด็ก^(28,29) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า อาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของข้อมูลคุณภาพอากาศ โดยค่าที่ใช้ศึกษาหาความสัมพันธ์เป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ซึ่งอาจมีผลทำให้คลาดเคลื่อนจากปริมาณ O_3 ที่ผู้ป่วยสัมผัสจริงส่งผลต่อค่าความสัมพันธ์ของปริมาณ O_3 และการมาโรงพยาบาลด้วยโรคหืดคลาดเคลื่อน⁽³⁰⁾ หรืออาจจะมีตัวแปรกวนที่ส่งผลต่อการมาโรงพยาบาลด้วยโรคหืด ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น นอกจากนี้ยังมีบางการศึกษาพบว่า O_3 ที่มีปริมาณน้อยซึ่งอาจจะเป็นปัจจัยป้องกันการเกิดโรคหืดกำเริบได้⁽⁴⁾ สอดคล้องกับการศึกษาที่พบว่าสารพิษบางชนิดในแบคทีเรียที่มีปริมาณเล็กน้อยสามารถลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหืดในเด็ก⁽³¹⁾ แต่อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

ปริมาณ PM2.5 และ ปริมาณ PM10 เฉลี่ย 1 เดือน มีแนวโน้มสูงในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลตำแหน่งจุดความร้อนจากดาวเทียมระบบ MODIS เพื่อแสดงข้อมูลสถานการณ์ไฟป่าในปี 2560 ของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA)⁽¹²⁾

ซึ่งเกิดขึ้นมากในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนเมษายนของปี จึงแสดงให้เห็นว่า แหล่งกำเนิดของ PM2.5 ส่วนใหญ่น่าจะมาจากการเผาไหม้ชีวมวล ทั้งนี้ในปัจจุบันนิยมใช้การตรวจหาสาร Levoglucosan ในอนุภาคในอากาศ ในการบ่งชี้ว่า PM2.5 มีแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวล^(32,33) แต่เนื่องจากในพื้นที่ที่ศึกษา ยังไม่มีการศึกษาที่ตรวจวัดสารดังกล่าว

จากการศึกษาพบว่าเดือนที่มีปริมาณ PM2.5 เฉลี่ย 1 เดือนมากที่สุด สี่อันดับแรก ได้แก่ เดือนมีนาคม กุมภาพันธ์ เมษายน และมกราคม ตามลำดับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับเดือนที่มีจำนวนผู้ป่วยมาด้วยโรคหืดสูงที่สุด คือเดือนธันวาคม อาจเกิดจากจำนวนผู้ป่วยรวมในแต่ละเดือนมีจำนวนไม่มากและไม่แตกต่างกันในแต่ละเดือน ทำให้ไม่พบความสัมพันธ์ที่ชัดเจนของปริมาณ PM2.5 ต่อจำนวนครั้งของการมาโรงพยาบาลด้วยโรคหืด หรืออาจเกิดจากปัจจัยที่ทำให้เป็นโรคหืดอื่นที่มีผลมากกว่าปริมาณ PM2.5 เช่น ปัจจัยทางด้านฤดูกาล ที่พบผู้ป่วยที่มาด้วยโรคหืดมากในช่วงฤดูหนาว^(34,35) เป็นต้น

การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณ PM2.5 ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ชีวมวลมีความสัมพันธ์ต่อการเข้ามารับการรักษาที่โรงพยาบาลด้วยโรคหืดมากขึ้นในกลุ่มผู้ป่วยทั้งหมด กลุ่มเพศชายและกลุ่มวัยเด็ก โดยเป็นข้อมูลแสดงว่า PM2.5 จากแหล่งกำเนิดมาจากการเผาไหม้ชีวมวลอาจทำให้เกิดการกระตุ้นโรคหืดได้มากขึ้น เช่นเดียวกับ PM2.5 ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเครื่องยนต์ สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา⁽³⁶⁻³⁹⁾ โดยพบความสัมพันธ์ของการเกิดโรคหืดกับปริมาณ PM2.5 ในพื้นที่เมือง ซึ่งแหล่งกำเนิดส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเครื่องยนต์ และโรงงานอุตสาหกรรม

ส่วนข้อจำกัดของการศึกษานี้คือ ประการแรก การเก็บข้อมูลการเจ็บป่วยจากทะเบียนผู้ป่วยโรงพยาบาลประจำอำเภอ ไม่ครอบคลุม

สถานพยาบาลอื่น เช่น โรงพยาบาลเอกชนและคลินิก แต่เนื่องจากเป็นโรงพยาบาลประจำอำเภอของภาครัฐเพียงโรงพยาบาลเดียวในอำเภอ ดังนั้นจึงน่าจะจะมีผู้ใช้บริการมากกว่าสถานพยาบาลอื่นในพื้นที่ใกล้เคียง ประการที่สอง การเก็บข้อมูลย้อนหลังจากเวชระเบียน จึงทำให้มีรายละเอียดของข้อมูลส่วนบุคคลที่อาจมีผลต่อการเกิดโรคหืด เช่น ข้อมูลการสูบบุหรี่ สูญหายไปเป็นจำนวนมาก จึงไม่นำข้อมูลส่วนนี้มาวิเคราะห์ ประการที่สาม ข้อมูลคุณภาพอากาศ โดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอำเภอแม่สอดเริ่มมีการเก็บข้อมูล PM_{2.5} มาตั้งแต่เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2559 ทำให้มีข้อมูล PM_{2.5} ที่ใช้ในการศึกษาเพียง 1 ปี อาจจะเป็นการศึกษาในระยะเวลานั้น แต่ถ้าศึกษาเป็นระยะเวลายาวนานมากขึ้นก็จะทำให้เห็นแนวโน้มของความสัมพันธ์ที่ชัดเจนมากขึ้น และประการสุดท้าย สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ อำเภอแม่สอดไม่มีการเก็บข้อมูลปริมาณ SO₂ ในอากาศ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวเคยมีการตรวจวัดแล้วพบว่าปริมาณ SO₂ ในอากาศต่ำกว่าค่ามาตรฐานของทั้งองค์การอนามัยโลก (World Health Organization หรือ WHO)⁽⁴⁰⁾ และดัชนีคุณภาพอากาศของประเทศไทย⁽⁴¹⁾ มาก จึงไม่ได้ทำการตรวจวัดต่อไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อาจอนุมานได้ว่าปริมาณ SO₂ ในบรรยากาศของพื้นที่การศึกษาวัดนี้ มีผลกระทบต่ออาการเกิดโรคหืดน้อย

เอกสารอ้างอิง

1. Feng S, Gao D, Liao F, Zhou F, Wang X. The health effects of ambient PM_{2.5} and potential mechanisms. *Ecotoxicol Environ Saf* 2016;128:67-74.
2. Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ Int* 2015;74:136-43.
3. Zheng PW, Shen P, Ye ZH, Zhang ZY, Chai PF, Li D, et al. Acute effect of fine and coarse particulate matter on cardiovascular visits in Ningbo, China. *Environ Sci Pollut Res Int* 2018;25:33548-55.

สรุป PM_{2.5} ที่มีแหล่งกำเนิดจากการเผาไหม้ชีวมวล มีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อการเข้ารับการรักษาพยาบาลด้วยโรคหืด โดยเฉพาะในกลุ่มเพศชายและกลุ่มวัยเด็ก โดยสามารถนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประโยชน์ในการให้ความรู้ และเฝ้าระวังสุขภาพในกลุ่มเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพและสร้างนโยบายที่สามารถควบคุมแหล่งกำเนิดของ PM_{2.5} เพื่อลดปริมาณ PM_{2.5} ในสิ่งแวดล้อม การศึกษาต่อไปอาจมุ่งเน้นถึงอัตราการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบต่างๆ ของประชากรในพื้นที่เสี่ยง เช่น โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคระบบทางเดินหายใจอื่นๆ และพิจารณาถึงปัจจัยส่วนบุคคลละเอียดมากขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ เช่น อาชีพ ลักษณะการทำงาน ประวัติการสูบบุหรี่ โรคประจำตัว ระยะเวลาการสัมผัส PM_{2.5} รวมไปถึงการป้องกันตนเอง ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเฝ้าระวังสุขภาพของประชาชนและสร้างมาตรการในการป้องกันผลกระทบทางสุขภาพต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

นิพนธ์ต้นฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูง จากศาสตราจารย์นายแพทย์พงศ์เทพ วิวรรณเดชะ อาจารย์วรรณางจจิตรไพศาล แพทย์หญิงณัฐกานต์ ชื่นชม และเจ้าหน้าที่โรงพยาบาลแม่สอด จังหวัดตาก ผู้เขียนขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

4. Wiwatanadate P. Acute air pollution-related symptoms among residents in Chiang Mai, Thailand. *J Environ Health* 2014;76:76-84.
5. Noh J, Sohn J, Cho J, Cho SK, Choi YJ, Kim C, et al. Short-term Effects of Ambient Air Pollution on Emergency Department Visits for Asthma: An Assessment of Effect Modification by Prior Allergic Disease History. *J Prev Med Public Health* 2016;49:329-41.
6. Fan J, Li S, Fan C, Bai Z, Yang K. The impact of PM_{2.5} on asthma emergency department visits: a systematic review and meta-analysis. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016;23:843-50.
7. Wiwatanadate P, Liwsrisakun C. Acute effects of air pollution on peak expiratory flow rates and symptoms among asthmatic patients in Chiang Mai, Thailand. *Int J Hyg Environ Health* 2011;214:251-7.
8. World Health Organization. Global health observatory data. [online] 2016 [cited 2018 Nov 1]; Available from: URL:https://www.who.int/gho/phe/air_pollution_pm25_concentrations/en
9. กาญจนา สวยสม, เกศศิณี อุนะพันธ์, พันศักดิ์ ธีรมงคล, พิเชษฐ์ อธิภาคย์, วนิสา สุรพิพิธ, วิจารณ์ สิมาฉายา, และคณะ. กรมควบคุมมลพิษ รื้อรอบทิศมลพิษทางอากาศ บทเรียน แนวคิด และการจัดการ. กรุงเทพฯ: กชกร พับลิชชิ่ง; 2554.
10. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. รายงานสถานการณ์และคุณภาพอากาศประเทศไทย. [ออนไลน์]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย.2561] เข้าถึงได้จาก: URL: <http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php>
11. รายงานความเคลื่อนไหวการลงทุนอุตสาหกรรมของจังหวัดตาก. [ออนไลน์]. 2559 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย. 2561] เข้าถึงได้จาก: URL: <http://www.industry.go.th/tak/index.php/activityreport/2560/22712-2559/file>
12. ข้อมูลของสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (GISTDA) ตำแหน่งจุดความร้อนจากดาวเทียมระบบMODIS เพื่อแสดงข้อมูลสถานการณ์ไฟป่ารายวัน. [ออนไลน์]. 2560 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย.2561] เข้าถึงได้จาก: URL: http://fire.gistda.or.th/Map_all.html
13. Kim Y, Seo J, Kim JY, Lee JY, Kim H, Kim BM. Characterization of PM_{2.5} and identification of transported secondary and biomass burning contribution in Seoul, Korea. *Environ Sci Pollut Res Int* 2018;25:4330-43.
14. Tao J, Zhang L, Cao J, Zhong L, Chen D, Yang Y, et al. Source apportionment of PM_{2.5} at urban and suburban areas of the Pearl River Delta region, south China - With emphasis on ship emissions. *Sci Total Environ* 2017;574:1559-70.
15. Yujiro I, Suekazu N. Chemical Compositions of Primary PM_{2.5} Derived from Biomass Burning Emissions. *Asian Journal of Atmospheric Environment*. 2017;11(2):79-95.
16. Wagner JG, Morishita M, Keeler GJ, Harkema JR. Divergent effects of urban particulate air pollution on allergic airway responses in experimental asthma: a comparison of field exposure studies. *Environmental health : a global access science source*. 2012;11:45.

17. Thailand's Tobacco Use Surveillance: Smoking Prevalence, 1991-2006 [online]. 2006 [cited 2018 Nov 10]; Available from: http://www.trc.or.th/en/images/upload/files/tobaccoinformation/Thailands_Tobacco_Use_Surveillance__Smoking_Prevalence_1991_-_2006.pdf
18. Bennett WD, Zeman KL, Jarabek AM. Nasal contribution to breathing and fine particle deposition in children versus adults. *J Toxicol Environ Health A* 2008;71:227-37.
19. Bowatte G, Lodge C, Lowe AJ, Erbas B, Perret J, Abramson MJ, et al. The influence of childhood traffic-related air pollution exposure on asthma, allergy and sensitization: a systematic review and a meta-analysis of birth cohort studies. *Allergy* 2015;70:245-56.
20. Schwartz J. Air pollution and children's health. *Pediatrics* 2004;113(Supplement 3):1037-43.
21. Kuo CY, Pan RH, Chan CK, Wu CY, Phan DV, Chan CL. Application of a time-stratified case-crossover design to explore the effects of air pollution and season on childhood asthma hospitalization in cities of differing urban patterns: Big data analytics of government open data. *Int J Environ Res Public Health* 2018;15:647.
22. Chen C, Li C, Li Y, Liu J, Meng C, Han J, et al. Short-term effects of ambient air pollution exposure on lung function: A longitudinal study among healthy primary school children in China. *Sci Total Environ* 2018;645:1014-20.
23. Wu J, Zhong T, Zhu Y, Ge D, Lin X, Li Q. Effects of particulate matter (PM) on childhood asthma exacerbation and control in Xiamen, China. *BMC Pediatrics*. 2019;19:194.
24. Carroll KN, Hartert TV. The impact of respiratory viral infection on wheezing illnesses and asthma exacerbations. *Immunol Allergy Clin North Am* 2008;28:539-viii.
25. MacDowell AL, Bacharier LB. Infectious triggers of asthma. *Immunol Allergy Clin North Am*. 2005;25:45-66.
26. Mannino DM, Homa DM, Redd SC. Involuntary smoking and asthma severity in children: data from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Chest* 2002;122:409-15.
27. Yoo S, Kim HB, Lee SY, Kim BS, Kim JH, Yu J, et al. Effect of active smoking on asthma symptoms, pulmonary function, and BHR in adolescents. *Pediatr Pulmonol* 2009;44:954-61.
28. Fauroux B, Sampil M, Quénel P, Lemoullec Y. Ozone: A trigger for hospital pediatric asthma emergency room visits. *Pediatr Pulmonol* 2000;30:41-6.
29. Zheng XY, Ding H, Jiang LN, Chen SW, Zheng JP, Qiu M, et al. Association between air pollutants and asthma emergency room visits and hospital admissions in time series studies: A systematic review and meta-analysis. *PloS one* 2015;10:e0138146.
30. Li X, Chen Q, Zheng X, Li Y, Han M, Liu T, et al. Effects of ambient ozone concentrations with different averaging times on asthma exacerbations: A meta-analysis. *The Science of the total environment* 2019;691:549-61.

31. Obihara CC, Kimpen JL, Beyers N. The potential of Mycobacterium to protect against allergy and asthma. *Curr Allergy Asthma Rep* 2007;7:223-30.
32. Giannoni M, Martellini T, Del Bubba M, Gambaro A, Zangrando R, Chiari M, et al. The use of levoglucosan for tracing biomass burning in PM2.5 samples in Tuscany (Italy). *Environ Pollut* 2012;167:7-15.
33. Zhang T, Claeys M, Cachier H, Dong S, Wang W, Maenhaut W, et al. Identification and estimation of the biomass burning contribution to Beijing aerosol using levoglucosan as a molecular marker. *Atmospheric Environment* 2008;42:7013-21.
34. Won YK, Hwang TH, Roh EJ, Chung EH. Seasonal patterns of asthma in children and adolescents presenting at emergency departments in Korea. *Allergy, asthma & immunology research* 2016;8:223-9.
35. Wisniewski JA, McLaughlin AP, Stenger PJ, Patrie J, Brown MA, El-Dahr JM, et al. A comparison of seasonal trends in asthma exacerbations among children from geographic regions with different climates. *Allergy and asthma proceedings* 2016;37:475-81.
36. Fan J, Li S, Fan C, Bai Z, Yang K. The impact of PM2.5 on asthma emergency department visits: A systematic review and meta-analysis. *Environ Sci Pollut Res Int* 2016;23:843-50.
37. Chang JH, Hsu SC, Bai KJ, Huang SK, Hsu CW. Association of time-serial changes in ambient particulate matters (PMs) with respiratory emergency cases in Taipei's Wenshan District. *PLoS One* 2017;12:e0181106.
38. Luong LM, Phung D, Sly PD, Morawska L, Thai PK. The association between particulate air pollution and respiratory admissions among young children in Hanoi, Vietnam. *Sci Total Environ* 2017;578:249-55.
39. Cheng MH, Chen CC, Chiu HF, Yang CY. Fine particulate air pollution and hospital admissions for asthma: a case-crossover study in Taipei. *J Toxicol Environ Health A* 2014;77:1075-83.
40. World Health Organization. Ambient outdoor air quality and health. [online]. 2018 [cited 2018 Nov 5]. Available from: [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
41. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง. ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ. [ออนไลน์]. 2561 [เข้าถึงเมื่อ 1 พ.ย. 2561] เข้าถึงได้จาก: URL: http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php