



รายงาน

การศึกษาผลกระทบและคาดการณ์
ผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ
และการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจาก
คุณภาพอากาศของประเทศไทย



การศึกษาผลกระทบและคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพ
จากมลพิษทางอากาศและการพัฒนาดัชนีสุขภาพ
อันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศของประเทศไทย

โดย

นางสาวกรวิภา ปุณณศิริ
นางสาวเบญจวรรณ ธวัชสุภา
นางสาวณัฐกานต์ ฉัตรวิไล
นางสาวทิพย์กมล ภูมิพันธ์
นายอาทิตย์ โพธิ์ศรี

โดย

กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ
กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอขอบคุณ บุคคลและหน่วยงานที่กรุณาอนุเคราะห์ทำให้งานวิจัย เรื่อง “การศึกษาผลกระทบและคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ และการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศของประเทศไทย” โดยเฉพาะผู้เชี่ยวชาญและหน่วยงานภาคีร่วมดำเนินการ ได้แก่ สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข สำนักงานจัดการคุณภาพอากาศและสิ่งแวดล้อมควบคุมมลพิษ กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนข้อมูลการตายของประชากรซึ่งเป็นข้อมูลจากบัญชีสถิติ ICD –10 (International Statistical Classification of Diseases: ICD) ข้อมูลมลพิษทางอากาศ และข้อมูลสภาพภูมิอากาศ และขอขอบคุณ นายแพทย์ดนัย ธีวันดา รองอธิบดีกรมอนามัยที่ให้การสนับสนุนและให้ข้อเสนอแนะให้การพัฒนางานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณประโยชน์ของงานวิจัยฉบับนี้ ขอมอบแด่ประเทศชาติ และประชาชนไทย เพื่อการลดและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ นำไปสู่การมีคุณภาพชีวิตที่ดีและอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการมีสุขภาพดี

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

มลพิษทางอากาศไม่ว่าจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมโครเมตร (PM10) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมโครเมตร (PM2.5) ก๊าซโอโซน (O_3) และออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) นั้น หากร่างกายได้รับสัมผัสในปริมาณสูงหรือเป็นเวลานานอาจส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ในหลายระบบ เช่น ระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบตา และระบบผิวหนัง นอกจากนี้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กยังเพิ่มความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากภาวะเส้นเลือดอุดตันในสมองและทำให้น้ำหนักของทารกในครรภ์ลดลงอีกด้วย และหากมลพิษทางอากาศยังเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี อาจส่งผลให้อัตราการเสียชีวิตของประชาชนที่มีสาเหตุมาจากมลพิษทางอากาศนั้นมีเพิ่มมากขึ้น

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศ (PM10 PM2.5 NO_2 และ O_3) กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตของประเทศไทย วิธีวิจัยที่ใช้ในการการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพครั้งนี้ ใช้ข้อมูลมลพิษอากาศและอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยรายวัน (NO_2 , O_3 , PM10 PM2.5 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย รวมทั้งข้อมูลสุขภาพ (ข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (ICD10: J00-J99) และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (ICD10: I00-I99) จากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ ตลอดจนข้อมูลผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรค (ICD10: A00-R99) จากสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข) ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2563 สำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตจากมลพิษอากาศในการศึกษานี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรกคือการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตในแต่ละจังหวัด โดยใช้วิธีการศึกษาแบบอนุกรมเวลา (Time-series Design) ด้วยสมการ Generalized Linear Model (GLM) ซึ่งเป็นวิธีการศึกษาทางระบาดวิทยาที่นิยมใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศในระยะสั้น โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของมลพิษอากาศและสุขภาพที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา ดังนั้น ปัจจัยใดที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะไม่ถูกนำมาพิจารณาเป็นตัวแปรกวนในการวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา เช่น เพศ อายุ พฤติกรรมการกิน พฤติกรรมการสูบบุหรี่ เป็นต้น ทั้งนี้ ตัวแปรกวนที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลาในการศึกษานี้ ได้แก่ ฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงระยะยาว วันของสัปดาห์ และอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อจำนวนการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต เช่น ในวันทำการปกติมีจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาพยาบาลอาจมากกว่าในวันเสาร์หรือวันอาทิตย์ เป็นต้น ดังนั้น ปัจจัยดังกล่าวจำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วย อีกทั้งการศึกษานี้มีการพิจารณาระยะก่อกำเนิดการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ที่ล่าช้า (Lagged Effect) ของมลพิษอากาศและการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตเป็นระยะเวลา 7 วัน (Lag 0-7) และนำค่าความเสี่ยงจาก Lag ที่มากที่สุดมาใช้ในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศต่อไป โดยการวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลาในการศึกษานี้กำหนดให้ข้อมูลจำนวนเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือผู้เสียชีวิตรายวันมีการกระจายตัวแบบ quasi-Poisson เพื่อรองรับการกระจายตัวของข้อมูลที่มากเกินไป (Over dispersion) โดยได้ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิด (PM10 PM2.5 NO_2 หรือ O_3) ในระดับประเทศ โดยค่าสัมประสิทธิ์สำหรับมลพิษอากาศแต่ละชนิดจะแสดงถึงความเสี่ยงของการ

เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากการรับสัมผัส PM10 หรือ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและจากการรับสัมผัส NO₂ หรือ O₃ ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 ppb

นอกจากนี้ ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศ (PM10, PM2.5, NO₂ และ O₃) กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตของประเทศไทย สามารถนำมาจัดทำดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) สำหรับประเทศไทย เนื่องจากดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ที่ประเทศไทยใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นค่าที่แสดงถึงมลพิษอากาศเพียงชนิดเดียว (PM10, PM2.5, NO₂, SO₂, O₃ หรือ CO) ที่มีค่า AQI สูงที่สุดในเวลานั้น ๆ แต่ในความเป็นจริงคนเราทุกคนไม่ได้หายใจเฉพาะมลพิษอากาศชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่มีการสูดหายใจมลพิษอากาศทุกชนิดที่มีอยู่ในบรรยากาศขณะนั้น ดังนั้นค่า AQI จึงไม่ได้บ่งบอกปริมาณสารมลพิษทั้งหมดที่สูดเข้าไปในร่างกาย อีกทั้งการนำค่า AQI ของมลพิษอากาศทุกตัวมารวมกัน ก็ยังมีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากมลพิษอากาศแต่ละตัวมีความรุนแรงต่อสุขภาพแตกต่างกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาความรุนแรงต่อสุขภาพของมลพิษอากาศแต่ละตัว และพัฒนาเป็นดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) โดยอาศัยหลักการที่ว่ามลพิษอากาศชนิดใดมีความรุนแรงของผลกระทบมากกว่าก็จะมีน้ำหนักในการคำนวณผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่า สำหรับการจัดทำดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) ในการศึกษาี้ เกิดจากผลรวมของความเสี่ยงสัมผัสของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรกระบบทางเดินหายใจและโรกระบบหัวใจและหลอดเลือดหรือความเสี่ยงสัมผัสของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิด (NO₂, O₃, PM10 และ PM2.5) จากการศึกษาแบบ Time-series Design ด้วยสมการ Generalized Linear Model (GLM) ภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลแบบ quasi-Poisson ซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายของการศึกษาี้ คือ ดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) ที่ประกอบด้วยมาตราวัดตั้งแต่ 0 (ความเสี่ยงต่ำ) ถึง 10⁺ (ความเสี่ยงสูงมาก) โดยผลที่ได้จากการศึกษาี้ คือ เกณฑ์ AQHI ที่สามารถนำไปใช้เพื่อการเฝ้าระวังและสื่อสารเตือนภัยด้านสุขภาพจากมลพิษทางอากาศได้ อันจะนำไปสู่การลดและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศต่อไป

สารบัญ

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร.....	ข
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทคัดย่อ.....	ซ
Abstract	ฅ
รายการคำย่อ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 นิยามศัพท์.....	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	5
2.1 สถานการณ์มลพิษทางอากาศในประเทศไทย และผลกระทบต่อสุขภาพ.....	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศทั้งในและต่างประเทศ	9
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพโดยทั่วไปที่เกิดจากมลพิษในอากาศ	10
2.4 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศ.....	12
2.4.1 การศึกษาแบบอนุกรมเวลา (Time-series Design)	12
2.4.2 การศึกษาแบบไขว้เวลาสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย (Time Stratified Case-crossover Design).....	13
2.5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพแสดงด้วยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk).....	14
2.6 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI)	22
2.6.1 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) จากหลักฐานทางระบาดวิทยา	22
2.6.2 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศ (AQHI) จากแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก (WHO AQG)	24
2.6.3 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศ (AQHI) จากความเสี่ยงสัมพัทธ์.....	26
2.6.4 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศ (AQHI) ด้วยวิธีอื่น ๆ	28
2.7 สรุป.....	30
2.7.1 สรุปการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศ	30
2.7.2 บทสรุปการทบทวนบทความที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศ	31

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 วิธีการศึกษา	32
3.1 ขอบเขตการศึกษา	32
3.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ	33
3.3 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI)	35
บทที่ 4 ผลการศึกษา	37
4.1 ข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุตุวิทยามหาวิทยาลัย	37
4.2 ข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและข้อมูลการเสียชีวิต	43
4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและ การเสียชีวิตของประเทศไทย	45
4.4 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI)	69
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	74
5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการศึกษา	74
5.2 ข้อเสนอแนะต่อการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์	79
5.3 ข้อเสนอแนะต่อการศึกษาต่อไป	80
5.4 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย	80
5.5 สรุปท้ายบท	81
บรรณานุกรม	82

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1	ค่ามาตรฐานสารมลพิษที่สำคัญในประเทศไทย	7
ตารางที่ 2	จำนวนผู้ป่วยที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศในปี 2563	8
ตารางที่ 3	ค่าทางสถิติของมลพิษทางอากาศและอุตุนิยมวิทยาในแต่ละจังหวัดในช่วง พ.ศ. 2559 – 2563	38
ตารางที่ 4	ค่าทางสถิติของข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วย โรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจในแต่ละจังหวัดในช่วง พ.ศ. 2559 – 2563	43
ตารางที่ 5	ค่าทางสถิติของข้อมูลการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคในแต่ละจังหวัดในช่วง พ.ศ. 2558 – 2562 ...	46
ตารางที่ 6	ค่าทางสถิติของข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอก ด้วยโรคระบบหัวใจและ หลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจและสถิติของ การเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุจาก 77 จังหวัด.....	49
ตารางที่ 7	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและ หลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจที่ Lag ต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ห่อภิมาณ (Meta- analysis)	52
ตารางที่ 8	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจ และ หลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัส NO ₂ O ₃ PM10 และ PM2.5	57
ตารางที่ 9	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุที่ Lag ต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ห่อภิมาณ (Meta-analysis)	61
ตารางที่ 10	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ใช่อุบัติเหตุที่สัมพันธ์ กับการรับสัมผัส NO ₂ O ₃ PM10 และ PM2.5	67
ตารางที่ 11	ค่า c ที่นำมาใช้ในการคำนวณ AQHI	70
ตารางที่ 12	ระดับของ AQHI และข้อเสนอแนะเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ..	71
ตารางที่ 13	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิต ต่อ IQR ของ AQHI และ AQI ที่เพิ่มขึ้น	73

สารบัญภาพ

ภาพที่ 1	จำนวนป่วยจำแนกรายเดือน ด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ปี 2563.....	8
ภาพที่ 2	ความสัมพันธ์ระหว่าง NO ₂ และผลกระทบต่อสุขภาพ	18
ภาพที่ 3	ความสัมพันธ์ระหว่าง O ₃ และผลกระทบต่อสุขภาพ	19
ภาพที่ 4	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM10 และผลกระทบต่อสุขภาพ	20
ภาพที่ 5	ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 และผลกระทบต่อสุขภาพ	21
ภาพที่ 6	มาตรวัดความเสี่ยงของดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI Scales)	36
ภาพที่ 7	ความเข้มข้นของมลพิษอากาศเฉลี่ยรายวันของแต่ละจังหวัดในช่วงเวลาที่ศึกษา	38
ภาพที่ 8	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ NO ₂ ในแต่ละจังหวัด	39
ภาพที่ 9	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ O ₃ ในแต่ละจังหวัด	40
ภาพที่ 10	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ PM10 ในแต่ละจังหวัด	41
ภาพที่ 11	ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ PM2.5 ในแต่ละจังหวัด	42
ภาพที่ 12	ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศกับการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกที่ Lag ต่าง ๆ	51
ภาพที่ 13	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกเมื่อ PM10 เพิ่มขึ้นทุก 10 µg/m ³ ที่	53
ภาพที่ 14	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกเมื่อ PM2.5 เพิ่มขึ้นทุก 10 µg/m ³	54
ภาพที่ 15	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกเมื่อ NO ₂ เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb	55
ภาพที่ 16	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกเมื่อ O ₃ เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb	56
ภาพที่ 17	Exposure-response Relationships ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิด และความเสี่ยงของการเข้า รับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอก	58
ภาพที่ 18	Province-specific Exposure-response Relationships และ Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) ของความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดและการเข้ารับการ รักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอก	59
ภาพที่ 19	ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศกับการเสียชีวิตที่ Lag ต่าง ๆ	60
ภาพที่ 20	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตเมื่อ PM10 เพิ่มขึ้นทุก 10 µg/m ³ ที่ Lag 0	63
ภาพที่ 21	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตเมื่อ PM2.5 เพิ่มขึ้นทุก 10 µg/m ³ ที่ Lag 0	64
ภาพที่ 22	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตเมื่อ NO ₂ เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ที่ Lag 0	65
ภาพที่ 23	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตเมื่อ O ₃ เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ที่ Lag 4	66
ภาพที่ 24	Exposure-response Relationships ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดและความเสี่ยงของการ เสียชีวิตด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ	68
ภาพที่ 25	Province-specific Exposure-response Relationships และ Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) ของความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดและการเสียชีวิต	69
ภาพที่ 26	Exposure-response Relationships ระหว่าง AQHI และความเสี่ยงของการใช้บริการผู้ป่วยนอก	72
ภาพที่ 27	Exposure-response Relationships ระหว่าง AQHI และความเสี่ยงของการเสียชีวิต	72
ภาพที่ 28	Exposure-response Relationships ระหว่าง AQI และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิต	72

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการศึกษาผลกระทบและคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ และการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศของประเทศไทย โดยข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา คือ ข้อมูลมลพิษทางอากาศเฉลี่ยรายวัน (NO_2 , O_3 , PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$) ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ และข้อมูลสุขภาพ ได้แก่ ข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (ICD10: J00-J99) และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (ICD10: I00-I99) จากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ ตลอดจนข้อมูลผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ (ICD10: A00-R99) จากกระทรวงสาธารณสุขในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2563 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้รูปแบบการศึกษาแบบอนุกรมเวลาด้วยการใช้สมการ Quasi-Poisson Regression Model ในการศึกษาความสัมพันธ์ของระดับมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดกับจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก และจำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละจังหวัด จากนั้นผลกระทบในแต่ละจังหวัดถูกนำมาวิเคราะห์ร่วมกันภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวแบบสุ่ม (Random Distribution) เพื่อคาดการณ์ผลกระทบของมลพิษทางอากาศต่อการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก และการเสียชีวิตในระดับประเทศ โดยแสดงด้วยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk: RR) ต่อการเพิ่มขึ้นของระดับมลพิษทางอากาศ ที่ได้จากการวิเคราะห์ห่อภิมาณชนิดตัวแปรสุ่ม (Random-effect Meta-analysis) จากการศึกษาพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก มีค่าสูงที่สุดที่ Lag 0 โดยมีค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่ 1.0533 (95% CI: 1.0386, 1.0682) เมื่อ NO_2 เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb และมีค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ต่อการเพิ่มขึ้นทุก $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ของ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ที่ 1.0119 (95% CI: 1.0083, 1.0156) และ 1.0123 (95% CI: 1.0065, 1.0182) ตามลำดับ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง O_3 และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกมีค่าสูงที่สุดที่ Lag 1 โดยมีค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ 1.0100 (95% CI: 1.0003, 1.0198) เมื่อ O_3 เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb นอกจากนี้ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ NO_2 ที่ Lag 0 มีค่า 1.0302 (95% CI: 1.0188, 1.0418) และความเสี่ยงสัมพัทธ์เมื่อ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ เพิ่มขึ้นทุก $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ Lag 0 มีค่า 1.0092 (95% CI: 1.0061, 1.0122) และ 1.0220 (95% CI: 1.0142, 1.0298) ตามลำดับ นอกจากนี้ ความเสี่ยงสัมพัทธ์เมื่อ O_3 เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ที่ Lag 4 มีค่า 1.0100 (95% CI: 1.0030, 1.0171) ทั้งนี้ เมื่อเปลี่ยนค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์เป็นค่าสัมประสิทธิ์ (β) ต่อความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด โดยใช้ลอการิทึมธรรมชาติ (Natural Logarithm) เพื่อนำไปใช้คำนวณ Morbidity/Mortality Weighted Excess Cases (MWEC) โดยค่า MWEC ในวันที่มีค่ามากที่สุด (c) จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณระดับของ AQHI โดยระดับ AQHI มีค่าระหว่าง 1 – 10+ ซึ่งหมายถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพต่ำ – สูงมาก จากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศ และ AQHI แต่ละระดับจะมีข้อเสนอแนะเชิงพฤติกรรมเพื่อลดหรือหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศ โดยสรุปการศึกษานี้ พบว่า ระดับมลพิษทางอากาศที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและจำนวนผู้เสียชีวิตของประเทศไทย ดังนั้น จึงควรมีข้อเสนอแนะในการผลักดันนโยบายเพื่อลดแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศอย่าง รวมทั้งสร้างความตระหนักถึงการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน เพื่อลดการเจ็บป่วย เสียชีวิตและสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของคนไทย

คำสำคัญ มลพิษทางอากาศ , การเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก, การเสียชีวิต

Abstract

This study aimed to investigate the association between air pollutants (NO_2 , O_3 , PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$) and outpatient department visits and mortality in Thailand. Daily average concentration data for NO_2 , O_3 , PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ as well as meteorological data (temperature and relative humidity) from all available monitoring stations in Thailand was obtained from the Pollution Control Department. The daily number of outpatient department (OPD) visits data for respiratory (ICD10: J00-J99) and cardiovascular (ICD10: I00-I99) diseases under the Universal Health Coverage scheme was obtained from the National Health Security Office in the same period and the daily number of non-accidental mortality (ICD10: A00-R99) was obtained from the Strategy and Planning Division under the Ministry of Public Health during 1 January 2016 through 31 December 2020. Time-series analysis with quasi-Poisson regression model was applied to investigate the province-specific association of individual air pollution with OPD visits and mortality. Then, province-specific estimates were pooled to derive the relative risk (RR) as the national effects of individual air pollution on OPD visits and mortality using the multivariate meta-analysis.

Findings from this study showed that there were the association between NO_2 , PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ among OPD visits was the highest at current day (lag 0), whereas that of O_3 was peaked at lag 1 day. The relative risk (RR) of OPD visits per 10 ppb increase in NO_2 was 1.0533 (95% CI: 1.0386, 1.0682) and RR per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ was 1.0119 (95% CI: 1.0083, 1.0156) and 1.0123 (95% CI: 1.0065, 1.0182), respectively. The RR per 10 ppb increase in O_3 was 1.0100 (95% CI: 1.0003, 1.0198) at lag 1 day. Moreover, the effect of NO_2 , PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ on non-accidental mortality was the highest at current day (lag 0), whereas that of O_3 was peaked at lag 4 days. The RR of non-accidental mortality per 10 ppb increase in NO_2 and O_3 was respectively 1.0302 (95% CI: 1.0188, 1.0418) and 1.0100 (95% CI: 1.0030, 1.0171) and RR per $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ increase in PM_{10} and $\text{PM}_{2.5}$ was 1.0092 (95% CI: 1.0061, 1.0122) and 1.0220 (95% CI: 1.0142, 1.0298), respectively. In summary, this study found that increased air pollution levels were associated with an increase in the number of outpatient services and the number of deaths in Thailand. Therefore, policy recommendations should be made to reduce sources of air pollution seriously and raise public awareness on health impact prevention to reduce illness and death as well as to create a good quality of life for Thai population.

Keywords: air pollution, Outpatient department visits, Mortality

รายการคำย่อ

CI	confidence interval
CO	carbon monoxide
df	degree of freedom
GAM	generalized additive model
GLM	generalized linear model
NO ₂	nitrogen dioxide
NO _x	oxide of nitrogen
PM _{2.5}	particulate matter with diameter ≤ 2.5 micrometer
PM ₁₀	particulate matter with diameter ≤ 10 micrometer
ppb	part per billion
O ₃	ozone
SO ₂	sulfur dioxide

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

มลพิษทางอากาศ เป็นการปนเปื้อนของสารเคมี สารประกอบทางกายภาพ และสารทางชีววิทยาในสิ่งแวดล้อม ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาผลาญของเครื่องยนต์ ยานพาหนะ อุตสาหกรรม หรือไฟฟ้า องค์การอนามัยโลกรายงาน ในปี 2019 ทั่วโลกมีผู้เสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศปีละ 4.2 ล้านคน (WHO, 2020) ซึ่งมากเป็น 3 เท่าของการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุและร้อยละ 88 เกิดขึ้นในประเทศที่มีรายได้ระดับต่ำถึงปานกลาง ส่วนใหญ่อยู่ในภูมิภาคเอเชียและแปซิฟิกตะวันตก ในปี 2019 พบว่า ร้อยละ 90 ของประชากรโลกอาศัยอยู่ในบริเวณที่มีคุณภาพอากาศแย่ในระดับที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ หรืออยู่ในระดับที่สูงกว่าค่าที่องค์การอนามัยโลกแนะนำ การศึกษาซึ่งตีพิมพ์ใน Lancet ปี 2000 (Künzli et al., 2000) รายงานการประเมินของสหภาพยุโรป พบว่า มลพิษทางอากาศทำให้เสียชีวิตคิดเป็นร้อยละ 6 ของอัตราตายทั้งหมดหรือปีละประมาณ 40,000 คน และครึ่งหนึ่งมีสาเหตุมาจากมลพิษที่เกิดจากการจราจร รวมถึงการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม (Künzli et al., 2000) และยังก่อให้เกิดผู้ป่วยหลอดลมอักเสบในผู้ใหญ่รายใหม่ปีละ 25,000 ราย หลอดลมอักเสบในเด็กปีละ 290,000 ครั้ง หอบหืดมากกว่า 0.5 ล้านครั้ง และกว่า 16 ล้านคนที่ต้องถูกจำกัดกิจวัตรประจำวัน (Xiaoyu, 2016)

ประเทศไทยประสบกับปัญหามลพิษทางอากาศ ทั้งจากการเผาไหม้จากโรงงานอุตสาหกรรม การเผาในที่โล่งทางเกษตรกรรม การเผาไหม้น้ำมันดิบ ไอเสียรถยนต์ดีเซล และการเผาไหม้ในเตาเผาครัวเรือน ข้อมูลจากเฝ้าระวังของกรมควบคุมมลพิษในช่วงปี 2560 - 2563 พบว่า ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ก๊าซโอโซน (O₃) ยังคงมีค่าเกินค่ามาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) ซึ่งมลพิษทางอากาศอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ หากร่างกายได้รับสัมผัสในปริมาณสูงหรือเป็นเวลานาน อาจส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพได้ในหลายระบบ เช่น ระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด ระบบตา และระบบผิวหนัง นอกจากนี้ ฝุ่นละอองขนาดเล็กยังเพิ่มความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากภาวะเส้นเลือดอุดตันในสมอง และทำให้น้ำหนักของทารกในครรภ์ลดลงอีกด้วย และหากมลพิษทางอากาศยังเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ปี อาจส่งผลให้อัตราการเสียชีวิตของประชาชนที่มีสาเหตุมาจากมลพิษทางอากาศนั้นมีเพิ่มมากขึ้น โดยผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษทางอากาศแต่ละชนิด มีความรุนแรงแตกต่างกัน ที่ผ่านมามีการศึกษาพบว่ามลพิษทางอากาศส่งผลให้เกิดปัญหาสุขภาพร้ายแรงหลายประการ เช่น โรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจอย่างหอบหืดหรือความผิดปกติในการทำงานของปอด โรคที่เกี่ยวข้องกับหัวใจและหลอดเลือด การคลอดก่อนกำหนดหรือแม้แต่การเสียชีวิต นอกจากนี้ องค์การอนามัยโลกและองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) ระบุว่ามลพิษทางอากาศเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้ (International Agency for Research on Cancer, 2011)

องค์การอนามัยโลก ได้ส่งเสริมให้ประเทศต่างๆ ตระหนักและให้ความสำคัญในการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ (WHO, 2020) ซึ่งรวมถึงการพัฒนาขีดความสามารถให้ภาคสาธารณสุขมีบทบาทและความเข้มแข็งในการดำเนินงานด้วยการสนับสนุนเครื่องมือและองค์ความรู้ รวมทั้งสนับสนุนให้ทุกภาคส่วนคำนึงถึงสุขภาพ เพื่อให้สามารถบรรลุเป้าหมายแห่งการพัฒนาที่ยั่งยืน หรือ Sustainable Development Goals โดยตัวชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศคือ SDG3 การมีสุขภาพและความเป็นอยู่ที่ดี มีตัวชี้วัดย่อยที่ 3.9.1 (การเสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศ) และ SDG11 เมืองและถิ่นฐานมนุษย์อย่างยั่งยืน ในตัวชี้วัดย่อยที่ 11.6.2 (ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก)

สำหรับประเทศไทย โดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานหลักที่ดำเนินงานในการควบคุมมลพิษ การตรวจวัดสารมลพิษดำเนินการโดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติ ซึ่งใช้ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index) เป็นตัวบ่งชี้สถานการณ์มลพิษทางอากาศในภาพรวม โดยใช้สารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่ ปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน (PM2.5) ปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM10) โอโซน (O₃) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) เป็นตัวแทนของมลพิษทางอากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศ หรือ AQI เกิน 100 หมายถึง มลพิษทางอากาศเกินค่ามาตรฐาน แสดงว่าในอากาศมีความเข้มข้นของมลพิษค่อนข้างสูงหรือสูงมาก โดยเกณฑ์ดังนี้

- 0-50 ใช้สีฟ้าเป็นสัญลักษณ์

หมายถึง คุณภาพของอากาศอยู่ในระดับดี และไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

- 51-100 ใช้สีเขียวเป็นสัญลักษณ์

หมายถึง คุณภาพของอากาศอยู่ในระดับปานกลาง และไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพ

- 101-200 ใช้สีเหลืองเป็นสัญลักษณ์

หมายถึง คุณภาพของอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพ ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายนอกอาคาร เด็กและผู้สูงอายุไม่ควรทำกิจกรรมภายนอกอาคารนาน ๆ

- 201-300 ใช้สีส้มเป็นสัญลักษณ์

หมายถึง คุณภาพของอากาศมีผลกระทบต่อสุขภาพมาก ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงการทำกิจกรรมนอกอาคาร เด็กและผู้สูงอายุควรลดการออกกำลังกายนอกอาคาร

- มากกว่า 300 ใช้สีแดงเป็นสัญลักษณ์

หมายถึง คุณภาพของอากาศเป็นอันตราย ผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจควรอยู่แต่ภายในอาคาร บุคคลทั่วไปควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายนอกอาคาร

ปัญหาที่พบในการรายงานผลคุณภาพอากาศในบรรยากาศ โดยทั่วไปในรูปแบบดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) คือ ในหลาย ๆ เว็บไซต์ (ที่ไม่ใช่ของกรมควบคุมมลพิษ) มีการรายงานผล AQI ณ เวลาตรวจวัดจริง (Realtime) และ AQI สำหรับผลการตรวจวัดระยะสั้น เช่น ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ที่ไม่มีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปไว้ ซึ่งเป็นการรายงานผลที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการและจะทำให้เป็นค่าดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ที่คำนวณได้สูงกว่าความเป็นจริง ทั้งนี้ เนื่องจากการคำนวณ AQI จะคำนวณโดยมีการเชื่อมโยงระหว่างค่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้จริงกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศสำหรับช่วงเวลาการตรวจวัดเดียวกันด้วย ดังนั้น หากไม่มีค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศกำหนดไว้สำหรับช่วงระยะเวลาการตรวจวัดนั้น ๆ ก็ไม่สามารถที่จะคำนวณค่า AQI ได้ อย่างไรก็ตาม United States Environmental Protection Agency (U.S.EPA, 2014) ได้อธิบายเกี่ยวกับดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ไว้ว่า การใช้ AQI สิ่งสำคัญคือต้องคำนึงไว้ว่าความเข้มข้นที่ใช้ในการคำนวณ AQI นั้น เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ยาวนาน (เช่น เกิน 24 ชั่วโมง) ไม่ใช่แค่การอ่านครั้งเดียวในช่วงเวลาไม่กี่นาทีหรือชั่วโมง ทั้งนี้ AQI ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ของประเทศไทยเป็นค่าที่แสดงถึงมลพิษอากาศเพียงชนิดเดียว ที่มีค่า AQI สูงที่สุดในเวลานั้น ๆ แต่ในความเป็นจริงคนเราทุกคนไม่ได้หายใจเฉพาะมลพิษอากาศชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่มีการสูดหายใจมลพิษอากาศทุกชนิดที่มีอยู่ในบรรยากาศขณะนั้น ดังนั้น ค่า AQI จึงไม่ได้บ่งบอกปริมาณสารมลพิษทั้งหมดที่สูดเข้าไปในร่างกาย อีกทั้งการนำค่า AQI ของมลพิษทางอากาศทุกตัวมารวมกันก็ยังไม่มีความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจาก

มลพิษอากาศแต่ละตัวมีความรุนแรงต่อสุขภาพแตกต่างกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาความรุนแรงผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษอากาศแต่ละตัวที่เป็นข้อมูลปัจจุบัน และพัฒนาเป็นดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) โดยเพิ่มมิติของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยด้วยข้อมูลของประเทศไทย ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอแนะจากคณะกรรมการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม วุฒิสภา เมื่อ สิงหาคม พ.ศ. 2563 ที่ได้มีข้อเสนอแนะให้พัฒนา AQHI ของประเทศไทยให้การดำเนินการป้องกันและแก้ไขปัญหา มลพิษทางอากาศ ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑลมีประสิทธิภาพและประสบความสำเร็จเพิ่มมากขึ้น

ดังนั้น จึงได้ทำการศึกษาเรื่อง “การศึกษามลพิษและคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศและการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศของประเทศไทย” เพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ และพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) ไปใช้ในการเฝ้าระวังและสื่อสารเตือนภัยด้านสุขภาพจากมลพิษทางอากาศได้อันจะนำไปสู่การลดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจากมลพิษทางอากาศต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อประเมินและคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ (PM10, PM2.5, NO₂ และ O₃) ในระยะสั้นของประเทศไทย
- 2) เพื่อจัดทำดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) และคำแนะนำในการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศของประเทศไทย

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การศึกษานี้ประเมินและคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศ (PM10, PM2.5, NO₂ และ O₃) และการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิต เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) โดยข้อมูลมลพิษทางอากาศและอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยรายวัน (PM10, PM2.5, NO₂, O₃ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) ได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศไทย รวมทั้ง ข้อมูลสุขภาพ (ข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก ด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (ICD10: J00-J99) และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (ICD10: I00-I99) จากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติภายใต้สิทธิการรักษา 30 บาทรักษาทุกโรค และข้อมูลผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรค (ICD10: A00-R99) จากสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข) ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2563 ตลอดจนนำผลการวิเคราะห์ที่ได้ไปพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) เพื่อเป็นข้อมูลพัฒนาเกณฑ์ความเสี่ยงและคำแนะนำในการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประเทศไทย

1.4 นิยามศัพท์

มลพิษในอากาศ (air pollution) หมายถึง ภาวะของอากาศ ที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอ และเป็นระยะเวลานานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพอนามัย ของมนุษย์ สัตว์ พืช และวัสดุต่าง ๆ สารดังกล่าวอาจเป็นธาตุหรือสารประกอบที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ในการศึกษาหมายถึงเฉพาะมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน(PM2.5)

ปริมาณฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน(PM10) โอโซน (O₃) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂)

- ระยะก่อให้เกิดการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต (Lag time period) หมายถึง ระยะเวลา นับจากเริ่มสัมผัสมลพิษไปจนกระทั่งเจ็บป่วยจนต้องเข้ารับบริการในโรงพยาบาลขึ้นหรือเสียชีวิต โดยอาจเกิดขึ้นในทันที หรืออาจเกิดในวันถัดไปหรือหลายวันได้ในที่นี้ได้เลือกใช้ระยะเวลาไม่เกิน 7 วัน เนื่องจากการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพระยะสั้นที่ก่อให้เกิดการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต

- ดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) หมายถึง เป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศในรูปแบบที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อเผยแพร่ประชาสัมพันธ์ให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด ดัชนีคุณภาพอากาศ 1 ค่า ใช้เป็นตัวแทนค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด คือ PM10, PM2.5, NO₂, SO₂, O₃, CO ที่เป็นข้อมูลตรวจวัดรายวันที่ได้จากสถานีตรวจวัดของกรมควบคุมมลพิษ

- ดัชนีคุณภาพอากาศและสุขภาพอนามัย (Air Quality Health Index, AQHI) หมายถึง เกณฑ์การรายงานคุณภาพอากาศที่เพิ่มมิติของผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยในดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) องค์ความรู้ด้านผลกระทบต่อสุขภาพ (การเข้ารับการรักษาพยาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิต) จากการรับสัมผัสมลพิษอากาศในประเทศไทย
- 2) ดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) ของประเทศไทย และคำแนะนำในการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศของประเทศไทย

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม

การทบทวนวรรณกรรม เป็นการทบทวนเอกสารทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์มลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดขึ้น งานวิจัยการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษในอากาศทั้งใน และต่างประเทศ เพื่อนำมาเป็นแนวทางการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ โดยมีรูปแบบการศึกษาทางระบาดวิทยาแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูล ได้แก่ รูปแบบการศึกษาแบบอนุกรมเวลา (Time-series Design) และรูปแบบการศึกษาแบบไขว้เวลาสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย (Time Stratified Case-crossover Design) การใช้ความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk) จากมลพิษทางอากาศ ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความเสี่ยงที่เปลี่ยนแปลงไปต่อหน่วยความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่เปลี่ยนไป และการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) จากหลักฐานทางระบาดวิทยา จากแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก (WHO AQG) จากความเสี่ยงสัมพัทธ์ และจากวิธีอื่นๆ โดยมีรายละเอียดการทบทวนวรรณกรรม ดังต่อไปนี้

2.1 สถานการณ์มลพิษทางอากาศในประเทศไทย และผลกระทบต่อสุขภาพ

ข้อมูลจากรายงานสถานการณ์มลพิษสิ่งแวดล้อม ปี 2563 โดยกรมควบคุมมลพิษ (2564) มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติทั่วประเทศ จำนวน 68 สถานี ใน 37 จังหวัด พบจำนวนวันในรอบปีที่คุณภาพอากาศเกินค่ามาตรฐาน 31 จังหวัด และไม่เกินค่ามาตรฐาน 6 จังหวัด ตั้งแต่เดือนเมษายน 2563 ลดลงกว่าปีที่ผ่านมา สาเหตุเนื่องมาจากการขับเคลื่อนการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตามแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” ประกอบกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ทำให้ประชาชนลดกิจกรรมการเดินทาง อุตสาหกรรมลดกำลังการผลิตโดยมลพิษทางอากาศที่ยังเป็นปัญหา PM_{2.5} PM₁₀ และก๊าซโอโซนโดยพบว่า PM_{2.5} ลดลงจากปี 2562 ตั้งแต่เดือนเมษายนเป็นต้นมา ส่วน PM₁₀ มีแนวโน้มลดลงในทุกภาคของประเทศ พื้นที่ที่ต้องมีมาตรการแก้ไขปัญหอย่างเข้มข้น ได้แก่ หมอกควัน 9 จังหวัดภาคเหนือ มีจำนวน วันที่ฝุ่นละอองเกินค่ามาตรฐาน 112 วัน ซึ่งเท่ากับปี 2562 และค่าปริมาณ PM_{2.5} สูงสุด เพิ่มขึ้นเป็น 366 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.) (ปี 2562 มีปริมาณ 253 มคก./ลบ.ม.) สาเหตุหลักมาจากการเผาในพื้นที่การเกษตรจำนวนมากประกอบกับสภาพอากาศที่แห้งแล้ง ส่งผลให้มีการลุกลามของไฟป่าอย่างรวดเร็ว พื้นที่ตำบลหน้าพระลาน อำเภอเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสระบุรี ฝุ่นละออง PM₁₀ มีจำนวนวันที่เกินค่ามาตรฐานลดลงจากปี 2562 จาก 151 วัน เป็น 92 วัน ค่าเฉลี่ยรายปี มีค่าเท่ากับ 107 มคก./ลบ.ม. (ค่ามาตรฐาน 50 มคก./ลบ.ม.) สาเหตุเนื่องจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นละอองจากโรงงานอุตสาหกรรมเหมืองหินในพื้นที่และพื้นที่ใกล้เคียง การจราจร การบรรทุกขนส่งในพื้นที่ ถนนชำรุด สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ปัญหา PM_{2.5} ในช่วงเดือนพฤศจิกายน – เมษายน พบเกินค่ามาตรฐาน มาจากปัจจัยสำคัญ 2 ประการ ได้แก่ สภาวะทางอุตุนิยมวิทยาในช่วงต้นปีความกดอากาศสูง ส่งผลให้มีช่วงที่สภาพอากาศนิ่ง ลมสงบ ทำให้ฝุ่นละอองสะสมในบรรยากาศและมีปริมาณเพิ่มสูงขึ้น 2. แหล่งกำเนิดมลพิษหลักภายในพื้นที่ ได้แก่ การจราจรโดยเฉพาะยานพาหนะที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล การเผาในที่โล่งเพื่อกำจัดเศษวัสดุการเกษตร และโรงงานอุตสาหกรรม (รายงานสถานการณ์มลพิษสิ่งแวดล้อม, 2564)

สถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) จากข้อมูลคุณภาพอากาศโดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในปี 2563 พบว่า สถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เฉลี่ย 24 ชั่วโมง เกินเกณฑ์มาตรฐานเฉพาะในช่วงต้นปีและปลายปี โดยพื้นที่ที่มีปัญหามลพิษทางอากาศจะเป็นพื้นที่เมืองใหญ่ที่มีการจราจรหรือบรรทุกขนส่งหนาแน่น เช่น กรุงเทพมหานคร นครราชสีมา ขอนแก่น เป็นต้น และพื้นที่ที่มีการเผาในที่โล่ง เช่น พื้นที่ภาคเหนือ กาญจนบุรี ขอนแก่น เป็นต้น และพื้นที่เขตอุตสาหกรรม เช่น สระบุรี เป็นต้น ในปี 2563 สถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด มีค่าอยู่ระหว่าง 22-398 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (มคก./ลบ.ม.) ส่วนค่าเฉลี่ยรายปี อยู่ในช่วง 8-42 มคก./ลบ.ม. พบว่าสูงสุด ที่ ต.เวียงพางคำ อ.แม่สาย จ.เชียงราย เฉลี่ยทั้งประเทศ 104 มคก./ลบ.ม. โดยภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลางและภาคตะวันตก ภาคตะวันออก มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี 2562-2563 ในส่วนของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และภาคตะวันออกมีแนวโน้มลดลงในปี 2563 สำหรับค่าเฉลี่ยรายปีในปี 2563 มีค่าอยู่ระหว่าง 8 - 42 มคก./ลบ.ม. (ค่ามาตรฐาน 25 มคก./ลบ.ม.) เฉลี่ยรายปีทั้งประเทศ 23 มคก./ลบ.ม. ซึ่งในปี 2563 มีแนวโน้มลดลงในทุกพื้นที่ สำหรับจำนวนวันเกินมาตรฐาน พบว่า ในปี 2563 จำนวนวันเกินมาตรฐานสุด 87 วัน ที่ ต.พระบาท อ.เมือง จ.ลำปาง โดยภาคเหนือมีแนวโน้มจำนวนวันเกินมาตรฐานเพิ่มขึ้นตั้งแต่ปี 2561 - 2563 และภาคตะวันออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในปี 2563 ในส่วนของกรุงเทพมหานครและปริมณฑล ภาคกลางและภาคตะวันตก และภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีแนวโน้มลดลงในปี 2563 สำหรับภาคใต้ไม่มีจำนวนวันเกินมาตรฐานในปี 2563

ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) ในปี 2563 ลดลงจากปี 2562 จากข้อมูลของจุดตรวจวัดในประเทศ 68 พื้นที่ พบค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงสูงสุด อยู่ในช่วง 39-439 มคก./ลบ.ม. (ค่าเฉลี่ย 151 มคก./ลบ.ม.) ค่าเฉลี่ยรายปี อยู่ในช่วง 18-107 มคก./ลบ.ม. (ค่าเฉลี่ย 43 มคก./ลบ.ม.)

ก๊าซโอโซน (O₃) ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงสูงสุดของแต่ละจุดตรวจวัด อยู่ในช่วง 61-157 ส่วนในพันล้านส่วน (ppb) เฉลี่ย 100 ppb ค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงสูงสุด อยู่ในช่วง 52-113 ppb เฉลี่ย 82 ppb ภาพรวม ยังมีค่าเกินมาตรฐานในหลายพื้นที่ อย่างไรก็ตาม ในปี 2563 พบว่า ปริมาณก๊าซโอโซนเฉลี่ยทั้งประเทศต่ำที่สุดในรอบ 10 ปี

ประเทศไทยใช้ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index) เป็นตัวบ่งชี้สถานการณ์มลพิษทางอากาศในภาพรวม โดยใช้สารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂) ก๊าซโอโซน (O₃) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) และฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) เป็นตัวแทนของมลพิษทางอากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศเกิน 100 หมายถึง มลพิษทางอากาศเกินค่ามาตรฐานและอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน อย่างไรก็ตาม การพิจารณาตามมลพิษทางอากาศเฉพาะชนิด จะเป็นตัววัดตามมาตรฐานวิชาการ รวมทั้งสามารถใช้ในการติดตามตรวจสอบสถานการณ์ ตลอดจนควบคุมกำกับมลพิษตามแหล่งกำเนิดมลพิษชนิดนั้นๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นหน่วยงานหลักที่ดำเนินงานในการควบคุมมลพิษ การตรวจวัดสารมลพิษดำเนินการโดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติ มีมาตรฐานคุณภาพอากาศดังในตารางที่

ตารางที่ 1 ค่ามาตรฐานสารมลพิษที่สำคัญในประเทศไทย

สารมลพิษทางอากาศ	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา	ค่ามาตรฐาน
1. ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	1 ชม.	ไม่เกิน 30 ppm. (34.2 มก./ลบ.ม.)
	8 ชม.	ไม่เกิน 9 ppm. (10.26 มก./ลบ.ม.)
2. ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO ₂)	1 ชม.	ไม่เกิน 0.17 ppm. (0.32 มก./ลบ.ม.)
	1 ปี	ไม่เกิน 0.03 ppm. (0.057 มก./ลบ.ม.)
3. ก๊าซโอโซน (O ₃)	1 ชม.	ไม่เกิน 0.10 ppm. (0.20 มก./ลบ.ม.)
	8 ชม.	ไม่เกิน 0.07 ppm. (0.14 มก./ลบ.ม.)
4. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO ₂)	1 ปี	ไม่เกิน 0.04 ppm. (0.10 มก./ลบ.ม.)
	24 ชม.	ไม่เกิน 0.12 ppm. (0.30 มก./ลบ.ม.)
	1 ชม.	ไม่เกิน 0.3 ppm. (780 มก./ลบ.ม.)
	1 ปี	ไม่เกิน 0.10 มก./ลบ.ม.
5. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10)	24 ชม.	ไม่เกิน 120 มก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 50 มก./ลบ.ม.
6. ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5)	24 ชม.	ไม่เกิน 50 มก./ลบ.ม.
	1 ปี	ไม่เกิน 25 มก./ลบ.ม.

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ

สถานการณ์สุขภาพด้วยโรคเกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ

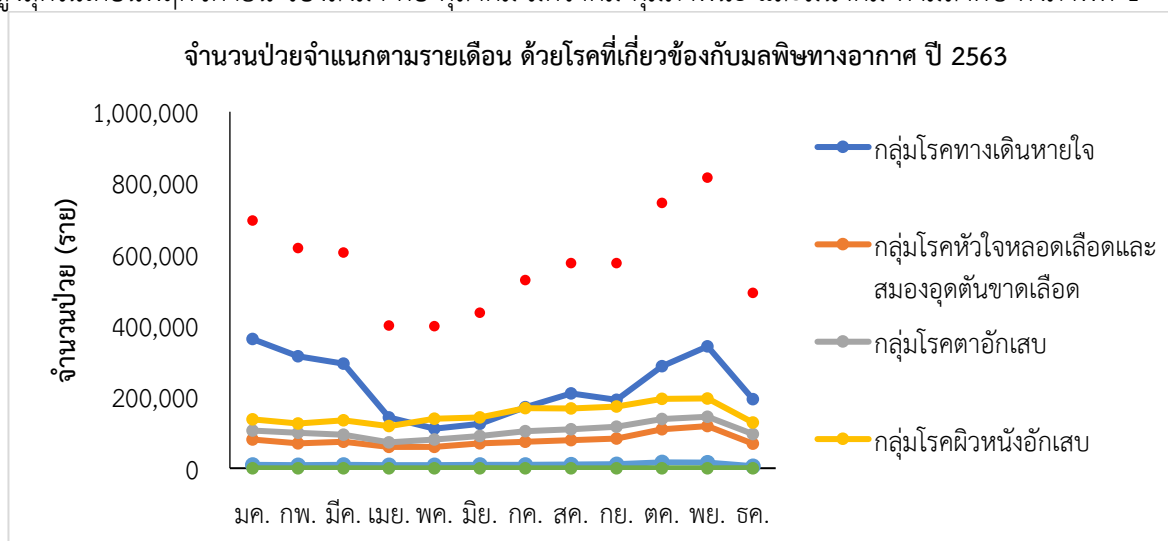
สำหรับสถานการณ์สุขภาพจากฐานข้อมูลคลังข้อมูลสุขภาพ Health Data Centre (HDC) ของกระทรวงสาธารณสุข ปี 2563 พบว่า จำนวนผู้ป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ปี 2563 ในพื้นที่เขตสุขภาพที่ 1 - 13 มีจำนวนทั้งหมด 6,880,709 ราย คิดเป็นอัตราป่วย 10,517.56 ต่อแสนประชากร โดยพบมากสุดในกลุ่มโรคทางเดินหายใจ จำนวน 2,741,931 ราย (คิดเป็นอัตราป่วย 4,191.20 ต่อแสนประชากร) รองลงมาคือ ผิวหนังอักเสบ จำนวน 1,822,777 ราย (คิดเป็นอัตราป่วย 2,786.22 ต่อแสนประชากร) ตาอักเสบ จำนวน 1,249,610 ราย (คิดเป็นอัตราป่วย 1,910.10 ต่อแสนประชากร) และกลุ่มโรคกลุ่มโรคหัวใจ หลอดเลือดและสมองอุดตันขาดเลือด จำนวน 944,116 ราย (คิดเป็นอัตราป่วย 1,443.14 ต่อแสนประชากร) มะเร็งปอด จำนวน 122,030 ราย (คิดเป็นอัตราป่วย 186.53 ต่อแสนประชากร) และกลุ่มโรคอื่น ๆ จำนวน 245 ราย (คิดเป็นอัตราป่วย 0.37 ต่อแสนประชากร) ตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนผู้ป่วยที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศในปี 2563

ที่	โรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ	จำนวนผู้ป่วย (ราย)	อัตราป่วยต่อแสน ประชากร
1	กลุ่มโรคทางเดินหายใจ	2,741,931	4,191.20
	โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD)	836,852	1,279.18
	โรคหอบหืด (Asthma)	50,943	77.87
	โรคปอดอักเสบ (Pneumonia)	270,246	413.09
	ไข้หวัดใหญ่ (Influenza)	120,538	184.25
	โรคคออักเสบ/ทอนซิลอักเสบเฉียบพลัน (Acute pharyngitis)	887,686	1,356.88
	โรคจมูกอักเสบเรื้อรัง(Chronic rhinitis)	42,419	64.84
	โรคหลอดลมอักเสบ (Bronchitis)	533,247	815.10
2	กลุ่มโรคกลุ่มโรคหัวใจหลอดเลือดและสมองอุดตันขาดเลือด	944,116	1,443.14
	โรคหัวใจขาดเลือด (Acute Ischemic Heart Disease)	13,879	21.21
	โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke)	930,237	1,421.92
3	ตาอักเสบ	1,249,610	1,910.10
4	ผิวหนังอักเสบ	1,822,777	2,786.22
5.	มะเร็งปอด	122,030	186.53
6.	กลุ่มโรคอื่น ๆ	245	0.37
รวมทั้งหมด		6,880,709	10,517.56

ที่มา : (HDC กระทรวงสาธารณสุข, 2564) ประมวลผล ณ วันที่ 5 มกราคม 2564

เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ป่วยจำแนกตามรายเดือน ด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ปี 2563 ในพื้นที่เขตสุขภาพที่ 1-13 พบว่า ส่วนใหญ่มีรายงานผู้ป่วยสูงในช่วงต้นปี (มกราคม - มีนาคม) และปลายปี (ตุลาคม - พฤศจิกายน) ซึ่งเป็นช่วงที่มีปัญหา PM2.5 เกินค่ามาตรฐาน โดยพบยอดผู้ป่วยรวมสะสมทั้งหมดสูงสุดในเดือนพฤศจิกายน รองลงมา คือ ตุลาคม มกราคม กุมภาพันธ์ และ มีนาคม ตามลำดับ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 จำนวนป่วยจำแนกรายเดือน ด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ปี 2563

เมื่อพิจารณาจำนวนผู้ป่วยจำแนกตามรายกลุ่มอายุ ด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ปี 2563 ในพื้นที่เขตสุขภาพที่ 1 - 13 พบว่า กลุ่มอายุที่ป่วยด้วยโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศสูงสุด คือ กลุ่มอายุ 60 ปีขึ้นไป รองลงมา คือ กลุ่มอายุ 55-59 ปี กลุ่มอายุ 50-54 ปี กลุ่มอายุ 45-49 ปี และกลุ่มอายุ 5-9 ปี ตามลำดับ

ปัญหาจากฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ถือเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากมีสถานการณ์ PM2.5 เกินค่ามาตรฐานทุกปี และอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ โดยเฉพาะในประชาชนกลุ่มเสี่ยงทั้งเด็ก หญิงตั้งครรภ์ ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ หอบหืด เป็นต้น ซึ่งพบว่าประชาชนกลุ่มเสี่ยงในพื้นที่เสี่ยงมลพิษทางอากาศ ใน 38 จังหวัด ที่อาจได้รับผลกระทบต่อสุขภาพจากปัญหา PM2.5 จากฐานข้อมูล HDC ของกระทรวงสาธารณสุข ปี 2563 ถึงประมาณ 15 ล้านคน (จากประชาชนทั้งหมด 38,909,204 คน) คิดเป็นร้อยละ 38.92 โดยพบกลุ่มผู้สูงอายุ 60 ปีขึ้นไป สูงสุดถึง 6,767,920 คน รองลงมา คือ กลุ่มผู้มีโรคประจำตัว จำนวน 3,616,402 คน กลุ่มเด็กอายุ 5-9 ปี จำนวน 2,347,496 คน กลุ่มเด็กอายุ 0-4 ปี จำนวน 2,047,153 คน และกลุ่มหญิงตั้งครรภ์ จำนวน 366,296 คน ตามลำดับ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศทั้งในและต่างประเทศ

เนื่องจากการศึกษาวิจัยด้านผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากมลพิษในอากาศมีเป็นจำนวนมากและได้มีการศึกษาอย่างต่อเนื่องยาวนาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาวิจัยด้านผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการสัมผัสมลพิษในอากาศนั้น ได้มีการศึกษาวิจัยมาเป็นเวลามากกว่า 50 ปี แล้ว ตั้งแต่เหตุการณ์ London smog ในปี ค.ศ. 1952 ซึ่งคาดว่าจะมีผู้เสียชีวิตมากถึงประมาณ 12,000 ราย (Davis et al., 2002) ดังนั้น การทบทวนงานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งได้รวบรวมและรายงานในเอกสารฉบับนี้ได้จำกัดขอบเขตของการสืบค้นเฉพาะการศึกษาที่ใช้วิธีทางระบาดวิทยาเท่านั้น เนื่องจากเป็นวิธีที่นำผลกระทบต่อสุขภาพในรูปแบบของ dose-response function ไปใช้ต่อการคาดการณ์ (prediction) ผลกระทบที่เกิดขึ้นในอนาคตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Gosling et al., 2009; Sujaritpong et al., 2014) สำหรับการสัมผัสมลพิษในอากาศที่รายงานในเอกสารฉบับนี้เน้นที่การสัมผัสกับมลพิษทางอากาศภายนอกอาคาร (outdoor air pollutants) ซึ่งไม่รวมถึงการสัมผัสมลพิษทางอากาศที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมและมลพิษทางอากาศภายในอาคาร (indoor air pollutants)

การสืบค้นการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษได้มาจากรฐานข้อมูล PubMed Central ย้อนหลังกลับไป 10 ปี (พ.ศ. 2555-2564 หรือ ค.ศ. 2012-2021) ดังที่กล่าวแล้วว่างานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องมีเป็นจำนวนมาก การทบทวนในครั้งนี้จึงเน้นที่บทความประเภททบทวนวรรณกรรม (review articles) ที่ได้รวบรวมการศึกษาที่ประเมินผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากมลพิษทางอากาศจากงานศึกษาวิจัยที่เคยตีพิมพ์ก่อนหน้านี้และนำเสนอโดยอาจใช้ทั้งแบบวิธีพรรณนา (descriptive review) และ/หรือแบบเชิงปริมาณโดยการใช้วิธีทางสถิติที่เรียกว่า meta-analysis ในการประมาณค่าผลกระทบต่อสุขภาพจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทความทบทวนวรรณกรรมที่สืบค้นจะต้องเป็นการทบทวนวรรณกรรมที่ได้มาจากการใช้วิธีสืบหาข้อมูลอย่างเป็นระบบ (systematic review) เท่านั้น โดยคำสำคัญที่ใช้ในการสืบค้นการศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการสัมผัสมลพิษทางอากาศ ได้แก่ review, meta-analysis, air pollution (หรือแทนด้วยคำว่า ozone, particles, PM, NO₂, SO₂, CO), health (หรือแทนด้วยคำว่า mortality, morbidity, respiratory, cardiovascular และ birth) ส่วนการรวบรวมการศึกษาที่ทำในประเทศไทย ในการสืบค้นจาก

ฐานข้อมูลได้ใช้คำสำคัญตามที่ได้กล่าวไว้แล้ว และเพิ่มคำว่า Thailand และ Bangkok เข้าไป เนื่องจากการศึกษาในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก การรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในครั้งนี้จึงต้องการสืบค้นการศึกษาทั้งหมดที่มี ดังนั้นจึงได้ตัดคำสำคัญ review และ meta-analysis ออกไปจากการสืบค้น สำหรับบทความที่ตีพิมพ์เป็นภาษาไทยใช้การสืบค้นจาก search engine Google Scholar โดยใช้คำสำคัญในการสืบค้นสำหรับผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสมลพิษในอากาศ ได้แก่ มลพิษอากาศ (หรือแทนคำค้นหาด้วยคำว่า ฝุ่นละออง โอโซน), สุขภาพ (หรือแทนคำค้นหาด้วยคำว่า การตาย การป่วย โรคระบบทางเดินหายใจ หัวใจ หลอดเลือด ตับ ตับอ่อน ทารก) และ ไทย และช่วงเวลาของงานวิจัยที่ตีพิมพ์ครอบคลุมตั้งแต่อดีตที่ผ่านมาจนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพโดยทั่วไปที่เกิดจากมลพิษในอากาศ

มลพิษทางอากาศภายนอกอาคารที่สำคัญที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพโดยเฉพาะชนิดที่มีการกำหนดค่ามาตรฐานมลพิษในอากาศ ได้แก่ ฝุ่นละอองในอากาศ (particles) ทั้งฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ $10\ \mu\text{m}$ (PM10) และฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ $2.5\ \mu\text{m}$ (PM2.5) โอโซน (O_3) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และ ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) Curtis, Rea, Smith-Willis, Fenyves, & Pan ได้รวบรวมผลการศึกษาจากงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในช่วงปี ค.ศ. 1995-2005 จำนวนประมาณ 600 บทความ และได้จัดกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการสัมผัสมลพิษทางอากาศภายนอกอาคารที่ส่งผลกระทบต่อระบบต่างๆ ในร่างกายออกเป็น 7 กลุ่ม (Curtis et al., 2006) โดยมีรายละเอียดโดยสังเขปของผลกระทบต่อสุขภาพ ดังนี้

1) ผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบมีหลักฐานว่าชนิดของมลพิษในอากาศทุกตัวที่มีการกำหนดเป็นค่ามาตรฐานมีความเกี่ยวข้องกับเกิดโรคหอบหืด โดยที่เด็กเป็นกลุ่มอายุที่มีความเสี่ยงสูงที่สุดเมื่อเทียบกับประชากรในช่วงอายุอื่นๆ ในกลุ่มผู้สูงอายุพบว่าการสัมผัสกับมลพิษในอากาศส่งผลให้เกิดปัญหาโรคระบบทางเดินหายใจที่เพิ่มมากขึ้น ได้แก่ โรคหอบหืด โรคหลอดลมอักเสบ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) นอกจากโรคในระบบทางเดินหายใจที่กล่าวมาแล้วยังมีการศึกษาที่พบความสัมพันธ์ของการสัมผัส PM10, NO_2 และ CO ที่ทำให้จำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในแผนกฉุกเฉิน (emergency room visits) จากการติดเชื้ระบบทางเดินหายใจส่วนบนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เด็กที่สัมผัสกับ O_3 และผู้ใหญ่ที่สัมผัส PM10 ส่งผลทำให้เกิดการไอเรื้อรังและการมีเสมหะเพิ่มขึ้น

2) ผลกระทบต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด

ชนิดของมลพิษในอากาศที่มีรายงานทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด ได้แก่ PM10 PM2.5 O_3 และ NO_2 นอกจากจำนวนผู้ตายและป่วยจากโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular mortality and morbidity) ที่เพิ่มสูงขึ้นจากการสัมผัสมลพิษเหล่านี้ โรคหรือภาวะอาการที่เฉพาะเจาะจงในระบบนี้ ได้แก่ หัวใจวาย (heart attack) กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด (myocardial infarction) โรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary heart disease) ภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ (cardiac arrhythmias) โรคหัวใจขาดเลือด (ischemic heart disease) โรคหลอดเลือดสมอง (stroke) หลอดเลือดแดงแข็ง (atherosclerosis)

3) ผลกระทบที่เกี่ยวข้องกับมะเร็ง

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การสัมผัสมลพิษอากาศภายนอกอาคารมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคมะเร็งในปอด

4) ผลกระทบต่อระบบสืบพันธุ์และการพัฒนาของทารกในครรภ์

ชนิดของมลพิษในอากาศที่ พบว่า มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดความผิดปกติต่อระบบสืบพันธุ์และการพัฒนาของทารกในครรภ์ ได้แก่ CO SO₂ NO₂ PM₁₀ และ PM_{2.5} โดยความผิดปกติที่พบได้แก่ การตายของทารก pre-term birth และน้ำหนักทารกแรกคลอดต่ำ (low birth weight) การผิดปกติของทารกแรกคลอด ได้แก่ ความผิดปกติของหัวใจ (congenital heart defects) ปากแหว่งเพดานโหว่ (cleft lip with or without cleft palate) เป็นต้น จากการรวบรวมการศึกษาวิจัยถึงผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากการสัมผัสฝุ่นละออง Ruckerl, Schneider, Breitner, Cyrus, & Peters (Ruckerl et al., 2011) พบว่าเริ่มมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งศึกษาหาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำเชื้อที่ลดลงหรือความผิดปกติต่าง ๆ ของสเปิร์ม เมื่อเพศชายมีการสัมผัสกับมลพิษในอากาศ แต่ผลจากการศึกษาวิจัยเหล่านี้ก็ยังไม่สามารถนำไปสู่ข้อสรุปที่ชัดเจนได้

5) ผลกระทบต่อระบบประสาท

มีการศึกษาวิจัยหลายชิ้นที่พบว่าการสัมผัสมลพิษในอากาศภายนอกอาคารส่งผลให้เกิดความเสี่ยงที่เพิ่มมากขึ้นต่อความผิดปกติของระบบประสาทและปัญหาทางจิต เช่น การศึกษาในประเทศอิตาลี พบว่า ผู้ที่มีแนวโน้มเกิดอาการปวดหัวเกิดอาการบ่อยขึ้นเมื่อ CO และ NO₂ มีระดับสูงขึ้น (Nattero & Enrico, 1996) อีกการศึกษาหนึ่งพบความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดโรคจิตเภทแบบ schizophrenia ในเด็กประเทศเดนมาร์กกับการสัมผัสระดับของเบนซีน (benzene) และ CO ที่สูงขึ้นที่มีแหล่งกำเนิดจากการจราจร (traffic pollution) (Pedersen et al., 2004)

6) ผลกระทบต่อการเสียชีวิต

มีการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากมลพิษในอากาศเป็นจำนวนมากที่พบความสัมพันธ์ระหว่างการตายที่สูงขึ้นซึ่งเกิดจากการสัมผัสกับระดับมลพิษในอากาศภายนอกอาคารที่สูงขึ้น การศึกษาเหล่านี้ครอบคลุมในหลายพื้นที่ทั่วโลก ทั้งทวีปอเมริกา ยุโรป รวมทั้งบางประเทศในทวีปเอเชีย ได้แก่ ประเทศจีน โดยสาเหตุการตาย (cause of deaths) ที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับการสัมผัสมลพิษในอากาศได้แก่ non-external causes (สาเหตุอื่นๆ ทั้งหมดยกเว้นจากอุบัติเหตุ) ระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด เบาหวาน สาเหตุการตายทั้งหมดของทารกแรกเกิด (neonatal deaths of all causes) และทารกที่ตายจากสาเหตุโรคในระบบทางเดินหายใจ

7) ผลกระทบต่อการติดเชื้อ

ผลจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการสัมผัสกับมลพิษในอากาศภายนอกอาคารทำให้อัตราการติดเชื้อระบบทางเดินหายใจสูงขึ้น โดยโรคติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจที่มีความสัมพันธ์กับการสัมผัสมลพิษในอากาศภายนอกอาคาร ได้แก่ โรคไข้หวัดใหญ่ (influenza) กลุ่มอาการ croup ซึ่งทำให้เกิดการอุดกั้นทางเดินหายใจส่วนบนในเด็ก การติดเชื้อระบบทางเดินหายใจส่วนบน ปอดอักเสบ (pneumonia) และ Coccidioidomycosis ซึ่งเกิดจากการติดเชื้อราชนิด Coccidioides

2.4 เครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศ

การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศ (PM10, PM2.5, NO₂, SO₂, O₃ และ CO) หรือปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ สามารถประเมินโดยใช้เครื่องมือทางระบาดวิทยาและสมการทางสถิติขั้นสูง โดยสามารถประเมินได้ทั้งผลกระทบในระยะสั้น (ชั่วโมง วัน หรือสัปดาห์) และผลกระทบในระยะยาว (ปี) แต่จำเป็นต้องใช้วิธีการประเมินที่แตกต่างกัน กล่าวคือ การประเมินผลกระทบในระยะสั้น (Short-term Effects) จะใช้ข้อมูลรายชั่วโมง รายวัน หรือรายสัปดาห์ (สำหรับทั้งข้อมูลคุณภาพอากาศและข้อมูลสุขภาพ) ที่เก็บรวบรวมเป็นประจำ โดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ในขณะที่การประเมินผลกระทบในระยะยาว (Long-term Effects) จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลที่ติดตามอย่างต่อเนื่องของแต่ละบุคคลเป็นระยะเวลานานซึ่งนิยมใช้เป็นข้อมูลรายปีหรือข้อมูลทุก ๆ 6 เดือนสำหรับทั้งข้อมูลคุณภาพอากาศและข้อมูลสุขภาพ ซึ่งข้อมูลสุขภาพโดยทั่วไปได้มาจากการศึกษาแบบ Cohort อย่างไรก็ตามการศึกษานี้จะเน้นเพียงการประเมินผลกระทบในระยะสั้น เนื่องจากการกำหนดดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลระยะสั้นเพื่อแสดงถึงผลกระทบของมลพิษอากาศ ณ เวลานั้น ทั้งนี้ การประเมินผลกระทบระยะสั้นของมลพิษอากาศนั้นมีรูปแบบการศึกษาทางระบาดวิทยาแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของข้อมูล ได้แก่ รูปแบบการศึกษาแบบอนุกรมเวลา (Time-series Design) และรูปแบบการศึกษาแบบไขว้เวลาสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย (Time Stratified Case-crossover Design)

2.4.1 การศึกษาแบบอนุกรมเวลา (Time-series Design)

การวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลา (Time-series Regression Design) เป็นวิธีการศึกษาทางระบาดวิทยาที่นิยมใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศในระยะสั้น โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของมลพิษอากาศและสุขภาพที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา ดังนั้นปัจจัยใดที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะไม่นำมาพิจารณาเป็นตัวแปรถ่วงเมื่อใช้วิธีวิเคราะห์ด้วยวิธีการดังกล่าว เช่น เพศ อายุ พฤติกรรมการกิน พฤติกรรมการสูบบุหรี่ เป็นต้น ซึ่งในการวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลาจะพิจารณาตัวแปรตาม เช่น จำนวนผู้ป่วยรายวัน จำนวนผู้เสียชีวิตรายวัน เป็นต้น ให้มีการกระจายตัวแบบปัวซองค์ (Poisson Distribution) โดยความน่าจะเป็นของผู้ป่วยหรือผู้เสียชีวิตที่เกิดขึ้น ณ วันใด ๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$prob(y; \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^y}{y!} \quad (2.1)$$

จากสมการดังกล่าว y คือจำนวนผู้ป่วยหรือผู้เสียชีวิต ณ วันใด ๆ ในชุดข้อมูล และ λ คือ จำนวนผู้ป่วยหรือผู้เสียชีวิตที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ณ วันใด ๆ โดยได้จากการใช้แบบจำลองการวิเคราะห์การถดถอยในสมการที่ 2.2 โดยที่จากสมการที่ 1 ค่า λ จะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นตัวแปรอื่น ๆ ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจะนำมาพิจารณาเป็นตัวแปรถ่วงด้วย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น ฤดูกาล เป็นต้น โดยการวิเคราะห์การถดถอยอนุกรมเวลา (ที่ y ณ วันใด ๆ มีการกระจายตัวแบบปัวซองค์) เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพสามารถใช้สมการดังต่อไปนี้

$$\log[E(Y_t)] = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n \quad (2.2)$$

ซึ่งจากสมการด้านบน Y_t คือจำนวนผู้ป่วยหรือเสียชีวิต ณ วันใด ๆ และ $E(Y_t)$ หรือ λ คือจำนวนผู้ป่วยที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ณ วันใด ๆ ($E(Y_t)$ ได้จากการอธิบายโดยตัวแปร $X_1, X_2, X_3, X_4, \dots, X_n$ ในสมการ (2.2) และ $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ตามลำดับ

โดยทั่วไปตัวแปรกวนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลา ได้แก่ ฤดูกาล วันของสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวจะมีอิทธิพลต่อจำนวนการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต กล่าวคือในวันทำการปกติจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาพยาบาลอาจจะมากกว่าในวันเสาร์ วันอาทิตย์ หรือวันหยุดนักขัตฤกษ์ ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วย หลังจากใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลาแล้ว จำเป็นต้องมีการพิจารณาความเหมาะสมของแบบจำลองด้วย โดยการพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) กับค่าคาดการณ์ (ค่าที่อธิบายโดยตัวแปร X ในสมการ (2.2) ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนสามารถคำนวณได้จากจำนวนผู้ป่วยหรือเสียชีวิตจริง (จากข้อมูลจริงที่มี) ลบจำนวนผู้ป่วยหรือเสียชีวิตที่อธิบายโดยตัวแปร $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ (ค่าคาดการณ์)

2.4.2 การศึกษาแบบไขว้เวลาสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย (Time Stratified Case-crossover Design)

การศึกษาแบบ Case-crossover Design เป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพในระยะสั้น ซึ่งเป็นการศึกษาที่มีการเปรียบเทียบการสัมผัสที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบและช่วงเวลาที่ไม่มีได้รับผลกระทบในแต่ละบุคคล ดังนั้น การศึกษาแบบนี้จึงมีการควบคุมตัวแปรกวนของแต่ละบุคคลโดยอัตโนมัติ และค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์สามารถคำนวณได้จากการเปรียบเทียบปริมาณการสัมผัสที่พบในช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบกับช่วงเวลาที่ไม่มีได้รับผลกระทบ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการศึกษาแบบนี้เหมาะสำหรับการศึกษาที่มีลักษณะการสัมผัสปริมาณมลพิษอากาศของแต่ละบุคคลที่มีการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลานั้น และโรคที่สนใจเกิดขึ้นทันทีหลังจากการสัมผัสมลพิษอากาศ

รูปแบบการศึกษา Case-crossover Design ใช้การวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์แบบ Conditional Logistic Regression โดยการวิเคราะห์การถดถอยโลจิสติกส์ลักษณะนี้สามารถเปรียบเทียบวันควบคุม (Control Day) กับวันที่เกิดโรคหรือวันที่มีผลกระทบเกิดขึ้น (Case Day) มากกว่า 1 วันภายในกลุ่มเดียวกัน (Stratum) เพื่อกำจัดตัวแปรกวนที่เกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่มีวันควบคุมเพียงแค่ 1 วัน หมายความว่าปริมาณการสัมผัสในวันที่ t ที่นาย ก ได้รับและมีผลกระทบเกิดขึ้น (Case Day) จะนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการสัมผัสของวันอื่นที่นาย ก ไม่ได้รับผลกระทบ (Control Day) เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววันที่ได้รับผลกระทบและวันที่เลือกมาใช้เป็นวันควบคุมจะเป็นวันเดียวกันของสัปดาห์ในเดือนและปีเดียวกัน เช่น ปริมาณการสัมผัสในวันจันทร์ทำให้นาย ก มีผลกระทบเกิดขึ้น จะนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการสัมผัสในวันจันทร์ของสัปดาห์อื่น ๆ ในเดือนเดียวกันของปีนั้น ๆ ที่ไม่มีผลกระทบ เป็นต้น ซึ่งการใช้รูปแบบการควบคุมดังกล่าวจะมีการควบคุมปัจจัยในเชิงของเวลา วันของสัปดาห์ และฤดูกาล รวมทั้งปัจจัยส่วนบุคคลโดยอัตโนมัติ เนื่องจากการเปรียบเทียบปริมาณการสัมผัสในคนเดียวกัน แต่เวลาที่สัมผัสต่างกัน

ตามหลักการสันนิษฐาน (Assumption) ของการศึกษารูปแบบ Case-crossover Design โดยทั่วไปแล้ว ช่วงเวลาที่ได้รับผลกระทบ 1 ช่วง จะมี 3 หรือ 4 ช่วงเวลาควบคุม กล่าวคือ ถ้าปริมาณการสัมผัสในวันจันทร์ทำให้มีผลกระทบ (วันที่เข้ารับการรักษาพยาบาลหรือวันที่เสียชีวิตขึ้นอยู่กับข้อมูล) เกิดขึ้นกับนาย ก ดังนั้น ปริมาณการสัมผัสของนาย ก ในวันจันทร์อื่น ๆ ในเดือนนั้น ๆ ของปีเดียวกัน จะนำมาใช้เป็นช่วงเวลาควบคุม ซึ่งจะมี 3 หรือ 4 สัปดาห์ในแต่ละเดือน หรือถ้าปริมาณการสัมผัสในวันศุกร์ทำให้มีผลกระทบเกิด

ขึ้นกับนาย ข ดังนั้น ปริมาณการรับสัมผัสในวันศุกร์อื่น ๆ ในเดือนนั้น ๆ ของปีเดียวกัน จะนำมาใช้เป็นช่วงเวลาควบคุมของนาย ข เป็นต้น ดังนั้นใน 1 Stratum จะประกอบไปด้วยวันที่เกิดผลกระทบ (Case Day) จำนวน 1 วัน และวันควบคุม (Control Day) จำนวน 3 – 4 วัน ที่จะนำไปวิเคราะห์ด้วย Conditional Logistic Regression โดยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์โลจิสติกส์แบบนี้ แสดงออกมาในรูป Odds Ratio (ORs)

2.5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพแสดงด้วยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk)

ความสัมพันธ์ระยะสั้นระหว่างการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ มีการศึกษาในหลายพื้นที่ทั่วโลก เช่น อเมริกา จีน สวีเดน ไทย เป็นต้น โดยตัวชี้วัดของการเกิดโรคที่นำมาใช้ในการศึกษาส่วนใหญ่เป็นข้อมูลการเสียชีวิต ข้อมูลการนอนโรงพยาบาล และข้อมูลการใช้บริการห้องฉุกเฉิน (แผนกผู้ป่วยนอก) เป็นต้น ผลของการศึกษาพบว่า การรับสัมผัสมลพิษทางอากาศมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรคเชิงเส้น (Linear) กล่าวคือ เมื่อปริมาณการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศเพิ่มขึ้น ความเสี่ยงของการเกิดโรค ไม่ว่าจะเป็นความเสี่ยงของการเสียชีวิต หรือความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคต่าง ๆ จะเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความเสี่ยงจากการศึกษานั้นแสดงในรูปของค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk: RR) หรือ อัตราส่วนออก (OR) ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกความเสี่ยงที่เปลี่ยนแปลงไปต่อหน่วยความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่เปลี่ยนไป ซึ่งนิยมใช้ต่อ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือต่อ 1 ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ (Interquartile Range: IQR) (ค่าควอไทล์ที่ 3 – ค่าควอไทล์ที่ 1) ที่เพิ่มขึ้น

ทั้งนี้ ผลที่ได้จากการศึกษาจะเป็น RR หรือ OR ขึ้นอยู่กับรูปแบบของการศึกษา กล่าวคือ ผลลัพธ์จะเป็น RR เมื่อรูปแบบการศึกษาเป็นแบบอนุกรมเวลา ในขณะที่ OR เกิดจากการศึกษาแบบไขว้เวลาสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย อย่างไรก็ตามทั้ง RR หรือ OR นับว่าเป็นค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์และร้อยละความเสี่ยงที่เปลี่ยนไป สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละของความเสี่ยง} = [(RR \text{ หรือ } OR) - 1] \times 100 \quad (2.3)$$

ตัวอย่าง การศึกษาของ Jalaludin และคณะที่ตีพิมพ์ในปี 2548 ซึ่งหาความสัมพันธ์ระหว่าง NO_2 กับการเข้ารับบริการในแผนกฉุกเฉินของโรงพยาบาลด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (Total Cardiovascular Disease) พบว่า ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการในแผนกฉุกเฉินของโรงพยาบาลด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.70 ($RR = 1.017$ และ $95\% \text{ CI: } 1.007, 1.027$) เมื่อรับสัมผัส NO_2 เพิ่มขึ้นทุก ๆ 9.3 ppb (IQR) เป็นต้น ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลกระทบของ NO_2 ต่อสุขภาพเป็นแบบเชิงเส้น กล่าวคือ ไม่ว่าจะรับสัมผัส NO_2 ในปริมาณมากหรือน้อยเพียงใดก็พบผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นตามมา ทั้งนี้ ผลกระทบต่อสุขภาพ (การเสียชีวิต การนอนโรงพยาบาล และการใช้บริการห้องฉุกเฉิน) ของมลพิษทางอากาศแต่ละชนิด (NO_2 , O_3 , PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$)

จากการศึกษาที่เกี่ยวข้องผ่านมา มีการศึกษาข้อมูลย้อนหลังของลักษณะประชากร สถานะทางเศรษฐกิจสังคม และอายุคาดเฉลี่ย (life expectancy) ของประชากรใน 211 เขตของพื้นที่เขตเมือง 51 ในประเทศสหรัฐอเมริกา (Pope et al. 2009) ระหว่างช่วงทศวรรษของ ค.ศ. 1980, 1990 และต้นทศวรรษ 2000 เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของอายุคาดเฉลี่ย (life expectancy) สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าสารมลพิษทางอากาศ โดยใช้แบบจำลองการถดถอย (Regression models) พบว่า ความเข้มข้นของฝุ่นละอองลดลง 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของค่าเฉลี่ยอายุคาดเฉลี่ย (+/- SE) 0.61 +/- 0.20 ปี ($p = 0.004$) การลดลงของมลพิษทางอากาศมีผลต่อการเพิ่มขึ้นโดยรวมในอายุคาดเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษาร้อยละ 15 การคาดการณ์ผลกระทบของ PM₁₀, O₃ และ SO₂ ต่ออัตราการเสียชีวิตในประเทศไทย (Guo et al. 2014) ค่าเฉลี่ยของ PM₁₀ และ O₃ ใน 18 จังหวัด ระหว่าง พ.ศ. 2542 - 2551 มลพิษทางอากาศมีผลกระทบในระยะสั้นต่ออัตราการตายที่ไม่ใช่อุบัติเหตุอย่างมีนัยสำคัญ การเพิ่มขึ้นของ PM₁₀ จำนวน 10 มคก./ลบ.ม. การเพิ่มขึ้นของ O₃ จำนวน 10 ppb หรือการเพิ่มขึ้นของ SO₂ จำนวน 1 ppb มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอัตราการตายที่ไม่ใช่อุบัติเหตุที่ 0.40% (0.22, 0.59 %), 0.78 % (0.20, 1.35 %) และ 0.34 % (0.17, 0.50 %) ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของ O₃ มีความสัมพันธ์ อย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการตายของโรคหัวใจและหลอดเลือด ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของ PM₁₀ มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับอัตราการตายของระบบทางเดินหายใจ

องค์การอนามัยโลก (WHO.2013) ระบุถึงการศึกษาของ Tonne et al. (2010) ซึ่งทำการวิเคราะห์ผลประโยชน์ทางสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับมาตรการเก็บค่าธรรมเนียมในโซนการจราจรหนาแน่นของกรุงลอนดอน และรายงานความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรเจนออกไซด์กับการเข้าพักรักษาโรคระบบทางเดินหัวใจและหัวใจในโรงพยาบาล ระหว่างปี พ.ศ. 2544-2547 รวมทั้ง ยังพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างการเข้าพักรักษาโรคหลอดเลือดอักเสบในโรงพยาบาลกับก๊าซ CO

การศึกษาของ Lindsay et al, (2011) ประเมินการผลกระทบต่อสุขภาพและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการเดินทางในเขตเมืองจากการใช้รถจักรยานแทนรถยนต์ สามารถประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงประมาณปีละ 22 ล้านลิตร และลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งร้อยละ 0.4 นอกจากนี้ยังลดการเสียชีวิตลงประมาณปีละ 116 ราย เนื่องมาจากการออกกำลังกายเพิ่มขึ้น รวมทั้งลดการเสียชีวิตลงได้ 6 ราย เนื่องจากการตายที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศที่ปลดปล่อยจากยานพาหนะ และลดการเสียชีวิตของนักปั่นจักรยานได้ 5 ราย เนื่องจากอุบัติเหตุรถชนบนถนน ในแง่เศรษฐกิจ คำนวณโดยใช้ข้อมูลการเสียชีวิต และข้อมูลกระทรวงการขนส่งประเทศนิวซีแลนด์ (Value of a Statistical Life) พบว่า ผลจากสุขภาพที่ดีขึ้นร้อยละ 5 ช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณปีละ \$200 ล้านดอลลาร์

องค์การอนามัยโลก (WHO.2006) นำเสนอแนวทางเกี่ยวกับเกณฑ์มาตรฐานและค่าความทน (thresholds) สำหรับมลพิษสำคัญที่ส่งผลต่อสุขภาพ โดยเสนอให้ประเทศต่างๆนำไปปรับใช้ตามความเหมาะสมของแต่ละประเทศ โดยมีตัวอย่างว่า การลดฝุ่นละออง PM₁₀ จาก 70 มคก./ลบ.ม. เป็น 20 มคก./ลบ.ม. จะสามารถลดอัตราการตายที่สัมพันธ์กับมลพิษทางอากาศลงได้ร้อยละ 15 นอกจากนี้ มีการศึกษาที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NO₂ และผลกระทบต่อสุขภาพ (การเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก การนอนโรงพยาบาล และการเสียชีวิต) ด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรค โรคระบบทางเดินหายใจ และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด ในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกด้วย

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง NO_2 และผลกระทบต่อสุขภาพจากการศึกษาในพื้นที่ต่างๆ ทั่วโลกและผลจากการวิเคราะห์ห่อภิมาณชนิดตัวแปรสุ่ม (Random-effect Meta-analysis) เพื่อประมาณค่าผลกระทบของ NO_2 จากงานวิจัยในพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งผลการวิเคราะห์ห่อภิมาณพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_2 และการนอนโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด รวมทั้งการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) โดยเมื่อ NO_2 เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเสี่ยงของการนอนโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.47 ($\text{RR} = 1.0247$, 95% CI: 0.9923, 1.0581) และความเสี่ยงของการนอนโรงพยาบาลด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 1.65 ($\text{RR} = 1.0165$, 95% CI: 1.0056, 1.0274) อย่างไรก็ตาม เมื่อ NO_2 เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเสี่ยงของเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคลดลงร้อยละ 0.52 ($\text{RR} = 0.9948$, 95% CI: 0.9743, 1.0158) แต่ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ เมื่อ NO_2 เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเสี่ยงของการเข้าใช้บริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.79 ($\text{RR} = 1.0079$, 95% CI: 1.0049, 1.0101) และความเสี่ยงของการนอนโรงพยาบาลด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.67 ($\text{RR} = 1.0067$, 95% CI: 1.0031, 1.0103) และความสัมพันธ์ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างการศึกษาย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังภาพที่ 2

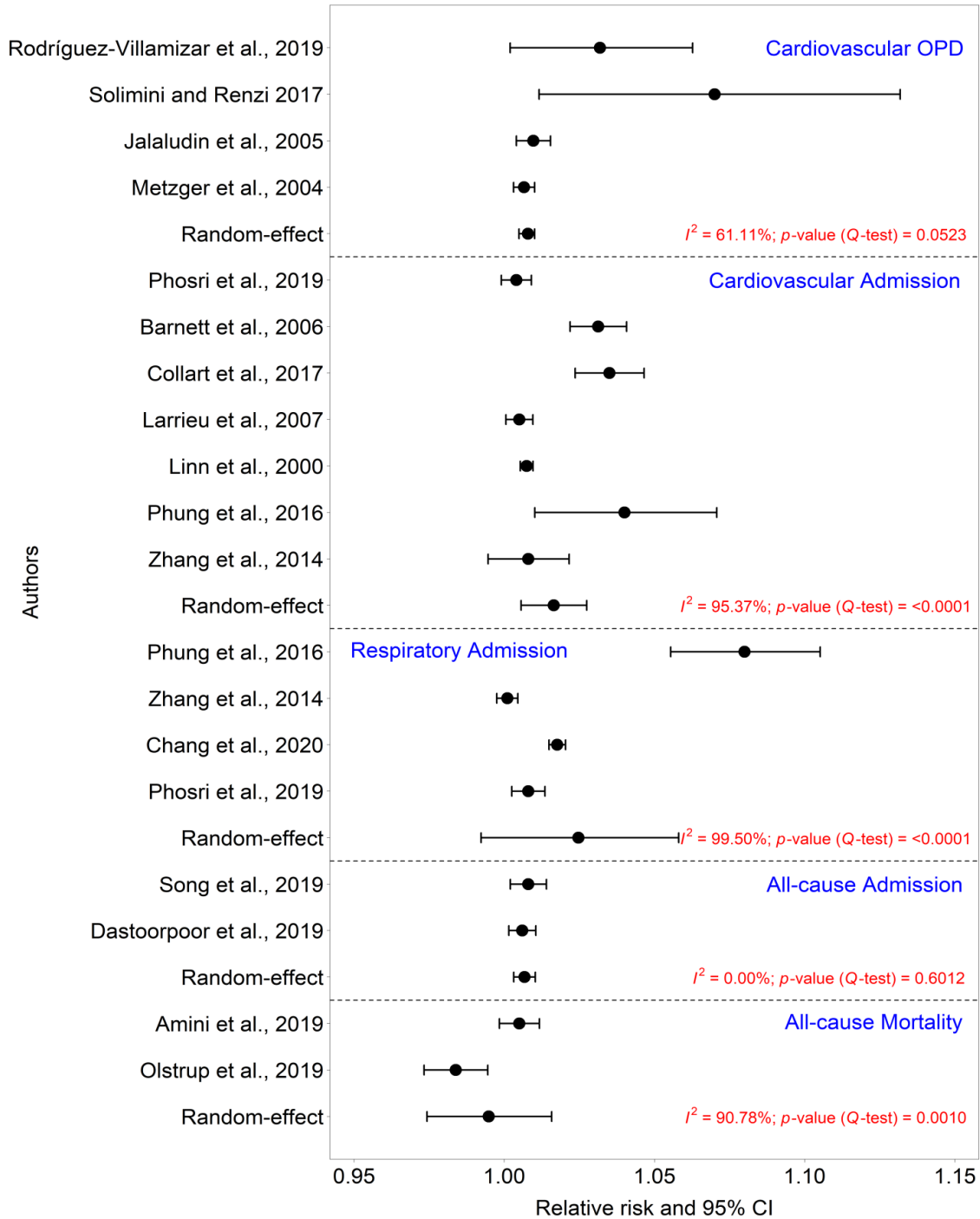
ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ระหว่าง O_3 และผลกระทบต่อสุขภาพซึ่งผลการวิเคราะห์ห่อภิมาณ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง O_3 และการนอนโรงพยาบาลด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคและโรคระบบทางเดินหายใจ รวมทั้งการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) กล่าวคือ เมื่อ O_3 เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเสี่ยงของการนอนโรงพยาบาลด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคและการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.08 ($\text{RR} = 1.0008$, 95% CI: 0.9969, 1.0047) และร้อยละ 0.44 ($\text{RR} = 1.0044$, 95% CI: 0.9983, 1.0107) ตามลำดับ ในขณะที่ความเสี่ยงของการนอนโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจลดลงร้อยละ 0.02 ($\text{RR} = 0.9998$, 95% CI: 0.9945, 1.0050) นอกจากนี้ เมื่อ O_3 เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเสี่ยงของการการเสียชีวิตด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.56 ($\text{RR} = 1.0056$, 95% CI: 1.0013, 1.0098) ความเสี่ยงของการใช้บริการแผนกผู้ป่วยนอกและการนอนโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจลดลงร้อยละ 0.02 ($\text{RR} = 0.9998$, 95% CI: 0.9989, 1.0007) และ 0.12 ($\text{RR} = 0.9988$, 95% CI: 0.9959, 1.0017) ตามลำดับ ทั้งนี้ ไม่พบความสัมพันธ์กับการใช้บริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ ($\text{RR} = 1.0000$, 95% CI: 0.9999, 1.0001) ดังภาพที่ 3

สำหรับ ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} และผลกระทบต่อสุขภาพจากการศึกษาในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก ซึ่งผลการวิเคราะห์ห่อภิมาณพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} และการนอนโรงพยาบาลด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคและโรคระบบทางเดินหายใจ รวมทั้งการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคและจากโรคระบบทางเดินหายใจในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) โดยเมื่อ PM_{10} เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเสี่ยงของการนอนโรงพยาบาลด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคและโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.58 ($\text{RR} = 1.0058$, 95% CI: 0.9980, 1.0136) และ 0.40 ($\text{RR} = 1.0040$, 95% CI: 1.0007, 1.0073) ตามลำดับ อีกทั้งความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคและโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.40 ($\text{RR} = 1.0040$, 95% CI: 0.9997, 1.0083) และ 0.36 ($\text{RR} = 1.0036$, 95% CI: 1.0001, 1.0071) ตามลำดับ

นอกจากนี้เมื่อ PM10 เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.23 (RR = 1.0023, 95% CI: 0.9986, 1.0060) และ 0.91 (RR = 1.0091, 95% CI: 1.0026, 1.0156) ตามลำดับ อีกทั้งความเสี่ยงของการนอนโรงพยาบาลและการเสียชีวิตด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.61 (RR = 1.0061, 95% CI: 1.0046, 1.0076) และ 0.84 (RR = 1.0084, 95% CI: 0.9990, 1.0179) ตามลำดับ ดังภาพที่ 4

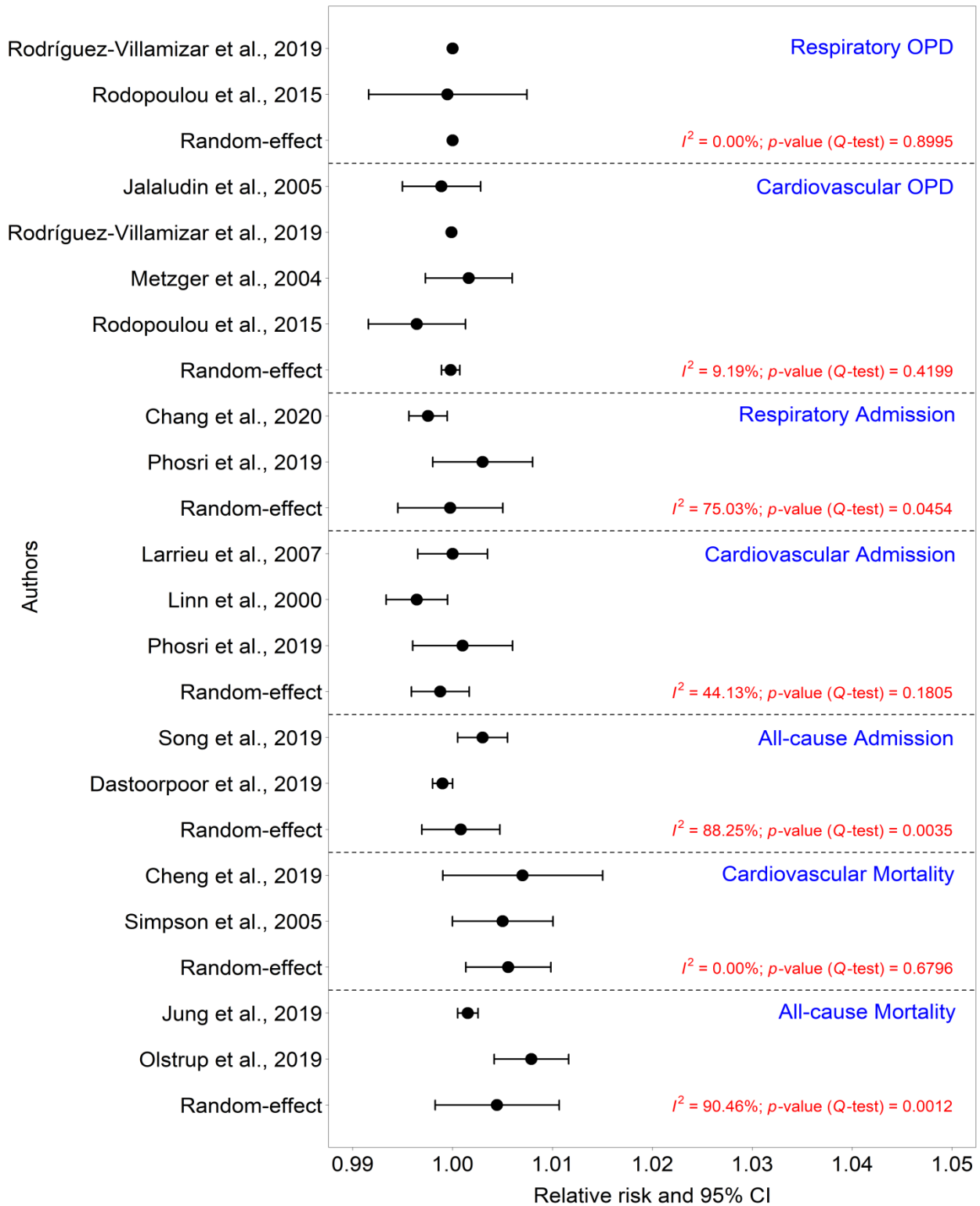
ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 และผลกระทบต่อสุขภาพจากการศึกษาในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลก ซึ่งผลการวิเคราะห์ห่อภิมาณพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่าง PM2.5 และผลกระทบต่อสุขภาพ (ยกเว้นการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ) ในพื้นที่ต่าง ๆ ทั่วโลกมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05) โดยเมื่อ PM2.5 เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.05 (RR = 1.0005, 95% CI: 0.9993, 1.0016) และร้อยละ 1.36 (RR = 1.0136, 95% CI: 0.9988, 1.0287) ตามลำดับ นอกจากนี้ความเสี่ยงของการนอนโรงพยาบาลเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.87 (RR = 1.0087, 95% CI: 1.0009, 1.0165) ในโรคระบบทางเดินหายใจร้อยละ 0.57 (RR = 1.0057, 95% CI: 0.9958, 1.0156) และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด ร้อยละ 3.42 (RR = 1.0342, 95% CI: 0.9698, 1.1028) สำหรับสาเหตุจากทุกกลุ่มโรค อีกทั้งเมื่อ PM2.5 เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเสี่ยงของการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรค โรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.37 (RR = 1.0037, 95% CI: 1.0001, 1.0073) ร้อยละ 0.61 (RR = 1.0061, 95% CI: 0.9993, 1.0129) และร้อยละ 0.53 (RR = 1.0053, 95% CI: 1.0015, 1.0091) ตามลำดับ ดังภาพที่ 5

The association between NO₂ and health outcomes



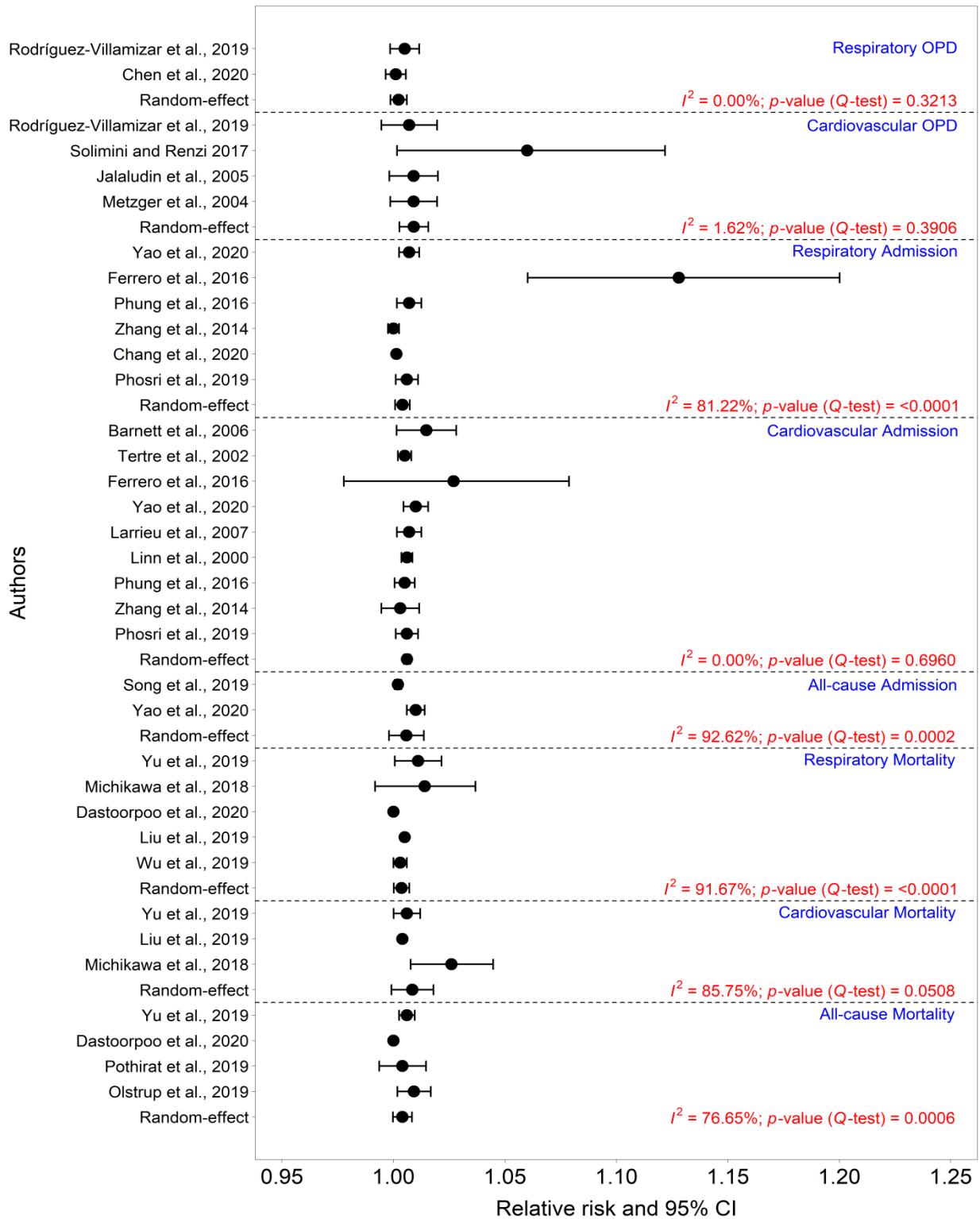
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง NO₂ และผลกระทบต่อสุขภาพ (ผลกระทบต่อการใช้ 10 µg/m³)

The association between O₃ and health outcomes



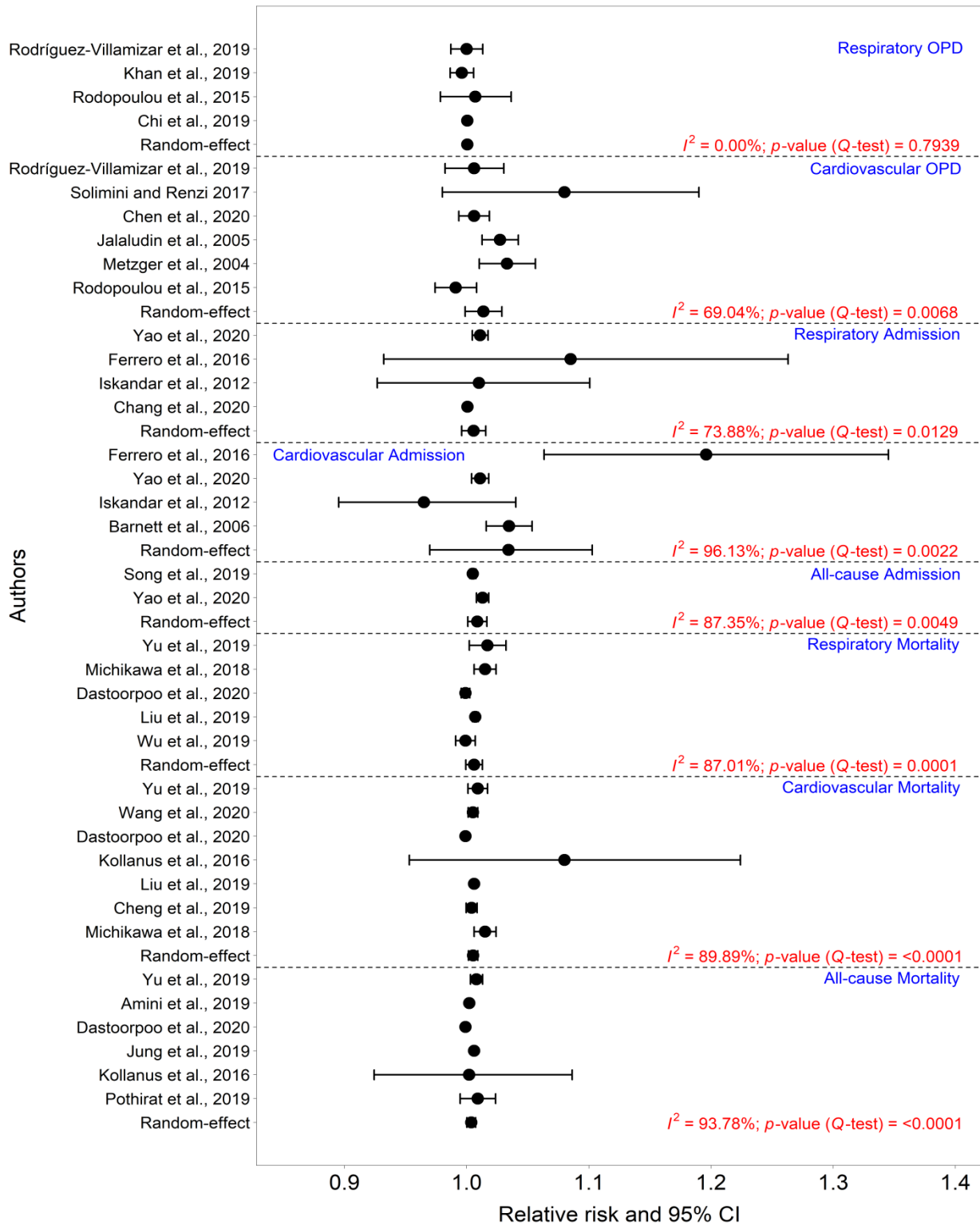
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง O₃ และผลกระทบต่อสุขภาพ (ผลกระทบต่อค่าการเพิ่มขึ้น 10 µg/m³)

The association between PM₁₀ and health outcomes



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM₁₀ และผลกระทบต่อสุขภาพ (ผลกระทบต่อการใช้ 10 µg/m³)

The association between PM_{2.5} and health outcomes



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{2.5} และผลกระทบต่อสุขภาพ (ผลกระทบต่อการใช้ 10 µg/m³)

2.6 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI)

ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) เป็นตัวเลขที่ใช้บ่งบอกความเสี่ยงของการสัมผัสมลพิษอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปในหลายประเทศทั่วโลก โดยมีการระบุคำแนะนำในการปฏิบัติเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นได้จากการสัมผัสมลพิษอากาศ ซึ่ง AQI สามารถคำนวณได้จากความเข้มข้นของมลพิษอากาศในบรรยากาศโดยทั่วแต่ละตัว (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, O₃ และ CO) และแสดงผลเป็นค่า AQI ของมลพิษอากาศตัวที่มีค่าสูงที่สุดในชั่วโมงนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม การคำนวณค่า AQI ไม่ได้พิจารณาความเสี่ยงต่อสุขภาพพร้อมด้วย อีกทั้งค่าที่ได้ไม่สามารถสะท้อนให้เห็นถึงความเสี่ยงของมลพิษอากาศและสุขภาพที่เป็นเส้นตรง (Non-threshold health risks) ที่พบได้โดยทั่วไปจากการศึกษาเชิงระบาดวิทยา นอกจากนี้ค่า AQI ที่แสดงในช่วงเวลานั้น ๆ เป็นค่าที่ได้จากมลพิษอากาศเพียงชนิดเดียวที่มีค่า AQI สูงที่สุดในเวลานั้น ๆ แต่ในความเป็นจริงคนเราทุกคนไม่ได้หายใจเฉพาะมลพิษอากาศชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่มีการสูดหายใจมลพิษอากาศทุกชนิดที่มีอยู่ในบรรยากาศในขณะนั้น ดังนั้น ค่า AQI จึงไม่ได้บ่งบอกปริมาณสารมลพิษทั้งหมดที่สุดเข้าไปในร่างกาย อีกทั้งการนำค่า AQI ของมลพิษอากาศทุกตัวมารวมกันก็ยังมีผลคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากมลพิษอากาศแต่ละตัวมีความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาความรุนแรงของผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษอากาศแต่ละตัว และพัฒนาเป็นดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) ทั้งนี้ มลพิษอากาศชนิดใดมีความรุนแรงมากกว่าก็จะมีน้ำหนักในการคำนวณผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่า โดยค่า AQHI นี้จะเป็นดัชนีที่ใช้ในการบ่งบอกผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสมลพิษอากาศหลายชนิดในบรรยากาศ ซึ่งแตกต่างจากค่า AQI ที่บ่งบอกเฉพาะมลพิษอากาศเพียงชนิดเดียว ทั้งนี้ การคำนวณ AQHI สามารถคำนวณได้หลายวิธี รายละเอียดดังต่อไปนี้

2.6.1 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) จากหลักฐานทางระบาดวิทยา

การพัฒนา AQHI จากหลักฐานทางระบาดวิทยาจำเป็นต้องทราบสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและสุขภาพ (Exposure – Response Coefficients) ที่ได้จากการศึกษาแบบอนุกรมเวลา (Time Series Analysis) หรือรูปแบบการศึกษาทางระบาดวิทยาอื่น ๆ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะบ่งบอกผลกระทบต่อสุขภาพจากปริมาณการสัมผัสมลพิษอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้การได้มาซึ่งสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์จำเป็นต้องอาศัยวิธีการศึกษาที่ซับซ้อนและจำเป็นต้องใช้ข้อมูลที่มีขนาดใหญ่เพื่อเป็นตัวแทนที่ดีของประชาชนโดยทั่วไป ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้เป็นวิธีการที่ใช้ในการพัฒนา AQHI ของประเทศแคนาดา (Stieb et al., 2008) โดยเกิดจากผลรวมของความเสี่ยงการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับมลพิษอากาศแต่ละชนิด (PM₁₀, PM_{2.5}, NO₂, SO₂, O₃ และ CO) ที่ได้จากการการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดกับการเสียชีวิต โดยใช้รูปแบบการศึกษาชนิดอนุกรมเวลาที่วิเคราะห์โดยใช้ Generalized Additive Model ภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลแบบ quasi-Poisson ผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปใช้ในการพัฒนา AQHI โดยปรับขนาดให้อยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 10⁺ และพิจารณาความแตกต่างของประชากรและความเข้มข้นของมลพิษอากาศในแต่ละพื้นที่ร่วมด้วย ทั้งนี้การพัฒนา AQHI ด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องอาศัยสมการที่สำคัญดังต่อไปนี้

$$MWED(\%) = \sum_{j=1 \dots n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1 \dots n} m_j} \right) * \sum_{i=1 \dots p} 100(\exp(\beta_i x_{i,t,j}) - 1) \right] \quad (2.4)$$

เมื่อ *MWED* คือ Mortality Weighted Excess Deaths หรือจำนวนผู้เสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษอากาศที่มีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจากจำนวนประชากรและความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (มีหน่วยเป็นร้อยละ); β_i คือสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศชนิด i กับการเสียชีวิตจากสมการ Generalized Additive Model; $x_{i,t,j}$ คือ ความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i ณ ชั่วโมง t ในพื้นที่ j ที่ทำให้มีจำนวนผู้เสียชีวิตมากที่สุด; m_j คือ จำนวนผู้เสียชีวิตเฉลี่ยต่อวันที่จังหวัด j ซึ่งค่า *MWED* ในวันที่มีค่ามากที่สุดที่ได้จากสมการ (2.4) จะนำไปใช้ในการกำหนด AQHI ที่ปรับขนาดให้อยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 10⁺

$$c = \max_{t=1\dots q} \left\{ \sum_{j=1\dots n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1\dots n} m_j} \right) * \sum_{i=1\dots p} 100(\exp(\beta_i x_{i,t,j}) - 1) \right] \right\} \quad (2.5)$$

เมื่อ q คือ จำนวนวัน และ c คือ ค่าสูงสุดของ *MWED* ซึ่งหมายถึงวันที่มีจำนวนผู้เสียชีวิตมากที่สุดจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศที่ได้จากการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของจำนวนประชากรและความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ดังนั้น ค่า AQHI สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ (คำนวณโดยใช้ค่าเฉลี่ย 3 ชั่วโมง)

$$AQHI = \frac{10}{c} \sum_{i=1\dots p} 100(\exp(\beta_i x_i) - 1) \quad (2.6)$$

เมื่อ β_i คือสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศชนิด i กับการเสียชีวิตจากสมการ Generalized Additive Model; c คือค่า *MWED* ในวันที่มีค่าสูงที่สุดตลอดช่วงเวลาที่ศึกษา; x_i คือความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i (เฉลี่ย 3 ชั่วโมง) และ p คือจำนวนมลพิษอากาศในการศึกษา ซึ่งประกอบด้วย PM2.5/PM10, O₃ และ NO₂ เนื่องจากค่าความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตมีความเสถียรมากกว่ามลพิษชนิดอื่น กล่าวคือเมื่อเพิ่มตัวแปรมลพิษอื่นในสมการ Generalized Additive Model ค่าความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากการรับสัมผัส PM2.5/PM10, O₃ และ NO₂ มีค่าคงที่หรือไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก ดังนั้นค่า AQHI สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$AQHI = \frac{10}{c} * [100 * (\exp(\beta_{PM_{2.5}} x_{PM_{2.5}}) - 1) + (\exp(\beta_{O_3} x_{O_3}) - 1) + (\exp(\beta_{NO_2} x_{NO_2}) - 1)] \quad (2.7)$$

อย่างไรก็ตาม จำนวนมลพิษที่ใช้ในการพัฒนา AQHI มีจำนวนแตกต่างกันในแต่ละประเทศขึ้นอยู่กับความเสถียรของสมการ Generalized Additive Model ที่ทำให้ผลลัพธ์ของการประเมินความเสี่ยงของมลพิษอากาศและสุขภาพมีค่าแม่นยำที่สุดในแต่ละประเทศ

นอกจากวิธีการพัฒนา AQHI จากหลักฐานทางระบาดวิทยาที่ใช้ในประเทศแคนาดาแล้ว ยังมีแนวทางการพัฒนา AQHI จากหลักฐานทางระบาดวิทยาที่ใช้ในประเทศจีนโดยใช้จำนวนผู้เข้ารับการรักษาพยาบาล (ผู้ป่วยใน) เนื่องจากโรกระบบทางเดินหายใจและโรกระบบหัวใจและหลอดเลือด (Wong et al., 2013) กับมลพิษอากาศจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ NO₂, O₃, PM10 และ SO₂ และรายงานผลในรูปของร้อยละของการเข้ารับการรักษาพยาบาลที่เป็นสาเหตุมาจากมลพิษอากาศ (%Excess Risk: %ER) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\%ER = \sum_{i=1 \dots p} (\exp(\beta_i x_{i,t}) - 1) * 100 \quad (2.8)$$

เมื่อ β_i คือสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศชนิด i กับการเสียชีวิตจากสมการ Generalized Additive Model; $x_{i,t}$ คือ ความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i ณ เวลา t และ p คือ จำนวนมลพิษอากาศ ดังนั้น %ER ของการศึกษาในประเทศจีนจึงเกิดจากการพิจารณาความเข้มข้นของมลพิษอากาศ NO_2 , O_3 , PM_{10} และ SO_2 ในแต่ละวัน เพื่อกำหนดลำดับชั้นของ %ER และนำลำดับชั้นของ %ER ไปอ้างอิงกับค่า AQHI ที่มีค่าดัชนีในช่วง $0 - 10^+$ กล่าวคือ %ER ที่มีค่าอยู่ในช่วง $0 - 5.64$ จะมีค่าเทียบเคียงกับ AQHI ในช่วง $1 - 3$ หรือ %ER ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $>5.64 - 11.29$ มีค่าเทียบเคียงกับ AQHI ในช่วง $4 - 6$ นอกจากนี้ %ER ที่มีค่าอยู่ในช่วง $>11.29 - 12.91$ มีค่าเทียบเคียงกับ AQHI เท่ากับ 7 หรือ %ER ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง $>12.91 - 19.37$ มีค่าเทียบเคียงกับ AQHI ในช่วง $8 - 10$ และ %ER ที่มีค่ามากกว่า 19.37 มีค่าเทียบเคียงกับค่า AQHI มากกว่า 10 ซึ่งแน่นอนว่าค่าเหล่านี้จะแตกต่างกันในแต่ละประเทศขึ้นอยู่กับผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและสุขภาพจากการศึกษาแบบอนุกรมเวลาหรือรูปแบบการศึกษาทางระบาดวิทยาอื่น ๆ เช่น การศึกษาภาคตัดขวาง (Cross-Sectional Design) หรือการศึกษาแบบไขว้เวลาสำหรับผู้ป่วยแต่ละราย (Case-Crossover Design) เป็นต้น นอกจากนี้การศึกษาในเมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน (Chen et al., 2013) ได้นำเอาวิธีการที่ใช้ในประเทศแคนาดาตามประยุกต์ โดยแบ่งเป็นสองสมการขึ้นอยู่กับชนิดของ PM (PM_{10} หรือ $\text{PM}_{2.5}$) ที่มีการตรวจวัดในพื้นที่นั้น ๆ ดังต่อไปนี้

$$\text{PM}_{10}\text{AQHI} = \frac{10}{17} * 100 * (\exp(0.000154 * \text{PM}_{10}) - 1) + (\exp(0.000664 * \text{NO}_2) - 1) \quad (2.9)$$

$$\text{PM}_{2.5}\text{AQHI} = \frac{10}{15} * 100 * (\exp(0.000172 * \text{PM}_{2.5}) - 1) + (\exp(0.000664 * \text{NO}_2) - 1) \quad (2.10)$$

เมื่อ $\text{PM}_{10}\text{AQHI}$ และ $\text{PM}_{2.5}\text{AQHI}$ คือค่าดัชนีที่ใช้ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ในการพัฒนา AQHI ตามลำดับ ในขณะที่ค่า 0.000154 , 0.000172 และ 0.000664 คือค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่าง PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ และ NO_2 กับการเสียชีวิตที่ได้จากสมการ Generalized Additive Model ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกค่าความเสี่ยงการเสียชีวิตต่อ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรที่เพิ่มขึ้นของมลพิษอากาศแต่ละตัว นอกจากนี้ตัวเลข 17 และ 15 คือค่า MWED ที่มากที่สุด (c) เมื่อใช้ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ในการพัฒนา AQHI ตามลำดับ ซึ่งค่าเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยการศึกษาเชิงระบาดวิทยาในแต่ละพื้นที่โดยใช้ข้อมูลที่มีการกระจายตัวเชิงเวลาเพื่อบ่งชี้ผลกระทบของมลพิษอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน อีกทั้งจำเป็นต้องกำจัดตัวแปรอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในการศึกษา

2.6.2 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศ (AQHI) จากแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก (WHO AQG)

การพัฒนา AQHI ตามแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก มีใช้ในฮ่องกงโดยเรียกว่า Hong Kong Air Quality Index (HKAQI) (Thach et al., 2018) โดยพิจารณามลพิษอากาศทั้งหมด 4 ชนิด คือ PM_{10} , SO_2 , NO_2 และ O_3 โดยใช้ข้อมูล PM_{10} แทน $\text{PM}_{2.5}$ เนื่องจากมีความสมบูรณ์มากกว่า (ใช้ความเข้มข้นเฉลี่ย 3 ชั่วโมงที่มีค่ามากที่สุดของมลพิษอากาศแต่ละชนิด) หลังจากพิจารณาจำนวน

มลพิษอากาศที่ใช้ในการศึกษาแล้ว ความเข้มข้นของมลพิษอากาศแต่ละชนิดจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในหน่วยของดัชนีย่อยของมลพิษอากาศแต่ละตัว (s_i) โดยการเปรียบเทียบความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่ตรวจวัดได้กับค่าความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่องค์การอนามัยโลกแนะนำที่เกิดจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพโดยแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศที่องค์การอนามัยโลกแนะนำ คือ ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM₁₀ และ SO₂ ไม่เกิน 50 และ 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงของ NO₂ ไม่เกิน 200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมงของ O₃ ไม่เกิน 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (WHO, 2006) ทั้งนี้ ดัชนีย่อยของมลพิษอากาศแต่ละตัวสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$s_i = 100 * \left(\frac{q_i}{Q_i} \right) \quad (2.11)$$

เมื่อ s_i คือดัชนีย่อยของมลพิษอากาศชนิด i ในขณะที่ q_i และ Q_i คือความเข้มข้นเฉลี่ย 3 ชั่วโมงที่มีค่ามากที่สุดที่ตรวจวัดได้ในแต่ละวันและค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 3 ชั่วโมงที่มีค่ามากที่สุดที่องค์การอนามัยโลกแนะนำสำหรับมลพิษอากาศชนิด i ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ย 3 ชั่วโมงที่มีค่ามากที่สุดที่องค์การอนามัยโลกแนะนำกำหนดให้ มีค่าเท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับ PM₁₀ หรือ 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับ SO₂ หรือ 191 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับ NO₂ (ประมาณค่าจากสมการถดถอยเชิงเส้นที่มีค่าเฉลี่ย 3 ชั่วโมงที่มีค่ามากที่สุดเป็นตัวแปรตามและค่าเฉลี่ย 1 ชั่วโมงเป็นตัวแปรต้น) และ 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับ O₃ ทั้งนี้ผลรวมของดัชนีย่อย (s_i) ของมลพิษอากาศแต่ละตัวจะนำมาใช้เพื่อคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศโดยรวมของมลพิษอากาศในฮ่องกง (HKAQI) ตามสมการดังต่อไปนี้

$$HKAQI = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s_i^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (2.12)$$

เมื่อ n คือ จำนวนมลพิษอากาศ และ p คือจำนวนตั้งแต่ 1 ถึงอินฟินิตี้ ที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนของ HKAQI มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากสมการ (2.12) เป็นสมการที่ใช้ผลรวมของมลพิษอากาศ โดยที่มลพิษอากาศบางชนิดมีค่าความเข้มข้นต่ำซึ่งอาจจะทำให้ HKAQI มีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น (Underestimate) และนำไปสู่ผลสรุปที่บอกว่ามลพิษอากาศมีความปลอดภัยต่อสุขภาพ (แต่ในความเป็นจริงมีผลกระทบต่อสุขภาพ) ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องมีตัวแปร p ในสมการ ที่ทำให้ HKAQI มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำสุด กล่าวคือเป็นค่าที่ทำให้ HKAQI มีค่ามากกว่า (Overestimate) หรือต่ำกว่า (Underestimate) ที่ควรจะเป็นน้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า มลพิษอากาศอย่างน้อย 1 ชนิดมีค่ามากกว่า 1.5 เท่าของ WHO AQG (1.5 x WHO AQG) หรือมลพิษอากาศอย่างน้อย 2 ชนิดมีค่ามากกว่า WHO AQG (1.0 x WHO AQG) ซึ่งนักวิจัยในฮ่องกงพบว่าการใช้ $p = 3$ ทำให้ความคลาดเคลื่อนของ HKAQI มีค่าต่ำสุด (Thach et al., 2018) ทั้งนี้ HKAQI สามารถแบ่งได้เป็น 5 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำ (HKAQI: 0–50) ปานกลาง (HKAQI: 51–100) สูง (HKAQI: 101–150) สูงมาก (HKAQI: 151–200) และระดับที่เป็นอันตราย (HKAQI ตั้งแต่ 201 ขึ้นไป)

นอกจากนี้ การพัฒนา AQHI ตามแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก ยังมีอีก 1 วิธีที่ใช้กันทางตอนใต้ของประเทศเยอรมนี (Lokys et al., 2015) ซึ่งถูกเรียกว่า Daily Air Quality Index (DAQx) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสื่อสารความเสี่ยงของมลพิษอากาศต่อสาธารณะจากมลพิษอากาศทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ NO₂, SO₂, CO, O₃ และ PM10 ซึ่งสามารถประมาณค่า DAQx ได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$DAQx_i = \left[\left(\frac{DAQx_{up} - DAQx_{low}}{C_{up} - C_{low}} \right) * (C_{conc.} - C_{low}) \right] + DAQx_{low} \quad (2.13)$$

เมื่อ DAQx_i คือดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับมลพิษอากาศชนิด *i* ในขณะที่ DAQx_{low} และ DAQx_{up} คือ ดัชนีที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุดในช่วงความเข้มข้น C_{conc.} ของมลพิษอากาศนั้น นอกจากนี้ C_{low} และ C_{up} คือ ความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่มีค่าต่ำสุดและสูงสุดในช่วงความเข้มข้น C_{conc.} ของมลพิษอากาศนั้น โดย C_{conc.} คือ ความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิดนั้น ๆ ที่ตรวจวัดได้ ทั้งนี้ค่า DAQx_i สามารถแบ่งได้เป็น 6 ช่วง ได้แก่ DAQx_i < 1.4, DAQx_i 1.5 – 2.4, DAQx_i 2.5 – 3.4, DAQx_i 3.5 – 4.4, DAQx_i 4.5 – 5.4, และ DAQx_i > 5.5 อย่างไรก็ตาม DAQx_i เป็นค่าดัชนีที่ไม่ได้พิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษอากาศมากนักและเป็นค่าที่แสดงถึงคุณภาพอากาศเพียงชนิดเดียว ดังนั้น Multi Pollutant Index (MPI) จึงถูกสร้างขึ้นจากความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่ตรวจวัดได้และความเข้มข้นที่องค์การอนามัยโลกแนะนำ ทั้งนี้ MPI ถือว่าเป็นดัชนีที่มีการพิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษอากาศไปโดยปริยาย เนื่องจากค่าความเข้มข้นที่องค์การอนามัยโลกแนะนำเป็นค่าที่เกิดจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษอากาศเรียบร้อยแล้ว

$$MPI = \frac{1}{n} * \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{AC_i - GC_i}{GC_i} \right) \right] \quad (2.14)$$

เมื่อ AC_i คือความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด *i* และ GC_i คือความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด *i* ที่ องค์การอนามัยโลกแนะนำ และ *n* คือจำนวนมลพิษอากาศ ทั้งนี้ การสร้างดัชนีที่ได้จากแนวทางการกำหนด มาตรฐานคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลกนั้นไม่ได้เป็นตัวแทนที่ดีที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อสุขภาพของ มลพิษอากาศในระดับท้องถิ่นหรือระดับประเทศ เนื่องจากเป็นค่าความเข้มข้นแนะนำที่องค์การอนามัยโลกกำหนด สำหรับทุกประเทศทั่วโลก อีกทั้งมลพิษอากาศในแต่ละประเทศอาจจะมีผลกระทบที่แตกต่างกัน แม้ว่าความเข้มข้น ของมลพิษอากาศจะเท่ากัน ดังนั้น การใช้หลักฐานทางระบาดวิทยาของแต่ละประเทศจึงมีความสำคัญในการ พัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ

2.6.3 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศ (AQHI) จากความเสี่ยงสัมพัทธ์

ความเสี่ยงสัมพัทธ์คือผลลัพธ์จากการศึกษาเชิงระบาดวิทยาที่บ่งชี้ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษ อากาศแต่ละชนิดและผลกระทบต่อสุขภาพ ตัวอย่างของดัชนีที่ใช้ความเสี่ยงสัมพัทธ์คือ Aggregate Risk Index (ARI) ซึ่งมีการเปลี่ยนความเสี่ยงสัมพัทธ์ของมลพิษอากาศแต่ละชนิดต่อสุขภาพให้เป็นค่าดัชนีคุณภาพอากาศ โดยรวม ดังสมการต่อไปนี้

$$ARI = \sum_{i=1}^n a_i * C_i \quad (2.15)$$

เมื่อ ARI คือดัชนีคุณภาพอากาศโดยรวม a_i คือ ค่าความเสี่ยงที่แปรผันตรงกับความเสี่ยงสัมพัทธ์ของมลพิษอากาศชนิด i และ C_i คือความเข้มข้นต่อหน่วยเวลาของมลพิษอากาศชนิด i โดยการประมาณค่า a_i สามารถคำนวณได้จากความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมงของ PM10 เท่ากับ 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิตโดยมีค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์เท่ากับ 1.070 (RR_{PM10} เท่ากับ 1.014) ซึ่งมีค่าเทียบเคียงกับ ARI เท่ากับ 4 ดังนั้น จากสมการ (2.15) ค่า a_i ของ PM10 (a_{PM10}) จึงมีค่าเท่ากับ 0.080 ทั้งนี้ การประมาณค่า a_i ของมลพิษอากาศชนิดอื่น ๆ สามารถประมาณได้จากความเข้มข้นของมลพิษอากาศแต่ละชนิดที่ทำให้มีค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์เท่ากับ 1.070 ซึ่งสามารถเทียบเคียงกับ ARI เท่ากับ 4 หรือสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$a_i = \frac{a_{PM10}(RR_i - 1)}{(RR_{PM10} - 1)} \quad (2.16)$$

เมื่อ RR_{PM10} คือ ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการป่วยหรือเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของ PM10 และ RR_i คือ ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการป่วยหรือเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นทุก 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของมลพิษอากาศชนิด i (Sicard et al., 2011)

การใช้ความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่ได้จากการศึกษาทางระบาดวิทยาในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศที่มีความซับซ้อนอีกวิธีหนึ่งเรียกว่า Health-risk based Air Quality Index (HAQI) ซึ่งมีการใช้ในประเทศจีน โดยการประมาณร้อยละของความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษอากาศ (Excess Risk: ER)

$$RR_i = \exp[\beta_i(m_i - m_{i,0})], m_i > m_{i,0} \quad (2.17)$$

เมื่อ β_i คือสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศชนิด i กับผลกระทบต่อสุขภาพ (เจ็บป่วยหรือเสียชีวิต) โดยเป็นตัวแปรที่บ่งบอกความเสี่ยงที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i เปลี่ยนไป ซึ่งได้จากการศึกษาเชิงระบาดวิทยาในแต่ละประเทศ นอกจากนี้ m_i คือความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i และ $m_{i,0}$ คือมาตรฐานคุณภาพอากาศสำหรับมลพิษอากาศชนิด i ในประเทศนั้น ๆ ซึ่งในประเทศไทย คือ ค่าที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดขึ้น ดังนั้น เมื่อความเข้มข้นของมลพิษอากาศใด ๆ มีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน หมายถึง ไม่มีผลกระทบที่รุนแรงเกิดขึ้น ซึ่งจากสมการ (2.14) สามารถคำนวณค่า ER ได้จากสมการต่อไปนี้

$$ER_i = RR_i - 1 \quad (2.18)$$

และผลรวมของ ER สำหรับมลพิษอากาศทุกตัวจึงมีค่าเท่ากับ

$$ER_{total} = \sum_{i=1}^n ER_i = \sum_{i=1}^n (RR_i - 1) \quad (2.19)$$

ทั้งนี้ เมื่อสมมติว่า ER สำหรับมลพิษอากาศชนิด i มีค่าเท่ากับ ER_{total} ดังนั้น ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์เทียบเท่า (RR_i^*) จึงสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$RR_i^* = ER_{total} + 1 = \exp[\beta_i(m_i^* - m_{i,0})] \quad (2.20)$$

และความเข้มข้นเทียบเท่าของมลพิษอากาศชนิด i (m_i^*) สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$m_i^* = \frac{\ln(RR_i^*)}{\beta_i} + m_{i,0} \quad (2.21)$$

ซึ่งวิธีการดังกล่าวนี้เป็นการทำให้ดัชนีคุณภาพอากาศขึ้นอยู่กับความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศ (RR_i) แทนการขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของมลพิษอากาศ (m_i) (Shen et al., 2017) ดังนั้น HAQI จึงสามารถคำนวณคล้าย ๆ กับ AQI แต่ใช้ความเสี่ยงต่อสุขภาพแทนความเข้มข้นของมลพิษอากาศดังต่อไปนี้

$$HAQI_i = \max\left(AQI_{i,j} \frac{m_i^*}{m_{i,j}}\right), j = 1, 2, 3, \dots, 6 \quad (2.22)$$

เมื่อ $HAQI_i$ คือ HAQI ของมลพิษอากาศชนิด i และ $AQI_{i,j}$ คือ ค่า Upper Bound ของดัชนีคุณภาพอากาศของมลพิษอากาศชนิด i ที่มีความเข้มข้นอยู่ใน AQI Category ที่ j ที่ประกอบด้วยทั้งหมด 6 กลุ่ม (Categories) ได้แก่ AQI 0 – 50, AQI 51 – 100, AQI 101 – 150, AQI 151 – 200, AQI 201 – 300 และ AQI ตั้งแต่ 301 ขึ้นไป ทั้งนี้ $m_{i,j}$ คือค่า Upper Bound ของความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i ที่มีความเข้มข้นในช่วง Category ที่ j ตามประกาศกระทรวงปกป้องสิ่งแวดล้อมแห่งสาธารณรัฐประชาชนจีน (Chinese Ministry of Environmental Protection) อย่างไรก็ตาม การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศด้วยวิธีนี้ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากการศึกษาเชิงระบาดวิทยาในรูปของความเสี่ยงสัมพัทธ์ ซึ่งสามารถใช้ผลการศึกษามากจากต่างประเทศก็ได้ แต่การมีผลการศึกษายภายในประเทศย่อมเป็นตัวเลือกที่ดีกว่าเสมอ เนื่องจากค่าที่ได้ย่อมเป็นตัวแทนที่ดีของประชาชนในพื้นที่หรือประเทศนั้น ๆ

2.6.4 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศ (AQHI) ด้วยวิธีอื่น ๆ

นอกจากการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศตามที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีวิธีการที่เรียกว่า Fuzzy Air Quality Health Index (FAQHI) ซึ่งเกิดจากการจำลองโครงสร้างแบบลำดับขั้น (Hierarchy Tree) จำนวน 3 ชั้น โดยชั้นแรกคือดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศ (AQHI) ชั้นที่ 2 คือดัชนีต่าง ๆ ที่มีผลต่อ AQHI ซึ่งประกอบด้วยดัชนี 2 ชนิด ได้แก่ Pollution Index (PI) และ Exposure Index (EI) และชั้นที่ 3 คือปัจจัยที่มีผลต่อ PI และ EI ในชั้นที่ 2 กล่าวคือปัจจัยที่มีผลต่อ PI ประกอบด้วยความเข้มข้นของมลพิษอากาศทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ PM₁₀, SO₂, NO₂, CO และ O₃ และปัจจัยที่มีผลต่อ EI ประกอบด้วย ความอ่อนไหวเชิงพื้นที่ ความอ่อนไหวเชิงประชากร และความหนาแน่นของประชากร ซึ่งจากการศึกษาพบว่า PI มีผลต่อ AQHI ร้อยละ 74 (0.74) และ EI มีผลต่อ AQHI ร้อยละ 26 (0.26) ทั้งนี้ FAQHI สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$FAQHI = 1 * r^L + 2 * r^M + 3 * r^H \quad (2.23)$$

เมื่อชุดของ Fuzzy ที่แสดงในรูปของต่ำ (r^L) ปานกลาง (r^M) และสูง (r^H) ได้มาจากเมทริกซ์ u (Gorai et al., 2015) และจำนวน 1, 2, 3 คือ ค่าคงที่เมื่อไม่มี Fuzzy (non-fuzzy value) ซึ่งวิธีการนี้นิยมใช้ในการแก้ปัญหาสาธารณสุขในเชิงพื้นที่ เวลา และความหนาแน่นของประชากร แต่ไม่ได้พิจารณาผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากมลพิษอากาศแต่ละชนิด ดังนั้น FAQHI จึงมองข้ามความสำคัญของผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากมลพิษอากาศต่างชนิดกัน

นอกจากนี้ ยังมีดัชนีชี้วัดสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศชนิดอื่น ๆ คือ Air Quality Risk Index (AQRI) ที่พัฒนามาจาก AQHI โดยกำหนดระดับความเสี่ยงที่ปลอดภัย (Safety Risk) และความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk) เพิ่มเติม (Ahmadi et al., 2015) (ซึ่ง AQHI ไม่มีการกำหนดระดับที่ปลอดภัย เนื่องจากหลักฐานทางระบาดวิทยาพบว่า ผลกระทบของมลพิษอากาศและสุขภาพเป็นแบบเส้นตรง กล่าวคือ ถึงแม้ว่าปริมาณการรับสัมผัสมลพิษอากาศน้อย แต่ยังพบผลกระทบที่ตามมาเสมอ) ทั้งนี้ AQRI สามารถอธิบายได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$AQRI = \frac{R_H W_H + R_S W_S + R_E W_E}{W_H + W_S + W_E} \quad (2.24)$$

เมื่อ R_H คือความเสี่ยงต่อสุขภาพ (Health Risk) R_S คือความเสี่ยงในระดับที่ปลอดภัย (Safety Risk) R_E คือ ความเสี่ยงต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Risk) และ W คือค่าน้ำหนักที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

นอกจากนี้ยังมีดัชนีชี้วัดสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศที่พัฒนาขึ้นจากสถานการณ์ที่เฉพาะเจาะจง กล่าวคือ เป็น AQHI ที่พิจารณาจากมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ยางรถยนต์โดยเฉพาะ (Singh et al., 2015) ซึ่งนักวิจัยมีความพยายามที่จะนำสารมลพิษที่เป็นอันตราย (Hazardous Compounds) ที่เกิดจากการเผาไหม้ของยางรถยนต์ไปใช้ในการพัฒนา AQHI ด้วย ทั้งนี้ ดัชนีชี้วัดประเภทนี้ถูกพัฒนาขึ้นภายใต้ความเข้มข้นอ้างอิงของมลพิษอากาศจาก 2 แหล่ง ได้แก่ มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศขององค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของอเมริกา (National Ambient Air Quality Standards (NAAQS) of US Environmental Protection Agency) และแนวทางปริมาณการรับสัมผัสที่มีผลกระทบต่อสุขภาพเฉียบพลัน (Acute Exposure Guideline Levels: AEGL-1) ทั้งนี้ ในกรณีที่ NAAQS ไม่มีมาตรฐานของสารมลพิษที่ต้องการ นักวิจัยจะอ้างอิงตามแนวทาง AEGL-1 ที่เป็นค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 1 ชั่วโมง ดังนั้น ดัชนีประเภทนี้จึงรวมสารมลพิษอากาศที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ แต่ไม่ถูกกำหนดไว้ใน NAAQS ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$a_{tot} = [a_{PM}^p + o_1^p + o_2^p + \dots + o_m^p + u_1^p + u_2^p + \dots + u_n^p]^{\frac{1}{p}} \quad (2.25)$$

เมื่อ a_{PM} คือความเข้มข้นของ PM_{2.5} o_m คือ มลพิษอากาศรวมและ u_n คือสารมลพิษอากาศอื่น ๆ ที่มีการตรวจวัด ในขณะที่ p คือ ค่าที่ควบคุมผลรวมของมลพิษอากาศทุกตัวในสมการ ซึ่งนักวิจัยพบว่าค่า p ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 1 และถึงแม้ว่าดัชนีประเภทนี้พิจารณาสารมลพิษอากาศชนิดอื่นที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ใน NAAQS แต่ไม่สามารถเป็นตัวแทนของสถานการณ์มลพิษอากาศทั่วไปได้ เนื่องจากเป็นดัชนีที่ใช้สำหรับมลพิษอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้ของยางรถยนต์โดยเฉพาะเท่านั้น ซึ่งสารมลพิษอากาศที่เป็นอันตรายชนิดอื่น ๆ จำเป็นต้องมีการตรวจวัดเพิ่มเติม

2.7 สรุป

2.7.1 สรุปการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศ

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ โดยการศึกษาความสัมพันธ์(แสดงด้วยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์: RR และ OR) ระหว่างมลพิษทางอากาศกับผลกระทบต่อสุขภาพ ได้แก่ การเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก การนอนโรงพยาบาล และการเสียชีวิต โดยมลพิษอากาศ ประกอบด้วย NO₂, O₃, PM₁₀ และ PM_{2.5} ได้ทบทวนจากงานวิจัยที่ตีพิมพ์ในวารสารระดับนานาชาติเฉพาะที่เป็นภาษาอังกฤษ (บางส่วน) ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2542 (ค.ศ. 1999) ถึง พ.ศ. 2563 (ค.ศ. 2020) จากฐานข้อมูลของ PubMed และ Scopus โดยใช้คำสำคัญ (Keywords) ว่า "air pollution" OR "particulate matter" OR "PM₁₀" OR "PM_{2.5}" OR "nitrogen dioxide" OR "ozone" AND ("mortality" OR "hospital admission*" OR "outpatient department visit*" OR "emergency department visit*" OR "emergency room visit*") ซึ่งมีการพิจารณาความเกี่ยวข้องของบทความจากชื่อหัวข้อและบทคัดย่อ นอกจากนี้ยังมีการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) ในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกโดยใช้คำสำคัญในการสืบค้นว่า "air quality index" OR "air quality health index" OR "excess risk" OR "aggregate risk index" OR "health-risk based air quality index" OR "air quality risk index" ซึ่งหลังจากการสืบค้น จะจัดกลุ่มบทความตามรูปแบบการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ

หลังจากที่หัวข้อและบทคัดย่อของบทความมีความเกี่ยวข้องกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษอากาศ ขั้นตอนต่อไปคือการอ่านบทความฉบับเต็มเพื่อระบุรายละเอียดของบทความวิจัยนั้น ๆ เช่น สถานที่ศึกษา กลุ่มประชากรที่ศึกษา วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล เป็นต้น ซึ่งบทความที่พิจารณาในการศึกษานี้ หมายรวมถึงบทความที่ศึกษาความสัมพันธ์ระยะสั้น (Short-term Effects) และระยะยาว (Long-term Effects) ระหว่างมลพิษอากาศ (NO₂ หรือ O₃ หรือ PM₁₀ หรือ PM_{2.5}) และผลกระทบต่อสุขภาพ โดยใช้รูปแบบการศึกษาต่าง ๆ ได้แก่ การศึกษาแบบอนุกรมเวลา (Time-series Design) การศึกษาแบบไขว้เวลาของผู้ป่วยแต่ละราย (Time-stratified Case-crossover Design) และการศึกษาแบบโคฮอร์ต (Cohort Study Design) ทั้งนี้บทความนั้น ๆ ต้องเป็นการศึกษาที่ตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดดังต่อไปนี้

- 1) บทความมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง NO₂ หรือ O₃ หรือ PM₁₀ หรือ PM_{2.5} กับผลกระทบต่อสุขภาพ ซึ่งอาจจะเป็นการป่วย (การเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก หรือ การนอนโรงพยาบาล) หรือการเสียชีวิต และบทความนั้น ๆ ใช้ข้อมูลความเข้มข้นของมลพิษอากาศจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ หรือข้อมูลจากดาวเทียม หรือจากแบบจำลองมลพิษอากาศ

- 2) ผลกระทบที่สนใจศึกษาคือการเจ็บป่วยหรือการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้มีสาเหตุมาจากอุบัติเหตุ (Non-accidental Morbidity or Mortality) รวมทั้งโรคติดต่อ (Communicable Disease) อื่น ๆ เช่น โรคระบบทางเดินหายใจ โรคระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน โรคจิตเภท เป็นต้น

- 3) ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาแสดงออกมาในรูปแบบของความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่อาจจะเป็น Relative Risk (RR) หรือ Odds Ratio (OR) หรือร้อยละของความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้น (Percent Change) ต่อหน่วยความเข้มข้นของมลพิษอากาศ (NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}) ทั้งนี้ข้อมูลที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมประกอบไปด้วยชนิดของมลพิษอากาศ ข้อมูลผลกระทบต่อสุขภาพ กลุ่มโรคที่สนใจ ค่าความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เปลี่ยนแปลงต่อ

หน่วยความเข้มข้นของมลพิษอากาศแต่ละชนิด วิธีการและรูปแบบที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ พื้นที่ที่ศึกษา ตลอดจนนามสกุลของผู้แต่งคนแรกและปีที่ตีพิมพ์เผยแพร่

2.7.2 บทสรุปการทบทวนบทความที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศ

เนื่องจากดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ที่ประเทศไทยใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นค่าที่แสดงถึงมลพิษอากาศเพียงชนิดเดียว (PM10, PM2.5, NO₂, SO₂, O₃ หรือ CO) ที่มีค่า AQI สูงที่สุดในเวลานั้น ๆ แต่ในความเป็นจริงคนเราทุกคนไม่ได้หายใจเฉพาะมลพิษอากาศชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่มีการสูดหายใจมลพิษอากาศทุกชนิดที่มีอยู่ในบรรยากาศขณะนั้น ดังนั้นค่า AQI จึงไม่ได้บ่งบอกปริมาณสารมลพิษทั้งหมดที่สุดเข้าไปในร่างกาย อีกทั้งการนำค่า AQI ของมลพิษอากาศทุกตัวมารวมกันก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากมลพิษอากาศแต่ละตัวมีความรุนแรงต่อสุขภาพแตกต่างกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาความรุนแรงต่อสุขภาพของมลพิษอากาศแต่ละตัว และพัฒนาเป็นดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) ซึ่งจากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องพบว่า การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ การพัฒนา AQHI จากหลักฐานทางระบาดวิทยา การพัฒนา AQHI จากแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก (WHO AQG) การพัฒนา AQHI จากความเสี่ยงสัมพัทธ์ และการพัฒนา AQHI ด้วยวิธีการอื่น ๆ

การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลประจำท้องถิ่นหรือข้อมูลของแต่ละประเทศ เนื่องจากผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษอากาศในแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของประชาชน ความแตกต่างทางเศรษฐกิจสถานะของประชาชน รวมทั้งสถานการณ์มลพิษอากาศของแต่ละประเทศมีความแตกต่างกัน ดังนั้น การกำหนดดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศในระดับภูมิภาค เช่น ดัชนีสำหรับภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เป็นต้น จึงเป็นไปได้ยาก ทั้งนี้ ในแต่ละประเทศควรมีหลักฐานทางระบาดวิทยาที่บ่งบอกผลกระทบต่อสุขภาพของมลพิษอากาศเพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากมลพิษอากาศที่เหมาะสมของแต่ละประเทศ

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 ขอบเขตการศึกษา

3.1.1 ข้อมูลด้านมลพิษทางอากาศและด้านอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลมลพิษทางอากาศ และข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา ประกอบด้วย ข้อมูลคุณภาพอากาศ รายวัน (รายชั่วโมง) จากทุกสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ จำนวน 37 จังหวัดทั่วประเทศไทย ย้อนหลังตั้งแต่ ปี 2559 -2563 ใน 4 ประเภท ได้แก่ ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน (PM2.5) ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM10) โอโซน (O3) และ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NOx) รวมถึงข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

3.1.2 ข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิต ข้อมูลการเสียชีวิตจากบัญชีจำแนกโรคทางสถิติ ICD-10 (International Statistical Classification of Diseases version 10) โดยเป็นข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (ICD10: J00-J99) และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (ICD10: I00-I99) จากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติภายใต้สิทธิ์การรักษา 30 บาทรักษาทุกโรค ตลอดจนข้อมูลผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ (ICD10: A00-R99) จากสำนักระบาดวิทยาและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุข) ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2563

3.1.3 ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูล โดยมีแนวทาง ดังนี้ ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลคุณภาพอากาศรายสถานีตรวจวัด และคำนวณระดับมลพิษทางอากาศจากค่ารายชั่วโมงเป็นค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง หรือค่าเฉลี่ย 8 ชั่วโมง จำแนกรายวัน รายสถานีตรวจวัด และรายจังหวัด ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลผู้ป่วยบริการฉุกเฉิน และคำนวณจำนวนผู้ป่วยรายวัน จำแนกรายจังหวัด ตรวจสอบความครบถ้วนของข้อมูลการเสียชีวิต และการลงทะเบียน ICD-10 และคำนวณจำนวนผู้ป่วยรายวัน จำแนกรายจังหวัดตรวจสอบการกระจายตัวของข้อมูลมลพิษทางอากาศ ข้อมูลผู้ป่วยบริการฉุกเฉิน ข้อมูลการเสียชีวิต และค้นหาข้อมูลที่มีความผิดปกติ (Outlier) เพื่อประกอบการอธิบายในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1.4 วิเคราะห์ข้อมูล โดยคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศในภาพรวมของประเทศไทย และประมาณขนาดของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยใช้สถิติด้านระบาดวิทยาสิ่งแวดล้อมที่มีความเหมาะสมกับประเภทของข้อมูลที่มี และพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศด้านสุขภาพ (Air Quality Health Index; AQHI) เพื่อเป็นข้อมูลพัฒนาเกณฑ์ความเสี่ยงและกลไกการเตือนภัยต่อสุขภาพ และคำแนะนำในการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประเทศไทย โดยคำนึงถึงผลกระทบทางสุขภาพ เป็นระดับการแจ้งเตือนภัยสุขภาพ เพื่อให้ประชาชนสามารถปกป้องสุขภาพของตนเองได้อย่างทันทั่วทั้งที่ และทราบระดับผลกระทบต่อสุขภาพที่ควรหลีกเลี่ยงการได้รับสัมผัสสารมลพิษได้อย่างเหมาะสมกับหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่บ่งชี้ถึงสถานการณ์และผลกระทบต่อสุขภาพ โดยใช้หลักเกณฑ์การคำนวณจากข้อมูลผลกระทบทางสุขภาพตามหลักสากล และใช้ความเหมาะสมกับข้อมูลผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในประเทศไทยประกอบการพิจารณา

3.2 การวิเคราะห์ทางสถิติ

3.2.1 สถิติเชิงพรรณนา

ข้อมูลมลพิษอากาศและอุบัติเหตุรายวัน (NO_2 O_3 PM_{10} $\text{PM}_{2.5}$ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์) จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย รวมทั้งข้อมูลสุขภาพ (ข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (ICD10: J00-J99) และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (ICD10: I00-I99) จากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติภายใต้สิทธิการรักษา 30 บาทรักษาทุกโรค ตลอดจนข้อมูลผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรค (ICD10: A00-R99) จากสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์กระทรวงสาธารณสุข) ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2563 ทั้งนี้โปรแกรม R (Version 3.6.3) ถูกนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูล โดยมีการแสดงผลข้อมูลในรูปของตาราง ระบุค่ากลางทางสถิติของข้อมูลแต่ละชนิดในแต่ละจังหวัดในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา และรูปภาพเพื่ออธิบายแนวโน้มของมลพิษอากาศแต่ละชนิดและแนวโน้มของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตในช่วงเวลาที่ศึกษา

3.2.2 สถิติเชิงวิเคราะห์

การวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตจากมลพิษอากาศในการศึกษานี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนแรก คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตในแต่ละจังหวัด โดยใช้วิธีการศึกษาแบบอนุกรมเวลา (Time-series Design) ด้วยสมการ Generalized Linear Model (GLM) ซึ่งเป็นวิธีการศึกษาทางระบาดวิทยาที่นิยมใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศในระยะสั้น โดยคำนึงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของมลพิษอากาศและสุขภาพที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา

ดังนั้น ปัจจัยใดที่ไม่ได้เปลี่ยนแปลงตามเวลาไม่ถูกนำมาพิจารณาเป็นตัวแปรกวนเมื่อใช้วิธีวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา เช่น เพศ อายุ พฤติกรรมการกิน พฤติกรรมการสูบบุหรี่ เป็นต้น ทั้งนี้ ตัวแปรกวนที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลาในการศึกษานี้ ได้แก่ ฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงระยะยาว (ใช้ Natural Cubic Spline ที่ระดับความเป็นอิสระ (Degree of Freedom: DF) เท่ากับ 7 ต่อปี) วันของสัปดาห์ (ใช้ตัวแปรแบบ Dummy ได้แก่ วันอาทิตย์ วันจันทร์ วันอังคาร วันพุธ วันพฤหัสบดี วันศุกร์ และวันเสาร์) และอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน (ใช้ Natural Cubic Spline ที่ DF เท่ากับ 3) เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อจำนวนการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต เช่น ในวันทำการปกติจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาพยาบาลอาจจะมากกว่าในวันเสาร์ หรือวันอาทิตย์ เป็นต้น ดังนั้น ปัจจัยดังกล่าวจำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วย อีกทั้งการศึกษานี้มีการพิจารณาความสัมพันธ์ที่ล่าช้า (Lagged Effect) ของมลพิษอากาศและการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตเป็นระยะเวลา 7 วัน (Lag 0-7) โดยที่ Lag 0 หมายความว่า การรับสัมผัสมลพิษอากาศและการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตเกิดขึ้นในวันเดียวกัน หรือ Lag 1 หมายความว่า การเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตเกิดขึ้นหลังจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศเป็นเวลา 1 วัน หรือ Lag 7 หมายความว่า การเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตเกิดขึ้นหลังจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศเป็นเวลา 7 วัน และนำค่าความเสี่ยงจาก Lag ที่มากที่สุดมาใช้ในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศต่อไป โดยการวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลาในการศึกษานี้กำหนดให้ข้อมูลจำนวนเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือผู้เสียชีวิตรายวันมีการกระจายตัวแบบ quasi-Poisson เพื่อรองรับการกระจายตัวของข้อมูลที่มากเกินไป (Overdispersion) โดยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิด

และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือการเสียชีวิต แสดงออกมาในรูปของ Relative Risk (RR) โดยมีสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Log}(E(Y_t)) = \alpha + \beta_1 \text{airpol}_{i,t} + \text{ns}(\text{date}_t, 7 \text{ per year}) + \text{ns}(\text{temperature}_t, 3) + \text{DOW}_t \quad (3.1)$$

โดยที่	Y_t	คือ จำนวนผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือผู้เสียชีวิตในวันที่ t
	$\text{Log}(E(Y_t))$	คือ จำนวนผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือเสียชีวิตคาดการณ์ในวันที่ t
	α	คือ ค่า Intercept หรือค่าตัดแกน y เมื่อค่าของแกน x มีค่าเท่ากับ 0
	$\text{airpol}_{i,t}$	คือ มลพิษอากาศอากาศชนิด i (ได้แก่ NO_2 , O_3 , PM_{10} หรือ $\text{PM}_{2.5}$) ในวันที่ t
	date_t	คือ วันที่ t เพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงระยะยาวและฤดูกาลโดยใช้ DF เท่ากับ 7 ต่อปี
	temperature_t	คือ อุณหภูมิในวันที่ t โดยใช้ Natural Cubic Spline ที่ DF เท่ากับ 3
	DOW_t	คือ วันของสัปดาห์ ณ วันที่ t (ได้แก่ อาทิตย์ จันทร์ อังคาร พุธ พฤหัสบดี ศุกร์ เสาร์)

จากสมการ (3.1) ค่าความเสี่ยงที่ได้แสดงในรูป RR และช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (95% Confidence Interval) ตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์ (β_1) และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error: SE) ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นต่อ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรของ PM_{10} หรือ $\text{PM}_{2.5}$ และต่อเพิ่มขึ้นต่อ 10 ppb ของ NO_2 หรือ O_3 และขั้นตอนที่ 2 ของการวิเคราะห์ทางสถิติคือการวิเคราะห์ห่อภิมาณชนิดตัวแปรสุ่ม (Random-effect Meta-analysis) โดยนำค่า RR ของแต่ละจังหวัดที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มารวมกันทางสถิติเพื่อประมาณค่าความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิดในระดับประเทศ (Pooled Exposure – Response Coefficients)

$$\beta_{1,i} = \beta + \delta_i + \varepsilon_i \quad (3.2)$$

เมื่อ $\beta_{1,i}$ คือค่าความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกหรือความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศของจังหวัด i ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 ของการวิเคราะห์ทางสถิติ นอกจากนี้ β คือค่าความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงการเสียชีวิตจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศในระดับประเทศ ในขณะที่ δ_i และ ε_i คือ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มในจังหวัด i (Within-province Random Error) และความคลาดเคลื่อนของความเสียงแบบสุ่มระหว่างจังหวัด (Between-province Random Error) ตามลำดับ โดยสมมติให้ความคลาดเคลื่อนของค่าความเสี่ยงแบบสุ่มในจังหวัด i และความคลาดเคลื่อนของความเสียงแบบสุ่มระหว่างจังหวัด มีการแจกแจงปกติ

$$\delta_i \sim N(0, v_i) \quad (3.3)$$

$$\varepsilon_i \sim N(0, \tau^2) \quad (3.4)$$

ดังนั้น ในการศึกษาเมื่อสมมติให้ความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากการสัมผัสมลพิษอากาศของแต่ละจังหวัดมีการกระจายตัวแบบปกติ

$$\beta_{1,i} \sim N(\beta, v_i + \tau^2) \quad (3.5)$$

เมื่อ v_i คือ ความแปรปรวนของค่าความเสี่ยงในแต่ละจังหวัด และ τ^2 คือ ความแปรปรวนของค่าความเสี่ยงระหว่างจังหวัดในการวิเคราะห์ห่อภิมาณ

3.3 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI)

หลังจากได้ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตจากการสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิด (PM10 PM2.5 NO₂ หรือ O₃) ในระดับประเทศ ในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศนั้น ได้นำสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของมลพิษอากาศทั้ง 4 ชนิด (β_{NO_2} , β_{O_3} , β_{PM10} , $\beta_{PM2.5}$) ที่มีต่อการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตมาพิจารณา โดยค่าสัมประสิทธิ์สำหรับมลพิษอากาศแต่ละชนิดจะแสดงถึงความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากการสัมผัส PM10 หรือ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและจากการสัมผัส NO₂ หรือ O₃ ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 ppb

การพัฒนา AQHI ในการศึกษาเกิดจากผลรวมของความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรกระบบทางเดินหายใจและโรกระบบหัวใจและหลอดเลือด หรือความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิด (NO₂, O₃, PM10 และ PM2.5) จากการศึกษาแบบ Time-series Design ด้วยสมการ Generalized Linear Model (GLM) ภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลแบบ quasi-Poisson (ผลลัพธ์ที่ได้จากหัวข้อที่ 3.2) โดยใช้สมการดังต่อไปนี้ (Stieb et al., 2008)

$$MWEC(\%) = \sum_{j=1 \dots n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1 \dots n} m_j} \right) * \sum_{i=1 \dots p} 100(\exp(\beta_i x_{i,t,j}) - 1) \right] \quad (3.6)$$

โดยสมการที่ 3.6 สามารถขยายสมการเพื่อให้ความเข้าใจที่ง่ายขึ้นดังต่อไปนี้

$$MWEC(\%) = \sum_{j=1 \dots n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1 \dots n} m_j} \right) * [100 * (\exp(\beta_{PM10} x_{PM10}) - 1) + (\exp(\beta_{O_3} x_{O_3}) - 1) + (\exp(\beta_{NO_2} x_{NO_2}) - 1)] \right]$$

$$MWEC(\%) = \sum_{j=1 \dots n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1 \dots n} m_j} \right) * [100 * (\exp(\beta_{PM2.5} x_{PM2.5}) - 1) + (\exp(\beta_{O_3} x_{O_3}) - 1) + (\exp(\beta_{NO_2} x_{NO_2}) - 1)] \right]$$

เมื่อ MWEC คือ Morbidity/Mortality Weighted Excess Cases หรือร้อยละของผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือผู้เสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการสัมผัสมลพิษอากาศที่ปรับค่าถ่วงน้ำหนักจากจำนวนผู้เข้ารับบริการหรือจำนวนผู้เสียชีวิตและความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละจังหวัด; β_i คือ สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศชนิด i (NO₂, O₃, PM10 หรือ PM2.5) กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือการเสียชีวิตจากสมการ Generalized Linear Model; $x_{i,t,j}$ คือ ความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i ณ ชั่วโมง t ในพื้นที่ j ที่ทำให้มีจำนวนผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือจำนวนผู้เสียชีวิตมากที่สุด; m_j คือ จำนวน

ผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือจำนวนผู้เสียชีวิตเฉลี่ยต่อวันที่จังหวัด j ซึ่งค่า $MWEC$ ในวันที่มีค่ามากที่สุดที่ได้จากสมการ (3.6) จะนำไปใช้ในการกำหนด AQHI ที่ปรับขนาดให้อยู่ในช่วงระหว่าง $0 - 10^+$

$$c = \max_{t=1...q} \left\{ \sum_{j=1...n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1...n} m_j} \right) * \sum_{i=1...p} 100(\exp(\beta_i x_{i,t,j}) - 1) \right] \right\} \quad (3.7)$$

เมื่อ q คือจำนวนวันและ c คือ ค่าสูงสุดของ $MWEC$ ซึ่งหมายถึงวันที่มีจำนวนผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือจำนวนผู้เสียชีวิตมากที่สุดจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศที่ได้จากการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของจำนวนผู้เข้ารับบริการหรือจำนวนผู้เสียชีวิตและความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละจังหวัด ดังนั้น ค่า AQHI สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

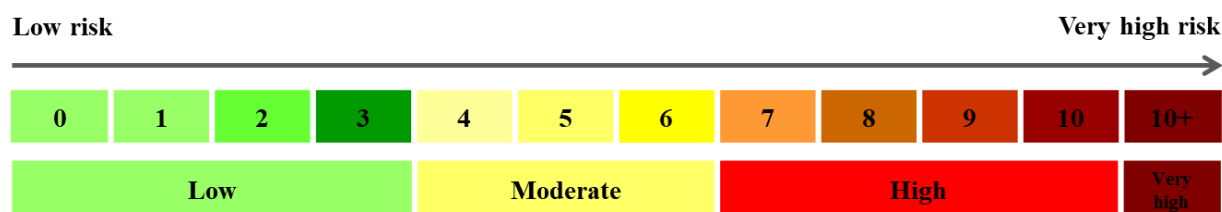
$$AQHI = \frac{10}{c} \sum_{i=1...p} 100(\exp(\beta_i x_i) - 1) \quad (3.8)$$

เมื่อ β_i คือ สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศชนิด i กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือกับการเสียชีวิตจากสมการ Generalized Linear Model; c คือค่า $MWEC$ ในวันที่มีค่าสูงที่สุดตลอดช่วงเวลาการศึกษา; x_i คือ ความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i (เฉลี่ย 3 ชั่วโมง) และ p คือ จำนวนมลพิษอากาศที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย NO_2 , O_3 , PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ดังนั้นค่า AQHI สามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$PM_{10}AQHI = \frac{10}{c} * [100 * (\exp(\beta_{PM_{10}} x_{PM_{10}}) - 1) + (\exp(\beta_{O_3} x_{O_3}) - 1) + (\exp(\beta_{NO_2} x_{NO_2}) - 1)] \quad (3.9)$$

$$PM_{2.5}AQHI = \frac{10}{c} * [100 * (\exp(\beta_{PM_{2.5}} x_{PM_{2.5}}) - 1) + (\exp(\beta_{O_3} x_{O_3}) - 1) + (\exp(\beta_{NO_2} x_{NO_2}) - 1)] \quad (3.10)$$

การเลือกใช้สมการ (3.9) หรือ (3.10) ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลและความสมบูรณ์ของข้อมูล กล่าวคือในกรณีที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศไม่มีข้อมูล $PM_{2.5}$ สามารถใช้สมการ (3.9) อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มีการตรวจวัดความเข้มข้นของทั้ง PM_{10} และ $PM_{2.5}$ จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสามารถใช้ได้ทั้งสมการ (3.9) หรือ (3.10) ขึ้นอยู่กับว่าชนิดใดมีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่า ซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายของการศึกษานี้คือดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) ที่ประกอบด้วยมาตราวัดตั้งแต่ 0 (ความเสี่ยงต่ำ) ถึง 10^+ (ความเสี่ยงสูงมาก) ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 6 มาตราวัดความเสี่ยงของดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI Scales)

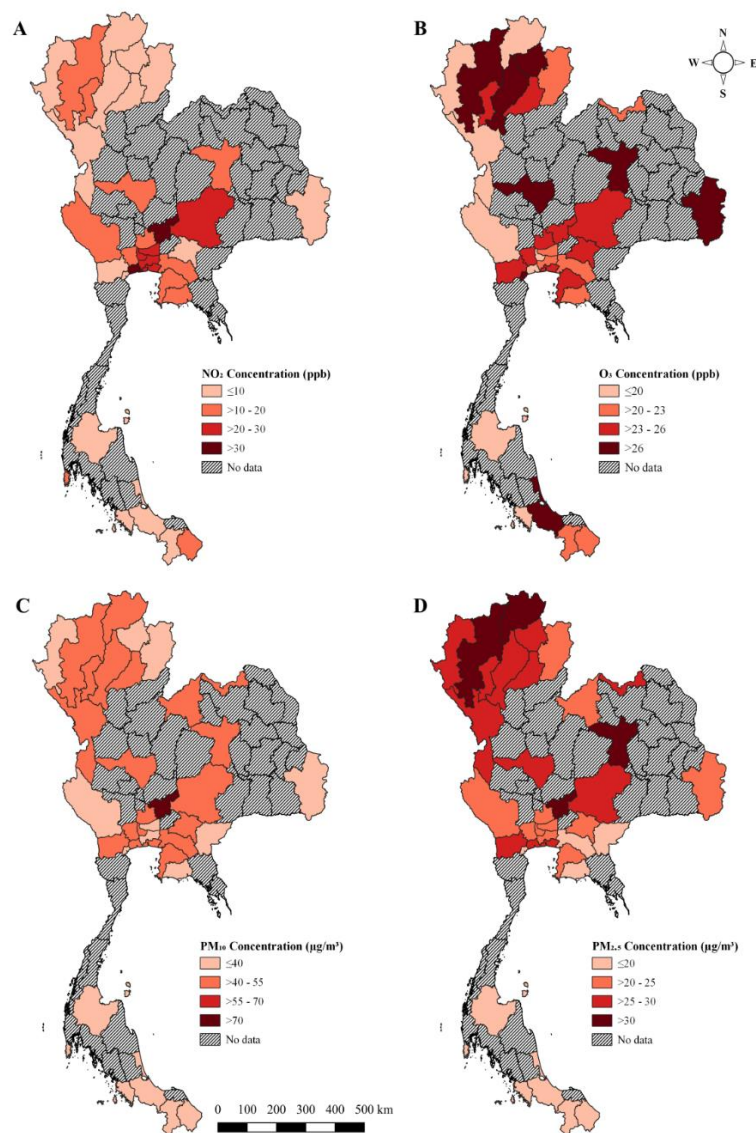
บทที่ 4 ผลการศึกษา

ผลการศึกษาจะแสดงถึงข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยา ข้อมูลการเข้ารับการรักษายาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและข้อมูลการเสียชีวิต ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเข้ารับการรักษายาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเสียชีวิต ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเข้ารับการรักษายาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรกระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรกระบบทางเดินหายใจ และการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) รายละเอียด ดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยา

การศึกษานี้มีข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุณหภูมิตามวิทยาจำนวน 37 จังหวัดทั่วประเทศไทย ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ฉะเชิงเทรา เชียงใหม่ เชียงราย ชลบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่น ลำปาง ลำพูน เลย แม่ฮ่องสอน นครปฐม นครราชสีมา นครราชสีมา นครสวรรค์ หนองคาย น่าน นนทบุรี ปทุมธานี พะเยา พระนครศรีอยุธยา แพร่ ภูเก็ต ปราจีนบุรี ราชบุรี ระยอง สระแก้ว สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม สระบุรี สตูล สงขลา สุราษฎร์ธานี ตาก อุบลราชธานีและยะลา ทั้งนี้ จังหวัดอื่น ๆ ที่เหลือไม่มีข้อมูลคุณภาพอากาศในช่วงเวลาที่ศึกษา (พ.ศ. 2559 – 2563) อย่างไรก็ตาม จังหวัดเลยและสระแก้วไม่มีข้อมูล NO_2 และ O_3 ในขณะที่จังหวัดหนองคายไม่มีข้อมูล NO_2 ในช่วงเวลาที่ศึกษา ดังแสดงในรูปภาพที่ 7 ซึ่งแสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายวันของมลพิษอากาศแต่ละชนิดของแต่ละจังหวัดในช่วงเวลาที่ศึกษา

สำหรับค่าทางสถิติของมลพิษอากาศตลอดจนอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของแต่ละจังหวัด ในช่วงระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 และเดือนธันวาคม 2563 ความเข้มข้นของ NO_2 เฉลี่ยต่อวัน $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 34 จังหวัด (จังหวัดเลย สระแก้ว และหนองคายไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับ 14.66 ± 12.11 ppb ในขณะที่ความเข้มข้นของ O_3 เฉลี่ยต่อวันจาก 35 จังหวัด (จังหวัดเลย และสระแก้วไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับ 22.82 ± 11.48 ppb และความเข้มข้นของ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ยต่อวันจาก 37 จังหวัดมีค่าเท่ากับ 42.58 ± 27.98 และ $23.99 \pm 19.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ตามลำดับ นอกจากนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันจาก 37 จังหวัด มีค่าเท่ากับ 27.81 ± 2.76 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันจาก 34 จังหวัด (จังหวัดฉะเชิงเทรา ขอนแก่น และราชบุรีไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับร้อยละ 70.87 ± 12.62 แสดงในตารางที่ 3



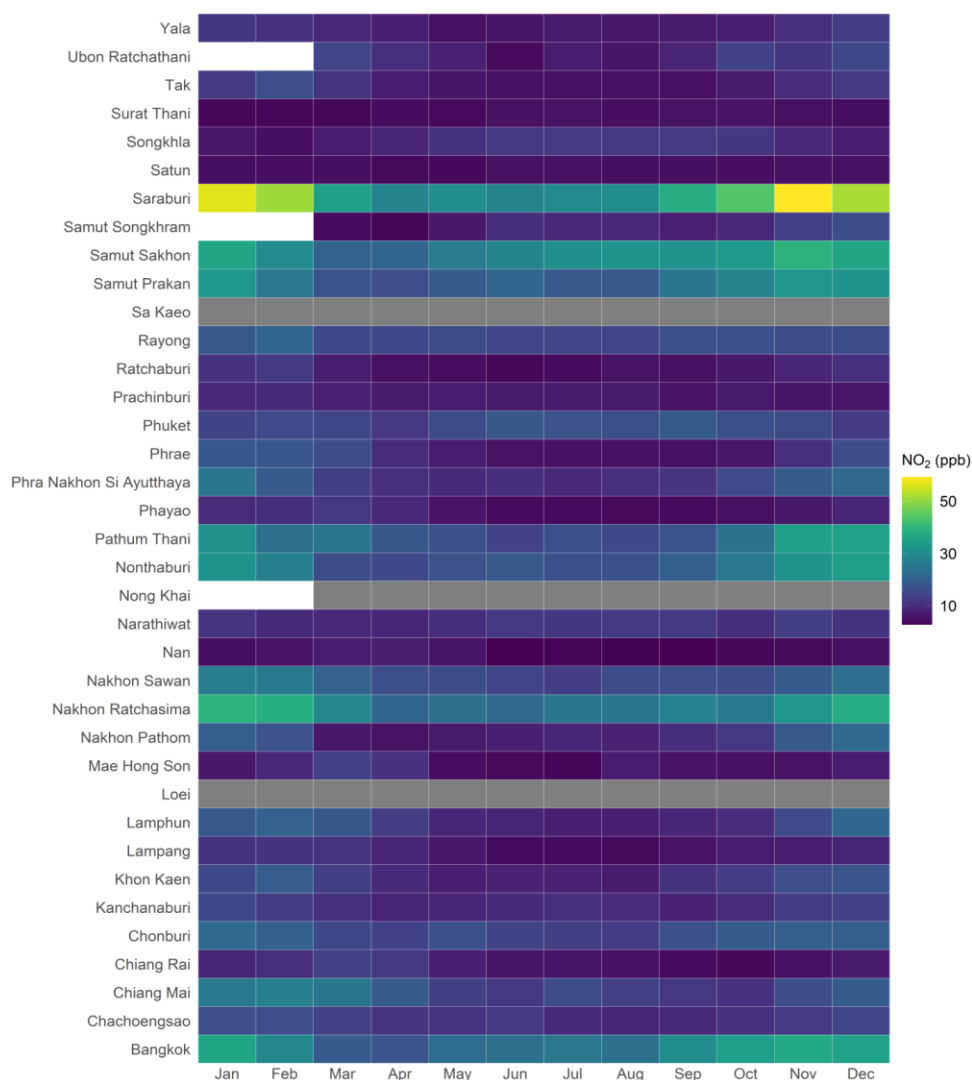
ภาพที่ 7 ความเข้มข้นของมลพิษอากาศเฉลี่ยรายวันของแต่ละจังหวัดในช่วงเวลาที่ศึกษา

ตารางที่ 3 ค่าทางสถิติของมลพิษอากาศและอุณหภูมิในแต่ละจังหวัดในช่วง พ.ศ. 2559 – 2563

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ควอไทล์ที่ 1	ควอไทล์ที่ 2	ควอไทล์ที่ 3	ค่าสูงสุด
PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	42.58	27.98	1.79	23.85	34.52	52.67	351.77
PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23.99	19.76	1.83	11.47	17.83	30.05	301.63
NO ₂ (ppb)	14.66	12.11	0.00	6.26	11.22	18.78	141.35
O ₃ (ppb)	22.82	11.48	0.00	14.22	20.16	29.43	90.91
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	27.81	2.76	7.76	26.40	28.05	29.52	45.92
ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)	70.87	12.62	13.92	63.25	72.33	79.87	100.00

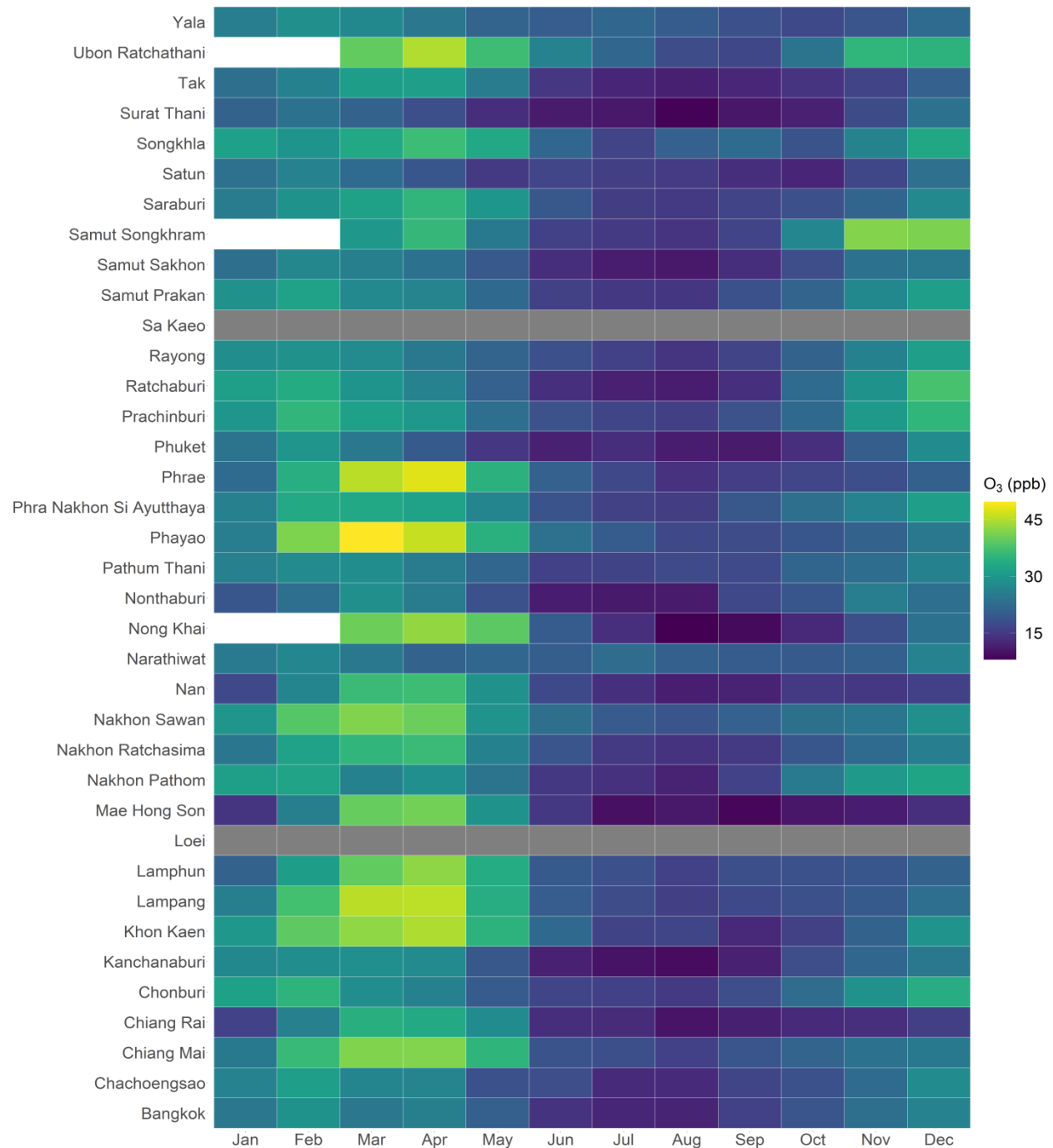
หมายเหตุ S.D. คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

รูปภาพที่ 8 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ NO_2 ที่ตรวจวัดได้จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในแต่ละจังหวัด (37 จังหวัด) ในช่วงเวลาที่ศึกษา (พ.ศ. 2559 – 2563) โดยสีม่วงเข้มแสดงความเข้มข้นของ NO_2 ในระดับต่ำ ในขณะที่สีเหลืองเข้มแสดงความเข้มข้นของ NO_2 ในระดับสูง และสีเทากับสีขาวแสดงว่าไม่มีข้อมูล NO_2 ในจังหวัดนั้น ๆ ทั้งนี้จากรูปภาพที่ 8 พบว่าความเข้มข้นของ NO_2 มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกันในแต่ละเดือน กล่าวคือความเข้มข้นของ NO_2 มีค่าสูงในเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ของปีถัดไป ทั้งนี้ความเข้มข้นของ NO_2 ในกรุงเทพมหานคร นครราชสีมา สมุทรปราการ สมุทรสาคร และสระบุรีมีค่าความเข้มข้นสูงตลอดทั้งปี ในขณะที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี สตูล และสงขลามีค่าความเข้มข้นต่ำตลอดทั้งปี และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของ NO_2 ในแต่ละจังหวัดแล้วพบว่าความเข้มข้นของ NO_2 ในจังหวัดสระบุรีมีค่าสูงกว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ในจังหวัดอื่น ๆ โดยพบว่ามีค่าความเข้มข้นที่มากที่สุดในช่วงเดือนพฤศจิกายนและกุมภาพันธ์ของปีถัดไป



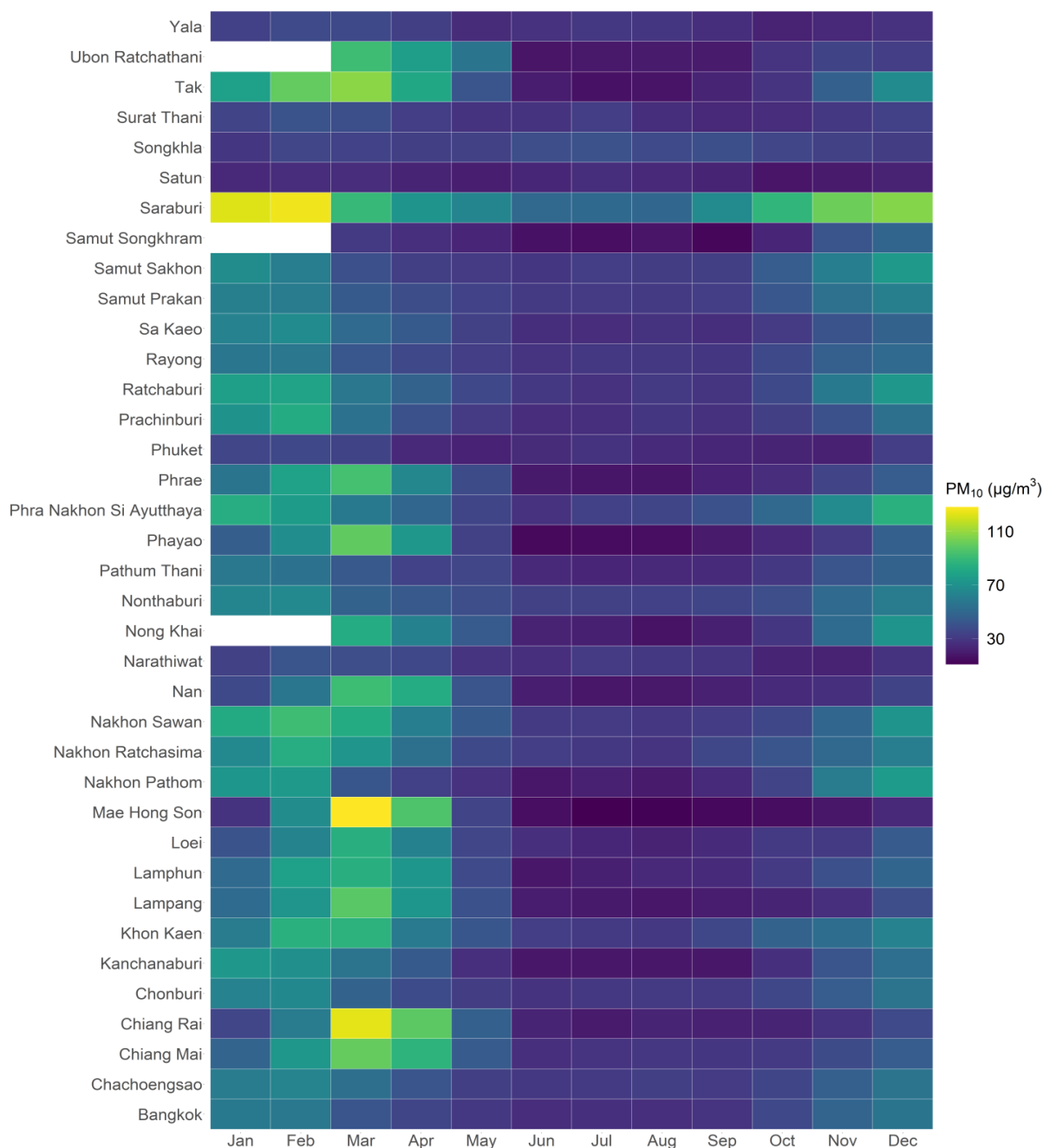
ภาพที่ 8 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ NO_2 ในแต่ละจังหวัด

รูปภาพที่ 9 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ O_3 ในแต่ละจังหวัด ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของ O_3 มีค่าสูงในช่วงเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคมของทุกปี ซึ่งตรงกับฤดูร้อนและมีค่าความเข้มข้นลดลงในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกันยายนของทุกปีซึ่งตรงกับฤดูมรสุม



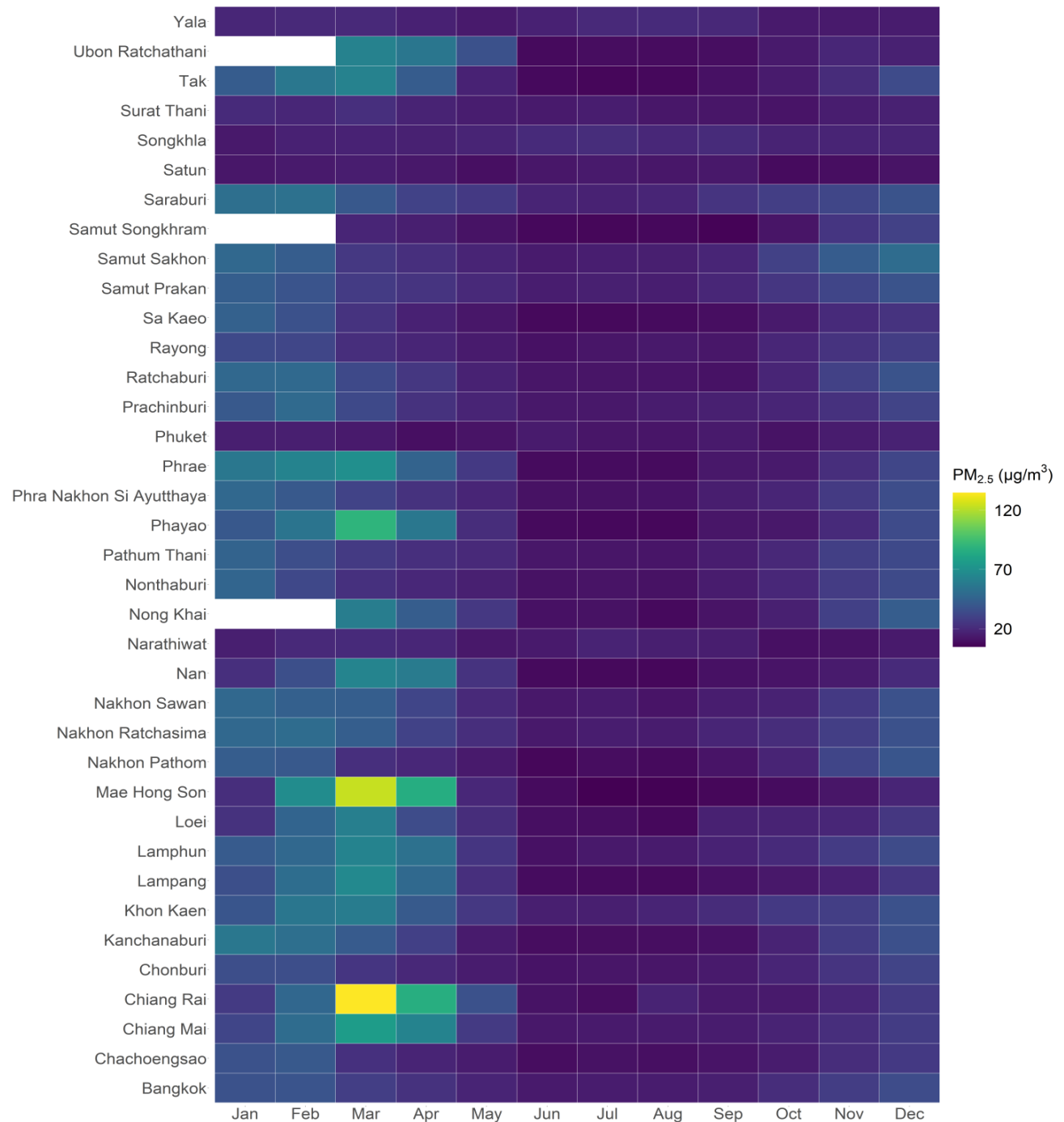
ภาพที่ 9 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ O_3 ในแต่ละจังหวัด

รูปภาพที่ 10 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ PM10 ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของ PM10 มีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลที่มีระดับความเข้มข้นแตกต่างกันในแต่ละเดือน โดยความเข้มข้นของ PM10 มีค่าสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ในปีถัดไป ยกเว้นจังหวัดในภาคเหนือตอนบน (จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน) ที่มีความเข้มข้นสูงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายนของทุกปี ในขณะที่ PM10 มีความเข้มข้นลดลงในช่วงเดือนมิถุนายนถึงกันยายน เนื่องจากเป็นฤดูมรสุมที่มีปริมาณน้ำฝนที่ช่วยลดความเข้มข้นของ PM10 ในบรรยากาศได้



ภาพที่ 10 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ PM10 ในแต่ละจังหวัด

รูปภาพที่ 10 แสดงความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ PM2.5 ในแต่ละจังหวัด ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของ PM2.5 เริ่มมีค่าสูงในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ในปีถัดไป ยกเว้นจังหวัดในภาคเหนือ โดยเฉพาะภาคเหนือตอนบน (จังหวัดแม่ฮ่องสอน เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน) ที่มีความเข้มข้นของ PM2.5 สูงในช่วงเดือนมีนาคมถึงเมษายน



ภาพที่ 11 ความเข้มข้นเฉลี่ยรายเดือนของ PM2.5 ในแต่ละจังหวัด

4.2 ข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและข้อมูลการเสียชีวิต

ผู้เข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจจาก 77 จังหวัดทั่วประเทศในช่วง พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563 มีจำนวนทั้งหมด 181,987,990 ราย ซึ่งมีจำนวนผู้เข้ารับบริการเฉลี่ยต่อวัน 1,294 ราย โดยค่าทางสถิติของการเข้ารับการรักษาพยาบาลด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจในแต่ละจังหวัดแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้ จำนวนผู้เข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ ในแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากจำนวนประชากรที่แตกต่างกัน ในแต่ละจังหวัด โดยจังหวัดนครราชสีมาจำนวนผู้เข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกมากที่สุด

ตารางที่ 4 ค่าทางสถิติของข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจในแต่ละจังหวัดในช่วง พ.ศ. 2559 – 2563

จังหวัด	ทั้งหมด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ควอไทล์ที่ 1	ควอไทล์ที่ 2	ควอไทล์ที่ 3	ค่าสูงสุด
อำนาจเจริญ	1023086	560	268	41	313	590	760	1524
อ่างทอง	990990	542	349	14	141	623	810	1439
กรุงเทพมหานคร	7021623	3877	2535	2	1256	4572	6132	8706
บึงกาฬ	1127411	617	328	59	261	693	875	1666
บุรีรัมย์	4620863	2529	1110	205	1484	2733	3416	5973
ฉะเชิงเทรา	1937423	1060	502	78	518	1206	1444	2803
ชัยนาท	1516453	830	518	30	237	961	1234	5046
ชัยภูมิ	3194226	1748	893	130	783	1995	2483	3685
จันทบุรี	1548789	848	483	58	259	1020	1236	2042
เชียงใหม่	4876070	2669	1630	151	892	2842	4153	6237
เชียงราย	4180585	2288	1355	129	724	2673	3430	5046
ชลบุรี	3279528	1795	879	131	810	2129	2541	3604
ชุมพร	1327721	727	414	24	235	895	1073	1426
กาฬสินธุ์	2581668	1413	665	110	743	1561	1953	3014
กำแพงเพชร	2858124	1564	909	59	523	1792	2299	3538
กาญจนบุรี	2510676	1374	739	95	524	1628	1975	3016
ขอนแก่น	4839262	2649	1130	292	1489	3024	3562	5414
กระบี่	1216647	666	414	29	217	737	960	2179
ลำปาง	2558018	1400	887	36	333	1763	2134	3113
ลำพูน	1528790	837	507	35	218	1024	1220	2530
เลย	1915045	1048	571	79	469	1142	1505	2673

จังหวัด	ทั้งหมด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ควอไทล์ที่ 1	ควอไทล์ที่ 2	ควอไทล์ที่ 3	ค่าสูงสุด
ลพบุรี	1918429	1050	589	60	344	1260	1517	2408
แม่ฮ่องสอน	751104	411	218	35	166	469	586	949
มหาสารคาม	2425344	1328	583	111	742	1469	1791	2654
มุกดาหาร	845207	463	264	19	193	496	678	1209
นครนายก	722964	396	228	19	133	459	575	1037
นครปฐม	3007136	1646	858	66	786	1835	2358	3575
นครพนม	1919739	1051	604	54	365	1240	1549	2709
นครราชสีมา	7456810	4081	2064	346	2084	4601	5858	8704
นครสวรรค์	3956198	2165	1244	122	677	2577	3140	6445
นครศรีธรรมราช	4335679	2373	1379	122	908	2789	3592	5265
น่าน	1670240	914	501	40	365	1076	1335	1928
นราธิวาส	2230015	1221	723	55	385	1460	1826	2822
หนองบัวลำภู	1291855	707	340	67	412	713	978	1746
หนองคาย	1637637	896	436	78	446	987	1222	2348
นนทบุรี	2612325	1430	678	138	689	1672	1990	2676
ปทุมธานี	2432568	1331	627	125	687	1507	1841	2992
ปัตตานี	1863150	1020	621	45	346	1125	1551	2628
พังงา	767851	421	243	28	124	506	609	939
พัทลุง	1859835	1018	527	71	441	1159	1442	2186
พะเยา	1594212	873	552	27	273	945	1327	2467
เพชรบูรณ์	2618252	1433	906	47	260	1811	2147	3121
เพชรบุรี	1658844	908	560	26	245	1094	1373	2158
พิจิตร	2123541	1162	605	71	492	1337	1632	2606
พิษณุโลก	2576222	1410	811	67	450	1640	2063	3312
พระนครศรีอยุธยา	2642527	1446	758	117	582	1699	2064	3034
แพร่	1800296	985	654	16	154	1204	1503	2410
ภูเก็ต	696026	381	193	13	183	423	549	792
ปราจีนบุรี	1201989	658	354	43	286	743	941	1572
ประจวบคีรีขันธ์	1585549	868	503	37	258	1036	1275	1988
ระนอง	526292	288	165	20	100	326	413	863
ราชบุรี	2509870	1374	766	90	543	1592	2021	3213
ระยอง	1502761	823	450	72	391	887	1202	2005
ร้อยเอ็ด	4165673	2280	1068	202	1141	2608	3136	4709

จังหวัด	ทั้งหมด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ควอไทล์ที่ 1	ควอไทล์ที่ 2	ควอไทล์ที่ 3	ค่าสูงสุด
สระแก้ว	1414940	774	458	37	252	929	1169	1831
สกลนคร	3036666	1662	904	85	623	1951	2373	4253
สมุทรปราการ	2526785	1383	620	111	747	1579	1882	2836
สมุทรสาคร	1361369	745	312	64	473	793	1002	1478
สมุทรสงคราม	775992	425	196	32	235	462	578	1002
สระบุรี	1865361	1021	577	50	330	1220	1485	2351
สตูล	940416	515	295	30	207	558	749	1342
สิงห์บุรี	708061	388	258	10	68	466	604	958
ศรีสะเกษ	4649006	2545	935	473	1787	2642	3250	5007
สงขลา	4222379	2311	1187	253	923	2738	3243	4963
สุโขทัย	2259665	1237	708	59	370	1501	1798	2812
สุพรรณบุรี	2800785	1533	922	51	449	1841	2248	3684
สุราษฎร์ธานี	3278677	1795	982	120	641	2160	2608	3722
สุรินทร์	4105502	2247	1026	224	1224	2474	3050	4992
ตาก	1861112	1019	568	63	327	1203	1477	2257
ตรัง	2086277	1142	681	58	336	1352	1677	2563
ตราด	560584	307	184	11	105	346	464	729
อุบลราชธานี	4913305	2689	1311	219	1276	3102	3785	5537
อุดรธานี	4635918	2537	1049	362	1463	2850	3361	5050
อุทัยธานี	1564186	856	514	37	255	1003	1251	2114
อุดรดิตถ์	1550345	849	525	26	227	978	1267	2227
ยะลา	1638756	897	540	35	263	1068	1327	2170
ยโสธร	1672765	916	382	84	571	986	1219	1804
77 จังหวัด	181987990	1294	1119	2	450	1045	1783	8706

หมายเหตุ S.D. คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคจาก 77 จังหวัดทั่วประเทศในช่วง พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562 มีจำนวนทั้งหมด 2,131,959 ราย ซึ่งมีจำนวนผู้เสียชีวิตเฉลี่ยต่อวัน 16 ราย โดยค่าทางสถิติของการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุในแต่ละจังหวัด จำนวนผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคในแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากจำนวนประชากรที่แตกต่างกัน ในแต่ละจังหวัดโดยกรุงเทพมหานครมีจำนวนผู้เสียชีวิตมากที่สุด ทั้งนี้ จำนวนผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรครายวันที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาในแต่ละจังหวัดในช่วงเวลาที่ศึกษา (พ.ศ. 2558 – 2562) ทั้งนี้พบว่าจำนวนผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคในทุกจังหวัดมีแนวโน้มคงที่ตลอดระยะเวลาที่ศึกษา ยกเว้นบางจังหวัดที่มีจำนวนผู้เสียชีวิตเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลงตามช่วงเวลาโดยมีจำนวนผู้เสียชีวิตสูงในช่วงเดือนธันวาคมและมกราคม

เช่น จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง พะเยา แพร่ น่าน เป็นต้น นอกจากนี้ยังพบว่าจังหวัดแม่ฮ่องสอน และระนองมีจำนวนผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคน้อยที่สุด แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าทางสถิติของข้อมูลการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคในแต่ละจังหวัดในช่วง พ.ศ. 2558 – 2562

จังหวัด	ทั้งหมด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ควอไทล์ที่ 1	ควอไทล์ที่ 2	ควอไทล์ที่ 3	ค่าสูงสุด
อำนาจเจริญ	10577	6	3	0	4	6	7	15
อ่างทอง	11763	6	3	0	5	6	8	18
กรุงเทพมหานคร	201253	110	13	35	102	110	118	161
บึงกาฬ	10783	6	3	0	4	6	8	17
บุรีรัมย์	45653	25	6	0	21	25	29	53
ฉะเชิงเทรา	23287	13	4	0	10	12	15	26
ชัยนาท	13766	8	3	0	5	7	9	20
ชัยภูมิ	38923	21	5	0	18	21	24	50
จันทบุรี	18469	10	3	0	8	10	12	24
เชียงใหม่	65247	36	7	2	31	35	40	59
เชียงราย	39752	22	5	0	18	21	25	45
ชลบุรี	47436	26	6	2	22	26	30	52
ชุมพร	14846	8	3	0	6	8	10	20
กาฬสินธุ์	33249	18	5	0	15	18	21	39
กำแพงเพชร	22863	13	4	0	10	12	15	37
กาญจนบุรี	23425	13	4	0	10	13	15	31
ขอนแก่น	64510	35	8	0	30	35	40	77
กระบี่	10705	6	3	0	4	6	7	16
ลำปาง	33565	18	5	0	15	18	21	47
ลำพูน	18211	10	4	0	7	10	12	25
เลย	20986	11	4	0	9	11	14	30
ลพบุรี	27842	15	5	0	12	15	18	37
แม่ฮ่องสอน	5668	3	2	0	2	3	4	10
มหาสารคาม	32009	18	5	0	14	17	20	36
มุกดาหาร	10260	6	3	0	4	5	7	15
นครนายก	11098	6	3	0	4	6	8	16
นครปฐม	28040	15	4	0	12	15	18	29
นครพนม	21814	12	4	0	9	12	14	29
นครราชสีมา	86259	47	9	0	41	47	53	88
นครสวรรค์	39462	22	6	2	18	21	25	51

จังหวัด	ทั้งหมด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ควอไทล์ที่ 1	ควอไทล์ที่ 2	ควอไทล์ที่ 3	ค่าสูงสุด
นครศรีธรรมราช	44458	24	6	0	21	24	28	42
น่าน	15423	8	3	0	6	8	10	19
นราธิวาส	21178	12	4	0	9	11	14	28
หนองบัวลำภู	14519	8	3	0	6	8	10	17
หนองคาย	16099	9	3	0	7	9	11	21
นนทบุรี	36254	20	5	2	16	20	23	42
ปทุมธานี	31943	17	5	0	14	17	20	37
ปัตตานี	20127	11	4	0	8	11	13	26
พังงา	7166	4	2	0	2	4	5	12
พัทลุง	14768	8	3	0	6	8	10	21
พะเยา	18478	10	3	0	8	10	12	27
เพชรบูรณ์	33974	19	5	0	15	18	22	52
เพชรบุรี	15978	9	3	0	7	8	11	22
พิจิตร	19724	11	4	0	8	10	13	33
พิษณุโลก	32127	18	5	2	14	17	21	44
พระนครศรีอยุธยา	28614	16	4	0	13	16	18	32
แพร่	20537	11	4	0	9	11	14	29
ภูเก็ต	9500	5	2	0	3	5	7	13
ปราจีนบุรี	16296	9	3	0	7	9	11	21
ประจวบคีรีขันธ์	15274	8	3	0	6	8	10	20
ระนอง	4207	2	2	0	1	2	3	8
ราชบุรี	31073	17	5	1	14	17	20	35
ระยอง	20286	11	4	0	9	11	13	25
ร้อยเอ็ด	42860	23	6	0	20	23	27	48
สระแก้ว	15701	9	3	0	7	8	11	21
สกลนคร	34452	19	5	0	16	19	22	39
สมุทรปราการ	37120	20	5	0	17	20	24	43
สมุทรสาคร	17755	10	3	0	8	10	12	27
สมุทรสงคราม	7166	4	2	0	3	4	5	13
สระบุรี	24655	14	4	0	11	13	16	31
สตูล	7310	4	2	0	3	4	5	12
สิงห์บุรี	8995	5	2	0	3	5	6	16
ศรีสะเกษ	42800	23	5	0	20	23	27	43

จังหวัด	ทั้งหมด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ควอไทล์ที่ 1	ควอไทล์ที่ 2	ควอไทล์ที่ 3	ค่าสูงสุด
สงขลา	43394	24	6	0	20	24	28	44
สุโขทัย	21963	12	4	0	9	12	14	31
สุพรรณบุรี	32006	18	5	0	14	17	21	36
สุราษฎร์ธานี	27957	15	4	0	12	15	18	29
สุรินทร์	42742	23	6	0	20	23	27	49
ตาก	14447	8	3	0	6	8	10	20
ตรัง	17352	10	3	0	7	9	12	22
ตราด	6808	4	2	0	2	4	5	13
อุบลราชธานี	55774	31	6	0	26	30	35	59
อุดรธานี	48567	27	6	0	23	26	31	55
อุทัยธานี	11717	6	3	0	5	6	8	18
อุตรดิตถ์	18956	10	4	0	8	10	13	26
ยะลา	13454	7	3	0	5	7	9	18
ยโสธร	18284	10	3	0	8	10	12	22
77 จังหวัด	2131959	16	15	0	7	12	19	161

หมายเหตุ S.D. คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

ข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (ICD10: J00-J99) และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (ICD10: I00-I99) ที่ได้จากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติภายใต้สิทธิการรักษา 30 บาทรักษาทุกโรค ประกอบด้วยข้อมูลจากทั้ง 77 จังหวัดของประเทศไทยในช่วง พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563 (5 ปี) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรค (ICD10: A00-R99) จากสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ กระทรวงสาธารณสุขจากทั้ง 77 จังหวัดของประเทศไทย มีข้อมูลอยู่ในช่วง พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562 (5 ปี) โดยผู้เข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจจาก 77 จังหวัดทั่วประเทศในช่วง พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563 มีจำนวนทั้งหมด 181,987,990 ราย ซึ่งมีจำนวนผู้เข้ารับบริการเฉลี่ยต่อวัน 1,294 ราย นอกจากนี้ จำนวนผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคจาก 77 จังหวัดทั่วประเทศในช่วง พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2562 มีจำนวนทั้งหมด 2,131,959 ราย ซึ่งมีจำนวนผู้เสียชีวิตเฉลี่ยต่อวัน 16 ราย โดยค่าทางสถิติของการเข้ารับการรักษาพยาบาลด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ และสถิติของการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าทางสถิติของข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจและสถิติของการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุจาก 77 จังหวัด

ผลกระทบ ต่อสุขภาพ	ทั้งหมด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าต่ำสุด	ควอไทล์ที่ 1	ควอไทล์ที่ 2	ควอไทล์ที่ 3	ค่าสูงสุด
การเข้ารับ การรักษา แผนกผู้ป่วย นอก	181987990	1294	1119	2	450	1045	1783	8706
การเสียชีวิต ทุกกลุ่มโรค	2131959	16	15	0	7	12	19	161

หมายเหตุ ข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอก (2559 – 2563) ข้อมูลการเสียชีวิต (2558 – 2562)

4.3 ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตของประเทศไทย

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษานี้ มีข้อมูลมลพิษทางอากาศ 4 ชนิดคือ NO₂, O₃, PM₁₀ PM_{2.5} และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา คือ อุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงระหว่าง มกราคม พ.ศ. 2559 ถึงธันวาคม พ.ศ. 2563 พบความเข้มข้นของ NO₂ เฉลี่ยต่อวัน±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 34 จังหวัด (จังหวัดเลย สระแก้ว และหนองคายไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับ 14.66±12.11 ppb ในขณะที่ความเข้มข้นของ O₃ เฉลี่ยต่อวันจาก 35 จังหวัด (จังหวัดเลย และสระแก้วไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับ 22.82±11.48 ppb และความเข้มข้นของ PM₁₀ และ PM_{2.5} เฉลี่ยต่อวันจาก 37 จังหวัดมีค่าเท่ากับ 42.58±27.98 และ 23.99±19.76 µg/m³ ตามลำดับ นอกจากนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวันจาก 37 จังหวัด มีค่าเท่ากับ 27.81±2.76 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันจาก 34 จังหวัด (จังหวัดฉะเชิงเทรา ขอนแก่น และราชบุรีไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับ 70.87±12.62

สำหรับข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (ICD10 : J00-J99) และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (ICD10: I00-I99) จากทั้ง 77 จังหวัดของประเทศไทยในช่วง มกราคม พ.ศ. 2559 ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2563 (5 ปี) และข้อมูลผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ (ICD10: A00-R99) ในช่วง พ.ศ.2558 ถึง พ.ศ.2562 โดยผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด และโรคระบบทางเดินหายใจจาก 77 จังหวัดทั่วประเทศ ในช่วง พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563 มีจำนวนทั้งหมด 181,987,990 ราย ซึ่งมีจำนวนผู้เข้ารับบริการเฉลี่ยต่อวัน 1,294 ราย

เมื่อนำมาวิเคราะห์ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตจากมลพิษอากาศโดยใช้วิธีการศึกษาแบบอนุกรมเวลา (Time-series Design) ด้วยสมการ Generalized Linear Model (GLM) ซึ่งเป็นวิธีการศึกษาทางระบาดวิทยาที่นิยมใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศในระยะสั้น คำนี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของมลพิษอากาศและสุขภาพที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา มีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเข้ารับการรักษาพยาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ

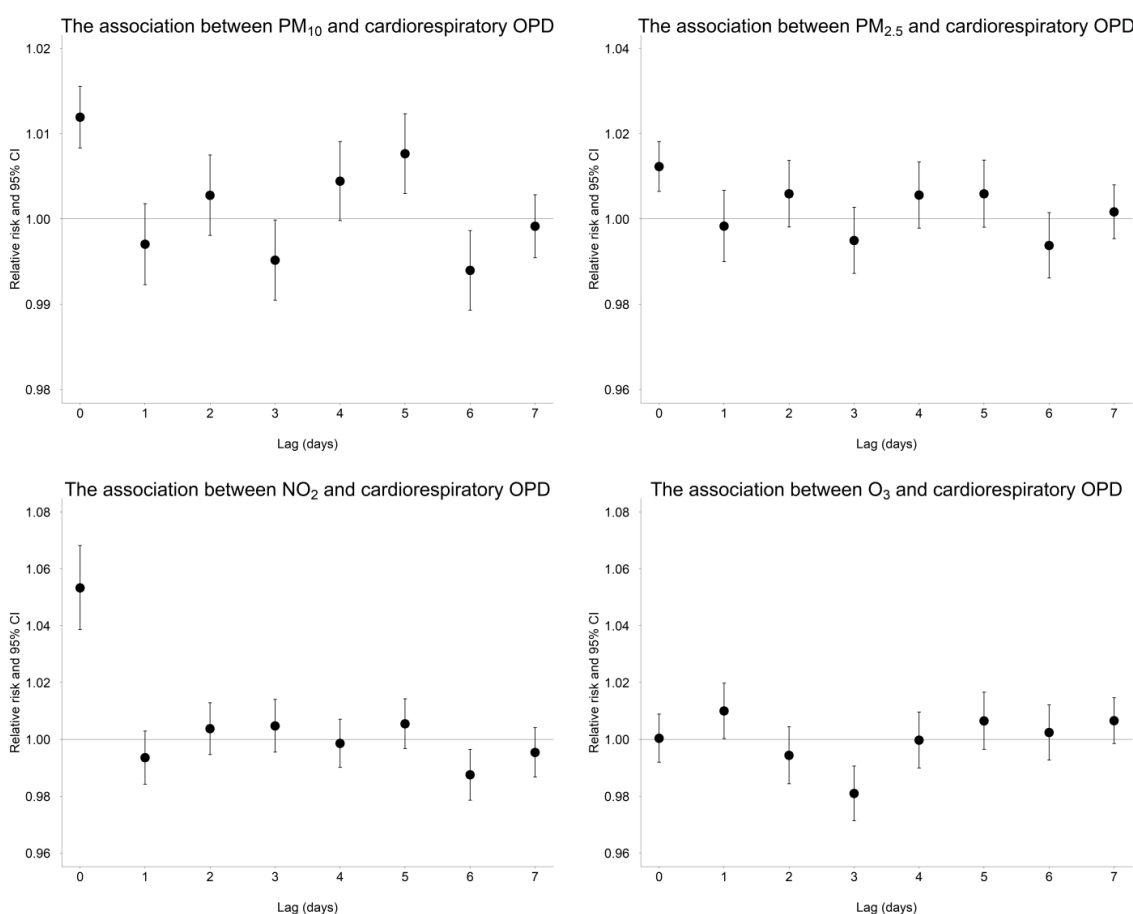
ถึงแม้ว่าข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกมีครบทั้ง 77 จังหวัด แต่มีเพียง 37 จังหวัดที่มีข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุบัติเหตุ ดังนั้น ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเข้ารับการรักษาพยาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ ประกอบด้วยข้อมูลจาก 37 จังหวัดทั่วประเทศไทยในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2563 ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ฉะเชิงเทรา เชียงใหม่ เชียงราย ชลบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่น ลำปาง ลำพูน เลย แม่ฮ่องสอน นครปฐม นครราชสีมา นครราชสีมา นครสวรรค์ หนองคาย น่าน นนทบุรี ปทุมธานี พะเยา พระนครศรีอยุธยาแพร่ ภูเก็ต ปราจีนบุรี ราชบุรี ระยอง สระแก้ว สมุทรปราการ สมุทรสาคร สมุทรสงคราม สระบุรี สตูล สงขลา สุราษฎร์ธานี ตาก อุบลราชธานี และยะลา ทั้งนี้ ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_2 และการเข้ารับการรักษาพยาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกประกอบด้วยข้อมูลจาก 34 จังหวัด เนื่องจากจังหวัดเลย สระแก้ว และหนองคายไม่มีข้อมูล NO_2 ในขณะที่การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ O_3 ประกอบด้วยข้อมูลจาก 35 จังหวัด เนื่องจากจังหวัดเลยและสระแก้วไม่มีข้อมูล O_3 นอกจากนี้ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ กับการเข้ารับการรักษาพยาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกประกอบด้วยข้อมูลจาก 37 จังหวัด โดยที่ช่วงเวลาที่มีข้อมูลในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเข้ารับการรักษาพยาบาลในแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจของแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกัน

ตลอดช่วงเวลาที่ข้อมูลในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจในทุกจังหวัด (พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2563) พบว่าความเข้มข้นของ NO_2 เฉลี่ยต่อวัน $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 34 จังหวัด (จังหวัดเลย สระแก้ว และหนองคายไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับ 14.66 ± 12.11 ppb ในขณะที่ความเข้มข้นของ O_3 เฉลี่ยต่อวัน $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 35 จังหวัด (จังหวัดเลย และสระแก้วไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับ 22.82 ± 11.48 ppb และความเข้มข้นของ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ยต่อวัน $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 37 จังหวัดมีค่าเท่ากับ 42.58 ± 27.98 และ 23.99 ± 19.76 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ นอกจากนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันจาก 37 จังหวัด มีค่าเท่ากับ 27.81 ± 2.76 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันจาก 34 จังหวัด (จังหวัดฉะเชิงเทรา ขอนแก่น และราชบุรีไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับร้อยละ 70.87 ± 12.62 และจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาพยาบาลด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจเฉลี่ยต่อวัน $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 37 จังหวัด มีค่าเท่ากับ 1447 ± 1284 ราย

ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ และการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอก มีค่าสูงที่สุดที่ Lag 0 ซึ่งหมายความว่า การรับสัมผัส NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ มีผลต่อการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกในวันเดียวกันของการรับสัมผัส โดยที่ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจจาก 34 จังหวัดทั่วประเทศที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ NO_2 ที่ Lag 0 มีค่าเท่ากับ 1.0533 (95% CI: 1.0386, 1.0682) และความเสี่ยง

สัมพัทธ์จาก 37 จังหวัดทั่วประเทศที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ของ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ที่ Lag 0 มีค่าเท่ากับ 1.0119 (95% CI: 1.0083, 1.0156) และ 1.0123 (95% CI: 1.0065, 1.0182) ตามลำดับ

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง O_3 และการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกมีค่าสูงที่สุดที่ Lag 1 ซึ่งหมายความว่า การเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกสัมพันธ์กับการรับสัมผัส O_3 เป็นเวลา 1 วัน (หรือเข้ารับบริการหลังจากการรับสัมผัสเป็นเวลา 1 วัน) โดยที่ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจจาก 35 จังหวัดทั่วประเทศที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ O_3 ที่ Lag 1 มีค่าเท่ากับ 1.0100 (95% CI: 1.0003, 1.0198) (รูปภาพที่ 12) ทั้งนี้ ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจที่ Lag ต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ห่อถัก (Meta-analysis) แสดงดังตาราง 7



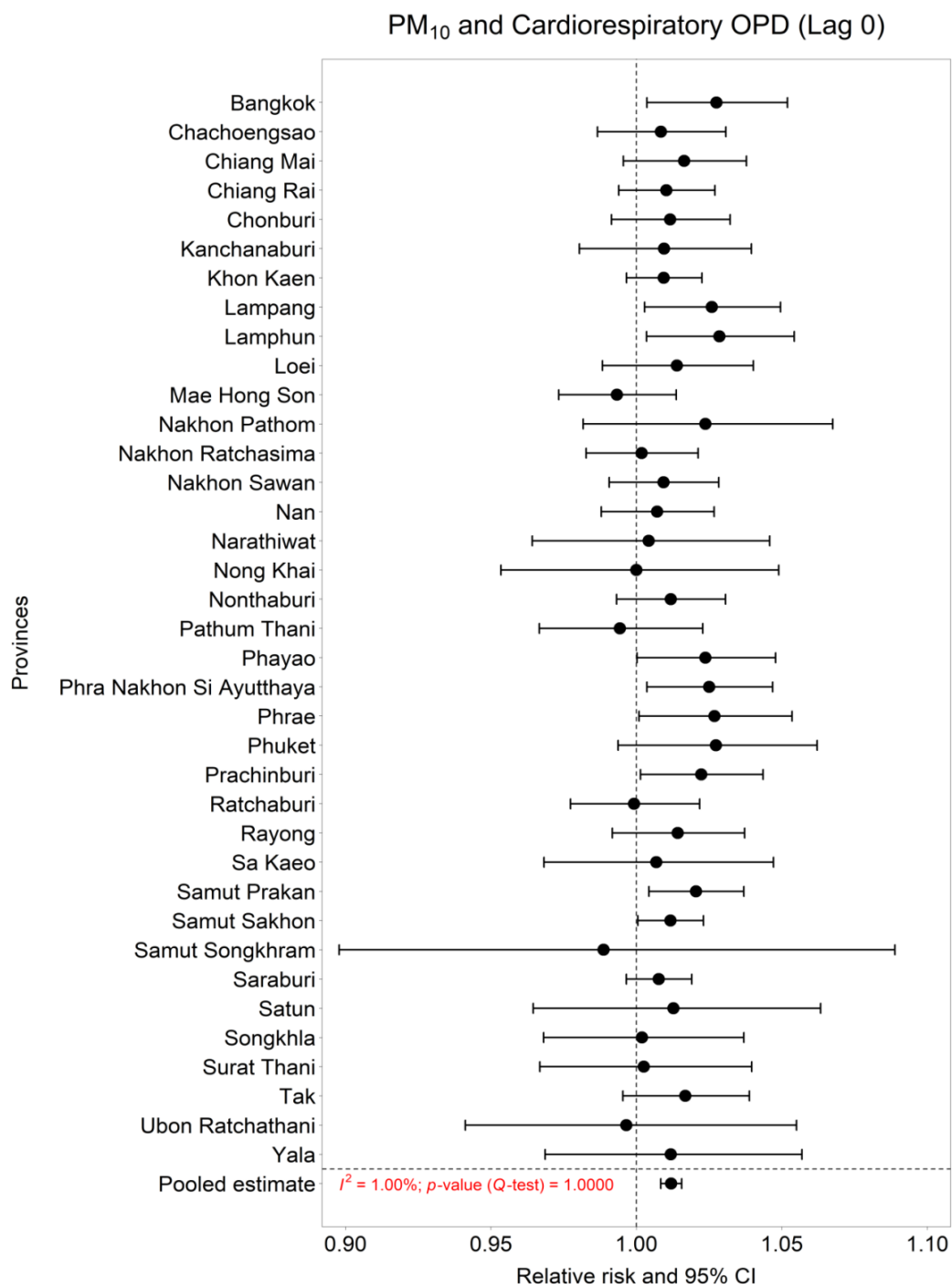
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศกับการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกที่ Lag ต่าง ๆ

ตารางที่ 7 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจที่ Lag ต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์อภิมาน (Meta-analysis)

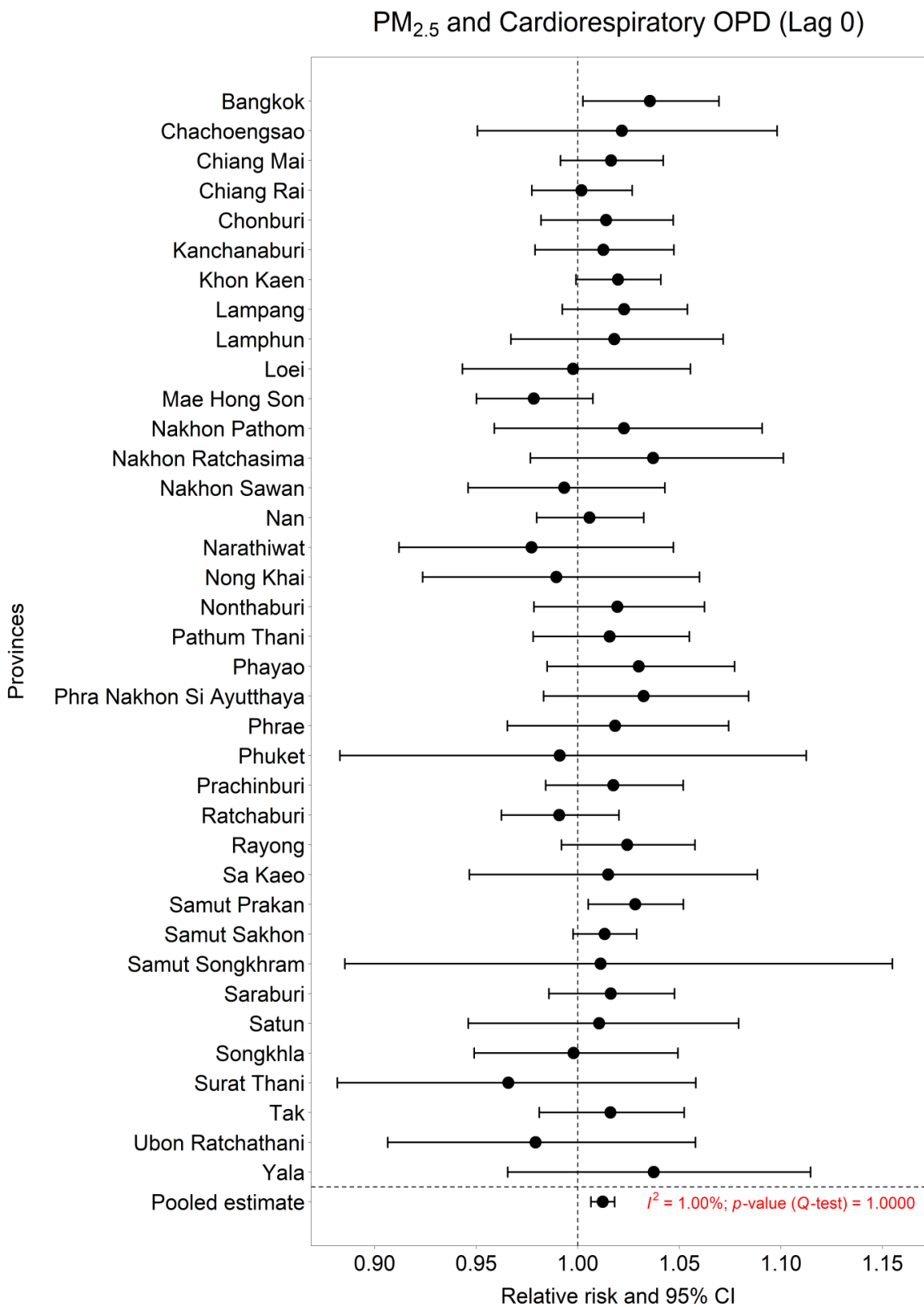
Lag (วัน)	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ (ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95)			
	NO ₂	O ₃	PM10	PM2.5
Lag 0	1.0533 (1.0386, 1.0682)	1.0004 (0.9919, 1.0089)	1.0119 (1.0083, 1.0156)	1.0123 (1.0065, 1.0182)
Lag 1	0.9935 (0.9842, 1.0029)	1.0100 (1.0003, 1.0198)	0.9970 (0.9923, 1.0018)	0.9983 (0.9900, 1.0067)
Lag 2	1.0037 (0.9947, 1.0129)	0.9944 (0.9844, 1.0044)	1.0028 (0.9981, 1.0075)	1.0059 (0.9981, 1.0137)
Lag 3	1.0047 (0.9955, 1.0140)	0.9809 (0.9714, 0.9906)	0.9952 (0.9905, 0.9999)	0.9950 (0.9872, 1.0028)
Lag 4	0.9986 (0.9901, 1.0071)	0.9997 (0.9899, 1.0096)	1.0044 (0.9998, 1.0091)	1.0056 (0.9979, 1.0134)
Lag 5	1.0055 (0.9968, 1.0142)	1.0065 (0.9965, 1.0166)	1.0077 (1.0030, 1.0123)	1.0059 (0.9981, 1.0138)
Lag 6	0.9875 (0.9786, 0.9965)	1.0024 (0.9927, 1.0122)	0.9940 (0.9893, 0.9986)	0.9938 (0.9861, 1.0015)
Lag 7	0.9954 (0.9867, 1.0041)	1.0065 (0.9985, 1.0146)	0.9991 (0.9955, 1.0028)	1.0017 (0.9954, 1.0080)
Lag 0-7	1.0415 (1.0249, 1.0583)	1.0004 (0.9907, 1.0103)	1.0120 (1.0072, 1.0169)	1.0185 (1.0110, 1.0260)
การทดสอบ Heterogeneity				
Q	303.1721	179.2531	192.6645	198.7698
p-value	0.0489	1.0000	1.0000	1.0000
I ²	12.90%	1.00%	1.00%	1.00%

หมายเหตุ ความเสี่ยงสัมพัทธ์ต่อ 10 ppb ของ NO₂ และ O₃ ที่เพิ่มขึ้น และต่อ 10 µg/m³ ของ PM10 และ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้น

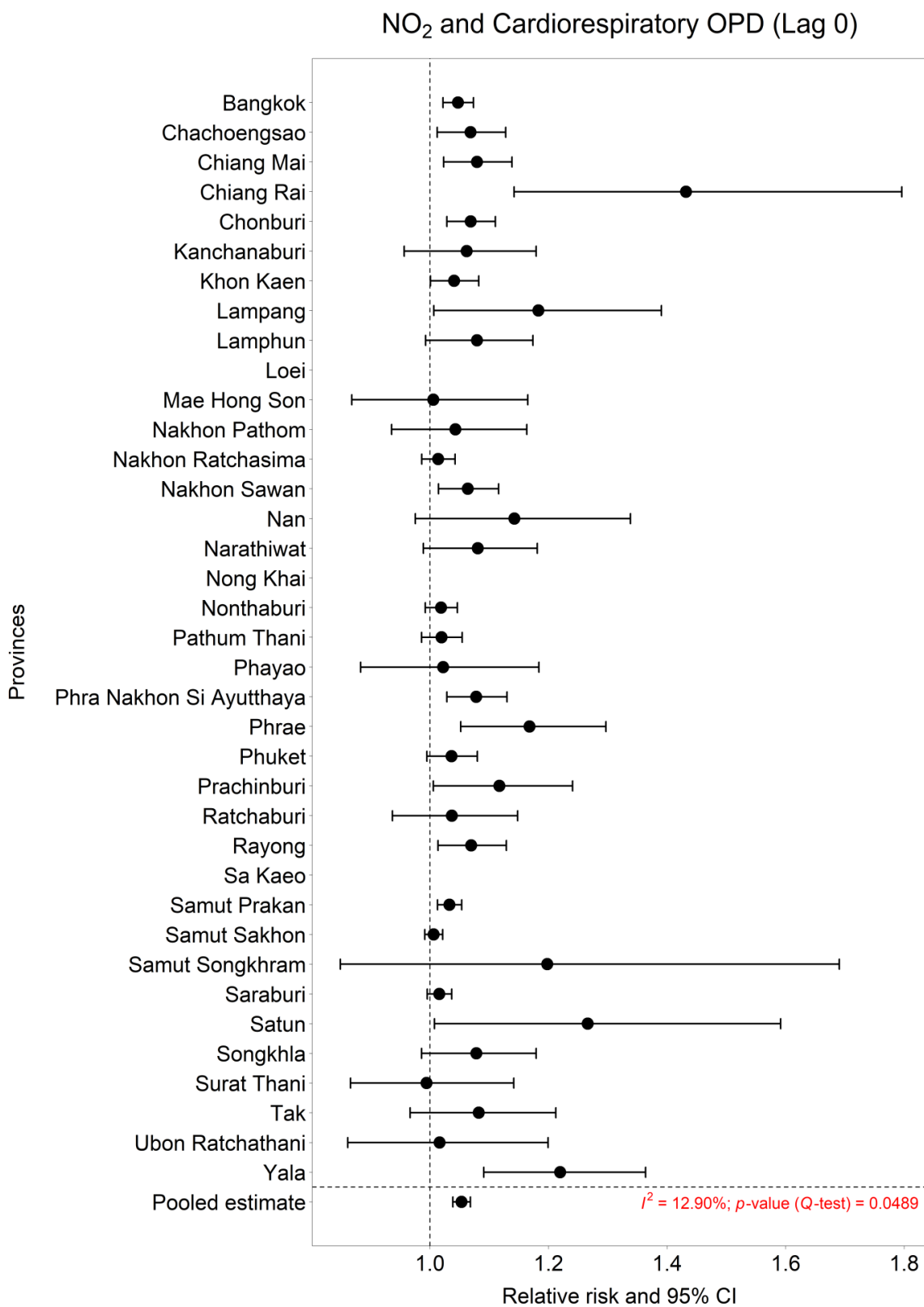
ทั้งนี้ ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจในจังหวัดต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ NO₂ ที่ Lag 0 และ 10 ppb ของ O₃ ที่ Lag 1 ตลอดจนการเพิ่มขึ้นทุก 10 µg/m³ ของ PM10 และ PM2.5 ที่ Lag 0 โดยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์จากการรับสัมผัส O₃ PM10 และ PM2.5 ที่ได้จากแต่ละจังหวัดไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($I^2 = 1.00\%$; $p\text{-value} = 1.0000$) ในขณะที่ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์จากการรับสัมผัส NO₂ ที่ได้จากแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($I^2 = 12.90\%$; $p\text{-value} = 0.0489$) แสดงดังภาพที่



ภาพที่ 13 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกเมื่อ PM₁₀ เพิ่มขึ้นทุก 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ที่ Lag 0

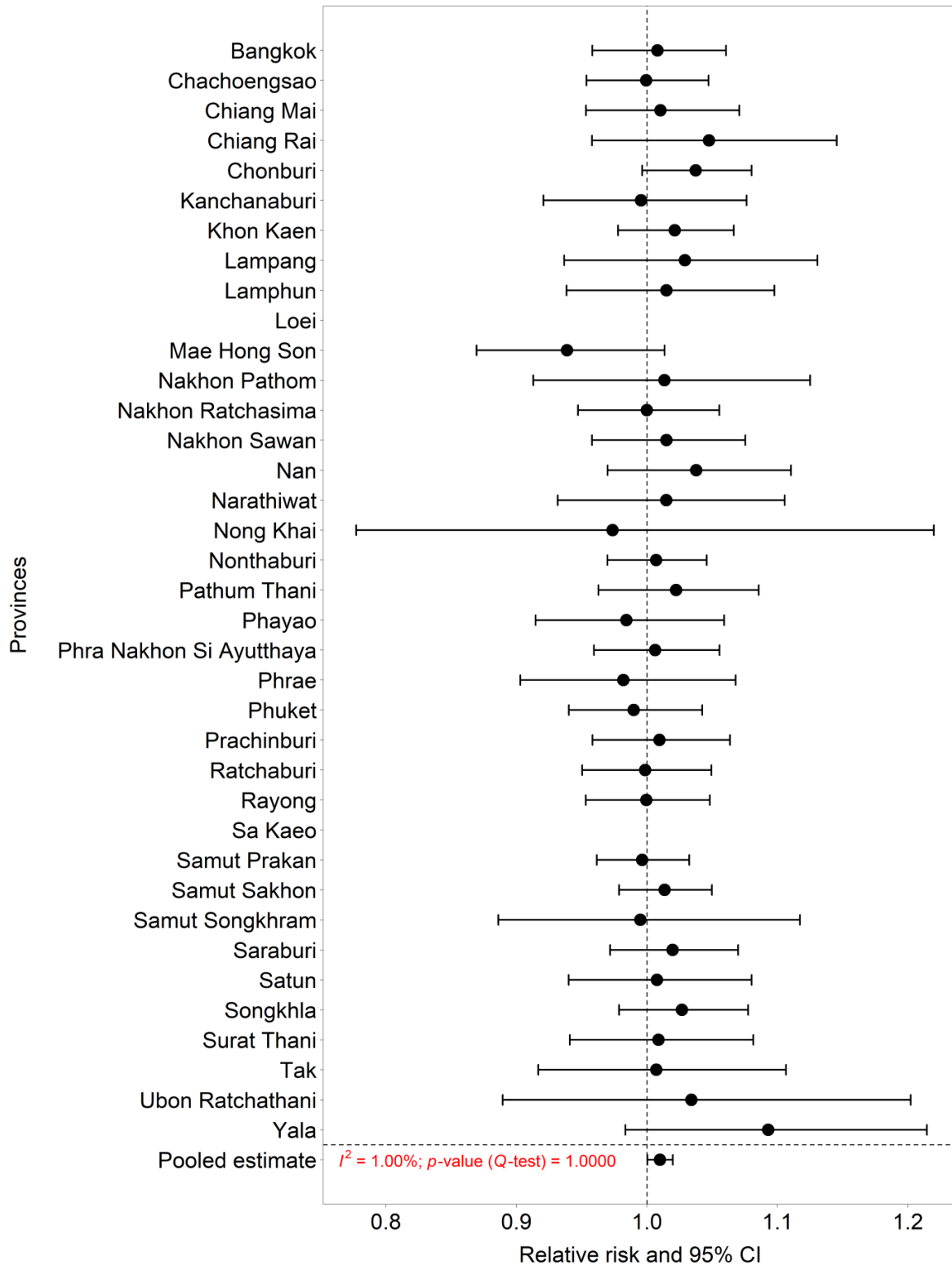


ภาพที่ 14 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกเมื่อ PM_{2.5} เพิ่มขึ้นทุก 10 µg/m³ ที่ Lag 0



ภาพที่ 15 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกเมื่อ NO₂ เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ที่ Lag 0

O₃ and Cardiorespiratory OPD (Lag 1)



ภาพที่ 16 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการผู้ป่วยนอกเมื่อ O₃ เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ที่ Lag 1

เมื่อได้ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจในจังหวัดต่าง ๆ มาอธิบายความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษอากาศในระดับประเทศ โดยนำมาค่าความเสี่ยงที่ได้จากทุกจังหวัดมาวิเคราะห์ร่วมกันแบบ Pooled Estimate เป็นผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ห่อภิมาณโดยใช้วิธีการ Multivariate Meta-analysis เพื่อนำค่าความเสี่ยงที่ได้จากทุกจังหวัดมาวิเคราะห์ร่วมกันภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวแบบสุ่ม (Random Distribution) เพื่ออธิบายความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษอากาศในระดับประเทศ ทั้งนี้ ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัส NO_2 O_3 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ที่ Lag ที่มีค่าสูงที่สุด (Lag 0 สำหรับ NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ และ Lag 1 สำหรับ O_3) แสดงในตารางที่ 8 โดยค่าสัมประสิทธิ์ (β) ของความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิดถูกนำไปใช้ในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศในลำดับถัดไป

ตารางที่ 8 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัส NO_2 O_3 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$

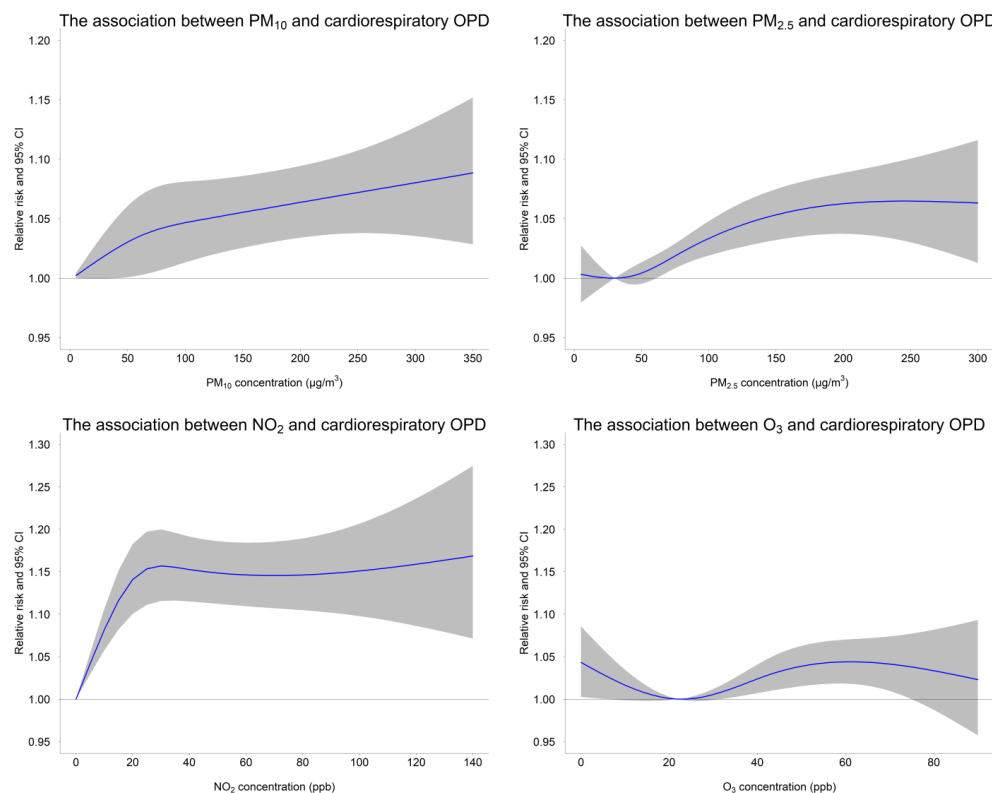
ม ล พื ช อากาศ	ค่าความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 10 หน่วย ของมลพิษอากาศแต่ละชนิด			ค่าความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด	
	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ (95% CI)	สัมประสิทธิ์ (β)	ความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน (S.E.)	สัมประสิทธิ์ (β)	ความคลาด เคลื่อนมาตรฐาน (S.E.)
NO_2 (ppb)	1.0533 (1.0386, 1.0682)	0.0519	0.007169	0.0052	0.0007169
O_3 (ppb)	1.0100 (1.0003, 1.0198)	0.0099	0.004924	0.0010	0.0004924
PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.0119 (1.0083, 1.0156)	0.0119	0.001819	0.0012	0.0001819
$\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.0123 (1.0065, 1.0182)	0.0122	0.002939	0.0012	0.0002939

หมายเหตุ - 95% CI คือช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (95% Confidence Interval)

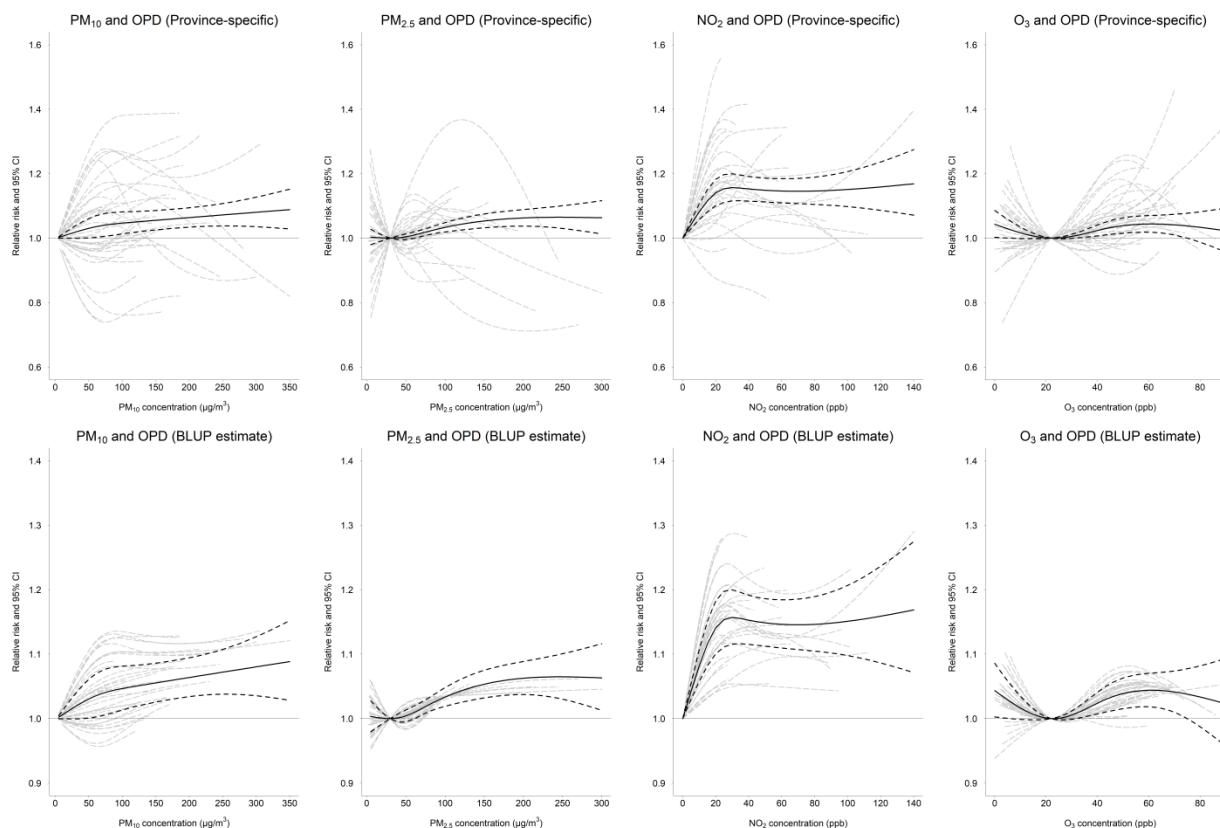
- ค่าสัมประสิทธิ์ = $\log(\text{RR})$ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน = $[\log(\text{RR upper}/\text{RR lower})]/3.92$

- ค่าสัมประสิทธิ์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิดเกิดจากการนำค่าสัมประสิทธิ์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 10 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิดหารด้วย 10

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการรับสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิดและความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ (Exposure-response Relationships) แสดงในภาพที่ 17 โดยใช้ Natural Cubic Spline ที่ระดับความเป็นอิสระเท่ากับ 3 ที่ Lag 0 สำหรับ NO₂ PM₁₀ และ PM_{2.5} และที่ Lag 1 สำหรับ O₃ ซึ่งพบว่าความสัมพันธ์ของ NO₂ PM₁₀ และ PM_{2.5} กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกมีแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) กล่าวคือ เมื่อรับสัมผัส NO₂ PM₁₀ และ PM_{2.5} เพิ่มมากขึ้น ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง O₃ และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกมีแนวโน้มแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear) โดยผลกระทบของ O₃ ขึ้นอยู่กับปริมาณการรับสัมผัส เมื่อรับสัมผัสในปริมาณที่มากพอจึงจะทำให้ผลกระทบเกิดขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้ คือ 22 ppb กล่าวคือ จะพบความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจเมื่อรับสัมผัส O₃ ตั้งแต่ 22 ppb เป็นต้นไป ทั้งนี้ Exposure-response Relationships ของมลพิษอากาศแต่ละตัวในแต่ละจังหวัด (Province-specific Exposure-response Relationships) และการวิเคราะห์โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นที่ไม่เอนเอียงที่มีความแปรปรวนน้อยที่สุด (Best Linear Unbiased Prediction: BLUP) แสดงในภาพที่ 18 ทั้งนี้ BLUP Estimates เป็นการประมาณค่าโดยอาศัยข้อมูลจากจังหวัดอื่น ๆ ที่มีจำนวนตัวอย่างมากกว่าหรือมีระยะเวลาที่ยาวกว่าในการคาดการณ์ความเสี่ยงของจังหวัดที่มีจำนวนตัวอย่างน้อยหรือมีระยะเวลาสั้นกว่า ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ของแต่ละจังหวัดมีความแปรปรวนน้อยกว่าการประมาณค่าที่เฉพาะของแต่ละจังหวัด (Province-specific Estimates)



ภาพที่ 17 Exposure-response Relationships ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดและความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอก



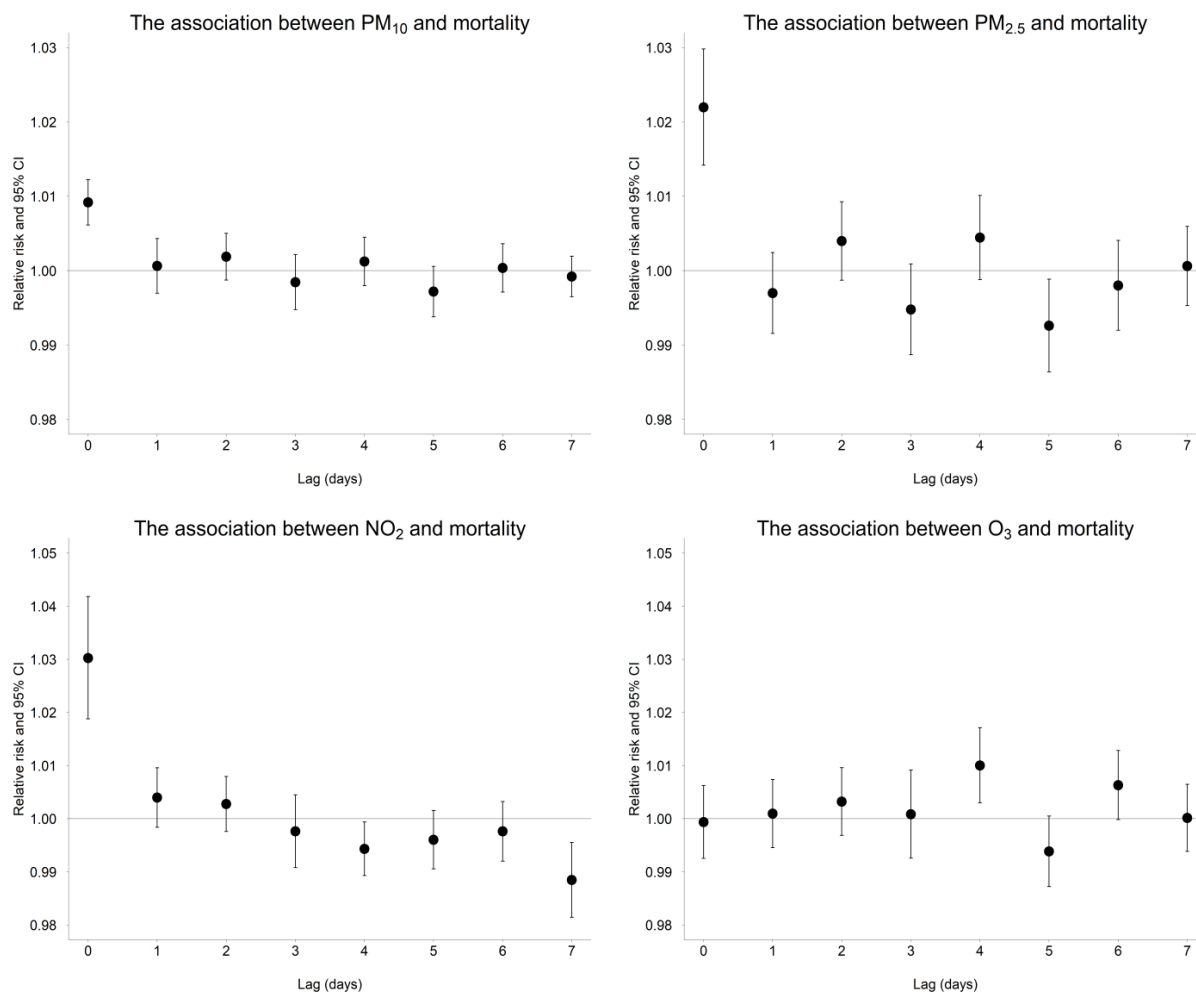
ภาพที่ 18 Province-specific Exposure-response Relationships และ Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) ของความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดและการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอก

4.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ

ถึงแม้ว่าข้อมูลการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคมีครบทั้ง 77 จังหวัด แต่มีเพียง 37 จังหวัดที่มีข้อมูลมลพิษอากาศและข้อมูลอุบัติเหตุ ซึ่งมีข้อมูลอยู่ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2563 ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ฉะเชิงเทรา เชียงใหม่ เชียงราย ชลบุรี กาญจนบุรี ขอนแก่น ลำปาง ลำพูน เลย แม่ฮ่องสอน นครปฐม นครราชสีมา นราธิวาส นครสวรรค์หนองคาย น่าน นนทบุรี ปทุมธานี พะเยา พระนครศรีอยุธยาแพร่ภูเก็ตปราจีนบุรีราชบุรีระยองสระแก้วสมุทรปราการสมุทรสาครสมุทรสงครามสระบุรีสตูลสงขลาสุราษฎร์ธานีตากอุบลราชธานีและยะลา นอกจากนี้ การเสียชีวิตที่มีข้อมูลอยู่ในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2558 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2562 ดังนั้น การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเสียชีวิตจึงสามารถใช้ข้อมูลในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2562 และมีเพียง 34 จังหวัดที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ในช่วงเวลาดังกล่าว (จังหวัดหนองคายสมุทรสงครามและอุบลราชธานี มีข้อมูลมลพิษอากาศตั้งแต่ปี 2563 เป็นต้นไป ซึ่งไม่มีข้อมูลการเสียชีวิตในช่วงเวลาดังกล่าว) ทั้งนี้ ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง NO_2 และ O_3 และการเสียชีวิตประกอบด้วยข้อมูลจาก 32 จังหวัด เนื่องจากจังหวัดเลยและสระแก้วไม่มีข้อมูล NO_2 และ O_3 และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ กับการเสียชีวิตประกอบด้วยข้อมูลจาก 34 จังหวัด

ตลอดช่วงเวลาที่มียข้อมูลในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุในทุกจังหวัด (พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2562) พบว่าความเข้มข้นของ NO_2 และ O_3 เฉลี่ยต่อวัน±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 32 จังหวัด (จังหวัดเลย และสระแก้วไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับ 15.12 ± 12.33 ppb และ 22.76 ± 11.53 ppb ตามลำดับ และความเข้มข้นของ PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ เฉลี่ยต่อวัน±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 34 จังหวัดมีค่าเท่ากับ 42.45 ± 27.30 และ 24.24 ± 18.82 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรตามลำดับ นอกจากนี้ อุณหภูมิเฉลี่ยต่อวันจาก 34 จังหวัด มีค่าเท่ากับ 27.73 ± 2.77 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยต่อวันจาก 31 จังหวัด (จังหวัดฉะเชิงเทรา ขอนแก่น และราชบุรีไม่มีข้อมูล) มีค่าเท่ากับร้อยละ 71.61 ± 12.44 และจำนวนผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุเฉลี่ยต่อวัน±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจาก 34 จังหวัด มีค่าเท่ากับ 19.08 ± 19.78 ราย

ความสัมพันธ์ของ NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ และการเสียชีวิตมีค่าสูงที่สุดที่ Lag 0 (การรับสัมผัส NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ และการเสียชีวิตเกิดขึ้นในวันเดียวกัน) ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง O_3 กับการเสียชีวิตมีค่าสูงที่สุดที่ Lag 4 (เสียชีวิตหลังจากการรับสัมผัสเป็นเวลา 4 วัน) ดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศกับการเสียชีวิตที่ Lag ต่าง ๆ

ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตจาก 32 จังหวัดทั่วประเทศที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ NO₂ ที่ Lag 0 มีค่าเท่ากับ 1.0302 (95% CI: 1.0188, 1.0418) และความเสี่ยงสัมพัทธ์จาก 34 จังหวัดทั่วประเทศที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 µg/m³ ของ PM₁₀ และ PM_{2.5} ที่ Lag 0 มีค่าเท่ากับ 1.0092 (95% CI: 1.0061, 1.0122) และ 1.0220 (95% CI: 1.0142, 1.0298) ตามลำดับ นอกจากนี้ ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตจาก 32 จังหวัดทั่วประเทศที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ O₃ ที่ Lag 4 มีค่าเท่ากับ 1.0100 (95% CI: 1.0030, 1.0171) ทั้งนี้ ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคที่ Lag ต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ห่อภิมาณ (Meta-analysis) แสดงไว้ในตารางที่ 9

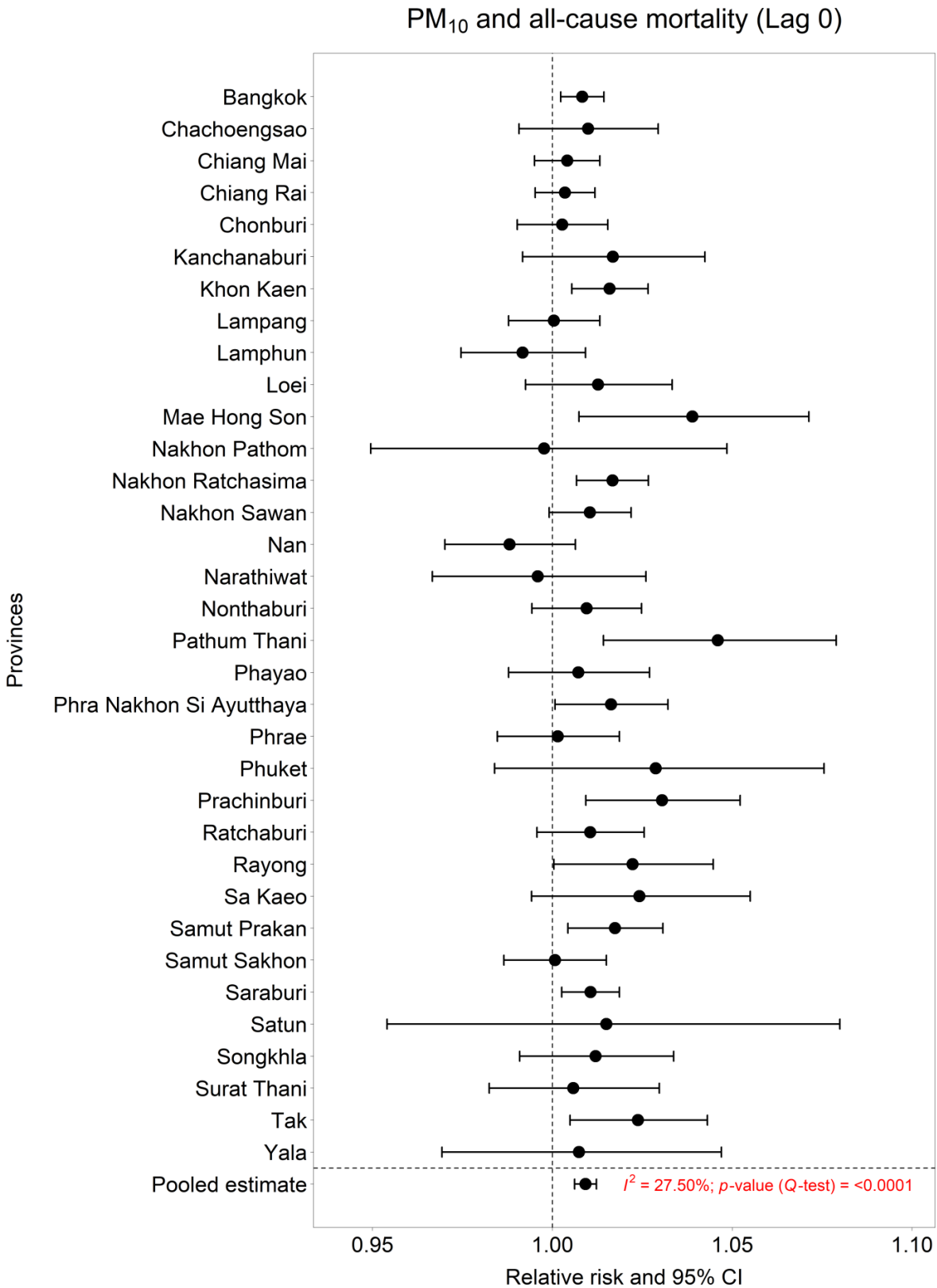
ตารางที่ 9 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุที่ Lag ต่าง ๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์ห่อภิมาณ (Meta-analysis)

Lag (วัน)	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ (ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95)			
	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	PM _{2.5}
Lag 0	1.0302 (1.0188, 1.0418)	0.9994 (0.9925, 1.0062)	1.0092 (1.0061, 1.0122)	1.0220 (1.0142, 1.0298)
Lag 1	1.0040 (0.9984, 1.0096)	1.0009 (0.9946, 1.0074)	1.0006 (0.9970, 1.0043)	0.9970 (0.9916, 1.0024)
Lag 2	1.0028 (0.9976, 1.0079)	1.0032 (0.9968, 1.0096)	1.0019 (0.9987, 1.0050)	1.0040 (0.9987, 1.0093)
Lag 3	0.9976 (0.9908, 1.0045)	1.0008 (0.9926, 1.0092)	0.9985 (0.9948, 1.0022)	0.9948 (0.9887, 1.0009)
Lag 4	0.9943 (0.9893, 0.9994)	1.0100 (1.0030, 1.0171)	1.0012 (0.9980, 1.0045)	1.0044 (0.9988, 1.0101)
Lag 5	0.9960 (0.9906, 1.0015)	0.9938 (0.9872, 1.0005)	0.9972 (0.9938, 1.0006)	0.9926 (0.9864, 0.9988)
Lag 6	0.9976 (0.9920, 1.0032)	1.0063 (0.9998, 1.0128)	1.0004 (0.9971, 1.0036)	0.9980 (0.9920, 1.0041)
Lag 7	0.9885 (0.9814, 0.9955)	1.0001 (0.9938, 1.0065)	0.9992 (0.9965, 1.0019)	1.0006 (0.9953, 1.0060)
Lag 0-7	1.0105 (0.9982, 1.0229)	1.0146 (1.0048, 1.0245)	1.0081 (1.0032, 1.0131)	1.0132 (1.0030, 1.0234)
การทดสอบ Heterogeneity				
Q	366.0624	297.0806	364.1479	360.9435
p-value	<0.0001	0.0177	<0.0001	0.0001
I ²	32.30%	16.50%	27.50%	27.90%

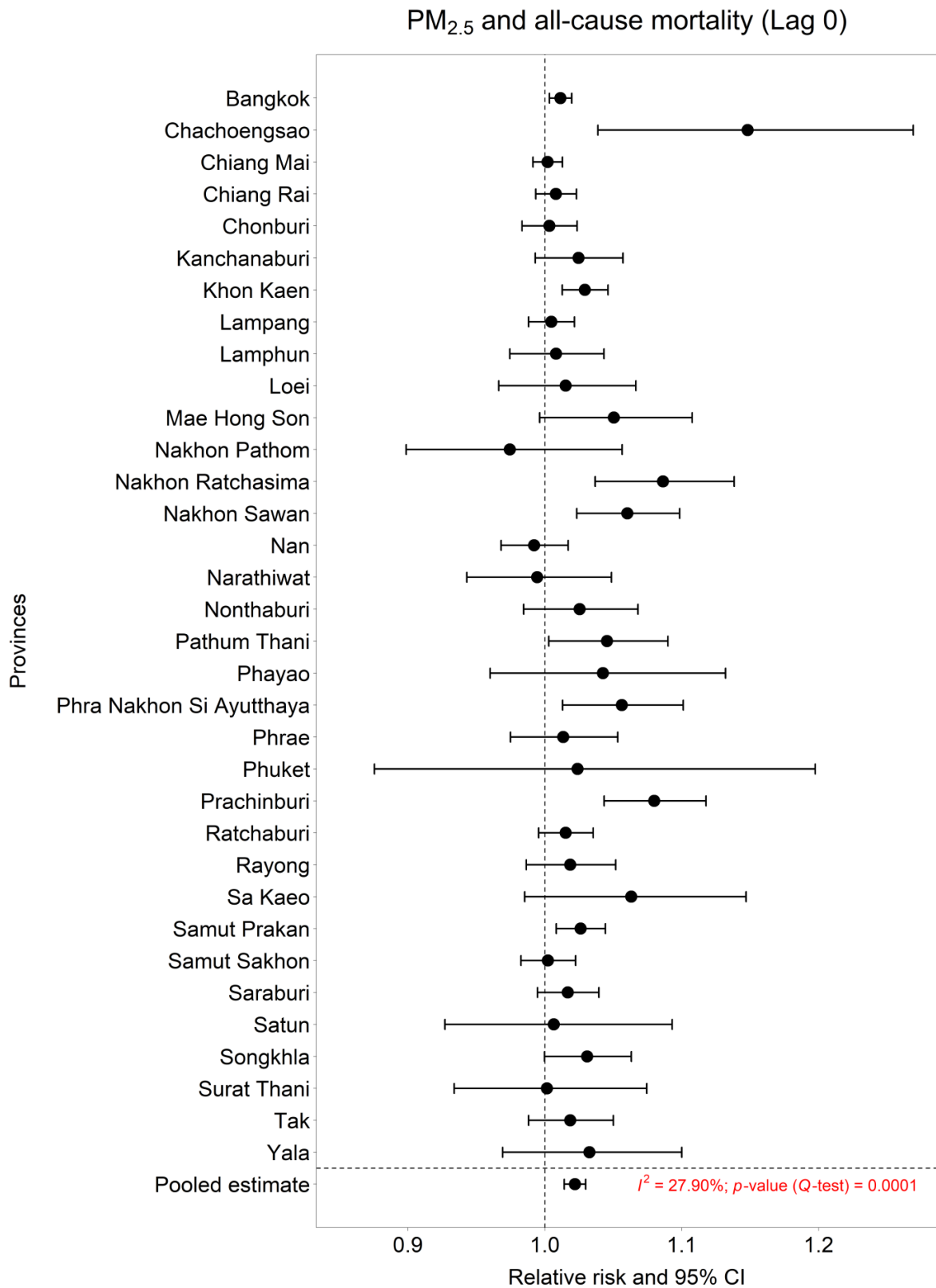
หมายเหตุ ความเสี่ยงสัมพัทธ์ต่อ 10 ppb ของ NO₂ และ O₃ ที่เพิ่มขึ้น และต่อ 10 µg/m³ ของ PM₁₀ และ PM_{2.5} ที่เพิ่มขึ้น

โดยจากการศึกษาพบว่า ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตในจังหวัดต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ NO_2 ที่ Lag 0 ตลอดจนการเพิ่มขึ้นทุก $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ของ PM10 และ PM2.5 ที่ Lag 0 และ 10 ppb ของ O_3 ที่ Lag 4 โดยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์จากการรับสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิดที่ได้จากแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กล่าวคือผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ห่อภิณวิธีการ Multivariate Meta-analysis เพื่อนำค่าความเสี่ยงที่ได้จากทุกจังหวัดมาวิเคราะห์ร่วมกันภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวแบบสุ่ม (Random Distribution) แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง PM10 และการเสียชีวิตที่ได้จากแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกัน (Heterogeneity) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีค่า I^2 (ความแปรปรวนเนื่องจากความแตกต่าง) ของค่าความเสี่ยงที่ได้จากแต่ละจังหวัด โดยมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 100 โดยเมื่อ I^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่าค่าความเสี่ยงของแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกันน้อย ในขณะที่เมื่อ I^2 มีค่าเข้าใกล้ 100 หมายความว่าค่าความเสี่ยงของแต่ละจังหวัดมีความแตกต่างกันสูง) และ p -value จาก Cochran's Q test (ค่าทางสถิติที่บ่งชี้ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของค่าความเสี่ยงที่ได้จากแต่ละจังหวัด) เท่ากับ 27.50% และ <0.0001 ตามลำดับ นอกจากนี้ ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัส PM2.5 NO_2 และ O_3 ในแต่ละจังหวัดก็มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ I^2 มีค่าเท่ากับ 27.90% และ p -value จาก Cochran's Q test มีค่าเท่ากับ 0.0001 สำหรับ PM2.5 อีกทั้ง I^2 สำหรับ NO_2 และ O_3 มีค่าเท่ากับ 32.30% และ 16.50% ตามลำดับ และ p -value จาก Cochran's Q test สำหรับ NO_2 และ O_3 มีค่าเท่ากับ 0.0001 และ 0.0177 ตามลำดับ

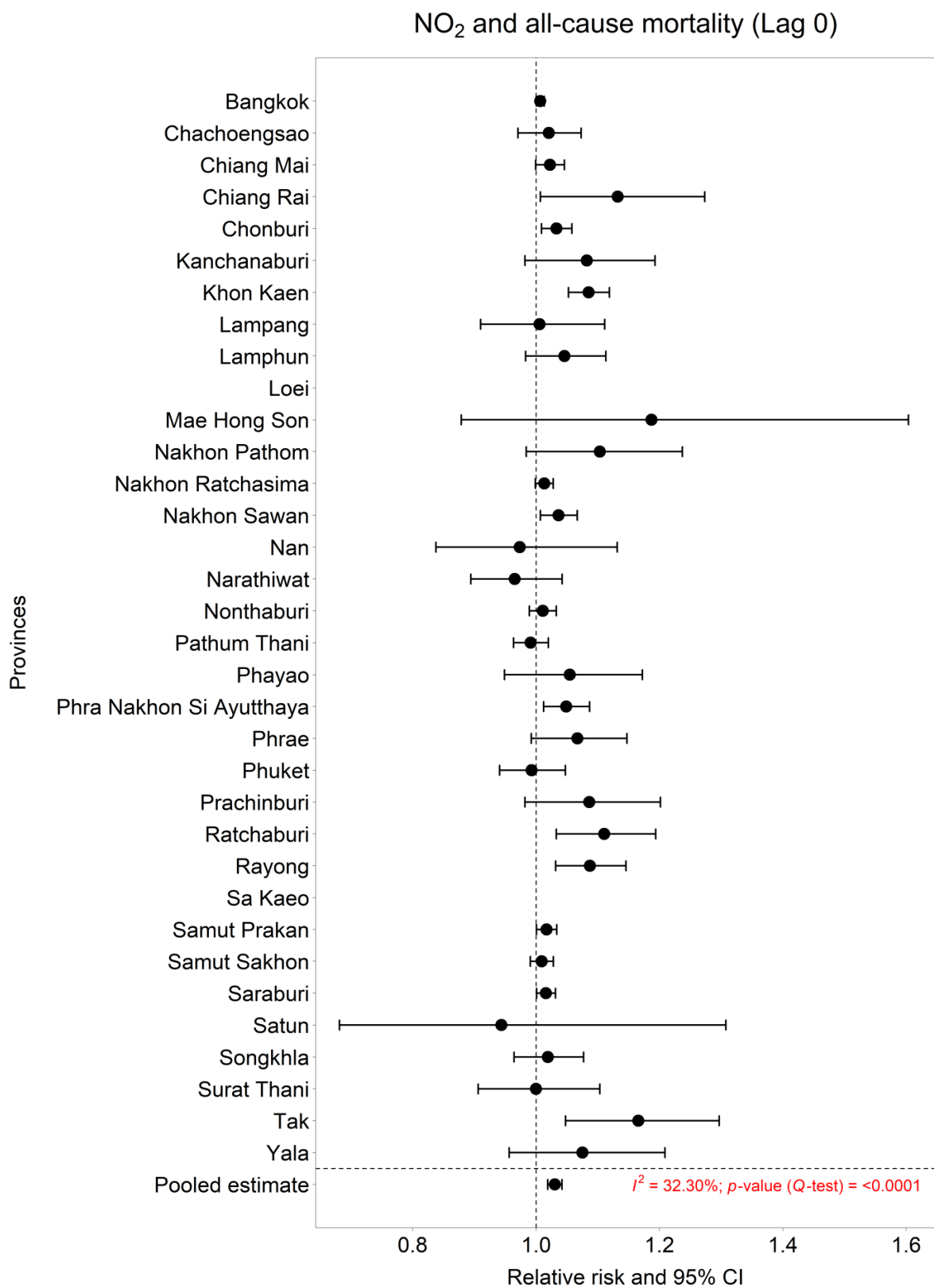
ดั่งภาพที่ 20 – 24



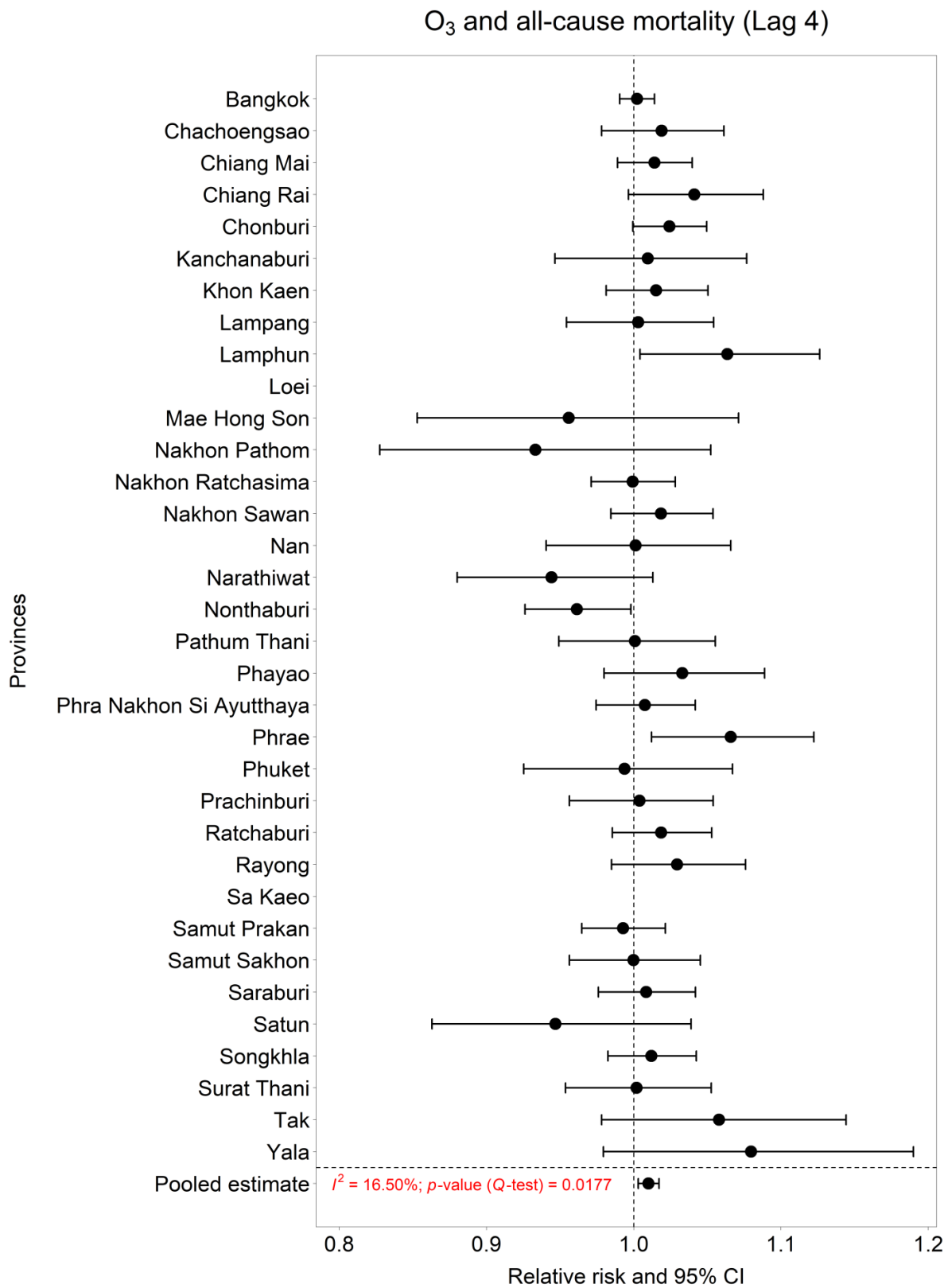
ภาพที่ 20 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตเมื่อ PM₁₀ เพิ่มขึ้นทุก 10 µg/m³ ที่ Lag 0



ภาพที่ 21 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตเมื่อ PM_{2.5} เพิ่มขึ้นทุก 10 µg/m³ ที่ Lag 0



ภาพที่ 22 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตเมื่อ NO₂ เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ที่ Lag 0



ภาพที่ 23 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตเมื่อ O₃ เพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ที่ Lag 4

การหาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุในระดับประเทศ โดยการ Pooled Estimate ได้เป็นผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ห่อถักโดยใช้วิธีการ Multivariate Meta-analysis เพื่อนำค่าความเสี่ยงที่ได้จากทุกจังหวัดมาวิเคราะห์ร่วมกันภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวแบบสุ่ม (Random Distribution) เพื่ออธิบายความเสี่ยงของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษอากาศในระดับประเทศ

ทั้งนี้ เสี่ยงสัมพันธ์ของการเสียชีวิตที่ Lag ต่าง ๆ และค่าความเสี่ยงสัมพันธ์ของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัส NO_2 O_3 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ที่ Lag ที่มีค่าสูงที่สุด (Lag 0 สำหรับ NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ และ Lag 4 สำหรับ O_3) แสดงในตารางที่ 10 โดยค่าสัมประสิทธิ์ (β) ของความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิดถูกนำไปใช้ในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศในลำดับถัดไป

ตารางที่ 10 ความเสี่ยงสัมพันธ์ของการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ใช่อุบัติเหตุที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัส NO_2 O_3 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$

มลพิษอากาศ	ค่าความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 10 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด			ค่าความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด	
	ความเสี่ยงสัมพันธ์ (95% CI)	สัมประสิทธิ์ (β)	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.)	สัมประสิทธิ์ (β)	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (S.E.)
NO_2 (ppb)	1.0302 (1.0188, 1.0418)	0.0298	0.005704	0.0030	0.0005704
O_3 (ppb)	1.0100 (1.0030, 1.0171)	0.0100	0.003574	0.0010	0.0003574
PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.0092 (1.0061, 1.0122)	0.0091	0.001542	0.0009	0.0001542
$\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1.0220 (1.0142, 1.0298)	0.0217	0.003903	0.0022	0.0003903

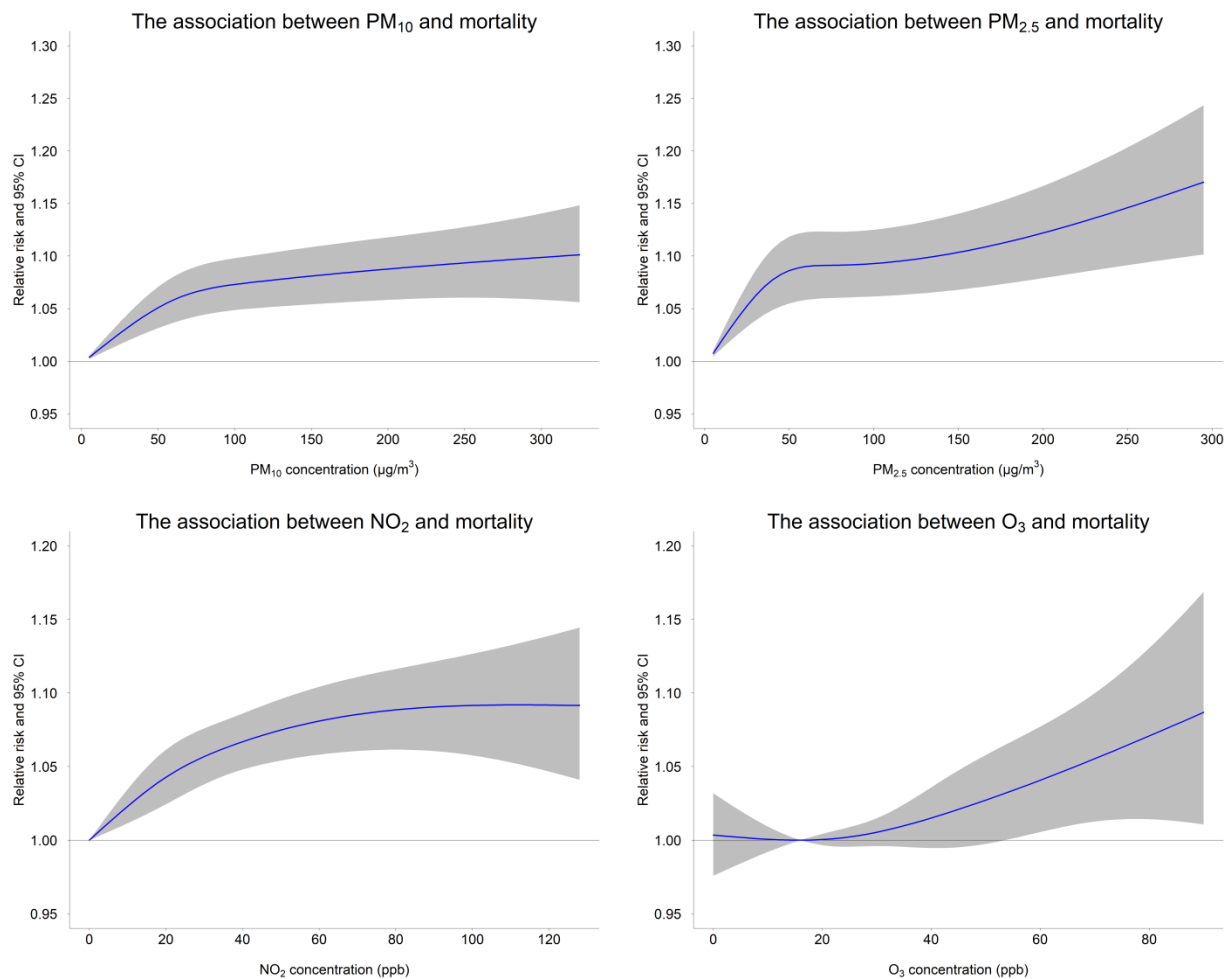
หมายเหตุ - 95% CI คือช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 (95% Confidence Interval)

- ค่าสัมประสิทธิ์ = $\log(\text{RR})$ และความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน = $[\log(\text{RR upper}/\text{RR lower})]/3.92$

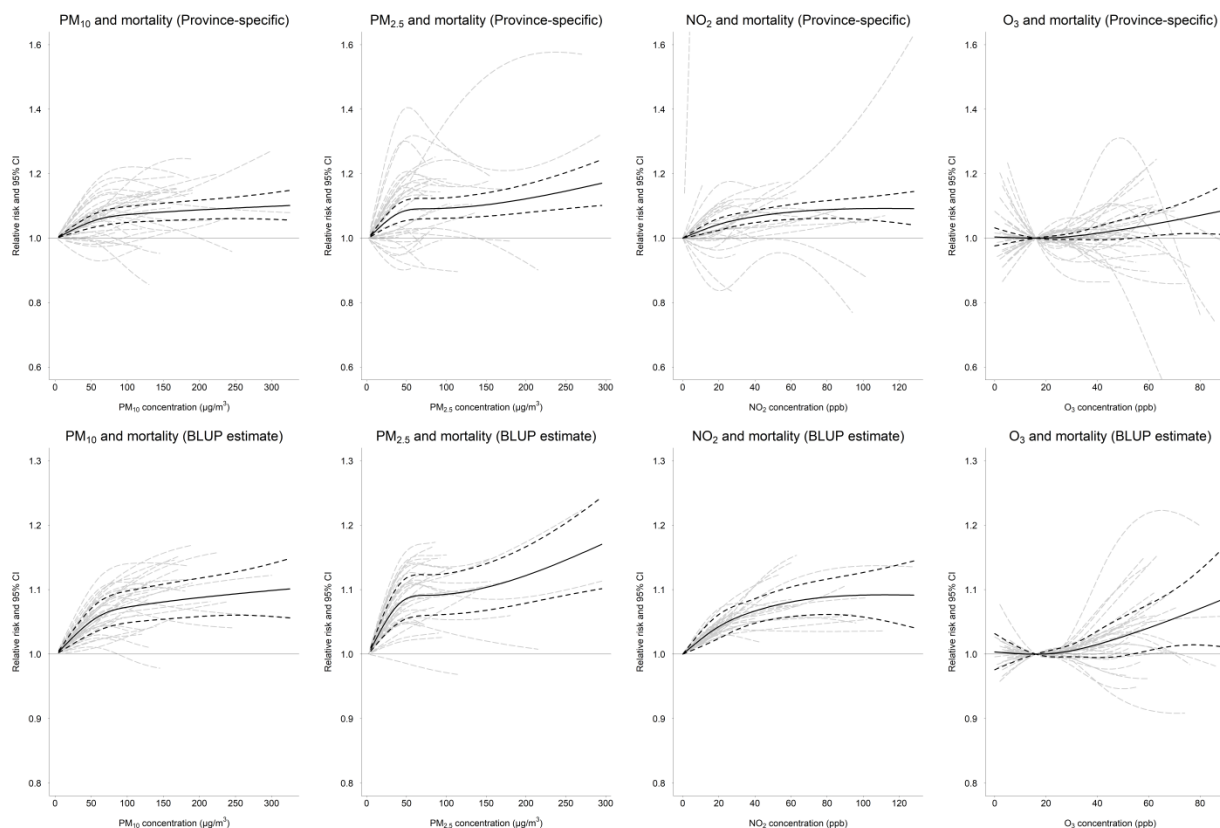
- ค่าสัมประสิทธิ์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิดเกิดจากการนำค่าสัมประสิทธิ์และความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 10 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิดหารด้วย 10

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการรับสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิดและความเสี่ยงของการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ (Exposure-response Relationships) แสดงดังภาพที่ 24 โดยใช้ Natural Cubic Spline ที่ระดับความเป็นอิสระเท่ากับ 3 ที่ Lag 0 สำหรับ NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ และที่ Lag 4 สำหรับ O_3 ซึ่งพบว่าความสัมพันธ์ของ NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ กับการเสียชีวิตมีแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) กล่าวคือ เมื่อรับสัมผัส NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ เพิ่มมากขึ้น ความเสี่ยงของการเสียชีวิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง O_3 และการเสียชีวิตมีแนวโน้มแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear) โดยผลกระทบ

ของ O_3 ขึ้นอยู่กับปริมาณการรับสัมผัส ซึ่งเมื่อรับสัมผัสในปริมาณที่มากพอจึงจะทำให้มีผลกระทบเกิดขึ้น ซึ่งในการศึกษานี้คือ 16 ppb กล่าวคือ จะพบความเสี่ยงของการเสียชีวิตเมื่อรับสัมผัส O_3 ตั้งแต่ 16 ppb เป็นต้นไป ทั้งนี้ Exposure-response Relationships ของมลพิษอากาศแต่ละตัวในแต่ละจังหวัด (Province-specific Exposure-response Relationships) และการวิเคราะห์โดยใช้การประมาณค่าเชิงเส้นที่ไม่เอนเอียงที่มีความแปรปรวนน้อยที่สุด (Best Linear Unbiased Prediction: BLUP) แสดงดังภาพที่ 25 ทั้งนี้ BLUP Estimates เป็นการประมาณค่าโดยอาศัยข้อมูลจากจังหวัดอื่น ๆ ที่มีจำนวนตัวอย่างมากกว่าหรือมีระยะเวลาที่ยาวกว่าในการคาดการณ์ความเสี่ยงของจังหวัดที่มีจำนวนตัวอย่างน้อยหรือมีระยะเวลาสั้นกว่า ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ของแต่ละจังหวัดมีความแปรปรวนน้อยกว่าการประมาณค่าที่เฉพาะของแต่ละจังหวัด (Province-specific Estimates)



ภาพที่ 24 Exposure-response Relationships ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดและความเสี่ยงของการเสียชีวิตด้วยสาเหตุจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ



ภาพที่ 25 Province-specific Exposure-response Relationships และ Best Linear Unbiased Prediction (BLUP) ของความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดและการเสียชีวิต

4.4 การพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI)

หลังจากได้ความเสียงสัมพันธ์ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและความเสียงสัมพันธ์ของการเสียชีวิตจากการสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิด (PM_{10} $PM_{2.5}$ NO_2 หรือ O_3) ในระดับประเทศแล้ว ในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศนั้น ได้นำสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของมลพิษอากาศทั้ง 4 ชนิด (β_{NO_2} , β_{O_3} , $\beta_{PM_{10}}$, $\beta_{PM_{2.5}}$) ที่มีต่อการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตมาพิจารณา ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของมลพิษอากาศแต่ละชนิดที่สัมพันธ์กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด และ โรคระบบทางเดินหายใจและการเสียชีวิตแสดงในตารางที่ 4 และ 6 โดยนำค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ของมลพิษอากาศทั้ง 4 ชนิด (β_{NO_2} , β_{O_3} , $\beta_{PM_{10}}$, $\beta_{PM_{2.5}}$) ที่มีต่อการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจและการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคแทนค่าลงในสมการดังต่อไปนี้

$$MWEC(\%) = \sum_{j=1 \dots n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1 \dots n} m_j} \right) * \sum_{i=1 \dots p} 100(\exp(\beta_i x_{i,t,j}) - 1) \right] \quad \text{หรือขยายสมการได้ดังนี้}$$

$$MWEC(\%) = \sum_{j=1 \dots n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1 \dots n} m_j} \right) * [100 * (\exp(\beta_{PM_{10}} x_{PM_{10}}) - 1) + (\exp(\beta_{O_3} x_{O_3}) - 1) + (\exp(\beta_{NO_2} x_{NO_2}) - 1)] \right]$$

$$MWEC(\%) = \sum_{j=1 \dots n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1 \dots n} m_j} \right) * [100 * (\exp(\beta_{PM_{2.5}} x_{PM_{2.5}}) - 1) + (\exp(\beta_{O_3} x_{O_3}) - 1) + (\exp(\beta_{NO_2} x_{NO_2}) - 1)] \right]$$

ทั้งนี้ต้องแยกสมการสำหรับ PM10 และ PM2.5 ออกเป็นคนละสมการ เนื่องจาก PM10 และ PM2.5 มีความสัมพันธ์กันสูง กล่าวคือ แต่ละตัวสามารถใช้เป็นตัวแทนของกันและกันได้ โดยในกรณีที่ไม่มีข้อมูล PM2.5 สามารถใช้ PM10 แทนได้ แต่ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลทั้ง PM10 และ PM2.5 สามารถเลือกใช้ PM10 หรือ PM2.5 ก็ได้ ขึ้นอยู่กับว่าชนิดใดมีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่ากัน

$$c = \max_{t=1 \dots q} \left\{ \sum_{j=1 \dots n} \left[\left(\frac{m_j}{\sum_{j=1 \dots n} m_j} \right) * \sum_{i=1 \dots p} 100(\exp(\beta_i x_{i,t,j}) - 1) \right] \right\}$$

ดังนั้นค่า c ที่นำมาใช้ในการคำนวณ AQHI จึงมีค่าเท่ากับร้อยละ 110.59 สำหรับ PM10 AQHI และร้อยละ 105.19 สำหรับ PM2.5 AQHI เมื่อใช้ข้อมูลการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ หรือค่า c มีค่าเท่ากับร้อยละ 69.82 สำหรับ PM10 AQHI และร้อยละ 71.01 สำหรับ PM2.5 AQHI เมื่อใช้ข้อมูลการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรค ซึ่งสามารถสรุปได้ตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ค่า c ที่นำมาใช้ในการคำนวณ AQHI

ค่า MWEC ที่มากที่สุด	การเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอก		การเสียชีวิต	
	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5
C (ร้อยละ)	110.59	105.19	69.82	71.01

ดังนั้น ค่า AQHI สามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$AQHI = \frac{10}{c} \sum_{i=1 \dots p} 100(\exp(\beta_i x_i) - 1) \quad \text{หรือขยายสมการได้ดังนี้}$$

$$PM_{10}AQHI = \frac{10}{c} * [100 * (\exp(\beta_{PM_{10}} x_{PM_{10}}) - 1) + (\exp(\beta_{O_3} x_{O_3}) - 1) + (\exp(\beta_{NO_2} x_{NO_2}) - 1)]$$

$$PM_{2.5}AQHI = \frac{10}{c} * [100 * (\exp(\beta_{PM_{2.5}} x_{PM_{2.5}}) - 1) + (\exp(\beta_{O_3} x_{O_3}) - 1) + (\exp(\beta_{NO_2} x_{NO_2}) - 1)]$$

เมื่อ β_i คือสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศชนิด i กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก หรือกับการเสียชีวิตที่ได้จากตารางที่ 12 และ 6; c คือค่า MWEC ในวันที่มีค่าสูงที่สุดตลอดช่วงเวลาที่ศึกษาที่ได้จากตารางที่ 7; x_i คือความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i (เฉลี่ย 3 ชั่วโมง) และ p คือจำนวนมลพิษอากาศที่ใช้ใน

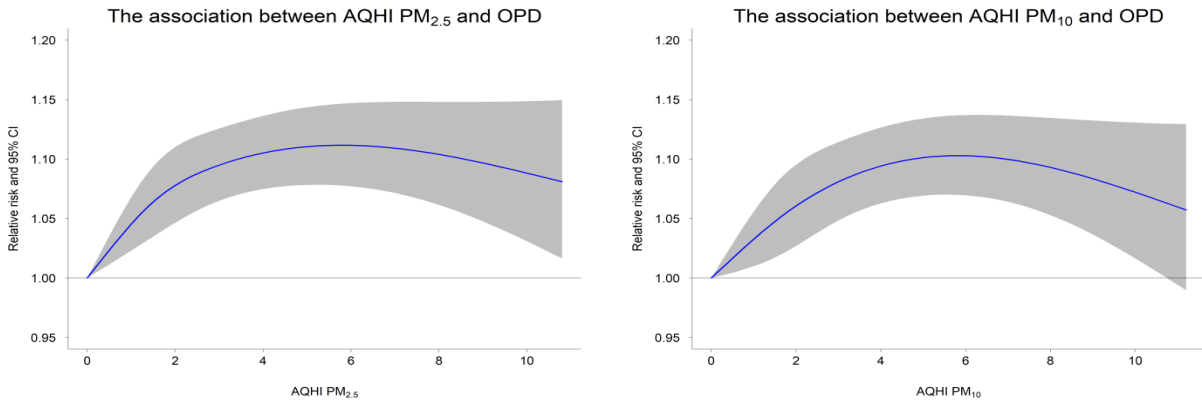
การศึกษาประกอบด้วย NO₂, O₃, PM₁₀ และ PM_{2.5} โดยสามารถเลือกใช้สมการ PM₁₀AQHI หรือ PM_{2.5}AQHI ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลและความสมบูรณ์ของข้อมูล กล่าวคือในกรณีที่สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศไม่มีข้อมูล PM_{2.5} สามารถใช้สมการ PM₁₀AQHI อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่มีการตรวจวัดความเข้มข้นของทั้ง PM₁₀ และ PM_{2.5} จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศสามารถใช้ได้ทั้งสมการ PM₁₀AQHI หรือ PM_{2.5}AQHI ขึ้นอยู่กับว่าชนิดใดมีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่า ซึ่งผลลัพธ์สุดท้ายของการศึกษานี้คือดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) ซึ่งประกอบด้วยมาตราวัดตั้งแต่ 0 (ความเสี่ยงต่ำ) ถึง 10⁺ (ความเสี่ยงสูงมาก) ตามตารางที่ 11 โดย AQHI แต่ละระดับมีข้อเสนอแนะเชิงพฤติกรรมเพื่อลดหรือหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสมลพิษอากาศโดยอ้างอิงจาก AQHI ของประเทศแคนาดา

ตารางที่ 12 ระดับของ AQHI และข้อเสนอแนะเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ

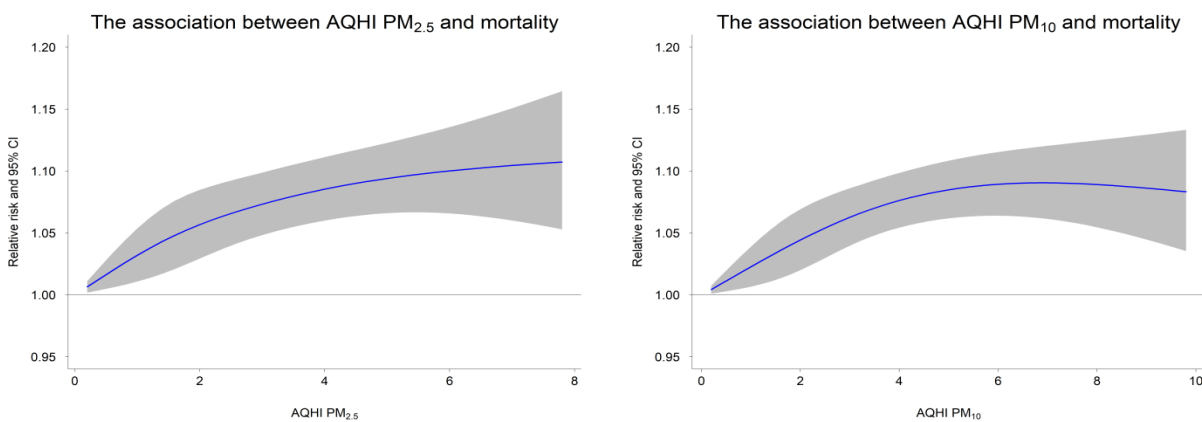
ระดับความเสี่ยง	AQHI	คำแนะนำ	
		ประชาชนกลุ่มเสี่ยง	ประชาชนทั่วไป
ต่ำ	0-3	ทำกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกอาคารได้ปกติ	ทำกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกอาคารได้ปกติ
ปานกลาง	4-6	ควรลดหรือปรับเปลี่ยนกิจกรรมภายนอกอาคาร หากมีอาการไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ	ทำกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกอาคารได้ปกติ ยกเว้นผู้ที่มีการระคายเคืองที่ผิวหนังหรือลำคอ
สูง	7-10	ลดกิจกรรมภายนอกอาคาร หากมีอาการไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ เด็กและผู้สูงอายุควรลดกิจกรรมภายนอกอาคาร	ควรลดหรือปรับเปลี่ยนกิจกรรมภายนอกอาคาร หากมีอาการไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น ระคายเคืองคอ เป็นต้น
สูงมาก	10 ⁺	หลีกเลี่ยงกิจกรรมภายนอกอาคารที่ต้องออกแรงเยอะ เด็กและผู้สูงอายุควรงดกิจกรรมภายนอกอาคาร	ลดหรือปรับเปลี่ยนกิจกรรมภายนอกอาคาร หากมีอาการไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น ไอ ระคายเคืองคอ เป็นต้น

หมายเหตุ ประชาชนกลุ่มเสี่ยงคือคนที่มีโรคประจำตัว หรือมีปัญหาที่เกี่ยวข้องกับโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด และโรคระบบทางเดินหายใจ

การทดสอบความแม่นยำของดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศทำได้โดยการสร้างความสัมพันธ์ระหว่าง AQHI กับความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิต (Exposure-response Relationships) ที่แสดงในรูปภาพที่ 26 และ 27 โดยใช้ Natural Cubic Spline ที่ระดับความเป็นอิสระเท่ากับ 3 ที่ Lag 0 สำหรับมลพิษอากาศแต่ละชนิด (O₃, NO₂, PM₁₀ และ PM_{2.5}) ซึ่งพบว่าความสัมพันธ์ระหว่าง AQHI กับความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิตมีแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) กล่าวคือ เมื่อระดับ AQHI เพิ่มมากขึ้น ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม Exposure-response Relationships ระหว่าง AQHI และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากอิทธิพลของ Outliers ดังนั้น ถ้ากำจัดข้อมูลที่เป็น Outliers ออกจะพบความสัมพันธ์ที่มีแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้น

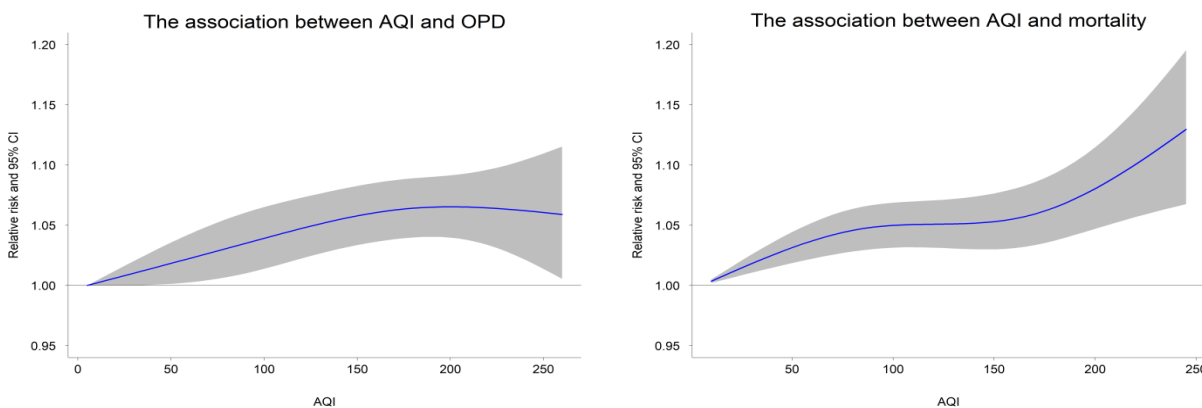


ภาพที่ 26 Exposure-response Relationships ระหว่าง AQHI และความเสี่ยงของการใช้บริการผู้ป่วยนอก



ภาพที่ 27 Exposure-response Relationships ระหว่าง AQHI และความเสี่ยงของการเสียชีวิต

ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตจาก AQHI และ AQI พบว่า ความเสี่ยงของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิตมีแนวโน้มเชิงเส้นคล้าย ๆ กัน ซึ่งเมื่อระดับ AQHI หรือ AQI เพิ่มขึ้น ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 Exposure-response Relationships ระหว่าง AQI และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิต

อย่างไรก็ตาม พิจารณาค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ต่อค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ (Interquartile Range: IQR) ของ AQHI และ AQI ที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจและความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตจาก AQHI มีค่าแตกต่างจาก AQI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) โดยค่าความเสี่ยงจาก AQHI มีค่าสูงกว่า AQI ดังตารางที่ 13 ดังนั้นการใช้ AQI เพื่อบ่งชี้ความเสี่ยงต่อสุขภาพอาจมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น (Underestimation) เนื่องจาก AQI เป็นการพิจารณาผลพิษอากาศชนิดเดียวที่มีค่าสูงที่สุดในเวลานั้น ทั้งนี้การใช้ AQHI ที่เกิดจากผลรวมของความเสี่ยงจากมลพิษอากาศทุกตัวจึงอาจจะเป็นดัชนีที่ดีกว่าในการสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศ

ตารางที่ 13 ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตต่อ IQR ของ AQHI และ AQI ที่เพิ่มขึ้น

ดัชนี	ความเสี่ยงสัมพัทธ์ (ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%)	
	การเข้ารับการรักษาพยาบาล แผนกผู้ป่วยนอก	การเสียชีวิต
PM2.5AQHI	1.0560 (1.0394, 1.0729)	1.0352 (1.0256, 1.0449)
PM10AQHI	1.0587 (1.0423, 1.0754)	1.0325 (1.0237, 1.0413)
AQI	1.0123 (1.0076, 1.0170)	1.0129 (1.0080, 1.0179)
$p\text{-value}$ (PM2.5AQHI Vs AQI)	<0.001	<0.001
$p\text{-value}$ (PM10AQHI Vs AQI)	<0.001	<0.001

หมายเหตุ

IQR (Interquartile Range) ของ PM2.5AQHI เท่ากับ 0.93; PM10AQHI เท่ากับ 1.00; และ AQI เท่ากับ 26.68 สำหรับผู้ป่วยนอก

IQR (Interquartile Range) ของ PM2.5AQHI เท่ากับ 0.90; PM10AQHI เท่ากับ 1.06; และ AQI เท่ากับ 21.21 สำหรับการเสียชีวิต

ทั้งนี้ $p\text{-value}$ สามารถคำนวณได้จากสมการ $Q_1 - Q_2 \pm 1.96\sqrt{(SE_1)^2 + (SE_2)^2}$ เมื่อ Q_1 และ Q_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์ (β) ของตัวแปรกลุ่มที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และ SE_1 และ SE_2 คือค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error) ของตัวแปรกลุ่มที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (Altman and Bland 2011)

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ ได้นำผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศ และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด และการเสียชีวิตของประเทศไทยจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ มาสรุปและอภิปรายผล นอกจากนี้ ยังชี้ให้เห็นว่าผลจากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการนำเสนอข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการนำผลวิจัยไปใช้ ทั้งข้อเสนอแนะในทางปฏิบัติ ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป ถึงแนวทางงานวิจัยต่อเนื่องที่จำเป็นต่อการทำความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนรอบด้านภายใต้บริบทของประเทศไทย และส่วนสุดท้ายของบทนี้ได้ขอเสนอแนะเชิงนโยบายเพื่อการพัฒนาไปสู่การวางมาตรการลดผลกระทบให้ดียิ่งขึ้น

5.1 สรุปผลและอภิปรายผลการศึกษา

ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศ (PM10, PM2.5, NO₂ และ O₃) และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดซึ่งเป็นกลุ่มโรคที่ไวต่อมลพิษทางอากาศ และการเสียชีวิตของประเทศไทยจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุของประเทศไทย โดยใช้แบบจำลองทางสถิติเชื่อมโยงข้อมูลมลพิษอากาศเฉลี่ยรายวัน (NO₂, O₃, PM10, PM2.5) ที่เป็นข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในจังหวัดต่าง ๆ ของประเทศไทย รวมทั้งข้อมูลสุขภาพ (ข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (ICD10: J00-J99) และโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด (ICD10: I00-I99) จากสำนักงานหลักประกันสุขภาพแห่งชาติ ตลอดจนข้อมูลผู้เสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรค (ICD10: A00-R99) ทั้งนี้ ตัวแปรทวนที่ใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลาในการศึกษานี้ ได้แก่ ฤดูกาลและการเปลี่ยนแปลงระยะยาว วันของสัปดาห์ และอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน เนื่องจากปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลต่อจำนวนการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต เช่น ในวันทำการปกติจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาพยาบาลอาจจะมีมากกว่าในวันเสาร์ หรือวันอาทิตย์ เป็นต้น ดังนั้น ปัจจัยดังกล่าวจำเป็นต้องนำมาพิจารณาด้วย โดยการศึกษาที่ใช้ข้อมูลในช่วงระหว่างวันที่ 1 มกราคม 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2563 แสดงให้เห็นว่า ระดับมลพิษทางอากาศในประเทศไทย โดยเฉพาะระดับ NO₂, O₃, PM10 และ PM2.5 ที่เพิ่มมากขึ้น มีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและจำนวนผู้เสียชีวิตของประเทศไทยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบความสัมพันธ์ระหว่าง NO₂, PM10 และ PM2.5 กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตมีแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) กล่าวคือ เมื่อรับสัมผัส NO₂, PM10 และ PM2.5 เพิ่มมากขึ้น ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง O₃ กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตมีแนวโน้มแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear) โดยผลกระทบของ O₃ ขึ้นอยู่กับปริมาณการรับสัมผัส ซึ่งเมื่อรับสัมผัสในปริมาณที่มากพอจึงจะทำให้มีผลกระทบเกิดขึ้น

อีกทั้งการศึกษานี้มีการพิจารณาระยะก่อให้เกิดการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ที่ล่าช้า (Lagged Effect) ของมลพิษทางอากาศและการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตเป็นระยะเวลา 7 วัน (Lag 0-7) และนำค่าความเสี่ยงจาก Lag ที่มากที่สุดมาใช้ในการพัฒนาดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศต่อไป โดยการวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลาในการศึกษานี้

กำหนดให้ข้อมูลจำนวนเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือผู้เสียชีวิตรายวันมีการกระจายตัวแบบ quasi-Poisson เพื่อรองรับการกระจายตัวของข้อมูลที่มากเกินไป (Over dispersion) โดยได้ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศแต่ละชนิด (PM10 PM2.5 NO₂ หรือ O₃) ในระดับประเทศ โดยค่าสัมประสิทธิ์สำหรับมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดจะแสดงถึงความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากการรับสัมผัส PM10 หรือ PM2.5 ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 µg/m³ และจากการรับสัมผัส NO₂ หรือ O₃ ที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 10 ppb

จุดแข็งของการศึกษานี้ คือได้แสดงถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสมลพิษทางอากาศนั้น มีระยะเวลาของการเกิดโรค (Porta M, 2008) โดยพบความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตแบบระยะสั้น ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง NO₂ PM10 และ PM2.5 และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตมีค่าสูงที่สุดที่ Lag 0 หมายความว่า การรับสัมผัส NO₂ PM10 และ PM2.5 กับการเจ็บป่วยและเสียชีวิตเกิดขึ้นในวันเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาทั้งในต่างประเทศ ที่เป็นประเทศกำลังพัฒนา รวมถึงข้อมูลการศึกษาของประเทศไทยในพื้นที่กรุงเทพมหานครและพื้นที่ภาคเหนือ พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างมลพิษทางอากาศและการเจ็บป่วยเช่นเดียวกัน ยกเว้น O₃ ซึ่งพบความสัมพันธ์ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตมีค่าสูงที่สุดที่ Lag 1 และ Lag 4 ตามลำดับ ซึ่ง O₃ เป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ก๊าซไนโตรเจน กับสารระเหยอินทรีย์ ซึ่ง O₃ มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ เพิ่มความไวต่อการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจและเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตได้ (Nuvolone, 2018) และมีหลายการศึกษาพบว่า O₃ มีระยะ Latent period เช่น การศึกษาของ Tenias และคณะ (2002) มี Lag time ที่ 5 วัน และรายงานขององค์การอนามัยโลกที่ระบุว่าผลกระทบของการสัมผัส O₃ เฉลี่ย 8 ชั่วโมง จะมีความสัมพันธ์ของการเสียชีวิตในวันที่ 0 - 3 หลังจากได้รับสัมผัส

การศึกษานี้เป็นการวิเคราะห์การถดถอยแบบอนุกรมเวลา (Time-series Regression Design) ในการศึกษาความสัมพันธ์ของมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดและจำนวนผู้ที่เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและจำนวนผู้เสียชีวิตในแต่ละจังหวัด จากนั้นผลกระทบในแต่ละจังหวัดถูกนำมาวิเคราะห์ร่วมกันภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวแบบสุ่ม (Random Distribution) เพื่อคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศในระดับประเทศ โดยแสดงด้วยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk: RR) ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตต่อการเพิ่มขึ้นของระดับมลพิษทางอากาศ ที่ได้จากการวิเคราะห์อภิมานชนิดตัวแปรสุ่ม (Random-effect Meta-analysis)

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศแต่ละชนิด และการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ ซึ่งมีสมมติฐานที่ตั้งไว้สำหรับวัตถุประสงค์นี้คือ ระดับมลพิษทางอากาศของประเทศไทยมีความสัมพันธ์กับการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลตรงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยพบว่าการเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจมีความสัมพันธ์กับระดับมลพิษทางอากาศในประเทศไทยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยพบความสัมพันธ์ระหว่าง NO₂ PM10 และ PM2.5 และการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ มีค่าสูงที่สุดที่ Lag 0 (การรับสัมผัส NO₂ PM10 และ PM2.5 และการเข้ารับการรักษาพยาบาลเกิดขึ้นในวันเดียวกัน) สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง O₃ และการเข้ารับบริการแผนก

ผู้ป่วยนอกมีค่าสูงที่สุดที่ Lag 1 (การเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอก มีความสัมพันธ์กับการรับสัมผัส O_3 ไปแล้ว 1 วัน)

โดยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk: RR) ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ NO_2 ที่ Lag 0 มีค่า 1.0533 (95% CI: 1.0386, 1.0682) หรือการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ NO_2 ทำให้มีผู้ป่วยเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 5.3%

ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 $\mu g/m^3$ ของ PM_{10} ที่ Lag 0 มีค่า 1.0119 (95% CI: 1.0083, 1.0156) หรือการเพิ่มขึ้นทุก 10 $\mu g/m^3$ ของ PM_{10} ทำให้มีผู้ป่วยเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 1.19%

และค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 $\mu g/m^3$ ของ $PM_{2.5}$ ที่ Lag 0 มีค่า 1.0123 (95% CI: 1.0065, 1.0182) หรือการเพิ่มขึ้นทุก 10 $\mu g/m^3$ ของ $PM_{2.5}$ ทำให้มีผู้ป่วยเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 1.23%

โดยที่ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ O_3 ที่ Lag 1 มีค่า 1.0100 (95% CI: 1.0003, 1.0198) หรือการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ O_3 ทำให้ในวันถัดมามีผู้ป่วยเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจเพิ่มขึ้น 1.0%

เหตุผลที่การเข้ารับการรักษาพยาบาลแผนกผู้ป่วยนอกจากกลุ่มโรคทั้งสองมีความสัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศสามารถอธิบายได้ในทางพยาธิสรีรวิทยาและทางระบาดวิทยา โดยพบว่าการสัมผัสกับมลพิษในอากาศส่งผลให้เกิดปัญหาโรคระบบทางเดินหายใจที่เพิ่มมากขึ้น ได้แก่ โรคหอบหืด โรคหลอดลมอักเสบ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (chronic obstructive pulmonary disease, COPD) และมีการศึกษาที่พบความสัมพันธ์ของการสัมผัส PM_{10} , NO_2 และ CO ที่ทำให้จำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในแผนกฉุกเฉิน (emergency room visits) จากการติดเชื้อระบบทางเดินหายใจส่วนบนเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ เด็กที่สัมผัสกับ O_3 และผู้ใหญ่ที่รับสัมผัส PM_{10} ส่งผลทำให้เกิดอาการไอเรื้อรังและมีเสมหะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ การรับสัมผัสมลพิษทางอากาศ ส่งผลทำให้เกิดภาวะต่างๆ ของหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิตที่ผิดปกติ เช่น กล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด โรคหลอดเลือดหัวใจ ภาวะหัวใจเต้นผิดจังหวะ โรคหัวใจขาดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง และหลอดเลือดอุดตัน เป็นต้น

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดและการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ ซึ่งสมมุติฐานที่ตั้งไว้สำหรับวัตถุประสงค์นี้ คือ ระดับมลพิษทางอากาศของประเทศไทยมีความสัมพันธ์กับการการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรคที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลตรงตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยพบว่า ความสัมพันธ์ของ NO_2 PM_{10} และ $PM_{2.5}$ และการเสียชีวิต มีค่าสูงที่สุดที่ Lag 0 (การรับสัมผัส NO_2 PM_{10} และ $PM_{2.5}$ และการเสียชีวิตเกิดขึ้นในวันเดียวกัน) ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง O_3 กับการเสียชีวิตมีค่าสูงที่สุดที่ Lag 4 (การเสียชีวิต มีความสัมพันธ์กับการรับสัมผัส O_3 ไปแล้ว 4 วัน)

โดยค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ NO_2 ที่ Lag 0 มีค่า 1.0302 (95% CI: 1.0188, 1.0418) หรือการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ NO_2 ทำให้มีผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้น 3.02%

ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 $\mu g/m^3$ ของ PM_{10} ที่ Lag 0 มีค่า 1.0092 (95% CI: 1.0061, 1.0122) หรือการเพิ่มขึ้นทุก 10 $\mu g/m^3$ ของ PM_{10} ทำให้มีผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้น 0.92%

ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ของ $\text{PM}_{2.5}$ ที่ Lag 0 มีค่า 1.0220 (95% CI: 1.0142, 1.0298) หรือการเพิ่มขึ้นทุก $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ของ $\text{PM}_{2.5}$ ทำให้มีผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้น 2.20%

นอกจากนี้ความเสี่ยงสัมพัทธ์ที่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ O_3 ที่ Lag 4 มีค่า 1.0100 (95% CI: 1.0030, 1.0171) หรือการเพิ่มขึ้นทุก 10 ppb ของ O_3 ทำให้มีผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้น 1.00% ใน 4 วันถัดมา

เหตุผลที่การรับสัมผัสมลพิษทางอากาศมีความสัมพันธ์กับการเสียชีวิต สามารถอธิบายได้จากการศึกษาวิจัยถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษในอากาศที่พบความสัมพันธ์ระหว่างการตายที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเกิดจากการสัมผัสกับระดับมลพิษในบรรยากาศนอกรอการที่สูงขึ้น การศึกษาเหล่านี้ครอบคลุมในหลายพื้นที่ทั่วโลก ทั้งทวีปอเมริกา ยุโรป รวมทั้งบางประเทศในทวีปเอเชีย ได้แก่ ประเทศจีน โดยสาเหตุการตาย (cause of deaths) ที่พบว่ามีความสัมพันธ์กับการสัมผัสมลพิษในอากาศได้แก่ non-external causes (สาเหตุอื่นๆ ทั้งหมดยกเว้นจากอุบัติเหตุ) ระบบทางเดินหายใจ ระบบหัวใจและหลอดเลือด เบาหวาน สาเหตุการตายทั้งหมดของทารกแรกเกิด (neonatal deaths of all causes) และทารกที่ตายจากสาเหตุโรคในระบบทางเดินหายใจ

จากผลการศึกษาอื่น นอกเหนือจากผลกระทบต่อสุขภาพในระยะสั้นแล้ว การศึกษานี้พบความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัส $\text{PM}_{2.5}$ กับการเจ็บป่วยและการเสียชีวิตในประเทศไทย โดยองค์การวิจัยโรคมะเร็งนานาชาติ (IARC) ระบุว่ามลพิษทางอากาศเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ได้ (International Agency for Research on Cancer, 2011) ทั้งนี้ $\text{PM}_{2.5}$ ยังถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 ของสารก่อมะเร็ง อีกทั้งยังเป็นสาเหตุให้ 1 ใน 8 ของประชากรโลกเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (ธีรพงศ์ บริรักษ์, 2019) นอกจากนี้ การเจ็บป่วยที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อให้มียาการรักษาพยาบาลของประเทศไทยสูงขึ้น โดยมีรายงานว่า การรับสัมผัสมลพิษทางอากาศจะส่งผลกระทบต่อค่ารักษาพยาบาลของผู้ป่วย เช่น โรคหอบหืด 2,752 บาทต่อเดือนต่อราย (Boonpiyathad et al., 2016) โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง 10,247 บาทต่อราย (ณัฐวรกาญจน์ ประดิษฐ์ et al., 2016) โรคหลอดเลือดสมอง 1,629 บาทต่อราย (Academic promotion and promotion group Bureau of Non-Communicable Diseases, 2021) เป็นต้น จึงจำเป็นต้องมีการผลักดันนโยบายเพื่อลดแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศอย่างจริงจัง รวมทั้ง สร้างความตระหนักถึงการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน เพื่อลดการเจ็บป่วย การเสียชีวิต และสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของคนไทย

สำหรับการจัดทำดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) จากข้อมูลการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและจากข้อมูลการเสียชีวิตในระดับประเทศ ผลจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศ (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 และ O_3) กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตของประเทศไทย ซึ่งสามารถนำมาจัดทำดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) สำหรับประเทศไทยได้ เนื่องจากดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index: AQI) ที่ประเทศไทยใช้อยู่ในปัจจุบันเป็นค่าที่แสดงถึงมลพิษอากาศเพียงชนิดเดียว (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 , SO_2 , O_3 หรือ CO) ที่มีค่า AQI สูงที่สุดในเวลานั้น ๆ แต่ในความเป็นจริงคนเราทุกคนไม่ได้หายใจเฉพาะมลพิษอากาศชนิดใดชนิดหนึ่ง แต่มีการสูดหายใจมลพิษอากาศทุกชนิดที่มีอยู่ในบรรยากาศขณะนั้น ดังนั้น ค่า AQI จึงไม่ได้บ่งบอกปริมาณสารมลพิษทั้งหมดที่สุดเข้าไปในร่างกาย อีกทั้งการนำค่า AQI ของมลพิษอากาศทุกตัวมารวมกันก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจากมลพิษอากาศแต่ละตัวมีความรุนแรงต่อสุขภาพแตกต่างกัน

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาความรุนแรงต่อสุขภาพของมลพิษอากาศแต่ละตัว และพัฒนาเป็นดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) โดยอาศัยหลักการที่ว่ามลพิษอากาศชนิดใดมีความรุนแรงของผลกระทบมากกว่าก็จะมีน้ำหนักในการคำนวณผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่า สำหรับการจัดทำดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) ในการศึกษาี้ เกิดจากผลรวมของความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด หรือความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิด (NO_2 , O_3 , PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$) จากการศึกษาแบบ Time-series Design ด้วยสมการ Generalized Linear Model (GLM) ภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลแบบ quasi-Poisson ได้เป็นค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ นำไปคำนวณให้อยู่ในรูปของค่าสัมประสิทธิ์ (β) ต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด และใช้ค่าสัมประสิทธิ์นั้นในการคำนวณค่า Morbidity/Mortality Weighted Excess Cases (MWEC) หรือร้อยละของผู้เข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือผู้เสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการสัมผัสมลพิษอากาศที่ปรับค่าถ่วงน้ำหนักจากจำนวนผู้เข้ารับบริการหรือจำนวนผู้เสียชีวิตและความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละจังหวัด

ทั้งนี้ MWEC เกิดจากการรวมค่าความเสี่ยง (β) ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกหรือความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากมลพิษอากาศทุกชนิด (NO_2 , O_3 , และ PM_{10} หรือ $\text{PM}_{2.5}$) โดยค่า MWEC ในวันที่มีค่ามากที่สุด (c) จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณ AQHI (ใช้กับความเข้มข้นของมลพิษอากาศเฉลี่ย 3 ชั่วโมงคำนวณ) ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $0 - 10^+$ (0 หมายถึงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศต่ำ ในขณะที่ 10^+ หมายถึงมีความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศสูงมาก) ซึ่งจากการศึกษาี้ ค่า c ที่นำมาใช้ในการคำนวณ AQHI มีค่าเท่ากับร้อยละ 110.59 สำหรับ $\text{PM}_{10}\text{AQHI}$ และร้อยละ 105.19 สำหรับ $\text{PM}_{2.5}\text{AQHI}$ เมื่อใช้ข้อมูลการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจ หรือมีค่าเท่ากับร้อยละ 69.82 สำหรับ $\text{PM}_{10}\text{AQHI}$ และร้อยละ 71.01 สำหรับ $\text{PM}_{2.5}\text{AQHI}$ เมื่อใช้ข้อมูลการเสียชีวิตจากทุกกลุ่มโรค ดังนั้นการคำนวณ AQHI อาจจะใช้ค่า c และค่าความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกที่สัมพันธ์กับการสัมผัสมลพิษอากาศ เนื่องจากสัมประสิทธิ์ของมลพิษอากาศแต่ละชนิดมีค่าสูงกว่าค่าสัมประสิทธิ์จากการใช้ข้อมูลการเสียชีวิต อีกทั้งค่าความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกที่สัมพันธ์กับระดับ $\text{PM}_{2.5}\text{AQHI}$ (RR เท่ากับ 1.0560 (95% CI: 1.0394, 1.0729) ต่อ 1 IQR) มีค่าสูงกว่าความเสี่ยงของการเสียชีวิต (RR เท่ากับ 1.0352 (95% CI: 1.0256, 1.0449) ต่อ 1 IQR) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อมลพิษอากาศมีค่าสูงขึ้นความเสี่ยงที่ผู้ป่วยจะเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจในโรงพยาบาลจะมีมากขึ้น ซึ่งมีความเสี่ยงมากกว่าการเสียชีวิต

นอกจากนี้ AQHI สามารถคำนวณโดยใช้สมการ $\text{PM}_{10}\text{AQHI}$ หรือ $\text{PM}_{2.5}\text{AQHI}$ ก็ได้ โดยเหตุผลที่แยกสมการออกเป็น $\text{PM}_{10}\text{AQHI}$ หรือ $\text{PM}_{2.5}\text{AQHI}$ เนื่องจาก PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ มีความสัมพันธ์กันสูง กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นของ PM_{10} สูงขึ้น/ต่ำลง ความเข้มข้นของ $\text{PM}_{2.5}$ ก็เพิ่มขึ้น/ต่ำลงด้วย ดังนั้น ทั้ง PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ สามารถใช้เป็นตัวแทน (Proxy) ของกันและกันได้ โดยในกรณีที่ไม่มีข้อมูล $\text{PM}_{2.5}$ สามารถใช้ PM_{10} แทนได้ แต่ในกรณีที่มีข้อมูลทั้ง PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ สามารถเลือกใช้สมการ $\text{PM}_{10}\text{AQHI}$ หรือ $\text{PM}_{2.5}\text{AQHI}$ ก็ได้ขึ้นอยู่กับว่ามลพิษอากาศชนิดใดมีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่ากัน ทั้งนี้การคำนวณระดับ AQHI จะใช้ความเข้มข้นของมลพิษอากาศเฉลี่ย 3 ชั่วโมง (3-hr moving average)

นอกจากนี้การศึกษานี้ ได้ทำการเปรียบเทียบทั้ง AQI และ AQHI โดยพบว่าต่างก็สามารถบ่งชี้ความเสี่ยงต่อสุขภาพได้ โดยเมื่อระดับ AQI หรือ AQHI เพิ่มขึ้น ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดและโรคระบบทางเดินหายใจและความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตต่อค่าพิสัยระหว่างควอไทล์ (Interquartile Range: IQR) ของ AQHI และ AQI ที่เพิ่มขึ้น พบว่า ค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์จาก AQHI มีค่าแตกต่างจาก AQI อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p -value < 0.05) โดยค่าความเสี่ยงจาก AQHI มีค่าสูงกว่า AQI ดังนั้นการใช้ AQI เพื่อบ่งชี้ความเสี่ยงต่อสุขภาพอาจมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น (Underestimation) เนื่องจาก AQI เป็นการพิจารณามลพิษอากาศชนิดเดียวที่มีค่าสูงที่สุดในเวลานั้น ทั้งนี้การใช้ AQHI ที่เกิดจากผลรวมของความเสี่ยงจากมลพิษอากาศทุกตัว (NO_2 , O_3 , และ PM_{10} หรือ $\text{PM}_{2.5}$) จึงอาจจะเป็นดัชนีที่ดีกว่าในการสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพอันเนื่องมาจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศ

5.2 ข้อเสนอแนะต่อการนำผลการศึกษาไปใช้ประโยชน์

- 1) ผลการศึกษานี้ สามารถใช้ประโยชน์เพื่อการติดตามผลกระทบสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในระยะยาว โดยใช้เป็นข้อมูลฐานในระดับประเทศ ณ ช่วงเวลาปัจจุบัน สำหรับเพื่อติดตามเปรียบเทียบผลกระทบของการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศที่มีผลต่อการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ และกลุ่มโรคหัวใจและหลอดเลือด รวมทั้งความเสี่ยงของการเสียชีวิตที่มีความสัมพันธ์กับระดับมลพิษทางอากาศ
- 2) เพื่อคาดการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศของประเทศไทย ได้โดยนำผลวิเคราะห์ค่าความเสี่ยงของการเจ็บป่วย และการเสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศที่ได้จากการศึกษานี้ไปประกอบกับข้อมูลคาดการณ์ระดับมลพิษทางอากาศที่คาดว่าจะเกิดขึ้น โดยที่การศึกษานี้พบความสัมพันธ์ระหว่าง NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตมีแนวโน้มเป็นแบบเชิงเส้น (Linear) กล่าวคือ เมื่อรับสัมผัส NO_2 PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ เพิ่มมากขึ้น ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและความเสี่ยงของการเสียชีวิตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความสัมพันธ์ระหว่าง O_3 กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตมีแนวโน้มแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear) โดยผลกระทบของ O_3 ขึ้นอยู่กับปริมาณการรับสัมผัส ซึ่งเมื่อรับสัมผัสในปริมาณที่มากพอจึงจะทำให้มีผลกระทบเกิดขึ้น
- 3) นำไปใช้กับกิจกรรมโครงการหรือ มาตรการที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศของประเทศไทย โดยผลที่ได้จากการศึกษานี้ คือเกณฑ์ AQHI ที่สามารถนำไปใช้เพื่อพัฒนามาตรการการเฝ้าระวังและสื่อสารเตือนภัยด้านสุขภาพจากมลพิษทางอากาศได้ อันจะนำไปสู่การลดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจากมลพิษทางอากาศต่อไป
- 4) นำผลการศึกษาไปใช้กับการประเมินผลกระทบที่คล้ายคลึงกันในระดับจังหวัดและในชุมชนเขตเมือง โดยแบบจำลองทางสถิติที่พัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้สามารถนำไปปรับใช้กับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศในเชิงพื้นที่มีระดับความละเอียดมากขึ้น เช่น ในระดับเขตเมือง หรือพื้นที่เสี่ยงมลพิษอากาศอื่นๆ

5.3 ข้อเสนอแนะต่อการศึกษาต่อไป

ผลจากการศึกษานี้ มีข้อเสนอแนะถึงแนวทางการวิจัยต่อเนื่องที่จำเป็นต่อการทำความเข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพอย่างรอบด้านภายใต้บริบทของประเทศไทย เพื่อการวางมาตรการลดผลกระทบให้ดียิ่งขึ้น โดยสรุปข้อเสนอแนะได้ดังนี้

- 1) การศึกษานี้ไม่ได้ใช้ค่าความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและค่าความเสี่ยงของการเสียชีวิตจาก SO_2 และ CO ซึ่งอาจจะมีผลต่อระดับของ AQHI เนื่องจากความเข้มข้นของ SO_2 และ CO เป็นปัญหาน้อยกว่ามลพิษอากาศตัวอื่น ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้น AQHI ที่ได้จาก NO_2 , O_3 , และ PM_{10} หรือ $\text{PM}_{2.5}$ จึงสามารถเป็นตัวแทนของความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศได้ในระดับหนึ่ง อีกทั้งการพัฒนา AQHI จาก NO_2 , O_3 , และ PM_{10} หรือ $\text{PM}_{2.5}$ สอดคล้องกับการพัฒนา AQHI ของประเทศแคนาดาด้วย
- 2) ข้อจำกัดของการศึกษานี้ คือ ไม่ได้ศึกษาในระดับบุคคล กลุ่มอายุ ดังนั้น ควรมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องโดยการใช้ข้อมูลการป่วยเพื่อวิเคราะห์เพิ่มเติมถึงผลกระทบต่อสุขภาพ โดยเฉพาะกลุ่มวัย โดยเฉพาะในกลุ่มเด็ก และควรมีการศึกษากลุ่มโรคอื่นๆ ที่อาจมีความสัมพันธ์กับการมลพิษอากาศในประเทศไทย เช่น โรคเบาหวาน และผลกระทบต่อการทำงานของปอด เป็นต้น เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดค่าเฝ้าระวังผลกระทบต่อสุขภาพที่เจาะจงกับกลุ่มเป้าหมายมากขึ้น
- 3) การศึกษาที่ผ่านมาประเทศไทยมีการศึกษาที่บ่งชี้ถึงผลกระทบของมลพิษทางอากาศต่อการตาย คือ ในฤดูร้อนและฤดูหนาวจะสูงกว่าในฤดูฝน (Guo et al, 2014) ดังนั้น การศึกษาต่อไป ควรศึกษาถึงปัจจัยด้านฤดูกาลเพิ่มเติม รวมถึงการคาดการณ์และประเมินผลกระทบทางเศรษฐศาสตร์เกี่ยวกับภาระโรคที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศมุ่งเน้นไปที่การเสียชีวิตก่อนวัยอันควร เพื่อสนับสนุนการกำหนดมาตรการในการลดมลพิษทางอากาศในประเทศไทย นำไปสู่การคุ้มครอง และป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนต่อไป
- 4) ควรมีการนำค่า AQHI จากการศึกษานี้ ไปทดลองใช้ในการสื่อสาร แจ้งเตือนความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ โดยเฉพาะในพื้นที่น้ำร่องหรือในกลุ่มประชากรกลุ่มเสี่ยงต่อไป

5.4 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย

- 1) ควรผลักดันให้มีการจัดทำระบบฐานข้อมูลกลางเพื่อการเฝ้าระวังโรคที่มีความสัมพันธ์กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศและสุขภาพ เพื่อประโยชน์ในการประมาณการและคาดการณ์จำนวนผู้ป่วยจากกลุ่มโรคต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง (ทั้งระยะสั้นและระยะยาว) และคาดการณ์ได้ถึงจำนวนผู้ป่วยกลุ่มเสี่ยงรายกลุ่มวัย ในช่วงอายุต่างๆ ได้ และเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลที่มีความต่อเนื่องระยะยาว และสามารถนำไปใช้ศึกษาผลกระทบของมลพิษทางอากาศที่มีต่อสุขภาพในระยะยาวได้ ถึงแม้จะมีความซับซ้อน มีปัจจัยหลายประการเข้ามามีส่วนก่อให้เกิดโรคก็ตาม
- 2) จากการศึกษาครั้งนี้ ทำให้เห็นได้ว่ามลพิษทางอากาศบางชนิดไม่มีสิ่งที่เรียกว่า ค่ามาตรฐานที่ปลอดภัยต่อสุขภาพ การพิจารณากำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม และโดยคำนึงถึงประชากรที่อ่อนไหวต่อผลกระทบของมลพิษในอากาศด้วย ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดมาตรฐานที่

สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงและสามารถป้องกันคุ้มครองสุขภาพของประชาชนในทุกๆกลุ่มได้ดียิ่งขึ้น

- 3) กระทรวงสาธารณสุข ควรประเมินสถานบริการสาธารณสุข โดยเฉพาะโรงพยาบาลในพื้นที่มีระดับมลพิษทางอากาศสูง ถึงการเตรียมพร้อมการเผชิญเหตุจากโรคและการเจ็บป่วย ด้วยการคาดการณ์จำนวนผู้ป่วยในแต่ละโรคที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางให้โรงพยาบาล ในพื้นที่มีแผนรองรับ และดูแลให้คำแนะนำแก่ผู้ป่วยที่มีโรคดังกล่าวในช่วงที่ระดับมลพิษสูง
- 4) ควรมีระบบติดตาม การเปลี่ยนแปลงของผลกระทบต่อสุขภาพที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา หรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการนำมาตรการลดมลพิษอากาศอย่างใดอย่างหนึ่งมาใช้ เช่น การเปลี่ยนชนิดน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น เพื่อประโยชน์ในการคำนึงถึงประโยชน์ทางสาธารณสุขจากนโยบายหรือมาตรการในการลดมลพิษอากาศ
- 5) การให้ความรู้แก่ภาคประชาชนเกี่ยวกับผลกระทบต่อสุขภาพและการป้องกันที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ รวมทั้งมีการแจ้งเตือนเมื่อระดับมลพิษสูงด้วยค่า AQHI เป็นวิธีการที่ช่วยให้ประชาชนสามารถป้องกันตนเองและหลีกเลี่ยงการได้รับมลพิษทางอากาศ ส่งผลตามมาทำให้ลดผลกระทบต่อสุขภาพที่เกิดจากมลพิษทางอากาศได้

5.5 สรุปท้ายบท

จากผลการศึกษาครั้งนี้ เป็นการยืนยันถึงผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนไทยจากปัญหามลพิษทางอากาศ โดยเมื่อระดับมลพิษทางอากาศเพิ่มมากขึ้น ทำให้ความเสี่ยงของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด และความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุ (ยกเว้นอุบัติเหตุ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะ NO_2 , O_3 , PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$ ที่ยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยเฉพาะพื้นที่ซึ่งมีความเป็นเมืองมาก มีการใช้ยานพาหนะที่ใช้เชื้อเพลิงมากขึ้น จึงเป็นเรื่องที่ต้องดำเนินการเฝ้าระวังอย่างต่อเนื่อง และกำหนดมาตรการเพื่อลดและป้องกันผลกระทบที่จะมีต่อสุขภาพของประชาชน

ผลจากการศึกษานี้ พบความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศ (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_2 และ O_3) กับการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกและการเสียชีวิตของประเทศไทย และสามารถนำมาจัดทำดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (Air Quality Health Index: AQHI) สำหรับประเทศไทย ซึ่งการจัดทำดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) ในการศึกษาี้ เกิดจากผลรวมของความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเข้ารับบริการแผนกผู้ป่วยนอกด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและโรคระบบหัวใจและหลอดเลือด หรือความเสี่ยงสัมพัทธ์ของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษอากาศแต่ละชนิด (NO_2 , O_3 , PM_{10} และ $\text{PM}_{2.5}$) จากการศึกษาแบบ Time-series Design ด้วยสมการ Generalized Linear Model (GLM) ซึ่งผลที่ได้ คือดัชนีสุขภาพอันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศ (AQHI) ที่ประกอบด้วยมาตราวัดตั้งแต่ 0 (ความเสี่ยงต่ำ) ถึง 10^+ (ความเสี่ยงสูงมาก) ที่สามารถนำไปใช้เพื่อการเฝ้าระวังและสื่อสารเตือนภัยด้านสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ อันจะนำไปสู่การลดและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศต่อไป ดังนั้น จึงควรมีข้อเสนอแนะการผลักดันนโยบายเพื่อลดแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศอย่างจริงจัง รวมทั้งสร้างความตระหนักถึงการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน เพื่อลดการเจ็บป่วย เสียชีวิตและสร้างคุณภาพชีวิตที่ดีของคนไทย

บรรณานุกรม

- Academic promotion and promotion group Bureau of Non-Communicable Diseases. (2021). The situation of chronic non-communicable diseases and injuries (country overview). Available from thaincd.com/information.../non-communicable-disease-data.php
- Ahmadi, A., Abbaspour, M., Arjmandi, R., Abedi, Z., 2015. Air Quality Risk Index (AQRI) and its application for a megacity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12(12), 3773–3780. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0837-7>
- Alimohammadi, H., Fakhri, S., Derakhshanfar, H., Hosseini-Zijoud, S.-M., Safari, S., Hatamabadi, H. R., 2016. The Effects of Air Pollution on Ischemic Stroke Admission Rate. *Chonnam Medical Journal*, 52(1), 53. <https://doi.org/10.4068/cmj.2016.52.1.53>
- Altman, D. G., Bland, J. M., 2011. How to obtain the P value from a confidence interval. *BMJ*, 343. <https://doi.org/10.1136/bmj.d2304>
- Amini, H., Trang Nhung, N. T., Schindler, C., Yunesian, M., Hosseini, V., Shamsipour, M., et al., 2019. Short-term associations between daily mortality and ambient particulate matter, nitrogen dioxide, and the air quality index in a Middle Eastern megacity. *Environmental Pollution*, 254, 113121. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113121>
- Andersen, Z. J., Hvidberg, M., Jensen, S. S., Ketzel, M., Loft, S., Sørensen, M., et al., 2011. Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic-related air pollution: A cohort study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 183(4), 455–461. <https://doi.org/10.1164/rccm.201006-0937OC>
- Atkinson, R. W., Carey, I. M., Kent, A. J., Van Staa, T. P., Anderson, H. R., & Cook, D. G., 2015. Long-term exposure to outdoor air pollution and the incidence of chronic obstructive pulmonary disease in a national English cohort. *Occupational and Environmental Medicine*, 72(1), 42–48. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102266>
- Barnett, A. G., Williams, G. M., Schwartz, J., Best, T. L., Neller, A. H., Petroeschevsky, A. L., et al., 2006. The effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular disease in elderly people in Australian and New Zealand cities. *Environmental Health Perspectives*, 114(7), 1018–1023. <https://doi.org/10.1289/ehp.8674>
- Boonpiyathad, T., Yimsawad, S., & Sangasapaviriya, A. (2016). The Cost of Asthma Treatment in Phramongkutklao Hospital: Population-Based Study in Adults. 99(1), 7.

- Buadong, D., Jinsart, W., Funatagawa, I., Karita, K., & Yano, E. (2009). Association between PM₁₀ and O₃ levels and hospital visits for cardiovascular diseases in Bangkok, Thailand. *Journal of Epidemiology*, 19(4), 182–188. <https://doi.org/10.2188/jea.JE20080047>
- Burnett, R. T., Smith-Doiron, M., Stieb, D., Cakmak, S., Brook, J. R., 1999. Effects of particulate and gaseous air pollution on cardiorespiratory hospitalizations. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 54(2), 130–139.
- Cai, X., Li, Z., Scott, E. M., Li, X., Tang, M., 2016. Short-term effects of atmospheric particulate matter on myocardial infarction: a cumulative meta-analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(7), 6139–6148. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6186-3>
- Chang, Q., Zhang, H., Zhao, Y., 2020. Ambient air pollution and daily hospital admissions for respiratory system-related diseases in a heavy polluted city in Northeast China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(9), 10055–10064.
- Chen, K., Glonek, G., Hansen, A., Williams, S., Tuke, J., Salter, A., et al., 2016. The effects of air pollution on asthma hospital admissions in Adelaide, South Australia, 2003–2013: time-series and case-crossover analyses. *Clinical and Experimental Allergy*, 46(11), 1416–1430. <https://doi.org/10.1111/cea.12795>
- Chen, R., Wang, X., Meng, X., Hua, J., Zhou, Z., Chen, B., et al., 2013. Communicating air pollution-related health risks to the public: An application of the Air Quality Health Index in Shanghai, China. *Environment International*, 51, 168–173. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.11.008>
- Chen, R., Gao, Q., Sun, J., Yang, H., Li, Y., Kang, F., et al., 2020. Short-term effects of particulate matter exposure on emergency room visits for cardiovascular disease in Lanzhou, China: a time series analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(9), 9327–9335. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07606-w>
- Cheng, C. Y., Cheng, S. Y., Chen, C. C., Pan, H. Y., Wu, K. H., Cheng, F. J., 2019a. Ambient air pollution is associated with pediatric pneumonia: A time-stratified case-crossover study in an urban area. *Environmental Health*, 18(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12940-019-0520-4>
- Cheng, H., Zhu, F., Lei, R., Shen, C., Liu, J., Yang, M., et al., 2019b. Associations of ambient PM_{2.5} and O₃ with cardiovascular mortality: a time-series study in Hefei, China. *International Journal of Biometeorology*, 63(10), 1437–1447. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01766-2>

- Cheng, M. F., Tsai, S. S., Yang, C. Y., 2009. Air pollution and hospital admissions for myocardial infarction in a tropical city: Kaohsiung, Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 72(19), 1135–1140.
- Cheng, M. H., Chiu, H. F., Yang, C. Y., 2015. Coarse particulate air pollution associated with increased risk of hospital admissions for respiratory diseases in a Tropical city, Kaohsiung, Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12(10), 13053–13068. <https://doi.org/10.3390/ijerph121013053>
- Chi, R., Li, H., Wang, Q., Zhai, Q., Wang, D., Wu, M., et al., 2019. Association of emergency room visits for respiratory diseases with sources of ambient PM_{2.5}. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 86, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.05.015>
- Collart, P., Dubourg, D., Levêque, A., Sierra, N. B., Coppieters, Y., 2018. Short-term effects of nitrogen dioxide on hospital admissions for cardiovascular disease in Wallonia, Belgium. *International Journal of Cardiology*, 255(2), 231–236.
- Curtis, L., Rea, W., Smith-Willis, P., Fenyves, E., & Pan, Y. (2006). Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environmental International*, 32, 816–826.
- Davis, D. L., Bell, M. L., & Fletcher, T. (2002). A look back at the Londo smog of 1952 and the half century since. *Environmental Health Perspectives*, 110(12), A734-735.
- DeVries, R., Kriebel, D., & Sama, S. (2016). Outdoor air pollution and COPD-related emergency department visits, hospital admissions, and mortality: A meta-analysis. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/15412555.2016.1216956>
- D'Ippoliti, D., Forastiere, F., Ancona, C., Agabiti, N., Fusco, D., Michelozzi, P., et al., 2003. Air pollution and myocardial infarction in Rome: A case-crossover analysis. *Epidemiology*, 14(5), 528–535. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000082046.22919.72>
- Dastoorpoor, M., Riahi, A., Yazdaninejad, H., Borsi, S. H., Khanjani, N., Khodadadi, N., et al., 2020. Exposure to particulate matter and carbon monoxide and cause-specific Cardiovascular-Respiratory disease mortality in Ahvaz. *Toxin Reviews*.
- Dastoorpoor, M., Sekhavatpour, Z., Masoumi, K., Mohammadi, M. J., Aghababaeian, H., Khanjani, N., et al., 2019. Air pollution and hospital admissions for cardiovascular diseases in Ahvaz, Iran. *Science of the Total Environment*, 652, 1318–1330.
- Ferreira, T. M., Forti, M. C., de Freitas, C. U., Nascimento, F. P., Junger, W. L., Gouveia, N., 2016. Effects of particulate matter and its chemical constituents on elderly hospital admissions due to circulatory and respiratory diseases. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(10), 1–11. <https://doi.org/10.3390/ijerph13100947>

- Ferrero, F., Abrutzky, R., Ossorio, M. F., Torres, F., 2019. Effects of contamination and climate in the Pediatric Emergency Department visits for acute respiratory infection in the City of Buenos Aires. *Archivos Argentinos de Pediatría*, 117(6), 368–374.
<https://doi.org/10.5546/AAP.2019.ENG.368>
- Filippini, T., E. Heck, J., Malagoli, C., Del Giovane, C., & Vinceti, M. (2015). A Review and meta-analysis of outdoor air pollution and risk of childhood leukemia. *Journal of Environmental Science and Health. Part C, Environmental Carcinogenesis & Ecotoxicology Reviews*, 33(1), 36–66. <https://doi.org/10.1080/10590501.2015.1002999>
- Flores-Pajot, M.-C., Ofner, M., Do, M. T., Lavigne, E., & Villeneuve, P. J. (2016). Childhood autism spectrum disorders and exposure to nitrogen dioxide, and particulate matter air pollution: A review and meta-analysis. *Environmental Research*, 151, 763–776.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.07.030>
- Gao, N., Li, C., Ji, J., Yang, Y., Wang, S., Tian, X., et al., 2019. Short-term effects of ambient air pollution on chronic obstructive pulmonary disease admissions in Beijing, China (2013–2017). *International Journal of COPD*, 14, 297–309. <https://doi.org/10.2147/COPD.S188900>
- Ghozikali, M. G., Mosaferi, M., Safari, G. H., Jaafari, J., 2015. Effect of exposure to O₃, NO₂, and SO₂ on chronic obstructive pulmonary disease hospitalizations in Tabriz, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 2817–2823.
- Gorai, A. K., Kanchan, Upadhyay, A., Tuluri, F., Goyal, P., Tchounwou, P. B., 2015. An innovative approach for determination of air quality health index. *Science of the Total Environment*, 533, 495–505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.133>
- Gosling, S. N., Lowe, J. A., McGregor, G. R., Pelling, M., & Malamud, B. D. (2009). Associations between elevated atmospheric temperature and human mortality: A critical review of the literature. *Climatic Change*, 92(3), 299–341. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9441-x>
- Guo, Y., Li, S., Tawatsupa, B., Punnasiri, K., Jaakkola, J. J. K., & Williams, G. (2014). The association between air pollution and mortality in Thailand. *Scientific Reports*, 4, 5509.
- Hamra, G. B., Laden, F., Cohen, A. J., Raaschou-Nielsen, O., Brauer, M., & Loomis, D. (2015). Lung cancer and exposure to nitrogen dioxide and traffic: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 123(11), 1107–1112.
<https://doi.org/10.1289/ehp.1408882>
- Hsieh, Y. L., Yang, Y. H., Wu, T. N., Yang, C. Y., 2010. Air pollution and hospital admissions for myocardial infarction in a subtropical city: Taipei, Taiwan. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues*, 73(11), 757–765.

- Iskandar, A., Andersen, Z. J., Bønnelykke, K., Ellermann, T., Andersen, K. K., Bisgaard, H., 2012. Coarse and fine particles but not ultrafine particles in urban air trigger hospital admission for asthma in children. *Thorax*, 67(3), 252–257. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2011-200324>
- Jalaludin, B., Morgan, G., Lincoln, D., Sheppeard, V., Simpson, R., Corbett, S., 2006. Associations between ambient air pollution and daily emergency department attendances for cardiovascular disease in the elderly (65 + years), Sydney, Australia. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 16(3), 225–237.
- Jung, E. J., Na, W., Lee, K. E., Jang, J. Y., 2019. Elderly mortality and exposure to fine particulate matter and ozone. *Journal of Korean Medical Science*, 34(48), 1–14. <https://doi.org/10.3346/jkms.2019.34.e311>
- Kan, H., Wong, C.-M., Vichit-Vadakan, N., & Qian, Z. (2010). Short-term association between sulfur dioxide and daily mortality: The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) study. *Environmental Research*, 110(3), 258–264. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2010.01.006>
- Khan, R., Konishi, S., Ng, C. F. S., Umezaki, M., Kabir, A. F., Tasmin, S., et al., 2019. Association between short-term exposure to fine particulate matter and daily emergency room visits at a cardiovascular hospital in Dhaka, Bangladesh. *Science of the Total Environment*, 646, 1030–1036. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.288>
- Kollanus, V., Tiittanen, P., Niemi, J. V., Lanki, T., 2016. Effects of long-range transported air pollution from vegetation fires on daily mortality and hospital admissions in the Helsinki metropolitan area, Finland. *Environmental Research*, 151, 351–358.
- Konduracka, E., Niewiara, Ł., Guzik, B., Kotynia, M., Szolc, P., Gajos, G., et al., 2019. Effect of short-term fluctuations in outdoor air pollution on the number of hospital admissions due to acute myocardial infarction among inhabitants of Kraków, Poland. *Polish Archives of Internal Medicine*, 129(2), 884–892. <https://doi.org/10.20452/pamw.4424>
- Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P., Herry, M., Horak, F., Puybonnieux-Texier, V., Quénel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J.-C., & Sommer, H. (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: A European assessment. *The Lancet*, 356(9232), 795–801. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02653-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02653-2)
- Lafuente, R., García-Blázquez, N., Jacquemin, B., & Checa, M. A. (2017). Outdoor air pollution and sperm quality. *Fertility and Sterility*, 106(4), 880–896. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2016.08.022>

- Larrieu, S., Jusot, J. F., Blanchard, M., Prouvost, H., Declercq, C., Fabre, P., et al., 2007. Short term effects of air pollution on hospitalizations for cardiovascular diseases in eight French cities: The PSAS program. *Science of the Total Environment*, 387(1–3), 105–112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.025>
- Lee, J. T., Kim, H., Cho, Y. S., Hong, Y. C., Ha, E. H., Park, H., 2003. Air pollution and hospital admissions for ischemic heart diseases among individuals 64+ years of age residing in Seoul, Korea. *Archives of Environmental Health*, 58(10), 617–623. <https://doi.org/10.3200/AEOH.58.10.617-623>
- Liang, Z., Xu, C., Cao, Y., Kan, H. D., Chen, R. J., Yao, C. Y., et al., 2019. The association between short-term ambient air pollution and daily outpatient visits for schizophrenia: A hospital-based study. *Environmental Pollution*, 244, 102–108.
- Linn, W. S., Szlachcic, Y., Henry, G., Kinney, P. L., Berhane, K. T., 2000. Air pollution and daily hospital admissions in Metropolitan Los Angeles. *Environmental Health Perspectives*, 108(5), 427–434. <https://doi.org/10.1289/ehp.00108427>
- Liu, H., Tian, Y., Xiang, X., Sun, K., Juan, J., Song, J., et al., 2017. Air Pollution and Hospitalization for Acute Myocardial Infarction in China. *American Journal of Cardiology*, 120(5), 753–758.
- Liu, Y., Pan, J., Zhang, H., Shi, C., Li, G., Peng, Z., et al., 2019. Short-term exposure to ambient air pollution and asthma mortality. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 200(1), 24–32. <https://doi.org/10.1164/rccm.201810-1823OC>
- Lokys, H. L., Junk, J., Krein, A., 2015. Making air quality indices comparable - Assessment of 10 years of air pollutant levels in western Europe. *International Journal of Environmental Health Research*, 25(1), 52–66. <https://doi.org/10.1080/09603123.2014.893568>
- Machin, A. B., Nascimento, L. F., Mantovani, K., Machin, E. B., 2019. Effects of exposure to fine particulate matter in elderly hospitalizations due to respiratory diseases in the South of the Brazilian Amazon. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 52(2), 1–7. <https://doi.org/10.1590/1414-431x20188130>
- Metzger, K. B., Tolbert, P. E., Klein, M., Peel, J. L., Flanders, W. D., Todd, K., et al., 2004. Ambient air pollution and cardiovascular emergency department visits. *Epidemiology*, 15(1), 46–56. <https://doi.org/10.1097/01.EDE.0000101748.28283.97>
- Michikawa, T., Ueda, K., Takami, A., Sugata, S., Yoshino, A., Nitta, H., et al., 2018. Japanese nationwide study on the association between short-term exposure to particulate matter and mortality. *Journal of Epidemiology*, 29(12), 471–477.

- Myung, W., Lee, H., Kim, H., 2019. Short-term air pollution exposure and emergency department visits for amyotrophic lateral sclerosis: A time-stratified case-crossover analysis. *Environment International*, 123(January), 467–475.
- Nattero, G., & Enrico, A. (1996). Outdoor pollution and headaches. *Headache*, 36(4), 243–245.
- Nuvolone, D., Balzi, D., Chini, M., Scala, D., Giovannini, F., Barchielli, A., 2011. Short-Term association between ambient air pollution and risk of hospitalization for acute myocardial infarction: Results of the cardiovascular risk and air pollution in Tuscany (RISCAT) study. *American Journal of Epidemiology*, 174(1), 63–71.
<https://doi.org/10.1093/aje/kwr046>
- Olstrup, H., Johansson, C., Forsberg, B., & Åström, C., 2019. Association between mortality and short-term exposure to particles, ozone and nitrogen dioxide in Stockholm, Sweden. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6).
<https://doi.org/10.3390/ijerph16061028>
- Oudin, A., Strömberg, U., Jakobsson, K., Strohm, E., Björk, J., 2010. Estimation of short-term effects of air pollution on stroke hospital admissions in Southern Sweden. *Neuroepidemiology*, 34(3), 131–142. <https://doi.org/10.1159/000274807>
- Pedersen, C., Raaschou-Nielsen, O., Hertel, O., & Mortensen, P. B. (2004). Air pollution from traffic and schizophrenia risk. *Schizophrenia Research*, 66(1), 83–85.
- Phosri, A., Ueda, K., Phung, V. L. H., Tawatsupa, B., Honda, A., Takano, H., 2019. Effects of ambient air pollution on daily hospital admissions for respiratory and cardiovascular diseases in Bangkok, Thailand. *Science of the Total Environment*, 651(2), 1144–1153.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.183>
- Phung, D., Hien, T. T., Linh, H. N., Luong, L. M. T., Morawska, L., Chu, C., et al., 2016. Air pollution and risk of respiratory and cardiovascular hospitalizations in the most populous city in Vietnam. *Science of the Total Environment*, 557–558, 322–330.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.070>
- Pothirat, C., Chaiwong, W., Liwsrisakun, C., Bumroongkit, C., Deesomchok, A., Theerakittikul, T., et al., 2019. The short-term associations of particular matters on non-accidental mortality and causes of death in Chiang Mai, Thailand: a time series analysis study between 2016–2018. *International Journal of Environmental Health Research*.
<https://doi.org/10.1080/09603123.2019.1673883>
- Rodopoulou, S., Samoli, E., Chalbot, M. C. G., Kavouras, I. G., 2015. Air pollution and cardiovascular and respiratory emergency visits in Central Arkansas: A time-series

- analysis. *Science of the Total Environment*, 536, 872–879.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.056>
- Rodríguez-Villamizar, L. A., Rojas-Roa, N. Y., Fernández-Niño, J. A., 2019. Short-term joint effects of ambient air pollutants on emergency department visits for respiratory and circulatory diseases in Colombia, 2011–2014. *Environmental Pollution*, 248, 380–387.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.028>
- Ruckerl, R., Schneider, A., Breitner, S., Cyrys, J., & Peters, A. (2011). Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhalation Toxicology*, 23(10), 555–592.
- Saifipour, A., Azhari, A., Pourmoghaddas, A., Hosseini, S. M., Jafari-Koshki, T., Rahimi, M., et al., 2019. Association between ambient air pollution and hospitalization caused by atrial fibrillation. *ARYA Atherosclerosis*, 15(3), 106–112. <https://doi.org/10.22122/arya.v15i3.1843>
- Santos, U. P., Terra-Filho, M., Lin, C. A., Pereira, L. A. A., Vieira, T. C. B., Saldiva, P. H. N., et al., 2008. Cardiac arrhythmia emergency room visits and environmental air pollution in São Paulo, Brazil. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 62(3), 267–272.
- Shen, F., Ge, X., Hu, J., Nie, D., Tian, L., Chen, M., 2017. Air pollution characteristics and health risks in Henan Province, China. *Environmental Research*, 156(April), 625–634.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.04.026>
- Sicard, P., Lesne, O., Alexandre, N., Mangin, A., Collomp, R., 2011. Air quality trends and potential health effects - Development of an aggregate risk index. *Atmospheric Environment*, 45(5), 1145–1153. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.12.052>
- Simpson, R., Williams, G., Petroeschevsky, A., Best, T., Morgan, G., Denison, L., et al., 2005. The short-term effects of air pollution on hospital admissions in four Australian cities. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 29(3), 213–221.
- Singh, A., Spak, S. N., Stone, E. A., Downard, J., Bullard, R. L., Pooley, M., et al., 2015. Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill - Part 2: Population exposure, public health response, and an air quality index for urban fires. *Atmospheric Environment*, 104, 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.01.002>
- Soleimani, Z., Darvishi Bolorani, A., Khalifeh, R., Griffin, D. W., Mesdaghinia, A., 2019. Short-term effects of ambient air pollution and cardiovascular events in Shiraz, Iran, 2009 to 2015. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(7), 6359–6367.
<https://doi.org/10.1007/s11356-018-3952-4>

- Solimini, A. G., Renzi, M., 2017. Association between air pollution and emergency room visits for atrial fibrillation. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph14060661>
- Song, J., Lu, M., Lu, J., Chao, L., An, Z., Liu, Y., et al., 2019. Acute effect of ambient air pollution on hospitalization in patients with hypertension: A time-series study in Shijiazhuang, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170(September 2018), 286–292.
- Stieb, D. M., Burnett, R. T., Smith-Doiron, M., Brion, O., Hwashin, H. S., Economou, V., 2008. A new multipollutant, no-threshold air quality health index based on short-term associations observed in daily time-series analyses. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 58(3), 435–450. <https://doi.org/10.3155/1047-3289.58.3.435>
- Stieb, D. M., Szyszkowicz, M., Rowe, B. H., Leech, J. A., 2009. Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. *Environmental Health*, 8(1), 25. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-25>
- Sujaritpong, S., Dear, K., Cope, M., Walsh, S., & Kjellstrom, T. (2014). Quantifying the health impacts of air pollution under a changing climate—A review of approaches and methodology. *International Journal of Biometeorology*, 58(2), 149–160. <https://doi.org/10.1007/s00484-012-0625-8>
- Szyszkowicz, M., 2007. Air pollution and emergency department visits for ischemic heart disease in Montreal, Canada. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 20(2), 167–173. <https://doi.org/10.2478/v10001-007-0015-3>
- Tam, W. W. S., Wong, T. W., Wong, A. H. S., 2015. Association between air pollution and daily mortality and hospital admission due to ischaemic heart diseases in Hong Kong. *Atmospheric Environment*, 120, 360–368. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.068>
- Tertre, A. Le, Medina, S., Samoli, E., Forsberg, B., Michelozzi, P., Boumghar, A., et al., 2002. cardiovascular diseases in eight European cities. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 56, 773–779.
- Thach, T. Q., Tsang, H., Cao, P., Ho, L. M., 2018. A novel method to construct an air quality index based on air pollution profiles. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 221(1), 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.09.012>
- Tian, Y., Liu, H., Wu, Y., Si, Y., Li, M., Wu, Y., et al., 2019. Ambient particulate matter pollution and adult hospital admissions for pneumonia in urban China: A national time series analysis for 2014 through 2017. *PLoS Medicine*, 16(12), e1003010. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003010>

- Tonne, C., Halonen, J. I., Beevers, S. D., Dajnak, D., Gulliver, J., Kelly, F. J., et al., 2016. Long-term traffic air and noise pollution in relation to mortality and hospital readmission among myocardial infarction survivors. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 219(1), 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.09.003>
- Vidale, S., Bonanomi, A., Guidotti, M., Arnaboldi, M., Sterzi, R., 2010. Air pollution positively correlates with daily stroke admission and in hospital mortality: A study in the urban area of Como, Italy. *Neurological Sciences*, 31(2), 179–182. <https://doi.org/10.1007/s10072-009-0206-8>
- Vidotto, J. P., Pereira, L. A. A., Braga, A. L. F., Silva, C. A., Sallum, A. M., Campos, L. M., et al., 2012. Atmospheric pollution: Influence on hospital admissions in paediatric rheumatic diseases. *Lupus*, 21(5), 526–533. <https://doi.org/10.1177/0961203312437806>
- Wang, C., Hao, L., Liu, C., Chen, R., Wang, W., Chen, Y., et al., 2020. Associations between fine particulate matter constituents and daily cardiovascular mortality in Shanghai, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 191(December 2019), 110154. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110154>
- WHO. (2006). *Air Quality Guidelines Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide* (Copenhagen World Health Organization Regional Office for Europe).
- WHO. (2020). *Air pollution data portal*. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/air-pollution>
- Wiwatanadate, P., & Trakultivakorn, M. (2010). Air pollution-related peak expiratory flow rates among asthmatic children in Chiang Mai, Thailand. *Inhalation Toxicology*, 22(4), 301–308. <https://doi.org/10.3109/08958370903300327>
- Wong, C. M., Tsang, H., Lai, H. K., Thach, T. Q., Thomas, G. N., Chan, K. P., et al., 2016. STROBE-long-term exposure to ambient fine particulate air pollution and hospitalization due to peptic ulcers. *Medicine (United States)*, 95(18), e3543. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000003543>
- Wong, T. W., Tam, W. W. S., Yu, I. T. S., Lau, A. K. H., Pang, S. W., Wong, A. H. S., 2013. Developing a risk-based air quality health index. *Atmospheric Environment*, 76, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.071>
- Wu, T., Ma, Y., Wu, X., Bai, M., Peng, Y., Cai, W., et al., 2019. Association between particulate matter air pollution and cardiovascular disease mortality in Lanzhou, China. *Environmental Science and Pollution Research*, (1), 15262–15272.

- Xiaoyu, C. (2016). A Multicity Study of Association between Air Pollution and CHD Mortality in China by Using Time Series Threshold Poisson Regression Model [WorkingPaper]. Humboldt-Universität zu Berlin. <https://doi.org/10.18452/18462>
- Xie, J., He, M., Zhu, W., 2014. Acute effects of outdoor air pollution on emergency department visits due to five clinical subtypes of coronary heart diseases in Shanghai, China. *Journal of Epidemiology*, 24(6), 452–459. <https://doi.org/10.2188/jea.JE20140044>
- Yao, C., Wang, Y., Williams, C., Xu, C., Kartsonaki, C., Lin, Y., et al., 2020. The association between high particulate matter pollution and daily cause-specific hospital admissions: a time-series study in Yichang, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(5), 5240–5250.
- Yoo, S. E., Park, J. S., Lee, S. H., Park, C. H., Lee, C. W., Lee, S. B., et al., 2019. Comparison of short-term associations between PM_{2.5} components and mortality across six major cities in South Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(16), 6–8. <https://doi.org/10.3390/ijerph16162872>
- Yu, Y., Yao, S., Dong, H., Ji, M., Chen, Z., Li, G., et al., 2018. Short-term effects of ambient air pollutants and myocardial infarction in Changzhou, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(22), 22285–22293. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2250-5>
- Yu, Y., Yao, S., Dong, H., Wang, L., Wang, C., Ji, X., et al., 2019. Association between short-term exposure to particulate matter air pollution and cause-specific mortality in Changzhou, China. *Environmental Research*, 170(August 2018), 7–15.
- Yue, J. L., Liu, H., Li, H., Liu, J. J., Hu, Y. H., Wang, J., et al., 2020. Association between ambient particulate matter and hospitalization for anxiety in China: A multicity case-crossover study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 223(1), 171–178.
- Zanobetti, A., Schwartz, J., 2006. Air pollution and emergency admissions in Boston, MA. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 60(10), 890–895.
- Zeka, A., Zanobetti, A., & Schwartz, J., 2006. Individual-level modifiers of the effects of particulate matter on daily mortality. *American journal of epidemiology*, 163(9), 849-859.
- Zhang, Y., Ni, H., Bai, L., Cheng, Q., Zhang, H., Wang, S., et al., 2019. The short-term association between air pollution and childhood asthma hospital admissions in urban areas of Hefei City in China: A time-series study. *Environmental Research*, 169(December 2018), 510–516.
- Zhang, Z., Wang, J., Chen, L., Chen, X., Sun, G., Zhong, N., et al., 2014. Impact of haze and air pollution-related hazards on hospital admissions in Guangzhou, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(6), 4236–4244.

- กระทรวงสาธารณสุข. (2564). การป่วยด้วยโรคจากมลพิษทางอากาศ. Retrieved from https://hdcservice.moph.go.th/hdc/reports/page.php?cat_id=9c647c1f31ac73f4396c2cf987e7448a
- กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง กรมควบคุมมลพิษ. (2563). รายงานสถานการณ์และคุณภาพอากาศประเทศไทย. Retrieved from <http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php>
- ณัฐวรกาญจน์ ประดิษฐ์, ชีระ ฤทธิรอด, วัชร บัญสวัสดิ์, อารุณี มีศรี, & อุไรวรรณ แซ่อู่. (2016). การวิเคราะห์ต้นทุนการรักษาพยาบาลผู้ป่วยโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังที่ใช้สิทธิหลักประกันสุขภาพโรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี งบประมาณ 2556. 1055–1061.
- ธีรพงศ์ บริรักษ์. (2019). ถอดบทเรียนวิกฤต PM 2.5. 13(9), 44–58.
- พงษ์เทพ ผลประเสริฐ, ศุภรดา คณารักษ์สมบัติ, & นุชนาพร พิจารณ์,. (2559). การศึกษาปัจจัยทางอุตุนิยมวิทยาและสารมลพิษต่อแบบจำลองปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมโครเมตรโดยระบบภูมิศาสตร์. http://research.bkkthon.ac.th/abstac/ab_27102559101755.pdf.
- วิวรรณเดชะ, พ., ตระกูลทิวากร, ม., ลีวศรีกุล, เ., ยิบมันตะสิริ, ส., & อินปันแก้ว, น. (2550). โครงการระดับรายวันของฝุ่นในอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพในผู้ป่วยที่เป็นโรคหอบหืดจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน.



กองประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ กรมอนามัย

88/22 หมู่.4 ถนนติวานนท์ ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

โทรศัพท์ : 0-2590-4362

โทรสาร : 0-2590-4356

อีเมล : hiadoh@gmail.com