การพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร

โดย
นางสาวสิริวรรณ จันทร์ฉาย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร

โดย
นางสาวสิริวรรณ จันทร์ฉาย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF AN INDEX TO COMMUNICATE AIR POLLUTION-RELATED HEALTH RISKS TO THE PUBLIC IN BANGKOK, THAILAND

By

MISS Siriwan JANCHAY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Science (ENVIRONMENTAL SCIENCE)

Department of ENVIRONMENTAL SCIENCE

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2022

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร
โดย	นางสาวสิริวรรณ จันทร์ฉาย
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อ้นแฉ่ง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย (ผู้รักษาการแทน)
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาธิต นิรัติศัย)

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อังก์ศิริ ทิพยารมณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อ้นแฉ่ง)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล)

620720056 : วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม แผน ก แบบ ก 1 ระดับปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ, สารมลพิษทางอากาศ, การเสียชีวิตรายวัน, อนุกรมเวลา

นางสาว สิริวรรณ จันทร์ฉาย: การพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร. รัฐพล อ้นแฉ่ง

ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ (Air Quality Health Index; AQHI) เป็นระบบการรายงานเพื่อสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศสู่ประชาชน รวมทั้งมีคำแนะนำสำหรับประชาชนทั่วไปหรือกลุ่มเสี่ยงเพื่อหลีกเลี่ยงการได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ สำหรับกรุงเทพมหานคร โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศกับสุขภาพ ใน พ.ศ. 2553 - 2562 โดยข้อมูลสุขภาพ ประกอบด้วย ผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ ผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ และผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ ที่จัดกลุ่มตามระบบ International Classification of Diseases 10th Revision (ICD-10) จากนั้นพัฒนาสมการดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ โดยศึกษาการวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time series analysis) ด้วยวิธีการถดถอยปัวซง (Poisson Regression) ในแบบจำลองเชิงบวกนัยทั่วไป (Generalize Additive Model; GAM) ที่มีการควบคุมตัวแปรร่วมอื่นๆ ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ วันทำงาน วันหยุดสุดสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ผลการศึกษาพบว่าทุก 10 หน่วยความเข้มข้นของสารมลพิษ ไม่ว่าจะเป็น ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ก๊าซโอโซน (O_3) หรือก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ส่งผลต่อการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากนั้นจึงนำค่าสัมประสิทธิ์ของสารมลพิษที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้น มาเป็นค่าสัมประสิทธิ์ในสมการดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของกรุงเทพมหานคร โดยจำแนกออกเป็น 2 ชุด คือ ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($AQHIPM_{2.5}$) และของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ($AQHIPM_{10}$) สำหรับผลต่อสุขภาพอีก 2 กรณี คือ กรณีผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ และกรณีผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ พบว่า สารมลพิษทางอากาศมีความสัมพันธ์ต่อผลกระทบทางสุขภาพไม่สอดคล้องกับสถานการณ์คุณภาพอากาศของพื้นที่ศึกษา การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมาใช้เป็นเครื่องมือในการจัดการคุณภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร

620720056 : Major (ENVIRONMENTAL SCIENCE)
Keyword : Air Quality Health Index Air Pollution Daily deaths Time-series

MISS SIRIWAN JANCHAY : DEVELOPMENT OF AN INDEX TO COMMUNICATE AIR POLLUTION-RELATED HEALTH RISKS TO THE PUBLIC IN BANGKOK, THAILAND THESIS ADVISOR : ASSOCIATE PROFESSOR RATTAPON ONCHANG, Ph.D.

The Air Quality Health Index (AQHI) is a systematic report to communicate health risk associated with air pollutants exposures to public. It also provides information to advice general people or groups at risk for avoiding exposure to air pollution. The purpose of this study was to develop AQHI for Bangkok. Initially, associations between air pollution and health data on a daily basis from 2010 to 2019 were examined. The health data consisted of respiratory-disease mortality, non-accidental mortality and outpatient with respiratory diseases, as classified by International Classification of Diseases 10^{th} Revision (ICD-10). Then, AQHI equations for Bangkok was formulated. For the association analyses, the current study used Poisson regression in a generalized additive model, with natural cubic smooth splines to analyze the data and controls for other common variables (time, temperature, relative humidity, day of the week, and public holidays. The results indicated that a 10-unit increase in particulate matter (PM_{10}), fine particulate matter ($PM_{2.5}$), ozone (O_3) or nitrogen dioxide (NO_2) was statistically associated with respiratory-disease mortality. Therefore, the regression coefficients of these pollutants were then employed to establish the suitability of the AQHI for Bangkok. The AQHI equations were then separated into two sets, for PM_{10} ($AQHIPM_{10}$) and for $PM_{2.5}$ ($AQHIPM_{2.5}$). For the remaining two cases (non-accidental mortality and outpatient with respiratory diseases), it was found that their associations did not aligned with air quality situation in the case study area. This study demonstrates the possibility to bring AQHI as a tool for air quality management in Bangkok.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนการศึกษาสำหรับนักศึกษาในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เพื่อเป็นผู้ช่วยวิจัยประจำปีการศึกษา 2562 ของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร และได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) กองทุนส่งเสริม วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ผู้วิจัยขอขอบคุณกรมควบคุมมลพิษที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสารมลพิษทางอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลจำนวนผู้เสียชีวิตในกรุงเทพมหานคร ขอขอบรองศาสตราจารย์ดร. รัฐพล อ้นแฉ่ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาเรื่องการจัดการข้อมูลพร้อมข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการทำเล่มวิทยานิพนธ์ และให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่องระหว่างที่ศึกษาอยู่ ขอขอบคุณอาจารย์ดร. กรรณิกาณ์ หิรัญกสิที่ให้คำปรึกษาเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติและให้คำแนะนำมาปรับแก้ไข ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตรราจารย์ ดร.อังก์ศิริ ทิพยารมณ์ ที่กรุณาสละเวลามาเป็นประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตรราจารย์ ดร.ประพัทธ์ พงษ์เกียรติกุล ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกซึ่งกรุณาสละเวลามาเป็นกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมให้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณคุณทัศนีย์ กาญจนศรี เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่คอยแจ้งกำหนดการรายละเอียดในการเรียนการสอน อีกทั้งช่วยดำเนินเอกสารขอความอนุเคราะห์ข้อมูลมาทำวิทยานิพนธ์ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว และเพื่อน ๆ ที่เป็นกำลังใจคอยสนับสนุนตลอดมาในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

นางสาว สิริวรรณ จันทร์ฉาย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.4 ขอบเขตการศึกษา 3

บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม 4

2.1 สถานการณ์มลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานคร 4

2.2 ผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศ 5

2.3 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ 7

2.4 ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ 10

2.4.1 หลักเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของแคนาดา 10

2.4.2 หลักเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกง 12

2.5 ข้อดีและข้อจำกัดของดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ 16

2.6 ความแตกต่างของดัชนีคุณภาพอากาศและดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ 16

2.7 สถิติที่เกี่ยวข้อง 17

2.7.1 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) 17
2.7.2 อนุกรมเวลา (Time Series) 17
2.7.3 แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model: GLM) 18
2.7.3.1 แบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM_s) 18
2.7.3.2 แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป (Generalized Additive Models: GAM) 20
2.7.4 ฟังก์ชันทำให้เรียบ (Smoothing Function) 21
2.7.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient) 23
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศที่ส่งผลต่อการเจ็บป่วยและการเสียชีวิต 23
2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาดัชนีคุณภาพเชิงสุขภาพ (Air Quality Health Index: AQHI) 31
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 37
3.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา 37
3.2 วิธีการศึกษา 38
3.2.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษา 39
3.2.2 การรวบรวมข้อมูล 39
3.2.2.1 ข้อมูลสารมลพิษทางอากาศ (Air pollution data) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Meteorological data) 39
3.2.2.2 ข้อมูลสุขภาพ (Health data) 40
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 41
3.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น (Descriptive statistic) 41
3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล 41
3.3.3 การสร้างดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ 43
3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือ 44

บทที่ 4 ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา 45
4.1 ผลการศึกษา 45
4.1.1 สถิติพรรณนา 45
4.1.2 การพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ 47
4.1.2.1 กรณีผู้เสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99) 48
4.1.2.2 กรณีผู้เสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ (A00-R99) 52
4.1.2.3 กรณีผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99) ... 56
4.1.3 การเลือกใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ 60
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา 62
รายการอ้างอิง 67
ประวัติผู้เขียน 73

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ 8

ตารางที่ 2 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของแคนาดา 12

ตารางที่ 3 เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกง 14

ตารางที่ 4 รูปแบบการกระจายตัวของตัวแปรตามและฟังก์ชันเชื่อมโยง 20

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบวิธีการศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

ตารางที่ 6 สถิติพรรณนาข้อมูลรายวันของข้อมูลสุขภาพ ข้อมูลคุณภาพอากาศ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพ.ศ. 2553–2562 46

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์สเปียร์แมนระหว่างมลพิษทางอากาศในพ.ศ. 2553 - 2562 48

ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซองของความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศต่าง ๆ (ต่อ 10 μg/m^3) จากคนเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ 50

ตารางที่ 9 ความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจใน lag01 51

ตารางที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซองของความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศต่าง ๆ (ต่อ 10 μg/m^3) จากผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ 54

ตารางที่ 11 ความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุใน lag01 55

ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซองของความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศต่าง ๆ (ต่อ 10 μg/m^3) จากผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ 58

ตารางที่ 13 ความเสี่ยงของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจใน lag1 59

ตารางที่ 14 สรุปสมการดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ 63

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพตามดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของแคนาดา 11

ภาพที่ 2 ระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพตามดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกง 13

ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดในการศึกษา..... 37

ภาพที่ 4 วิธีการศึกษา 38

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันคุณภาพอากาศในเขตเมืองเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นผลเนื่องมาจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การจราจร การก่อสร้าง โรงงานอุตสาหกรรม การเผาขยะ เป็นต้น ในชีวิตประจำวันของมนุษย์จะได้รับสัมผัสกับฝุ่นละอองหรือก๊าซมลพิษทางอากาศอื่น ๆ อยู่เสมอก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งข้อมูลขององค์การอนามัยโลกได้มีการแสดงให้เห็นว่ามลพิษทางอากาศเป็นภัยคุกคามต่อสุขภาพของประชากรทั่วโลก ประชากรเกือบทั้งหมด (99%) เผชิญกับมลพิษทางอากาศที่ทำให้เสี่ยงต่อการเกิดโรคต่าง ๆ มากขึ้น เช่น โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง และมะเร็ง เป็นต้น (World Health Organization, 2022a)

ในหลาย ๆ ประเทศรวมถึงประเทศไทยใช้ดัชนีคุณภาพอากาศ (Air Quality Index; AQI) สำหรับรายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศที่ง่ายต่อความเข้าใจของประชาชนทั่วไป เพื่อให้สาธารณชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศในแต่ละพื้นที่ว่าอยู่ในระดับใด มีผลกระทบต่อสุขภาพหรือไม่ และมีคำแนะนำหรือแนวทางการป้องกันเพื่อลดการรับสัมผัสกับสารมลพิษทางอากาศ ดัชนีนี้นำสารมลพิษที่พบโดยทั่วไปในบรรยากาศ (Criteria air pollutants) ซึ่งประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน โดยนำสารมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดมาคำนวณ ซึ่งหากพบว่าสารมลพิษทางอากาศชนิดใดมีค่าดัชนีสูงสุดจะนำมาใช้เป็นดัชนีคุณภาพอากาศ ณ ช่วงเวลานั้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2563a) อย่างไรก็ตามดัชนีคุณภาพอากาศสามารถบอกให้ทราบระดับผลกระทบต่อประชาชนได้จริง แต่ว่าผลกระทบต่อสุขภาพของสารมลพิษทางอากาศแต่ละชนิดที่เข้าไปในร่างกายสามารถเข้าไปในร่างกายได้ทุกชนิด ถึงแม้ว่าจะไม่ได้มีค่าอยู่ในระดับอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนแต่ก็เป็นสารมลพิษที่ประชาชนได้รับสัมผัส และส่งผลกระทบต่อประชาชนได้เช่นกัน ดังนั้นจึงอาจไม่สะท้อนถึงผลกระทบรวมต่อสุขภาพ เนื่องจากดัชนีคุณภาพอากาศคำนวณจากปริมาณสารมลพิษทางอากาศเท่านั้น แต่ไม่ได้คำนึงถึงความเสี่ยงที่ได้รับรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศเข้าไปในร่างกายด้วย

ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ (Air Quality Index; AQHI) คือ การรายงานความเสี่ยงด้านสุขภาพที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ เพื่อใช้สื่อสารถึงความเสี่ยงที่เกิดต่อสุขภาพให้ประชาชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ รวมทั้งมีคำแนะนำสำหรับประชาชนทั่วไปและประชาชนกลุ่มเสี่ยงหรือกลุ่มอ่อนไหวต่อการได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ โดยรัฐบาลของประเทศแคนาดา (Government of Canada) ได้พัฒนาขึ้นเป็นประเทศแรกและนำดัชนีคุณภาพ

อากาศเชิงสุขภาพมาใช้ในการรายงานแก่สาธารณชน (Government of Canada, 2021) นอกเหนือจากแคนาดาแล้วก็มีฮ่องกงซึ่งเป็นประเทศแรก ๆ ที่มีการพัฒนาและนำมาใช้โดยเริ่มใช้เป็นทางการตั้งแต่ปีพ.ศ. 2556 (Environmental Protection Department, 2021) ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมีพื้นฐานมาจากค่าสัมประสิทธิ์ของการตอบสนองความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศจากการวิเคราะห์อนุกรมเวลา ทำให้ทราบถึงความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยหรือการเสียชีวิตที่เกี่ยวเนื่องกับสารมลพิษทางอากาศ ซึ่งทำให้ได้ตัวชี้วัดคุณภาพอากาศที่สัมพันธ์กับสุขภาพของประชาชนในพื้นที่

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะพบว่าการช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพนั้นสามารถใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมาเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพอากาศในแต่ละวันเพื่อให้มีวิธีการรับมือกับสภาพปัญหามลพิษทางอากาศเบื้องต้นได้ ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเป็นเครื่องมือช่วยหลีกเลี่ยงหรือลดการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ โดยจะรายงานระดับผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศต่อสุขภาพว่าอยู่ในระดับใด เช่น ระดับต่ำ ปานกลาง สูง สูงมาก ซึ่งในแต่ละระดับของผลกระทบจะมีคำแนะนำหรือข้อควรระวังในการปฏิบัติตัวได้

ในปัจจุบันมีบางประเทศที่ใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเช่น แคนาดา และฮ่องกง เม็กซิโก เป็นต้น และเริ่มมีหลายประเทศที่ศึกษาพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเป็นการนำสารมลพิษทางอากาศหลายชนิดร่วมกันมาวิเคราะห์ โดยเลือกสารมลพิษที่มีนัยสำคัญต่อการเสียชีวิตหรือเจ็บป่วยของประชาชนมาใช้ในการคำนวณในพื้นที่ ทำให้ได้ตัวชี้วัดที่สะท้อนถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศหลายชนิดร่วมกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสามารถสะท้อนถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศได้มากกว่าดัชนีคุณภาพอากาศ ที่บอกผลกระทบต่อสุขภาพจากสารมลพิษทางอากาศเพียงชนิดเดียว การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของกรุงเทพมหานคร

1.2 วัตถุประสงค์

1) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเชิงสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศและข้อมูลความเข้มข้นของสารมลพิษ

2) พัฒนาสมการใช้สำหรับคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่เหมาะสมกับกรุงเทพมหานคร

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้สมการดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร

2) สามารถนำวิธีการศึกษามาปรับใช้หรือต่อยอดในพื้นที่อื่น ๆ ได้ในอนาคต

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1) กำหนดพื้นที่ศึกษา โดยกำหนดพื้นที่เป็นกรุงเทพมหานคร

2) ระยะเวลาของข้อมูล โดยจะใช้ข้อมูลสุขภาพ ข้อมูลมลพิษทางอากาศ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในช่วง พ.ศ. 2553 – พ.ศ. 2562

3) ใช้ข้อมูลสารมลพิษทางอากาศรายวัน 6 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน (พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2562) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน

4) ใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวัน 2 ชนิด คือ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

5) ใช้ข้อมูลสุขภาพรายวัน โดยใช้จำนวนประชากรที่เสียชีวิตทั้งหมดที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ ข้อมูลจำนวนจำนวนประชากรที่เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ และข้อมูลประชากรที่เจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (พ.ศ. 2559 – พ.ศ. 2562) ซึ่งข้อมูลที่ใช้ทั้งหมดได้จากสังกัดสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขซึ่งรวบรวมโรงพยาบาลที่อยู่ในสังกัด

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 สถานการณ์มลพิษทางอากาศในกรุงเทพมหานคร

การติดตามเฝ้าระวังปริมาณมลพิษในบรรยากาศเป็นภารกิจหนึ่งที่มีความสำคัญที่กรมควบคุมมลพิษเป็นหน่วยงานที่ทำการตรวจวัดคุณภาพอากาศมาอย่างต่อเนื่องโดยทำการตรวจวัดมลพิษทางอากาศที่สำคัญได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน

สถานการณ์คุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานครจากรายงานของกรมควบคุมมลพิษประจำ พ.ศ. 2560 พบว่า ในเขตกรุงเทพมหานครพื้นที่กรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ตรวจพบปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกินค่ามาตรฐานประมาณ 40 - 50 วันต่อปี ในช่วงเดือนมกราคม - มีนาคม จากการตรวจสอบสาเหตุของฝุ่นละอองในเบื้องต้น จากการเผาเศษวัสดุทาง การเกษตรและการประกอบอาหารที่ก่อให้เกิดควันไฟ คิดเป็นประมาณร้อยละ 40 - 45 จากการจราจรและยานพาหนะ ประมาณร้อยละ 30 - 35 และจากอุตสาหกรรมร้อยละ 10 - 15 สำหรับฝุ่นที่มาจากการก่อสร้างและ ฝุ่นถนน ส่วนใหญ่เป็นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในรายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยพ.ศ. 2560 กรมควบคุมมลพิษได้รายงานผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัดแบบอัตโนมัติบริเวณพื้นที่ริมถนนและพื้นที่ทั่วไป พบว่า ฝุ่นละอองรวม ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และ โอโซนเป็นปัญหาหลัก ส่วนสารมลพิษชนิดอื่นยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2561a)

ภาพรวมของคุณภาพอากาศของพ.ศ. 2561 มีแนวโน้มทรงตัว แต่ยังคงพบฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนและก๊าซโอโซนที่มีค่าเกินมาตรฐานคุณภาพอากาศในพื้นที่ทั่วไป ซึ่งพบว่าก๊าซโอโซนมีค่าเกินมาตรฐานและค่อนข้างทรงตัวจากปีที่ผ่านมา ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีแนวโน้มลดลง ตั้งแต่พ.ศ. 2558 แต่ในพ.ศ. 2561 กลับเพิ่มขึ้นจากปีก่อน โดยมักพบเกินค่ามาตรฐานในช่วงเดือนพฤศจิกายน – เมษายน เนื่องมาจากสภาพอุตุนิยมวิทยาในปีที่ผ่านมาไม่เอื้อต่อการกระจายตัว ซึ่งช่วงเดือนนี้เป็นรอยต่อระหว่างฤดูหนาวเข้าสู่ฤดูร้อน สภาวะอากาศนิ่ง ลมสงบ ส่งผลต่อการสะสมของฝุ่นละอองในบรรยากาศ ซึ่งแหล่งกำเนิดหลักของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เกิดจากการเผาไหม้ในภาคส่วนต่าง ๆ ได้แก่ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากการจราจร อุตสาหกรรม และการเผาในที่โล่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2562) และในช่วงต้นปีของพ.ศ. 2562 ที่ผ่านมาฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ยังคงเป็นปัญหาที่ถือเป็นวิกฤตการณ์สำหรับคนกรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งเกินค่ามาตรฐานระหว่างเดือนมกราคมถึงมีนาคม และปลายปีในเดือนธันวาคม (กรมควบคุมมลพิษ, 2563b)

ในพ.ศ. 2563 คุณภาพอากาศโดยรวมดีขึ้นกว่าปีที่ผ่านมา เนื่องจากการขับเคลื่อนการดำเนินงานของหน่วยงานตามแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติ “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” ประกอบกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรน่า 2019 (COVID-19) ทำให้กิจกรรมอันก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศลดลงในทุกภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นการเผาในที่โล่งที่ลดลง ทำให้จุดความร้อนน้อยลง ภาคอุตสาหกรรมที่ลดกำลังการผลิต และปิดกิจการเพิ่มมากขึ้น เนื่องมาจากสภาพเศรษฐกิจของโลกที่ขยายตัวลดลง และภาคการจราจรขนส่ง โดยมีปริมาณการใช้น้ำมันสำเร็จรูปลดลงจากปีก่อน แต่อย่างไรก็ตามยังมีมลพิษทางอากาศที่เกินค่ามาตรฐาน ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds: VOC_s) (กรมควบคุมมลพิษ, 2564b) จากพ.ศ. 2563 มายังพ.ศ. 2564 คุณภาพอากาศในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลยังคงมีแนวโน้มดีขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการบูรณาการขับเคลื่อนการดำเนินงานของหน่วยงานตามแผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติในเรื่อง “การแก้ไขปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง” ต่อเนื่องมาจากปีก่อน โดยมีมาตรการยกระดับให้เข้มงวดขึ้น ได้แก่ การเข้าตรวจแหล่งกำเนิดเชิงรุก การเพิ่มความถี่ในการแจ้งเตือนและสื่อสารสร้างความเข้าใจให้กับประชาชน อีกทั้งสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ที่ยังมีการแพร่ระบาดอยู่ ทำให้ประชาชนลดกิจกรรมการเดินทาง และมีการปฏิบัติงาน ณ สถานที่พัก (Work From Home) แต่อย่างไรก็ตามมลพิษหลักที่ยังเป็นปัญหา คือ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และก๊าซโอโซน (กรมควบคุมมลพิษ, 2565b)

2.2 ผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศ

มลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในเขตเมืองโดยเฉพาะกรุงเทพมหานคร เนื่องจากมลพิษทางอากาศก่อให้เกิดผลกระทบต่อทัศนวิสัย ก่อความรำคาญตลอดจนผลกระทบต่อด้านสุขภาพที่เกี่ยวกับระบบหายใจ และปอด โดยในช่วงปลายปีในเดือนพฤศจิกายนจนถึงต้นปีในเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคมในแต่ละปี พบว่าอนุภาคฝุ่นละอองโดยเฉพาะฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนเป็นปัญหาหลักที่มีค่าเกินค่ามาตรฐานในหลาย ๆ เขตในกรุงเทพมหานคร ซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพต่อประชาชนในพื้นที่นั่น ๆ เนื่องจากอนุภาคฝุ่นละอองขนาดที่เล็กทำให้เมื่อถูกสูดผ่านรวมเข้าไปกับลมหายใจ สามารถผ่านลงไปได้ลึกจนถึงหลอดลมฝอยและถุงลมที่เป็นส่วนปลายสุดของปอดเราได้ ก่อให้เกิดปฏิกิริยาระคายเคือง และเกิดการอักเสบเฉียบพลันและเรื้อรัง โดยเป็นผลจากการกระตุ้นให้เกิดสารอนุมูลอิสระลดระบบแอนตี้ออกซิแดนท์ รบกวนดุลแคลเซียมจนทำให้เกิดการอักเสบ และกระตุ้นยีนที่เกี่ยวข้องกับการหลังสารอักเสบซึ่งเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อของตัวเราเองจนเกิดผลร้ายที่สำคัญ คือ ทำให้คนที่มีโรคเกี่ยวกับระบบการหายใจเรื้อรัง โรคจมูกอักเสบ โรคภูมิแพ้ โรคหืด และโรคถุงลมโป่งพองเกิดอาการกำเริบได้มากกว่าคนทั่วไป และอาจมีส่วนทำให้เกิดมะเร็งปอดได้เพิ่มขึ้น

ส่วนประกอบที่เป็นแบล็คคาร์บอนจะทำให้เกิดการทำลายผนัง หลอดเลือด แล้วเข้ามาในกระแสเลือด ผลที่ตามมา คือ การเกิดลิ่มเลือดและหลอดเลือดแข็งทำให้เพิ่มอันตรายจากการขาดเลือดโดยเฉพาะสมองและกล้ามเนื้อหัวใจ อีกทั้งยังเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดหัวใจเต้นผิดจังหวะ (Martins & Carrilho da Graça, 2018; เครือข่ายอากาศสะอาด, 2562) โดยกลุ่มคนที่มีความเสี่ยงสูงหรือควรหลีกเลี่ยงมลพิษทางอากาศนั้น ได้แก่ เด็ก คนสูงอายุ และผู้ป่วยที่เป็นโรคเกี่ยวข้องกับระบบหายใจซึ่งเด็กจัดเป็นประชากรที่มีความเสี่ยงสูงต่อการได้รับมลพิษและเกิดผลเสียต่อสุขภาพ เนื่องจากเด็กจะหายใจเร็วกว่าผู้ใหญ่ มีสัดส่วนปริมาตรการหายใจต่อน้ำหนักตัวสูงกว่าผู้ใหญ่ จึงมีโอกาสได้รับมลพิษทางอากาศเพิ่มมากขึ้น ร่วมกับร่างกายเด็กยังไม่สูงทำให้ระดับจมูกจะอยู่ใกล้พื้นซึ่งเป็นบริเวณที่อากาศไม่ถ่ายเทและมลพิษบางชนิดสะสมสูง ทำให้มีโอกาสได้รับมลพิษทางอากาศได้มากขึ้น อีกทั้งเด็กมักมีกิจกรรมและวิ่งเล่นนอกอาคาร ซึ่งการวิ่งเล่นทำให้หายใจเร็วทำให้ได้รับมลพิษในอากาศได้มากขึ้น และระบบต้านทางต่อสิ่งแปลกปลอมไม่ว่าจะเป็นเยื่อบุทางเดินหายใจ ระบบภูมิคุ้มกันยังเจริญไม่เต็มที่ จึงยังไม่สามารถป้องกันได้เต็มประสิทธิภาพ (เครือข่ายอากาศสะอาด, 2562) สำหรับกลุ่มเปราะปราง (เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ที่มีโรคประจำตัว) ต้องเผชิญกับความเสี่ยงเพิ่มขึ้นที่จะมีปัญหาที่เกี่ยวข้องกับมลพิษ เพราะระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายต่ำกว่าคนทั่วไป

ก๊าซมลพิษที่พบอยู่ทั่วไปและส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรงเพราะหากสูดดมเข้าไปจะทำให้เม็ดเลือดแดงไม่สามารถรับออกซิเจนจากปอดไปเลี้ยงส่วนต่างๆ ของร่างกายได้ตามปกติ เนื่องจากก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สามารถจะไปรวมตัวกับเฮโมโกลบิน (Haemoglobin: Hb) ในเม็ดเลือดแดงได้ดีกว่าออกซิเจนประมาณ 200 - 250 เท่า ทำให้การลำเลียงออกซิเจนไปสู่เซลล์ต่างๆ ของร่างกายลดน้อยลงทำให้เวียนศีรษะ ตาพร่ามัว หายใจอึดอัด เป็นลมหรืออาจหมดสติ โดยปกติร่างกายของคนหายใจเอาออกซิเจนเจนเข้าปอด กระแสเลือดจะไปรวมกับเฮโมโกลบิน (Oxyhaemoglobin: Hbo_2) เลือดที่มีออกซีฮีโมโกลบินจะถูกส่งไปเลี้ยงทั่วร่างกาย ทำให้เนื้อเยื่อนำไปใช้ในกระบวนการทำงาน แต่เมื่อคนหาใจเอาก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไป ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จะแย่งจับออกซิเจนในการรวมตัวกับฮีโมโกลบินกลายเป็นคาร์บอกซีเฮโมโกลบิน (Caboxy haemoglobin: COHb) การที่จะเกิดคาร์บอกซีเฮโมโกลบินในเลือดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เข้าไปซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาร์บอนมอนอกไซด์และระยะเวลาที่หายใจเข้าไป ดังนั้นผลกระทบของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ต่อสุขภาพคนเป็นผลกระทบแบบเฉียบพลันเกิดขึ้นทันทีเมื่อร่างกายหายใจรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ แต่ผลที่เกิดขึ้นจะหายไปเมื่อได้รับก๊าซออกซิเจนแทนที่ ซึ่งบุคคลที่เสี่ยงต่อการได้รับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คือ บุคคลที่ทำงานบนท้องถนนหรือทางเดินเท้าในช่วงจราจรหนาแน่น รถติดหรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ๆ เป็นเวลานาน (ศิวพันธุ์ ชูอินท์, 2556)

ก๊าซโอโซน เกิดขึ้นได้ทั้งในระดับบรรยากาศชั้นที่สูงจากผิวโลก (สตราโตสเฟียร์) และระดับชั้นบรรยากาศผิวโลกที่ใกล้พื้นดิน (โทรโพสเฟียร์) โอโซนที่ระดับผิวโลกจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต โดยทำให้เกิดการระคายเคืองตา ลำคอ และทำให้เกิดการอักเสบของทางเดินหายใจ หลอดลมอักเสบ สามารถลดการทำงานของปอดและทำลายเนื้อเยื่อปอด เหนื่อยเร็ว โดยเฉพาะเด็ก คนชรา และคนที่เป็นโรคปอดเรื้อรังอยู่แล้ว (U.S. Environmental Protection Agency, 2021)

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นก๊าซชนิดหนึ่งในกลุ่มของไนโตรเจนออกไซน์ (NO_x) มีแหล่งกำเนิดหลักจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง หากได้รับสัมผัสก๊าซการได้รับสัมผัสไนโตรเจนไดออกไซด์จะทำให้ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ แม้ในระยะเวลาอันสั้นสามารถทำให้เกิดรุนแรงขึ้นโรคทางเดินหายใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคหอบหืดที่นำไปสู่อาการทางระบบทางเดินหายใจ เช่น ไอ หายใจดังหรือหายใจลำบาก การรับสัมผัสกับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในระยะยาวอาจทำให้เกิดโรคหอบหืดและอาจเพิ่มความไวต่อการติดเชื้อทางเดินหายใจ คนที่เป็นโรคหอบหืด เด็กและผู้สูงอายุมีความเสี่ยงต่อสุขภาพมากกว่าคนทั่วไป

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีกำมะถันเจือปน เช่น ถ่านหินและน้ำมันเตา โรงงานอุตสาหกรรมที่ปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศในปริมาณสูง ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องใช้น้ำมันปิโตรเลียม โรงงานถลุงโลหะพวกตะกั่ว ปรอท สังกะสี โรงงานหลอมแร่ โรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหิน เป็นต้น ผลกระทบต่อสุขภาพ คือ ทำให้เกิดการะคายเคืองต่อเยื่อบุตา ผิวหนัง ความรุนแรงของผลกระทบขึ้นกับปริมาณและระยะเวลาที่สัมผัสการได้รับก๊าซซัลฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณสูงมีผลต่อระบบทางเดินหายใจ ถ้าได้รับปริมาณน้อยแต่เป็นเวลานานอาจทำให้เป็นโรคหลอดลมอักเสบเรื้อรัง คนส่วนใหญ่จะเริ่มมีอาการไอและระคายเคืองคอ และยิ่งก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์รวมตัวกับฝุ่นละอองจะทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพมาก (วนิดา จีนศาสตร์, 2551)

2.3 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

เพื่อเป็นการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ หน่วยงานต่าง ๆ ได้กำหนดค่ามาตรฐานสารมลพิษขึ้น มาตรฐานสารมลพิษทั่วไปในบรรยากาศของประเทศไทยและของหน่วยงานสากลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

สารมลพิษ	**ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นในเวลา**	**ค่ามาตรฐาน**		
		ประเทศไทย[1]	**WHO[2]**	**US EPA[3]**
1.ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	1 ชั่วโมง	ไม่เกิน 30 ppm (34.2 mg/m^3)	-	35 ppm (40 mg/m^3)
	8 ชั่วโมง	ไม่เกิน 9 ppm (10.26 mg/m^3)	-	9 ppm (10 mg/m^3)
	24 ชั่วโมง	-	4 mg/m^3	-
2.ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	1 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.17 ppm (0.32 mg/m^3)	-	0.1 ppm
	1 ปี	ไม่เกิน 0.03 ppm (0.057mg/m^3)	25 µg/m^3	0.053 ppm (100 µg/m^3)
	24 ชั่วโมง	-	10 µg/m^3	-
3.ก๊าซโอโซน (O_3)	1 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.10 ppm (0.20 mg/m^3)	-	0.12 ppm
	8 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.07 ppm (0.14 mg/ m^3)	100 µg/m^3	0.08 ppm
4.ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	1 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.30 ppm (780 µg/m^3)	-	0.03 ppm
	24 ชั่วโมง.	ไม่เกิน 0.12 ppm (0.30 mg/m^3)	40 µg/m^3	0.14 ppm
	1 ปี	ไม่เกิน 0.04 ppm (0.10 mg/ m^3)	-	0.075 ppm
5.ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})	24 ชั่วโมง	ไม่เกิน 0.12 mg/m^3 (120 µg/m^3)	45 µg/m^3	ไม่เกิน 150 µg/m^3
	1 ปี	ไม่เกิน 0.05 mg/m^3 (50 µg/m^3)	15 µg/m^3	-
6.ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)	24 ชม.	ไม่เกิน 0.05 mg/m^3 (50 µg/m^3)	15 µg/m^3	35 µg/m^3
	1 ปี	ไม่เกิน 0.025 mg/m^3 (25 µg/m^3)	5 µg/m^3	12 µg/m^3
	24 ชั่วโมง	37.5 µg/m^3*		
	1 ปี	15 µg/m^3*		

ที่มา: *ค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนที่พิจารณาปรับใหม่เพื่อให้เข้มงวดขึ้น (มีผลบังคับใช้วันที่ 1 มิถุนายน 2566) (กรมควบคุมมลพิษ, 2565a)

ที่มา: [1] (กรมควบคุมมลพิษ, 2564a)

[2] (World Health Organization, 2021a)

[3] (U.S. Environmental Protection Agency, 2022)

หมายเหตุ: 1. มาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะสั้น (1 8 และ 24 ชม.) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยอย่างเฉียบพลัน (Acute effect)

2. มาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะยาว (1 เดือน และ 1 ปี) กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบยาวหรือผลกระทบเรื้อรังที่อาจเกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย (Chronic effect)

3. ppm คือ ส่วนในล้านส่วน

4. mg/m^3 คือ มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

5. $\mu g/m^3$ คือ ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

6. - คือ ไม่ได้กำหนด

2.4 ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ คือ การรายงานความเสี่ยงด้านสุขภาพที่เกิดจากมลพิษทางอากาศ เพื่อใช้สื่อสารถึงความเสี่ยงที่เกิดต่อสุขภาพจากสารมลพิษทางอากาศในเวลาระยะสั้น โดยให้ประชาชนได้รับทราบถึงสถานการณ์มลพิษทางอากาศและผลกระทบต่อสุขภาพ รวมทั้งมีคำแนะนำสำหรับประชาชนทั่วไปและประชาชนกลุ่มเสี่ยงหรือกลุ่มอ่อนไหวต่อการได้รับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ เป็น เครื่องมือช่วยหลีกเลี่ยงหรือลดการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ ซึ่งดัชนีดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพพัฒนาขึ้นจากผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อมเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น (Environmental Protection Department, 2021; Government of Canada, 2021)

สำหรับรายละเอียดของดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพจะกล่าวถึงดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของแคนาดาและฮ่องกง เนื่องจากเป็นประเทศแรก ๆ ที่ได้พัฒนาและนำดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมาใช้

ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมีการพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศแคนาดา เป็นโครงการของรัฐบาลกลางที่ประสานงานร่วมกันกับ Health Canada และ Environment Canada เพื่อให้มีแนวทางในการพยากรณ์และสื่อสารคุณภาพอากาศตามข้อมูลของพื้นที่นั้น ๆ ซึ่งได้รับการออกแบบมาเพื่อแทนที่ดัชนีคุณภาพอากาศที่มีอยู่ อย่างไรก็ตามดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพได้รับความร่วมมือจากหน่วยงานรัฐบาล องค์กรเอกชน และการมีส่วนร่วมของชุมชนในท้องถิ่น เพื่อตรวจสอบคุณภาพอากาศไปจนถึงการสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพ โดยได้รับอนุมัติโครงการเมื่อวันที่ 31 มีนาคม 2553 (Canada & Health Canada, 2013) ปัจจุบันมีการนำดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมาใช้ทุกพื้นที่ทั่วแคนาดา และต่อมาเริ่มมีการศึกษาการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพและประยุกต์ใช้ เช่น ฮ่องกงได้ใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมาใช้เมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2556 แทนดัชนีมลพิษอากาศ (Air Pollution Index; ดัชนีมลพิษอากาศ) โดยกรมคุ้มครองสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Department; EPD) ของฮ่องกง (Environmental Protection Department, 2021) เป็นต้น

2.4.1 หลักเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของแคนาดา

ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพถูกพัฒนาขึ้นโดยรัฐบาลของประเทศแคนาดา (Government of Canada) ประสานงานร่วมกันกับกระทรวงสาธารณสุขของประเทศแคนาดา (Health Canada) ซึ่งเป็นหน่วยงานรัฐที่ทำหน้าที่รับผิดชอบออกกฎระเบียบและมาตรฐานเกี่ยวกับสุขอนามัย คุณค่าทางอาหาร และความปลอดภัยของอาหาร เพื่อช่วยเหลือและส่งเสริมให้พลเมืองแคนาดามีสุขภาพที่ดี และกรมสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศแคนาดา (Environment and Climate Change Canada) เป็นหน่วยงานของรัฐบาลแคนาดาที่รับผิดชอบใน

การประสานงานนโยบายและแผนงานด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเกิดจากผลรวมของความเสี่ยงของการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับมลพิษอากาศแต่ละชนิดที่ได้จากการการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดกับการเสียชีวิต ซึ่งกรณีของประเทศแคนาดาได้นำสารมลพิษ 3 ชนิด มาพิจารณาประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน สารมลพิษทั้งสามนี้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์แม้ในระดับต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ที่มีปัญหาทางสุขภาพ และถึงแม้ว่าก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะส่งผลกระทบต่อสุขภาพเช่นกัน แต่ผลจากการศึกษาพบว่าความเสี่ยงจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่มีนัยสำคัญต่อการเสียชีวิตจึงไม่ได้นำมาพิจารณาร่วมด้วย

ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพถูกจัดกลุ่มตามความระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพ ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงมากกว่า 10 ขึ้นไป (10+) แสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพตามดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของแคนาดา

ที่มา: Government of Canada (2021)

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพแบ่งเป็น 4 ช่วง ได้แก่ ช่วง 1-3 คือความเสี่ยงต่อสุขภาพต่ำช่วง 4-6 คือความเสี่ยงต่อสุขภาพปานกลางช่วง 7-10 คือความเสี่ยงต่อสุขภาพสูง และช่วง 10 ขึ้นไปคือ ความเสี่ยงต่อสุขภาพสูงมาก บางครั้งในช่วงสถานการณ์มลพิษที่รุนแรงระดับดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพอาจถึง 10 หรือมากกว่า 10 ในแต่ละระดับมีการให้แนวทางการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชากรที่เป็นกลุ่มเสี่ยงและประชากรทั่วไป โดยแนะนำวิธีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่สามารถทำได้ เพื่อลดการรับสัมผัสกับมลพิษทางอากาศ (Government of Canada, 2021) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์ของดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของแคนาดา

ความเสี่ยงด้านสุขภาพ	AQHI	**แนวการป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพ**	
		ประชากรที่มีความเสี่ยง	**ประชากรทั่วไป**
ต่ำ (Low)	1 - 3	สามารถทำกิจกรรมกลางแจ้งและออกกำลังกายตามคำแนะนำของแพทย์ได้ตามปกติ	คุณภาพอากาศเหมาะกับการทำกิจกรรมกลางแจ้งได้
ปานกลาง (Moderate)	4 - 6	ถ้ามีปัญหาเกี่ยวกับหัวใจหรือการหายใจควรลดการออกกำลังกายกลางแจ้งหรือปรับเปลี่ยนเป็นบางเวลา ควรปฏิบัติตามคำแนะนำของแพทย์ได้ตามปกติ	ทำกิจกรรมกลางแจ้งได้ตามปกติ
สูง (High)	7 - 10	เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจควรควรลดระยะเวลาการทำกิจกรรมกลางแจ้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเกิดอาการ เช่น ไอ หายใจลำบาก ตาอักเสบ แน่นหน้าอก ปวดศีรษะ หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ คลื่นไส้อ่อนเพลีย ควรปรึกษาแพทย์และทำตามคำแนะนำของแพทย์	หากมีอาการเช่น ไอ หายใจลาบาก ระคายเคืองตา ควรลดระยะเวลาการทากิจกรรมกลางแจ้ง
สูงมาก (Very high)	มากกว่า 10	เด็ก ผู้สูงอายุ และผู้ป่วยที่เป็นโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงการออกนอกอาคาร หากมีปัญหาเกี่ยวกับหัวใจหรือการหายใจควรพบแพทย์และทำตามคำแนะนำของแพทย์	ควรหลีกเลี่ยงหรือลดการทำกิจกรรมกลางแจ้งจนกว่าดัชนีจะลดต่ำลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งหากเกิดอาการผิดปกติ

ที่มา: ปรับปรุงจาก Government of Canada (2015)

2.4.2 หลักเกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกง

ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกงมีวัตถุประสงค์เช่นเดียวกับของประเทศแคนาดา กล่าวคือ ชี้ให้ประชาชนเห็นถึงความเสี่ยงด้านสุขภาพในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ จากภาวะมลพิษทางอากาศและแนะนำวิธีการป้องกันสุขภาพตามระดับความเสี่ยงที่เกิดขึ้น ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกงคำนวณจากความเสี่ยงต่อสุขภาพสะสมที่เกิดจากความเข้มข้นเฉลี่ย 3 ชั่วโมงของสารมลพิษทางอากาศ 4 ชนิด ประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือฝุ่นละออง

ขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยความเสี่ยงของสารมลพิษแต่ละชนิดที่นำมาพิจารณาได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้านสุขภาพของประชากรในท้องถิ่น โดยดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพกำหนดเป็นหมวดหมู่ตามระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพมีค่าตั้งแต่ 1 ถึงมากกว่า 10 แบ่งออกเป็น 5 ระดับ คือ ต่ำ ปานกลาง สูง สูงมาก และร้ายแรง แสดงดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 ระดับความเสี่ยงต่อสุขภาพตามดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกง
ที่มา: Environmental Protection Department (2021)

ระบบดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกงมีคำแนะนำด้านสุขภาพแตกต่างกับของแคนาดาโดยจำแนกกลุ่มประชากรที่ได้รับความเสี่ยงออกเป็น 4 กลุ่ม คือ ผู้สูงอายุ เด็ก ผู้ที่มีโรคประจำตัว (โรคหัวใจหรือโรคระบบทางเดินหายใจ) และคนงานกลางแจ้ง ซึ่งมีคำแนะนำแตกต่างกันไปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกง

ความเสี่ยงต่อสุขภาพ	AQHI	**ผู้ที่มีความอ่อนไหวต่อการได้รับสัมผัสมลพิษทางอากาศ**		**คนงานกลางแจ้ง***	**ประชาชนทั่วไป**
		ผู้ที่มีโรคหัวใจหรือโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ	**เด็กและผู้สูงอายุ**		
ต่ำ (Low)	1-3	ดำเนินชีวิตได้ปกติ	ดำเนินชีวิตได้ปกติ	ดำเนินชีวิตได้ปกติ	ดำเนินชีวิตได้ปกติ
ปานกลาง (Moderate)	4-6	ดำเนินชีวิตได้ปกติ คนที่กำลังมีปัญหาสุขภาพควรลดการออกกำลังกายกลางแจ้ง	ดำเนินชีวิตได้ปกติ	ดำเนินชีวิตได้ปกติ	ดำเนินชีวิตได้ปกติ
สูง (High)	7	ผู้ที่มีโรคหัวใจหรือโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจควรลดการออกกำลังกายกลางแจ้งและลดเวลาในการอยู่กลางแจ้งโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น ควรขอคำแนะนำจากแพทย์ก่อนจะเล่นกีฬา หรือหยุดการออกกำลังกายกลางแจ้ง	แนะนำให้เด็กและผู้สูงอายุลดการออกกำลังกาย (Physical exertion) กลางแจ้ง และลดระยะเวลาในการอยู่กลางแจ้งโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น	ดำเนินชีวิตได้ปกติ	ดำเนินชีวิตได้ปกติ

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ความเสี่ยงต่อสุขภาพ	AQHI	ผู้ที่มีความอ่อนไหวต่อการได้รับสัมผัสมลพิษทางอากาศ		คนงานกลางแจ้ง*	ประชาชนทั่วไป
		ผู้ที่มีโรคหัวใจหรือโรคเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ	เด็กและผู้สูงอายุ		
สูงมาก (Very high)	8-10	ผู้ที่มีโรคหัวใจหรือระบบทางเดินหายใจควรลดการออกแรงกลางแจ้งและลดเวลาการอยู่กลางแจ้งให้น้อยที่สุดโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น	แนะนำให้เด็กและผู้สูงอายุลดการออกกำลังกายกลางแจ้งและลดเวลาการอยู่กลางแจ้งให้น้อยที่สุดโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น	นายจ้างควรใช้มาตรการป้องกันที่เหมาะสมเพื่อปกป้องสุขภาพของพนักงาน เช่น ลดการทำงานกลางแจ้งและลดเวลาในการอยู่กลางแจ้งโดยเฉพาะพื้นที่ที่มีจราจรหนาแน่น	ประชาชนทั่วไปควรลดการออกกำลังกายกลางแจ้งและลดเวลาการอยู่กลางแจ้งโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีจราจรหนาแน่น
อันตราย (Dangerous)	10+	ผู้ที่ป่วยด้วยโรคหัวใจหรือระบบทางเดินหายใจควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายกลางแจ้งและหลีกเลี่ยงการอยู่กลางแจ้งโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น	ขอแนะนำให้เด็กและผู้สูงอายุควรหลีกเลี่ยงการออกกำลังกายกลาง แจ้งและหลีกเลี่ยงการอยู่กลางแจ้งโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น	นายจ้างทุกคนควรประเมินความเสี่ยงของงานและแนะนำให้ใช้มาตรการป้องกันที่เหมาะสมเพื่อปกป้องสุขภาพของพนักงาน เช่น ลดการทำงานกลางแจ้งและลดเวลาในการอยู่กลางแจ้งโดย เฉพาะในพื้นที่ที่มีจราจรหนาแน่น	ประชาชนทั่วไปควรลดการออกกำลังกายและอยู่กลางแจ้งให้น้อยที่สุดโดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีจราจรหนาแน่น

ที่มา: ปรับปรุงจาก Environmental Protection Department (2022)

* คำแนะนำนี้ไม่รวมถึงคนงานกลางแจ้งที่มีความอ่อนไหวต่อมลพิษทางอากาศ

2.5 ข้อดีและข้อจำกัดของดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

จากการรายงานสถานการณ์คุณภาพอากาศโดยใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพทั้งของประเทศแคนาดาและฮ่องกง จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพนำสารมลพิษทางอากาศหลายชนิดมาวิเคราะห์ร่วมกัน โดยเลือกสารมลพิษที่มีนัยสำคัญต่อการเสียชีวิตหรือเจ็บป่วยของประชาชนมาใช้ในการคำนวณในแต่ละพื้นที่ ทำให้ได้ตัวชี้วัดที่สะท้อนถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศหลายตัวร่วมกัน เพื่อนำมาใช้คำนวณแล้วนำมารายงานให้กับประชาชนตามกลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงแตกต่างกัน เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศให้กับประชาชน

ส่วนข้อจำกัดของดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพประการแรกมีข้อจำกัดในเรื่องการรวบรวมข้อมูลทางสุขภาพของประชาชากรในท้องถิ่น เช่น ข้อมูลการเสียชีวิตหรือการเจ็บป่วยในแต่ละประเทศ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการนำมาวิเคราะห์หาความเสี่ยงต่อสุขภาพ ในกรณีของบางประเทศที่มีข้อมูลทางสุขภาพไม่ครบถ้วน อาจทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่เป็นตัวแทนของประเทศนั้น ๆ ได้ และข้อจำกัดอีกประการหนึ่งคือยังไม่สามารถบอกได้ว่าสารมลพิษทางอากาศชนิดใดที่ทำให้เจ็บป่วยหรือเสียชีวิต

2.6 ความแตกต่างของดัชนีคุณภาพอากาศและดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

ค่าดัชนีคุณภาพอากาศและค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเป็นการรายงานข้อมูลคุณภาพอากาศเพื่อรายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศให้ประชาชนทราบถึงผลกระทบต่อสุขภาพเช่นเดียวกัน แต่ค่าดัชนีคุณภาพอากาศพิจารณาสารมลพิษทางอากาศ 6 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน ซึ่งเมื่อนำสารมลพิษแต่ละประเภทไปคำนวณแล้วสารมลพิษทางอากาศประเภทใดมีค่าดัชนีสูงสุดจะนำมารายงานเป็นดัชนีคุณภาพอากาศ ณ ช่วงเวลานั้น โดยดัชนีคุณภาพอากาศ 100 จะมีค่าเทียบเท่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป หากดัชนีคุณภาพอากาศเกิน 100 แสดงว่าความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศมีค่าเกินค่ามาตรฐานและคุณภาพอากาศ ณ ช่วงเวลานั้น เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน

ส่วนดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพไม่ได้เชื่อมโยงกับค่ามาตรฐานของสารมลพิษทางอากาศแต่จะคำนวณจากความเสี่ยงต่อสุขภาพที่เกิดจากความเข้มข้นของสารมลพิษแต่ละประเภท โดยความเสี่ยงของสารมลพิษแต่ละประเภทที่นำมาใช้คำนวณร่วมกันนั้นได้มาจากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสารมลพิษทางอากาศและข้อมูลสุขภาพ (อัตราการเจ็บป่วยและเสียชีวิต) ของประชากรในแต่ละประเทศ ยกตัวอย่างของสารมลพิษทางอากาศที่ประเทศแคนาดาและฮ่องกงนำมาใช้นั้นแตกต่างกัน โดยดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของประเทศแคนาดาจะพิจารณาสารมลพิษทางอากาศ 3 ชนิด

ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซโอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ส่วนดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกงจะพิจารณาสารมลพิษทางอากาศ 4 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละออง (ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน) ก๊าซโอโซน และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ดังนั้นจะเห็นว่าสารมลพิษทางอากาศที่นำมาใช้จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับผลจากการวิเคราะห์ในแต่ละพื้นที่ว่าสารมลพิษทางอากาศชนิดใดมีความเสี่ยงอย่างมีนัยสำคัญต่ออัตราการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต

2.7 สถิติที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาดัชนีคุณภาพาอากาศเชิงสุขภาพ จำเป็นต้องใช้เครื่องมือทางสถิติหลายชนิด ซึ่งการศึกษาการถดถอยแบบอนุกรมเวลามีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบความสัมพันธ์ระยะสั้นระหว่างการสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ สภาพอากาศและผลลัพธ์ด้านสุขภาพ เช่น การเสียชีวิตรายวัน ผู้ป่วยที่เข้ารับรักษาในโรงพยาบาลรายวัน โดยการวิเคราะห์ในลักษณะนี้ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของข้อมูลอนุกรม ซึ่งข้อมูลดิบจะต้องเป็นรูปแบบระยะยาว (Bhaskaran, Gasparrini, Hajat, Smeeth, & Armstrong, 2013)

2.7.1 การวิเคราะห์สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic)

สถิติเชิงพรรณนาเป็นสถิติที่ใช้สำหรับการอธิบายคุณลักษณะของข้อมูล เป็นสถิติที่ง่ายที่สุดในการวิเคราะห์และนำเสนอข้อมูล และการแปลผลไม่ซับซ้อน โดยจำแนกออกเป็น 2 ประเภท คือ การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง (Measure of central tendency) และการวัดการกระจาย (Measure of dispersion หรือ Variability) ค่าสถิติที่ใช้ในการวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง คือค่าเฉลี่ย (Mean) มัธยฐาน (Mean) และฐานนิยม (Mode) การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลางมีความสัมพันธ์กับการกระจายของข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่มีค่าสูงหรือต่ำมากเกินกว่าปกติ (Outliers) มีโอกาสทำให้การวัดมีคลาดเคลื่อน สำหรับในกรณีที่ข้อมูลมีความแปรปรวนมาก ค่าสถิติที่ใช้ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) สัมประสิทธิความแปรปรวน (Coefficient of Variation: CV) และค่า Interquartile Range (IQR) (ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์, 2557)

2.7.2 อนุกรมเวลา (Time Series)

อนุกรมเวลา คือ เซตของข้อมูลเชิงปริมาณที่จัดเก็บในช่วงเวลาที่ต่อเนื่องกัน (Continuous) โดยข้อมูลอนุกรมเวลา (Time Series data) เป็นชุดของข้อมูลที่เก็บรวบรวมตามระยะเวลาเป็นช่วง ๆ อย่างต่อเนื่องกันจะอยู่ในลักษณะที่เป็นข้อมูลรายปี รายไตรมาส หรือรายเดือนก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการนำไปใช้ประโยชน์ (เฉลิมพล จตุพร, 2562)

2.7.3 แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model: GLM)

แบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป เป็นการวิเคราะห์ทางสถิติที่มีการนำมาใช้ในงานเป็นจำนวนมาก โดยเป็นแบบจำลองหลักเชิงประยุกต์ที่ถูกใช้ในการวิจัย โดยใช้สำหรับการตีความและการตรวจสอบพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นแบบจำลองทางสถิติที่เป็นพื้นฐานทางคณิตศาสตร์และกระบวนการเฉพาะที่สร้างบทบาทและความสำคัญเชิงเปรียบเทียบของตัวแปรต่าง ๆ โดยเป็นตัวแบบที่พิจารณาค่าของตัวแปรตาม (Y) จากการทราบค่าของตัวแปรอิสระ (X) สำหรับตัวประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไปจะทำการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Parameter estimation by Least-square method) (Ravindra, Rattan, Mor, & Nath, 2019; Stieb et al., 2012)

2.7.3.1 แบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (Generalized Linear Model: GLM_s)

แบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (GLM_s) ถูกเสนอโดย Nelder และ Wedderburn ในพ.ศ.2515 เป็นวิธีการทางสถิติที่มีแนวคิดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตามที่ไม่มีข้อจำกัดว่าการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนในตัวแปรตามจะต้องเป็นแบบปกติเท่านั้น โดยแบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (GLM_s) พัฒนามาจากแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (GLM) ซึ่งเป็นการอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม (Response Variable; Y) และตัวแปรอิสระ (Explanatory Variables; X) หรือตัวแปรพยากรณ์ (Predictor Variables) ที่ตัวแบบสามารถเขียนให้อยู่ในรูป

$$y = g(\mu_{y|x}) + \varepsilon \tag{1}$$

โดยที่ $g(\mu_{y|x})$ เป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ยของ y เมื่อกำหนด x และเป็นฟังก์ชันทางเดียวที่สามารถหาอนุพันธ์ได้

การวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (GLM) มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ โดยตัวแปรสุ่ม (Y) ต้องเป็นตัวแปรสุ่มต่อเนื่อง (Continuous Random Variable) ค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) และความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนต้องมีค่าคงที่ (Constant Variance) ซึ่งถ้าความคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงปกติและมีความแปรปรวนคงที่จะสามารถพิสูจน์ได้ว่าตัวแปรตาม (Y) ก็จะมีการแจกแจงปกติและมีค่าความแปรปรวนคงที่เช่นเดียวกัน ซึ่งลักษณะของข้อมูลส่วนใหญ่มักจะไม่เป็นไปตามข้อจำกัดในการวิเคราะห์ของตัวแบบเชิงเส้นทั่วไป(GLM) ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงได้ใช้แบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (GLM_s) ในการพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรเพื่อให้สามารถรองรับกับข้อมูลที่มีค่าต่อเนื่องแต่ไม่ได้มีการแจกแจงปกติ ตลอดจนข้อมูลที่มีค่าความแปรปรวนไม่คงที่ และที่สำคัญคือในวิธีการวิเคราะห์แบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป จะมีทางเลือกให้เลือกหลากหลาย และการแจกแจงปกติและ

ฟังก์ชันเชื่อมโยงมีให้เลือกหลายรูปแบบ ซึ่งเป็นอิสระกับส่วนประกอบเชิงสุ่ม และด้วยสาเหตุที่แบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (GLM_s) มีรากฐานมาจากแบบจำลองเชิงเส้น (GLM) โดยแบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (GLM_s) นั่นตัวแปร (Y) ต้องมีฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (Probability Function : $f(y)$ อยู่ในวงศ์เลขชี้กำลัง (Exponential Family Form) โดยโครงสร้างของแบบจำลองเชิงเส้นประกอบด้วย 3 องค์ประกอบ คือ แบบสุ่ม (Random) แบบเชิงระบบ (Systematic) และฟังก์ชันเชื่อมโยง (Link Function) (วรติพร จันทร์กลั่น, 2560)

แบบสุ่ม (Random) เป็นองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับคุณลักษณะของการแจกแจงของตัวแปรตาม (Y) โดยตัวแปรตามจะมีค่าเป็นอิสระต่อกันและมีการแจกแจงแบบปกติหรือไม่ปกติก็ได้แต่ต้องเป็นการแจกแจงที่อยู่ในชนิดของตระกูลเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Family) ได้แก่ Normal, Poisson, Gamma และ Inverse Gaussian โดย Normal เป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง สามารถปรากฏในข้อมูลหลากหลายประเภท Binomial เป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้ได้กับข้อมูลที่เป็นการทดลองซ้ำ ๆ หลายครั้ง โดยมีผลลัพธ์เพียง 2 ค่า คือ สำเร็จและไม่สำเร็จ Poisson เป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่มแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้ได้กับข้อมูลที่เป็นการทดลองการนับจำนวนครั้งของเหตุการณ์ที่สนใจในระยะเวลาหรือเกิดขึ้นในขอบเขตที่กำหนด Gamma เป็นการแจกแจงของตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง ใช้ในการจำลองแบบเวลาที่ใช้ก่อนจะเกิดเหตุการณ์ และ Inverse Gaussian เป็นการแจกแจงที่นำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาด้านชีววิทยา อุทกภูมิศาสตร์ เป็นต้น ทั้งนี้การแจกแจงของตระกูลเอ็กซ์โพเนนเชียลต้องมีคุณสมบัติ คือ การแจกแจงสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนได้ และความแปรปรวนเป็นฟังก์ชันของค่าเฉลี่ย

แบบเชิงระบบ (Systematic) เป็นการนำตัวแปรอิสระมากำหนดเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นเพื่อใช้ในการพยากรณ์ตัวแปรตาม

$$E(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \ldots + \beta_p X_{pi} \quad (2)$$

ซึ่งการรวมตัวในลักษณะเชิงเส้นของตัวแปรต้น $(\beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \ldots + \beta_p X_{pi})$ เรียกว่าตัวพยากรณ์เชิงเส้น (Linear Predictor) ซึ่งเป็นการเขียนตัวแปรต้นให้อยู่ในรูปของตัวประมาณเชิงเส้น (n_i) แสดงในรูปสมการได้ดังนี้

$$n_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \ldots + \beta_p X_{pi} \quad (3)$$

กำหนดให้ n_i คือขนาดของข้อมูลตัวอย่างโดยประกอบด้วยตัวแปรตาม $Y_1, Y_2,..., Y_i$ เมื่อ i เท่ากับ 1,2,..., n และตัวแปรต้น X_i เมื่อ i เท่ากับ 1,2,..., p

ฟังก์ชันเชื่อมโยง (Link Function) เป็นฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบแบบสุ่มและองค์ประกอบเชิงระบบ โดยฟังก์ชันเชื่อมโยง $(g(.))$ มีคุณสมบัติสามารถหาอนุพันธ์ได้ (Differentiable) และเป็นฟังก์ชันทางเดียว (Monotonic) โดยฟังก์ชันเชื่อมโยงสามารถอธิบายด้วยค่าเฉลี่ย $E(Y_i) = \mu_i$ ซึ่งขึ้นอยู่กับตัวทำนายเชิงเส้น

$$g(\mu_i) = n_i \tag{4}$$

ฟังก์ชันเชื่อมโยงสามารถเขียนในรูปแบบผกผันได้ดังนี้

$$\mu_i = g^{-1}(n_i) \tag{5}$$

แบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไปมีรูปแบบการกระจายตัวของตัวแปรตาม (Y_i) และฟังก์ชันเชื่อมโยงสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รูปแบบการกระจายตัวของตัวแปรตามและฟังก์ชันเชื่อมโยง

การกระจาย	ลักษณะข้อมูล	ชื่อฟังก์ชันเชื่อมโยง	ฟังก์ชันเชื่อมโยง	รูปแบบผกผันของฟังก์ชันเชื่อมโยง
Normal	(-∞,∞)	Identity	μ_i	n_i
Gamma	(0,+∞)	Inverse	μ_i^{-1}	n_i^{-1}
Inverse Gaussian	(0,+∞)	Inverse squared	μ_i^{-2}	$n_i^{-\frac{1}{2}}$
Poisson	0,1,2,...	Log	$\ln(\mu)$	$\exp(n_i)$

ที่มา: ปรับปรุงจาก วรติพร จันทร์กลั่น (2560)

2.7.3.2 แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป (Generalized Additive Models: GAM)

แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) ซึ่งพัฒนาต่อมาจากแบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (GLM_s) เพื่อนำมาใช้ในกรณีที่ไม่แน่ใจเกี่ยวกับประเด็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง ดังนั้นวิธีการนี้จึงเป็นทางเลือกในการนำเทคนิคเส้นโค้งราบเรียบ (Smoothing) ประกอบด้วยฟังก์ชัน Spline หรือ Kernel smoothers มาใช้ในการสร้างกราฟเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล โดยในทางปฏิบัติสามารถตัดสินใจเลือกใช้แบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (GLM_s) หรือ แบบจำลองเชิงบวก

สมนัยทั่วไป (GAM) ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นหลัก โดยแบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (GLM_s) มีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นการประมาณค่า การอ้างอิง และการแปลความหมายของค่าสัมประสิทธิ์ถดถอยที่ได้เป็นหลัก ขณะที่แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) มีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาใช้ในการอธิบายกราฟแนวโน้มเชิงเส้นโค้งที่เกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลลัพธ์กับตัวแปรร่วมที่นำมาพิจารณาเป็นหลัก (พงษ์เดช สารการ & ฎลกร จำปาหวาย, 2563) อีกทั้งแบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพด้านการวิเคราะห์ความถดถอยแบบนอนพาราเมตริก (Non-parametric) ซึ่งมีความยืดหยุ่นในการกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม มีความสามารถในการคนหารูปแบบเองเพื่อได้ฟังก์ชันที่ให้ Curve เหมาะสม โดยทำการรวมค่าความสัมพันธ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน และสร้างเสนโคงอย่างอัตโนมัติจากขอมูลที่มีอยู่ด้วยการคำนวณหาผลรวมของฟงกชันทำใหเรียบของตัวแปรอิสระ โดยตัวแปรตาม (Y) มีรูปแบบการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Family Distribution) ที่แตกต่างไปจากแบบจำลองเชิงเสน คือ ใชตัวแปรอิสระ (X) เป็นตัวกำหนดใหแบบจำลองมีความเหมาะสม (พัสกร สิงหโต & สมชาย ปราการเจริญ, 2553) โดยทั่วไปแสดงในรูปสมการดังนี้

$$g(E(Y_t)) = \beta_0 + \beta_1 x_{1t} + \beta_2 x_{2t} + \ldots + \beta_p x_{pt} + f_1(x_{p+1,t}) + \cdots + f_m(x_{p+m,t}) \qquad (6)$$

เมื่อ Y_t เป็นตัวแปรตอบสนอง ณ เวลา t, $E(Y_t)$ คือค่าที่คาดหวังของ Y_t และ $g(E(Y_t))$ คือ ฟังก์ชันลิงก์ที่เชื่อมโยงค่าที่คาดไว้กับตัวแปรทำนาย $x_1, x_2, \ldots, x_p$พารามิเตอร์ $\beta_1, \ldots, \beta_p$ คือ สัมประสิทธิ์การถดถอย การแจกแจงของ Y_t เป็นการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีค่าเฉลี่ย μ_t และพารามิเตอร์มาตราส่วน ϕ และ $f_1, \ldots, f_m$ เป็นฟังก์ชันที่ราบรื่นของตัวแปรร่วม $x_{p+1}, \ldots, x_{p+m}$ ตามลำดับ เมื่อตัวแปรการตอบสนองเป็นการนับเหตุการณ์บางอย่าง เช่น จำนวนผู้เสียชีวิตในหนึ่งวัน จึงถือว่าการตอบสนองของตัวแปรตาม (Y) มีการแจกแจงแบบปัวซองโดยมีจำนวนที่คาดหวังของ Y_i คือ $E(Y_t) = \mu_t$ นั่นคือ $Y_t \sim poisson(\mu_t)$ สำหรับ t = 1,2,...,n โดยทั่วไปฟังก์ชันลิงก์มักจะเป็น log ดังนั้น $g(\mu_t) = log\ \mu_t$ (Wood, 2017)

2.7.4 ฟังก์ชันทำให้เรียบ (Smoothing Function)

สำหรับการควบคุมตัวแปรฤดูกาลหรือตัวแปรที่มีข้อมูลระยะยาวที่มีอิทธิพลต่อผลลัพธ์จำเป็นต้องควบคุมรูปแบบในแบบจำลองการถดถอยอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีการในการควบคุมฤดูกาล หรือสิ่งรบกวนอื่น ๆ เพื่อลดความผันผวนของข้อมูลโดยวิธีการฟังกชันเสมือนพหุนามกำลังสาม (Cubic splines) มีความใกล้เคียงกับฟังก์ชัน $f(y)$ จริงมากที่สุดและเสนโคงที่ลากตอ ๆ กันมีความต่อเนื่อง (Smooth) เหมือนเป็นเสนเดียวกัน ในทางปฏิบัติต้องสร้างชุดของตัวแปรพื้นฐานซึ่ง

เป็นหน้าที่ของตัวแปรหลัก และจากนั้นรวมตัวแปรพื้นฐานเหล่านี้ไว้ในแบบจำลองปัวส์ซองซึ่งข้อดี คือ สามารถครอบคลุมรูปแบบระยะยาวหรือฤดูการได้อย่างต่อเนื่อง ส่วนข้อเสีย คือ มีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์มากกว่าแบบอื่น นอกจากนี้อาจยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่รบกวน เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นต้น (Bhaskaran et al., 2013)

ฟังก์ชันทำให้เรียบ (f_j) ของตัวแปรร่วมมักสร้างขึ้นโดยใช้เส้นโค้งการถดถอย หรือเส้นโค้งที่ปรับให้เรียบด้วยพารามิเตอร์การปรับให้เรียบ ($\boldsymbol{\lambda}$) โดยเส้นโค้งการถดถอยสามารถแสดงเป็นการรวมเชิงเส้นของชุดฟังก์ชันพื้นฐานที่มีขอบเขตจำกัดซึ่งไม่ได้ขึ้นอยู่กับตัวแปรตาม (Y) ซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการคาดคะเนและการประมาณค่า สำหรับการปรับเส้นโค้งให้พอดีกับพหุนามทีละส่วนกับช่วงของตัวแปรร่วม z_j ที่แบ่งส่วนด้วยนอต (Knots) ซึ่งพหุนามสามารถเป็นองศา d ใด ๆ ก็ได้ แต่โดยปกติอยู่ในช่วง [0,3] และโดยทั่วไป คือ ดีกรี 3 โดยเส้นโค้งลูกบาศก์ที่มีนอต K มีแบบจำลองดังนี้:

$$Y_t = b_0 + b_1 x_{jt} + b_2 x_{jt}^2 + b_3 x_{jt}^3 + b_4 h(x_{jt}, \xi_1) + b_5 h(x_{jt}, \xi_2) + \cdots + b_{K+3} h(x_{jt}, \xi_K) \quad (7)$$

โดยที่ $h(x_{jt}, \xi)$ เป็นฟังก์ชันพื้นฐานกำลังที่ถูกตัดทอนต่อนอตที่กำหนดเป็น

$$h(x_{jt}, \xi) = \begin{cases} (x_{jt} - \xi)^2 & if \ \ x_{jt} > \xi \\ 0 & otherwise \end{cases}$$

เส้นโค้งลูกบาศก์กับชุดข้อมูลที่มี K นอตทำให้พอดีกัน จึงทำการถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด และตัวทำนาย K+3 ซึ่งจำนวนนี้เป็นการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยทั้งหมดของ K+4 ด้วยเหตุนี้การใส่เส้นโค้งลูกบาศก์ที่มี K นอตจึงใช้องศาอิสระ K+4

ฟังกชันเสมือนพหุนามกำลังสาม (Cubic splines) โดยหลักการของเส้นโค้ง คือ จะแทนจุดขอมูล n+1 จุด ดวยเส้นโค้งจำนวน n เสน โดยจะเริ่มจากจุดที่งายที่สุด คือ กรณีเส้นโค้งเป็นเส้นตรง (linear spline) ตอไปก็คือ เสนโคงอันดับสอง (Palabola) เรียกวา Quadratic spline และสุดท้ายที่ใชกันมากที่สุดคือ เสนโคงอันดับสาม เรียกวา Cubic spline โดยจะมีสมการดังนี้

$$S_j(\mathrm{x}) \ = \ a_j \ + \ \mathrm{b}_j \ (\mathrm{x} - x_j \ ) \ + \ c_j \ (\mathrm{x} - x_j \ )^2 + \ d_j (\mathrm{x} - x_j)^3 \qquad (8)$$

โดยที่ $S_j(x)$ และ $0 \ \leq \ \mathrm{j} \ \leq \ \mathrm{n} - 1$ เปนเส้นโค้งของชวง $x_i, x_j + 1$ หากในกรณีที่เส้นโค้งมีสภาวะ $S"\ (x_0) \ = \ 0$ และ x_n จะเรียกวา Natural spline

เงื่อนไขธรรมชาติ (Natural spline) คือ เส้นโค้งการถดถอยที่มีข้อจำกัดของขอบเขตเพิ่มเติม ซึ่งข้อจำกัดเพิ่มเติมนี้หมายความว่าโดยทั่วไปแล้วเส้นโค้งธรรมชาติจะสร้างการประมาณที่เสถียรกว่าที่ขอบเขต เส้นโค้งลูกบาศก์ธรรมชาติมีองศาอิสระ K+4-5 เนื่องจากข้อจำกัดที่จุดสิ้นสุด ซึ่งวิธีตัดสินใจเลือกใช้องศาอิสระ (df) กี่องศา คือ การลองทดสอบใช้นอตหลายๆ แบบและดูว่าที่นอตใดทำให้เส้นโค้งราบเรียบที่สุด (James, Witten, Hastie, & Tibshirani, 2013)

2.7.5 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient)

โดยทั่วไปนิยมใช้สัญญาลักษณ์ r แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของกลุ่มตัวอย่าง และ ρ แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของประชากร ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่ใช้วัดขนาดของความสัมพันธ์กันระหว่างตัวแปร มี 2 ลักษณะ คือ การบอกระดับหรือขนาดของความสัมพันธ์จะใช้ตัวเลขของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ หาก ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีค่าเข้าใกล้ -1 หรือ 1 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับสูง แต่หากมี ค่าเข้าใกล้ 0 แสดงถึงการมีความสัมพันธ์กันในระดับน้อยหรือไม่มีเลย โดยทั่วไปการพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ใช้เกณฑ์ดังนี้

ค่า r มีระดับของความสัมพันธ์

0.90 - 1.00 มีความสัมพันธ์กันสูงมาก

0.70 - 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง

0.50 - 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง

0.30 - 0.50 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ

0.00 - 0.30 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

เครื่องหมาย +,- หน้าตัวเลขสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะบอกถึงทิศทางของความสัมพันธ์ r มีเครื่องหมาย + หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางเดียวกัน (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง อีกตัวหนึ่งจะมีค่าสูงไปด้วย) r มีเครื่องหมาย - หมายถึง การมีความสัมพันธ์กันไปในทิศทางตรงกันข้าม (ตัวแปรหนึ่งมีค่าสูง ตัวแปรอีกตัวหนึ่งจะมีค่าต่ำ) ยกเว้นค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์บางชนิดที่มีลักษณะบอกได้เพียงขนาด หรือระดับของความสัมพันธ์เท่านั้น ไม่สามารถบอกทิศทางของความสัมพันธ์ได้ (วรติพร จันทร์กลั่น, 2560)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศที่ส่งผลต่อการเจ็บป่วยและการเสียชีวิต

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตจากผลกระทบของมลพิษทางอากาศมีการศึกษาอย่างแพร่หลายและยังคงมีการศึกษาอย่างต่อเนื่องมาตลอดทั้งในประเทศไทย

และตางประเทศ ซึ่งใช้ข้อมูลและมีวิธีการศึกษาคล้ายคลึงกันดังงานวิจัยในไทยของ นิตยา วัจนะภูมิ (2550) ที่ได้ศึกษาผลกระทบเฉียบพลันของมลพิษทางอากาศต่อการเสียชีวิตในกรุงเทพมหานคร มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเสียชีวิตรายวันจากทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุและการฆาตกรรมของประชาชนในกรุงเทพมหานครกับการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และก๊าซมลพิษตัวอื่นในพ.ศ. 2539 ถึงพ.ศ. 2544 โดยใช้ข้อมูลการเสียชีวิตรายวันที่บันทึกในใบมรณบัตรจำแนกตามเพศและอายุ จากกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งจำแนกการเสียชีวิตตามระบบการลงรหัสโรคสากล (International Classification of Diseases version 10; ICD-10) และข้อมูลปริมาณมลพิษอากาศรายวัน และข้อมูลอุตุนิยมวิทยารายวันจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศต่าง ๆ จากกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา วิธีการทางสถิติใช้การถดถอยแบบปัวส์ซอง (Poisson Regression) ในตัวแบบเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) มีการควบคุมตัวแปรอื่นในแบบจำลอง ได้แก่ เวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง วันในสัปดาห์ ควบคุมเวลาด้วย locally weight (loss) smooth function โดยจะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเสียชีวิตในแต่ละเวลาของการรับสัมผัส เช่น การรับสัมผัส ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และก๊าซในวันเดียวกัน (lag 0) และการรับสัมผัส ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และก๊าซในวันที่ผ่านมาตั้งแต่ 1-5 วัน (lag1-5) และค่าเฉลี่ยการรับสัมผัส ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซอื่น ๆ สะสมตั้งแต่ 2-5 วัน (2 day MA – 5 day MA) ผลการวิเคราะห์พบว่า lag0 มีผลกระทบต่อการเสียชีวิตมากที่สุด โดยการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อการเสียชีวิตรายวัน พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน รายวันเพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีผลให้จำนวนคนเสียชีวิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.4 ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (95%,CI 0.2-0.6) ซึ่งพบความสัมพันธ์ทั้งในเพศหญิงและเพศชาย ในกลุ่มอายุ 19-50 ปี และกลุ่มอายุ 50 ปีขึ้นไป และพบความสัมพันธ์ระหว่างการเสียชีวิตกับก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน

การศึกษาการประเมินผลกระทบของมลพิษทางอากาศในไทยอีกหนึ่งงานที่เป็นโครงการสำคัญ คือ โครงการสาธารณสุขและมลพิษทางอากาศในเอเชียชื่อโครงการ (PAPA Project) ในพ.ศ. 2542 ถึงพ.ศ. 2547 เพื่อประเมินผลกระทบต่อการเสียชีวิตจากฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานครประเทศไทย Vichit-Vadakan, Vajanapoom, and Ostro (2008) ที่ได้รวบรวมข้อมูลการเสียชีวิตรายวันของประชากรทุกวัยจากฐานข้อมูลของกระทรวงสาธารณสุข ซึ่งจำแนกการเสียชีวิตตามระบบการลงรหัสโรคสากล (ICD-10) ซึ่งมีหลายสาเหตุของการเสียชีวิต เช่น การเสียชีวิตทั้งหมดที่ไม่ใช่อุบัติเหตุและการฆาตกรรม โรคเฉพาะระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคหัวใจขาดเลือด โรคหลอดเลือดสมอง ความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง โรคหอบหืด และความชรา เป็นต้น อีกทั้งจำแนกการเสียชีวิตที่ไม่ใช่อุบัติเหตุตามกลุ่มอายุและเพศด้วย และรวบรวมข้อมูลความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศรายวัน ประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10

ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนตริกออกไซด์ และก๊าซโอโซน รวมถึงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวันจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งใช้วิธีการในการวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา วิธีการทางสถิติใช้การถดถอยแบบปัวส์ซอง (Poisson Regression) และควบคุมตัวแปรอื่นในแบบจำลอง ได้แก่ แนวโน้มเวลา ฤดูกาล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ในสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ โดยใช้ฟังก์ชัน Natural cubic spline กำหนดให้ df เท่ากับ 4-6 ต่อปี สำหรับการปรับแนวโน้มเวลา และ df เท่ากับ 3 ต่อปี สำหรับปรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเสียชีวิตในแต่ละการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในวันเดียวกัน และการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศ 5 วันย้อนหลัง (lag 0 - lag4) และการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศเฉลี่ยย้อนหลัง 1 วัน (lag 01) และการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศเฉลี่ยย้อนหลัง 5 วันย้อนหลัง (lag 04) ซึ่งทั้งหมดใช้ซอฟต์แวร์ R ในการวิเคราะห์ ซึ่งผลลัพธ์ทั้งหมดถูกนำเสนอเป็นความเสี่ยงส่วนเกิน (Excess Risk) ต่อ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ซึ่งคำนวณจากความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk) ดังสมการ 17

$$ER = (RR - 1) \times 100 \quad (9)$$

ผลจากการศึกษาพบว่าที่ lag01 จะเห็นความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติกับการเสียชีวิตด้วยโรคทั้งหมดที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ อัตราการเสียชีวิตจากโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด และผู้มีอายุ 65 ปีขึ้นไป มีความสัมพันธ์เชิงบวก ซึ่งความเสี่ยงของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนที่เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นของผู้ป่วยด้วยโรคทั้งหมดที่ไม่ได้เกิดจากอุบัติเหตุ คือ ร้อยละ 1.3 ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (0.8–1.7) ผู้ป่วยโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด คือ ร้อยละ 1.9 (95%CI, 0.8–3.0) และผู้มีอายุ 65 ปีขึ้นไป คือ ร้อยละ 1.5 (95%CI, 0.9–2.1) นอกจากนี้ผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีกระทบมากที่สุดในคนที่มีอายุมากกว่าหรือเท่ากับ 75 ปี อย่างไรก็ตามการเสียชีวิตมีความสัมพันธ์กับทุกกลุ่มอายุอื่น ๆ ซึ่งกรณีของกรุงเทพมหานคร ผลการวิเคราะห์ทางสถิติยังชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างอัตราการเสียชีวิตรายวันและความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน รายวัน โดยสาเหตุที่มีนัยสำคัญมีหลายสาเหตุไม่ว่าจะเป็นการจราจร แหล่งอุตสาหกรรม แหล่งพื้นที่ในอาคารจากธูป และการปรุงอาหาร อีกทั้งคนไทยหลายคนทำงานและทานอาหารนอกบ้านทำให้ระยะเวลาการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศมากขึ้นตามเวลาที่ใช้นอกบ้าน และยังมีปัจจัยทางเศรษฐกิจ สถานะทางสังคม สถานะสุขภาพ อัตราการสูบบุหรี่ที่สูงขึ้น และการเจ็บป่วยร่วมด้วย

สำหรับในต่างประเทศก็มีการศึกษาเกี่ยวกับประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากมลพิษทางอากาศเป็นจำนวนมากดังงานวิจัยของ Tian et al. (2018) ได้ศึกษาผลกระทบระยะสั้นของมลพิษทางอากาศต่อความเสี่ยงของการเกิดโรคหลอดเลือดสมองชนิดสมองขาดเลือด (Ischemic Stroke) ใน 172 เมืองในประเทศจีนตั้งแต่พ.ศ. 2557 ถึงพ.ศ. 2559 โดยรวบรวมข้อมูลรายวันของ

ความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศรายวัน ประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซโอโซนเฉลี่ยรายวันสูงสุด 8 ชั่วโมง ที่ได้จากฐานข้อมูลแห่งชาติคุณภาพอากาศของรัฐบาลจีน และข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายวัน จากระบบบริการเผยแพร่ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของจีน ในการศึกษานี้ได้ตรวจสอบผลกระทบต่อการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศในระยะสั้นต่อการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลรายวันด้วยโรคหลอดเลือดสมอง ซึ่งวิธีการศึกษาแบ่งเป็นสองขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกวิเคราะห์อนุกรมเวลา (Time-series analysis) โดยใช้การถดถอยปัวส์ซอง (Poission Regression) ในแบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) เพื่อประมาณผลกระทบของสารมลพิษทางอากาศในแต่ละเมือง และมีตัวแปรร่วมที่รบกวนรวมในแบบจำลองด้วย ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ วันหยุดนักขัตฤกษ์ วันในสัปดาห์ โดยควบคุมแนวโน้มของฤดูกาลและเวลาด้วยฟังก์ชัน Natural Cubic Spline ที่มีองศาอิสระเท่ากับเจ็ดต่อปี (df=7) และให้ df =3 สำหรับปรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เฉลี่ยย้อนหลัง 3 วัน และขั้นตอนที่สองทำการวิเคราะห์อภิมานเพื่อรวมค่าประมาณเข้าด้วยกันด้วยการวิเคราะห์อภิมานชนิดตัวแปรสุ่ม (Random-effects meta-analysis) ซึ่งผลจากการศึกษาสารมลพิษทางอากาศที่วิเคราะห์ทั้งหมดยกเว้นก๊าซโอโซน แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญของวันที่รับสัมผัสสารมลพิษในวันปัจจุบัน (lag0) พบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซนที่เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และคาร์บอนมอนอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น 1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สัมพันธ์กับการนอนโรงพยาบาลสำหรับโรคหลอดเลือดสมองร้อยละ 0.34 ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (0.20% ±0.48) ร้อยละ 1.37 ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (1.05 ± 1.70) ร้อยละ1.82 ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (1.45 ± 2.19) ร้อยละ 0.01 ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (−0.14 ± 0.16) และร้อยละ 3.24 (2.05 ± 4.43) ตามลำดับ สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ยังคงมีความสำคัญในแบบจำลองมลพิษสองแบบ แต่ไม่สัมพันธ์กับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยเฉลี่ยแล้วเมืองทางตอนเหนือของจีนจะมีปริมาณสารมลพิษทางอากาศสูงขึ้นและอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพันธ์ลดลง

Chen et al. (2017) ได้ศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพเฉียบพลันจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระยะสั้นระหว่าง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และอัตราการเสียชีวิตเฉพาะสาเหตุรายวันในประเทศจีน ซึ่งใช้ข้อมูลข้อมูลการเสียชีวิตรายวันตั้งแต่มกราคมพ.ศ. 2556 ถึงธันวาคมพ.ศ. 2558 จากระบบจุดเฝ้าระวังโรคของจีน (China’s Disease Surveillance Points system; DSPS) และศูนย์การควบคุมและป้องกันโรค โดยแยกการเสียชีวิตเฉพาะสาเหตุรายวัน กำหนดโดยการจำแนกโรคด้วย ICD10 สำหรับการเสียชีวิตทั้งหมดจากสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ โรคหัวใจและหลอดเลือด ความดันโลหิตสูง โรคหลอดเลือดหัวใจ

โรคหลอดเลือดสมอง โรคระบบทางเดินหายใจ และโรคโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง ซึ่งจำแนกตามเพศอายุ ช่วง 5–64 65–74 และ 75 ปีขึ้นไป และใช้ข้อมูลฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน รายวัน จากแพลตฟอร์มการเผยแพร่ตามเวลาจริงจากสถานีตรวจวัด โดยกระทรวงการปกป้องสิ่งแวดล้อมของจีน โดยใช้วิธีการทำใช้การวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลาใน 272 เมืองที่เป็นตัวแทนของประเทศจีน โดยแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกใช้วิธีแบบอนุกรมเวลา โดยใช้ประมาณค่าด้วยในตัวแบบเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) ที่มีการถดถอยแบบปัวส์ซอง (Poisson Regression) และใช้ฟังก์ชัน Natural Cubic Spline ในการปรับแนวโน้มของเวลา วันในสัปดาห์ และสภาพอากาศ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ กำหนดให้ df เท่ากับ 6 สำหรับปรับอุณหภูมิเฉลี่ย 3 วันย้อนหลัง และ df เท่ากับ 3 สำหรับปรับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 3 วันย้อนหลัง ในขั้นตอนที่สองใช้แบบจำลองลำดับชั้นแบบเบย์ถูกนำไปใช้เพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยตามภูมิภาค และค่าประมาณเฉลี่ยของประเทศระหว่างความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และการเสียชีวิตเฉพาะสาเหตุรายวัน ซึ่งจากการใช้ lag01 (ค่าเฉลี่ยของการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในวันปัจจุบันกับวันก่อนหน้า 1 วัน) ดูผลกระทบของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เป็นหลัก เนื่องจากมีนัยสำคัญทางสถิติมากสุด แต่ยังคงใช้ lag 0 1 และ 2 (การรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในวันปัจจุบัน และย้อนหลังตั้งแต่ 1-2 วัน) ดูผลกระทบฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ด้วยเช่นกัน ซึ่งผลการศึกษาพบว่าอัตราการเสียชีวิตจากโรคหัวใจและโรคหลอดเลือด และผู้มีอายุ 65 ปีขึ้นไปมีความสัมพันธ์เชิงบวกการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในแต่ละเมือง คือ 56 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ต่ำสุด 18 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สูงสุด 127 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับการเพิ่มขึ้นต่อการเสียชีวิตจากสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุร้อยละ 0.22 จากโรคหัวใจและหลอดเลือดร้อยละ 0.27 จากความดันโลหิตสูงร้อยละ 0.39 จากหลอดเลือดหัวใจร้อยละ 0.30 จากโรคหลอดเลือดสมองร้อยละ 0.23 จากโรคทางเดินหายใจร้อยละ 0.29 และจากโรคปอดอุดกั้นเรื้อรังร้อยละ 0.38 ความสัมพันธ์มีนัยสำคัญมากขึ้นในเมืองที่มีระดับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ต่ำกว่าหรืออุณหภูมิที่สูงขึ้น และในกลุ่มประชากรที่มีผู้สูงอายุหรือมีการศึกษาน้อย นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัส ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในระยะสั้นและอัตราการเสียชีวิตจากโรคหัวใจและปอดต่าง ๆ ในประเทศจีน พบว่าความสัมพันธ์ยังต่ำกว่าทางยุโรปและอเมริกาเหนือ

จากการทบทวนวรรณกรรม จะเห็นได้ว่ามีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศที่ส่งผลต่อการเสียชีวิตหรือการเจ็บป่วย โดยมีความเกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ ทางหลอดเลือด หัวใจ และปอด ซึ่งมีค่อนข้างแพร่หลายและมีวิธีที่คล้ายคลึงกันดังตารางที่ 5 ซึ่งวิธีการศึกษาจะวิเคราะห์ด้วยวิธีอนุกรมเวลา โดยใช้การถดถอยปัวส์ซองด้วยตัวแบบเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) จากข้อมูลสารมลพิษทางอากาศและการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต แต่การศึกษาที่มุ่งเน้น

พัฒนาสมการในการใช้สำหรับคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเพื่อให้เหมาะสมกับพื้นที่ในแต่ละประเทศยังมีไม่มาก ดังนั้นงานวิจัยนี้นอกจากจะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศที่ส่งผลต่อการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตแล้ว ยังมีการศึกษาต่อยอดนำมาพัฒนาสมการเพื่อใช้สำหรับคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพให้เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบวิธีการศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการ	ตัวแปรรบกวน	องศาอิสระ (df)	ผลกระทบจากการรับสัมผัส	ผู้แต่ง
วิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา วิธีการทางสถิติใช้การถดถอยแบบปัวส์ซองในแบบจำลอง แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป มีการควบคุมตัวแปรอื่นในแบบจำลองควบคุมเวลาด้วย locally weight (loss) smooth function โดยจะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเสียชีวิตในแต่ละการรับสัมผัส ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และก๊าซมลพิษทางอากาศ	เวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิที่จุดน้ำค้าง วันในสัปดาห์	-	Lag 0 (การรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศในวันเดียวกัน)	นิตยา วัจนะภูมิ (2550)
วิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้ การถดถอยปัวส์ซองในแบบจำลอง แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป โดยมีตัวแปรร่วมที่รบกวนรวมในแบบจำลองด้วย Natural cubic spline function	อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ วันหยุดนักขัตฤกษ์ วันในสัปดาห์ โดยควบคุมแนวโน้มของฤดูกาลและเวลา	df =3 สำหรับปรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เฉลี่ยย้อนหลัง 3 วัน df =7สำหรับปรับแนวโน้มฤดูกาลและเวลา	Lag 0 (การรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศในวันเดียวกัน)	Tian et al. (2018)
วิเคราะห์ด้วยวิธีอนุกรมเวลาโดยใช้ (แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป -R) และทำการควบคุมฤดูกาล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ด้วยฟังก์ชัน Natural cubic smooth spline	อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ วันหยุดนักขัตฤกษ์ วันในสัปดาห์ วันหยุดสุดสัปดาห์และเวลา	df = 7 สำหรับปรับเวลา df = 6 สำหรับการปรับอุณหภูมิ df = 3 สำหรับการปรับความชื้นสัมพัทธ์	Lag 0 (การรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศในวันเดียวกัน)	Chen et al. (2013)

ตารางที่ 5 (ต่อ)

วิธีการ	**ตัวแปรรบกวน**	**องศาอิสระ (df)**	**ผลกระทบจากการรับสัมผัส**	**ผู้แต่ง**
วิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา วิธีการทางสถิติใช้การถดถอยแบบปัวซองและควบคุมตัวแปรอื่นในแบบจำลองโดยใช้ Natural cubic spline function โดยวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเสียชีวิตในแต่ละการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในวันเดียวกัน และการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศ 5 วันย้อนหลัง	แนวโน้มเวลา ฤดูกาล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ วันที่ในสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์	df = 3 สำหรับสำหรับปรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ df = 4-6 สำหรับการปรับแนวโน้มเวลา	Lag 01 (ค่าเฉลี่ยของการรับสัมผัส สารมลพิษทางอากาศในวันปัจจุบันกับวันก่อนหน้า 1 วัน)	Vichit-Vadakan et al. (2008)
วิเคราะห์อนุกรมเวลาโดยใช้ การถดถอยปัวส์ซองในแบบจำลอง แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป และใช้ Natural cubic spline function ปรับตัวแปรรบกวนในแบบจำลอง	แนวโน้มของเวลา วันในสัปดาห์ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์	df = 6 สำหรับปรับอุณหภูมิเฉลี่ย 3 วันย้อนหลัง df = 3 สำหรับปรับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย 3 วันย้อนหลัง	Lag 01 (ค่าเฉลี่ยของการรับสัมผัส สารมลพิษทางอากาศในวันปัจจุบันกับวันก่อนหน้า 1 วัน)	Chen et al. (2017)

2.8.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาดัชนีคุณภาพเชิงสุขภาพ (Air Quality Health Index: AQHI)

การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาดัชนีคุณภาพเชิงสุขภาพจากหลักฐานทางระบาดวิทยา จากแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก จากความเสี่ยงสัมพัทธ์ โดยมีรายละเอียดการทบทวนวรรณกรรมดังต่อไปนี้

Stieb et al. (2008) พัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเพื่อนำมาใช้ในประเทศแคนาดา มีจุดประสงค์เพื่อจัดการกับคำวิจารณ์ของดัชนีคุณภาพอากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และการพัฒนาสื่อในการสื่อสารและมีคำแนะนำในการปฏิบัติเพื่อลดผลกระทบต่อสุขภาพ จากหลักฐานทางระบาดวิทยาที่ได้จากการศึกษาแบบอนุกรมเวลา โดยใช้รูปแบบการศึกษาอนุกรมเวลาที่วิเคราะห์ด้วยแบบจำลองเชิงบวกนัยทั่วไป (GAM) ภายใต้สมมติฐานการกระจายตัวของข้อมูลแบบ Quasi-Poisson จากการวิเคราะห์จะได้สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและสุขภาพ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จะบ่งบอกถึงผลกระทบต่อสุขภาพจากปริมาณการรับสัมผัสมลพิษอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป โดยวิธีการนี้เกิดจากผลรวมของความเสี่ยงการเสียชีวิตที่สัมพันธ์กับมลพิษอากาศแต่ละชนิด (ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์) ที่ได้จากการการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศแต่ละชนิดต่อการเสียชีวิต ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะนำไปใช้ในการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพและปรับสเกลระดับผลกระทบต่อสุขภาพให้อยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 10+ เพื่อให้ง่ายต่อการสื่อสารกับประชาชน โดยใช้สมการที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

$$\text{Mortality Weighted Excess (\%)} = \sum_{j=1\ldots n}[(m_j / \sum_{j=1\ldots n} m_j) \sum_{i=1\ldots p} 100(e^{\beta_i X_{ijk}} - 1)] \quad (10)$$

เมื่อ Mortality Weighted Excess (%) คือ จำนวนผู้เสียชีวิตที่สัมพันธ์กับการรับสัมผัสมลพิษอากาศที่มีการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจากจำนวนประชากรและความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ (มีหน่วยเป็นร้อยละ); β_i คือ สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศชนิด i กับการเสียชีวิตจากแบบจำลอง แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป ; X_{ijt} คือ ความเข้มข้นสารมลพิษชนิดที่ i ณ ชั่วโมง t ในพื้นที่ j ที่สอดคล้องกับความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นสูงสุด (สำหรับเมืองที่ 1 ถึง เมืองสุดท้าย และมลพิษชนิดที่ 1 ถึง ชนิดสุดท้าย); m_j คือ จำนวนผู้เสียชีวิตโดยเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเมือง

สำหรับจุดประสงค์ในการสร้างตัวเลขง่าย ๆ โดยใช้มาตราส่วน 0 ถึง 10 จะถูกปรับแก้โดยการคูณแต่ละค่าด้วย 10 และหารด้วยค่าร้อยละการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นสูงสุดของช่วงเวลาวันที่ 1

ถึงวันสุดท้ายจากการถ่วงน้ำหนักร้อยละการเสียชีวิตที่เพิ่มขึ้นทั้งหมดที่คำนวณจากสมการ 10 ทำให้ได้สมการดังสมการ 11

$$c = \max_{t=1...q} (\sum_{j=1...n} [(m_j \sum_{j=1...n} m_j) \sum_{i=1...p} 100(e^{\beta_i x_{ijk}} - 1)]) \quad (11)$$

เมื่อ q คือจำนวนวันและ c คือค่าสูงสุดของ Mortality Weighted Excess (%) ซึ่งหมายถึงวันที่มีจำนวนผู้เสียชีวิตมากที่สุดจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศที่ได้จากการปรับค่าถ่วงน้ำหนักจำนวนผู้เสียชีวิตและความเข้มข้นของมลพิษอากาศที่แตกต่างกันในแต่ละจังหวัด

$$AQHI = (10/c) \sum_{i=1...p} 100(e^{\beta_i x_i} - 1) \quad (12)$$

ผลการศึกษาพบว่า ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน มีค่าความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตที่มีความเสถียรมากกว่ามลพิษชนิดอื่น กล่าวคือ เมื่อเพิ่มตัวแปรมลพิษอื่นในแบบจำลอง ค่าความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จะมีค่าคงที่หรือไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก ซึ่งจากการวิเคราะห์ทำให้ได้สูตรดัชนีสุดท้ายของ $PM_{2.5}$AQHI หายใจ และ PM_{10}AQHI หายใจ ดังสมการ 13 และ สมการ 14 ตามลำดับดังนี้

$$PM_{2.5}AQHI = (10/10.4) * 100 * (e^{0.000537 * NO_2} - 1 + e^{0.000537 * O_3} - 1 + e^{0.000487 * PM_{2.5}} - 1) \quad 13)$$

$$PM_{10}AQHI = (10/11.7) * 100 * (e^{0.000871 * NO_2} - 1 + e^{0.000537 * O_3} - 1 + e^{0.000297 * PM_{10}} - 1) \quad (14)$$

อย่างไรก็ตามจำนวนมลพิษที่ใช้ในการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมีจำนวนแตกต่างกันในแต่ละประเทศขึ้นอยู่กับความเสถียรของแบบจำลองที่ทำให้ผลลัพธ์ของการประเมินความเสี่ยงของมลพิษอากาศและสุขภาพมีค่าแม่นยำที่สุดในแต่ละประเทศ

นอกจากวิธีการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพจากหลักฐานทางระบาดวิทยาที่ใช้ในประเทศแคนาดาแล้วยังมีแนวทางการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพจากหลักฐานทางระบาดวิทยาที่ใช้ในประเทศจีน ซึ่งในประเทศจีนมีการศึกษาพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพหลายเมือง ได้แก่ ฮ่องกง เซี่ยงไฮ้ และกวางโจว สำหรับการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพในฮ่องกง (Tze Wai Wong et al., 2013) โดยพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพตามแนวของ

แคนาดาโดยทำการศึกษาอนุกรมเวลาเพื่อรับความเสี่ยงสัมพัทธ์ของจำนวนผู้เข้ารับการรักษาพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ โรคระบบหัวใจ และโรคหลอดเลือด กับมลพิษอากาศจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน ซึ่งรายงานผลในรูปของร้อยละของการเข้ารับการรักษาพยาบาลที่เกิดจากมลพิษอากาศ (%Excess Risk; %ER) ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\%ER = \sum_{i=1\ldots p}\left(exp\left(\beta_i X_{i,t}\right) - 1\right) * 100 \quad (15)$$

เมื่อ β_i คือสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศชนิด i กับการเสียชีวิตจากแบบจำองเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM); $x_{i,t}$ คือ ความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิด i ณ เวลา t และ p คือ จำนวนมลพิษอากาศ ซึ่งความเสี่ยงส่วนเกิน (%ER) ของการศึกษานี้เกิดจากการพิจารณาความเข้มข้นของมลพิษอากาศ ของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในแต่ละวัน เพื่อเป็นจุดตัดในการกำหนดลำดับชั้นของความเสี่ยงส่วนเกิน (%ER) และนำลำดับชั้นขอความเสี่ยงส่วนเกิน (%ER) ไปอ้างอิงกับค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่มีค่าดัชนีในช่วง 0 – 10+ กล่าวคือ ความเสี่ยงส่วนเกิน %ER ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 – 5.64 จะมีค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพในช่วง 1 – 3 ความเสี่ยงส่วนเกิน (%ER) ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง >5.64 – 11.29 มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพในช่วง 4 – 6 ความเสี่ยงส่วนเกิน (% ER) ที่มีค่าอยู่ ในช่วง >11.29 – 12.91 มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ เท่ากับ 7 ความเสี่ยงส่วนเกิน (%ER) ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง >12.91 – 19.37 มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพในช่วง 8 – 10 และความเสี่ยงส่วนเกิน (%ER) ที่มีค่ามากกว่า 19.37 มีค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมากกว่า 10 ซึ่งค่าผลกระทบต่อสุขภาพจะแตกต่างกันในแต่ละประเทศขึ้นอยู่กับผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษอากาศและสุขภาพจากการศึกษาแบบอนุกรมเวลาหรือรูปแบบการศึกษาทางระบาดวิทยาอื่น ๆ

การศึกษาการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพในเมืองเซี่ยงไฮ้ (Chen et al., 2013) ศึกษาวิธีการสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศโดยนำดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของแคนาดามาประยุกต์ใช้ เพื่อเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้แก้ปัญหาในประเทศและสามารถเป็นตัวแทนของผลกระทบต่อสุขภาพจากสารมลพิษทางอากาศร่วมกันหลายชนิด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยอนุกรมเวลา (Time-serise analysis) และใช้จำนวนของการเสียชีวิตรายวันและผลลัพธ์การเจ็บป่วยรายวันของประชากรประมาณตามการกระจายแบบปัวส์ซอง (Poisson Distribution) ส่วนข้อมูลระดับมลพิษทางอากาศรายวัน (ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน) อัตราเสียชีวิต

รายวัน (ข้อมูลจำนวนผู้เสียชีวิตทั้งหมดรายวันที่ไม่ใช่สาเหตุจากการเกิดอุบัติเหตุ) และข้อมูลสภาพอากาศรายวันมีความเป็นข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันสามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีอนุกรมเวลาโดยใช้แบบจำลองเชิงบวกสมนัย (GAM) และทำการควบคุมฤดูกาล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ด้วยฟังก์ชัน Natural Cubic Smooth Spline ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลใช้องศาอิสระ (df) เป็นค่าอิสระที่การวิเคราะห์ทางสถิตินำไปใช้ในการประมาณค่าตัวแปร โดยในการศึกษานี้กำหนดให้ df เท่ากับ 7 ต่อปี เพื่อขจัดความผันผวนต่าง ๆ ในข้อมูลการเจ็บป่วยและการเสียชีวิต สำหรับการปรับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในวันเดียวกับข้อมูลการเจ็บป่วยและเสียชีวิต ได้ใช้ df เท่ากับ 6 ต่อปี (สำหรับการปรับอุณหภูมิ) และ df เท่ากับ 3 ต่อปี (สำหรับการปรับความชื้นสัมพัทธ์) โดยทำทั้งแบบจำลองมลพิษเดียว (Single-pollutant model) และแบบจำลองสองมลพิษ (Two-pollutant model) จากนั้นนำสารมลพิษทางอากาศที่มีค่าความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตอย่างมีนัยสำคัญมาสร้างดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต จึงกำหนดดัชนีสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ($AQHIPM_{10}$) ดังสมการ 16 และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($AQHIPM_{2.5}$) ดังสมการ 17

$$AQHIPM_{10} = 10/17*100* [\exp(0.000154* PM_{10}) -1 + \exp(0.000664* NO_2) -1] \quad (16)$$

$$AQHIPM_{2.5} = 10/15*100* [\exp(0.000172*PM_{2.5}) -1 + \exp(0.000664* NO_2)) -1] \quad (17)$$

การศึกษาการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ ในเมืองกวางโจว (Li et al., 2017) ได้ทำการศึกษาอนุกรมเวลาเพื่อประมาณความสัมพันธ์ระหว่างสารมลพิษทางอากาศ ได้แก่ (ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน) กับการเสียชีวิตในกวางโจวตามวิธีการของแคนาดา ซึ่งในการศึกษาที่กวางโจวก่อนหน้านี้พบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สามารถเป็นตัวแทนของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน 68.84% จึงเลือกใช้ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน อีกทั้งหากรวมฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน อยู่ในสมการเดียวกัน ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพจะมีสัดส่วนที่ทับซ้อนร่วมกันระดับสูง ดังนั้นจึงใช้ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน มาสร้างเป็นดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ โดยใช้แบบจำลองเชิงบวกสมนัย (GAM) ที่กำหนด df เท่ากับ 7 ต่อปี เพื่อควบคุมความผันผวนของอัตราการตายตามแนวโน้มและฤดูกา df เท่ากับ 6 สำหรับอุณหภูมิของวันปัจจุบัน และ df

เท่ากับ 3 สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ และนำวันในสัปดาห์รวมในแบบจำลองด้วย โดยทำทั้งแบบจำลองมลพิษเดียว (Single-pollutant model) และแบบจำลองสองมลพิษ (Two-pollutant model)

นอกจากนี้มีการศึกษาพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของประเทศจีน (Du et al., 2020) โดยใช้วิธีการกำหนดดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพขึ้นโดยเป็นผลรวมของความเสี่ยงในการเสียชีวิตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศหลายจุดในเมืองที่เป็นตัวแทนของประเทศจีน 272 เมือง โดยความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตต่อการเปลี่ยนแปลงหน่วยความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศถูกกำหนดตามการวิเคราะห์อนุกรมเวลาในแต่ละเมือง ซึ่งมีสร้างดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพแยกสำหรับกลุ่มย่อยที่จำแนกตามอายุและเพศ และสำหรับโรคหลอดเลือดหัวใจ ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสร้างขึ้นโดยเลือกใช้ข้อมูลมลพิษทางอากาศประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และ ก๊าซโอโซน เนื่องจากการศึกษาก่อนหน้าที่ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของมลพิษกับอัตราการเสียชีวิต (Chen et al., 2017) จากนั้นทำการวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยแบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) เพื่อให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของความเข้มข้นมลพิษอากาศต่อการตอบสนองของการเสียชีวิตในแต่ละเมือง หลังจากควบคุมฤดูกาล วันที่ในสัปดาห์ อุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน และความชื้นสัมพัทธ์ โดยปรับ Covariates หลายตัว ได้แก่ (1) วันเวลาตามปฏิทิน (calendar) ที่กำหนดให้ df = 7 องศาต่อปี (2) ตัวแปรตัวบ่งชี้สำหรับวันในสัปดาห์ เพื่อพิจารณาความผันแปรที่เป็นไปได้ในหนึ่งสัปดาห์ และ (3) อุณหภูมิที่กำหนดให้ df = 6 และ ความชื้นสัมพัทธ์ที่กำหนดให้ df = 3 เพื่อควบคุมศักยภาพของผลกระทบที่ไม่เป็นเชิงเส้นของสภาพอากาศ จากนั้นจึงนำค่าสัมประสิทธิ์เฉพาะเมืองมารวมกันโดยใช้แบบจำลองเบย์เซียน (Bayesian Model) เพื่อให้ได้ค่าประมาณค่าเฉลี่ยทั่วประเทศ จึงจะได้ค่าประมาณผลกระทบที่เพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโซนต่อการเสียชีวิตทั้งหมดรายวันที่ไม่ใช่สาเหตุจากการเกิดอุบัติเหตุ การเสียชีวิตโดยรวมเฉพาะอายุ การเสียชีวิตโดยรวมเฉพาะเพศ และการเสียชีวิตเฉพาะโรคสำหรับโรคหลอดลมอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic Obstructive Pulmonary Disease: COPD) โรคหลอดเลือดหัวใจ (Coronary Heart Disease: CHD) และโรคหลอดเลือดสมอง (Stroke) ซึ่งการศึกษานี้ได้สมการที่ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพดังนี้

$$AQHI = 10/13.2*100*[\exp(0.000187*PM_{2.5})-1 + \exp(0.000675*NO_2)-1 + \exp(0.000119*O_3)-1] \quad (18)$$

อีกทั้งยังมีเมืองเม็กซิโก Cromar, Gladson, Jaimes Palomera, and Perlmutt (2021) ที่ได้ศึกษาการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพตามแนวระบาดวิทยาของแคนาดา แต่แตกต่างจากงานวิจัยที่กล่าวข้างต้น โดยใช้ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของสารมลพิษและการเจ็บป่วยเฉพาะโรคระบบทางเดินหายใจในการนำมาสร้างดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ โดยใช้

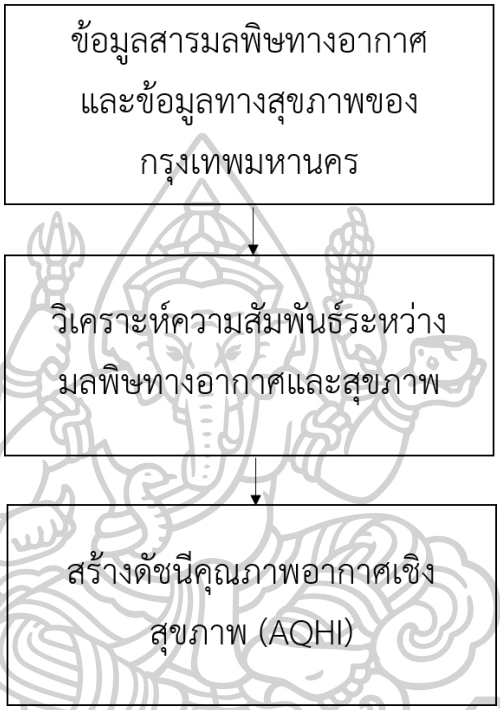
วิธีการอนุกรมเวลาด้วยแบบจำลองเชิงเส้นนัยทั่วไป (GLM_s) เพื่อประเมินผลกระทบของมลพิษทางอากาศประกอบด้วยฝุ่นละอองขนาดเล็ก ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน กับผู้ป่วยแผนกฉุกเฉินประจำวันจำนวน 610,982 ที่ป่วยเป็นโรคระบบทางเดินหายใจที่ได้รับจากโรงพยาบาล 40 แห่งในเขตปริมณฑลของเม็กซิโก ซึ่งผลการศึกษาใช้มลพิษทางอากาศทั้งสามชนิดข้างต้นมาสร้างเป็นดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ โดยในปัจจุบันมีการนำมาใช้จริงในเมืองเม็กซิโก

จากงานวิจัยที่กล่าวไปข้างต้นมีจุดประสงค์ในการสร้างดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเพื่อเป็นเครื่องมือสื่อสารความเสี่ยงต่อประชากร และเพื่อแก้ไขกับข้อจำกัดของดัชนีคุณภาพอากาศแบบเดิมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้คนได้มีทางเลือกในการรับข้อมูลเพิ่มเติมในการปกป้องตนเองและผู้ที่ไวต่อการรับสัมผัสจากผลกระทบต่อสุขภาพ โดยดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพจะเป็นเครื่องมือในการให้ข้อมูลที่แม่นยำยิ่งขึ้นกว่าระบบดัชนีที่มีอยู่โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการสะท้อนผลกระทบโดยรวมของการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศหลาย ๆ ชนิด ทั้งนี้จะเห็นได้ว่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสามารถเป็นตัวชี้วัดให้เห็นถึงผลกระทบในระยะสั้น (เนื่องจากใช้ข้อมูลทั้งอัตราการเสียชีวิตและปริมาณสารมลพิษรายวันมาพัฒนาเป็นสมการ) ขณะที่ดัชนีมลพิษอากาศสามารถชี้ให้เห็นถึงผลกระทบในระยะยาว (เนื่องจากเป็นการรายงานเชิงเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพอากาศ ซึ่งมีทั้งรายวันและรายปี) ดังนั้นดัชนีมลพิษอากาศจึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการป้องกันผลกระทบระยะยาวของมลพิษทางอากาศ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

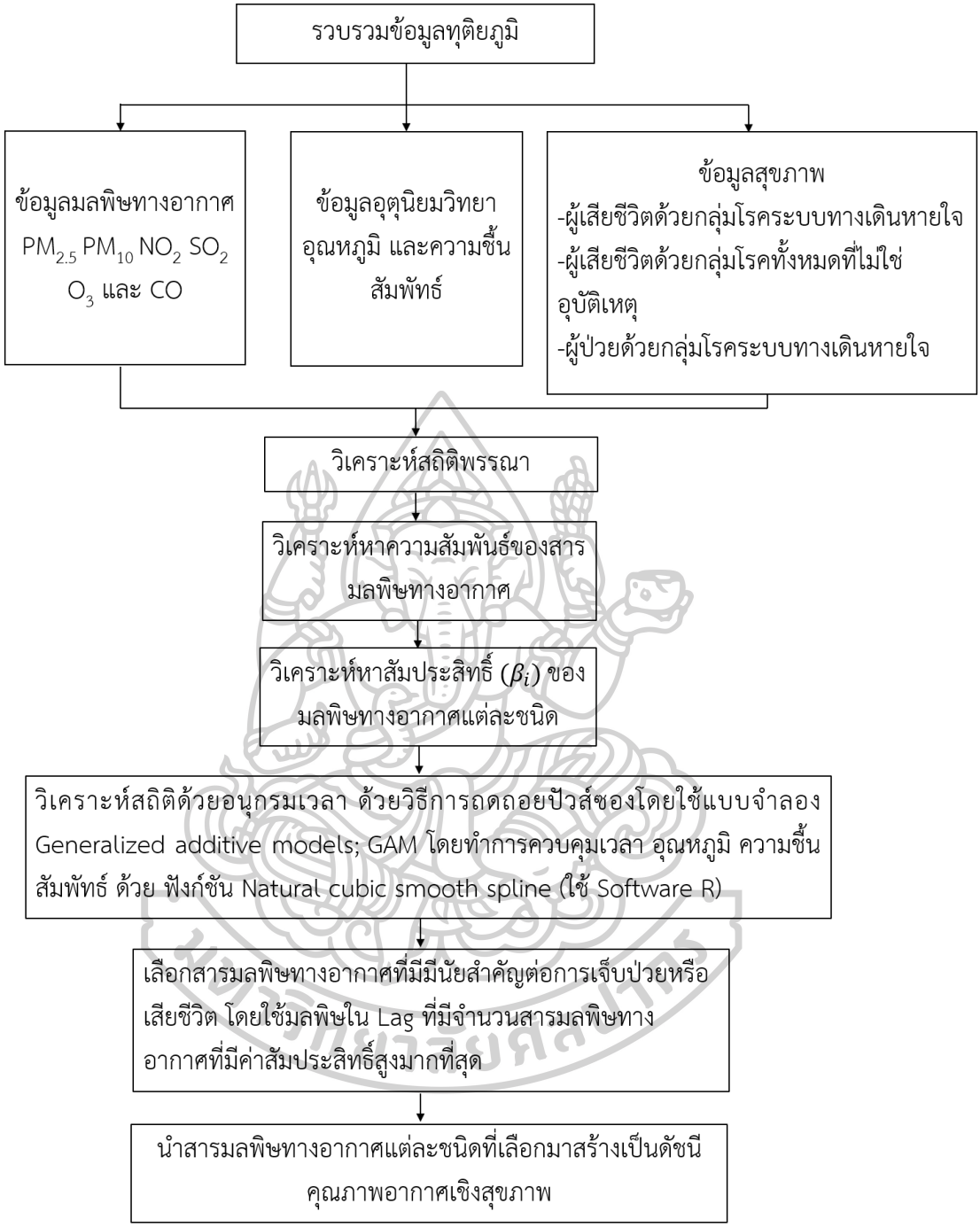
บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

3.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา



ภาพที่ 3 กรอบแนวคิดในการศึกษา

จากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 พบว่าสารมลพิษทางอากาศมีความสัมพันธ์กับการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต และระยะเวลาในการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ สามารถนำมาใช้ในการกำหนดกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลได้ โดยกำหนดกรอบแนวคิด (แสดงดังภาพที่ 3) ในการพัฒนาสมการดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของกรุงเทพมหานครแทนดัชนีคุณภาพอากาศแบบเดิม โดยวิเคราะห์ตัวแปรทางสุขภาพและความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศรวมถึงอุตุนิยมวิทยาด้วยวิธีทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งวิธีการศึกษาเริ่มจากเก็บรวบรวมข้อมูลการเจ็บป่วยและการเสียชีวิต ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและข้อมูลความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศในเขตกรุงเทพมหานคร จากนั้นวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติและพัฒนาเป็นชุดสมการสำหรับคำนวณดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่เหมาะสมกับกรุงเทพมหานครแสดงดังภาพที่ 4



3.2 วิธีการศึกษา

การศึกษานี้ต้องการศึกษาผลกระทบของการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศต่อการเสียชีวิตของประชากรในกรุงเทพมหานคร โดยใช้การวิเคราะห์อนุกรมเวลาด้วยวิธีการถดถอยปัวส์ซอง เพื่อทำนายจำนวนผู้เสียชีวิตของประชากรในกรุงเทพมหานครของโรงพยาบาลที่อยู่ในสังกัดปลัดกระทรวงสาธารณสุขจากตัวแปรทำนายที่ประกอบด้วย ปริมาณสารมลพิษทางอากาศต่าง ๆ โดยมีการควบคุม

ตัวแปรร่วมที่เป็นข้อมูลอุตุนิยมวิทยา ได้แก่ ความชื้น และอุณหภูมิ และตัวแปรบ่งชี้ (Indicator variables) ได้แก่ วันตามปฏิทิน วันหยุดของสัปดาห์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ ข้อมูลที่ใช้ศึกษาเป็นข้อมูลรายวันที่เก็บรวบรวมจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศที่ตั้งแบบถาวร ในกรุงเทพมหานคร ระหว่างพ.ศ. 2553 ถึงพ.ศ. 2562 โดยรายละเอียดของข้อมูลและวิธีการวิเคราะห์อธิบายดังต่อไปนี้

3.2.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาสมการของดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่เหมาะสมกับพื้นที่กรุงเทพมหานคร เนื่องจากกรุงเทพมหานครเป็นจังหวัดที่มีขนาดใหญ่ มีจำนวนประชากรหนาแน่นมากที่สุดในประเทศไทยและเป็นลำดับที่ 13 ของโลก มีประชากรมากกว่า 10 ล้านคน (สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข, 2561) กรุงเทพมหานครมีสิ่งอำนวยความสะดวก มีสาธารณูปโภคอย่างครบสมบูรณ์ เป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมและการค้า นับว่าเป็นศูนย์รวมของความเจริญก้าวหน้าในด้านต่าง ๆ จากปัจจัยทางด้านความเจริญและตลาดแรงงานทำให้มีอัตราการย้ายถิ่นฐานเข้ามาในพื้นที่สูง (ศูนย์สารสนเทศกรุงเทพมหานคร, 2556) จากการเติบโตของเมืองที่มีองค์ประกอบต่าง ๆ ที่เป็นปัจจัยก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศในระดับที่สูง นอกจากนี้กรุงเทพมหานครเป็นพื้นที่ที่มีจุดตรวจวัดมลพิษทางอากาศอยู่หลายจุดครอบคลุมพื้นที่มากกว่าจังหวัดอื่น ๆ

3.2.2 การรวบรวมข้อมูล

ในงานวิจัยนี้เป็นการใช้ข้อมูลทุติยภูมิมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติข้อมูลที่ใช้ประกอบไปด้วย ข้อมูลสารมลพิษทางอากาศ ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลสุขภาพ

3.2.2.1 ข้อมูลสารมลพิษทางอากาศ (Air pollution data) และข้อมูลอุตุนิยมวิทยา (Meteorological data)

(1) กรุงเทพมหานคร มีสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 2 แบบคือสถานีตรวจวัดถาวรและสถานีตรวจวัดชั่วคราวโดยในการรวบรวมครั้งนี้ได้เลือกใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจวัดถาวร ซึ่งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศถาวรมีด้วยกัน 12 สถานี แบ่งเป็นพื้นที่ทั่วไป 7 สถานี พื้นที่ริมถนน 5 สถานี และได้เลือกใช้ข้อมูลเฉพาะในพื้นที่ทั่วไป เนื่องจากเป็นพื้นที่เป็นย่านที่พักอาศัย ย่านอุตสาหกรรม ย่านธุรกิจ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประชาชนอยู่เยอะและใช้เวลาอยู่ในบริเวณนี้นานมากกว่าบริเวณริมถนน ซึ่งอาจทำให้ได้รับสัมผัสกับสารมลพิษทางอากาศได้มากกว่า

(2) ได้รวบรวมข้อมูลปริมาณสารมลพิษทางอากาศและข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในของกรุงเทพมหานครตั้งแต่พ.ศ.2553-2562 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศถาวรในพื้นที่ทั่วไปที่ 7 สถานี ประกอบด้วยสถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา สถานีกรมอุตุนิยมวิทยาบางนา สถานีเคหะชุมชนคลองจั่น สถานีสนามกีฬาการเคหะชุมชนห้วยขวาง สถานีโรงเรียนนนทรีวิทยา

สถานีกรมประชาสัมพันธ์ และสถานีโรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี) ที่ตั้งอยู่ใน 7 เขตเมือง ได้แก่ เขตธนบุรี เขตบางนา เขตบางกะปิ เขตดินแดง เขตยานนาวา เขตพญาไท และเขตวังทองหลาง

(3) ข้อมูลปริมาณสารมลพิษทางอากาศที่ศึกษา ประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน ส่วนข้อมูลอุตุนิยมวิทยาประกอบด้วย อุณหภูมิบรรยากาศ (Ambient temperature) และความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

(4) รวบรวมข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากฐานข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา (Meteorological Department) สำหรับทดแทนข้อมูลที่ขาดหายไปในบางส่วน

(5) ใช้ข้อมูลโดยเฉลี่ยรายวันจากค่าวัดทุก ๆ หนึ่งชั่วโมงอย่างน้อย 12 ชั่วโมงใน 24 ชั่วโมง (50% ของข้อมูล) โดยรวบรวมข้อมูล และนำข้อมูลรายวันจากทั้ง 7 สถานีมาคำนวณค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นข้อมูลรายวันของกรุงเทพมหานคร

(6) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ได้รวบรวมข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2558-2562 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ 5 สถานี จาก 7 สถานี เนื่องจากสถานีมหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยาและ สถานีโรงเรียนนนทรีวิทยาตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนไม่สม่ำเสมอ จึงรายงานข้อมูลไม่ครบถ้วน ซึ่งข้อมูลใช้ค่าเฉลี่ยรายวันจากค่าวัดทุก ๆ หนึ่งชั่วโมงอย่างน้อย 12 ชั่วโมงใน 24 ชั่วโมง (50% ของข้อมูล) เช่นเดียวกับมลพิษตัวอื่น ๆ

3.2.2.2 ข้อมูลสุขภาพ (Health data)

เก็บรวบรวมข้อมูลรายวันของจำนวนผู้เสียชีวิตตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2553 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2562 และข้อมูลผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลในทุกสิทธิรายวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2559 ถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2562 โดยขออนุเคราะห์ข้อมูลจากสำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขในกรุงเทพมหานคร จำแนกตามสาเหตุของการการเจ็บป่วยและเสียชีวิตตามระบบการลงรหัสโรคสากล (International Classification of Diseases 10th Revision; ICD-10) โดยได้ขอข้อมูลรายวันของผู้เสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ รหัสโรค A00-R99 ผู้เสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ รหัสโรค J00-J99 และผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (Out Patient Department: OPD) รหัสโรค J00-J99 ซึ่งการเลือกใช้ข้อมูลสุขภาพของกลุ่มโรคเหล่านี้เนื่องจากในหลายงานวิจัยก่อนที่ศึกษาการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศใช้การเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุรหัสในการนำมาสร้างดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ จึงใช้ข้อมูลกลุ่มนี้ในการศึกษา แต่อย่างไรก็ตามมลพิษทางอากาศส่งผลกระทบโดยตรงเกี่ยวกับปอดและระบบทางเดินหายใจ จึงเลือกใช้ข้อมูลการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจด้วย และยังเห็นว่ามลพิษทางอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการเจ็บป่วยหรือเกิดโรคได้ทั้งในระยะสั้นและระยะยาว ดังนั้นจึงเลือกใช้ข้อมูลของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วย

กลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจอีกหนึ่งกรณี ซึ่งในความเป็นจริงมลพิษทางอากาศไม่เพียงทำให้เกิดการเสียชีวิตหรือเจ็บป่วยด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ แต่อาจทำให้เกิดโรคกลุ่มโรคอื่น ๆ ได้ แต่เหตุผลในการเลือกกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจมาใช้ เนื่องจากเป็นกลุ่มโรคที่พบเจอได้เป็นจำนวนมากที่มีความเกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศ ซึ่งบุคคลที่เป็นโรคในกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจนี้ หากได้รับสัมผัสมลพิษทางอากาศทั้งในระยะสั้นหรือระยะยาว จะทำให้มีอาการรุนแรงมากขึ้นหรือเกิดอันตรายได้

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากข้อมูลที่ได้รวบรวมมา แล้วดูข้อมูลตัวแปรแต่ละตัวแปรเพื่อสรุปข้อมูลและนำไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น (Descriptive statistic)

ในขั้นตอนแรกวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นนั้นทำเพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรและดูลักษณะของข้อมูล โดยนำข้อมูลความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่เก็บรวบรวมมาหาค่าเฉลี่ย ค่ากลาง ค่าควอร์ไทล์ และนำมาสรุปสถิติในแต่ละตัวแปร ประกอบด้วยความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศประกอบด้วยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน และการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิต (จำนวนผู้ที่เสียชีวิตหรือเจ็บป่วยของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลรายวัน) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์โดยมีการแสดงผลข้อมูลในรูปของตารางในช่วงระยะเวลาที่ศึกษา

3.3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

1.) วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของสารมลพิษทางอากาศโดยใช้สหสัมพันธ์แบบสเปียร์แมน (Spearman Correlation)

2.) วิเคราะห์หาสัมประสิทธิ์ของการประมาณค่าของมลพิษทางอากาศ ผู้เสียชีวิตรายวันด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ และผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (ตัวแปรตอบสนอง) จากมลพิษทางอากาศ (ตัวแปรทำนาย) ในกรุงเทพมหานคร โดยวิเคราะห์แบบอนุกรมเวลา (Time-series) ด้วยวิธีการถดถอยปัวส์ซอง (Poisson Regression) ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายกับตัวแปรตอบสนองอยู่ในรูปแบบของตัวแบบเชิงบวกสมนัยทั่วไป (แบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป) โดยควบคุมอิทธิพลของฤดูกาล อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ด้วยฟังก์ชันราบเรียบแบบ Natural Cubic Smooth Spline โดยกำหนดองศาอิสระ (Degrees of freedom: df) ซึ่งใช้ในการกำหนดจำนวนช่วงการแบ่งข้อมูลของแต่ละตัวแปรสำหรับประมาณค่า

สัมประสิทธิ์ในฟังก์ชันพหุนามดีกรีสามออกเป็นส่วน ๆ นอกจากนี้ยังมีตัวแปรทำนายที่เป็นตัวแปรบ่งชี้ (Indicator variables) คือ วันทำการของสัปดาห์ คือ วันจันทร์ - วันศุกร์ วันหยุดสุดสัปดาห์ คือ วันเสาร์ - วันอาทิตย์ (1=วันธรรมดา 0=วันหยุดสุดสัปดาห์) และวันหยุดนักขัตฤกษ์ (1=วันหยุดราชการ 0=อื่น ๆ) อยู่ในตัวแบบจำลองด้วย เนื่องจากตัวแปรเหล่านี้มีอิทธิพลต่อจำนวนการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตและมลพิษทางอากาศ เช่น ในแต่ฤดูกาลจะมีปัญหามลพิษแตกต่างกัน ซึ่งในฤดูหนาวจะมีปริมาณสารมลพิษทางอากาศมากกว่าฤดูฝน และในกรณีวันทำการของสัปดาห์นั่น โดยปกติในวันธรรมดาประชาชนจะออกไปทำงาน วันหยุดสุดสัปดาห์หรือวันหยุดนักขัตฤกษ์ ประชาชนบางส่วนจะอยู่บ้าน บางส่วนไปเที่ยวต่างจังหวัด ซึ่งในแต่ละวันทำการของสัปดาห์จะมีกิจกรรมที่มีการได้รับสัมผัสสารมลพิษแตกต่างกัน อีกทั้งจำนวนผู้ป่วยส่วนใหญ่เข้ารับการรักษาพยาบาลในวันธรรมดามากกว่าในวันหยุดสุดสัปดาห์ เป็นต้น นอกจากนี้ได้พิจารณาถึงความสัมพันธ์ของสารมลพิษต่อการรับสัมผัสที่ล่าช้า (Lagged Effect) เป็นระยะเวลา 3 วัน (Lag0 - Lag3) กับค่าเฉลี่ยย้อนหลัง 1 วัน (Lag01) โดยที่ Lag0 คือ การรับสัมผัสมลพิษอากาศและการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตเกิดขึ้นในวันเดียวกัน Lag 1 คือ การเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตเกิดขึ้นหลังการรับสัมผัสมลพิษอากาศเป็นเวลา 1 วัน Lag 2 คือการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตเกิดขึ้นหลังการรับสัมผัสมลพิษอากาศเป็นเวลา 2 วัน Lag3 คือการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตเกิดขึ้นหลังจากการรับสัมผัสมลพิษอากาศเป็นเวลา 3 วัน และ Lag01 คือค่าเฉลี่ยของวันปัจจุบันกับวันย้อนหลัง 1 วัน

การกำหนด df กำหนดให้ df เท่ากับ 7 ต่อปี สำหรับตัวแปรเวลาตามปฏิทิน (Calendar time) เพื่อช่วยลดความสับสนจากการเปลี่ยนแปลงของการเสียชีวิตตามฤดูกาลหรือแนวโน้มในระยะยาวได้ (Bhaskaran et al., 2013; Chen et al., 2013; Chen et al., 2017; Tian et al., 2018) ในทำนองเดียวกันกำหนดให้ df เท่ากับ 6 สำหรับตัวแปรอุณหภูมิ และ df เท่ากับ 3 สำหรับตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ (Chen et al., 2013) ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} Log(E(Y_t)) = {} & \beta_0 + \beta_i x_{i,t-l} + b_1 weekday_t + b_2 holiday_t \\ & + ns(calendartime, df_1) + ns(temperature, df_2) \\ & + ns(humidity, df_3) \end{aligned} \tag{19}$$

โดยที่

Y_t	คือ จำนวนผู้เสียชีวิตด้วยระบบทางเดินหายใจในวันที่ t
$Log(E(Y_t))$	คือ ค่าลอการีทึมของจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยระบบทางเดินหายใจโดยเฉลี่ยในวันที่ t
β_0	คือ ระยะตัดแกน y (y-intercept) เมื่อ x มีค่าเท่ากับศูนย์

β_i คือ สัมประสิทธิ์ของการประมาณค่าของมลพิษทางอากาศที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงในลอการิทึมของค่าเฉลี่ยการเสียชีวิตของประชากรต่อหน่วยที่เปลี่ยนแปลงใน lag l

$x_{i,t-l}$ คือ ค่าความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศชนิดที่ i ในวันที่ t ณ เวลา t ใน lag l (ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน, ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไนโตรเจนไดออกไซด์, O_3 และ คาร์บอนมอนอกไซด์)

l คือ การรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศในวันย้อนหลัง

$calendar_time$ คือ เวลาตามปฏิทิน

$temperature$ คือ อุณหภูมิ

$humidity$ คือ ความชื้นสัมพัทธ์

3.) แสดงผลในรูปความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative risk) และเสนอผลเป็นความเสี่ยงส่วนเกิน (Excess risk)

4.) เลือกสารมลพิษทางอากาศที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญต่อการเสียชีวิต โดยใช้มลพิษใน Lag ที่มีจำนวนสารมลพิษทางอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูงมากที่สุด

3.3.3 การสร้างดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

ภายหลังจากได้ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสารมลพิษทางอากาศ (β_i) ที่ได้จากสมการที่ 18 แล้วมาแสดงในรูปความเสี่ยงสัมพัทธ์ (RR) ที่แสดงถึงความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตจากความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ซึ่งความเสี่ยงสัมพัทธ์ (RR) เป็นอัตราส่วนของการเสียชีวิตโดยเฉลี่ยต่อความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่เป็นศูนย์

จากสมการที่ 19 ค่าเฉลี่ยของการเสียชีวิต $E(Y_t)$ สามารถคำนวณได้โดยใช้ฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลทั้งสองข้าง ดังนั้นจึงคำนวณความเสี่ยงสัมพัทธ์ได้ดังนี้

$$RR_{it} = exp(\beta_0 + \beta_i x_{i,t-l})/exp(\beta_0) = exp(\beta_i x_{i,t-l}) \quad (20)$$

เมื่อ RR_{it} คือ ความเสี่ยงสัมพัทธ์

β_0 คือ ระยะตัดแกน y (y-intercept) เมื่อ x มีค่าเท่ากับศูนย์

β_i คือ ค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยของสารมลพิษอากาศชนิดที่ i

$x_{i,t-l}$ คือ ความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศชนิดที่ i ณ เวลา t ใน lag l

หากความเสี่ยงสัมพัทธ์ คือ 1 แสดงว่ากลุ่มที่รับสัมผัสสารมลพิษ กับกลุ่มที่ไม่สัมผัสสารมลพิษมีโอกาสเกิดโรคเท่ากัน หรือสารมลพิษไม่มีความสัมพันธ์ต่อการเกิดโรคหรือเสียชีวิต ถ้า RR

มากกว่า 1 คือมีความเสี่ยงมาก มีโอกาสเกิดโรคหรือเสียชีวิตมากขึ้น RR น้อยกว่า 1 คือมีความเสี่ยงน้อย มีโอกาสเกิดโรคหรือเสียชีวิตน้อยลง

จากนั้นเสนอผลในรูปความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) เป็นอัตราการเกิดผลกระทบด้านสุขภาพที่เกี่ยวข้องกับการได้รับสารมลพิษทางอากาศมากเกินไป และนำไปสร้างเป็นดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพในสมการที่ 21 ซึ่ง ER กำหนดโดยความเสี่ยงสัมพัทธ์ลบ 1 ดังนั้นความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) ของการเสียชีวิตคำนวณได้ดังนี้

$$\%ER_{it} = 100 * \left(exp(\beta_i x_{i,t-l}) - 1\right) \quad (21)$$

เมื่อ $\%ER_{it}$ คือ ร้อยละการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจที่เพิ่มขึ้นในแต่ละวันในวันที่ t ที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นของมลพิษอากาศชนิดที่ i

β_i คือ ค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยของสารมลพิษอากาศชนิดที่ i

$x_{i,t-l}$ คือ ความเข้มข้นสารมลพิษทางอากาศชนิดที่ i ณ เวลา t ใน lag l

ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสามารถทำให้เข้าใจง่ายในเชิงตัวเลข โดยสร้างมาตรวัดที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 10 ซึ่งผลรวมของ ($\%ER_{it}$) จะถูกปรับค่ามาตรวัดด้วยการคูณ 10 และหารด้วยค่าสูงสุดของร้อยละที่คำนวณได้ในแต่ละวันจากช่วงเวลาวันที่ 1 ถึงวันที่ q (c) ดังแสดงในสมการที่ 22 ซึ่งค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพคำนวณได้ดังสมการที่ 23

$$c = max_{t=1\ldots q} \left(\sum_{i=1\ldots p} 100 * (exp\left(\beta_i x_{t-l}\right) - 1)\right) \quad (22)$$

$$AQHI = \frac{10}{c} * ER_{it} = \frac{10}{c} * \sum_{i=1\ldots p} 100 * (exp(\beta_i * x_{it}) - 1) \quad (23)$$

ค่าดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพถูกปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็มเพื่อให้เกิดความง่ายต่อการสื่อสาร (Stieb et al., 2008)

3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1) โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลสถิติใช้ Software R รุ่น x64 3.6.1

2) โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล รุ่น 2013

บทที่ 4
ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา

4.1 ผลการศึกษา

4.1.1 สถิติพรรณนา

จากการรวบรวมข้อมูลรายวันประกอบด้วยข้อมูลด้านสุขภาพ ข้อมูลความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาในกรุงเทพมหานคร สรุปได้ดังตารางที่ 6

สำหรับข้อมูลด้านสุขภาพ พบว่าจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 103.4 คนต่อวัน จำนวนผู้เสียชีวิตด้วยระบบทางเดินหายใจ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.4 คนต่อวัน และจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 86.2 คนต่อวัน

สำหรับข้อมูลมลพิษทางอากาศ พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน เท่ากับ 24.5 39.8 6.1 38.6 59.1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เท่ากับ 1.1 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีค่าเกินค่าแนะนำของ องค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2021a) สำหรับข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพบว่าอุณหภูมิรายวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์รายวันมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 70 ซึ่งอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับสถิติภูมิอากาศคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524 ถึงพ.ศ. 2553) ของประเทศไทย คือ อุณหภูมิรายวันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์รายวันมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 70 (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2564)

ตารางที่ 6 สถิติพรรณนาข้อมูลรายวันของข้อมูลสุขภาพ ข้อมูลคุณภาพอากาศ และข้อมูลอุตุนิยมวิทยาพ.ศ. 2553–2562

ตัวแปรทั้งหมด	**ค่าเฉลี่ย**	**ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน**	**Min**	**Max**	**P25**	**P50**	**P75**
ข้อมูลสุขภาพ (คน)							
จำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ	103.4	13.5	0.0	149.0	95.0	103.0	112.0
จำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ	10.4	3.5	0.0	27.0	8.0	10.0	13.0
จำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ	86.2	136.5	0.0	668	0.0	2.0	120.3
ข้อมูลคุณภาพอากาศ							
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	24.5 (15)	13.4	5.4	90.0	14.7	20.3	30.8
PM_{10} ($\mu g/m^3$)	39.8 (45)	18.6	12.2	156.1	26.6	34.9	47.7
SO_2 ($\mu g/m^3$)	6.1 (40)	3.1	0.4	30.7	3.9	5.4	7.6
NO_2 ($\mu g/m^3$)	38.6 (25)	15.9	7.4	118.6	26.9	34.3	47.9
O_3 ($\mu g/m^3$)	59.4 (NA)	24.9	5.8	170.6	40.9	56.0	75.2
CO (ppm)	1.1 (3.5)	1.7	0.2	23.2	0.5	0.7	0.9
ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา							
อุณหภูมิ (°C)	29.1	1.8	18.2	34.3	28.1	29.3	30.3
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	70.0	8.9	37.8	96.6	64.4	69.9	75.9

หมายเหตุ: P25, P50 และ P75 เป็นเปอร์เซ็นไทล์ที่ 25, 50 และ 75 ตามลำดับ

ตัวเลขในวงเล็บ คือ ค่าแนะนำขององค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2021a)

NA ไม่มีค่าแนะนำ (รายวัน) ขององค์การอนามัยโลก

SD คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.1.2 การพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

การพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเริ่มจากรวบรวมข้อมูลคุณภาพอากาศและข้อมูลสุขภาพรวมถึงข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยามาวิเคราะสถิติพรรณนาเพื่อดูลักษณะของข้อมูล และวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของสารมลพิษทางอากาศเพื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศต่าง ๆ และวิเคราะห์หาความเสี่ยงของการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตรายวัน ด้วยวิธีการถดถอยปัวส์ซองในตัวแบบเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) โดยควบคุมอิทธิพลตัวแปรรบกวนอื่น ๆ ด้วยฟังก์ชันราบเรียบแบบ Natural Cubic Smooth Spline ซึ่งผลลัพธ์ทั้งหมดถูกนำเสนอเป็นความเสี่ยงส่วนเกิน (Excess Risk) จากความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risk) สำหรับใช้ในการพัฒนาดัชนีคุณภาพเชิงสุขภาพ ซึ่งผลการศึกษาได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสารมลพิษทางอากาศโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สเปียร์แมนเป็นสถิติแบบไม่อิงพารามิเตอร์เนื่องจากตัวแปรเหล่านี้การกระจายแบบไม่ปกติ (Schober & Schwarte, 2018) ซึ่งสิ่งสำคัญในการคัดเลือกมลพิษทางอากาศที่มีความเหมาะสม คือ มีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อนำสารมลพิษทางอากาศมารวมกันในสมการ โดยในสมการควรพิสูจน์ ความสัมพันธ์กันเองของสารมลพิษทางอากาศ เนื่องจากสารมลพิษบางตัวอาจมีความสัมพันธ์กันเองในระดับสูงส่งผลให้การทำนายอาจคลาดเคลื่อนได้ ซึ่งจาก การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างสารมลพิษทางอากาศที่แสดงผลดังตารางที่ 7 พบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 โดยที่ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีความสัมพันธ์เชิงบวกสูงที่สุด ($r = 0.910$) รองลงมา ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ($r = 0.670$) และ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และ ก๊าซโอโซน ($r = 0.659$) ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีความสัมพันธ์กันเองในระดับสูงที่สุด กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สูงขึ้นหรือต่ำลง ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก็เพิ่มขึ้นหรือต่ำลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นทั้ง ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอนสามารถใช้เป็นตัวแทนของกันและกันได้

ตารางที่ 7 ความสัมพันธ์สเปียร์แมนระหว่างมลพิษทางอากาศในพ.ศ. 2553 - 2562

สหสัมพันธ์สเปียร์แมน	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	SO_2 ($\mu g/m^3$)	NO_2 ($\mu g/m^3$)	O_3 ($\mu g/m^3$)	CO (ppm)
$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	1.000	0.910**	0.410**	0.670**	0.659**	0.483**
PM_{10} ($\mu g/m^3$)		1.000	0.301**	0.663**	0.651**	0.447**
SO_2 ($\mu g/m^3$)			1.000	0.437**	0.129**	0.268**
NO_2 ($\mu g/m^3$)				1.000	0.423**	0.613**
O_3 ($\mu g/m^3$)					1.000	0.246**
CO (ppm)					.	1.000

** สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

การพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพในการศึกษานี้ได้ใช้ตัวแปรทางสุขภาพในการศึกษา แบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ กรณีผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ และกรณีผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ ซึ่งแต่ละกรณีได้ผลการศึกษาดังนี้

4.1.2.1 กรณีผู้เสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99)

ผลการศึกษาในกรณีผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจแสดงได้ดังตารางที่ 8 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์การถดถอยปัวส์ซองด้วยแบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไป (GAM) ดังสมการที่ 19 เพื่อทำนายลอการิทึมของจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยระบบทางเดินหายใจในวันที่ t ที่ใช้ข้อมูล ณ Lag l โดยที่ l = 0 1 2 3 และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สองคาบเวลา (two moving average; Lag01) ของความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศใด ๆ หนึ่งตัว (ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซนและก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์) โดยที่ lag0 หมายถึง ข้อมูล ณ เวลาปัจจุบัน lag1 หมายถึง ข้อมูลย้อนหลัง 1 วัน lag2 หมายถึง ข้อมูลย้อนหลัง 2 วัน lag3 หมายถึง ข้อมูลย้อนหลัง 3 วัน และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สองคาบเวลา หมายถึง ข้อมูลเฉลี่ยของวันปัจจุบันและวันก่อนหน้า 1 วัน ตัวอย่างเช่น สัมประสิทธิ์ที่ lag0 ของ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน คือ 0.0187 0.0188 0.0193 และ 0.0169 ตามลำดับซึ่งการประมาณสัมประสิทธิ์เหล่านี้อธิบายการเปลี่ยนแปลงในลอการิทึมของค่าเฉลี่ยจำนวนการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับโรคระบบทางเดินหายใจต่อการเปลี่ยนแปลงของมลพิษทางอากาศที่เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในวันเดียวกัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยจำนวนการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับโรคระบบทางเดินหายใจ

จึงสามารถคำนวณได้โดยฟังก์ชันเลขชี้กำลังของ $\hat{\beta}$ ในทำนองเดียวกัน ความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของมลพิษทางอากาศเหล่านี้ก็ส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้เสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับโรคระบบทางเดินหายใจโดยเฉลี่ยที่ lag1, lag2, lag3 และ lag01 โดยค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยขอ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สูงที่สุดที่ lag1 ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ สูงที่สุดที่ lag3 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ สูงที่สุดที่ lag0 ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ สูงที่สุดที่ lag01 ซึ่งความหมายของสัมประสิทธิ์ของสารมลพิษทางอากาศเหล่านี้หมายถึงจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยระบบทางเดินหายใจโดยเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้น เช่น ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ที่ lag1 มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 0.0261 จะหมายถึงจำนวนผู้เสียชีวิตรายวันด้วยระบบทางเดินหายใจโดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเท่ากับ exp(0.0261) = 1.026 คน เมื่อฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ณ เวลาย้อนหลัง 1 วัน มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น 10 $\mu g/m^3$ ซึ่งสารมลพิษชนิดอื่น ๆ มีการพิจารณาในทำนองเดียวกัน

จากผลการศึกษาที่ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สองคาบเวลา (Lag01) พบว่าจำนวนสารมลพิษที่ส่งผลต่อจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยระบบทางเดินหายใจโดยเฉลี่ยรายวันที่มีค่าสูงสุดมีหลายมลพิษประกอบด้วย ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยเท่ากับ 0.0197 0.0204 และ 0.0230 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศที่ความเสี่ยงต่อจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจที่ lag01 ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซโอโซน โดยนำเสนอในรูปความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) เพื่อนำไปสร้างเป็นดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

จากผลลัพธ์ข้างต้นรายงานในรูปความเสี่ยงสัมพัทธ์ (RR) และความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) ของการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจใน lag01 ดังแสดงในตารางที่ 9 ซึ่งความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่ออัตราการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ เท่ากับ 1.87% (95% CI, 0.41%,3.34%) 1.99% (95% CI, 1.26%,2.73%) 2.06% (95% CI, 1.48%,2.64%) 2.33% (95% CI, 1.45%,3.21%) ตามลำดับ และความเสี่ยงส่วนเกิน (%ER) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่ออัตราการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ เท่ากับ 0.19% (95% CI, 0.04%,0.33%) 0.20% (95% CI, 0.13%,0.27%) 0.20%(95% CI, 0.15%,0.26%) และ 0.23% (95% CI, 0.14%,0.32%) ตามลำดับ

ตารางที่ 8 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซองของความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศต่าง ๆ (ต่อ 10 μg/m^3) จากคนเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ

Lag days	Poisson regression คาร์บอนมอนอกไซด์efficient $\hat{\beta}$ (95% CI)					
	$PM_{2.5}$ (μg/m^3)	PM_{10} (μg /m^3)	O_3 (μg /m^3)	SO_2 (μg /m^3)	NO_2 (μg /m^3)	CO (ppm)
Lag 0	0.0187**	0.0188***	0.0169***	0.0298	0.0193***	**-0.0192**
	(0.0047,0.0327)	(0.0118,0.0258)	(0.0116,0.0223)	(-0.0137,0.0732)	(0.0109,0.0276)	**(-0.0970,0.0586)**
Lag 1	**0.0261*** **	0.0177***	0.0110***	0.0271	0.0209***	-0.0362
	(0.0113,0.0409)	(0.0104,0.0252)	(0.0058,0.0162)	(-0.0171,0.0713)	(0.0122,0.0297)	(-0.1144,0.0420)
Lag 2	0.0165*	0.0163***	0.0114***	0.0243	0.0189***	-0.0294
	(0.0016,0.0314)	(0.0088,0.0237)	(0.0064,0.0165)	(-0.0195,0.0681)	(0.0105,0.0273)	(-0.1074,0.0487)
Lag 3	0.0213**	0.0129***	0.0088***	**0.0422**	0.0161***	-0.0597
	(0.0070,0.0357)	(0.0056,0.0201)	(0.0039,0.0137)	**(-0.0012,0.0857)**	(0.0079,0.0243)	(-0.1384,0.0189)
lag01	0.0185*	**0.0197*** **	**0.0204*** **	0.0397	**0.0230*** **	-0.0320
	(0.0041,0.0329)	**(0.0125,0.0269)**	**(0.0147,0.0261)**	(-0.0071,0.0864)	**(0.0144,0.0316)**	(-0.1134,0.0494)

หมายเหตุ: ***p=0.001, ** p=0.01, * p=0.05

ตัวเลขในวงเล็บ ( ) คือ ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซอง

ตัวเลขหนา คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซองของสารมลพิษทางอากาศที่มีค่าสูง

ตารางที่ 9 ความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจใน lag01

Pollutant	ความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 10 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด			ความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด		
	Coefficient $(\widehat{\beta})$	Relative risk (RR) 95% CI	Excess risk (ER) % 95% CI	Coefficient $(\widehat{\beta})$	Relative risk (RR) 95% CI	Excess risk (ER) % 95% CI
$PM_{2.5}$	0.0185	1.0187 (1.0041,1.0334)	1.87 (0.41,3.34)	0.00185	1.00185 (1.0004,1.0033)	0.19 (0.04,0.33)
PM_{10}	0.0197	1.0199 (1.0126,1.0273)	1.99 (1.26,2.73)	0.00197	1.00197 (1.0013,1.0027)	0.20 (0.13,0.27)
O_3	0.0204	1.0206 (1.0148,1.0264)	2.06 (1.48,2.64)	0.00204	1.00204 (1.0015,1.0026)	0.20 (0.15,0.26)
NO_2	0.0230	1.0233 (1.0145,1.0321)	2.33 (1.45,3.21)	0.00230	1.00230 (1.0014,1.0032)	0.23 (0.14,0.32)

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

สำหรับการเลือกสารมลพิษทางอากาศที่เหมาะสม ต้องพิจารณาจากมลพิษทางอากาศที่มีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตอย่างมีนัยสำคัญ เพื่อนำสารมลพิษทางอากาศที่มีความเสี่ยงมารวมกันในสมการ โดยในสมการควรพิสูจน์ความสัมพันธ์กันเองของสารมลพิษทางอากาศ เนื่องจากสารมลพิษบางตัวอาจมีความสัมพันธ์กันเองในระดับสูง จากการศึกษานี้ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน มีความสัมพันธ์กันเองในระดับสูง (r = 0.910, ตารางที่ 7) ส่งผลให้การทำนายอาจคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากอาจมาจากแหล่งเดียวกัน (Jain, Sharma, Vijayan, & Mandal, 2020; N. Jiang et al., 2018; Liu et al., 2020) และในกรณีที่ความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลง จะทำให้ความเข้มข้นฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน สูงขึ้นหรือต่ำลงด้วยเช่นกัน ดังนั้นการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพจึงพิจารณาแยกสมการออกเป็น 2 สมการ สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($AQHIPM_{2.5}$) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ($AQHIPM_{10}$) ซึ่งจากผลการศึกษาข้างต้น (ตารางที่ 8) จะเห็นได้ว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้ได้สมการดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ดังสมการที่ 24 และดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังสมการที่ 25 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ (β) ของมลพิษทางอากาศที่มีความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ ต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิดที่แสดงในตารางที่ 9

$$AQHIPM_{2.5} = 10/67.8*(100*(\exp(0.00185*PM_{2.5}) -1+\exp(0.00204*O_3) -1 + \exp(0.00230*NO_2) -1)) \quad (24)$$

$$AQHIPM_{10} = 10/98.1*(100*(\exp(0.00197* PM_{10}) -1+\exp(0.00204*O_3) -1 + \exp(0.00230* NO_2) -1)) \quad (25)$$

โดยที่ 67.8 คือ ค่าสูงสุดรายวันของผลรวมของความเสี่ยงส่วนเกินของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซโอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษา

98.1 คือ ค่าสูงสุดรายวันของผลรวมของความเสี่ยงส่วนเกินของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ตลอดระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการศึกษา

4.1.2.2 กรณีผู้เสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ (A00-R99)

ผลการศึกษาในกรณีผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุแสดงได้ดังตารางที่ 10 เป็นผลการวิเคราะห์การถดถอยปัวส์ซองด้วยแบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไปเช่นเดียวกันกับกรณีแรก ซึ่งผลพบว่ามลพิษทางอากาศทุกชนิดส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของ

จำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุที่ทุก lag ของการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ โดยค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน สูงที่สุดที่ lag1 ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงที่สุดที่ lag2 ส่วนฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์สูงที่สุดที่ lag01 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสารมลพิษทางอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูงส่วนใหญ่อยู่ในวันของการรับสัมผัสที่ lag01

จากผลที่ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สองคาบเวลา (Lag01) พบว่าจำนวนสารมลพิษทุกชนิดซึ่งส่งผลต่อจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ แต่เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์กับต่อจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุไปในทิศทางเชิงลบ และมีผลกระทบต่อจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุที่นัยสำคัญต่ำกว่ามลพิษตัวอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นเพราะโรคบางชนิดอาจไม่ได้เกี่ยวข้องกับมลพิษชนิดนี้และอาจเป็นเพราะข้อมูลในบางส่วนที่ขาดหายไป จึงไม่เลือกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มารวมในสมการดัชนีคุณภาพเชิงสุขภาพ ดังนั้นเลือกความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ มาสร้างเป็นดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

จากผลลัพธ์ข้างต้นสารมลพิษดังกล่าวที่ถูกเลือกแสดงในรูปความเสี่ยงสัมพัทธ์ (RR) และความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) ต่อจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุแสดงดังตารางที่ 11 ซึ่งความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่ออัตราการเสียชีวิตโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุเท่ากับ 0.95% (95%CI, 0.50%,1.42%) 1.36% (95%CI, 1.13%,1.59%) 1.07% (95%CI, 0.88%,1.25%) 1.12% (95%CI, 0.83%,1.39%) และ 4.78% (95% CI, 3.23%,6.34%) ตามลำดับ และความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่อจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ เท่ากับ 0.10% (95% CI, 0.05%,0.14%) 0.14% (95% CI, 0.11%,0.16%) 0.11% (95% CI, 0.09%,0.12%) และ 0.12% (95% CI, 0.08%,0.14%) และ 0.47% (95% CI, 0.32%,0.62%) ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซองของความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศต่าง ๆ (ต่อ 10 μg/m^3) จากผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ

Lag days	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซอง (95% CI)					
	$PM_{2.5}$ (μg/m^3)	PM_{10} (μg/m^3)	O_3 (μg/m^3)	SO_2 (μg/m^3)	NO_2 (μg/m^3)	CO (ppm)
Lag 0	0.0091***	0.0124***	0.0091***	0.0416***	0.0097***	-0.0377**
	(0.0047,0.0135)	(0.0101,0.0146)	(0.0074,0.0108)	(0.0278,0.0553)	(0.0070,0.0124)	(-0.0621,-0.0132)
Lag 1	**0.0109*** **	0.0120***	0.0055***	0.0362***	0.0100***	-0.0392**
	(0.0062,0.0157)	(0.0097,0.0143)	(0.0038,0.0071)	(0.0222,0.0501)	(0.0073,0.0128)	(-0.0638,-0.0147)
Lag 2	0.0093***	0.0098***	0.0034***	0.0282***	0.0077***	**-0.0364****
	(0.0046,0.0140)	(0.0075,0.0122)	(0.0018,0.0050)	(0.0143,0.0420)	(0.0050,0.0104)	**(-0.0609,-0.0120)**
Lag 3	0.0058*	0.0068***	0.0020***	0.0205***	0.0052***	-0.0390**
	(0.0012,0.0104)	(0.0045,0.0091)	(0.0005,0.0036)	(0.0067,0.0344)	(0.0026,0.0078)	(-0.0635,-0.0145)
Lag 01	0.0095***	**0.0135*****	**0.0106*****	**0.0467*****	**0.0111*****	-0.0438***
	(0.0050,0.0141)	**(0.0112,0.0158)**	**(0.0088,0.0124)**	**(0.0318,0.0615)**	**(0.0083,0.0138)**	(-0.0694,-0.0182)

หมายเหตุ: ***p=0.001, ** p=0.01, * p=0.05

ตัวเลขในวงเล็บ ( ) คือ ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซอง

ตัวเลขหนา คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซองของสารมลพิษทางอากาศที่มีค่าสูงสุด

ตารางที่ 11 ความเสี่ยงของการเสียชีวิตจากโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุใน lag01

Pollutant	**ความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก** 10 **หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด**			**ความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก** 1 **หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด**		
	Coefficient $(\widehat{\beta})$	**Relative risk (RR)** **95% CI**	**Excess risk (ER) %** **95% CI**	**Coefficient** $(\widehat{\beta})$	**Relative risk (RR)** **95% CI**	**Excess risk (ER) %** **95% CI**
$PM_{2.5}$	0.0095	1.0095 (1.0050,1.0142)	0.95 (0.50,1.42)	0.00095	1.00095 (1.0005,1.0014)	0.10 (0.05,0.14)
PM_{10}	0.0135	1.0136 (1.0113.1.0159)	1.36 (1.13,1.59)	0.00135	1.00135 (1.0011,1.0016)	0.14 (0.11,0.16)
O_3	0.0106	1.0107 (1.0088,1.0125)	1.07 (0.88,1.25)	0.00106	1.00106 (1.0009,1.0012)	0.11 (0.09,0.12)
NO_2	0.0111	1.0112 (1.0083,1.0139)	1.12 (0.83,1.39)	0.00111	1.00112 (1.0008,1.0014)	0.12 (0.08,0.14)
SO_2	0.0467	1.0478 (1.0323,1.0634)	4.78 (3.23,6.34)	0.00467	1.00468 (1.0032,1.0062)	0.47 (0.32,0.62)

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

ในทำนองเดียวกันกับกรณีแรก ผลการศึกษาของผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ ทำให้ได้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($AQHIPM_{2.5}$) และสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ($AQHIPM_{10}$) ซึ่งในกรณีนี้จะเห็นได้ว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ส่งผลกระทบต่อผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้ได้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ดังสมการที่ 26 และดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน สำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ดังสมการที่ 27 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ $(\widehat{\beta})$ ต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิดที่แสดงในตารางที่ 11

$$AQHIPM_{2.5} = 10/73.8*(100*(\exp(0.00095*PM_{2.5}) -1 + \exp(0.00106*O_3) -1 + \exp(0.00467*SO_2) -1 + \exp(0.00111 *NO_2) -1)) \quad (26)$$

$$AQHIPM_{10} = 10/104.9*(100*(\exp(_50.00135*PM_{10}) -1 + \exp(0.00106 *O_3) -1 + \exp(0.00467* SO_2) -1 + \exp(0.00111 *NO_2) -1)) \quad (27)$$

โดยที่ 73.8 คือ ค่าสูงสุดรายวันของผลรวมของความเสี่ยงส่วนเกินของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ตลอดระยะเวลาทั้งหมด

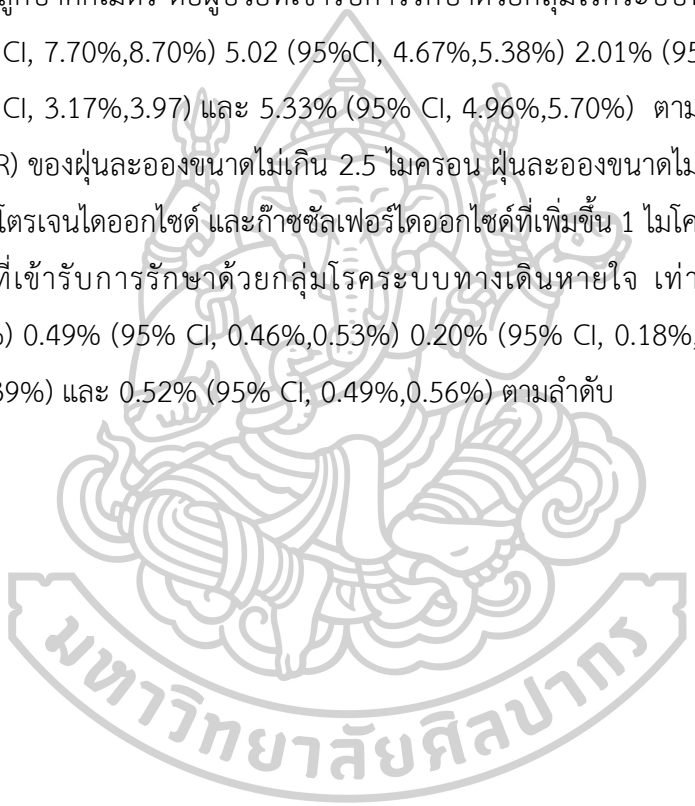
104.9 คือ ค่าสูงสุดรายวันของผลรวมของความเสี่ยงส่วนเกินของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ตลอดระยะเวลาทั้งหมด

4.1.2.3 กรณีผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99)

ผลการศึกษาในกรณีผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจแสดงได้ดังตารางที่ 12 เป็นผลการวิเคราะห์การถดถอยปัวส์ซองด้วยแบบจำลองเชิงบวกสมนัยทั่วไปเช่นเดียวกันกับกรณีแรก ซึ่งผลพบว่ามลพิษทางอากาศทุกชนิดส่งผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุที่ทุก lag ของการรับสัมผัสสารมลพิษทางอากาศ โดยค่าประมาณสัมประสิทธิ์การถดถอยของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์สูงที่สุดที่ lag1 ส่วนก๊าซโอโซน และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สูงที่สุดที่ lag01 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสารมลพิษทางอากาศที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูงส่วนใหญ่อยู่ในวันของการรับสัมผัสที่ lag1 และเนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีความสัมพันธ์ต่อผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยโรคระบบทางเดินหายใจไปในทิศทางเชิงลบ ซึ่งอาจเป็นเพราะข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์เช่นเดียวกับกรณีของผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่

ไม่ใช่อุบัติเหตุ ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่ lag1 นำเสนอในรูปความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) เพื่อนำไปสร้างเป็นดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

จากผลลัพธ์ข้างต้นสารมลพิษดังกล่าวที่ถูกเลือกแสดงในรูปความเสี่ยงสัมพัทธ์ (RR) และความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) ต่อจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุแสดงดังตารางที่ 13 ซึ่งความเสี่ยงส่วนเกิน (ER) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่อผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ เท่ากับ 8.20% (95% CI, 7.70%,8.70%) 5.02 (95%CI, 4.67%,5.38%) 2.01% (95% CI, 1.78%,2.24%) 3.57% (95% CI, 3.17%,3.97) และ 5.33% (95% CI, 4.96%,5.70%) ตามลำดับ และความเสี่ยงส่วนเกิน (%ER) ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น 1 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ต่อต่อผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ เท่ากับ 0.79% (95% CI, 0.74%,0.84%) 0.49% (95% CI, 0.46%,0.53%) 0.20% (95% CI, 0.18%,0.22%) 0.35% (95% CI, 0.31%,0.39%) และ 0.52% (95% CI, 0.49%,0.56%) ตามลำดับ



ตารางที่ 12 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซองของความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศต่าง ๆ (ต่อ 10 $\mu g/m^3$) จากผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ

Lag days	ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซอง (95% CI)					
	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_{10} ($\mu g/m^3$)	O_3 ($\mu g/m^3$)	SO_2 ($\mu g/m^3$)	NO_2 ($\mu g/m^3$)	CO (ppm)
Lag 0	0.0628***	0.0390***	0.0252***	0.0479***	0.0283***	-2.5444***
	(0.0585,0.0671)	(0.0358,0.4219)	(0.0227,0.0276)	(0.0444,0.0514)	(0.0245,0.0320)	(-2.8358,-2.2530)
Lag 1	**0.0788*** **	**0.0490*** **	0.0199***	0.0519***	**0.0351*** **	**-2.2242*** **
	(0.0742,0.0834)	**(0.0456,0.0524)**	(0.0176,0.0222)	(0.0484,0.05544)	**(0.0312,0.0389)**	**(-2.5198,-1.9286)**
Lag 2	0.0679***	0.0425***	0.0172***	0.0494***	0.0270***	-2.5484***
	(0.0632,0.0726)	(0.0392,0.0459)	(0.0149,0.0195)	(0.0459,0.0529)	(0.0232,0.0307)	(-2.8444,-2.2524)
Lag 3	0.0496***	0.0289***	0.0186***	0.0334***	0.0045***	-3.7023***
	(0.0450,0.0542)	(0.0256,0.0322)	(0.0163,0.0209)	(0.0298,0.0371)	(0.0009,0.0082)	(-4.0006,-3.4040)
Lag 01	0.0656***	0.0376***	**0.0295*** **	**0.0533*** **	0.0250***	-2.9993***
	(0.0612,0.0700)	(0.0344,0.0409)	**(0.0269,0.0321)**	**(0.0496,0.0571)**	(0.0211,0.0288)	(-3.3084,-2.6902)

หมายเหตุ: ***p=0.001, ** p=0.01, * p=0.05

ตัวเลขในวงเล็บ ( ) คือ ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซอง

ตัวเลขหนา คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยปัวส์ซองของสารมลพิษทางอากาศที่มีค่าสูงสุด

ตารางที่ 13 ความเสี่ยงของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจใน lag1

Pollutant	ความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 10 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด			ความเสี่ยงต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิด		
	Coefficient $(\widehat{\beta})$	Relative risk (RR) 95% CI	Excess risk (ER) % 95% CI	Coefficient $(\widehat{\beta})$	Relative risk (RR) 95% CI	Excess risk (ER) % 95% CI
$PM_{2.5}$	0.0788	1.0820 (1.0770,1.0870)	8.20 (7.70,8.70)	0.00788	1.0079 (1.0074,1.0084)	0.79 (0.74,0.84)
PM_{10}	0.0490	1.0502 (1.0467,1.0538)	5.02 (4.67,5.38)	0.00490	1.0049 (1.0046,1.0053)	0.49 (0.46,0.53)
O_3	0.0199	1.0201 (1.0178,1.0224)	2.01 (1.78,2.24)	0.00199	1.0020 (1.0018,1.0022)	0.20 (0.18,0.22)
NO_2	0.0351	1.0357 (1.0317,1.0397)	3.57 (3.17,3.97)	0.00351	1.0035 (1.0031,1.0039)	0.35 (0.31,0.39)
SO_2	0.0519	1.0533 (1.0496,1.0570)	5.33 (4.96,5.70)	0.00519	1.0052 (1.0049,1.0056)	0.52 (0.49,0.56)

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

ในทำนองเดียวกันกับข้างต้น สำหรับกรณีตัวแปรทางสุขภาพ คือ ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ พบว่าฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้ได้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($AQHIPM_{2.5}$) ดังสมการที่ 28 และสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ($AQHIPM_{10}$) ดังสมการที่ 29 โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ $(\widehat{\beta})$ ต่อการเพิ่มขึ้นทุก 1 หน่วยของมลพิษอากาศแต่ละชนิดที่แสดงในตารางที่ 13 ซึ่งได้สารมลพิษทางอากาศเหมือนกับกรณีของการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์แตกต่างกัน

$$AQHIPM_{2.5} = 10/172.7*(100*(\exp(0.00788* PM_{2.5}) -1 + \exp(0.00199*O_3) -1 + \exp(0.00519* SO_2) -1 + \exp(0.00351*NO_2) -1)) \quad (28)$$

$$AQHIPM_{10} = 10/201.8*(100*(\exp(0.00490*PM_{10}) -1 + \exp(0.00199 *O_3) -1 + \exp(0.00519* SO_2) -1 + \exp(0.00351* NO_2) -1)) \quad (29)$$

โดยที่ 172.7 คือค่าสูงสุดรายวันของผลรวมของความเสี่ยงส่วนเกินของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ตลอดระยะเวลาทั้งหมด

201.8 คือค่าสูงสุดรายวันของผลรวมของความเสี่ยงส่วนเกินของ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซนก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ตลอดระยะเวลาทั้งหมด

4.1.3 การเลือกใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

สำหรับการนำดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมาใช้จะเลือกโดยพิจารณาจากการใช้ข้อมูลที่ค่อนข้างสมบูรณ์ที่สุด และความสอดคล้องกับพื้นที่ศึกษา ซึ่งจากการศึกษาพบว่าในกรณีของตัวแปรผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุยังมีบางสาเหตุของการเสียชีวิตที่ไม่ได้เกี่ยวข้องโดยตรงกับมลพิษทางอากาศ ส่วนในกรณีตัวแปรเป็นผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจนั่นมีความเกี่ยวข้องและสามารถเกิดขึ้นได้โดยตรงจากมลพิษทางอากาศ แต่เนื่องจากตัวแปรผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจใช้ข้อมูลค่อนข้างไม่สมบูรณ์น้อยกว่ากรณีอื่น อาจทำให้สมการที่ได้ยังไม่ดีพอ เพราะฉนั้นจึงขอเสนอให้ใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพในกรณีที่ใช้ข้อมูลสุขภาพเป็นผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (กรณีที่ 1) เพราะว่าเป็นตัวแปรทางสุขภาพที่เฉพาะเจาะจงและเกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศได้โดยตรง และ สอดคล้องกับสถานการณ์ในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากปริมาณ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ยังคงมีระดับสูงถึงแม้จะมี

แนวโน้มลดลงก็ตาม อีกทั้งความเข้มข้นของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์เป็นปัญหาน้อยกว่า มลพิษอากาศตัวอื่นสำหรับประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2561b) ซึ่งส่วนใหญ่มีค่าอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพที่ได้จาก ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จึงสามารถเป็นตัวแทนของความเสี่ยงต่อสุขภาพจากมลพิษอากาศได้ในระดับหนึ่ง

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 การประเมินความเสี่ยงทางสุขภาพ

ในการศึกษาครั้งนี้ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 3 กรณี โดยกรณีแรกใช้ข้อมูลสุขภาพเป็นผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99) พบความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์กับการเสียชีวิตด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจอย่างมีนัยสำคัญ และเหมาะที่จะนำไปใช้จัดทำดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ กรณีที่สองใช้ข้อมูลสุขภาพเป็นผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ (A00-R99) และกรณีที่สามที่ใช้ข้อมูลสุขภาพ คือ ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (J00-J99) พบความสัมพันธ์ระหว่างมลพิษทางอากาศของทุกมลพิษอย่างมีนัยสำคัญ แต่เลือก 5 มลพิษไปจัดทำดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ ได้แก่ ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ก๊าซโอโซน ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน ซึ่งในแต่ละกรณีจะมีสมการแตกต่างกันไป สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ขอแนะนำดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของกรณีแรกที่ใช้ข้อมูลสุขภาพเป็นผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ เพราะว่าเป็นตัวแปรทางสุขภาพที่เฉพาะเจาะจงและเกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศได้โดยตรง และมีผลสอดคล้องกับสถานการณ์มลพิษในพื้นที่มากกว่ากรณีอื่น ๆ

จากผลการศึกษาทั้งสามกรณี ทั้งจากข้อมูลจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ และจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุโดยใช้ข้อมูล ณ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สองคาบเวลา (two moving average; Lag01) และข้อมูลจำนวนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยกลุ่มโรคระบบทางเดินหายใจ โดยใช้ข้อมูล ณ เวลาย้อนหลัง 1 วัน จะได้สมการดัชนีคุณภาพอากาศจะมีจำนวนสารมลพิษทางอากาศและค่าสัมประสิทธิ์ที่แตกต่างกันออกไปสรุปได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 สรุปสมการดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

ข้อมูลสุขภาพ	สารมลพิษทางอากาศที่ได้	สมการ
$AQHIPM_{2.5}$		
1.ผู้เสียชีวิตด้วยโรคโรคระบบทางเดินหายใจ (Lag01)	$PM_{2.5}$ O_3 และ NO_2	$AQHIPM_{2.5}$ = 10/67.8*(100*(exp(0.00185*$PM_{2.5}$)−1+exp(0.00204*O_3)−1 + exp(0.00230*NO_2)−1))
2. ผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ (Lag01)	$PM_{2.5}$ O_3 SO_2 และ NO_2	$AQHIPM_{2.5}$ = 10/73.8*(100*(exp(0.00095*$PM_{2.5}$)−1 + exp(0.00106*O_3)−1 + exp(0.00467*SO_2)−1 +exp(0.00111 *NO_2)−1))
***3.* กรณีของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (Lag1)**	$PM_{2.5}$ O_3 SO_2 และ NO_2	$AQHIPM_{2.5}$ = 10/167.4*(100*(exp(0.00788* $PM_{2.5}$)−1 + exp(0.00199*O_3)−1 + exp(0.00519* SO_2)−1 exp(0.00351*NO_2)−1))
$AQHIPM_{10}$		
1.ผู้เสียชีวิตด้วยโรคโรคระบบทางเดินหายใจ (Lag01)	PM_{10} O_3 และ NO_2	$AQHIPM_{10}$ = 10/98.1*(100*(exp(0.00197* PM_{10})−1+exp(0.00204*O_3)−1 + exp(0.00230* NO_2)−1))
2. ผู้เสียชีวิตด้วยโรคทุกสาเหตุที่ไม่ใช่อุบัติเหตุ (Lag01)	PM_{10} O_3 SO_2 และ NO_2	$AQHIPM_{10}$ = 10/104.9*(100*(exp($_5$0.00135*PM_{10})−1 + exp(0.00106 *O_3)−1 + exp(0.00467* SO_2)−1 +exp(0.00111 *NO_2)−1))
3. กรณีของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ (Lag1)	PM_{10} O_3 SO_2 และ NO_2	$AQHIPM_{10}$ = 10/193.7*(100*(exp(0.00490*PM_{10})−1 + exp(0.00199 *O_3)−1 + exp(0.00519* SO_2)−1 exp(0.00351 * NO_2)−1))

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

เป็นเครื่องมือที่สามารถช่วยให้ประชาชนทั่วไปหรือกลุ่มเปราะบาง (เด็ก ผู้ป่วย ผู้สูงอายุ) สามารถปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อลดการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศตามระดับความเสี่ยง ทำให้ประชาชนมีทางเลือกในการป้องกันตนเองมากขึ้น อันจะนำไปสู่การลดผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนจากมลพิษทางอากาศ และลดข้อจำกัดของดัชนีคุณภาพอากาศ (AQI) ที่ใช้อยู่ อีกทั้งดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพทำหน้าที่เป็นระบบรายงานคุณภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพสำหรับการจัดการคุณภาพอากาศในเมืองต่าง ๆ หรือพื้นที่ที่สนใจ เพื่อประเมินความสำเร็จไปสู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ (SDG) ที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบต่อสุขภาพจากมลพิษทางอากาศ (เช่น เป้าหมาย SDG 3.9.1 ที่ขอให้ลดอัตราการตายและการเจ็บป่วยจากมลพิษทางอากาศ) (Pinichka et al., 2017; World Health Organization, 2022b)

2) การประยุกต์ใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

สำหรับการเลือกใช้สมการที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อให้มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากมีหลายสมการ ควรมีการคำนวณผลดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ (AQHI) โดยแทนค่าข้อมูลมลพิษทางอากาศในแต่ละสมการที่ได้มา โดยใช้ข้อมูลมลพิษทางอากาศที่ไม่ได้นำมาใช้ในการกำหนดแบบจำลอง เปรียบเทียบกับข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดแบบจำลองในการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการพยากรณ์อยู่ในช่วงเดียวกันหรือไม่ เพื่อดูว่าสมการใดมีความเหมาะสมในการนำไปใช้

ในการนำสมการมาใช้ในแต่ละพื้นที่ควรพิจารณาตามความพร้อมของข้อมูล คุณภาพอากาศในพื้นที่ศึกษา หากการตรวจวัดคุณภาพอากาศในพื้นที่ไม่มีข้อมูลของฝุ่นละอองขนาด ไม่เกิน 2.5 ไมครอน ก็สามารถใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ($AQHIPM_{10}$) หากมีทั้งข้อมูลฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน ขอเสนอให้ใช้ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสำหรับฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($AQHIPM_{2.5}$) เนื่องจากฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน มีผลกระทบต่อสุขภาพมากกว่า ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (Lin et al., 2016; Suh, 2009; World Health Organization, 2021b)

3) การกำหนดระดับความเสี่ยงดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ

การรายงานดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพสามารถกำหนดค่าเป็นช่วง เพื่อสะดวกในการสื่อสารความเสี่ยงต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศให้กับประชาชน ตัวอย่างของการกำหนดช่วงดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของแคนาดาที่พิจารณาจากการแจกแจงความถี่ของดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของ 10 เมืองที่สูงสุดในแต่ละวัน โดยกำหนดดัชนีคุณภาพอากาศเชิง

สุขภาพเป็นช่วง 0–10+ โดย 0-3 หมายถึง ความเสี่ยงต่อสุขภาพต่ำ 4-6 หมายถึง ความเสี่ยงต่อสุขภาพปานกลาง 7-10 หมายถึง ความเสี่ยงต่อสุขภาพสูง และมากกว่า 10 หมายถึง ความเสี่ยงต่อสุขภาพสูงมาก และการกำหนดช่วงดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพของฮ่องกงที่ใช้ The excess risks (%ER) จัดกลุ่มระดับความเสี่ยงโดยนำค่า WHO guideline ของสารมลพิษประกอบด้วย PM_{10}, O_3, NO_2 และ SO_2 มาคำนวณเป็นเกณฑ์ เพื่อกำหนดลำดับชั้นของ %ER และนำลำดับชั้นของ %ER ไปอ้างอิงกับค่า AQHI ที่มีค่าดัชนีในช่วง 0 – 10+ ซึ่งจะได้ว่า %ER ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0 – 5.64 จะมีค่าเทียบเคียงกับ AQHI ในช่วง 1 – 3 %ER ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง >5.64 – 11.29 มีค่าเทียบเคียงกับ AQHI ในช่วง 4 – 6 นอกจากนี้ %ER ที่มีค่าอยู่ ในช่วง >11.29 – 12.91 มีค่าเทียบเคียงกับ AQHI เท่ากับ 7 %ER ที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง >12.91 – 19.37 มีค่าเทียบเคียงกับ AQHI ในช่วง 8 – 10 และ %ER ที่มีค่ามากกว่า 19.37 มีค่าเทียบเคียงกับค่า AQHI มากกว่า 10 ซึ่งแน่นอนว่าค่าเหล่านี้จะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ขึ้นอยู่กับผลจากการศึกษาในแต่ละพื้นที่ (Tze Wai Wong et al., 2012)

4) ข้อจำกัดการศึกษา

การพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพมีข้อจำกัดหลายประการ ประการแรกในเรื่องของการเก็บรวบรวมข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศและข้อมูลสุขภาพ (อัตราการเสียชีวิตและการเจ็บป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ) ที่นำมาใช้สำหรับหาสัมประสิทธิ์ของสารมลพิษทางอากาศ หากข้อมูลที่ใช้ในการศึกษามีไม่สมบูรณ์อาจส่งผลต่อแบบจำลองได้ ประการที่สอง ดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพต้องพัฒนาขึ้นจากข้อมูลความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศและข้อมูลสุขภาพของแต่ละพื้นที่ (จังหวัด,ประเทศ) ทั้งนี้ควรมีการปรับข้อมูลให้เป็นปัจจุบันสำหรับใช้ในการทำดัชนีคุณภาพอากาศเป็นระยะ ๆ เนื่องจากสถานการณ์คุณภาพอากาศและจำนวนผู้ป่วยหรือผู้เสียชีวิตอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสุขภาวะของประชากรและคุณภาพสิ่งแวดล้อม

5) การศึกษาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพเพิ่มเติม หรือต่อยอดในพื้นที่อื่น

ในอนาคตการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ สำหรับตัวบ่งบอกถึงความเสี่ยงต่อสุขภาพข้อมูลด้านสุขภาพว่าผลกระทบของอากาศอาจไม่เพียงแต่รวมถึงการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจเท่านั้น มลพิษทางอากาศยังส่งผลต่อโรคอื่น เช่น ปอดอุดกั้นเรื้อรัง (COPD) โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคหอบหืด เป็นต้น (X. Q. Jiang, Mei, & Feng, 2016; Manisalidis, Stavropoulou, Stavropoulos, & Bezirtzoglou, 2020) ดังนั้นหากมีโอกาสได้ศึกษาการพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศเชิงสุขภาพ สามารถใช้ข้อมูลทางสุขภาพอื่นที่บ่งบอกถึงผลกระทบต่อการเจ็บป่วยหรือเสียชีวิตจากสารมลพิษทางอากาศ โดยการศึกษากลุ่มโรคอื่น ๆ ที่อาจมีความสัมพันธ์กับมลพิษทางอากาศ และวิเคราะห์เพิ่มเติมตามอายุหรือกลุ่มเสี่ยง ซึ่งจะทำให้กำหนดค่าระดับความเสี่ยงที่กระทบต่อสุขภาพได้อย่างเฉพาะเจาะจงกับกลุ่มเป้าหมายชัดเจนมากขึ้น หรืออาจคำนึงถึงฤดูกาลใน

การนำมาพัฒนาดัชนีคุณภาพอากาศสำหรับในแต่ฤดู เนื่องจากในแต่ละฤดูกาลมีปริมาณมลพิษทางอากาศ และสุขภาวะของประชากรแตกต่างกัน และสำหรับการนำข้อมูลมาวิเคราะห์นั้นอาจมีการคำนวณขนาดตัวอย่าง โดยอิงกับอำนาจการทดสอบของสมมติฐาน ซึ่งจะได้ขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม หรืออาจนำค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยที่ได้มาจากข้อมูลที่มีอย่างจำกัดไปคำนวณอำนาจการทดสอบว่ามีค่าสูงหรือต่ำ ซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของสมการที่ได้มา แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลยิ่งมีจำนวนมากและมีความสมบูรณ์ ก็จะทำให้ผลการวิเคราะห์มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น

รายการอ้างอิง

Bhaskaran, K., Gasparrini, A., Hajat, S., Smeeth, L., & Armstrong, B. (2013). Time series regression studies in environmental epidemiology. *International Journal of Epidemiology, 42*(4), 1187–1195.

Canada, & Health Canada. (2013). The National Air Quality Health Index Program : evaluation. Accessed August 30. Available from https://publications.gc.ca/site/eng/9.823757/publication.html

Chen, R., et al. (2013). Communicating air pollution-related health risks to the public: an application of the Air Quality Health Index in Shanghai, China. *Environ Int, 51*, 168-173.

Chen, R., et al. (2017). Fine Particulate Air Pollution and Daily Mortality A Nationwide Analysis in 272 Chinese Cities. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 196*(1), 73-81.

Cromar, K., Gladson, L., Jaimes Palomera, M., & Perlmutt, L. (2021). Development of a health-based index to identify the association between air pollution and health effects in Mexico city. *Atmosphere, 12*(3), 1-16.

Du, X., et al. (2020). The establishment of National Air Quality Health Index in China. *Environment International, 138*(May 2019), 105-594.

Environmental Protection Department. (2021). About AQHI. Accessed August 10. Available from http://www.aqhi.gov.hk/en/what-is-aqhi/about-aqhi.html

---. (2022). About AQHI. Accessed August 10. Available from https://www.aqhi.gov.hk/en/what-is-aqhi/about-aqhif0e5.html?start=3

Government of Canada. (2015). Categories and health messages. Accessed August 10. Available from https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-quality-health-index/understanding-messages.html

---. (2021). About the Air Quality Health Index. Accessed August 10. Available from https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-quality-health-index/about.html

Jain, S., Sharma, S. K., Vijayan, N., & Mandal, T. K. (2020). Seasonal characteristics of

aerosols (PM2.5 and PM10) and their source apportionment using PMF: A four year study over Delhi, India. *Environmental Pollution, 262*, 114-337.

James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An Introduction to Statistical Learning with Applications in R.* New York: Springer.

Jiang, N., et al. (2018). Characteristics of mass concentration, chemical composition, source apportionment of PM2.5 and PM10 and health risk assessment in the emerging megacity in China. *Atmospheric Pollution Research, 9*(2), 309-321.

Jiang, X. Q., Mei, X. D., & Feng, D. (2016). Air pollution and chronic airway diseases: What should people know and do? *Journal of Thoracic Disease, 8*(1), 31-40.

Li, X., et al. (2017). The construction and validity analysis of AQHI based on mortality risk: A case study in Guangzhou, China. *Environmental Pollution, 220*(2), 487-494.

Lin, H., et al. (2016). Particle size and chemical constituents of ambient particulate pollution associated with cardiovascular mortality in Guangzhou, China. . *Environmental Pollution 208*, 758–766.

Liu, B., et al. (2020). Characterization and spatial source apportionments of ambient PM10 and PM2.5 during the heating period in tian'jin, china. *Aerosol and Air Quality Research, 20*, 1-13.

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health, 8*(February), 1-13.

Martins, N. R., & Carrilho da Graça, G. (2018). Impact of PM2.5 in indoor urban environments: a review. *Sustainable Cities and Society, 42*, 259-275.

Pinichka, C., et al. (2017). Burden of disease attributed to ambient air pollution in Thailand: A GIS-based approach. *PLoS ONE, 12*(12), 1-18.

Ravindra, K., Rattan, P., Mor, S., & Nath, A. A. (2019). Generalized additive models: Building evidence of air pollution, climate change and human health. *Environment International, 132*, 1-10.

Schober, P., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesthesia and Analgesia, 126*(5), 1763-1768.

Stieb, D. M., et al. (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 & Waste Mangement Association, 58*, 435-450.

---. (2012). A New Multipollutant, No-Threshold Air Quality Health Index Based on Short-Term Associations Observed in Daily Time Series Analyses. *Journal of the Air & Waste Mangement Association, 58*, 435-450.

Suh, H. H. (2009). Particulate matter. *Exposure Assessment in Occupational and Environmental Epidemiology*(1), 1-40.

Tian, Y., et al. (2018). Association between ambient air pollution and daily hospital admissions for ischemic stroke: A nationwide time-series analysis. *PLOS MEDICINE*(2), 1-16.

U.S. Environmental Protection Agency. (2021). Ground-level Ozone Pollution. Accessed November 30. Available from https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution/ground-level-ozone-basics

---. (2022). Criteria Air Pollutants (NAAQS Table). Accessed March 5. Available from https://www.epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table

Vichit-Vadakan, N., Vajanapoom, N., & Ostro, B. (2008). The Public Health and Air Pollution in Asia (PAPA) Project: Estimating the Mortality Effects of Particulate Matter in Bangkok, Thailand. *Environmental health perspectives, 116*(9), 1179-1182.

Wong, T. W., et al. (2012). A Study of the Air Pollution Index Reporting System Accessed November 30. Available from https://www.aqhi.gov.hk/pdf/related_websites/APIreview_report.pdf

Wong, T. W., et al. (2013). Developing a risk-based air quality health index. *Atmospheric Environment, 76*, 52-58.

Wood, S. N. (2017). *Generalized Linear Models An Introduction with R.* (2). New York: Chapman and Hall/CRC.

World Health Organization. (2021a). Ambient (outdoor) air pollution. Accessed September 30. Available from https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health

---. (2021b). Health effects of particulate matter. Accessed March 5. Available from https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-

ofparticulate-matter-final-Eng.pdf

---. (2022a). Air pollution. Accessed March 5. Available from https://www.who.int/data/gho/data/themes/theme-details/GHO/air-pollution

---. (2022b). Air quality and health. Accessed June 16. Available from https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/policy-progress/sustainable-development-goals-air-pollution

กรมควบคุมมลพิษ. (2561a). รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง ปี2560. เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php?grpIndex=1

---. (2561b). รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี 2560. เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก http://air4thai.pcd.go.th/webV2/download.php?grpIndex=1

---. (2562). สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2561. เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2020/05/pcdnew-2020-05-15_06-33-35_034969.pdf

---. (2563a). ข้อมูลดัชนีคุณภาพอากาศ. เข้าถึงเมื่อ สิงหาคม 10. เข้าถึงได้จาก http://air4thai.pcd.go.th/webV2/aqi_info.php

---. (2563b). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2562. เข้าถึงเมื่อ 30 มกราคม. เข้าถึงได้จาก https://www.pcd.go.th/publication/8013

---. (2564a). มาตรฐานคุณภาพอากาศและเสียง. เข้าถึงเมื่อ 15 ธันวาคม. เข้าถึงได้จาก https://shorturl.asia/Rp7YP

---. (2564b). รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียงปี 2563. เข้าถึงเมื่อ 30 มกราคม. เข้าถึงได้จาก https://www.pcd.go.th/publication/26375

---. (2565a). ปรับค่ามาตรฐานฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน เข้าถึงเมื่อ 27 พฤษภาคม. เข้าถึงได้จาก https://www.pcd.go.th/pcd_news/25965

---. (2565b). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2564. เข้าถึงเมื่อ 30 มกราคม. เข้าถึงได้จาก https://www.pcd.go.th/wp-content/uploads/2022/08/pcdnew-2022-08-08_08-30-05_795080.pdf

กรมอุตุนิยมวิทยา. (2564). สถิติภูมิอากาศคาบ 30 ปี พ.ศ. 2524-2553. เข้าถึงเมื่อ 30 กันยายน. เข้าถึงได้จาก http://climate.tmd.go.th/statistic/stat30y

เครือข่ายอากาศสะอาด. (2562). สมุดปกขาวอากาศสะอาด. เข้าถึงเมื่อ 25 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก

http://www.tei.or.th/file/library/2019-clean-air-white-paper_26.pdf

เฉลิมพล จตุพร. (2562). การวิเคราะห์อนุกรมเวลาเบื้องต้น (Basic of Time Series Analysis). เข้าถึงเมื่อ 15 สิงหาคม. เข้าถึงได้จาก https://cj007blog.files.wordpress.com/2020/04/03-basic-of-time-series-analysis.pdf

นิตยา วัจนะภูมิ. (2550). ผลกระทบเฉียบพลันของมลพิษอากาศต่อการตายในกรุงเทพมหานคร. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, *15*(1), 50-59.

ปุญญพัฒน์ ไชยเมล์. (2557). การเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ, *17*(1), 68-76.

พงษ์เดช สารการ, & ฎลกร จำปาหวาย. (2563). ความครอบคลุมและยืดหยุ่น : ประเด็นที่ควรถูกพิจารณาสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยตัวแบบเชิงเส้นนัยทั่วไปในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์สุขภาพ. วารสารวิทยาศาสตร์สุขภาพและการสาธารณสุขชุมชน, *3*(2), 144-158.

พัสกร สิงหโต, & สมชาย ปราการเจริญ. (2553). การพยากรณอัตราการเกิดอาชญากรรมโดยใชเทคนิคเจนเนอรอลไรซแอดดิทีฟโมเดล

การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตรวิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตรวิทยาเขตกำแพงแสน.

วนิดา จีนศาสตร์. (2551). มลพิษทางอากาศและการจัดการคุณภาพอากาศ. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรติพร จันทร์กลั่น. (2560). การสร้างแบบจำลองด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องเพื่อคาดการณ์ปริมาณน้ำท่า. (ปริญญานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. สืบค้นจาก file:///C:/Users/DELL/Downloads/Fulltext.pdf

ศิวพันธุ์ ชูอินท์. (2556). มลพิษทางอากาศ. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์สารสนเทศกรุงเทพมหานคร. (2556). กรุงเทพฯปัจจุบัน. เข้าถึงเมื่อ กันยายน 15. เข้าถึงได้จาก https://apps.bangkok.go.th/info/m.info/nowbma/

สถาบันวิจัยระบบสาธารณสุข. (2561). ข้อมูลพื้นฐานทั่วไป เขตบริการสุขภาพ กรุงเทพมหานคร. เข้าถึงเมื่อ 30 กันยายน เข้าถึงได้จาก https://kb.hsri.or.th/dspace/handle/11228/3995?locale-attribute=th

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สิริวรรณ จันทร์ฉาย
วัน เดือน ปี เกิด	28 ธันวาคม 2539
สถานที่เกิด	กาญจนบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	33 ม.1 ต.ลุ่มสุ่ม อ.ไทรโยค จ.กาญจนบุรี 71150