การประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ภคพร งามแสง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มีนาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ภคพร งามแสง

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
มีนาคม 2565

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

HEALTH IMPACT ASSESSMENT OF PARTICULATE MATTER (PM_{10})IN THE NORTH OF THAILAND

PAKAPORN NGAMSANG

A Thesis Submitted to University of Phayao

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Master of Science Degree in Environmental Science

March 2022

Copyright 2022 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ของ ภคพร งามแสง

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร. ฐิฏาพร สุภาษี)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรชัย อำนวยล้อเจริญ)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สิทธิชัย พิมลศรี)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กรีธาชาติ)

เรื่อง: การประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากปัญหาฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ผู้วิจัย: ภคพร งามแสง, วิทยานิพนธ์: วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2564

อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธีรชัย อำนวยล้อเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย พิมลศรี

คำสำคัญ: โรคระบบทางเดินหายใจ, สุขภาพ, BenMAP, ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย, ฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอน

บทคัดย่อ

ฝุ่นละอองขนาดเล็ก (PM_{10}) เป็นหนึ่งในมลสารที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งโรคระบบทางเดินหายใจ ในภาคเหนือตอนบนประสบปัญหาหมอกควันจากฝุ่นละอองขนาดเล็กเป็นประจำทุกปี จากข้อมูลความเข้มข้นของ PM_{10} ในภาคเหนือตอนบนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553–2563 พบจำนวนวันที่ PM_{10} เกินค่ามาตรฐานรายวันของประเทศไทย (120 $\mu g/m^3$) เพิ่มถึงกว่า 175 วัน ด้วยเหตุนี้การศึกษาผลกระทบจากปัญหาของ PM10 ต่อสุขภาพของประชาชนในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ต่อจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ได้แก่ เชียงใหม่ เชียงราย ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน แม่ฮ่องสอน และพะเยา ในปี พ.ศ. 2555 โดยการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสุขภาพจากสารมลพิษทางอากาศ ด้วยโปรแกรม BenMAP (The environmental Benefits Mapping and Analysis Program–Community Edition) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากลุ่มอายุเป้าหมายประชากรมีช่วงอายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป ซึ่งใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางระบาดวิทยาของ PM_{10} ต่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ (β) เท่ากับ 0.00672) และมีการเปรียบเทียบเมื่อลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 50% 20% และ15% จะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจถึง 214 คน 91 คน และ69 คน ตามลำดับ ซึ่งพบว่าเมื่อลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 50% จะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจได้มากกว่าการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 20% และ15% สูงถึงร้อยละ 57.5 และ67.8 ตามลำดับ จากผลการศึกษานี้สามารถระบุผลกระทบต่อสุขภาพ และประเมินความเสี่ยงจากการได้รับสารมลพิษทางอากาศได้ และเพื่อเป็นแนวทางการจัดการนโยบายด้านคุณภาพอากาศในอนาคตของประเทศไทย

Title: HEALTH IMPACT ASSESSMENT OF PARTICULATE MATTER (PM_{10})IN THE NORTH OF THAILAND

Author: Pakaporn Ngamsang, Thesis: M.S. (Environmental Science), University of Phayao, 2021

Advisor: Assistant Professor Dr. Teerachai Amnuaylojaroen Co-advisor Associate Professor Dr.Sittichai Pimonsree

Keywords: PM10, Respiratory Mortality, Health, BenMAP, Northern Thailand

ABSTRACT

According to several studies, PM_{10} is one of the air pollutants that has a significant impact on human health, particularly respiratory diseases with air pollution as a leading cause of disease. From 2010-2020, the average PM_{10} mass concentrations slightly decreased in the northern region of Thailand. However, we found that the highest concentration during this period was 47.6 $\mu g/m^3$ in 2012 and the number of days that the PM_{10} level exceeded the Thailand 24-hour guideline value (120 $\mu g/m^3$) was 175 days. Due to this, air pollution has become a serious environmental and health issue in northern Thailand. The goal of this study was to study the relationship of PM10 to the number of respiratory mortalities in 8 provinces in the upper northern region of Thailand in 2012, namely Chiang Mai, Chiang Rai, Lamphun, Lampang, Phrae, Nan, Mae Hong Son and Phayao. Health burden analysis using the Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (EPA's environmental BenMAP). The study analyzed the number of respiratory mortalities caused by PM_{10} in northern Thailand with an age range between 18 years and over. Concentration-response coefficients (β values 0.00672). and in comparison, PM_{10} mass concentrations decreased 50%, 20%, and 15%, respectively avoided death from respiratory disease in 214, 91 and 69, respectively. PM_{10} mass concentrations decreased 50% would avoid death from respiratory disease more than PM_{10} mass concentrations decreased 20% and 15% to 57.5% and 67.8%, respectively. From the results of this study, health effects can be identified, and the risk of air pollution exposure can be assessed to be a guideline for managing future air quality policies in Thailand.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้รับความกรุณาให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรชัย อำนวยล้อเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำข้อคิดเห็นตลอดจนตรวจสอบแก้ไขข้ออบกพร่องต่าง ๆ ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สิทธิชัย พิมลศรี คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้แนวคิด และคำแนะนำเพิ่มเติม ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.ฐิฏพร สุภาษี จากอุทยานดาราสาสตร์สิริธร จังหวัดเชียงใหม่ ที่สละเวลาเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้การช่วยเหลือแนะนำในการเขียนงานวิจัย รวมถึงวิธีในการนำข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้ามาวิเคราะห์จนสามารถได้บทสรุปสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะพลังงาน และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ผู้วิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ Nguyen Ngoc Linh Thao และเพื่อนร่วมรุ่นนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่คอยให้คำปรึกษา และคอยช่วยเหลือแนะนำในทุกเรื่องจนทำให้ผู้วิจัยผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ ไปได้ด้วยดี

สำหรับความสำเร็จนี้จะเกิดขึ้นมิได้เลยหากผู้วิจัยขาดความรักความเข้าใจ และการสนับสนุนจากครอบครัว ขอขอบคุณบิดา และมารดา รวมถึงสมาชิกในครอบครัวทุกคนที่อยู่เคียงข้างข้าพเจ้าในทุกช่วงชีวิตเสมอมา ซึ่งถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของความสำเร็จครั้งนี้

ภคพร งามแสง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

สมมติฐานของการวิจัย 2

ขอบเขตการวิจัย 2

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

มลพิษอากาศ 3

สถานการณ์มลพิษในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย 4

ประเภทของมลพิษอากาศ 8

แหล่งกำเนิดมลพิษ 13

มลพิษอากาศที่สำคัญของไทย 14

มาตรฐานคุณภาพอากาศของมลพิษในบรรยากาศ 30

การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ 33

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 37

ขั้นตอนการดำเนินงาน 39
การรวบรวมข้อมูลคุณภาพอากาศ 39
การคำนวณสารมลพิษที่เกินค่ามาตราฐาน 40
การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพ 40
การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ 42
บทที่ 4 ผลการทดลอง 45
ค่าเฉลี่ยรายวันความเข้มข้นของ PM10 ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปีพ.ศ. 2555.....45
การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ 46
บทที่ 5 บทสรุป..... 51
สรุปผลการวิจัย 51
ข้อจำกัดของงานวิจัย.....52
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป 52
บรรณานุกรม 54
ประวัติผู้วิจัย 58

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 1 ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} และจำนวนวันที่เกินค่ามาตราฐานใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2553–2563 7

ตาราง 2 ขนาดทั่วไปของอนุภาคสาร 11

ตาราง 3 องค์ประกอบของอากาศบริสุทธิ์ 12

ตาราง 4 ผลของออกซิแดนที่มีต่อมนุษย์ 20

ตาราง 5 ผลของไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อมนุษย์ 22

ตาราง 6 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อคนในระยะเรื้อรัง 24

ตาราง 7 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีต่อคนในระยะเฉียบพลัน 25

ตาราง 8 ปริมาณคาร์บอกซีฮีโมโกลบิลที่มีผลกระทบต่อร่างกาย 27

ตาราง 9 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป ประเทศไทย 29

ตาราง 10 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป สหรัฐอเมริกา 30

ตาราง 11 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป ในทวีปยุโรป 31

ตาราง 12 รูปแบบค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ของต่างประเทศและประเทศไทย 32

ตาราง 13 สถานีตรวจวัด 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย 38

ตาราง 14 จำนวนประชากรแบ่งเพศ ชาย หญิง และประชากรที่เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2555 41

ตาราง 15 การลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555 52

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพ 1 ค่าเฉลี่ยรายปีของ SO_2 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัด 4

ภาพ 2 ค่าเฉลี่ยรายปีของ O_3 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัด..... 4

ภาพ 3 ค่าเฉลี่ยรายปีของ NO_2 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัด..... 5

ภาพ 4 ค่าเฉลี่ยรายปีของ CO จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัด 5

ภาพ 5 ค่าเฉลี่ยรายปี PM_{10} ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน (กรมควบคุมมลพิษ, 2553–2563)..... 6

ภาพ 6 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก..... 16

ภาพ 7 กลไกการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กเข้าไปยังระบบทางเดินหายใจ 18

ภาพ 8 แผนที่ประเทศไทย 37

ภาพ 9 แผนที่แสดงจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในพื้นที่ 8 จังหวัด 38

ภาพ 10 แผนดำเนินงานวิจัย 39

ภาพ 11 กระบวนการประมวณผล Program BenMAP.....43

ภาพ 12 วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยวิธีการ BenMAP..... 44

ภาพ 13 แผนที่แสดงค่าเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ในภาคเหนือตอนบน พ.ศ. 2555 45

ภาพ 14 การลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วย.....47

ภาพ 15 ค่าสหสัมพันธ์ของการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียชีวิต.....48

ภาพ 16 เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 2.5–97.5 ในการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียชีวิต 49

ภาพ 17 ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM_{10} ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน.....50

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัญหามลพิษอากาศเป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับทั่วโลก รายงานจากองค์การอนามัยโลก (World Health Organization) พบว่ามลพิษทางอากาศส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และประชากรทั่วโลกมากกว่า 2.7 ล้านคนเสียชีวิตจากมลพิษทางอากาศ (WHO, 2017) ในปี พ.ศ. 2559 มลพิษทางอากาศเป็นสาเหตุทำให้คนเสียก่อนวัยอันควรสูงถึง 4.2 ล้านคนทั่วโลก โดยร้อยละ 92 ของผู้เสียชีวิตอยู่ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (WHO, 2017) ซึ่งประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศเขตภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ที่เผชิญปัญหามลพิษทางอากาศอย่างต่อเนื่อง (วิษณุ อรรถวานิช, 2561) จากการตรวจวัดมลสารที่สำคัญ 6 ชนิด ในประเทศไทย ได้แก่ PM (ฝุ่นละอองขนาดเล็ก) O_3 (โอโซน) CO (คาร์บอนมอนอกไซด์) NO_2 (ไนโตรเจนไดออกไซด์) Pb (ตะกั่ว) และSO_2 (ซัลเฟอร์ไดออกไซด์) พบว่า PM_{10} เป็นหนึ่งในมลสารที่เกินค่ามาตรฐานของประเทศไทย โดยภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเป็นภูมิภาคหนึ่งซึ่งประสบปัญหาจาก PM_{10} เป็นประจำทุกปี จากรายงานคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ. 2553 – 2563 พบว่าใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน มีการเผาในที่โล่งจำนวนมากทั้งการเผาในพื้นที่ป่า การเผาเศษเหลือจากการเกษตร และการเผาขยะมูลฝอยและเศษใบไม้ กิ่งไม้ใน พื้นที่ชุมชน รวมทั้งผลกระทบจากการเผาในพื้นที่ประเทศเพื่อนบ้านในกลุ่มภูมิภาคลุ่มน้ำโขง ส่งผลให้ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน (PM_{10}) มีค่าความเข้มข้นเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงเกินเกณฑ์มาตรฐาน 120 $\mu g/m^3$ ในหลายพื้นที่และติดต่อกันเป็นเวลานานหลายวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2563) การที่มลพิษทางอากาศของประเทศไทยยังคงเกินค่ามาตรฐานในหลายพื้นที่ ทำให้ประชาชนได้รับมลสารปริมาณมากเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง จากสถิติสุขภาพประชากรไทย ปี พ.ศ. 2541–2556 พบว่าจำนวนผู้ป่วยโรคระบบทางเดินหายใจทั้งแบบเฉียบพลัน และเรื้อรัง เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2555 ร้อยละ 8 โดยคาดการณ์ว่าหากมลพิษในอากาศยังคงเกินค่ามาตรฐานจะส่งผลให้พบจำนวนผู้ป่วยมากขึ้น (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2555) ดังนั้นปัญหามลพิษทางอากาศในประเทศไทยจึงควรได้รับการแก้ไขปัญหาอย่างต่อเนื่อง และจริงจัง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ต่อจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย โดยทำการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} จากสถานีตรวจวัดภายใต้การดูแลของกรมควบคุมมลพิษ

ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2553-2563 ใช้โปรแกรม BenMAP (EPA's environmental)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของ PM_{10} ต่อจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

สมมติฐานของการวิจัย

ถ้าค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ลดลงจะส่งผลต่อการลดจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ

ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตด้านเนื้อหา

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าความเข้มข้นของ PM_{10} และผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ โดยใช้ BenMAP เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพ

2. ขอบเขตของเวลา

ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของ PM_{10} และจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจในปี พ.ศ. 2555

3. ขอบเขตของสถานที่ทำการทดลอง

8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ได้แก่ แพร่ น่าน พะเยา เชียงราย เชียงใหม่ แม่ฮ่องสอน ลำพูน และลำปาง

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อให้ทราบถึงปริมาณค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ในบริเวณที่ทำการตรวจวัด

2. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเพื่อใช้ในการวางแผนบริหารจัดการคุณภาพอากาศให้มีประสิทธิภาพ สามารถนำไปกำหนดมาตรการในการแก้ไขปัญหามลพิษทางอากาศได้

3. เพื่อทราบถึงผลกระทบของ PM_{10} ต่อจำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

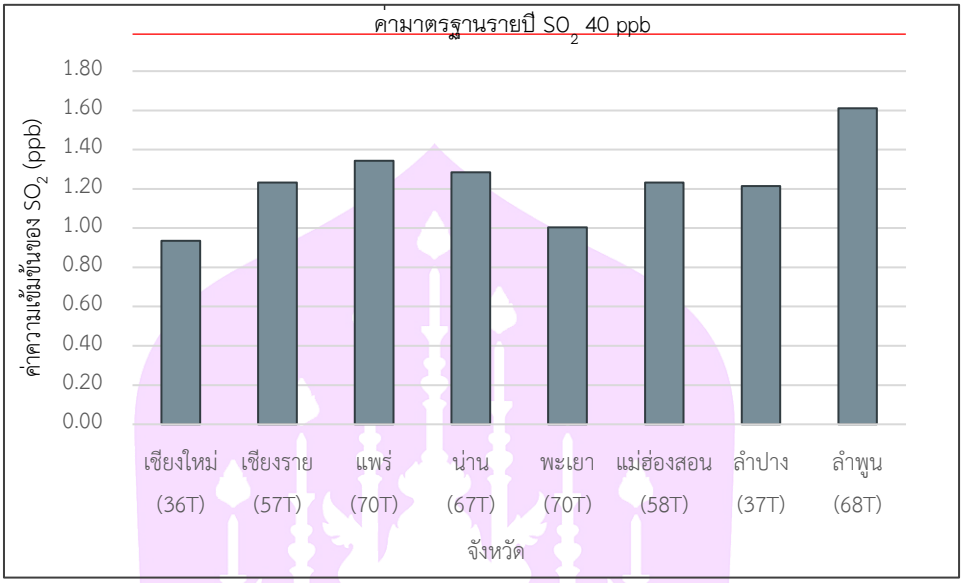
บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

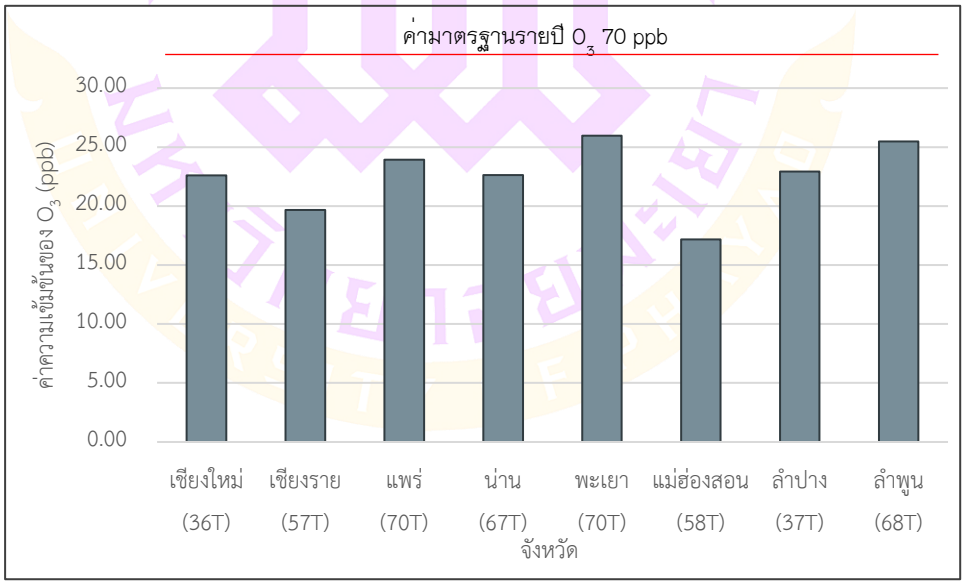
มลพิษอากาศ

มลพิษทางอากาศ หมายถึง ภาวะอากาศที่มีสารเจือปน มีฝุ่นละออง โมเลกุลชีวภาพ หรือวัตถุอันตรายชนิดอื่น ๆ อยู่ในปริมาณที่สูงกว่าระดับปกติเป็นเวลานานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายแก่มนุษย์ สัตว์ พืช หรือทรัพย์สินต่าง ๆ อาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ฝุ่นละอองจากลมพายุ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว ไฟไหม้ป่า ก๊าซธรรมชาติหรือเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ได้แก่ มลพิษจากท่อไอเสียของรถยนต์ โรงงาน อุตสาหกรรม ขบวนการผลิต กิจกรรมด้านการเกษตร การระเหยของก๊าซบางชนิด การเผาขยะมูลฝอย และของเสีย เป็นต้น (พัฒนา มูลพฤกษ์, 2545) สภาวะของบรรยากาศกลางแจ้งที่มีสิ่งเจือปน (Contaminant) อย่างหนึ่งหรือหลาย ๆ อย่าง เจือปนอยู่ในลักษณะ ปริมาณ และระยะเวลา ซึ่งยาวนานพอที่จะทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือสัตว์ ตลอดจนทำลายทรัพย์สินของมนุษย์ อาคาร สถานที่ต่าง ๆ ให้เสื่อมสภาพ ผุพังทรุดโทรมเร็วกว่าปกติ และทำให้สิ่งแวดล้อมอื่น ๆ มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม (พัฒนา มูลพฤกษ์, 2545) ภาวะของอากาศที่มีสารเจือปนอยู่ในปริมาณที่มากพอเป็นระยะเวลานานพอที่จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคนสัตว์พืช และวัสดุ (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) อากาศในบรรยากาศภายนอกที่มีการเจือปนของอนุภาคฝุ่นฟูมก๊าซไอกลิ่นควันไอระเหยชนิดใดชนิดหนึ่งหรือมากกว่าในปริมาณที่เพียงพอ และมีระยะเวลาที่ยาวนานพอที่จะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของคนพืช และสัตว์หรือมีผลในการดำรงชีวิต (Pope, et al., 1985) จากความหมายข้างต้นอาจกล่าวรวม ๆ ได้ว่ามลภาวะทางอากาศเป็นสภาวะที่อากาศมีการเจือปนของสารใด ๆ ก็ตามที่ส่งผลต่อสภาพแวดล้อมสุขภาพของมนุษย์ และสัตว์เมื่อได้รับสัมผัสในระยะเฉียบพลัน และระยะเรื้อรัง

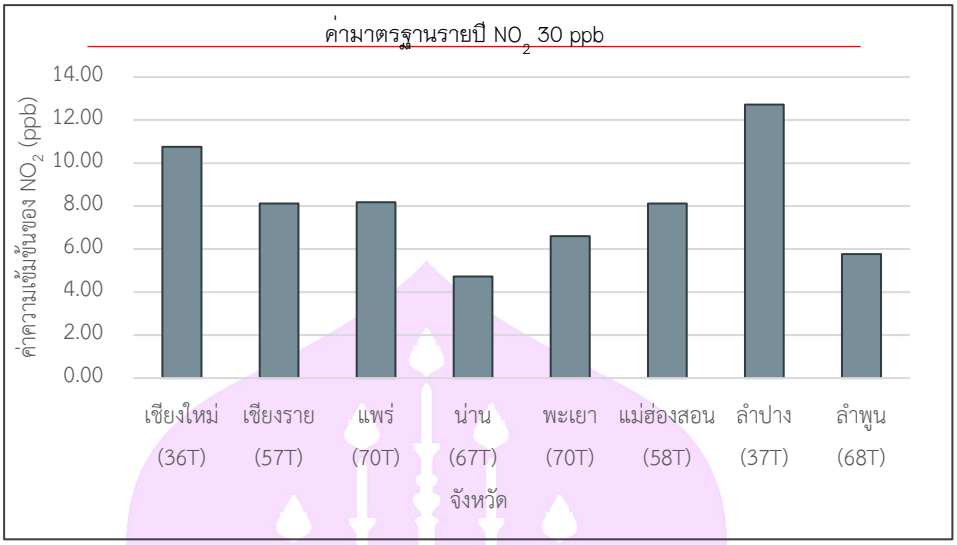
สถานการณ์มลพิษในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย



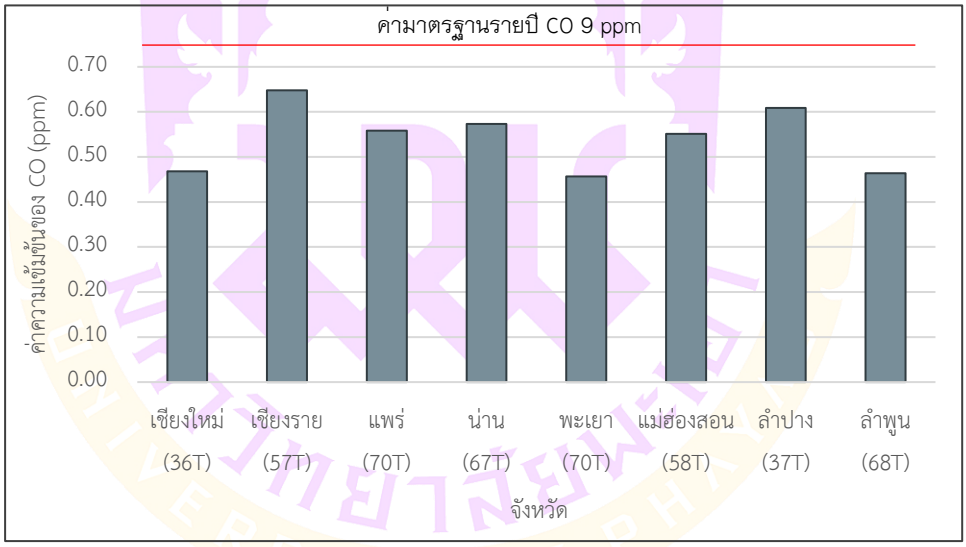
ภาพ 1 ค่าเฉลี่ยรายปีของ SO_2 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยปี พ.ศ. 2553–2563



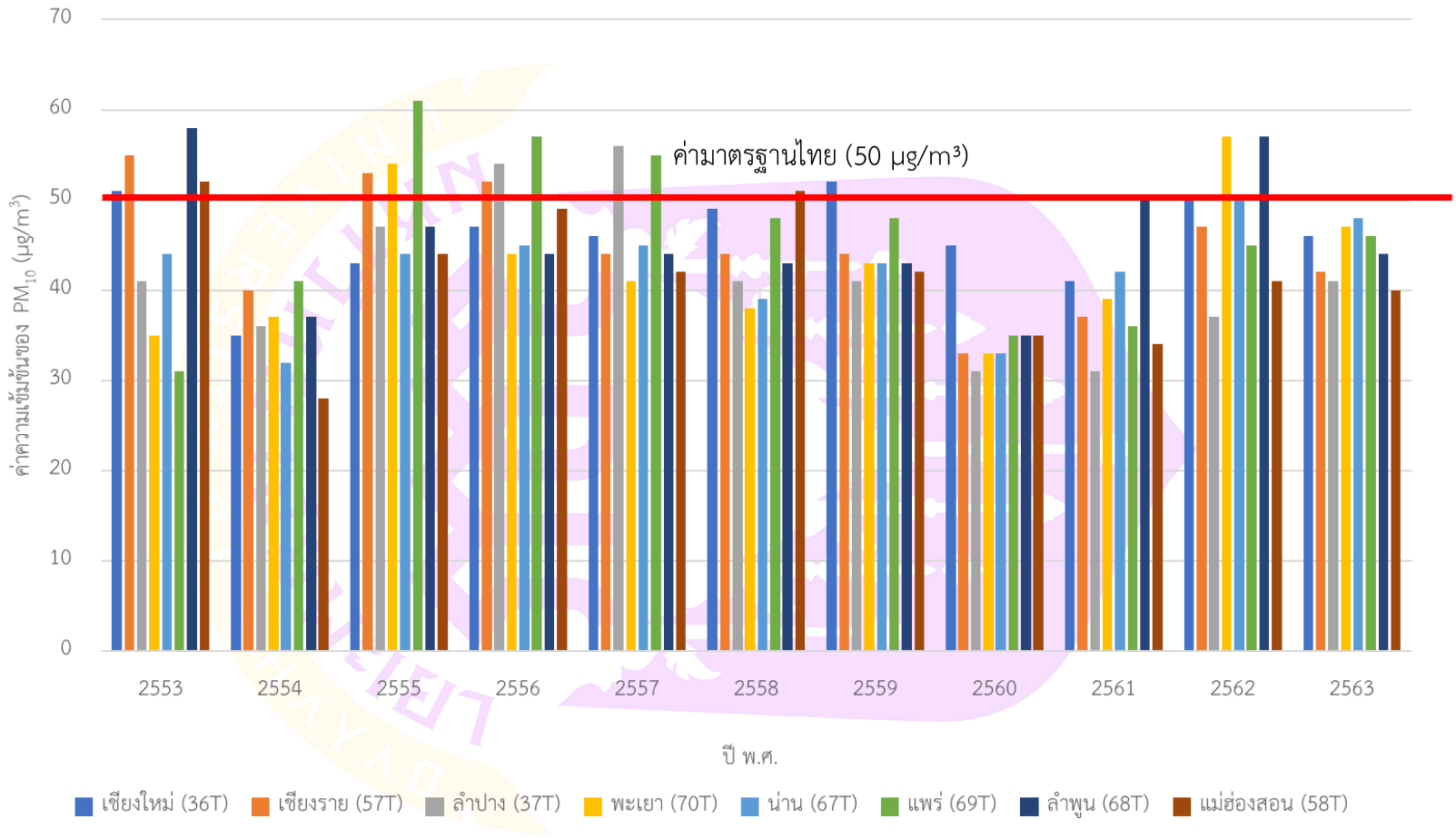
ภาพ 2 ค่าเฉลี่ยรายปีของ O_3 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยปี พ.ศ. 2553–2563



ภาพ 3 ค่าเฉลี่ยรายปีของ NO_2 จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยปี พ.ศ. 2553–2563



ภาพ 4 ค่าเฉลี่ยรายปีของ CO จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยปี พ.ศ. 2553–2563



ภาพ 5 ค่าเฉลี่ยรายปี PM_{10} ของสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน (กรมควบคุมมลพิษ, 2553–2563)

ตาราง 1 ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} และจำนวนวันที่เกินค่ามาตราฐานใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2553–2563

ปี	สถานี	ข้อมูลขาดหาย (%)	วันที่เกินมาตราฐาน	Mean(±SD)
2553	8	14.40%	170	47.5 (±8.8)
2554	8	15.10%	6	35.4 (±4.2)
2555	8	8.60%	175	47.6 (±4.4)
2556	8	20.10%	156	47.3 (±4.3)
2557	8	5.80%	171	46.6 (±5.7)
2558	8	7.40%	136	43.1 (±4.9)
2559	8	3.80%	145	44.1 (±3.7)
2560	8	4.20%	30	35.9(±4.3)
2561	8	8.30%	33	36.1(±3.4)
2562	8	6.30%	114	44.7(±7.6)
2563	8	0.80%	125	44.9(±2.8)

ประเทศไทยได้ปรับปรุงแนวคิดการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศจากองค์การอนามัยโลก โดยทางกรมควบคุมมลพิษเป็นหน่วยงานที่มีหน้าที่ติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศของประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) มีการติดตั้งสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศแบบพื้นที่ทั่วไป และชั่วคราวจำนวน 29 จังหวัดเพื่อตรวจวัดสารมลพิษโดยในปี พ.ศ. 2557 พบว่าค่าเฉลี่ยรายปีของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ยังสูงกว่าค่ามาตรฐานใน 23 จังหวัดจากทั้งหมด 29 จังหวัดที่ทำการตรวจวัดโดยเฉพาะพื้นที่กรุงเทพมหานครยังมีภาวะฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมคอน (PM_{10}) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมคอน ($PM_{2.5}$) และสารอินทรีย์ระเหยง่าย (เบนซีน) ที่เกินค่ามาตรฐานอยู่มีค่าเกินมาตรฐานในบริเวณริมถนนมากกว่าพื้นที่ทั่วไปถึง 2 เท่า แต่มีแนวโน้มเฉลี่ยทั้งพื้นที่ลดลงจากปี พ.ศ. 2556 ร้อยละ 4 และพบว่าก๊าซโอโซนเกินค่ามาตรฐานในบริเวณรอบนอกตัวเมือง (พื้นที่ปริมณฑล) แนวโน้มเฉลี่ยทั้งพื้นที่มีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงจาก 5 ปีที่ผ่านมา

ประเภทของมลพิษอากาศ

มลพิษทางอากาศ สามารถจำแนกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท (ศูนย์พัฒนาทรัพยากร, 2548) คือ 1. อนุภาคต่าง ๆ (Particulates) เป็นละอองขนาดเล็กที่ล่องลอยอยู่ในอากาศเป็นเวลานาน มีอยู่หลายชนิด เช่น อนุภาคที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (Viable particles) ได้แก่ ละอองเกสรของพืช จุลินทรีย์ ต่าง ๆ เช่น แบคทีเรีย รา สปอร์ รวมถึงแมลง และชิ้นส่วนของแมลงที่ล่องลอยอยู่ในอากาศ อนุภาคเหล่านี้เป็นสาเหตุของอันตรายต่อสุขภาพ เช่น โรคหอบหืดบางชนิด การเจ็บป่วยจากเชื้อรา และแบคทีเรียบางชนิด

อนุภาคที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต (Non–viable particles) อนุภาคที่เกิดเองตามธรรมชาติ ได้แก่ ดินทราย เกลือแร่ต่าง ๆ จากทะเล แอสเบสตอส ฯลฯ และอนุภาคที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ได้แก่ ฝุ่น (Dust) เป็นอนุภาคของของแข็ง (Solid particles) ที่เกิดขึ้นโดย ธรรมชาติ หรือเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การขัดสี ทุบ ปั่น ระเบิด สามารถลอยในบรรยากาศได้ชั่วระยะเวลาหนึ่งแล้วตกลงสู่พื้น ยกเว้นพวกที่เล็กกว่า 5 ไมครอน ลอยอยู่นาน ควัน (Smoke) เป็นอนุภาคของของแข็งขนาดเล็กที่เกิดจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิงมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ส่วนใหญ่เป็นพวกคาร์บอน สามารถแขวนลอยอยู่ในอากาศ โดยทั่วไปมักจะหมายถึงสิ่งที่ปล่อยออกมาจากปล่องระบายควัน ขี้เถ้า (Ash) เป็นของแข็งที่มีขนาดเล็กมาก ซึ่งเหลือจากการสันดาปที่สมบูรณ์ของเชื้อเพลิง เขม่า (Soot) เป็นอนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคเล็ก ๆ ของคาร์บอนที่เกิดจากการสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ของวัสดุที่มีคาร์บอน และน้ำมันดินอยู่ด้วย ไอควัน (Fume) เป็นอนุภาคของของแข็งที่มีขนาดเล็กมาก ส่วนใหญ่จะเล็กกว่า 1 ไมครอน มักจะเกิดจากการควบแน่น (Condensation) ของไอ จากปฏิกิริยาทางเคมีบางอย่าง เช่น การหลอมโลหะหรือการเผาไหม้ของสารที่มีโลหะผสมอยู่ ได้แก่ ออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ รวมทั้งออกไซด์ของตะกั่วที่เกิดจากการเผาไหม้น้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ ละอองไอ (Mist) เป็นอนุภาคที่เป็นของเหลว มีขนาดอนุภาคประมาณ 40–400 ไมครอน ซึ่งเกิดจากการควบแน่น ของไอหรือก๊าซบางอย่าง ซึ่งเกิดจากการแยกตัวของของเหลวจากกระบวนการบางอย่างให้ฟุ้งกระจายขึ้นสู่บรรยากาศ เช่น การพ่น การฉีดของเหลวไปในอากาศ เป็นต้น

2. ก๊าซ และไอต่าง ๆ (Gas and Vapor) หมายถึง สิ่งเจือปนในอากาศ ซึ่งเป็นสารมลพิษที่มีอยู่ในรูปของก๊าซ (Gas) รวมทั้งพวกไอระเหย (Vapor) เช่น ไอระเหยของน้ำมันเชื้อเพลิง สารเคมีชนิดต่าง ๆ ก๊าซ และไอต่าง ๆ มีดังนี้

ออกไซด์ของไนโตรเจน (Oxide of Nitrogen) ออกไซด์ของไนโตรเจนที่เจือปนในอากาศ ได้แก่ ไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ไนโตรเจนไตรออกไซด์ (N_2O_3) ไดไนโตรเจนเททรอกไซด์ (N_2O_4) และไดไนโตรเจนเพนทอกไซด์ (N_2O_5)

ออกไซด์ของไนโตรเจนที่พบมากที่สุด คือ ไนตริกออกไซด์ (NO) และไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) จึงรวมเอาก๊าซทั้งสองชนิดจัดเข้าไว้ด้วยกัน และใช้สัญลักษณ์แทนว่า NOx (Nitrogen Oxide) ซึ่งก๊าซทั้งสองนี้เกิดจากการทำงานของเครื่องยนต์ในยานยนต์ประเภทต่าง ๆ รวมทั้งแหล่งเผาไหม้อื่น ๆ นอกจากนี้ยังเกิดจากกรรมวิธีในโรงงานอุตสาหกรรม (Nitration industries) และปฏิกิริยาการรวมตัวของไฮโดรคาร์บอนกับออกไซด์ของไนโตรเจน และออกซิเจน (Photochemical oxidation process) ออกไซด์ของซัลเฟอร์ (Oxide of sulfur) ออกไซด์ของซัลเฟอร์ที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (S_3) ซัลเฟอร์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนให้เปลวไฟสีน้ำเงินเกิดเป็นออกไซด์ของซัลเฟอร์ โดยปกติแล้วจะเกิดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในปริมาณที่มากถึงร้อยละ 95 ของทั้งหมด โดยที่ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์มักจะเกิดในกรณีที่สภาวะการสันดาปเชื้อเพลิงไม่ปกติ และจะมีสถานะเป็นสารวัตถุแขวนลอย (Aerosols) มากกว่าที่เป็นแก๊ส แหล่งกำเนิดของซัลเฟอร์ที่สำคัญ ได้แก่ การสันดาป เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้เชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ประกอบอยู่ เช่น ถ่านหิน น้ำมันดีเซล โรงงานทำกรด โรงงานถลุงโลหะ โรงกลั่นน้ำมัน การหลอมแร่ เป็นต้น

รีดิวส์ซัลเฟอร์ (Reduced Sulfur) รีดิวส์ซัลเฟอร์ที่สำคัญ คือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) อาจเกิดจากแหล่งธรรมชาติ ได้แก่ ปฏิกิริยาทางชีวภาพแหล่งธรรมชาติบางประเภท เช่น น้ำพุในทะเลสาบ ภูเขาไฟ ฯลฯ เป็นต้น และอาจเกิดจากแหล่งที่มนุษย์สร้าง ได้แก่ การสันดาปเชื้อเพลิงที่มีซัลเฟอร์ปนอยู่ อุตสาหกรรมฟอกหนัง โรงกลั่นน้ำมันดิบ โรงงานผลิตก๊าซธรรมชาติ โรงงานกระดาษ โรงงาน อุตสาหกรรมเคมีภัณฑ์ โรงงานทำแป้งมัน เป็นต้น

ออกไซด์ของคาร์บอน (Oxide of Carbon) ออกไซด์ของคาร์บอนที่สำคัญ ซึ่งมักพบในบรรยากาศมี 2 ชนิด คือ คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide : CO_2) เป็นก๊าซที่ถือว่าเป็นองค์ประกอบปกติของอากาศ และเป็นส่วนหนึ่งของวงจรคาร์บอนในชีวาลัย (Biosphere) ไม่ถือว่าเป็นสารมลพิษ มีความสามารถในการดูดซับแสงแดดได้ดีเมื่อมีการสันดาปเชื้อเพลิงเกิดขึ้นมาก ปริมาณจะมีมากตามขึ้นไปด้วย ทำให้มีคาร์บอนไดออกไซด์หนาแน่นในบรรยากาศ ส่งผลทำให้อุณหภูมิของโลกสูงขึ้นจนเกิดปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse effect) ตลอดจนเกิดการกัดกร่อนวัสดุสิ่งของต่าง ๆ ที่ทำด้วยหินเพราะเมื่อละลายน้ำหรือเป็นไอน้ำจะมีฤทธิ์เป็นกรด

คาร์บอนมอนนอกไซด์ (Carbon monoxide : CO) แหล่งกำเนิดที่สำคัญของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ คือ การเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงจากเครื่องยนต์ของยานพาหนะต่าง ๆ โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องยนต์ที่มีการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ การเผาไหม้เชื้อเพลิงจากอาคารบ้านเรือน ไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองแต่เป็นก๊าซที่มีอันตรายต่อสุขภาพมากเพราะเมื่อหายใจ

เข้าไปในร่างกายจะทำปฏิกิริยากับฮีโมโกลบินในเลือดปกติกลายเป็นคาร์บอกซีฮีโมโกลบิน (Carboxy–hemoglobin : COHb) ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจนไปเลี้ยงส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย อาการจะมีตั้งแต่ อาการเครียด หายใจเร็วกว่าปกติ เวียนศีรษะ กล้ามเนื้ออ่อนเพลีย อาเจียน มึนศีรษะ หน้ามืด พูดจาเลอะเลือน มีอาการเป็นลม ปวดชักกระตุก หมดสติเข้าขั้นโคม่า จนถึงขั้นเสียชีวิต

ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน และไฮโดรเจน เป็นองค์ประกอบหลัก โดยจะมีธาตุคาร์บอนอยู่ตั้งแต่ 1 โมเลกุล ถึงหลายร้อยโมเลกุลหรือหลายพันอะตอม พวกที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 1 ถึง 4 อะตอม จะมีสถานะเป็นก๊าซเมื่ออยู่อุณหภูมิปกติ เช่น มีเทน (CH_4) บิวเทน (butane) ฯลฯ ส่วนพวกที่มีคาร์บอนตั้งแต่ 5 อะตอมขึ้นไป จะอยู่ในสภาวะของเหลวหรือของแข็งที่มีอุณหภูมิปกติ เช่น เบนซีน (benzene) ทาร์ (tar) แอสฟัลต์ (asphalts) ฯลฯ สารไฮโดรคาร์บอนเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดหมอกควัน (smog) โดยมีแหล่งกำเนิดจากการสันดาปเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ของยานพาหนะต่างๆการเผาไหม้ถ่านหิน เป็นต้น

ออกซิแดนต์ (Oxidants) เป็นก๊าซที่เกิดจากการทำปฏิกิริยารวมตัวของไฮโดรคาร์บอนกับไนโตรเจน โดยมีแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาโฟโตเคมีคัล ผลทำให้เกิดสารมลพิษที่สำคัญ ได้แก่ โอโซน (Ozone : O_3) เปอร์ออกซีเอซิลไนเตรท (PAN)

คลอโรฟลูออโรคาร์บอน (Chlorofluorocarbon : CFCs) เป็นสารสังเคราะห์ที่ประกอบด้วย คาร์บอน ฟลูออรีน และคลอรีน เป็นสารเสถียรเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา ไม่ไวไฟ ไม่เป็นพิษ และไม่มีกลิ่น จึงถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ อาทิเช่น การทำโฟม ใช้ในระบบทำความเย็น ใช้ฉีดพ่นในกระป๋องสเปรย์ ใช้เป็นตัวทำละลาย ใช้ดับเพลิง เป็นต้น ซึ่งผลเสียที่ตามมาจากที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย คือ ชั้นโอโซนถูกทำลาย ทำให้ความสามารถของการป้องกันรังสีอุลตราไวโอเลตลดลง และสาร CFCs ยังมีคุณสมบัติในการดูดซับ และเก็บกักความร้อนได้ดี จึงทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect)

ตาราง 2 ขนาดทั่วไปของอนุภาคสาร

สาร	ช่วงขนาดอนุภาค (ไมครอน)
ละออง	500–40
ผงถ่านหิน	250–25
ฝุ่น	200–20
ฝุ่นโรงถลุงเหล็ก	200–1.0
ผงซีเมนต์	150–10
ขี้เถา	110–3.0
เกสรดอกไม้	60–20
หมอก	40–1.5
สปอร์ต้นไม้	30–10
แบคทีเรีย	15–1.0
ยากำจัดแมลงแบบผง	10–0.4
สีพ่น	4.0–0.1
สม็อก	2.0–0.001
ควันบุหรี่	1.0–0.01
ควันน้ำมัน	1.0–0.03
ควันซิงค์ออกไซด์	0.3–0.01
ควันถ่านหิน	0.2–0.01
ไวรัส	1.05–0.003

ที่มา: WHO, 1978

ตาราง 3 องค์ประกอบของอากาศบริสุทธิ์

องค์ประกอบ	ร้อยละ	ความเข้มข้นในล้านส่วน (ppm)
ไนโตรเจน	78.09	780,900
ออกซิเจน	20.94	209,400
อาร์กอน	0.93	9300
คาร์บอนไดออกไซด์	0.0318	318
นีออน	0.0018	18
ฮีเลียม	0.00052	5.2
คริบตอน	0.0001	1
ซีนอน	0.000008	0.08
ไนตรัสออกไซด์	0.00025	0.25
ไฮโดรเจน	0.00005	0.5
มีเทน	0.00015	1.5
ไนโตรเจนไดออกไซด์	0.0000001	0.001
โอโซน	0.000002	0.02
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	0.00000002	0.0002
คาร์บอนไดออกไซด์	0.00001	0.1
แอมโมเนีย	0.000001	0.01

ที่มา: WHO, 1978

แหล่งกำเนิดมลพิษ

สารมลพิษทางอากาศอาจแบ่งได้ 2 ประเภท ตามลักษณะการเกิด คือ สารมลพิษอากาศปฐมภูมิ และสารมลพิษอากาศทุติยภูมิ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

1. สารมลพิษอากาศปฐมภูมิ (Primary Air Pollutants) สารมลพิษอากาศปฐมภูมิเป็นสารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น และถูกระบายจากแหล่งกำเนิดโดยตรงสู่บรรยากาศ เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulfur Dioxide) ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Carbon Monoxide) ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (Nitrogen Oxide) สารไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compounds) ฝุ่นละออง ดินทราย แป้ง ละอองเกสร และเขม่า ควันที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในยานพาหนะและในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

2. สารมลพิษอากาศทุติยภูมิ (Secondary Air Pollutants) สารมลพิษอากาศทุติยภูมิเป็นสารมลพิษทางอากาศที่ไม่ได้เกิด และถูกระบายออกจากแหล่งกำเนิดใด ๆ แต่เกิดขึ้นในบรรยากาศจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารมลพิษอากาศปฐมภูมิกับสารประกอบอื่น ๆ ที่อยู่ในบรรยากาศ เช่น ก๊าซโอโซน ฝุ่นละอองขนาดเล็ก และสารมลพิษทางอากาศที่เป็นสารอนินทรีย์ (Inorganic) เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และฝุ่นตะกั่ว เป็นต้น

แหล่งกำเนิดมลพิษสามารถแบ่งออกเป็น 3 แหล่งได้ ดังนี้

1. แหล่งที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม การจราจร การเผาขยะมูลฝอย การผลิตพลังงานไฟฟ้า การใช้เชื้อเพลิงภายในบ้าน ฯลฯ

2. แหล่งธรรมชาติ ได้แก่ การระเบิดของภูเขาไฟ ไฟไหม้ป่า การเน่าเปื่อย การหมัก การปลิวกระจายของดิน ฯลฯ

3. แหล่งกำเนิดอื่น ๆ ได้แก่ แหล่งที่เกิดปัญหามลพิษทางอากาศจากการรวมตัวทางปฏิกิริยาเคมีจากแหล่งต่าง ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดการรวมตัวทางเคมี เช่น การเกิดปฏิกิริยา photochemical smog ฝนกรด อนุภาคซัลเฟต และไนเตรท โดยทั่วไปมลพิษทางอากาศจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติเป็นอันตรายต่อคนไทยน้อยมากเพราะแหล่งกำเนิดอยู่ไกล เช่น ฝุ่นละอองจากพายุ ภูเขาไฟระเบิด แผ่นดินไหว และไฟไหม้ป่า ปริมาณสารพิษที่เข้าสู่สภาพแวดล้อมของมนุษย์และสัตว์มีน้อยกว่าการกระทำของมนุษย์ มนุษย์เป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศมากที่สุด เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร มนุษย์ส่งผลให้เกิดความต้องการบริโภคพลังงานเชื้อเพลิง ทั้งในครัวเรือน ภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรมล้วนส่งผลกระทบโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศทั้งสิ้น

ในประเทศไทยมีแหล่งกำเนิดมลพิษทางอากาศ ได้แก่

1. การคมนาคมขนส่ง เกิดจากยานพาหนะที่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ เช่น รถยนต์

เครื่องบิน ยานพาหนะที่เพิ่มขึ้นจำนวนมากทำให้มีไอเสียออกสู่บรรยากาศอย่างมากมาย

2. โรงงานอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรมเป็นแหล่งสำคัญที่ปล่อยสิ่งเจือปนออกมาสู่บรรยากาศ ทำให้อากาศเสีย เช่น โรงงานอุตสาหกรรมเคมี โรงงานอุตสาหกรรมโลหะ โรงงานปูนซีเมนต์

3. ขบวนการผลิตที่ทำให้เกิดฝุ่น เช่น การบด การก่อสร้าง โรงโม่หิน การระเบิดทำให้เกิดเศษผงละอองในบรรยากาศ

4. กิจกรรมด้านการเกษตรกรรม เช่น การฉีดยาฆ่าแมลง ยาปราบวัชพืช การเผาไร่นา ทำให้เกิดฝุ่นละออง และสารพวกไฮโดรคาร์บอน

5. การระเหยของก๊าซบางชนิด เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง สีทาแลคเกอร์ในการพ่นสีรถยนต์ พบว่ามีปริมาณของไฮโดรคาร์บอนระเหยจากสีถึง 560 กิโลกรัม/ตัน

6. ขยะมูลฝอยและของเสีย เช่น กองขยะ การเผาขยะ บ่อน้ำมัน

สิ่งที่ตามมาจากแหล่งกำเนิดดังกล่าว คือ สารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ซึ่งก่อให้เกิดก๊าซ และเกิดการระเหยของก๊าซบางชนิด เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ หรือ ก๊าซไข่เน่า ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ กรดซัลฟูริก กำมะถัน ตะกั่ว ไอของกรด ฝุ่นละออง เป็นต้น ซึ่งมีปริมาณการระบายออกสู่บรรยากาศเพิ่มมากขึ้นทุกปีตามปริมาณการใช้เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเกิดขยะมูลฝอย และของเสียอันตราย ตามมาอีกด้วย

มลพิษอากาศที่สำคัญของไทย

ในประเทศไทยได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศเพื่อประโยชน์ในการส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมตามมาตรา 32 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 โดยการกำหนดมาตรฐานดังกล่าวเป็นไปตามหลักวิชาการ กฎเกณฑ์ และหลักฐานทางวิทยาศาสตร์พื้นฐาน และคำนึงถึงความเป็นไปได้ในเชิงเศรษฐกิจ สังคม และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ยังมีการกำหนดมาตรฐานการระบายสารมลพิษทางอากาศจากแหล่งกำเนิดตามมาตรา 55 อีกด้วย สารมลพิษทางอากาศตามมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่สำคัญ และมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยที่มีการกำหนดค่ามาตรฐานแล้วมีจำนวน 6 ชนิด ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน ฝุ่นละออง ระเหยง่าย และสารตะกั่ว โดยมีการกำหนดมาตรฐานเป็นค่าเฉลี่ยระยะสั้น ได้แก่ มาตรฐานเฉลี่ย 1 ชั่วโมง 8 ชั่วโมง และ 24 ชั่วโมง กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยอย่างเฉียบพลัน (Acute Effect) ส่วนมาตรฐานค่าเฉลี่ยระยะยาว ได้แก่ มาตรฐานเฉลี่ย 1 เดือน และ1 ปี กำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบที่จะเกิดขึ้นในระยะยาวหรือ

ผลกระทบเรื้อรังต่อสุขภาพอนามัย (Chronic Effect) (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ซึ่งสารมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในที่โล่งซึ่งรวมกันเป็นหมอกควันสะสมอยู่ในบรรยากาศที่สำคัญ ได้แก่

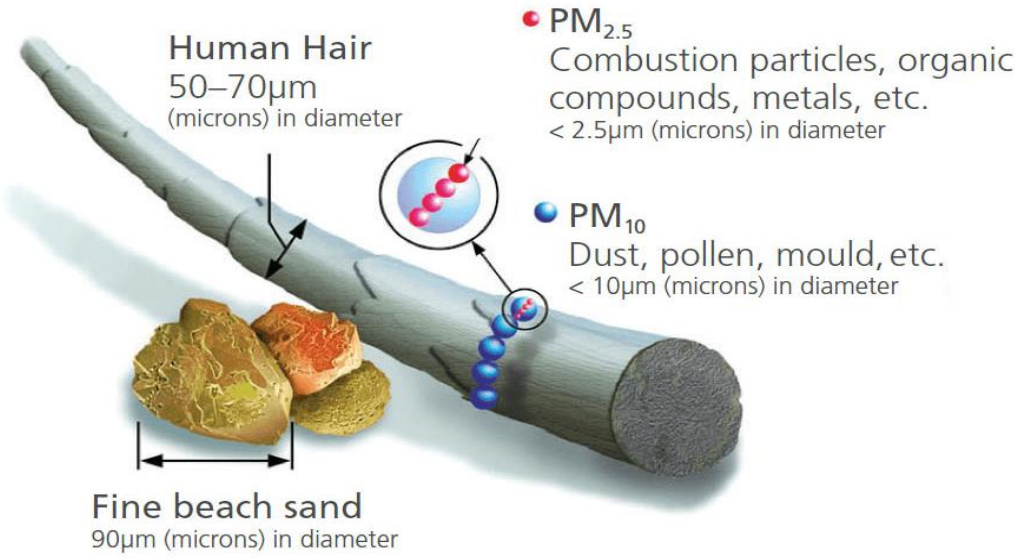
1. ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})

ฝุ่นละอองมีความหมายรวมถึงอนุภาคของแข็ง และหยดละอองของเหลวที่แขวนลอยกระจายในอากาศ อนุภาคที่แขวนลอยอยู่ในอากาศนี้บางชนิดมีขนาดใหญ่ และมีสีดำจนมองเห็นเป็นเขม่า และควัน บางชนิดก็มีขนาดเล็กมากจึงมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เป็นสารที่มีความหลากหลายทางด้านกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ฝุ่นละอองที่มีอยู่ในบรรยากาศรอบ ๆ ตัวเรามีขนาดตั้งแต่ 0.002 ไมครอน (เป็นกลุ่มของโมเลกุลที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์แบบอิเล็กตรอน) ไปจนถึงฝุ่นที่ขนาดใหญ่กว่า 500 ไมครอน (ฝุ่นที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีขนาดตั้งแต่ 50 ไมครอนขึ้นไป) ฝุ่นละอองที่แขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานจะเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 10 ไมครอน) เนื่องจากมีความเร็วในการตกตัวต่ำ หากมีแรงกระทำจากภายนอกเข้ามามีส่วนเกี่ยวข้อง เช่น การไหลเวียนของอากาศ กระแสลม เป็นต้น จะแขวนลอยในอากาศได้นานมากขึ้น ฝุ่นละอองที่มีขนาดใหญ่ (ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 100 ไมครอน) อาจแขวนลอยอยู่ในบรรยากาศได้เพียง 2 –3 นาที แต่ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กโดยเฉพาะขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอนอาจแขวนลอยอยู่ในอากาศได้นานเป็นปี (กรมควบคุมมลพิษ, 2554) ฝุ่นละอองสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของคน สัตว์ พืช เกิดความเสียหายต่ออาคาร บ้านเรือน ทำให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อประชาชน บดบังทัศนะวิสัย ทำให้เกิดอุปสรรคในการคมนาคมขนส่ง (นพภาพร และคณะ, 2547)

ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) มีลักษณะเป็นอนุภาคของแข็งกึ่งของแข็งขนาดเล็ก ได้แก่ ฝุ่น (Dust) ควัน (Smoke) และเขม่า (Soot) ประกอบด้วย มลสารหลายชนิดผสมผสานกัน และมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน PM_{10} เกิดจากแหล่งกำเนิดหลายชนิด โดย PM_{10} ที่เกิดจากธรรมชาติ เช่น ฝุ่นดิน ฝุ่นละออง ไอของทะเล ฝุ่นละอองที่เกิดในอาคาร (Indoor Particulate) เป็นต้น กระบวนการที่ทำให้เกิดฝุ่นละออง เช่น โรงโม่หิน โรงงานปูนซีเมนต์ ซึ่ง PM_{10} จากแหล่งกำเนิดเหล่านี้จะมีปริมาณคาร์บอนสูง ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีบทบาทต่อร่างกายที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เมื่อมนุษย์ได้รับ PM_{10} ทางการหายใจ (Respirable Particulate) และสามารถผ่านเข้าสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนลึกได้ ทำให้เกิดผลกระทบที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ อนุภาคส่วนหยาบ (Coarse Fraction Particulate) มีขนาดตั้งแต่ 2.5 ไมครอน ถึง 10 ไมครอน และอนุภาคส่วนละเอียด (Fine Fraction Particle) มีขนาด 2.5 ไมครอนลงไป

สัณฐานของฝุ่นละออง

ฝุ่นละอองในอากาศโดยปกติจะไม่เป็นทรงกลม มีลักษณะสัณฐานของอนุภาคแตกต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะขึ้นกับแหล่งกำเนิดของอนุภาคนั้น ๆ ของแข็งที่เกิดจากการควบแน่น เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) เกสรดอกไม้จะมีลักษณะค่อนข้างเป็นทรงกลม เส้นใยของขนสัตว์ ฝ้าย แก้ว แอสเบสตอส และเส้นใยสังเคราะห์ต่าง ๆ มักเป็นทรงกระบอก สินแร่โดยปกติอาจจะมีรูปทรงไม่เป็นระเบียบเป็นปุยสะเก็ด (Flakelike) หรือก้อนรวม (Agglomerates) อนุภาคที่เกิดจากการรวมตัวกันในขณะลอยอยู่ในอากาศหรือเกิดจากการเย็นตัวของแก๊สร้อนรูปร่างที่เห็นเหมือนลูกโซ่ (Chainlike) และเป็นฟล็อก (Flocs) กลุ่มอนุภาครวมตัวกันหลวม ๆ เช่น ฝุ่นละอองจากท่อไอเสียรถยนต์ และมักจะเกิดจากการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ ซึ่งผลิตอนุภาคคาร์บอนจำนวนมาก (วนิดา จีนศาสตร์, 2551)



ภาพ 6 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคฝุ่นละอองขนาดเล็ก

ที่มา: U.S. EPA, 2018

แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง

แหล่งกำเนิดฝุ่นละอองในบรรยากาศ โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle) และฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Particle) (ปวีณา งามประภาสม, วิไลลักษณ์ พรมเสน และปิยรัตน์ วงศ์จุมมะลิ, 2546)

1. ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ (Natural Particle)

ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากกระแสลมที่พัดผ่านตามธรรมชาติ ทำให้เกิด ฝุ่นได้ เช่น ดิน ทราย หิน ละอองไอน้ำ เขม่าควันจากไฟป่า ฝุ่นเกลือจากทะเล เป็นต้น

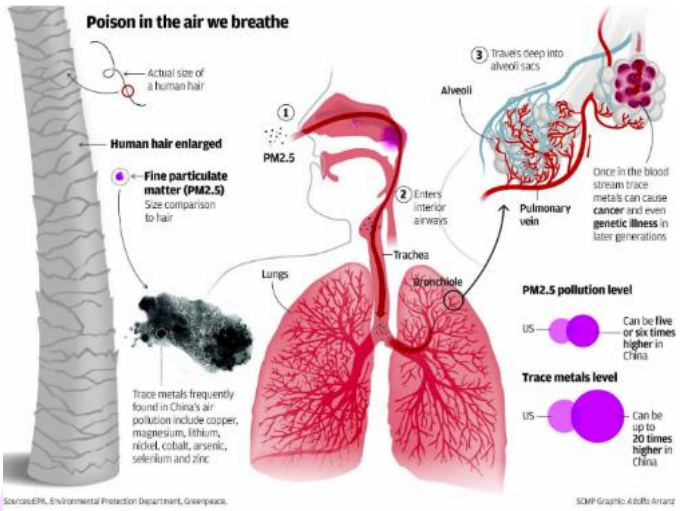
2. ฝุ่นละอองที่เกิดจากกิจกรรมที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Particle)

2.1 ฝุ่นละอองที่เกิดจากการคมนาคมการขนส่ง และการจราจร เช่น ฝุ่นดินทรายที่ฟุ้งกระจายใน ถนนขณะที่รถยนต์วิ่งผ่าน ฝุ่นดินทรายที่หล่นจากการบรรทุกขนส่ง การกองวัสดุสิ่งของบนทางเท้าหรือบนเส้นทางการจราจร รถบรรทุกหิน ดิน ทราย ซีเมนต์หรือวัตถุที่ทำให้เกิดฝุ่นหรือดินโคลนที่ติดอยู่ที่ล้อรถขณะแล่นจะมีฝุ่นตกอยู่บนท้องถนน และกระจายตัวอยู่ในอากาศ ไอเสียจากรถยนต์ จากเครื่องยนต์ดีเซล ที่ปล่อยเขม่า ฝุ่น ควันดำ ออกมาถนนที่สกปรกมีดินทรายตกค้างอยู่มากหรือมีกองวัสดุข้างถนนเมื่อรถแล่นจะทำให้เกิดฝุ่นปลิวอยู่ในอากาศ การก่อสร้างถนนใหม่หรือการปรับปรุงผิวจราจรทำให้เกิดฝุ่นมาก และฝุ่นที่เกิดจากยางรถยนต์

2.2 ฝุ่นละอองจากการก่อสร้าง เช่น ฝุ่นจากการสร้างถนน อาคาร การปรับปรุงผิวการจราจร การรื้อถอนอาคาร และสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ การก่อสร้างเพื่อติดตั้งหรือปรับปรุงระบบสาธารณูปโภค นอกจากนี้การก่อสร้างหลายชนิดมักมีการเปิดหน้าดินก่อนการก่อสร้างซึ่งทำให้เกิดฝุ่นได้ง่าย การก่อสร้าง อาคารสูงอาจทำให้ฝุ่นปูนซีเมนต์ถูกลมพัดออกมาจากอาคาร รวมถึงการรื้อถอน ทำลาย อาคารหรือสิ่งก่อสร้าง

2.3 ฝุ่นละอองจากการประกอบการอุตสาหกรรม เช่น การทำปูนซีเมนต์ โรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับหิน กรวด ทราย หรือดิน สำหรับใช้ในการก่อสร้างอย่างใดอย่างหนึ่ง การโม่บดหรือย่อยหิน การร่อนหรือการคัดกรวดทราย การเผาไหม้เชื้อเพลิง เช่น น้ำมันเตา ถ่านหิน ฟืน แกลบ เพื่อนำพลังงานไปใช้ในการผลิตที่มีฝุ่นออกมา เช่น การปั่นฝ้าย การเจียรโลหะ การเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ ฯลฯ

2.4 ฝุ่นละอองจากการประกอบกิจกรรมอื่นๆ เช่น การทำความสะอาด การปัดฝุ่น (ปวีณา งามประภาสม, วิไลลักษณ์ พรมเสน และปิยรัตน์ วงศ์จุมมะลิ, 2546)



ภาพ 7 กลไกการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กเข้าไปยังระบบทางเดินหายใจ

ที่มา: ABT, 2018

กลไกการรับสัมผัสฝุ่นละออง และผลกระทบต่อสุขภาพ

จากการศึกษาผลของฝุ่นละอองขนาดเล็กที่ส่งกระทบต่อสุขภาพ พบว่าฝุ่นละอองขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน จะติดอยู่บริเวณโพรงจมูก และปากเท่านั้นไม่สามารถผ่านเข้าสู่หลอดลมได้ ส่วนฝุ่นที่มีขนาด 5–10 ไมครอนจะเข้าสู่หลอดลม (Trachea) และแขนงหลอดลม (Bronchus) สำหรับฝุ่นที่มีขนาด 2.5–5 ไมครอนจะเข้าสู่หลอดลมฝอย (Bronchioles) ถุงลม (Alveoli) และฝุ่นละเอียดขนาดเล็ก กว่า 0.02 ไมครอนสามารถดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตผ่านเส้นเลือดฝอยในปอดเข้าสู่ร่างกายได้ (วนิดา, 2551) โดยมีกลไกการตกค้างของฝุ่นละอองในส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจใน พ.ศ. 2541 ธนาคารโลก (World Bank) ได้ให้ทุนสนับสนุนการศึกษาเรื่องผลกระทบของฝุ่นละอองที่มีต่อสุขภาพอนามัยของคนในกรุงเทพฯ พบว่า PM_{10} ในกรุงเทพฯมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย โดยมีระดับความรุนแรงใกล้เคียงกับผลการศึกษาจากเมืองต่าง ๆ ทั่วโลก โดยอาจทำให้คนในกรุงเทพฯเสียชีวิตก่อนเวลาอันควรถึง 4,000 – 5,500 รายในแต่ละปี นอกจากนี้ยังพบว่าการเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลมีความสัมพันธ์กับปริมาณฝุ่นขนาดเล็ก และจากการประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์แสดงให้เห็นว่าหากสามารถลดปริมาณ PM_{10} ในบรรยากาศลงได้ 10 ลูกบาศก์เมตร จะช่วยลดผลกระทบต่อสุขภาพคิดเป็นจำนวนเงิน 35,000 ถึง 88,000 ล้านบาทต่อปี (ชนกานต์ พูลทรัพย์, ศิริมา ปัญญาเมธีกุลและ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2560)

2. โอโซน (O_3)

ประกอบด้วยอะตอมของออกซิเจน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุลเป็น O_3 ถูกค้นพบเมื่อปี1839 โดยนักเคมีชาวเยอรมันชื่อ Christian Friedrich Schönbein ในขณะตรวจวัดการคายประจุไฟฟ้าเขาตั้งชื่อ สารที่ค้นพบนี้ว่า “OZONE” ซึ่งมาจากภาษากรีกว่า OZIEN แปลว่า “ดมกลิ่น” โอโซนเป็นก๊าซที่มีสีฟ้าเขียว ถ้ามีความเข้มข้นสูงมีโครงสร้างไม่เสถียร สามารถทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) กับสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ได้เกือบทุกชนิดทั้งในน้ำ และในอากาศ

แหล่งที่มา

โอโซนระดับพื้นดินถูกจัดว่าเป็นโอโซนที่เป็นพิษ เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยมีแสงสว่างเป็นตัวเร่ง และเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น กระบวนการอุตสาหกรรม การคมนาคม และเครื่องมือผลิตโอโซนที่มนุษย์สร้าง โอโซนที่อยู่รอบตัวมนุษย์ไม่ใช่โอโซนจากชั้นบรรยากาศแต่เป็นโอโซนในระดับพื้นดิน ซึ่งเกิดจากไนโตเจนออกไซด์ และจะมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อแสงอาทิตย์ เนื่องจากเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งในโตเจนออกไซด์ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่อุณหภูมิสูงไนโตเจนไดออกไซด์ (NO_2) และไนตริกออกไซด์ (NO) จะสลายตัวเป็นไนตริก ออกไซด์ (NO) และโมเลกุลอิสระของออกซิเจนที่มีความไวในการทำปฏิกิริยามาก และจะเข้าทำปฏิกิริยาต่อไปเป็นก๊าซโอโซน ส่วนโมเลกุลของออกซิเจนที่เกิดขึ้นเข้าทำปฏิกิริยาแบบนี้ต่อไปเรื่อยๆเกิดเป็นสารมลพิษอากาศ โอโซนที่เข้าทำปฏิกิริยากับไนตริกออกไซด์เกิดเป็นไนโตเจนไดออกไซด์ (NO_2) ต่อไป ยิ่งถ้าในอากาศมีไนตริกออกไซด์ (NO) มากเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์หมอกควันหรือปฏิกิริยาโฟโตเคมิคัล ส่งผลให้มลภาวะอากาศมากขึ้น เมื่อในบรรยากาศมีสารประกอบไฮโดคาร์บอนเจือปนอยู่จะมีเปอร์รอกซีเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลพวงจากปฏิกิริยาโฟโตเคมิคัล และจะเข้าทำปฏิกิริยากับไนตริกออกไซด์เกิดเป็นไนโตรเจนไดออกไซด์ จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมตอนกลางวันจึงมีโอโซนเกิดขึ้นมาก

ผลกระทบ

ก๊าซโอโซนมีฤทธิ์เร่งปฏิกิริยาของเม็ดเลือดแดงส่งผลต่อการรับรังสีเอ็กซเรย์สามารถทำลายโครโมโซมได้ ก๊าซโอโซนในระดับความเข้มข้น 200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรขึ้นไปสามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อ ตา จมูก และเมื่อได้รับสัมผัสตั้งแต่ 200 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรเป็นเวลาชั่วโมงทำให้การทำงานปอดผิดปกติ เนื่องจากถูกกระตุ้นให้เกิดการบีบรัดตัวอย่างไม่ปกติ อีกทั้งยังสามารถทำลายเนื้อเยื่อปอดได้ถ้าหายใจทางปาก เพราะทำให้ก๊าซโอโซนสามารถเข้าไปสู่ระบบทางเดินหายใจส่วนปลายได้ จากงานวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของออกซิแดนท์ต่อเขตชุมชนตามสภาพสถานการณ์จริง พบว่าสารมลพิษแต่ละชนิดมีการเสริมฤทธิ์กันแต่โอโซนเป็นสารมลพิษที่ทำให้เกิดการผิดปกติอย่างชัดเจน เช่น ในกรณีนักศึกษา

พยาบาลเมืองลอสแองเจอลิส สหรัฐอเมริกา มีอาการระคายตา ปวดศีรษะ ไอ แน่นหน้าอก จากการวินิจฉัยของแพทย์ภายหลังพบว่า อาการดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นของออกซิแดนท์สูงสุดในหนึ่งชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่านักวิ่งทนของโรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายไม่สามารถทำเวลาในการวิ่งให้ดีขึ้นเป็นผลมาจากการหายใจผิดปกติของนักกีฬาเมื่อสูดอากาศที่มีออกซิแดนท์เจือปนอยู่ (จะพบความผิดปกติเมื่อได้รับออกซิแดนท์ในระดับ 240 µg/m^{3}ในหนึ่งชั่วโมง) อาการหืดหอบยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในบรรยากาศ และไอน้ำมากกว่าระดับออกซิแดนท์ ดังตาราง 3 แสดงความสัมพันธ์ของออกซิแดนท์ที่มีต่อมนุษย์ (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2540)

ตาราง 4 ผลของออกซิแดนที่มีต่อมนุษย์

ระดับโอโซน (µg/m^3)	ระยะเวลา (ชม.)	ผลที่มีต่อร่างกาย
200	1	ระคายเคืองตา
15–40	–	ได้กลิ่น (สำหรับผู้มีจมูกไวจะได้กลิ่นของโอโซนที่ระดับ 15 µg/m^3)
200	2	ระบบหายใจผิดปกติ ในระหว่างออกกำลัง
740 (ร่วมกับ SO_2)	2	ระบบทางเดินหายใจผิดปกติ
100–460	24	มีผลต่อระบบทางเดินหายใจของผู้ป่วยโรคปอดเรื้อรัง
10	3 นาที	ลด Alpha rhythm
1,600–3,400	1	ช่างเชื่อมโลหะมีระบบหายใจผิดปกติ (อาจมี NO_2 อยู่ด้วย และอาการหายไปในระดับ 400 µg/m^3)
600–1,600	1	ช่างเชื่อมโลหะมีอาการแน่นหน้าอก ระคายคอ อาการเหล่านี้จะหายไปที่ระดับ 500 µg/m^3 อาจมีไนโตรเจนไดออกไซด์ และอนุภาคสารอยู่ด้วย
≥500	–	มีอาการหอบหืดบ่อยขึ้นในผู้ป่วยโรคหืด
≈1000	–	นักศึกษาพยาบาลมีอาการปวดหัวที่ 100 µg/m^3 มีอาการระคายตาที่ 500 µg/m^3 ไอที่530 µg/m^3 แน่นหน้าอกที่ 580 µg/m^3
≥240	–	นักวิ่งทน ทำเวลาไม่ดีขึ้น

ที่มา: WHO, 1978

3. ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)

แหล่งที่มา

ไนโตรเจนไดออกไซด์ในที่นี้กำจัดเฉพาะไนตริกออกไซด์ (NO) ไนโตเจนไดออกไซด์ (NO_2) เนื่องจากเป็นสารมลพิษที่สำคัญต่อสิ่งมีชีวิตมากว่าไนโตรเจนไดออกไซด์อื่น ๆ ไนตริกออกไซด์เป็นก๊าซไม่มีสี และกลิ่น ละลายน้ำได้บ้างเล็กน้อย ไนโตรเจนไดออกไซด์มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิปกติ ก๊าซทั้งสองชนิดสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากภูเขาไฟระเบิด ปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ในดินหรือเกิดจากฝีมือมนุษย์ นั่นคือ การเผาเชื้อเพลิง กระบวนการทางอุตสาหกรรม การผลิตกรดไนตริก การชุบโลหะ การผลิตกรดกำมะถัน และการผลิตวัตถุระเบิด คลอดจนการใช้ชื้อเพลิงของมนุษย์ เช่น การเผาไหม้ของเครื่องยนต์เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดไนโตรเจนออกไซด์ และมีไนตริกเป็นส่วนประกอบ ถึงร้อยละ 90–95 โดยปริมาณ เนื่องจากไนตริกออกไซด์เกิดที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นยานยนต์จึงก่อให้เกิดก๊าซชนิดนี้ และโรงงานอุตสาหกรรม เช่นโรงงานไฟฟ้า โรงงานซีเมนต์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เกิดจากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง ๆ และตามธรรมชาติ

ผลกระทบต่อสุขภาพ

มนุษย์สามารถได้กลิ่นไนโตรเจนออกไซด์ที่ระดับ 230 $\mu g/m^3$ เมื่อมีความชื้นเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้รับกลิ่นเร็วขึ้น ผู้ที่รับสัมผัสก๊าซนิดนี้ที่ระดับ 140 $\mu g/m^3$ จะส่งผลให้ระดับความสามารถในการปรับสายตาให้เข้ากับความมืดลดลง ผู้ป่วยโรคหืดหอบจะมีอาการเร็วขึ้น เมื่อได้รับในระดับ 190 $\mu g/m^3$ ร่วมกับสารกระตุ้นให้หลอดลมตีบ ความผิดปกติของบุคคลทั่วไปที่มีสุขภาพอนามัยปกติจะเกิดเมื่อได้รับก๊าซในระดับ 1,300 – 3,800 $\mu g/m^3$ และที่ระดับ 1,320 – 1,880 $\mu g/m^3$ (ตาราง 4) เมื่อร่างกายรับสัมผัสก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในปริมาณมาก ส่งผลให้การทำงานของปอดลดลง เกิดภาวะปอดอักเสบ หลอดลมตีบตัน และทำให้เกิดการติดเชื้อในระบบทางเดินหายใจ ถ้าได้รับในปริมาณสูง (300 – 500 ppm) ถึงแก่ชีวิตได้หรือสมองขาดออกซิเจนเพราะก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ไปแย่งจับฮีโมโกลบิน ทำให้ออกซิเจนไปเลี้ยงสมองได้น้อยลง ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี ทำให้เป็นต้นเหตุของการเกิดฝนกรด (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2540)

ตาราง 5 ผลของไนโตรเจนไดออกไซด์ต่อมนุษย์

ความเข้มข้น		ระยะเวลารับก๊าซ	ผลที่เกิดขึ้น
mg/m³	ppm		
0.23	0.12	–	ได้กลิ่น
1.3–3.8	0.7–2.0	10 นาที	การหายใจเข้า และออกมีการติดขัด
0.19	0.1	1 ชม.ต่อวัน	เพิ่มอาการตีบตันของทางเดินหายใจของผู้ป่วยหอบหืด
560–940	300–500	–	อันตรายถึงแก่ชีวิตด้วยโรคน้ำค้างเนื้อในปอด หรือสลบเนื่องจากขาดอากาศหายใจ
47–140	27–75	≥1 ชม.	เป็นโรคหลอดลมอักเสบ (Bronchitis) หรือ Bronchopneumonia ที่สามารถรักษาให้หายเป็นปกติได้
0.094	–	1 ปี	เมื่อเปรียบเทียบกับเมืองที่มีก๊าซในระดับ 0.043 μg/m³ ไม่พบการทำงานผิดปกติของปอด และโรคทางเดินหายใจเรื้อรังในผู้สูบบุหรี่
≥0.940	0.5	1 ชม.	ไม่ปรากฏโรคทางเดินหายใจเฉียบพลันในแม่บ้านที่กำลังประกอบอาหาร ด้วยเตาอบก๊าซ

ที่มา: WHO, 1978

4. ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

แหล่งที่มา

ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสีแต่มีรส ถ้ามีความเข้มข้นสูงจะมีกลิ่นฉุน (แสงแดดเป็นตัวกระตุ้นมักส่งผลทำให้ระคายเคืองที่จมูก) ก๊าซชนิดนี้เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีธาตุกำมะถันเป็นส่วนประกอบ เช่น ถ่านหินลิกไนซ์ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีธาตุกำมะถันเจือปนอยู่ร้อยละ 3 น้ำมันดีเซล มีธาตุกำมะถันอยู่ประมาณร้อยละ 0.5 และน้ำมันเตาที่มีธาตุกำมะถันประมาณร้อยละ 3.4 ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์หรือจากการกระบวนการถลุงแร่ เช่น แร่เหล็ก ตะกั่ว สังกะสี ทำให้ธาตุกำมะถันที่อยู่ในสินแร่รั่วไหลออกมาในระหว่างกระบวนการถลุง เมื่อสินแร่รวมกับก๊าซออกซิเจนในบรรยากาศกลายเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ธรรมชาติสามารถผลิตก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ได้ในปริมาณใกล้เคียงกับที่เกิดจากกระบวนการอุตสาหกรรม แต่มนุษย์ทำให้เกิดสภาวะมลพิษเนื่องจากที่โรงงานอุตสาหกรรมตั้งอยู่ในเขตเมืองจึงเป็นผลในการเพิ่มโอกาสการรับสัมผัสของก๊าซชนิดนี้ (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2540)

ผลกระทบต่อสุขภาพ

เมื่อก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์แพร่กระจายในบรรยากาศจะรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนในอากาศเป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur dioxide) หรือกรดกำมะถัน มีฤทธิ์กัดกร่อนทำให้เกิดฝนกรด มีอันตรายเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อรวมกับอนุภาคฝุ่นที่เราเรียกกันว่าฝุ่นทุติยภูมิ (Secondary Emission Particulate Matter) สามารถดูดซึม และละลายซัลเฟรทไนเตรท และคาร์บอนอินทรีย์ได้ เมื่อได้รับเข้าไปแล้วมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ โรคปอด โรคหลอดเลือดหลอดลมอักเสบ เนื่องจากจมูก ช่องจมูกที่ต่อกับหลอดลมสามารถดูดซึมก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 40–90 จากนั้นจะเข้าสู่โลหิต และแพร่กระจายไปทั่วร่างกาย ผ่านเมตาบอลิซึมของร่างกายแล้วถูกขับออกทางปัสสาวะแต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับขนาดรูปร่างความหนาแน่น และระดับความเข้มข้น (ตาราง 6 และ7) ถ้าอยู่ในระดับสูงเกินกว่าที่ร่างกายรับได้เป็นอันตรายถึงชีวิต (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ตาราง 6 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ที่มีต่อคนในระยะเรื้อรัง

ระดับความเข้มข้น ค่าเฉลี่ย ตลอดปีของ ค่า 24 ชม. (μg/m³)	เมือง/ประเทศ	ผลที่เกิดขึ้นต่อร่างกาย
200	เชฟฟิลด์/อังกฤษ	เพิ่มอัตราการป่วยด้วยโรคระบบทางเดินหายใจในเด็ก
55	เบอ์ลิน/สหรัฐอเมริกา	เพิ่มอาการของโรคระบบทางเดินหายใจ ทำให้ระบบทางเดินหายใจในผู้ใหญ่ลดการทำงานลง
125	คราโคว์/โปแลนด์	เพิ่มอาการของโรคระบบทางเดินหายใจในผู้ใหญ่
140	สหราชอาณาจักรอังกฤษ	เด็กเป็นโรคระบบทางเดินหายใจส่วนบนมากขึ้น
60–140	โตเกียว	ผู้ใหญ่มีอาการโรคระบบทางเดินหายใจมากขึ้น
37–66	เบอ์ลิน/สหรัฐอเมริกา	ไม่มีผลใด ๆ

ที่มา: WHO, 1978

ตาราง 7 ผลของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่มีต่อคนในระยะเฉียบพลัน

ระดับความเข้มข้น ค่าเฉลี่ย 24 ชม. (mg/m^3)	ผลที่เกิดขึ้นต่อร่างกาย
›1000	ในกรุงลอนดอน ค.ศ. 1952 อัตราการตายเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่าของอัตราปกติ ในระหว่าง 5 วัน ซึ่งหมอกลง ค่าสูงสุด ของ SO_2 เป็น 3,700 $\mu g/m^3$ และควัน 4,500 $\mu g/m^3$
710	กรุงลอนดอน ค.ศ. 1958–1959 อัตราการตายเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่าของอัตราปกติ
500	กรุงลอนดอน ค.ศ. 1958–1959 อัตราการตายเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 เท่าของอัตราปกติ
500	กรุงนิวยอร์ค ค.ศ. 1962–1966 อัตราการตายสัมพันธ์กันกับมลภาวะ เพิ่มขึ้นร้อยละ 2
500	กรุงลอนดอน ค.ศ. 1954–1968 ผู้ป่วยโรคหลอดลมเรื้อรังมีอาการบ่อยขึ้น
300	วลาดิงเกน เนเธอร์แลนด์ ค.ศ. 1969–1972 ลดการทำงานของระบบทางเดินหายใจ
200	คัมเบอร์แลนด์ เวสต์เวอร์จิเนีย สหรัฐอเมริกา มีอาการหอบหืดในผู้ป่วยด้วยโรคหอบหืด

ที่มา: WHO, 1978

5. ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ (CO)

แหล่งที่มา

ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ส่วนใหญ่มีแหล่งกำเนิดมาจากอุตสาหกรรม โดยเกิดขึ้นจากกระบวนการเผาเชื้อเพลิง เช่น โรงกลั่นปิโตเลียม โรงหล่อเหล็ก โรงผลิตกระดาษ และกระบวนสันดาปที่ไม่สมบูรณ์ของสารประกอบคาร์บอนในเครื่องยนต์ นอกจากนี้ภูเขาไฟ และไฟป่า เป็นแหล่งที่มาของก๊าซชนิดนี้อีกด้วยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ มีคุณสมบัติเบากว่าอากาศเพียงเล็กน้อย และละลายน้ำได้บ้าง เป็นก๊าซเฉื่อยในสภาพอุณหภูมิความดันปกติ สามารถลดออกซิเจนได้อย่างดีถ้ามีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นโลหะ อาทิ พาลาเดียม กับซิลิกาเจล เกิดปฏิกิริยาเติมออกซิเจนให้ก๊าซนี้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2540)

ผลกระทบ

ร่างกายต้องการออกซิเจนไปเลี้ยงเซลล์ต่าง ๆ เช่น ระบบสมองส่วนกลางที่มีความไวต่อการขาดออกซิเจนมาก เมื่อเกิดสภาวะขาดออกซิเจนจะเกิดการเสื่อมสภาพโดยไม่อาจฟื้นฟูให้เหมือนเดิมได้ ก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์มีคุณสมบัติในการแย่งจับฮีโมโกบินได้ดี และสามารถคงตัวอยู่ได้นานกว่าออกซิเจนประมาณ 200 เท่า โดยก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์จะเข้าไปรวมกับฮีโมโกบินในเม็ดเลือดแดงกลายเป็นคาร์บอกฮีโมโกบิน (COHb) ทำให้การลำเลียงออกซิเจนไปสู่ส่วนต่าง ๆ ได้น้อยลง ส่งผลให้ร่างกายเกิดอาการอ่อนเพลีย สมองขาดออกซิเจนเมื่อได้รับในประมาณมากอาจทำให้ร่างกายออกซิเจนเฉียบพลันถึงขั้นเสียชีวิตได้ ในตาราง 8 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอกซีฮีโมโกลบินที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพ ในประเทศสหรัฐอมริกาทุก ๆ ปีจะมีผู้ป่วยปริมาณ 15,000 คน ที่ต้องเข้าห้องฉุกเฉินของก๊าซชนิดนี้ และมีผู้ป่วยเสียชีวิตถึงประมาณ 500 คน สำหรับประเทศไทยในปี พ.ศ.2535 จึงออกกฎหมายเพื่อควบคุม และจัดการกับปัญหานี้ โดยกำหนดให้รถยนต์ใช้น้ำมันเบนซินเป็นเชื้อเพลิงที่ผลิตขึ้นมาใหม่ต้องการเครื่องมือ ในการจัดการสารพิษ (Cataiytic converter) ที่เกิดจากท่อไอเสีย ซึ่งอุปกรณ์จะประกอบตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalys) สองส่วน คือ ส่วนที่เปลี่ยนไนโตรเจนมอนอกไซด์ (Reduction catalyst) ที่เป็นอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ให้เป็นก๊าซออกซิเจน ก๊าซไนโตรเจน และในส่วนที่สองจะทำหน้าที่เปลี่ยนก๊าซคาร์บอนมอนออกไซด์ เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอันตรายน้อยกว่า (Oxidation catalyst) (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2540)

ตาราง 8 ปริมาณคาร์บอกซีฮีโมโกลบิลที่มีผลกระทบต่อร่างกาย

ร้อยละ COHb อิ่มตัวในเลือด	ผลการตอบสนองของผู้ใหญ่ที่มีสุขภาพดี	อาการตอบสนองของผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจอย่างแรง
0.3–0.7	ไม่ส่งผลใด ๆ	
1.0–5.0	กระตุ้นให้ปริมาณโลหิตที่ส่งไปยังอวัยวะบางส่วนเพิ่มขึ้นเพื่อชดเชยปริมาณออกซิเจนที่ลำเลียงได้น้อยลง	ไม่มีความสามารถที่จะสูบฉีดโลหิตเพื่อไปชดเชยปริมาณออกซิเจนที่น้อยลงได้
2.1–3.0	–	ผู้ป่วยด้วยโรค Angina pectoris /Intermittent claudication ไม่สามารถออกกำลังกายได้ตามปกติ
4.0–5.0	ตำรวจจาราจรปวดศีรษะเพลีย	ผู้ป่วยโรค Angina pectoris
5.0–9.0	ต้องใช้แสงมากขึ้นเพื่อให้มองเห็นได้ชัดเจน	เกิดอาการเจ็บหน้าอกขณะออกกำลังกาย
16–20	ปวดศีรษะ การมองเห็นผิดปกติ	
20–30	คลื่นไส้	
30–40	ปวดศีรษะอย่างแรง อาเจียน หมดสติ	ผู้ป่วยโรคหัวใจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้
มากกว่า 50	ชัก อาจถึงแก่ชีวิตได้	

หมายเหตุ: Angina pectoris เป็นโรคหัวใจ มีอาการแน่นหน้าอก อาการเจ็บอย่างรุนแรงเริ่มต้นจากหัวใจลงไปถึงไหล่ ร้าวลงไปที่แขนด้านซ้าย

ที่มา: Ferris, 1978

6. สารตะกั่ว (Pb)

แหล่งที่มา

ตะกั่วเป็นโลหะอ่อนสีเทาเงินเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และจากฝีมือมนุษย์แหล่งธรรมชาติ คือ เป็นส่วนประกอบในหินอัคนี และหินแปรซึ่งมีตะกั่ว 10 – 20 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในส่วนของการผลิตตะกั่วสามารถจำแนกได้สองประเภท คือ ตะกั่วปฐมภูมิ (Primary lead) และตะกั่วทุติยภูมิ (Secondary lead) โดยตะกั่วปฐมภูมิเป็นการผลิตตะกั่วจากการถลุงแร่ส่วนใหญ่เป็นกาลีนา (PbS) ที่ถูกหลอมให้บริสุทธิ์ส่วนตะกั่วทุติยภูมิ (Secondary lead) นั้นเป็นการหลอมเศษตะกั่วจากแบตเตอรี่เพื่อนำกลับมาใช้อีกซึ่งทั้งสองประเภทล้วนแล้วแต่ทำให้เกิดการปนเปื้อนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมทั้งดินน้ำอากาศ และส่งผลต่อสุขภาพของผู้คนบริเวณใกล้เคียงอีกด้วย

สารตะกั่วที่ผลิตได้จะนำไปใช้ในการทำแบตเตอรี่เป็นหลักนอกจากนั้นยังนำไปใช้ทำตะกั่วแอลกิลเพื่อผสมในน้ำมันเบนซิน และผลิตพวกสียากำจัดศัตรูพืชตะกั่วอาร์เซเนท และโลหะผสมต่าง ๆ น้ำมันผสมตะกั่วอินทรีย์ คือ ตะกั่วเตตราแอลกิล ได้แก่ ตะกั่วเตตราเมธิล ตะกั่วเตตราเอธิล และตะกั่วแอลกิลไตรเอธิลเมธิลผสม คือ ตะกั่วไดเอธิลเมธิล และตะกั่วเอธิลไตรธิลซึ่งเมื่อเกิดการสันดาปจะเกิดตะกั่วอนินทรีย์ และออกสู่บรรยากาศร้อยละ 70 โดยจะมีปริมาณตะกั่วสูงขึ้นในขณะที่รถยนต์วิ่งด้วยความเร็วสูงอีกร้อยละ 1 ซึ่งเป็นตะกั่วเตตราแอลกิลส่วนอีกกว่าร้อยละ 20 จะตกค้างอยู่ในท่อไอเสีย และน้ำมันหล่อลื่นโดยจะถูกระบายออกจากท่อไอเสียในรูปของไอระเหยมีส่วนน้อยที่จะถูกดูดซับจากอนุภาคสาร (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2540)

ผลกระทบต่อสุขภาพ

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการบริโภคอาหารน้ำที่มีการปนเปื้อนของสารตะกั่วการหายใจ เช่น ในกรณีของชาวอเมริกันบริโภคอาหารที่มีตะกั่วปนเปื้อนอยู่ (ใส่ในภาชนะที่มีสารเคลือบที่ประกอบด้วยตะกั่วหรือไข่เยี่ยวม้า) และเครื่องดื่ม (เหล้าองุ่นนมที่ผ่านกรรมวิธีต่าง ๆ ทางอุตสาหกรรม) ร่างกายจะปรากฏอาการผิดปกติเมื่อได้รับตะกั่วเกิน 0.5 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการบริโภคไข่เยี่ยวม้า (มีตะกั่วปริมาณ 1,000 – 2,000 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) นอกจากนี้ผู้ที่สูบบุหรี่มีแนวโน้มที่จะได้รับสารตะกั่วตะกั่วมากกว่าผู้อื่นเนื่องจากในใบยาสูบมีส่วนประกอบของตะกั่วอาซีเนทซึ่งเป็นส่วนผสมของยากำจัดศัตรูพืชในทุก ๆ 100 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรจะก่อให้เกิดตะกั่ว 6 – 18 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรในกระแสเลือด (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2540)

ผลของสารตะกั่วที่มีต่อระบบต่าง ๆ ของร่างกาย

1. ระบบโลหิตสารตะกั่วจะเข้าไปขัดขวางการสร้างฮีม (L) สารตะกั่วจะเข้าไป

ขัดขวางการสร้างเอ็นไซม์ –aminolaevulinic acid dehydratase (ALAD) และธาตุเหล็กลงใน protoporphyrin (PP) จึงเป็นเหตุให้ปัสสาวะพบสารที่ใช้สังเคราะห์ ALAD สองชนิดคือ ALA และ CP (Coproporphyrin) ตกค้างอยู่และพบ PP ในเม็ดเลือด (FEP–free erythrocyte) และเกิดเป็นโรคโลหิตจางในที่สุด

2. ระบบประสาท ตะกั่วอนินทรีย์มีผลต่อระบบประสาทส่วนกลาง (CNS–Central nervous system) และระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nervous system) ถ้าได้รับในระดับต่ำจะไม่ปรากฏอาการผิดปกติทางประสาทอย่างชัดเจน แต่ในเด็กทารกอาจมีความผิดปกติด้านความเฉลียวฉลาดเมื่อได้รับเป็นเวลานาน ๆ ไม่ว่าจะเป็นตะกั่วอินทรีย์หรือตะกั่วอนินทรีย์ทั้งสองล้วนเป็นสาเหตุให้เกิดโรคสมองอักเสบ (Encephalopathy) โดยอาการที่ปรากฏเบื้องต้น คือเซื่องซึมกระวนกระวาย หงุดหงิดปวดศีรษะกล้ามเนื้อกระตุกชัก และเป็นอัมพาตในที่สุด (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2540)

ตาราง 9 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป ประเทศไทย

สารมลพิษ	ช่วงเวลา	ค่ามาตรฐาน
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	1 ชม.	ไม่เกิน 30 ppm. (34.2 mg/m^3)
(CO)	8 ชม.	ไม่เกิน 9 ppm. (10.26 mg/m^3)
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	1 ชม.	ไม่เกิน 0.17 ppm. (0.32 mg/m^3)
(NO_2)	1 ปี	ไม่เกิน 0.03 ppm. (0.057 mg/m^3)
ก๊าซโอโซน	1 ชม.	ไม่เกิน 0.10 ppm. (0.20 mg/m^3)
(O_3)	8 ชม.	ไม่เกิน 0.07 ppm. (0.14 mg/m^3)
	1 ปี	ไม่เกิน 0.04 ppm. (0.10 mg/m^3)
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์	24 ชม.	ไม่เกิน 0.12 ppm. (0.30 mg/m^3)
(SO_2)	1 ชม.	ไม่เกิน 0.3 ppm. (780 µg/m^3)
ตะกั่ว (Pb)	1 เดือน	ไม่เกิน 1.5 µg/m^3
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 100	24 ชม.	ไม่เกิน 0.33 mg/m^3
ไมครอน (TSP)	1 ปี	ไม่เกิน 0.10 mg/m^3
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10	24 ชม.	ไม่เกิน 0.12 mg/m^3
ไมครอน (PM_{10})	1 ปี	ไม่เกิน 0.05 mg/m^3
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5	24 ชม.	ไม่เกิน 0.05 mg/m^3
ไมครอน ($PM_{2.5}$)	1 ปี	ไม่เกิน 0.025 mg/m^3

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2548

มาตรฐานคุณภาพอากาศของมลพิษในบรรยากาศ

การกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไป (National Ambient Air Quality Standard; NAAQS) เป็นการกำหนดมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อมมาตรา 32 แห่งพระราชบัญญัติส่งเสริม และรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ซึ่งการกำหนดมาตราฐานคุณภาพอากาศโดยทั่วไปจะต้องอาศัยหลักวิชาการ และหลักฐานทางวิทยาศาสตร์ต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจ และสังคม (กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

ตาราง 10 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป สหรัฐอเมริกา

สารมลพิษ	ช่วงเวลา	ค่ามาตรฐาน
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์	1 ชม.	ไม่เกิน 35 ppm.
(CO)	8 ชม.	ไม่เกิน 9 ppm.
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์	1 ชม.	ไม่เกิน 100 ppm.
(NO_2)	1 ปี	ไม่เกิน 53 ppm.
ก๊าซโอโซน (O_3)	8 ชม.	ไม่เกิน 0.070 ppm.
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	1 ชม.	ไม่เกิน 75 ppm.
ตะกั่ว (Pb)	3 เดือน	ไม่เกิน 0.15 $\mu g/m^3$
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 150 $\mu g/m^3$
(PM_{10})		
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน	24 ชม.	ไม่เกิน 35 $\mu g/m^3$
($PM_{2.5}$)	1 ปี	ไม่เกิน 12 $\mu g/m^3$

หมายเหตุ: 1. สำหรับพื้นที่ที่ไม่สามารถแก้ไขปัญหาปริมาณสารตะกั่วให้เป็นไปตามมาตรฐานในปี ค.ศ. 2008 ได้ และตามแผนการดำเนินงานเพื่อบำรุงรักษาในมาตรฐานปัจจุบัน (1.5 $\mu g/m^3$ เป็นค่าเฉลี่ย 1/4 ของปี) จะไม่ได้รับการเสนอเพื่ออนุมัติมาตรฐาน

2. ค่ามาตรฐานของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ คือ 0.053 ppm ค่าที่แสดงในตารางในหน่วยของ ppb เพื่อให้ง่ายต่อการเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน 1 ชั่วโมง

3. จากการกำหนดมาตรฐานฉบับเดิม (ค.ศ. 2008) พบว่าค่ามาตรฐานก๊าซโอโซนที่กำหนดมีผลในบางพื้นที่จึงมีการเพิกถอนค่ามาตรฐานของก๊าซโอโซน (ค.ศ. 2008) ฉบับเดิม และได้ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงค่ามาตรฐานก๊าซโอโซนในฉบับปัจจุบัน (ค.ศ. 2015) โดยกฎหมายมีผลบังคับใช้วันที่ 28 ธันวาคม ค.ศ. 2015

4. จากผลการสำรวจพบว่าค่ามาตรฐานก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์เดิม (เฉลี่ย 24 ชั่วโมง และเฉลี่ยต่อปีคือ 0.14 ppm และ 0.03 ppm ตามลำดับ) ยังมีผลกับในบ้างพื้นที่ ไม่ว่าจะเป็นพื้นที่ใด ๆ ที่ได้รับผลจากการประกาศค่ามาตรฐาน (ค.ศ. 2010) ไม่ถึง 1 ปี ทำให้มีระยะเวลาในการบำรุงรักษาไม่เพียงพอ พื้นที่ใด ๆ ที่บรรลุหรือไม่บรรลุข้อกำหนดค่ามาตรฐาน (ค.ศ. 2010) ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ที่มา: U.S.EPA, 2016

ตาราง 11 ค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไป ในทวีปยุโรป

สารมลพิษ	ช่วงเวลา	ค่ามาตรฐาน
ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	8 ชม.	ไม่เกิน 10 mg/m³
ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2)	1 ชม.	ไม่เกิน 200 µg/m³
	1 ปี	ไม่เกิน 40 µg/m³
ก๊าซโอโซน (O_3)	8 ชม.	ไม่เกิน 120 µg/m³
ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)	1 ชม.	ไม่เกิน 350 µg/m³
	24 ชม.	ไม่เกิน 125 µg/m³
ตะกั่ว (Pb)	1 ปี	ไม่เกิน 0.5 µg/m³
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10})	24 ชม.	ไม่เกิน 50 µg/m³
	1 ปี	ไม่เกิน 40 µg/m³
ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$)	1 ปี	ไม่เกิน 25 µg/m³

ที่มา: EEA, 2015

หมายเหตุ: 1. ภายใต้ข้อกำหนดใหม่สมาชิกมลรัฐต่าง ๆ และมลรัฐที่มีความจำเพาะพิเศษสามารถใช้ค่าเฉลี่ยสูงสุดได้โดยจะต้องส่งคำร้องต่อคณะกรรมการเพื่อพิจารณาอนุมัติในกรณีพื้นที่จำเพาะพิเศษค่าที่ยอมรับได้คำนวณจากผลรวมของค่าลิมิตกับค่าสูงสุดประจำปี เช่น NO ค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้ คือ ผลรวมของค่าลิมิตกับค่าสูงสุดประจำปี (48 µg/m³)

2. ภายใต้ข้อกำหนดใหม่สมาชิกมลรัฐต่าง ๆ และมลรัฐที่มีความจำเพาะพิเศษสามารถใช้ค่าในช่วง 3 ปี ได้จะต้องส่งคำร้องต่อคณะกรรมการเพื่อพิจารณาอนุมัติในกรณี

พื้นที่ถูกกำหนดว่าเป็นเขตจำเพาะพิเศษ NO ค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้จะได้จากผลรวมของค่าลิมิตกับค่าสูงสุดประจำปี (48 μg/m³)

3. จากประกาศฉบับใหม่ (ค.ศ. 2008) เกี่ยวกับอนุภาคฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนโดยคำนึงถึงผลกระทบจากการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ ได้มีการตั้งค่ามาตรฐานของ $PM_{2.5}$ มีแนวทางในการกำหนดจากค่าเฉลี่ยที่ประเมินจากการได้รับสัมผัส $PM_{2.5}$ (AE1) โดยค่า AEI. มาจากการค่าเฉลี่ย 3 ปีของค่าความเข้มข้นเฉลี่ยต่อปี

รูปแบบมาตรฐานคุณภาพอากาศของประเทศไทย และต่างประเทศรูปแบบมาตรฐานคุณภาพอากาศของแต่ละประเทศมีความแตกต่างกันออกไป (ตาราง 12) เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศที่มีความแตกต่างกัน และความครบถ้วนของข้อมูลจึงจำเป็นต้องอาศัยการประเมินเชิงสถิติร่วมในการเลือกใช้รูปแบบมาตรฐานของสารมลพิษแต่ละประเภทเพื่อความแม่นยำ สามารถประเมินผลกระทบทั้งระยะสั้น ระยะยาวได้ชัดเจนขึ้นซึ่งประเทศไทย และต่างประเทศใช้รูปแบบมาตรฐานของ PM_{10} ดังนี้

ตาราง 12 รูปแบบค่ามาตรฐานฝุ่นขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ของต่างประเทศและประเทศไทย

ประเทศ	ค่าเฉลี่ย 24 ชม. (μg/m³) รูปแบบค่ามาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยรายปี (μg/m³) รูปแบบค่ามาตรฐาน
ไทย	120	50
ออสเตรเลีย	50	–
อังกฤษ	50	40
สหรัฐอเมริกา	150	–
ญี่ปุ่น	0.10 (mg/m³)	–
จีน	50	40
สิงคโปร์	75	30
สวิตเซอร์แลนด์	50	20

หมายเหตุ: 1. เป็นค่ามาตรฐานของฝุ่นละอองรวม TSP

2. ทาง U.S.EPA ได้ประกาศยกเลิกมาตรฐานเฉลี่ยรายปี PM_{10} แล้วในปี ค.ศ. 2006

ที่มา: WHO, 2012

การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ

การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ (Health Impact Assessment) คือ การกระบวนตัดสิน คุณคาของนโยบาย แผนงาน หรือโครงการ โดยพิจารณาที่ผลกระทบ และการกระจายของผลกระทบนั้นที่อาจจะเกิดขึ้นตอสุขภาพของประชาชน โดยใชวิธีการ กระบวนการ และเครื่องมือในการประเมินหลายชนิดรวมกัน (WHO, 1999)

1. ขั้นตอน และวิธีการประเมินผลกระทบตอสุขภาพ

การประเมินผลกระทบตอสุขภาพ มุงเนนที่จะใชกระบวนการประเมินผลกระทบเพื่อใหทราบถึงขอบเขต ขนาด ความรุนแรงของผลกระทบ และโอกาสความเปนไปไดของผลกระทบตอสุขภาพทั้งทางบวก และทางลบ ทั้งที่เกิดขึ้นแลวกับประชาชนกลุมใดกลุมหนึ่ง หรือผลกระทบที่คาดวาจะเกิดขึ้นจากการดำเนินนโยบายการพัฒนากิจกรรม และโครงการ ซึ่งการประเมินผลกระทบตอสุขภาพอาจจะใชเวลาเปนเดือน สัปดาหหรือใชเวลาเพียงไมกี่วันขึ้นอยูกับขนาด และความสำคัญของโครงการ ตลอดจนทรัพยากรที่มีอยูสำหรับการดำเนินการประเมินผลกระทบทางสุขภาพ ปจจุบันการประเมินผลกระทบทางสุขภาพไดมีการดำเนินการในวิธีการที่หลากหลายในการพิจารณาวาจะดำเนินการประเมินผลกระทบทางสุขภาพจะตองคำนึงถึงวิธีการประเมินผลกระทบ และความเปนไปไดในการเลือกกระบวนการตามความตองการของแตละสถานการณเฉพาะ (U.S. EPA, 2018)

2. ระบาดวิทยา

ระบาดวิทยา หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับการกระจาย และปจจัยของภาวะหรือเหตุการณที่เกี่ยวของกับสุขภาพในกลุมประชากรเฉพาะ และการนำผลของการศึกษานี้ไปประยุกตใชในการควบคุมปญหาสุขภาพ ระบาดวิทยาเปนเครื่องมือที่สำคัญสำหรับการแกไขปญหาดานสุขภาพโดยใชกระบวนการที่เปนวิทยาศาสตรมีบริบทขอบเขตคลอบคลุมทั้งทางดานการปองกัน และการรักษา ตองมีการนำผลการศึกษาไปประยุกตใชประโยชนในแกไขปญหาสุขภาพใหไดจริง ๆ ดังนั้น ประโยชนที่สำคัญที่สุดของระบาดวิทยา คือ การนำไปใชในการวางแผนแกไขปญหาดานสุขภาพอยางเปนวงจรที่ตอเนื่องไมสิ้นสุด ผูที่ทำงานดานสุขภาพทุก ๆ คนจำเปนตองมีพื้นฐานทางดานระบาดวิทยา เพื่อใหสามารถนำไปพัฒนางานที่รับผิดชอบ เพราะระบาดวิทยาเปนเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาองคความรูใหม ๆ ที่ทันสมัยซึ่งจะนำมาใชประโยชนในการดำเนินการแกไขปญหาดานสุขภาพนั่นเอง (กรมควบคุมโรค, 2544)

ประโยชนของระบาดวิทยาจากกิจกรรมการดำเนินทางระบาดวิทยา มีดังนี้

1. ทำใหทราบการกระจาย สถานการณ และแนวโนมของโรคหรือปญหาดานสุขภาพที่เกิดขึ้น

2. ทำให้ทราบปัจจัยหรือสาเหตุของการเกิดโรคหรือปัญหาด้านสุขภาพที่สนใจ

3. เพื่อตรวจจับการเกิดขึ้นของโรคอุบัติใหม่ (emerging disease) และโรคอุบัติซ้ำ (reemerging disease)

4. นำไปใช้วางแผนแก้ไขปัญหาด้านสุขภาพต่อไป

3. การหาอัตราการตายก่อนวัยอันควร

การเสียชีวิตในวัยสูงอายุที่เป็นไปตามธรรมชาติอันเนื่องมาจากสภาพร่างกายที่ร่วงโรยไปตามวัยนั้นอาจจะถือว่าเป็นการเสียชีวิตที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ แต่สำหรับการเสียชีวิตในช่วงวัยเด็กหรือวัยทำงานซึ่งเป็นวัยที่ยังไม่ควรเสียชีวิตถือว่าเป็นการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร ซึ่งสาเหตุการเสียชีวิตอันไม่สมควร ได้แก่ อุบัติเหตุต่าง ๆ ทั้งที่เกิดจากเจตนา และไม่เจตนา การเสียชีวิตเนื่องจาก ขาดการสุขาภิบาลที่ดี การเสียชีวิตด้วยโรคติดต่อหรือโรคระบาดต่าง ๆ และการเสียชีวิตจากโรคไม่ติดต่อที่สามารถป้องกันได้ การเสียชีวิตก่อนวัยอันควรนั้นอาจมีนิยามได้หลากหลาย แล้วแต่ว่าการศึกษานั้นสนใจรายละเอียดในเรื่องใด ซึ่งอาจจะพิจารณาจากเงื่อนไขของอายุขณะที่เสียชีวิตหรือเงื่อนไขของสาเหตุการเสียชีวิตหรืออาจจะใช้ทั้งสองเงื่อนไข ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริบท และความสนใจของการศึกษานั้น ๆ (ขนิษฐา กู้ศรีสกุล, 2559)

การเสียชีวิตก่อนวัยอันควรนั้นอาจมีนิยามได้หลากหลายแล้วแต่ว่าการศึกษานั้นสนใจรายละเอียดในเรื่องใด ซึ่งอาจจะพิจารณาจากเงื่อนไขของอายุขณะที่เสียชีวิตหรือเงื่อนไขของสาเหตุการเสียชีวิตหรืออาจจะใช้ทั้ง 2 เงื่อนไข ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับบริบท และความสนใจของการ ศึกษานั้น ๆ ตัวอย่างการตั้งเกณฑ์การเสียชีวิตก่อนวัยอันควรของการศึกษาต่าง ๆ เช่น Gawryszewski และ Monteiro ศึกษาการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรอันเนื่องมา จากโรคหัวใจและหลอดเลือดที่เสียชีวิตช่วงอายุ 30–69 ปี ของประชากรประเทศสหรัฐอเมริกา ช่วง ค.ศ. 2000– 2009 Kontis และ Mathers ศึกษาการเสียชีวิตก่อน วัยอันควรของประชากรทั่วโลกช่วงอายุ 30–70 ปี จากโรคไม่ติดต่อ 4 โรค ประกอบด้วย โรคหัวใจ และหลอดเลือด โรคเกี่ยวกับการหายใจเรื้อรัง โรคมะเร็ง และโรคเบาหวาน Pham และ Fujino ศึกษาการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรจากโรคหลอดเลือดสมอง ทุกช่วงอายุของประชากรประเทศญี่ปุ่น ช่วง ค.ศ.1980–2005 และ Mansfield และ Wilson ศึกษาการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรของประชากรประเทศสหรัฐอเมริกาที่เสียชีวิตก่อนอายุ 75 ปี ช่วง ค.ศ. 1990–1992 เป็นต้น

4. วิธีการทำแผนที่

การทำแผนที่เป็นการรวบรวมข้อมูลภูมิศาสตร์ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่บนพื้นผิวโลก มาแสดงโดยสร้างเป็นสัญลักษณ์ในแผนที่ จึงต้องจำแนกลักษณะข้อมูลภูมิศาสตร์ที่นำมาทำแผนที่ แล้วเลือกใช้สัญลักษณ์ให้เหมาะสมกับข้อมูล สัญลักษณ์แผนที่จำแนกได้เป็น 3 ประเภท

คือ สัญลักษณ์จุด (Point symbol) สัญลักษณ์เส้น (Line symbol) และสัญลักษณ์พื้นที่ (Area symbol) การออกแบบแผนที่เริ่มจากการกำหนดขนาดแผนที่แล้ววางองค์ประกอบของแผนที่ คล้ายกับการวางแบบจัดหน้าของนักหนังสือพิมพ์ จึงมักเรียกว่า การวางแบบแผนที่ (Map layout) โดยหลักการการวางองค์ประกอบแผนที่ต้องพิจารณาองค์ประกอบของแผนที่ว่าเหมาะสมกับแผนที่ชนิดนั้นแล้วหรือไม่ ในบางกรณีอาจยกเว้นไม่จำเป็นต้องแสดงให้ครบถ้วน การวางองค์ประกอบแผนที่มีรายละเอียด (องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้, 2558) ดังนี้

1. เนื้อหาของแผนที่ (Map content) ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เพราะเป็นข้อมูลหลักของแผนที่จัดอยู่ในความสำคัญอันดับแรก เนื้อหาแผนที่มักวางไว้ตรงกลางจุดศูนย์กลางของระวางแผนที่หรือขอบเขตกระดาษทำแผนที่ เนื้อหาแผนที่ต้องโดดเด่นมากที่สุด และครอบคลุมพื้นที่แผนที่มากที่สุด

2. ขอบระวางแผนที่ (Neat line) มักเป็นเส้นบาง และอาจมีเส้นขอบนอกล้อมรอบซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นหนากว่าขอบระวาง เรียกว่า เส้นขอบระวาง ข้อมูลตัวเลข ค่าพิกัดแผนที่บอกเนื้อหาแผนที่ โดยวางอยู่ระหว่างขอบระวาง และเส้นขอบระวาง

3. ชื่อแผนที่ (Title) มีความสำคัญอยู่ในลำดับ 2 รองจากเนื้อหาแผนที่ การตั้งชื่อแผนที่ควรกระชับ และได้ความหมายตามเนื้อหาของแผนที่ ไม่ใช้คำฟุ่มเฟือย ถ้าเนื้อหาแผนที่แสดงวันเวลาเฉพาะให้ระบุไว้ในชื่อแผนที่ด้วย หากชื่อแผนที่ยาวมากอาจแบ่งชื่อแผนที่เป็นชื่อหลักและชื่อรอง แยกเป็นอีกบรรทัด และจัดวางไว้กึ่งกลางของชื่อหลัก

4. คำอธิบายสัญลักษณ์ (Legend) มีความสำคัญอยู่ในลำดับ 3 ต่อจากเนื้อหาแผนที่ และชื่อแผนที่คำอธิบายสัญลักษณ์ประกอบด้วยรูปสัญลักษณ์ และคำอธิบายความหมายของสัญลักษณ์ สัญลักษณ์ที่อยู่ในเนื้อหาแผนที่ต้องปรากฏคำอธิบายสัญลักษณ์ด้วยเสมอ และมีรูปร่างลักษณะเหมือนกันทุกประการ

5. ระบบพิกัด และพื้นหลักฐานอ้างอิง (Map datum) ในส่วนนี้จะช่วยให้ผู้ใช้แผนที่สามารถเข้าใจ และนำแผนที่ไปใช้ประโยชน์ได้อย่างถูกต้อง

6. มาตราส่วนแผนที่ (Map scale) ทำได้โดยระบุเป็นตัวเลข และกราฟิกของมาตราส่วน เส้นบรรทัด แต่ควรใช้มาตราส่วนกราฟิกประกอบด้วยเสมอ เพราะอาจมีการทำสำเนาย่อ หรือขยายแผนที่นั้น

7. เครื่องหมายทิศ แผนที่ที่ไม่มีเครื่องหมายทิศกำกับ แสดงว่านักแผนที่กำหนดให้แผนที่นั้นวางตัวชี้ไปทางทิศเหนือ แต่ถ้าขนาดของเนื้อหาแผนที่ไม่เหมาะสมกับการวางตัวในทิศเหนือก็เปลี่ยนไปทิศอื่น ๆ ได้ แต่ต้องมีเครื่องหมายทิศเหนือกำกับด้วยเสมอ

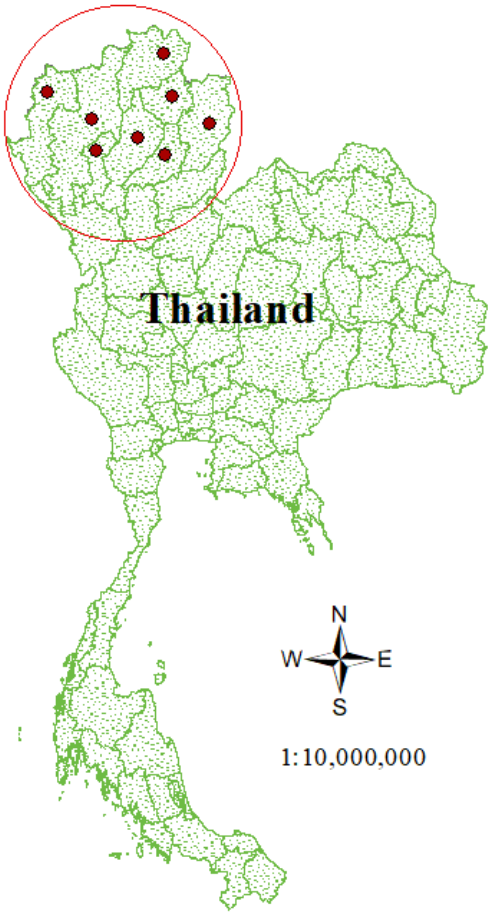
8. แหล่งที่มาของข้อมูล (Data source) ผู้จัดทำแผนที่ และวันที่ทำแผนที่ ควรแสดงไว้ เพราะทำให้สามารถอ้างอิงที่มาของข้อมูลได้ การทำแผนที่เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่

ในปัจจุบันมีซอฟต์แวร์ช่วยให้การออกแบบ และทำแผนที่ง่ายดายรวดเร็วขึ้นมาก แต่ไม่ควรละเลยความสำคัญของการออกแบบแผนที่ แผนที่ คือ สื่อนำเสนอข้อมูลเชิงพื้นที่ จึงเป็นเอกสารที่มีความสำคัญทางวิชาการ สัญลักษณ์ที่ปรากฏบนแผนที่ จะนำไปสู่ความเข้าใจลักษณะของพื้นที่ตรงตามวัตถุประสงค์แท้จริงของแผนที่ หากแผนที่นั้น สื่อสารข้อมูลคลุมเครือหรือผิดพลาดจะส่งผลให้ผู้ใช้แผนที่ตีความหมายผิด จึงไม่ควรมองว่าแผนที่เป็นเพียงภาพประกอบเท่านั้น

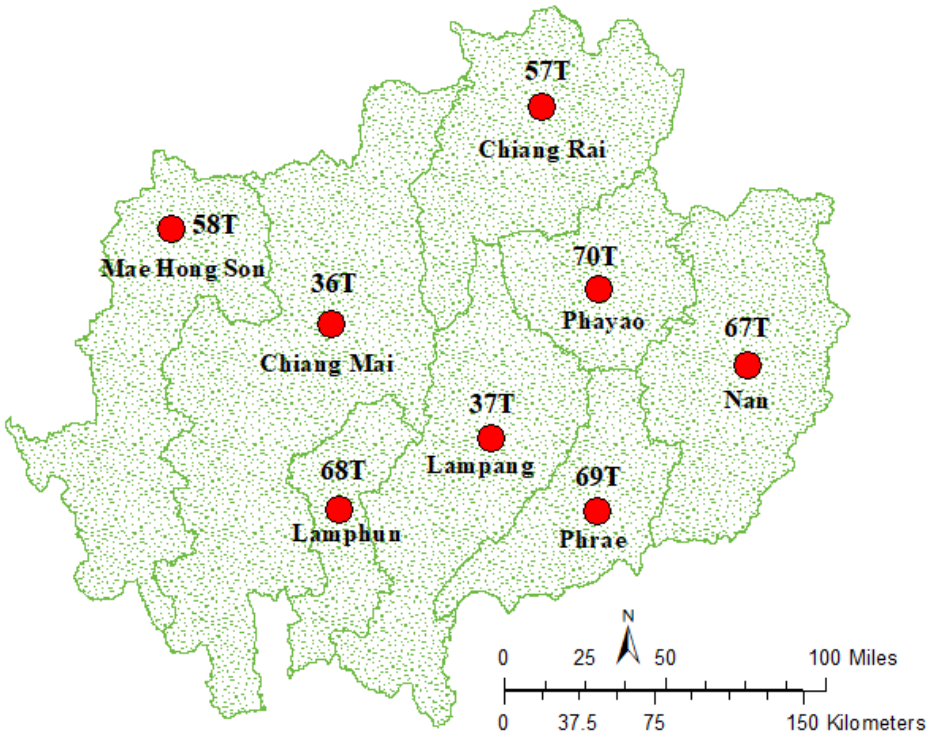
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยผู้วิจัยทำการ การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ เพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพ ได้แก่ ข้อมูลคุณภาพอากาศ จำนวนประชากร และข้อมูลระบาดวิทยาของโรคระบบทางเดินหายใจในพื้นที่ภาคเหนือตอนบน ดังแสดงในภาพที่ 8 9 และ 10 ในปี พ.ศ. 2555



ภาพ 8 แผนที่ประเทศไทย



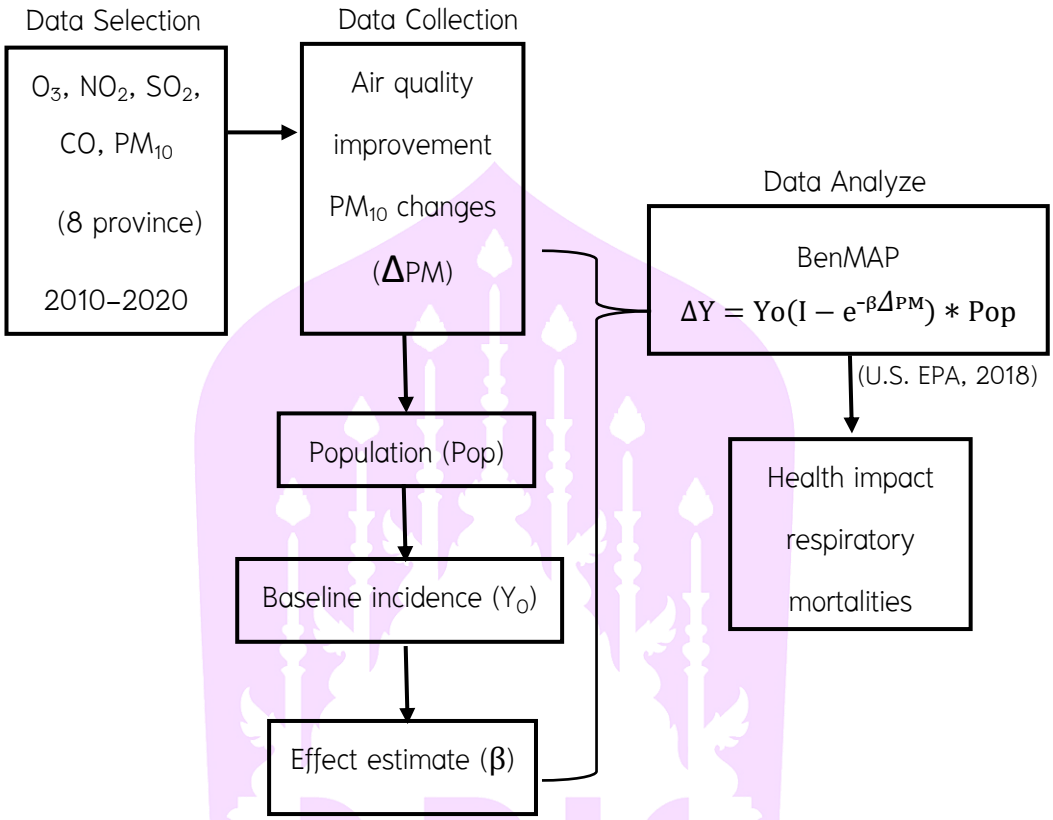
ภาพ 9 แผนที่แสดงจุดตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ตาราง 13 สถานีตรวจวัด 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

จังหวัด	สถานีตรวจวัด	Latitude	Longitude
เชียงราย	57T	19.909242	99.823357
เชียงใหม่	36T	18.840633	98.969661
ลำพูน	68T	18.567179	99.03856
ลำปาง	37T	18.278251	99.506447
แม่ฮ่องสอน	58T	19.304686	97.970999
แพร่	69T	18.128928	100.162345
น่าน	67T	18.788878	100.776359
พะเยา	70T	19.200226	99.893048

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ, 2555

ขั้นตอนการดำเนินงาน



ภาพ 10 แผนดำเนินงานวิจัย

การรวบรวมข้อมูลคุณภาพอากาศ

เพื่อประกันคุณภาพของข้อมูลได้ว่ามีความน่าเชื่อถือในทางสถิติข้อมูลต้องมีอย่างน้อย 3 ปี (U.S.EPA, 2013 และWHO, 1978) ผู้วิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัด ภาคเหนือตอนบน ระหว่างปี พ.ศ. 2553–2563 เกณฑ์ในการคัดเลือกสถานีตรวจวัดเพื่อเป็นตัวแทนของแต่ละจังหวัด โดยการคัดเลือกจากการมีข้อมูลค่าเฉลี่ยรายวันของสารมลพิษทางอากาศที่มีข้อมูลขาดหายน้อยที่สุด และต้องมีข้อมูลครบผ่านเกณฑ์ที่กำหนด คือ ประกอบด้วยข้อมูลอย่างน้อยร้อยละ 75 ของข้อมูลทั้งหมดหรือขาดได้ไม่เกิน 92 วันใน 1 ปี (U.S.EPA, 2010)

การคำนวณสารมลพิษที่เกินค่ามาตราฐาน

เพื่อดูข้อมูลการตรวจวัดหรือจำนวนวันตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2553-2563 ของสารมลพิษทั้ง 5 ชนิด ต้องมีครบผ่านเกณฑ์ที่กำหนด คือ ประกอบด้วยข้อมูลอย่างน้อยร้อยละ 75 ของข้อมูลทั้งหมดหรือขาดได้ไม่เกิน 92 วันใน 1 ปี (U.S.EPA, 2010) การประเมินทางสถิติจะทำการประเมินเป็นรายวัน และรายปี ข้อมูลคุณภาพอากาศรายวันจะนำไปประเมินดัชนีคุณภาพอากาศในแต่ละวันว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยหรือไม่ ส่วนการประเมินทางสถิติเป็นรายปีมีวัตถุประสงค์เพื่อดูแนวโน้มระดับสารมลพิษที่เกินค่ามาตรฐานใน 8 จังหวัด ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย

ในการคำนวณค่าความเข้มข้น 24 ชม. ของ PM_{10} ต้องมีข้อมูลการตรวจวัดอย่างน้อย 18 ชั่วโมง สำหรับการนำข้อมูลมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยได้ และนำค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมงใน 1 ปีของแต่ละสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยรายปี

การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพ

ในการหาความสัมพันธ์ของผลกระทบสุขภาพจะต้องใช้ Health impact function แยกเป็น 4 องค์ประกอบ (Hubbell, et al., 2009)

1. ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของค่ามลสาร (ΔPM)

จากการวิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ในช่วงปี พ.ศ. 2553 – 2563 พบว่าค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} สูงสุด คือ ปีพ.ศ. 2555 ดังนั้น จึงใช้ค่าความเข้มข้นของ PM_{10} สูงสุด คือ ปีพ.ศ. 2555 และมีจำนวนวันที่ความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานมากที่สุด คือ 175 วัน ในการศึกษานี้นำค่าความเข้มข้น PM_{10} จากสถานีตรวจวัดสารมลพิษใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยเข้าไปใน BenMAP-CE เพื่อสร้างกริดคุณภาพอากาศ ในขั้นตอนนี้ข้อมูลดิบจากสถานีตรวจวัดจะถูกนำไปแปลงเป็นไฟล์ตารางคุณภาพอากาศ ค่าสารมลพิษสำหรับเซลล์กริดแต่ละเซลล์สามารถประมาณการการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ PM_{10} ในปี พ.ศ. 2555 และมีการเปรียบเทียบเมื่อลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 50% 20% และ15% ตามลำดับ ดังนี้

ΔPM = ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} ในปี พ.ศ. 2555 – 50%

ΔPM = ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} ในปี พ.ศ. 2555 – 20%

ΔPM = ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} ในปี พ.ศ. 2555 – 15%

2. ประชากรที่สัมผัสมลพิษ (Pop)

ระบุชุดข้อมูลประชากร โดยใช้ข้อมูลสถิติชีพทะเบียนการตาย (Death Vital Statistics) ของสำนักบริการการทะเบียน กรมการปกครอง ที่ได้รับการให้สาเหตุการเสียชีวิตทางการแพทย์ตามระบบ ICD10 โดยสำนักนโยบาย และยุทธศาสตร์ ข้อมูลประชากรจำแนกตามช่วงอายุเกณฑ์มาตราฐานจากกระทรวงสาธารณะสุข คือ สองเพศ (ชาย และหญิง) แบ่งช่วงอายุ 18 ปีขึ้นไป ดังตาราง 14

ตาราง 14 จำนวนประชากรแบ่งเพศ ชาย หญิง และประชากรที่เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ ในเขตพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2555

จังหวัด	ทั้งหมด	ประชากร		ตายจากโรคระบบทางเดินหายใจ	
		ผู้ชาย	ผู้หญิง	ผู้ชาย	ผู้หญิง
เชียงราย	1,200,423	590,446	609,977	212	166
เชียงใหม่	1,655,642	806,720	848,922	289	187
น่าน	477,673	240,868	236,805	91	41
พะเยา	488,120	238,646	249,474	114	55
แพร่	457,607	222,570	235,037	65	26
แม่ฮ่องสอน	244,356	125,162	119,194	23	13
ลำปาง	756,811	372,756	384,055	133	81
ลำพูน	406,673	196,622	208,051	55	15

ที่มา: กระทรวงมหาดไทย, 2555

3. อัตราอุบัติการณ์พื้นฐาน (Y_0)

อัตราอุบัติการณ์พื้นฐานจะใช้ในการประมาณการเปลี่ยนแปลงค่าสัมบูรณ์ของอุบัติการณ์โดยใช้ผลการศึกษาทางระบาดวิทยา ในการศึกษานี้กำหนดเป็นจำนวนคนของผู้ที่เสียชีวิตจากสาเหตุโรคทางเดินหายใจเฉพาะในปี 2555 ข้อมูลเหล่านี้นำมาจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ ดังตาราง 14 ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้สูตรในการหาอัตราอุบัติการณ์พื้นฐาน ดังนี้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2555)

$$Y0 = \frac{number\ of\ cases}{Total\ Population} \quad (1)$$

โดยที่ Y_0 คือ อัตราอุบัติการพื้นฐานของผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ

Number of cases คือ จำนวนผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจทั้งหมด (คน)

Total Population คือ จำนวนประชากรทั้งหมดในพื้นที่ที่ทำการศึกษา (คน)

4. ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบทางสุขภาพ (β)

การศึกษาเกี่ยวกับการกระจาย และปัจจัยของภาวะหรือเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพในกลุ่มประชากรเฉพาะ และการนำผลของการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมปัญหาสุขภาพด้วยกระบวนการ วิธีการ และเครื่องมือที่หลากหลาย ที่ใช้เพื่อการคาดการณ์ถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากนโยบาย แผน แผนงานหรือโครงการที่มีต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน และการกระจายของผลกระทบในกลุ่มประชากร ในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพจะกำหนดถึงกิจกรรมที่เหมาะสมในการจัดการผลกระทบเหล่านั้น (WHO, 1999) ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ทางระบาดวิทยาของ PM_{10} ต่ออัตราการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ (β 0.00672) (Pothirat, et al., 2019) ใช้สูตรในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพ ดังนี้ (U.S. EPA, 2018)

$$\beta = \log\left(\frac{epidemiology}{\Delta PM}\right) \quad (2)$$

โดยที่ β คือ ค่าการประเมินผลกระทบจากการศึกษาระบาดวิทยา

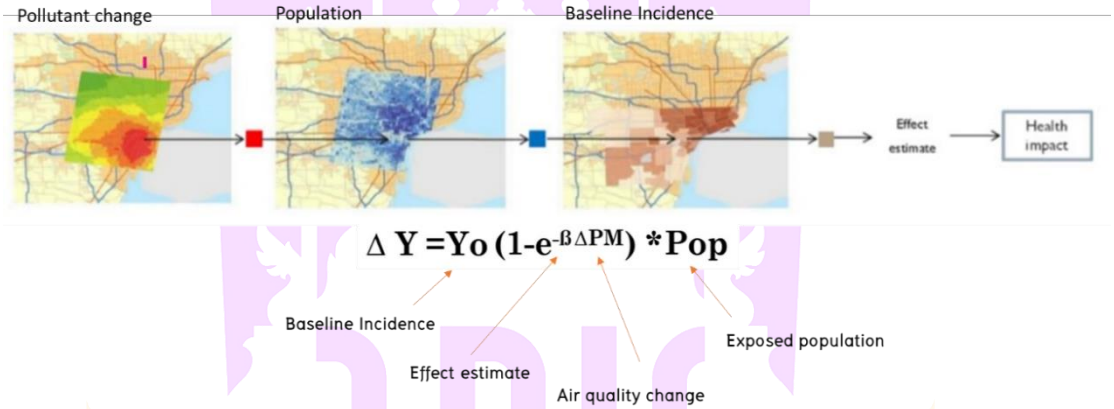
epidemiology คือ ค่าระบาดวิทยา 0.00672 (Pothirat, et al., 2019)

ΔPM คือ การเปลี่ยนแปลงของค่ามลสาร ($\mu g/m^3$)

การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ

โปรแกรม BenMAP เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และมูลค่าทางเศรษฐกิจต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศ กล่าวคือ BenMAP–CE เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอากาศเพื่อเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ การวิเคราะห์ดังกล่าวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของการประเมินนโยบายคุณภาพอากาศ เจ้าหน้าที่มลพิษอากาศของรัฐบาลกลาง และท้องถิ่นหลายแห่งได้ใช้ BenMAP–CE เพื่อช่วยการตัดสินใจในการจัดการคุณภาพอากาศ BenMAP–CE ประเมินค่าจากการปรับปรุงสุขภาพของมนุษย์ เช่น การลดความเสี่ยงของการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร หัวใจวาย และผลกระทบต่อสุขภาพอื่น ๆ ประโยชน์อื่น ๆ ของการลดมลพิษทางอากาศ (เช่น การมองเห็น และผลกระทบต่อระบบนิเวศ)

ไม่ได้ถูกกำหนดปริมาณใน BenMAP–CE รุ่นปัจจุบัน โปรแกรมการทำแผนที่ และการวิเคราะห์ด้านสิ่งแวดล้อม (BenMAP) จะถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ การวิเคราะห์เริ่มต้นด้วยชุดข้อมูลแรก คือ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารมลพิษ PM_{10} ปี พ.ศ. 2555 จะถูกกำหนดโดยการนำข้อมูลคุณภาพอากาศจากสถานีตรวจวัด 8 สถานี ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน เข้าในโปรแกรม BenMAP–CE จะแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มข้นของ PM_{10} กับจุดสิ้นสุดของสุขภาพที่เลือก (อัตราการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ) การศึกษาเหล่านี้เกี่ยวข้องกับ PM_{10} ความเข้มข้นที่มีจุดสิ้นสุดด้านสุขภาพ สุดท้ายความสัมพันธ์ดังกล่าวจะถูกนำไปใช้กับประชากรที่ได้รับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสารมลพิษ PM_{10} เพื่อคำนวณอุบัติการณ์ผลกระทบต่อสุขภาพ



ภาพ 11 กระบวนการประมวณผล Program BenMAP

ที่มา: U.S. EPA, 2018

สูตรการคำนวณหาความสัมพันธ์คุณภาพอากาศต่อจำนวนผู้เสียชีวิต (U.S. EPA, 2018)

$$\Delta Y = Yo(I - e^{-\beta}\Delta^{PM}) * Pop$$

Air Quality Change (ΔPM) การเปลี่ยนแปลงของค่ามลสาร

Health Effect Estimate (β) ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบทางสุขภาพ

Exposed Population (Pop) การกระจายตัวของประชากร

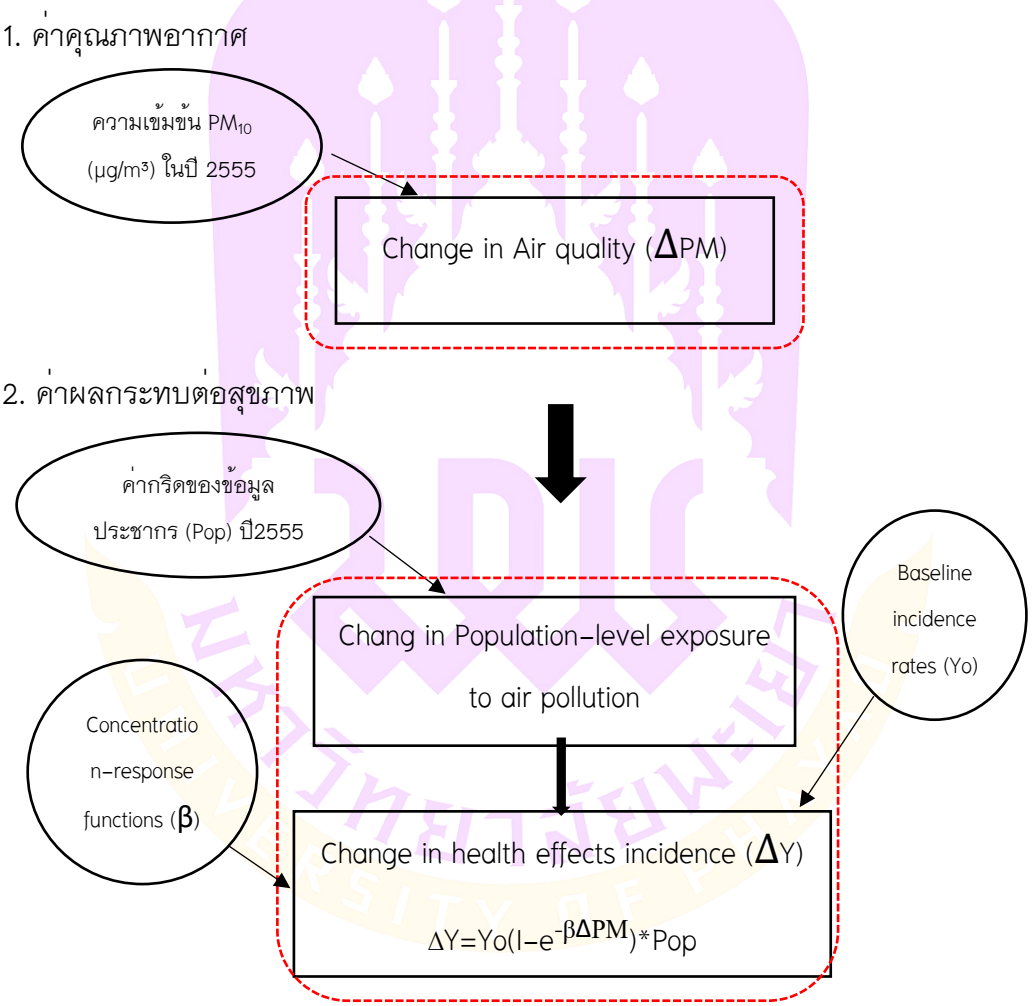
Health Baseline Incidence (Y_o) อุบัติการณ์พื้นฐานด้านสุขภาพ

สรุปได้ว่ามีขั้นตอนหลักในการวิเคราะห์ 3 ขั้นตอนเพื่อให้ได้ผลลัพธ์สุดท้าย

1. ค่ามลสาร PM_{10} ถูกเลือกเป็นสารมลพิษหลักในการหาผลกระทบสุขภาพ ระบุค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ PM_{10} ในปี พ.ศ. 2555 และการลดระดับความเข้มข้นลง 50% 20% และ15% ตามลำดับ

2. การกำหนดค่าผลกระทบทางสุขภาพโดยชุดข้อมูลประชากรจะถูกนำเข้าโปรแกรม และจากนั้นจะระบุการประมาณการเปลี่ยนแปลงอุบัติการณ์ผลกระทบทางสุขภาพ

3. ขั้นตอนการรวมข้อมูล และการรวมค่าประมาณการผลกระทบทางสุขภาพ



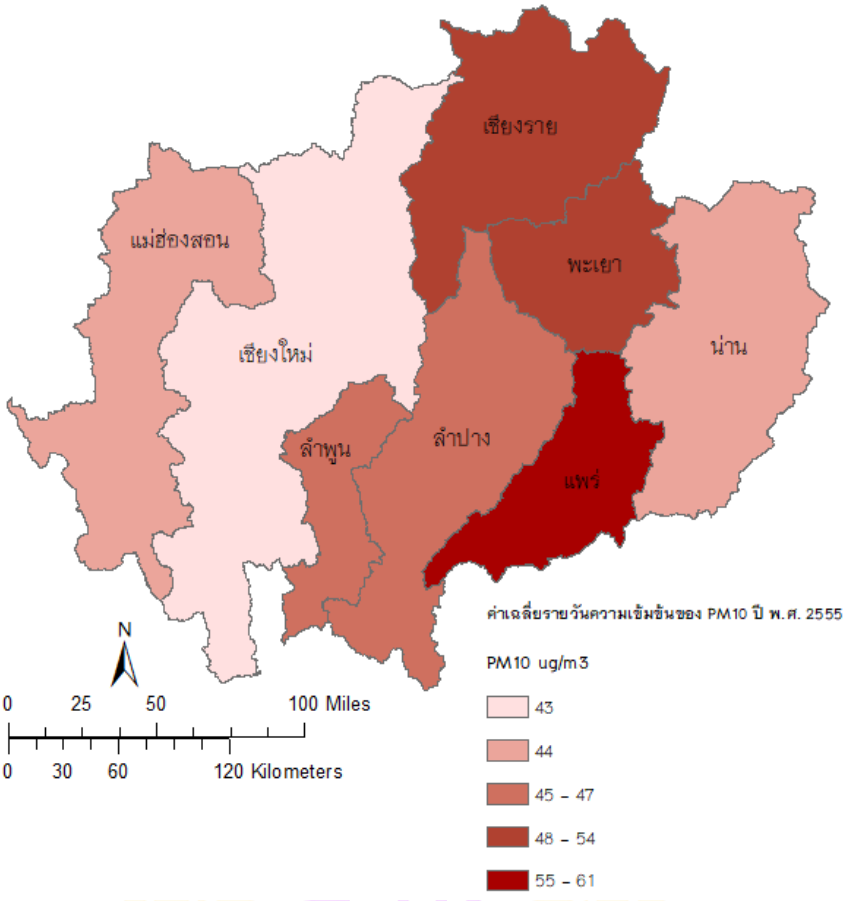
ภาพ 12 วิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยวิธีการ BenMAP

ที่มา: U.S. EPA, 2018

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ค่าเฉลี่ยรายวันความเข้มข้นของ PM10 ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปีพ.ศ. 2555

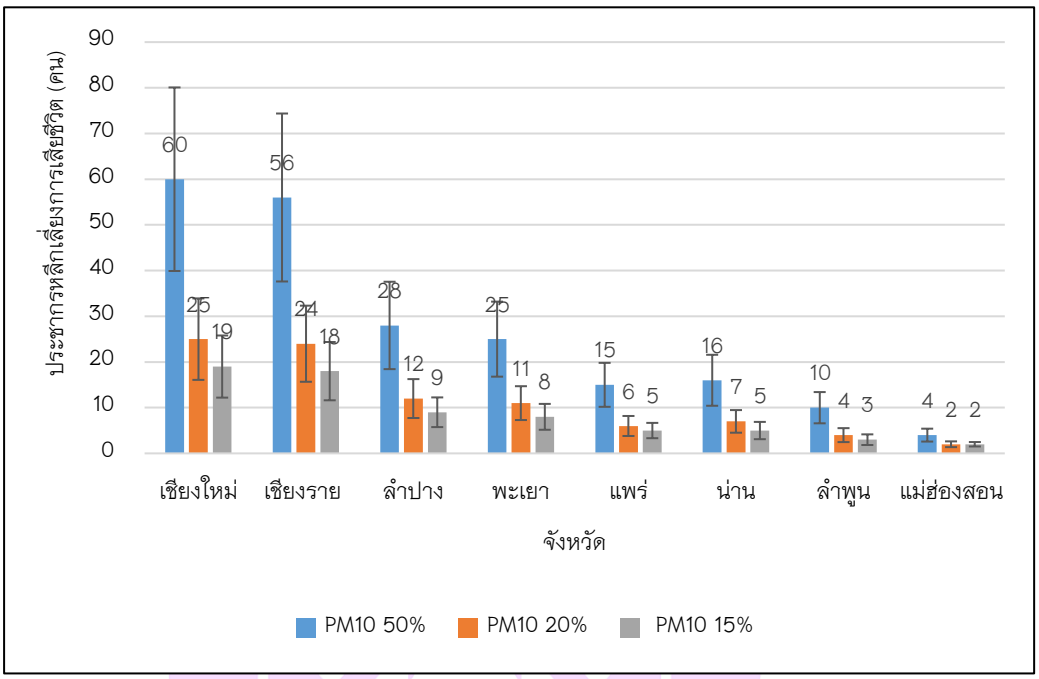


ภาพ 13 แผนที่แสดงค่าเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ในภาคเหนือตอนบน พ.ศ. 2555

จากการวิเคราะห์เชิงสถิติของค่าเฉลี่ยรายวันความเข้มข้นของ PM_{10} ในปี พ.ศ. 2555 พบว่า จังหวัดแพร่มีปริมาณค่าความเข้มข้นของ PM_{10} สูงที่สุด คือ 53.94 $\mu g/m^3$ เนื่องจากในปี พ.ศ. 2555 จังหวัดแพร่เกิดปัญหาไฟป่า และหมอกควันปกคลุมทั่วจังหวัด ด้วยลักษณะภูมิประเทศของจังหวัดแพร่มีลักษณะคล้ายแอ่งกระทะ คือ มีภูเขาล้อมรอบจังหวัด และมีพื้นที่สูงชันยากต่อการเข้าถึง มื่อมีการเกิดไฟป่าในช่วงกลางคืนจะสามารถควบคุมไฟป่าได้ในช่วงเช้าเกิดความกดอากาศสูง และได้แผ่ลงมาปกคลุมทำให้ฝุ่นละอองขนาดเล็กไม่สามารถลอยขึ้นสู่ชั้นบนอากาศได้ ในปัจจุบันจังหวัดแพร่ในช่วงฤดูแล้งทางจังหวัดออกกฎหมายงดการเผาเพื่อแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองที่เกินค่ามาตรฐานไทย (สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ, 2555) รองลงมา ได้แก่ จังหวัด เชียงราย 52.83 $\mu g/m^3$, พะเยา 50.37 $\mu g/m^3$, ลำปาง 47.26 $\mu g/m^3$, ลำพูน 46.18 $\mu g/m^3$, แม่ฮ่องสอน 44.46 $\mu g/m^3$, น่าน 43.78 $\mu g/m^3$ และเชียงใหม่ 41.99 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ

การประเมินผลกระทบทางสุขภาพ

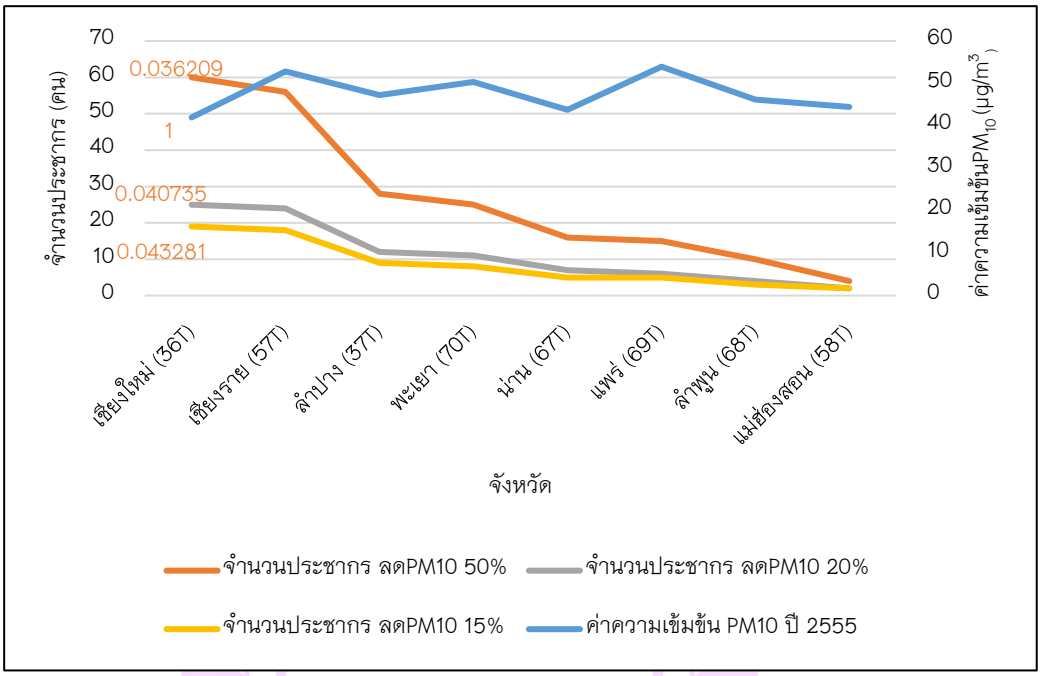
ในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพ จะต้องคำนวณค่า Health impact function ทั้ง 4 องค์ประกอบให้ครบถ้วน ได้แก่ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่ามลสาร (ΔPM) การกระจายตัวของประชากร (Pop) อัตราอุบัติการณ์พื้นฐาน (Y_0) และค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบทางสุขภาพ (β) (U.S. EPA, 2018) จากนั้นเข้าสู่กระบวนการประเมินผลกระทบทางสุขภาพของผู้เสียชีวิตโรคระบบทางเดินหายใจจาก PM_{10} อายุตั้งแต่ 18 ปีขึ้นไป ทั้งเพศชาย และหญิง ในบริเวณภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2555 ซึ่งใช้ BenMAP เป็นเครื่องมือในงานวิจัยครั้งนี้



ภาพ 14 การลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555

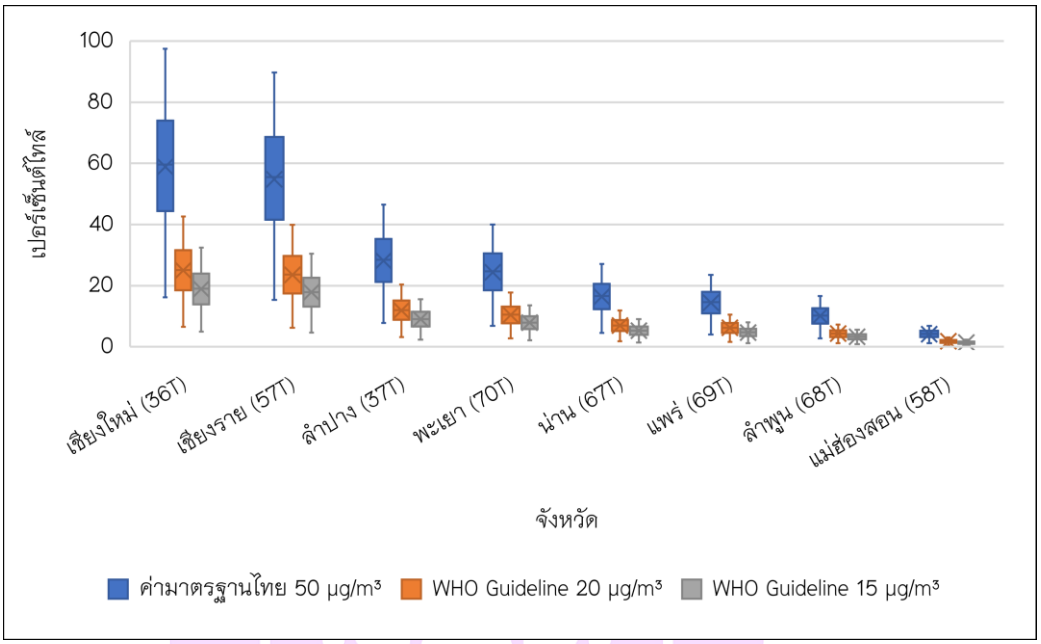
ผลการประเมินผลกระทบทางสุขภาพจากการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} 50% 20% และ15% ตามลำดับ ต่อจำนวนผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ 1. เมื่อลดค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 50% จะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ มากที่สุด คือ จังหวัดเชียงใหม่ พบ 60 คน รองลงมา เชียงราย 56 คน, ลำปาง 28 คน, พะเยา 25 คน, น่าน 16 คน, แพร่ 15 คน, ลำพูน 10 คน และแม่ฮ่องสอน 4 คน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 15.9, 19, 16.3, 18.3, 16.1, 19.5, 17.1 และ17.3 ของผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจแต่ละจังหวัด ตามลำดับ 2. เมื่อลดค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 20% จะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ มากที่สุด คือ จังหวัดเชียงใหม่ พบ 25 คน รองลงมา เชียงราย 24 คน, ลำปาง 12 คน, พะเยา 11 คน, น่าน 7 คน, แพร่ 6 คน, ลำพูน 4 คน และแม่ฮ่องสอน 2 คน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 6.7, 8.1, 6.9, 7.8, 6.8, 8.4, 7.2 และ 7.4 ของผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจแต่ละจังหวัด ตามลำดับ 3. เมื่อลดค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 15% จะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ มากที่สุด คือ จังหวัดเชียงใหม่ พบ 19 คน รองลงมา เชียงราย 18 คน, ลำปาง 9 คน, พะเยา 8 คน, น่าน 5 คน, แพร่ 5 คน, ลำพูน 3 คน

และแม่ฮ่องสอน 2 คน ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 5.1, 6.1, 5.2, 5.9, 5.1, 6.3, 5.5 และ5.6 ของผู้เสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจแต่ละจังหวัด ตามลำดับ ดังภาพ 14



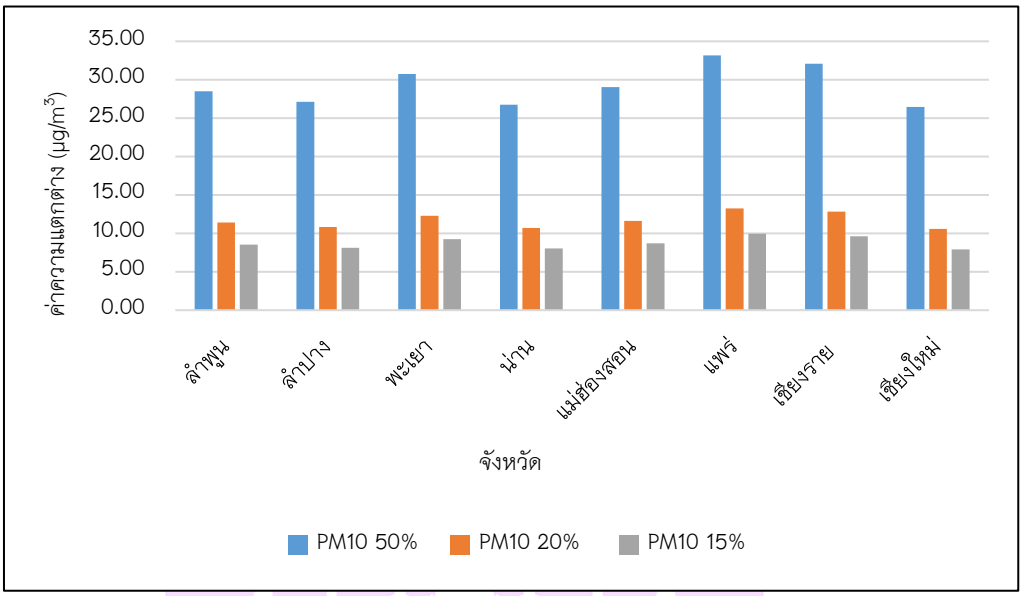
ภาพ 15 ค่าสหสัมพันธ์ของการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555

ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation) ของการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555 เมื่อลดระดับความเข้มข้นของPM_{10} 50% มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.0362 เมื่อลดระดับความเข้มข้นของPM_{10} 20% มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.0407 และลดระดับความเข้มข้นของPM_{10} 15% มีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.0432 จะเห็นได้ว่าประชากรที่หลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจมีค่าความสัมพันธ์กับการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ที่ 50% 20% และ15% ตามลำดับ มีความสัมพันธ์กันโดยตรงค่อนข้างน้อยเนื่องจากตัวแปรในการประเมินผลกระทบทางสุขภาพมีมากกว่า ค่ามลสารของPM_{10} ได้แก่ การกระจายตัวของประชากร ค่าระบาดวิทยาของผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ และค่าอุบัติการณ์พื้นฐานของผู้เสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจ ใน 8 จังหวัด ภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555



ภาพ 16 เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 2.5–97.5 ในการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555

เมื่อวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ไทล์ตั้งแต่ 2.5–97.5 ดังภาพ 16 ของการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} 50% 20% และ15% ตามลำดับ เพื่อหาจำนวนประชากรที่หลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555 จะเห็นได้ว่าจังหวัดเชียงใหม่มีจำนวนประชากรที่หลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจสูงกว่าจังหวัดอื่น ๆ สังเกตได้จากค่าเฉลี่ย และค่ามัธยฐานหรือเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ที่สูงกว่าจังหวัดอื่น แต่จังหวัดเชียงใหม่มีค่าเฉลี่ยไม่ต่างกันมากนักกับจังหวัดเชียงราย สังเกตได้จากค่าเฉลี่ยและค่ามัธยฐานหรือเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50 ที่ไม่ต่างกันมาก เนื่องจากปัจจัยของ Health impact function ทั้ง 4 องค์ประกอบ ได้แก่ ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงค่ามลสาร (ΔPM) การกระจายตัวของประชากร (Pop) อัตราอุบัติการณ์พื้นฐาน (Y_0) และค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบทางสุขภาพ (β) ที่นำมาวิเคราะห์เพื่อประเมินผลกระทบทางสุขภาพในครั้งนี้



ภาพ 17 ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM_{10} ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555 เมื่อลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} 50% 20% และ15% ตามลำดับ

ค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยความเข้มข้น PM_{10} ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555 เมื่อลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} 50% 20% และ15% ตามลำดับ โดยมีค่าเดลต้าหรือค่าความแตกต่างระหว่าง PM_{10} บริเวณภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555 และลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} 50% ในจังหวัด เชียงใหม่, เชียงราย, ลำปาง, พะเยา, น่าน, แพร่, ลำพูน และแม่ฮ่องสอน เท่ากับ 26.44 $\mu g/m^3$, 32.09 $\mu g/m^3$, 27.12 $\mu g/m^3$, 30.76 $\mu g/m^3$, 26.74 $\mu g/m^3$, 33.15 $\mu g/m^3$, 28.51 $\mu g/m^3$, และ 29.03 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ เมื่อลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} 20% ในจังหวัด เชียงใหม่, เชียงราย, ลำปาง, พะเยา, น่าน, แพร่, ลำพูน และแม่ฮ่องสอน มีค่าเดลต้าหรือค่าความแตกต่างเท่ากับ 10.58 $\mu g/m^3$, 12.83 $\mu g/m^3$, 10.85 $\mu g/m^3$, 12.3 $\mu g/m^3$, 10.69 $\mu g/m^3$, 13.26 $\mu g/m^3$, 11.4 $\mu g/m^3$, และ11.61 $\mu g/m^3$ ตามลำดับ และลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} 15% ในจังหวัด เชียงใหม่, เชียงราย, ลำปาง, พะเยา, น่าน, แพร่, ลำพูน และแม่ฮ่องสอน มีค่าเดลต้าหรือค่าความแตกต่างเท่ากับ 7.93 $\mu g/m^3$, 9.62, $\mu g/m^3$ 8.13 $\mu g/m^3$, 9.23 $\mu g/m^3$, 8.02 $\mu g/m^3$, 9.93 $\mu g/m^3$, 8.54 $\mu g/m^3$, และ8.7 $\mu g/m3$ ตามลำดับ ดังภาพ 17

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้ใช้โปรแกรม BenMAP (The environmental Benefits Mapping and Analysis Program–Community Edition) เพื่อประเมินผลกระทบทางสุขภาพของค่าเฉลี่ยรายวัน PM_{10} ใน 8 จังหวัดในภาคเหนือตอนบนโดยเริ่มจากการวิเคราะห์สารมลพิษที่เกินค่ามาตรฐานระหว่างปี พ.ศ. 2553–2563 และพบว่าในปี พ.ศ. 2555 มีค่า PM_{10} สูงที่สุดในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย จากนั้นจึงนำค่าเฉลี่ยรายวันของ PM_{10} ในปี พ.ศ. 2555 มาประเมินผลกระทบทางสุขภาพ ผลการศึกษาพบว่า PM_{10} ส่งผลกระทบต่ออัตราการเสียชีวิตของโรคระบบทางเดินหายใจ และมีการเปรียบเทียบเมื่อลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ได้แก่ 1. ลดค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 50% จะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจถึง 214 คน 2. ลดค่าความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 20% จะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจถึง 91 คน และ3. ลดค่าความเข้มข้น PM_{10} ลง 15% จะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจถึง 69 คน ซึ่งพบว่าเมื่อลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 50% จะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจได้มากกว่าการลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ลง 20% และ15% สูงถึงร้อยละ 57.5 และ67.8 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} ลงจะช่วยหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตจากโรคระบบทางเดินหายใจมากที่สุด คือ จังหวัดเชียงใหม่ ดังตาราง 15 ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนประชากรที่มากที่สุดในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย (กระทรวงมหาดไทย, 2555) จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจว่า PM_{10} ยังคงส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยรายปีของ PM_{10} ไม่เกินมาตรฐานของไทย ด้วยเหตุนี้แนวทางมาตรฐานมลพิษทางอากาศของประเทศไทยจึงควรได้รับการพิจารณาให้เหมาะสมและทัดเทียบกับมาตรฐานขององค์การอนามัยโลก ดังนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องตระหนักถึงมลพิษทางอากาศมากขึ้น ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประเมินผลกระทบสุขภาพในระยะยาวได้ และเพื่อเป็นแนวทางในการจัดการด้านคุณภาพอากาศในอนาคตของประเทศไทย

ตาราง 15 การลดระดับความเข้มข้นของ PM_{10} เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตด้วยโรคระบบทางเดินหายใจ ใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบน ปี พ.ศ. 2555

จังหวัด	ลดค่าความเข้มข้น PM_{10} 50%	ลดค่าความเข้มข้น PM_{10} 20%	ลดค่าความเข้มข้น PM_{10} 15%
เชียงใหม่	60	25	19
เชียงราย	56	24	18
ลำปาง	28	12	9
พะเยา	25	11	8
น่าน	16	7	5
แพร่	15	6	5
ลำพูน	10	4	3
แม่ฮ่องสอน	4	2	2
รวม	**214 (คน)**	**91 (คน)**	**69 (คน)**

ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. ข้อมูลค่าเฉลี่ยรายวันความเข้มข้นของ PM_{10} มีบางวันที่ข้อมูลขาดหายไป

2. สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศใน 8 จังหวัดภาคเหนือตอนบนของประเทศไทยในบางจังหวัดมีมากกว่าหนึ่งสถานี

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. งานวิจัยนี้น่าสนใจสำหรับการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพในโรคต่าง ๆ เช่น โรคทางระบบหัวใจและหลอดเลือด โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง เป็นต้น

2. ในอนาคตทางผู้วิจัยมีความสนใจที่จะพัฒนาต่อยอดระบบประมวณผลโปรแกรมการประเมินผลกระทบจากสารมลพิษในอากาศที่มีความหลากหลาย และแม่นยำ ในหลายมิติมุมมอง เช่น ด้านเศรษฐกิจ ด้านสังคม และด้านสุขภาพ เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

European Environment Agency. (2015). **Air quality in Europe 2015 report**. Retrieved Demcember 5, 2015. from https://www.eea.europa.eu/.

Ferris, B. G. (1978). Epidemiology Standardization Project II: Recommended Respiratory Disease Questionnaires for Use with Adults and Children in Epidemiological Research. **The American Review of Respiratory Disease**, 118, 7–57.

Hubbell, BJ., Fan, N., and Levy, JI. (2009). Methodological considerations in developing local–scale health impact assessments: balancing national regional and local data**. Air Qual Atmos Health**, 16, 354–361

Pope, CA., Burnett, RT., Thun, MJ., Calle, EE., Krewski, D. Ito, K., et al. (1985). Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long–term exposure to fine particulate air pollution. **Thurston GD**, 287, 1132–1141.

Pothirat, C., Chaiwong, W., Liwsrisakun, C., Bumroongkit, C., Deesomchok, A., Theerakittikul, T., Limsukon, A., Tajarernmuang, P. and Phetsuk, N. (2019). Acute effects of air pollutants on daily mortality and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases. **Thoracic Disease**, 11(7). 3070–3083.

US Environmental Protection Agency. (2010). **Quantitative Health Risk Assessment for Particulate Matter**. Office of Air Quality Planning and Standards. Retrieved November, 20, 2020. from http://www.epa.gov/ttn/.

US Environmental Protection Agency. (2013). **Regulatory Impact analysis for the Particulate Matter National Ambient Air Quality Standards**. Technology Transfer Network: Air Quality System. Retrieved January, 5, 2020. from httpairs/airsaqs/sysoverview.htm.

US Environmental Protection Agency. (2016). Integrated Science Assessment for Particulate Matter (External Review Draft). **US Environmental Protection Agency,** Retrieved January, 13, 2020. from https://www.epa.gov/

US Environmental Protection Agency. (2018). Air Quality Criteria for Ozone and Related Photochemical. **US Environmental Protection Agency,** Retrieved January, 13, 2020. from https://www.epa.gov/pm–pollution.

World Health Organization. (1978). **Primary health care: report of the International Conference on primary health care** (pp. 1018–1023). World Health Organization.

World Health Organization. (1999). **The world health report 1999: making a difference**. World Health Organization. (Vol.1, pp. 151–163). World Health Organization.

World Health Organization. (2012). **WHO report on the global tobacco epidemic 2012: Monitoring tobacco use and prevention policies** (Vol.2, pp. 255–273). World Health Organization.

กรมควบคุมมลพิษ. (2543). **รายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย 2543.** กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. (2548). **รายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย 2548**. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. (2554). **มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศไทย.** กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. (2555). **รายงานสถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. (2558). **มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศโดยทั่วไปของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). **แผนปฏิบัติการขับเคลื่อนวาระแห่งชาติการแก้ปัญหามลพิษด้านฝุ่นละออง**. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม.

กรมควบคุมโรค. (2555). **ประชากรเสียชีวิตก่อนวัยอันควรจากโรคระบบทางเดินหายใจในประเทศไทย**: กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณะสุข.

กระทรวงมหาดไทย. (2555). **ประชากรจากการทะเบียน จำแนกตามกลุ่มอายุ และเพศ ภาคเหนือตอนบน พ.ศ. 2548–2557**. กรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย. สืบค้นเมื่อ พฤษภาคม, 16, 2564, จาก https://moi.go.th/moi/.

กระทรวงสาธารณะสุข. (2555). **รายงานจำนวนผู้เสียชีวิตโรคต่าง ๆ ในพื้นที่ภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย**. กระทรวงสาธารณะสุข.

ขนิษฐา กู้ศรีสกุล. (2559). **การแปรผันของปริมาณฝนเชิงพื้นที่ และเวลาในประเทศไทย และความเชื่อมโยงกับความแปรปรวนของภูมิอากาศระดับภูมิภาค และระดับโลก**. วิทยานิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ชนกานต์ พูลทรัพย์, ศิริมา ปัญญาเมธีกุล และวงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, (2560). การเปรียบเทียบรูปแบบของค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศระหว่างค่าสูงสุด และเปอร์เซ็นต์ไทล์ของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}). **วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย**, 31(1), 79–87.

นพภาพร พานิช, แสงสันติ์ พานิช, วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และวราวุธ เสือดี. (2547). **ตำราระบบบำบัดมลพิษทางอากาศ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปวีณา งามประภาสม, วิไลลักษณ์ พรมเสน และปิยรัตน์ วงศ์จุมมะลิ. (2559). การวิจัย และพัฒนาศักยภาพผู้นำชุมชนในการจัดการทรัพยากรป่าต้นน้ำโดยทุนทางสังคม Research and Development Community Leadership in the Watershed Forest Resource Management with Social Capital. **วารสารวิชาการมนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์,** มหาวิทยาลัยบูรพา, 24(46), 265–286.

พัฒนา มูลพฤกษ์. (2545). **การป้องกัน และควบคุมมลพิษ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: ซิกม่าดีไซน์กราฟฟิกจำกัด.

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์. (2540). **มลภาวะอากาศ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วนิดา จีนศาสตร์. (2551). **มลพิษอากาศ และการจัดการคุณภาพอากาศ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิษณุ อรรถวานิช. (2561). **โครงการการศึกษาแหล่งกำเนิด และแนวคิดการจัดการฝุ่นละอองไม่เกิน** 2.5 **ไมครอนในพื้นที่เขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล** (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม.

ศูนย์พัฒนาทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2548). **คู่มือการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินผลกระทบด้านคุณภาพอากาศประกอบในรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อม.

สำนักงานสถิติแห่งชาติ. (2555). **รายงานจำนวนประชากรภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ปี 2555.** สำนักงานสถิติแห่งชาติ. สืบค้นเมื่อพฤษภาคม, 16, 2564, จากhttp://www.nso.go.th/sites/2014/.

สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ. (2555). **รายงานข้อมูลจุดความร้อนในประเทศไทย ปี 2555.** สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศ และภูมิสารสนเทศ.

องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้. (2558). **พื้นที่ไฟป่าในภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: องค์การอุตสาหกรรมป่าไม้.

ประวัติผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	ภคพร งามแสง
วัน เดือน ปี เกิด	29 เมษายน 2539
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	2560 วท.บ. (จุลชีววิทยา), มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา
ที่อยู่ปัจจุบัน	40/3 หมู่ 1 ถนนลูกเสือ ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่
ผลงานตีพิมพ์	Pakaporn Ngamsang, Thao Ngoc Linh Nguyen, Teerachai Amnuaylojaroen, Titaporn Supasri and Ronald Macatangay. (20-21 December 2021). Health Impact Assessment of Long-term Exposure to Particulate Matter (PM10) in Northern Thailand. The 6th EnvironmentAsia Virtual International Conference (321-329): Online from Kasetsart University, Bangkok, Thailand