

การศึกษาผลกระทบต่อการเสียชีวิตด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก
ไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์

กมลรัตน์ สังขรัตน์ พร.ด. (อนามัยสิ่งแวดล้อม)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) กับการเสียชีวิตและประเมินความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสทุกๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของ PM₁₀ โดยนำข้อมูลมลพิษอากาศจากกรมควบคุมมลพิษ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากกรมอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลการเสียชีวิตจากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ มาวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้การถดถอยปัวซองส์ และควบคุมตัวแปรกวนอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ วันในสัปดาห์ ฤดูกาล และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับการเสียชีวิตจากสาเหตุต่างๆ ได้แก่ การเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ (A00-R99), กลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99) และโรคของระบบไหลเวียนโลหิต (I00-I99) ผลที่ได้จากการศึกษาพบว่า การรับสัมผัส PM₁₀ ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มความเสี่ยงในการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต ที่ Lag 0 (การเสียชีวิตในวันเดียวกัน) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเสี่ยงสัมพัทธ์เท่ากับ 1.022 (95% CI: 1.002-1.043) และการรับสัมผัสสะสมที่ 8 วัน (Lag 0-7) มีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ และการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต อย่างมีนัยสำคัญที่ความเสี่ยงสัมพัทธ์เท่ากับ 1.018 (95%CI: 1.007-1.029) และ 1.036 (95%CI: 1.014-1.059) ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นหลักฐานของความสัมพันธระหว่างฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนและปัญหาสุขภาพ อันจะนำไปใช้ในการกำหนดมาตรการคุ้มครองสุขภาพต่อไป

คำสำคัญ : ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน, การเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ, โรคระบบทางเดินหายใจ, โรคของระบบไหลเวียนโลหิต

The association of PM₁₀ and daily mortality in Nakhon Sawan province

Kamolrat Sangkharat Ph.D (Environmental Health and Risk Assessment)

Abstract

This study aimed to investigate the association between PM₁₀ and daily mortality in Nakhon Sawan province and estimate Relative risk (RR) per 10 µg/m³ increase in PM₁₀ were estimated risks with 95% confidence intervals (CI). The record of the hourly concentration of PM₁₀ was obtained from the network of the Pollution Control Department, while temperature and relative humidity data were obtained from the Meteorological Department. The record of death was obtained from the National Health Security Office, which is related to all non-accident deaths (A00-R99), respiratory deaths (J00-99) and cardiovascular deaths (I00-99). The Poisson regression model was used to investigate the association between PM₁₀ and daily mortality after controlling for temperature relative humidity and confounding factors such as day of the week (DOW), seasonal cycles, public holidays, and a long-term trend. The results showed that exposure to 10 µg/m³ of PM₁₀ was associated with cardiovascular deaths with RR = 1.022 (95%CI: 1.002-1.043)] at lag 0 and accumulative lag 0-7 (lag 0-7) for all non-accident deaths and cardiovascular deaths with 1.018 (95%CI: 1.007-1.029) and 1.036 (95%CI: 1.014-1.059). Our findings can be used as evidence to explore the relationship between PM₁₀ and health impacts. Leaders and policymakers need to pay attention in order to reduce the concentration of air pollution and set the health protection measures

Keywords: PM₁₀, all non-accident deaths, respiratory deaths, cardiovascular deaths

1. บทนำ

มลพิษทางอากาศเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตของประชากรทั่วโลก รวมถึงเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรและการเข้ารับรักษาการพยาบาลที่เพิ่มขึ้น การศึกษาในอดีตพบว่ามลพิษทางอากาศมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอัตราโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ โดยเฉพาะในกลุ่มเด็ก คนชรา หญิงตั้งครรภ์และผู้ที่ต้องทำงานกลางแจ้งเป็นเวลานานๆ อย่างมีนัยสำคัญ ในปีพ.ศ. 2557 WHO ได้รายงานไว้ว่าแต่ละปีมีจำนวนผู้เสียชีวิตทั่วโลกประมาณ 1 ใน 8 ของการเสียชีวิตทั่วโลก และแนะนำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องจัดทำแผนปฏิบัติการเพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพ⁽¹⁾

ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาประชาชนในประเทศไทยเริ่มมีการตื่นตัวในเรื่องการรายงานมลภาวะทางอากาศ เนื่องจากปัญหาฝุ่นควันมีปริมาณเกินมาตรฐานและส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในบางพื้นที่ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีลักษณะเมืองเช่น กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ฝุ่นละออง PM₁₀ เป็นฝุ่นละอองเล็กมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) สามารถส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ เกิดจากการเผาไหม้ในที่โล่ง การเผาไร่และวัสดุทางการเกษตรกลางแจ้ง การขนส่ง และการเผาไหม้เชื้อเพลิง นอกจากนี้ปริมาณฝุ่นละอองที่เพิ่มขึ้นอาจมีผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ (Climate Change) เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสามารถส่งผลต่อการเพิ่มอัตราของการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่ส่งผลทำให้มีระดับมลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้น

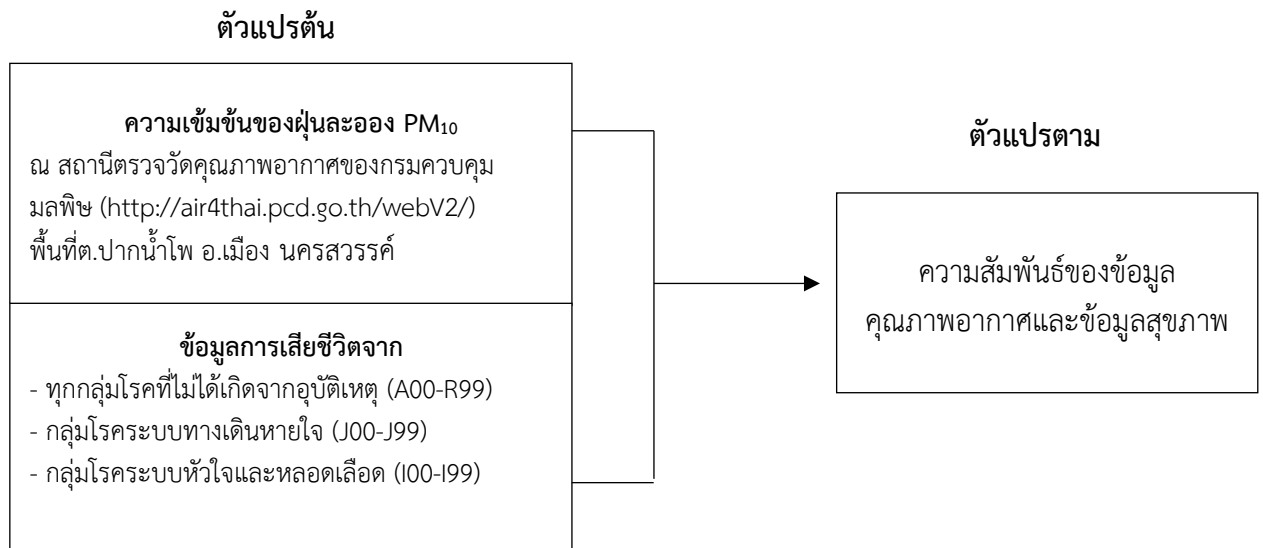
จากสถานการณ์ข้อมูลการเฝ้าระวังปัญหาหมอกควันในประเทศไทย ส่วนใหญ่มีอยู่ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงฤดูแล้ง (มกราคม - เมษายน) ของทุกปี เนื่องจากในพื้นที่ทางภาคเหนือจะประสบปัญหาไฟป่าและการลักลอบเผาในที่โล่ง เช่น การเผาเศษวัชพืชและการเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ประกอบกับสภาพภูมิประเทศที่มีลักษณะเป็นแอ่งกระทะและมีภูเขาล้อมรอบ ทำให้ปัญหาฝุ่นละอองมีความรุนแรงเพิ่มขึ้น ข้อมูลการเฝ้าระวังค่าฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน ในจังหวัดนครสวรรค์ ซึ่งมาตรฐานไม่ควรเกิน 120 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (อ้างอิงค่ามาตรฐานจากกรมควบคุมมลพิษ) พบว่าในปี พ.ศ. 2556 มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุด ที่ 177.2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีจำนวน 23 วันที่มีค่า PM₁₀ เกินค่ามาตรฐาน ในปีพ.ศ. 2557 มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุด 193.08 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีจำนวน 19 วันที่มีค่า PM₁₀ เกินค่ามาตรฐาน ในปีพ.ศ. 2558 มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุด 157.71 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีจำนวน 14 วันที่มีค่า PM₁₀ เกินค่ามาตรฐาน ในปีพ.ศ. 2559 มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุด 167.30 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีจำนวน 14 วันที่มีค่า PM₁₀ เกินค่ามาตรฐาน ในปีพ.ศ. 2560 มีค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงสุด 134.10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีจำนวน 1 วันที่มีค่า PM₁₀ เกินค่ามาตรฐาน

ข้อมูลรายงานสถานการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากรายงานข้อมูลผู้ป่วยนอก ที่มาใช้บริการในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือ โดยกรมควบคุมโรค ปี พ.ศ. 2559 ของ 4 กลุ่มโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ได้แก่ กลุ่มโรคหัวใจและหลอดเลือดทุกชนิด มีจำนวนผู้ป่วย 445,924 ราย โดยจำนวนผู้ป่วยสูงสุดอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ กลุ่มโรคทางเดินหายใจทุกชนิด มีจำนวนผู้ป่วย 303,498 ราย โดยจำนวนผู้ป่วยสูงสุดอยู่ที่จังหวัดเชียงใหม่ กลุ่มโรคผิวหนังอักเสบ มีจำนวนผู้ป่วย 43,421 ราย โดยจำนวนผู้ป่วยสูงสุดอยู่ที่ จังหวัดพะเยา และกลุ่มโรคตาอักเสบ มีจำนวนผู้ป่วย 26,765 ราย โดยจำนวนผู้ป่วยสูงสุดอยู่ที่ จังหวัดเชียงใหม่ สำหรับข้อมูลจำนวนผู้ป่วยที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ จังหวัดนครสวรรค์ จากระบบรายงาน HDC Dashboard เริ่มมีการรายงานใน ปี พ.ศ. 2563 มีจำนวน 169,978 ราย และอำเภอนครสวรรค์มีจำนวนผู้ป่วยสูงที่สุด จำนวน 54,788 ราย และในปีพ.ศ. 2564 มีผู้ป่วย 139,255 ราย ซึ่งลดลงจากปี 2563 และเพิ่มขึ้นในปี พ.ศ. 2565 อยู่ที่ 168,093 ราย

มีงานวิจัยในอดีตทั้งในประเทศและต่างประเทศที่แสดงให้เห็นว่าการรับสัมผัส PM_{10} มีความสัมพันธ์กับผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น การเพิ่มอัตราผู้ป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลทั้งจากแผนกฉุกเฉินและผู้ป่วยนอกเพิ่มขึ้น การศึกษาในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าการรับสัมผัส PM_{10} ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาโดยโรคระบบหัวใจและระบบหายใจในกลุ่มผู้สูงอายุอย่างมีนัยสำคัญ⁽²⁾ โดยการศึกษาระบุว่า การรับ PM_{10} เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเพิ่มความเสี่ยงในการเพิ่มขึ้นของการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลในวันเดียวกัน 0.36 %⁽³⁾ การศึกษาในประเทศออสเตรเลียพบว่า การรับสัมผัส PM_{10} มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและหัวใจขาดเลือด (Ischemic heart disease, IHD) ในทุกกลุ่มวัย⁽⁴⁾ ในประเทศไต้หวันพบว่าการรับสัมผัส PM_{10} เพิ่มความเสี่ยงต่อการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลด้วยโรคหัวใจอย่างมีนัยสำคัญ⁽⁵⁾

สำหรับการศึกษาในประเทศไทยพบว่าการรับสัมผัส PM_{10} ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 ไมโครกรัม ต่อลูกบาศก์เมตร มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มความเสี่ยงในการเข้ารับการรักษาพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจในแผนกผู้ป่วยนอกของเด็กอายุ 6-14 ปี ที่อาศัยในจังหวัดสมุทรปราการอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์เท่ากับ 1.02 (95% CI: 1.00-1.05) ในวันที่ 6 หลังจากได้รับสัมผัส (lag 6) และ 1.02 (95% CI: 1.00-1.04) ในการรับสัมผัสสะสมเป็นเวลา 7 วัน (lag 0-6)⁽⁶⁾ นอกจากนี้ยังพบการศึกษาในพื้นที่กรุงเทพมหานครที่พบว่าการรับสัมผัส PM_{10} เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เพิ่มความเสี่ยงต่อการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลด้วยโรคระบบหัวใจ 1.04 % (95%CI: 0.68-1.41) และพบความเสี่ยงมากขึ้นในกลุ่มผู้สูงอายุที่มีอายุมากกว่า 65 ปี เท่ากับ 1.18 % (95% CI: 0.79-1.57)⁽⁷⁾

จังหวัดนครสวรรค์ได้รับการคัดเลือกเป็นพื้นที่นำร่องในการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากกองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัยในปีงบประมาณ 2561 ดังนั้นเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในงานวิจัย ผู้วิจัยจึงเลือกพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์เป็นพื้นที่ในการศึกษาครั้งนี้ นอกจากนี้ยังพบว่า พื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ประสบปัญหาฝุ่น พุ้งกระจายปกคลุมตัวเมืองนครสวรรค์ เป็นลำดับ 1 ใน 5 ของภาคเหนือ ในช่วงเดือนมกราคม⁽⁸⁾ และในพื้นที่เขตสุขภาพที่ 3 มีเฉพาะจังหวัดนครสวรรค์ที่มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ โดยกรมควบคุมมลพิษ จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2563 ได้มีการติดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศเพิ่มเติมในพื้นที่จังหวัดพิจิตรและจังหวัดอุทัยธานี ทำให้จังหวัดนครสวรรค์เป็นจังหวัดเดียวที่มีข้อมูลคุณภาพอากาศ จากการศึกษาในอดีตพบว่ายังไม่มีรายงานการศึกษาความสัมพันธ์ของการรับสัมผัส PM_{10} กับผลกระทบต่อสุขภาพในจังหวัดนครสวรรค์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัส PM_{10} กับผลกระทบต่อสุขภาพ โดยใช้ข้อมูลการเสียชีวิตทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ (A00-R99) กลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99) และโรคของระบบไหลเวียนโลหิต (I00-I99) ในอดีตมีงานวิจัยเป็นจำนวนมากที่ศึกษาความสัมพันธ์ของการรับสัมผัส PM_{10} กับข้อมูลการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบไหลเวียนโลหิต แต่ยังไม่มีการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพโดยใช้ข้อมูลการเสียชีวิต ซึ่งข้อมูลที่ได้สามารถใช้เป็นหลักฐานของความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอนและปัญหาสุขภาพ อันจะนำไปใช้ในการกำหนดมาตรการคุ้มครองสุขภาพต่อไป ตามกรอบแนวคิดดังนี้



2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) กับการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ (A00-R99) กลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99) และโรคของระบบไหลเวียนโลหิต (I00-I99)

2.2 เพื่อประเมินความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพจากการเพิ่มขึ้นทุกๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจากข้อมูลการเสียชีวิตในกลุ่มโรคที่แตกต่างกัน

3. วิธีการศึกษา

3.1 พื้นที่ศึกษา

จังหวัดนครสวรรค์เป็นจังหวัดที่ตั้งอยู่ตอนบนของภาคกลาง หรือบางหน่วยงานจัดให้อยู่ตอนล่างของภาคเหนือ มีพื้นที่ 9,597 ตารางกิโลเมตร ประชากร 1,066,455 คน (ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2559) อำเภอเมืองนครสวรรค์เป็นอำเภอที่มีประชากรมากที่สุด 243,126 คน คิดเป็นร้อยละ 22.80 ของประชากรทั้งจังหวัด

3.2 กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างที่ศึกษา เป็นการใช้ข้อมูลทุติยภูมิผู้ป่วยที่เสียชีวิตจากโรงพยาบาลและ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพในจังหวัดนครสวรรค์ของ 3 กลุ่มโรคตามรหัสการวินิจฉัยโรคตามบัญชีจำแนกโรคระหว่างประเทศฉบับที่ 10 (ICD-10) ของสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติได้แก่ โรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ (A00-R99) กลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99) และโรคของระบบไหลเวียนโลหิต (I00-I99) ระหว่างวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560 รวมเป็นจำนวน 1,286 วัน

3.3 ข้อมูล

ข้อมูล PM₁₀ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์รายชั่วโมง ในช่วง 1 มกราคม พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560 จากฐานข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ โดยการเฝ้าระวังคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ (<http://air4thai.pcd.go.th/webV2/>) ซึ่งมี 1 สถานี และนำข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง หากข้อมูลความเข้มข้นรายชั่วโมงในแต่ละวันจากแต่ละสถานีต่ำกว่าร้อยละ 75 ของจำนวนข้อมูลทั้งหมดในวันนั้น ๆ (18 ชั่วโมง จาก 24 ชั่วโมง) จะถือว่าเป็นข้อมูลสูญหาย (missing)

ข้อมูลข้อมูลการเสียชีวิตจากโรงพยาบาลและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพได้จากฐานข้อมูลของสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ ตามรหัสการวินิจฉัยโรคตามบัญชีจำแนกโรคระหว่างประเทศฉบับที่ 10 (ICD-10) ได้แก่ โรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ (A00-R99) กลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99) และโรคของระบบไหลเวียนโลหิต (I00-I99) ในช่วงวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2556 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560 โดยบันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์ตามแบบบันทึกข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แบบบันทึกข้อมูลเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างฝุ่นละอองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 10 ไมครอน (PM₁₀) กับการเสียชีวิต

วัน เดือนปี	ลำดับ วันของ ปี	วันใน สัปดาห์	วันหยุด/ ไม่หยุด	จำนวน ผู้เสียชีวิต	CO	NO ₂	SO ₂	O ₃	PM ₁₀	อุณหภูมิ	ความชื้น สัมพัทธ์

3.4 การพัฒนาโมเดลสำหรับวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์

ตัวแบบเชิงเส้นน้อยทั่วไป (Generalized Linear Model : GLMs) ถูกพัฒนามาจากตัวแบบเชิงเส้นไป (General Linear Model : LM) หรือตัวแบบเชิงเส้นดั้งเดิม (Classical Linear Model) เป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม แทนด้วย Y (Dependent Variable) กับตัวแปรอิสระ แทนด้วย X (Independent Variable) โดยรูปแบบของตัวแบบเชิงเส้นทั่วไปคือ $Y = f(x, \beta) + \epsilon$

โดยที่ $Y = f(x, \beta)$ เป็นฟังก์ชันระหว่างตัวแปรอิสระ x และพารามิเตอร์ β

Y แทน ตัวแปรตาม

X แทน ค่าของตัวแปรอิสระ

β เป็นเวกเตอร์ของค่าสัมประสิทธิ์ที่แทนอัตราการเพิ่มหรือลดลงของค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม Y เมื่อกำหนดตัวแปรอิสระ X

ϵ เป็นค่าความคลาดเคลื่อน

ถ้า $f(x, \beta)$ เป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ย จะสามารถเขียนตัวแบบใหม่ได้ดังนี้

$$Y = \mu_{y|x} + \epsilon$$

ถ้า $\mu_{y|x} = \alpha + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k$ จะถูกเรียกว่าตัวแบบการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Model)

การวิเคราะห์ด้วยตัวแบบเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model : LM) พบว่ามีข้อจำกัดในการใช้ดังนี้

1. ตัวแปรตาม Y ต้องเป็นตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous Random Variable)
2. ค่าความคลาดเคลื่อนที่ต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal distribution)
3. ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance)

ซึ่งถ้าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนคงที่ เราจะสามารถพิสูจน์ได้ว่าตัวแปรตามจะมีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนคงที่เช่นเดียวกัน และลักษณะของข้อมูลปริมาณมลพิษทางอากาศในจังหวัดนครสวรรค์ไม่เป็นไปตามข้อจำกัดในการวิเคราะห์ตัวแปรเชิงเส้นทั่วไป เพราะบางช่วงมีปริมาณสูง บางช่วงมีปริมาณน้อย ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงได้ใช้ตัวแบบเชิงเส้นน้อยทั่วไป (Generalized Linear Models : GLMs)

เนื่องจากค่าตัวแปรของระดับมลพิษแต่ละชนิด ซึ่งเป็นตัวแปรอิสระนั้น เป็นค่าตัวแปรที่วัดแบบต่อเนื่อง ในขณะที่จำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวันเป็นตัวแปรตามเป็นข้อมูลที่มีความเป็นอิสระต่อกัน มีรูปแบบเป็นค่าจำนวนนับที่มีลักษณะเป็นจำนวนเต็มบวก (positive integer) โดยมีจำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวันไม่มากนักเมื่อเทียบกับจำนวนประชากรที่ศึกษาทั้งหมด ทำให้มีการกระจายของข้อมูลในรูปแบบที่มีใช้บ่อย การกระจายของข้อมูลมีลักษณะการกระจายแบบปัวซอง (Poisson distribution) จึงได้เลือกใช้วิธีการทางสถิติในการวิเคราะห์ และแปรผลด้วยการใช้ Poisson Regression ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์และอิทธิพลระหว่างตัวแปรด้านมลพิษกับตัวแปรด้านอาการต่างๆ เพื่อให้การประเมินหาความสัมพันธ์และพยากรณ์ภาวะทางสุขภาพมีความแม่นยำยิ่งขึ้น

โดยที่ตัวแปรตามในสมการ Poisson regression model นี้มีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งกับตัวแปรอิสระด้านมลพิษและเป็นเส้นโค้งลักษณะเลขชี้กำลัง (exponential curve) จึงมีลักษณะสมการในรูป $Y = ab^x$ แต่เนื่องจาก Y คือจำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวัน ต้องเป็นค่าจำนวนเต็มบวก และเพื่อให้สมการแสดงความสัมพันธ์ในลักษณะที่มีความเป็นเส้นตรงมากขึ้น จึงต้องแปลงค่า Y ให้อยู่ในรูปของ natural logarithm ของจำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวัน รายวัน กล่าวคือ

$$\ln(\text{count จำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวัน}) = \text{ค่าคงที่ } \alpha + \beta_1(X_1) + \beta_2(X_2) + \dots + \beta_k(X_k)$$

โดยที่ α คือค่าคงที่, β คือค่าสัมประสิทธิ์ regression ของตัวแปรของมลพิษ (X) แต่ละตัว และ X คือค่าปริมาณความเข้มข้นของมลพิษแต่ละชนิด

$$\text{ดังนั้น จำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวัน (ราย)} = e^{\alpha + \beta_1(X_1) + \beta_2(X_2) + \dots + \beta_k(X_k)}$$

เมื่อ e คือค่าคงที่ มีค่าประมาณ 2.71828

จากสมการนี้ ทำให้เราสามารถคำนวณหาจำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวัน ได้ว่าจะมีกี่ราย ถ้าเราทราบค่าคงที่ ค่าสัมประสิทธิ์ของมลพิษที่เกี่ยวข้อง และ ค่าความเข้มข้นของมลพิษนั้นๆ ได้

หากต้องการทราบอิทธิพลของมลพิษนั้นๆ ว่าถ้ามีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจากเดิม 1 หน่วยจะมีผู้เสียชีวิตในแต่ละวัน เพิ่มขึ้นจากเดิมเป็นกี่เท่า โดยสามารถตั้งสมการมาคำนวณได้ดังนี้

$$\text{จำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวัน (ราย)} = e^{\alpha + \beta_1(X_1) + \beta_2(X_2) + \dots + \beta_k(X_k)} \quad (\text{สมการที่ 1})$$

$$\text{จำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละวัน เมื่อมลพิษ } X_1 \text{ เพิ่มขึ้น 1 หน่วย (ราย)} = e^{\alpha + \beta_1(X_1+1) + \beta_2(X_2) + \dots + \beta_k(X_k)} \quad (\text{สมการที่ 2})$$

$$\text{จำนวนผู้มีอาการเพิ่ม (เท่า)} = \frac{e^{\alpha + \beta_1(X_1+1) + \beta_2(X_2) + \dots + \beta_k(X_k)}}{e^{\alpha + \beta_1(X_1) + \beta_2(X_2) + \dots + \beta_k(X_k)}}$$

หรือ จำนวนผู้มีอาการเพิ่ม (เท่า) ต่อ 1 หน่วยมลพิษที่เพิ่มขึ้น = $\frac{e^{\beta_1(X_1+1)}}{e^{\beta_1(X_1)}} = \frac{e^{\beta_1(X_1)}e^{\beta_1}}{e^{\beta_1(X_1)}} = e^{\beta_1}$ นั่นเอง
โดยที่ค่า e เป็นค่าคงที่ (2.71828)

ดังนั้นอิทธิพลของมลพิษที่มีต่อการเสียชีวิตจึงขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์ regression ของตัวแปรของมลพิษแต่ละตัว (ค่า β) โดยวัดผลออกมาเป็นจำนวนเท่าของอาการนั้นๆ ที่เพิ่มขึ้น เมื่อมีมลพิษเพิ่มขึ้น 1 หน่วย ซึ่งก็คือ e^β หรือก็คือค่า exponential parameter estimate นั่นเอง

3.5 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาแบบอนุกรมเวลา (time-series design) เพื่อศึกษาผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับอัตราการเสียชีวิตของประชากรจากการรับสัมผัสฝุ่นละออง PM₁₀ ในพื้นที่จังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้การวิเคราะห์ถดถอยปัวซองส์ (Poisson regression) แบบ Generalized linear Model (GLM) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม R ด้วย package distributed lag non-linear model (DLNM) ซึ่งเป็นแพคเกจที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรสิ่งแวดล้อมและผลกระทบต่อสุขภาพที่มีลักษณะทั้งเป็นเส้นตรง

(linear) และไม่เป็นเส้นตรง (non-linear) DLMN สามารถศึกษาความล่าช้าของการเกิดผลกระทบ (delayed effects) หลังจากได้รับสัมผัสสิ่งคุกคาม เพื่อวิเคราะห์สมการความสัมพันธ์พร้อมกับการควบคุมตัวแปรอื่น ๆ ที่อาจจะมีผลกระทบต่อความสัมพันธ์ ได้แก่ อุณหภูมิเฉลี่ย ความชื้นสัมพัทธ์ อิทธิพลของวันในสัปดาห์ (วันอาทิตย์-วันเสาร์) อิทธิพลของวันหยุด นักชัตตฤกษ์ และแนวโน้มในระยะยาว (time trend) ดังสมการต่อไปนี้

$$\log[E(Y_t)] = \text{intercept} + \beta_1 Z_t + \beta_2 \text{DOW}_t + \beta_3 \text{Holiday}_t + \text{ns}(\text{time}_t, 7*5) + \text{ns}(\text{Tt}, 3) + \text{ns}(\text{Rht}, 3) \quad (\text{สมการที่ 3})$$

โดยที่ $E(Y_t)$ คือ ค่าประมาณของการเสียชีวิต ณ วันที่ t ที่ได้จากสมการถดถอย (กล่าวคือ ได้จากการทำนายโดยตัวแปรด้านขวาของสมการที่ 1); Z_t คือค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ณ วันที่ t ; DOW_t คือ อิทธิพลของวันในสัปดาห์ ณ วันที่ t ; Holiday_t คือ อิทธิพลของวันหยุดราชการ ณ วันที่ t ; Tt คือ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน ณ วันที่ t ; Rht คือ ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน ณ วันที่ t ; ns เป็นการควบคุมตัวแปรกวนโดยใช้ Natural cubic splines function สำหรับแนวโน้มในระยะยาวที่ระดับความเป็นอิสระ (Degrees of Freedom: df) เท่ากับ 7 ต่อปี และระดับความเป็นอิสระของอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 3 โดยใช้ค่า Quasi-Akaike Information Criterion (Q-AIC) ที่มีค่าต่ำสุดเป็นเกณฑ์ในการเลือกระดับความเป็นอิสระที่เหมาะสมสำหรับตัวแปรแนวโน้มระยะเวลา ผลจากการศึกษาจะนำเสนอด้วยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk; RR) ด้วยความเชื่อมั่น 95% confidence interval (95%CI) ของการเสียชีวิตต่อการเพิ่มขึ้นของ PM_{10} ทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4. ผลการศึกษา

4.1 ข้อมูลการเสียชีวิต ข้อมูลมลพิษทางอากาศ ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

ผลการศึกษาข้อมูลการเสียชีวิตจังหวัดนครสวรรค์ในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา (1 มกราคม พ.ศ. 2556 – 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560) พบว่าในแต่ละวันมีการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุเฉลี่ยวันละ 20 ± 6 คน การเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจวันละ 3 ± 2 คน และโรคของระบบไหลเวียนโลหิตวันละ 5 ± 3 คน ผลการศึกษามลพิษทางอากาศพบว่าในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา มีปริมาณ PM_{10} เฉลี่ย 51.8 ± 31.4 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยามีอุณหภูมิเฉลี่ย 28.7 ± 2.7 องศาเซลเซียส และมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 73.25 ± 9.7 ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3

ตารางที่ 2 ค่าทางสถิติเฉลี่ยรายวันของข้อมูลการเสียชีวิต ข้อมูลมลพิษทางอากาศ ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (1 มกราคม พ.ศ. 2556 - 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560)

ตัวแปร	จำนวนคนเสียชีวิตรายวัน (คน)		
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
การเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ	2	51	20.6 ± 5.5
การเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต	1	17	4.5 ± 2.3
การเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ	1	8	2.4 ± 1.4

ตารางที่ 3 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของ PM₁₀ และปัจจัยทางด้านอุตุนิยมวิทยา ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา (1 มกราคม พ.ศ. 2556 - 31 ธันวาคม พ.ศ. 2560)

ตัวแปร	ค่าต่ำสุด	ควอร์ไทล์			ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	SD
		Q1	Q2	Q3			
มลพิษอากาศ							
PM ₁₀ (µg/m ³)	6	27.5	41.6	71.6	193.1	51.8	18.70
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา							
อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	15.7	27.4	28.7	30.3	36.0	28.7	2.7
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	40.0	66.0	74.0	81.0	92.38	73.3	9.7

หมายเหตุ : Q1 หมายถึง ควอร์ไทล์ที่ 1, Q2 หมายถึง ควอร์ไทล์ที่ 2, Q3 หมายถึง ควอร์ไทล์ที่ 3 SD หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุการเสียชีวิต ด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจและการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิตที่ lag ต่าง ๆ

ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ กับการเสียชีวิตที่ Lag ต่างๆ โดยที่ Lag 0 หมายถึง การรับสัมผัส PM₁₀ มีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตในวันเดียวกัน ในขณะที่ Lag 1 คือการรับสัมผัส PM₁₀ มีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตในอีก 1 วันถัดไป ซึ่งการศึกษานี้ทำการศึกษาจนถึง Lag 7 (การรับสัมผัส PM₁₀ มีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตในอีก 7 วันถัดไป) รวมทั้งความสัมพันธ์สะสมตั้งแต่ Lag 0 จนถึง Lag 7 (lag 0-7) พบว่า การเพิ่มขึ้นของ PM₁₀ ทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต ที่ Lag 0 อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ที่ Lag อื่นๆ นอกจากนี้ผลการศึกษาพบความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ และการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต ที่ lag 0-7 เท่านั้น อย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติที่ระดับ 0.05 (p <0.05) แต่ไม่พบความสัมพันธ์ที่ Lag อื่นๆ และไม่พบความสัมพันธ์ของการเพิ่มขึ้นของ PM₁₀ ทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรกับการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจที่ Lag ใดๆ เลย ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่ความเชื่อมั่น 95% ของสาเหตุการเสียชีวิตด้วยสาเหตุต่าง ๆ ต่อ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของ PM₁₀ ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละ Lag

lag	การเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ		การเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต		การเสียชีวิตกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ	
	RR	(95%CI)	RR	(95%CI)	RR	(95%CI)
Lag 0	1.009	0.999-1.019	1.022*	1.002-1.043	1.003	0.979-1.028
Lag 1	1.003	0.990-1.015	0.995	0.971-1.020	1.017	0.987-1.049
Lag 2	1.001	0.989-1.014	1.009	0.984-1.034	0.971	0.942-1.001
Lag 3	1.004	0.992-1.014	1.007	0.982-1.032	0.999	0.970-1.030
Lag 4	1.005	0.993-1.017	0.987	0.962-1.011	1.009	0.979-1.039

ตารางที่ 4 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่ความเชื่อมั่น 95% ของสาเหตุการเสียชีวิตด้วยสาเหตุต่าง ๆ ต่อ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของ PM₁₀ ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละ Lag (ต่อ)

lag	การเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ		การเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต		การเสียชีวิตกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ	
	RR	(95%CI)	RR	(95%CI)	RR	(95%CI)
Lag 5	0.993	0.993-1.012	1.012	0.987-1.037	1.014	0.984-1.045
Lag 6	1.000	0.987-1.012	0.996	0.971-1.020	0.993	0.963-1.024
Lag 7	1.004	0.995-1.014	1.007	0.989-1.027	1.005	0.981-1.029
Lag0-7	1.018*	1.007-1.029	1.036*	1.014-1.059	1.011	0.984-1.039

* ความสัมพันธ์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (p <0.05)

4.3 การประเมินความเสี่ยงที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพจากการเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจากข้อมูลการเสียชีวิตในกลุ่มโรคที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของ PM₁₀ ทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตั้งแต่ Lag 0 ถึง Lag 7 พบว่า ที่ Lag 0 ของการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิตมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการรับสัมผัส PM₁₀ และมีความเสี่ยงสัมพันธ์เท่ากับ 1.022 (95% CI: 1.002-1.043) และที่การรับสัมผัสสะสมที่ 8 วัน (Lag 0-7) มีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ และการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเสี่ยงสัมพันธ์เท่ากับ 1.018 (95%CI: 1.00-1.029) และ 1.036 (95%CI: 1.014-1.059) ตามลำดับ แต่ไม่พบความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ ดังแสดงในตารางที่ 4

สำหรับประโยชน์ที่จะได้จากการแสดงค่า exponential parameter (ค่า $\exp(B)$) หรือคือค่า e^B หรือ RR ซึ่งเมื่อแปลผลจากค่าดังกล่าวในโมเดลและสมการข้างต้นแล้ว ค่า e^B นี้จะมีค่าที่เป็นการบ่งบอกถึงจำนวนเท่าของจำนวนผู้เสียชีวิตที่จะเพิ่มขึ้นเป็นกี่เท่าเมื่อมีมลพิษนั้นๆ เพิ่มขึ้นมาอีก 1 หน่วย ทั้งนี้เราสามารถแปลงค่าจำนวนเท่าที่จะเพิ่มขึ้นเป็นค่าจำนวนร้อยละของผู้มีอาการนั้นๆ ว่าจะเพิ่มขึ้นร้อยละเท่าใดเมื่อมลพิษนั้นๆ เพิ่มขึ้นจากเดิม 1 หน่วย จากการศึกษาพบว่า ที่ Lag 0 ของการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิตมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการรับสัมผัส PM₁₀ ที่ความเสี่ยงสัมพันธ์เท่ากับ 1.022 (95% CI: 1.002-1.043) โดยมีค่า $\exp(B)$ เท่ากับ 0.02 ซึ่งหมายถึงการมีจำนวนผู้เสียชีวิตจากกลุ่มโรคระบบไหลเวียนโลหิตเพิ่มขึ้น 0.02 เท่า เมื่อมี PM₁₀ เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัม และที่การรับสัมผัสสะสมที่ 8 วัน (Lag0-7) มีจำนวนผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ และการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิตเพิ่มขึ้น 0.18 และ 0.36 เท่า เมื่อมี PM₁₀ เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัม การศึกษาครั้งนี้ยืนยันถึงผลกระทบที่มีต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากฝุ่นละออง PM₁₀ ของจังหวัดนครสวรรค์ ได้ชัดเจนมากขึ้น รวมถึงผลกระทบหลังจากการรับสัมผัสในช่วง 8 วันหลังจากนั้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องเฝ้าระวัง PM₁₀ เพื่อให้มีการเตรียมรองรับด้านการแพทย์และสาธารณสุขต่อไป

นอกจากนี้ งานวิจัยนี้สามารถหาค่าสัดส่วนของโรคที่เกิดจากสาเหตุหนึ่งๆ (Population Attributable Fraction: PAF) หรือ สัดส่วนของผู้ป่วยที่มาจากสาเหตุหนึ่งๆ จากสมการ ของ Levin⁽⁹⁾

$$PAF = \frac{P(RR - 1)}{P(RR - 1) + 1} \times 100$$

โดย P คือสัดส่วนประชากรของจังหวัดนครสวรรค์

RR คือ ค่าความเสี่ยง (Relative risk) จากการเสียชีวิต จากตารางที่ 4 ที่ การรับสัมผัสสะสมที่ 8 วัน (Lag 0-7)

จากการศึกษาพบว่าผู้ที่เสียชีวิตในจังหวัดนครสวรรค์ในช่วงปีการศึกษา มีผู้ที่เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ ในจังหวัดนครสวรรค์มีสาเหตุเกี่ยวข้องจากการรับสัมผัส PM₁₀ ร้อยละ 1.77 และผู้ที่เสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต มีสาเหตุเกี่ยวข้องจากการรับสัมผัส PM₁₀ ร้อยละ 3.47

5. สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มขึ้นของ PM₁₀ ทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ Lag 0 มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับการรับสัมผัส PM₁₀ กับการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต ที่ความเสี่ยงสัมพันธ์เท่ากับ 1.022 (95% CI: 1.002-1.043) และการรับสัมผัสสะสมที่ 8 วัน (Lag0-7) มีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ และการเสียชีวิตจากกลุ่มโรคของระบบไหลเวียนโลหิต อย่างมีนัยสำคัญที่ความเสี่ยงสัมพันธ์เท่ากับ 1.018 (95%CI: 1.00-1.029) และ 1.036 (95%CI: 1.014-1.059) ดังนั้นในการเฝ้าระวังทางสุขภาพจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองควรทำการเฝ้าระวังสุขภาพอย่างต่อเนื่องอย่างน้อย 8 วัน เนื่องจากในมลพิษทางอากาศยังมีสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ

ผลการศึกษาครั้งนี้ ยืนยันถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดกับประชาชนจากการรับสัมผัส PM₁₀ ซึ่งสอดคล้องการศึกษาของคณะ ทง พันธ์ และคณะ ที่พบว่า การรับสัมผัส PM₁₀ ที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มความเสี่ยงในการเข้ารับการรักษาพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจแผนกผู้ป่วยนอกในเด็กอายุ 0-14 ปี อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีความเสี่ยงสัมพันธ์เท่ากับ 1.02 (95%CI: 1.00-1.05) หลังจากได้รับสัมผัส 6 วัน (Lag 6) และความเสี่ยงสัมพันธ์เท่ากับ 1.02 (95%CI: 1.00-1.04) ในการรับสัมผัสสะสมเป็นเวลา 7 วัน (Lag0-6)⁽¹⁰⁾ ผลการศึกษาลดคล้องกับการศึกษาในประเทศสวีเดน⁽¹¹⁾ ที่พบว่า การรับสัมผัส PM₁₀ มีความสัมพันธ์กับการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจในเด็กอายุ 12 ปี และการศึกษาในแคนาดา⁽¹²⁾ ที่พบความสัมพันธ์กับการรับสัมผัส PM₁₀ ในวันที่ 6 การศึกษาในจีน⁽¹³⁾ พบความสัมพันธ์ของการเพิ่มขึ้นของ PM₁₀ ทุกๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่ Lag 3 กับการเข้ารับการรักษาพยาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกด้วยการติดเชื้อทางเดินหายใจส่วนบนเฉียบพลันในเด็กอายุ 0-14 ปี ซึ่งอาจเนื่องมาจากเด็ก 0-14 ปี มีอัตราการหายใจต่อนาทีสูงกว่าวัยอื่นๆ อวัยวะและภูมิคุ้มกันยังพัฒนาไม่เต็มที่ และใช้ชีวิตอยู่ภายนอกมากกว่า⁽¹⁴⁾

การศึกษาเกี่ยวกับการเสียชีวิตที่ผ่านมามีความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับสาเหตุการตายที่ไม่ใช่อุบัติเหตุในจังหวัดเชียงใหม่ที่การรับสัมผัสสะสม 6 วัน (Lag 0-7) มีความเสี่ยงสัมพันธ์เท่ากับ 1.153 (95%CI: 1.001-1.329) และพบความสัมพันธ์ของการกำเริบอาการเฉียบพลันของโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังด้วย⁽¹⁵⁾

ค่าความเสี่ยงที่ได้จากการศึกษานี้ อาจจะเหมือนหรือมีความแตกต่างจากการศึกษาอื่นๆ เนื่องมาจากความแตกต่างกันของปัจจัยระดับบุคคล ระดับการรับสัมผัสอัตราการหายใจ สภาพอุณหภูมิขององค์ประกอบของมลพิษทางอากาศ สถานที่อยู่อาศัย อาทิ ใกล้ถนนชุมชนเมืองเขตอุตสาหกรรม การรับสัมผัสมลพิษทางอากาศภายในบ้านภูมิประเทศ เป็นต้น⁽¹⁶⁾ อีกทั้งประเทศไทยมีค่าความเข้มข้น โอโซนสูง เนื่องมาจากการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศและปัจจัยเสริมทางด้านแสงแดดตลอดทั้งปี⁽¹⁷⁾ ส่วนในพื้นที่ชนบทมีการเผาในที่โล่งแจ้งทั้ง ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร ขยะมูลฝอย พื้นที่ทางการเกษตร พื้นที่ป่าซึ่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น⁽¹⁸⁾

นอกจากนี้ PM₁₀ ยังกระตุ้นยีนที่ทำให้เกิดการอักเสบโดยกลไกของอนุมูลอิสระ และภาวะ oxidative stress มีผลทำให้เกิดการทำลายและการอักเสบของท่อทางเดินหายใจและเนื้อเยื่อปอด การอักเสบที่รุนแรงนำไปสู่ภาวะถุงลมลึบ ทางเดินหายใจอุดตันการแลกเปลี่ยนก๊าซลดลง ในคนปกติ นำไปสู่การเป็นโรคระบบทางเดินหายใจ⁽¹⁹⁾ เช่น โรคหอบหืด⁽²⁰⁾ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรังและโรคมะเร็งปอด⁽²¹⁾ สำหรับผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น ผู้ที่เป็นโรคหอบหืดหรือหลอดลมอักเสบเรื้อรังอยู่แล้ว จะทำให้อาการมีความรุนแรงมากขึ้น⁽²²⁾

ข้อจำกัดของการวิจัยครั้งนี้คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM₁₀ ที่ได้จากการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาเพียง 1 จุด เป็นตัวแทนของระดับการสัมผัสมลพิษทางอากาศของประชาชน ซึ่งวิธีการเฉลี่ยค่าความเข้มข้นจากทุกสถานีตรวจวัดนี้ อาจทำให้ค่าที่ได้ไม่เท่ากับค่าความเข้มข้นจริงที่แต่ละคนได้รับสัมผัส⁽²³⁾ เนื่องจากปริมาณการสัมผัสของแต่ละบุคคล อาจเป็นผลมาจากพฤติกรรมส่วนบุคคล เช่น ระยะเวลาในการทำกิจกรรมนอกบ้าน ความถี่ของการสัมผัส การใช้เครื่องกรองอากาศ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจส่งผลต่อความสัมพันธ์ของการสัมผัส PM₁₀ จากผลการวิจัยผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

1) หน่วยงานที่ควรกำหนดมาตรการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศระดับนโยบาย เช่น การใช้มาตรการทางกฎหมายเพื่อป้องกันในการกระทำที่อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม การห้ามเผาในที่ทางสาธารณะ มุ่งลดมลพิษที่แหล่งกำเนิด การแก้ปัญหาหมอกควันข้ามแดน เป็นต้น รวมถึงการสนับสนุนนโยบายเพิ่มพื้นที่สีเขียวเพื่อแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน และควรกำหนดมาตรการในการติดตามตรวจสอบผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่

2) กระทรวงสาธารณสุขมีการเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพ โดยผลักดันให้หน่วยงานสาธารณสุขมีการเฝ้าระวังสถานการณ์และแจ้งเตือนภัยความเสี่ยง การเตรียมความพร้อมการจัดบริการด้านการแพทย์และสาธารณสุขและเร่งสร้างความรอบรู้ให้ประชาชนตระหนักถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสมลพิษทางอากาศเพื่อให้ประชาชนสามารถดูแลตนเองเพื่อป้องกันผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น

3) หน่วยงานที่เกี่ยวข้องเช่น กระทรวงสาธารณสุข กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงมหาดไทย ควรมีการสื่อสารคุณภาพอากาศและแนวทางปฏิบัติเพื่อป้องกันตนเองจากการสัมผัสฝุ่นละอองให้ประชาชนทราบ

6.2 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติการ

1) ศูนย์อนามัยที่ 3 นครสวรรค์ จัดทำโครงการพัฒนาศักยภาพภาคีเครือข่ายในการเฝ้าระวังด้านอนามัยสิ่งแวดล้อม เพื่อให้บุคลากรและเจ้าหน้าที่สาธารณสุขมีความรู้ ความเข้าใจ และมีศักยภาพในการเฝ้าระวังด้านอนามัยสิ่งแวดล้อมในพื้นที่

2) สนับสนุนให้หน่วยงานสาธารณสุขมีการวางแผน การเฝ้าระวัง เตือนภัย ด้านสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ

3) พัฒนาชุมชนต้นแบบในการเฝ้าระวังผลกระทบจากฝุ่นละอองโดยชุมชน เพื่อชุมชน เน้นสร้างความรอบรู้ให้ประชาชนในพื้นที่ โดยเฉพาะกลุ่มเปราะบาง เช่นกลุ่มผู้สูงอายุ หญิงตั้งครรภ์และผู้สูงอายุ

6.3 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) ควรทำการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอนแบบเฉาะจงโรค เช่น โรคปอดอักเสบ โรคหอบหืด เป็นต้น เนื่องจากสามารถระบุผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ เฉพาะเจาะจงและนำไปสู่การการปัญหาที่เหมาะสม

2) ควรทำการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็ก โดยคำนึงถึงปัจจัยส่วนบุคคล เช่น เพศ อายุ อาชีพ พื้นที่อาศัย การมีโรคประจำตัว เป็นต้น ปัจจัยด้านสังคมและเศรษฐกิจ การศึกษา เนื่องจากเป็นตัวแปรที่อาจส่งผลต่อการรับสัมผัส PM₁₀

3) ควรทำการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศหลายชนิด (multi-pollutant) เนื่องจากอากาศที่หายใจประกอบด้วยมลพิษทางอากาศหลายชนิด

7. เอกสารอ้างอิง

1. WHO. WHO | Air pollution and health: Summary [Internet]. Who. World Health Organization; 2017 [cited 2018 Feb 7]. Available from: <http://www.who.int/airpollution/ambient/about/en/>
2. Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ Int*. 2015 Jan 1;74:136–43.
3. Peng RD, Chang HH, Bell ML, McDermott A, Zeger SL, Samet JM, et al. Coarse particulate matter air pollution and hospital admissions for cardiovascular and respiratory diseases among medicare patients. *JAMA - J Am Med Assoc* [Internet]. 2008 May 14 [cited 2021 Jul 5];299(18):2172–9. Available from: <https://jamanetwork.com/>
4. Johnston FH, Bailie RS, Pilotto LS, Hanigan IC. Ambient biomass smoke and cardio-respiratory hospital admissions in Darwin, Australia. *BMC Public Health*. 2007;7.
5. Chang C, Tsai S, Yang C. Air Pollution and Hospital Admissions for Cardiovascular Disease in Taipei, Taiwan. *Epidemiology*. 2007 Sep;18(5):S8–9.
6. Thongphunchung K, Phosri A, Tanasri S, Patthanaissaranukool. The association between exposure to PM10 and outpatient department visits for respiratory diseases among children aged 0-14 years in Samut Prakan province. *Dis Control J* [Internet]. 2020 [cited 2021 Jul 5];47. Available from: <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/DCJ/article/view/241141/168278>
7. Phosri A, Ueda K, Phung VLH, Tawatsupa B, Honda A, Takano H. Effects of ambient air pollution on daily hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Bangkok, Thailand. *Sci Total Environ*. 2019 Feb 15;651:1144–53.
8. Thai PBS News. “นครสวรรค์” ค่าฝุ่น PM2.5 พิกัดสุตรอบ 10 วัน ผู้ว่าฯ ถกด่วนพรุ่งนี้ [Internet]. 2563 [cited 2021 Jul 5]. Available from: <https://news.thaipbs.or.th/content/288108>
9. ML L. The occurrence of lung cancer in man [Internet]. *Acta Unio Int Contra Cancrum*. 1953 [cited 2023 Feb 11]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13124110/>
10. Thongphunchung K, Phosri A, Sihabut T, Patthanaissaranukool W. The association between exposure to PM10 and outpatient department visits for respiratory diseases among children aged 0-14 years in Samut Prakan province. *Dis Control J* [Internet]. 2021 Mar 31 [cited 2023 Feb 12];47(1):13–24. Available from: <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/DCJ/article/view/241141>

11. Wiwatanadate P. Acute Air Pollution–Related Symptoms Among Residents in Chiang Mai, Thailand on JSTOR [Internet]. *Journal of Environmental Health*. 2014 [cited 2023 Feb 12]. p. 76–85. Available from: <https://www.jstor.org/stable/26329960>
12. Lin M, Chen Y, Burnett RT, Villeneuve PJ, Krewski D. The influence of ambient coarse particulate matter on asthma hospitalization in children: case-crossover and time-series analyses. *Environ Health Perspect* [Internet]. 2002 [cited 2023 Feb 12];110(6):575. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1240873/>?report=abstract
13. Li YR, Xiao CC, Li J, Tang J, Geng XY, Cui LJ, et al. Association between air pollution and upper respiratory tract infection in hospital outpatients aged 0-14 years in Hefei, China: a time series study. *Public Health* [Internet]. 2018 Mar 1 [cited 2023 Feb 12];156:92–100. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29408194/>
14. Kulkarni N, Grigg J. Effect of air pollution on children. *Paediatr Child Health (Oxford)*. 2008 May 1;18(5):238–43.
15. Pothirat C, Chaiwong W, Liwsrisakun C, Bumroongkit C, Deesomchok A, Theerakittikul T, et al. Acute effects of air pollutants on daily mortality and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases. *J Thorac Dis* [Internet]. 2019 Jul 1 [cited 2023 Feb 12];11(7):3070–83. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31179877/>
16. Wang IJ, Tung TH, Tang CS, Zhao ZH. Allergens, air pollutants, and childhood allergic diseases. *Int J Hyg Environ Health*. 2016 Jan 1;219(1):66–71.
17. Suthawaree J, Tajima Y, Khunchornyakong A, Kato S, Sharp A, Kajii Y. Identification of volatile organic compounds in suburban Bangkok, Thailand and their potential for ozone formation. *Atmos Res*. 2012 Feb;104–105:245–54.
18. Chantara S, Sillapapiromsuk S, Wiriya W. Atmospheric pollutants in Chiang Mai (Thailand) over a five-year period (2005-2009), their possible sources and relation to air mass movement. *Atmos Environ*. 2012 Dec;60:88–98.
19. Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. Vol. 74, *Environment International*. Elsevier Ltd; 2015. p. 136–43.
20. Zhang XL, Zhao LJ, Tong DQ, Wu GJ, Dan M, Teng B. A Systematic Review of Global Desert Dust and Associated Human Health Effects. *Atmosphere (Basel)*. 2016;7(12).
21. Guan WJ, Zheng XY, Chung KF, Zhong NS. Impact of air pollution on the burden of chronic respiratory diseases in China: time for urgent action. *Lancet*. 2016 Oct 15;388(10054):1939–51.
22. Nel AE, Diaz-Sanchez D, Ng D, Hiura T, Saxon A. Enhancement of allergic inflammation by the interaction between diesel exhaust particles and the immune system. *J Allergy Clin Immunol*. 1998;102(4 Pt 2):539–54.
23. Sangkharat K, Fisher P, Thomas GN, Thornes J, Pope FD. The impact of air pollutants on ambulance dispatches: A systematic review and meta-analysis of acute effects. *Environ Pollut* [Internet]. 2019 Nov 1 [cited 2019 Aug 20];254:112769. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749118343392>