การประเมินค่าการสูญเสียของการเพิกเฉยต่อการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศในประเทศไทย

International Institute for Applied Systems Analysis
IIASA www.iiasa.ac.at
กรมควบคุมมลพิษ POLLUTION CONTROL DEPARTMENT
AIT Asian Institute of Technology
UN environment programme

งานชิ้นนี้ได้รับอนุญาตภายใต้เงื่อนไขการแสดงที่มา การสร้างสรรค์เสรี แบบไม่ใช้ในเชิงพาณิชย์ 4.0 ใบอนุญาตระหว่างประเทศ

ขออนุญาตใช้ในเชิงพาณิชย์ กรุณาติดต่อ permissions@iiasa.ac.at

เผยแพร่ที่ [link to publication]

เผยแพร่ครั้งแรก พฤษภาคม พ.ศ. 2566

สถาบันระหว่างประเทศเพื่อการวิเคราะห์ระบบประยุกต์และโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติไม่รับผิดชอบต่อการคงอยู่หรือความถูกต้องของ URL สำหรับเว็บไซต์อินเทอร์เน็ตภายนอกหรือบุคคลที่สามที่อ้างถึงในเอกสารนี้และไม่รับประกันว่าเนื้อหาใด ๆ บนเว็บไซต์ดังกล่าวเป็นหรือจะยังคงถูกต้องหรือเหมาะสม

มุมมองหรือความคิดเห็นที่แสดงในที่นี้ไม่จำเป็นต้องเป็นตัวแทนของสถาบันระหว่างประเทศเพื่อการวิเคราะห์ระบบประยุกต์องค์กรสมาชิกระดับชาติและระดับภูมิภาคหรือโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติหรือองค์กรอื่น ๆ ที่สนับสนุนงานของพวกเขา

กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่ง:
Gregor Kiesewetter (*IIASA*); Zbigniew Klimont (*IIASA*); Muye Ru (*Earth Institute*); Jessica Slater (*IIASA*)

ผู้ตรวจทาน:
Tom Bannister (*UNEP*); Nathan Borgford-Parnell (Climate and Clean Air Coalition); Savitri Garivait (*King Mongkut's University of Technology Thonburi*); Alin Halimatussadiah (*Universitas Indonesia*); Ansa Heyl (*IIASA*); Rasheed Hussain (*WHO*); Maarten Kappelle (*UNEP*); Nguyen Thi Kim Oanh (*AIT*); Kaye Patdu (*UNEP*); Johan Kuylenstierna (*Stockholm Environment Institute*); Manop Udomkerdmongkol (*UNRCO Thailand*); Chou Mandarin (*Ministry of Environment of Cambodia*); Mushtaq Memon (*UNEP)*; Daniel Mira-Salama (*World Bank*); Siwaporn Rugsiyanon (*Ministry of Natural Resources and Environment of Thailand*); Napak Tesprasith (*USAID*); Sirirat Yensong (Ministry of Natural Resources and Environment of Thailand); Ekbordin Winjikul (*AIT*)

แก้ไขและออกแบบ:
Jennifer Pangilinan (*AIT*); Ranjika Perera (*AIT*); Shayan Naveed (*AIT*); Pitiruedee Angkhananuchat (*AIT*)

อักษรย่อ

ASEAN	Association of Southeast Asian Nations
BC	Black Carbon
CH_4	Methane
CO_2	Carbon Dioxide
GAINS	Greenhouse Gas – Air Pollution Interactions and Synergies Model
GBD	Global Burden of Disease
GDP	Gross Domestic Product
GHG	Greenhouse Gas
GWP	Global Warming Potential
IEA	International Energy Agency
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis
LPG	Liquefied Petroleum Gas
NH_3	Ammonia
NMVOC	Non-methane Volatile Organic Compound
NO_x	Nitrogen Oxides
NO_2	Nitrogen Dioxide
NPS	New Policy Scenario
O_3	Ozone
OC	Organic Carbon
PM	Particulate Matter
SDGs	Sustainable Development Goals
SDS	Sustainable Development Scenario
SLCPs	Short Lived Climate Pollutants
SO_2	Sulphur Dioxide
UN	United Nations
UNEP	United Nations Environment Programme
UNEP – CCAC	United Nations Environment Programme – Climate and Clean Air Coalition
VOLY	Value of a Statistical Life Year
VSL	Value of a Statistical Life
WHO	World Health Organization
YLLs	Years of Life Lost

สารบัญ

1. บทนำ **8**

1.1 ความเป็นมาของการศึกษา **8**

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา **9**

1.3 แนวคิดในการศึกษา **9**

1.4 วิธีในการศึกษา **10**

1.5 ฉากทัศน์ **11**

2. ผลการศึกษา **13**

2.1 การระบายมลพิษและความเข้มข้นของมลพิษในบรรยากาศ **13**

2.1.1 ฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน 13

2.1.2 นโยบายเพิ่มเติม 14

2.2 ผลกระทบต่อสุขภาพและค่าการสูญเสียของการเพิกเฉย **16**

2.3 สภาพภูมิอากาศและผลประโยชน์ร่วมอื่นๆ **20**

3. ข้อจำกัด **21**

3.1 ฉากทัศน์และแนวทางการแก้ปัญหา **21**

3.2 การเข้าถึงและความน่าเชื่อถือของข้อมูล **21**

3.3 ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากแบบจำลอง **21**

3.4 ต้นทุนค่าใช้จ่ายของการดำเนินการ **22**

3.5 ขอบเขตผลกระทบที่ได้รับการประเมิน **22**

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ **23**

ภาคผนวก **24**

ภาคผนวก 1. วิธีการและแหล่งข้อมูล **24**

ภาพรวม 24

การปล่อยมลพิษและความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ โดยรอบ 26

การตรวจสอบความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ โดยรอบ 27

ฟังก์ชั่นการตอบสนองความเข้มข้น 28

อัตราการเจ็บป่วยพื้นฐาน 28

ข้อมูลระดับชาติ 28

อัตราพื้นฐานของโรคที่เกี่ยวข้อง: การประมาณการเริ่มต้น 29

ต้นทุนต่อหน่วย 29

ข้อมูลระดับประเทศ 29

ค่าประมาณเริ่มต้นจากข้อมูลระหว่างประเทศ 29

ภาคผนวก 2. สถานการณ์การปล่อยมลพิษ **31**

นโยบายปัจจุบัน 32

ฉากทัศน์นโยบายแบบแข็งกร้าว 32

มาตรการส่วนบุคคล 33

อ้างอิง **35**

กล่องข้อความ

กล่องข้อความที่ 1: รายงานทางออกสำหรับอากาศสะอาดในอาเซียน (Clean Air Solutions for ASEAN) 8

กล่องข้อความที่ 2: แบบจำลอง GAINS 10

รูปภาพ

รูปภาพ 1.1 แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบวิธีการเชิงปริมาณระหว่างต้นทุนของการดำเนินการและค่าสูญเสียของการเพิกเฉยที่ได้รับการเสนอ จากการเปรียบเทียบกรณีนโยบายในปัจจุบัน และกรณีที่มีนโยบายเพิ่มเติม 9

รูปภาพ 1.2 แนวทางการแก้ปัญหาหลัก 12 ข้อ เพื่อรับมือกับปัญหาการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในอาเซียน 12

รูปภาพ 2.1 แนวโน้มการระบายก๊าซ CO_2 และสารมลพิษทางอากาศในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบันสำหรับประเทศไทย 13

รูปภาพ 2.2 ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทย ซึ่งจำลองโดย GAINS เมื่อปี ค.ศ. 2015 (ซ้าย) และเมื่อปี ค.ศ. 2030 ภายใต้นโยบายในปัจจุบัน (ขวา) 14

รูปภาพ 2.3 ผลจากแบบจำลอง GAINS แสดงการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ของประชากร ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015 ถึง 2030 ภายใต้กรณีศึกษาที่แตกต่างกัน 15

รูปภาพ 2.4 พัฒนาการที่คาดการณ์ไว้โดยวิธีถ่วงน้ำหนักประชากรต่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทย จากแต่ละแนวทางการแก้ปัญหาทั้ง 12 ข้อ ในปี ค.ศ. 2030 โดยแบ่งเป็นมาตรการที่บังคับใช้แล้ว (สีน้ำเงิน), กฎหมายที่ผ่านร่างออกมาภายหลังปี ค.ศ. 2015 แต่ยังไม่ได้นำมาบังคับใช้ (สีเขียว) และความเป็นไปได้อื่น ๆ (สีเหลือง) 15

รูปภาพ 2.5 ภาระทางสุขภาพที่ได้รับการคำนวณจากการรับสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ในปี ค.ศ. 2030 เปรียบเทียบระหว่างฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน และการบังคับใช้มาตรการทั้งหมดที่ได้รับประเมินในการศึกษานี้อย่างมีประสิทธิภาพ (กรณีฉากทัศน์ที่แข็งกร้าว) แถบที่ทับซ้อนกัน - แกนซ้าย: ภาระซึ่งแสดงเป็นล้านเหรียญสหรัฐต่อปี, จุดสีแดงทั้งสอง - แกนขวา: การเปรียบเทียบกับ GDP 17

รูปภาพ 2.6 ภาระการเจ็บป่วยจากการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ที่ได้รับการคำนวณในปี ค.ศ. 2030, เปรียบเทียบระหว่างฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน และการบังคับใช้มาตรการทั้งหมดอย่างมีประสิทธิภาพ (ฉากทัศน์นโยบายแบบแข็งกร้าว) 18

รูปภาพ 2.7 ข้อมูลโดยสรุปของผลกระทบโดยรวมที่ได้รับการประมาณการเมื่อปี ค.ศ. 2015 และฉากทัศน์ที่ได้รับการวิเคราะห์ การเสียชีวิต, การเข้ารับการรักษาในห้องฉุกเฉิน และการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล เป็นไปตามที่ปรากฏในแกนซ้าย ส่วนกิจกรรมกลางแจ้งที่ถูกจำกัด (จุด) จะใช้แกนขวา 18

รูปภาพ 2.8 ผลประโยชน์ทางสุขภาพที่คำนวณได้จากแต่ละมาตรการที่ถูกใช้ในปี ค.ศ. 2030 นอกเหนือจากนโยบายในปัจจุบัน 19

รูปภาพ 2.9 ผลประโยชน์ร่วมของแต่ละมาตรการต่อการระบายก๊าซเรือนกระจก (CO_2 + CH_4) เมื่อมีการบังคับใช้อย่างเป็นรูปธรรมในปี ค.ศ. 2030 (ซ้าย) และ 2050 (ขวา) 20

ตาราง

ตารางที่ 1 การเจ็บป่วย และการเสียชีวิตจากความเข้มข้นในบรรยากาศของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทยในปี ค.ศ. 2015 และ 2030 ภายใต้กฎหมายและนโยบายในปัจจุบัน รวมถึงการบังคับใช้มาตรการที่แข็งกร้าวในประเทศอาเซียน และมูลค่าผลกระทบที่เกี่ยวข้อง สำหรับการเสียชีวิต, การเสียชีวิตก่อนวัยอันควร และ การใช้ YLLs เป็นดัชนีทางเลือกโดยแสดงไว้เพื่อการเปรียบเทียบเท่านั้น 16

บทสรุปผู้บริหาร

การศึกษานี้ แสดงข้อมูลเชิงปริมาณเบื้องต้นของค่าการสูญเสียที่เกิดจากการไม่ดำเนินการเพิ่มเติมต่อปัญหามลพิษทางอากาศของประเทศไทย โดยจะประเมินและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นภายใต้สถานการณ์ที่ไม่มีมาตรการเพิ่มเติมนอกเหนือจากนโยบายปัจจุบันกับสถานการณ์ในอนาคตที่มีการแนะนำแนวทางการแก้ปัญหา 12 ข้อ (ชุดมาตรการ) นอกเหนือจากการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพแล้ว การศึกษานี้ยังได้เน้นย้ำถึงผลประโยชน์ร่วมที่เกิดขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่อาจจะถูกมองข้ามไปหากไม่มีการดำเนินการตามมาตรการเหล่านั้น ข้อค้นพบที่สำคัญของการประเมินในเบื้องต้น คือ:

ประเทศไทยมีการเสนอนโยบายที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพอากาศมาเกินกว่าทศวรรษ แต่จำเป็นต้องผลักดันให้มากขึ้น แม้จะมีความคืบหน้าด้านนโยบายทางการจัดการคุณภาพอากาศอย่างต่อเนื่อง แต่มลพิษทางอากาศยังคงเป็นปัญหาสำคัญของประเทศไทย และแม้จะพิจารณาถึงร่างกฎหมายควบคุมคุณภาพอากาศในปัจจุบัน ภาระด้านสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศก็คาดว่าจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเติบโตของเศรษฐกิจและจำนวนประชากร ตลอดจนการสูงวัยของประชากร ในการประเมินนี้แสดงให้เห็นว่าหากไม่มีการดำเนินการใดๆ เพิ่มเติมเพื่อจัดการกับมลพิษทางอากาศ จะมีผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรเกือบ 24,000 คนต่อปี จากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในประเทศไทยภายในปี ค.ศ.2030

การดำเนินการจัดการคุณภาพอากาศเพิ่มเติมอาจมีประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญสำหรับประชากรในประเทศไทย การปรับใช้นโยบายเพิ่มเติมนอกเหนือจากนโยบายและกฎหมายในปัจจุบันอาจหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรได้กว่า 17,000 คน การเข้ารักษาในโรงพยาบาลกว่า 16,000 คน และการเข้ารับการตรวจในห้องฉุกเฉินกว่า 12,000 ครั้ง อันเนื่องมาจากคุณภาพอากาศที่มีผลกระทบต่อสุขภาพของประเทศไทยในทุกๆ ปี ภายในปี ค.ศ.2030

ต้นทุนค่าการสูญเสียเกี่ยวกับสุขภาพของประชากรกรณีการไม่ดำเนินการใดๆ เพื่อจัดการมลพิษทางอากาศนั้นคาดว่าจะเท่ากับประมาณ 0.8% ของ GDP ประเทศไทยในปี ค.ศ.2030 การไม่ดำเนินการจัดการปัญหาคุณภาพอากาศเพิ่มเติมในทันที อาจทำให้ประเทศไทยสูญเสียเงิน 12.5 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี ในปี ค.ศ.2030 โดยพิจารณาจากผลกระทบการเสียชีวิต และการเจ็บป่วยจากมลพิษทางอากาศ ซึ่งเท่ากับประมาณ 0.8% ของ GDP ประเทศไทยในปี ค.ศ.2030 และค่าการสูญเสียที่แท้จริงของการเพิกเฉยจะมีแนวโน้มสูงขึ้นหากคำนึงถึงค่าการสูญเสียอื่นๆ ทั้งหมดและผลประโยชน์ที่มองข้ามไป

มีมาตรการที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าสามารถปรับปรุงคุณภาพอากาศและส่งผลดีต่อสุขภาพเป็นอย่างมากในระยะเวลาอันใกล้นี้ มีการระบุแนวทางการแก้ปัญหาหลัก 12 ข้อ ซึ่งส่งผลดีต่อคุณภาพอากาศอย่างมีนัยสำคัญ จาก 12 แนวทางการแก้ปัญหาเหล่านี้ นโยบายที่อาจนำไปสู่ผลประโยชน์ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศไทย ได้แก่ การเปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงและเทคโนโลยีที่สะอาดในครัวเรือน การเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน นโยบายที่สนับสนุนการเร่งเปิดตัวรถยนต์ไฟฟ้า และการยกระดับมาตรฐานการระบายมลพิษสำหรับการขนส่งทางถนน กลยุทธ์การจัดการของเสียอย่างมีประสิทธิภาพ และการห้ามเผาเศษวัสดุทางการเกษตร มาตรการเหล่านี้ส่งผลถึง 80% ของศักยภาพในการลดผลกระทบในแง่ของความเสี่ยงและผลประโยชน์ที่สร้างรายได้

แนวทางการแก้ปัญหาทั้ง 12 ข้อ ที่เสนอไว้ ยังส่งผลให้การระบายก๊าซเรือนกระจกลดลงอย่างมาก และยังมีประโยชน์อื่นๆ อีกหลายประการ การประเมินนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้แนวทางการแก้ปัญหา 12 ข้อ เพื่อทำให้อากาศสะอาดนั้น จะมีประโยชน์ในการลดการระบายก๊าซเรือนกระจกซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และอาจช่วยให้ประเทศไทยบรรลุเป้าหมายด้านสภาพภูมิอากาศหากมีการนำไปใช้ แนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าวยังสามารถให้ผลประโยชน์ร่วมอื่นๆ อีกมากมาย และสนับสนุนการบรรลุลำดับความสำคัญของการพัฒนาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนหลายข้อ ดังนั้นค่าการสูญเสียที่แท้จริงของการไม่ดำเนินการจึงน่าจะสูงกว่าตัวเลขที่ประเมินไว้ในการประเมินนี้

การประมาณการมูลค่าการสูญเสียของการเพิกเฉยในการจัดการกับปัญหามลพิษทางอากาศให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อส่งเสริมการดำเนินการจัดการคุณภาพอากาศได้ ด้วยการประเมินค่าการสูญเสียที่สูงของการไม่ดำเนินการจัดการกับมลพิษทางอากาศ ผลลัพธ์ของการประเมินนี้สามารถใช้เป็นแรงจูงใจในการดำเนินการได้ ผลลัพธ์เบื้องต้นที่นำเสนอนี้สามารถใช้เพื่อสนับสนุนผู้กำหนดนโยบาย และผู้มีอำนาจตัดสินใจของประเทศไทยในการออกแบบ และการบังคับใช้ซึ่งนโยบายและมาตรการใหม่ๆ และอำนวยความสะดวกในการเจรจาระหว่างรัฐบาลเกี่ยวกับการจัดการคุณภาพอากาศที่มีประสิทธิภาพ

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการศึกษา

มลพิษทางอากาศเป็นภัยคุกคามอย่างมีนัยสำคัญต่อสุขภาพและสภาพความเป็นอยู่ของประชาชน 660 ล้านคนที่อาศัยอยู่ในภูมิภาคสมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (อาเซียน) แม้แต่ประเทศไทยเองก็เลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องเผชิญกับการสัมผัสกับฝุ่นละอองขนาดเล็ก ($PM_{2.5}$) และในปี ค.ศ.2019 คาดว่ามลพิษทางอากาศจะเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรราว 32,000 คน ต่อปี ในประเทศไทย (Murray et al., 2020) นอกจากนี้ การสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ยังก่อให้เกิดภาวะการเจ็บป่วยสูงจากโรคหัวใจ โรคหลอดเลือดและระบบทางเดินหายใจ มลพิษทางอากาศยังส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศด้วย เช่น การสะสมของไนโตรเจนและก๊าซกำมะถัน สภาวะการเป็นกรดในสิ่งแวดล้อม ยูโทรฟิเคชัน และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ

มาตรการซึ่งมีอยู่แล้ว และเป็นที่รู้จักกันดีนั้น หากดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพจะสามารถลดมลพิษทางอากาศและผลกระทบที่เกี่ยวข้องได้สำเร็จ และมีความพยายามเพิ่มขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาเพื่อจัดการกับปัญหามลพิษทางอากาศในประเทศอาเซียน ในประเทศไทย มีการพัฒนายุทธศาสตร์และแผนปฏิบัติการหลายแนวทาง โดยมุ่งเป้าไปที่การระบายมลพิษทางอากาศโดยตรงหรือโดยอ้อมในหลายภาคส่วน ในกรณีนี้รวมถึงยุทธศาสตร์เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน การเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานหมุนเวียน การลดการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การขนส่งที่ยั่งยืน การจัดการของเสียที่ดีขึ้น ตลอดจนกฎหมายที่จำกัดการระบายมลพิษทางอากาศสำหรับการเผาไหม้ในอุตสาหกรรม และโรงงานการผลิต (Nikam et al. 2021) และแหล่งมลพิษจากการขนส่ง (He et al., 2021) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีการนำนโยบาย และกฎหมายในปัจจุบันเหล่านี้ไปบังคับใช้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ก็มีแนวโน้มว่าการเติบโตของประชากรอย่างต่อเนื่อง การขยายตัวของเมือง และการเติบโตทางเศรษฐกิจ ดูจะหักล้างกับการประสบความสำเร็จในการลดลงของมลพิษทางอากาศ และนำไปสู่คุณภาพอากาศที่แย่ลงไปอีกในภูมิภาค ซึ่งส่งผลเสียต่อสุขภาพ (Zusman et al., 2023) เพื่อที่จะจำกัดผลกระทบด้านลบหลากหลายประการของมลพิษทางอากาศ จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาว่าการดำเนินการเพิ่มเติมใดที่จะมีประสิทธิภาพ และไม่เพียงแต่สำรวจผลกระทบของนโยบายปัจจุบันเท่านั้น แต่ยังรวมถึงโอกาสในการบรรเทาผลกระทบอื่นๆ เพิ่มเติมด้วย

การจัดการปัญหามลพิษทางอากาศยังคงส่งผลทางด้านบวกเพื่อบรรเทาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้ สารก่อมลพิษบางชนิดหรือเป็นที่รู้กันในชื่อ มลพิษช่วงชีวิตสั้นที่ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศ (SLCPs) มีส่วนโดยตรงต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และมลพิษทางอากาศ ในขณะเดียวกันนั้น สารมลพิษทางอากาศ และก๊าซเรือนกระจกมักจะมาจากแหล่งเดียวกัน ดังนั้น การใช้มาตรการแบบผสมผสานกันเพื่อจัดการทั้งมลพิษทางอากาศและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอาจส่งผลให้เกิดประโยชน์หลายประการต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม (Haines et al. 2017) และบรรลุซึ่งเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน การประเมินว่าด้วยมลพิษทางอากาศในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิคของ UNEP-CCAC และ UNEP (2019) และรายงานทางออกสำหรับอากาศสะอาดในอาเซียน (Zusman et al., 2023) ได้ใช้แนวทางดังกล่าวนี้ และระบุชุดวิธีการแก้ปัญหาที่สามารถนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อคุณภาพอากาศและสภาพภูมิอากาศ ตลอดจนการจัดลำดับการพัฒนาด้านอื่นๆ การแก้ไขปัญหาดังกล่าวจะถูกกล่าวถึงเพิ่มเติมในงานวิจัยนี้ การศึกษานี้พัฒนาโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาก่อนหน้านี้และใช้ข้อมูลที่เจาะจงที่ถูกพูดถึงในรายงาน (โปรดดูกล่องข้อความ 1)

มาตรการบรรเทาผลกระทบในการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศมีความเกี่ยวข้องกับภาระทางเศรษฐกิจอยู่บ่อยครั้ง และไม่เพียงแต่ส่งผลกระทบต่อภาคอุตสาหกรรมที่ก่อมลพิษแต่ยังคงส่งผลอย่างกว้างขวางต่อกลุ่มเป้าหมายที่เป็นปัจเจกบุคคลในการประกอบธุรกิจและรัฐบาลท้องถิ่นด้วย ดังนั้น ต้นทุนในการดำเนินการจัดการทางมลพิษทางอากาศบางครั้งจึงถูกกล่าวถึงในฐานะที่เป็นข้อโต้แย้งต่อกฎหมายที่ค่อนข้างเข้มงวด อย่างไรก็ดี ผลกระทบของมลพิษทางอากาศก็นำมาซึ่งค่าการสูญเสียของสังคมอันส่งผลต่อความเสียหายทางเศรษฐกิจด้วย ตัวอย่างเช่น ค่าการสูญเสียในระบบการจัดการสาธารณสุขอันเนื่องมาจากปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรค หรือความเสียหายทางเศรษฐกิจอันเนื่องมาจากการลดลงของแรงงานเพราะการเจ็บป่วยและเสียชีวิต ดังนั้น การไม่ดำเนินการกับมลพิษทางอากาศย่อมมีค่าการสูญเสียสูง และการคำนวณค่าการสูญเสียของการเพิกเฉยเหล่านี้ในเชิงปริมาณเพื่อเป็นการถ่วงดุลกับค่าการสูญเสียของการดำเนินการ (เช่น การบังคับใช้มาตรการบรรเทาผลกระทบใหม่ ๆ) อาจเป็นข้อโต้แย้งที่สำคัญในการสนับสนุนนโยบายการจัดการด้านคุณภาพอากาศที่เข้มงวดและเป็นนโยบายเชิงรุกมากขึ้น

กล่องข้อความที่ 1: รายงานทางออกสำหรับอากาศสะอาดในอาเซียน (Clean Air Solutions for ASEAN)

ในปี ค.ศ. 2023 โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (UNEP) สมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ASEAN) และแนวร่วมอากาศสะอาดและสภาพภูมิอากาศ (CCAC) ได้เผยแพร่รายงานที่ชื่อว่า "รายงานทางออกสำหรับอากาศสะอาดในอาเซียน (Clean Air and Climate Solutions for ASEAN)" ซึ่งระบุทางเลือกทั้งหมด 15 มาตรการ โดยมี 12 มาตรการเหมือนกับมาตราการในการประเมินค่าการสูญเสียต่อการเพิกเฉยในการศึกษานี้ ที่เลือกโดยพิจารณามาตรการที่มีศักยภาพสูงสุดที่สามารถลดความเสี่ยงของประชากรในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ในการรับสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ การนำเสนอเรื่องราวนี้ จริงๆ แล้ว การดำเนินการมาตรการเหล่านี้แบบเต็มรูปแบบสามารถลดค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ถ่วงน้ำหนักจำนวนประชากรในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ลงได้ถึง 50-70เปอร์เซ็นต์ภายในปี 2030 นอกจากนี้มาตราการทั้ง 15 ก็ยังสามารถสร้างประโยชน์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศอื่นๆ ที่สำคัญ จากการลดมลพิษที่มีช่วงชีวิตสั้น (SLCPs) ทางเลือกในการดำเนินการเหล่านี้เกี่ยวข้องกับแหล่งกำเนิดมลพิษในหลายภาคส่วน ตั้งแต่การควบคุมกระบวนการอุตสาหกรรมแบบดั้งเดิม จนถึงการเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงในการประกอบอาหาร และวิธีการจัดการที่เกี่ยวข้องกับระบบเกษตรกรรมและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร วิธีการดำเนินการเหล่านี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพ และลดค่าการสูญเสียของการไม่ดำเนินการด้วยความพยายามในการจัดการปัญหาที่ดีขึ้น เพิ่มแหล่งทุนต่างๆ และสนับสนุนความร่วมมือระดับภูมิภาค

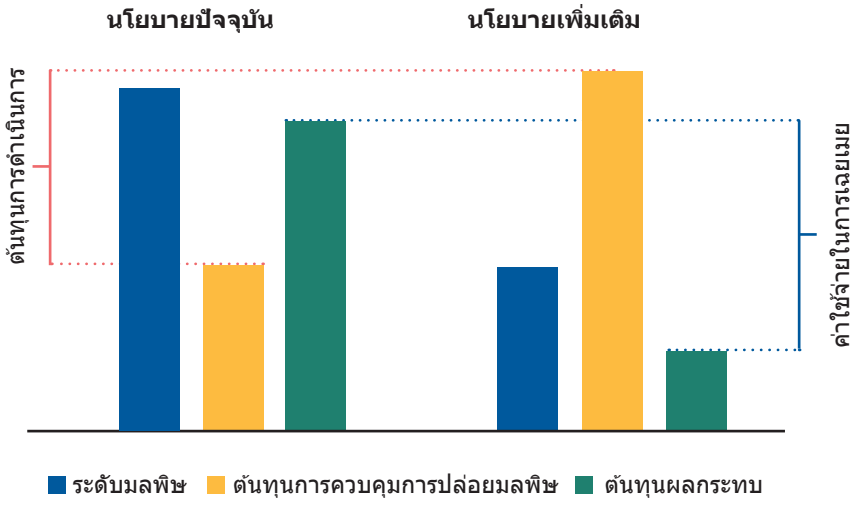
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

การประเมินนี้มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มหลักฐานสนับสนุนการตัดสินใจของผู้กำหนดนโยบาย และผู้มีอำนาจตัดสินใจในประเทศไทย ในการพิจารณาดำเนินการ และจัดลำดับความสำคัญของนโยบายเชิงรุก และมาตรการที่คุ้มค่าในการปรับปรุงคุณภาพอากาศ ด้วยการหาค่าเชิงปริมาณของการสูญเสียจากการไม่ดำเนินการกับมลพิษทางอากาศ จัดทำปริมาณเบื้องต้นของค่าการสูญเสียบางส่วนจากการเพิกเฉยต่อการจัดการกับมลพิษทางอากาศในประเทศไทย ผ่านการหาปริมาณและคิดค่าการสูญเสียผลประโยชน์ด้านสุขภาพซึ่งสามารถทำได้จากการบังคับใช้แนวทางการแก้ปัญหาเพื่อบรรเทาผลกระทบเฉพาะ 12 ข้อ นอกจากนี้ยังเน้นถึงประโยชน์อื่นๆ เช่น การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งอาจบรรลุผลได้หากนำแนวทางเหล่านี้ไปบังคับใช้ จากการเปรียบเทียบในเชิงปริมาณระหว่างผลกระทบต่อสุขภาพจากการสัมผัสกับมลพิษทางอากาศในสถานการณ์ปกติโดยมาตรการที่มีในปัจจุบัน กับกรณีที่มีการบรรเทาผลกระทบที่เข้มงวดโดยการบังคับใช้มาตรการแก้ไขปัญหาเชิงรุก 12 ข้อ ค่าการสูญเสียบางอย่างของการไม่ดำเนินการแก้ไขมลพิษทางอากาศได้รับการคำนวณออกมา ดังนั้น การประเมินนี้ให้ข้อบ่งชี้เบื้องต้นเกี่ยวกับค่าการสูญเสียในอนาคตที่ประเทศไทยจะต้องเผชิญ หากไม่มีการดำเนินการใดเพิ่มเติม และเน้นย้ำการแก้ปัญหาโดยเฉพาะซึ่งหากบังคับใช้จะสามารถลดต้นทุนดังกล่าวอย่างมีนัยสำคัญได้ในอนาคต โดยนัยนี้ให้มุมมองที่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกับการประเมินการบรรเทาผลกระทบจากมลพิษทางอากาศแบบดั้งเดิม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมุ่งเน้นไปที่ประโยชน์ของการดำเนินการมากกว่าค่าการสูญเสียของการไม่ดำเนินการ ดังนั้น ความมุ่งหมายของการประเมินนี้เป็นไปเพื่อแสดงถึงเป้าประสงค์ และเหตุผลในการดำเนินการและเสนอแนะการพัฒนา การจัดลำดับความสำคัญ และการบังคับใช้ค่าการสูญเสียอย่างมีประสิทธิภาพ มีความก้าวหน้าและผสมผสานซึ่งนโยบาย และมาตรการในการรับมือมลพิษทางอากาศอันเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพ และสภาพภูมิอากาศ

1.3 แนวคิดในการศึกษา

'ค่าการสูญเสียของการเพิกเฉย' ในที่นี้หมายถึง ค่าการสูญเสียในเชิงความเสียหายซึ่งเกิดขึ้นจากการไม่มีนโยบายเข้าควบคุม หรือในทางกลับกันหมายถึงค่าความเสียหายซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงได้หากมีการดำเนินการ ค่าการสูญเสียเกี่ยวข้องกับผลกระทบที่สำคัญอันเนื่องมาจากมลพิษทางอากาศ และค่าการสูญเสียที่มาจากผลกระทบทั้งหมดของมัน โดยผลกระทบที่ได้ประเมิน และคำนวณไว้ รวมค่าการสูญเสียทางสุขภาพโดยตรง วันเวลาจ้างแรงงานที่เสียไป ค่าการสูญเสียจากการเสียชีวิต การลดลงของพืชผลทางการเกษตร ผลกระทบต่อระบบนิเวศ ความเสียหายต่อวัตถุดิบ ผลกระทบต่อการท่องเที่ยว เสียงรบกวน ทัศนวิสัย อุบัติเหตุทางจราจร และความแออัด

การแสดงซึ่งแนวคิดแบบเรียบง่ายของวิธีการที่ใช้ในการประเมินเป็นไปตามที่ปรากฏในรูปภาพ 1.1 หลักการสำคัญคือการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสองสถานการณ์ในระยะเวลาหนึ่งปี: กรณีนโยบายในปัจจุบัน (Current Policies) ที่ครอบคลุมนโยบายการจัดการคุณภาพอากาศในปัจจุบันที่มีผลใช้บังคับ (โดยคาดว่าไม่มีการดำเนินนโยบายใดเพิ่มเติม) และมีการเปรียบเทียบกับทางเลือก กรณีที่มีนโยบายเพิ่มเติม (Additional Policies) ซึ่งมีการแนะนำมาตรการใหม่ๆ มาใช้บังคับในการควบคุมมลพิษ การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการกล่าวถึงเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)



รูปภาพ 1.1 *แผนภาพแสดงการเปรียบเทียบวิธีการเชิงปริมาณระหว่างต้นทุนของการดำเนินการและค่าสูญเสียของการเพิกเฉยที่ได้รับการเสนอ จากการเปรียบเทียบกรณีนโยบายในปัจจุบัน และกรณีที่มีนโยบายเพิ่มเติม*

กรณีนโยบายในปัจจุบันจะส่งผลเกี่ยวข้องกับระดับของมลพิษทางอากาศ (ตามที่ปรากฏเป็นแถบสีดำในแผนภาพ 1) ต้นทุนสำหรับการดำเนินการตามกฎหมายเกี่ยวกับมลพิษที่มีอยู่ (แถบสีส้ม) และระดับของผลกระทบที่เกี่ยวข้อง (แถบสีน้ำเงิน) จากมลพิษทางอากาศซึ่งในที่นี้แสดงเป็นตัวเงิน ในกรณีที่มีนโยบายเพิ่มเติมนั้น ค่าใช้จ่ายในการควบคุมการปล่อยมลพิษจะสูงขึ้นในขณะที่ระดับมลพิษและผลกระทบที่เกี่ยวข้องจะลดลง ต้นทุนของการดำเนินการจึงหมายความถึงความแตกต่างระหว่างต้นทุนในการควบคุมการปล่อยมลพิษในกรณีนโยบายในปัจจุบันกับกรณีที่มีนโยบายเพิ่มเติม ในขณะที่ค่าการสูญเสียของการเพิกเฉยคือความแตกต่างระหว่างค่าการสูญเสียจากผลกระทบ หรือในอีกชื่อหนึ่งคือการคาดการณ์ หรือผลประโยชน์ทางการเงินที่ 'สูญเสียไป' หากไม่มีการดำเนินการใด ๆ

1.4 วิธีในการศึกษา

การวิเคราะห์ในการศึกษานี้มาจากการใช้แบบจำลอง Greenhouse Gas and Air Pollution Interactions and Synergies (GAINS) (Amann et al., 2011; UNEP, 2019) ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) (โปรดดู กล่องข้อความ 2 และรูปภาพ 1.1 ในภาคผนวก) GAINS เป็นแบบจำลองที่สามารถระบุปริมาณการระบายสารมลพิษทางอากาศในระดับภาคส่วนย่อย รวมถึงความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ และอัตราการเสียชีวิต โดยวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ กรอบของการประเมินได้รับการพัฒนา และขยายเพิ่มเติมออกไปเพื่อให้ครอบคลุมด้านสุขภาพเพิ่มเติม ผลกระทบต่อแรงงาน และค่าการสูญเสียที่เกี่ยวข้อง

การประเมินปริมาณผลกระทบด้านสุขภาพในกรณีการเจ็บป่วยและการตายจาก $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ ค่าผลกระทบได้ถูกคำนวณเป็นตัวเงินของการเสียชีวิตต่อปี (ประมาณการจากการศึกษาความพอใจในการใช้จ่าย) และค่าใช้จ่ายในระบบสาธารณสุขกรณีเจ็บป่วย ฟังก์ชันการตอบสนองระหว่างความเข้มข้นของมลพิษและผลการเจ็บป่วยถูกสร้างขึ้นจากการวิเคราะห์โดยเฉพาะจากการศึกษาในระดับนานาชาติ การคำนวณการตายเป็นไปตามวิธีของ Global Burden of Disease ข้อมูลที่ถูกนำเข้าสำหรับการคำนวณ (เช่น อัตราอุบัติการณ์พื้นฐาน ข้อมูลค่าการสูญเสีย) ถูกรวบรวมจากแหล่งข้อมูลในประเทศไทย และเสริมด้วยข้อมูลจากแหล่งข้อมูลในต่างประเทศ รายละเอียดของวิธีการประเมิน และแหล่งข้อมูลถูกอธิบายไว้ในภาคผนวก

กล่องข้อความ 2: แบบจำลอง GAINS

แบบจำลอง GAINS สามารถประเมินมาตราการที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าในการควบคุมการระบายสารมลพิษหลายตัว เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ด้านสิ่งแวดล้อมในด้านผลกระทบต่อคุณภาพอากาศ (ผลกระทบต่อสุขภาพและระบบนิเวศ) และก๊าซเรือนกระจก GAINS รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการพัฒนาเศรษฐกิจ โครงสร้าง ศักยภาพในการควบคุม และต้นทุนของแหล่งที่มาของการปล่อยมลพิษ การก่อตัวและการแพร่กระจายของมลพิษในชั้นบรรยากาศ และการประเมินผลกระทบของมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (https://gains.iiasa.ac.at/models).

การประเมินการระบายมลพิษใช้ฐานข้อมูลการระบายมลพิษของ GAINS ที่ได้รับการตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ และรวบรวมข้อมูลทั้งในระดับชาติและระดับนานาชาติที่มาจากการตรวจวัดจากแหล่งกำเนิด และเทคโนโลยีต่างๆ โดยมีเทคโนโลยีมากกว่า 1,000 รายการที่ใช้ในการควบคุมการระบายมลพิษ ตัวเลือกการลดผลกระทบรวมถึงผลกระทบจากการระบายสารก่อมลพิษทางอากาศที่สำคัญทั้งหมด (SO_2, NO_x, PM [รวมถึง BC และ OC], NMVOC, NH_3) และก๊าซเรือนกระจก

แบบจำลองนี้คำนวณการกระจายตัวของมลพิษในชั้นบรรยากาศ และการก่อตัวของสารมลพิษทุติยภูมิสำหรับสถานการณ์ที่กำหนด ซึ่งช่วยให้สามารถหาปริมาณความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ และการเปลี่ยนแปลงจากมาตรการต่างๆ ที่ความละเอียด 0.1°×0.1° หรือประมาณ 10x10 km เมื่อซ้อนทับกับจำนวนประชากรที่ความละเอียดเท่ากัน ก็สามารถประมาณการกระจายตัวของการรับสัมผัสต่อ $PM_{2.5}$ ในประชากรได้ การใช้ฟังก์ชันการตอบสนองของผลกระทบต่อความเข้มข้นของมลพิษจากงานวิชาการระดับนานาชาติ ทำให้แบบจำลอง GAINS คำนวณการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรจากการสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ในระยะยาว และจำนวนปีอายุที่สูญเสีย (YLLs) ที่เกี่ยวข้อง สำหรับการศึกษานี้ แบบจำลองได้รับการขยายให้รวมถึงผลกระทบด้านสุขภาพอื่นๆ เช่น การเจ็บป่วย การสูญเสียเวลาทำงาน ค่าใช้จ่าย เป็นต้น (ดูแผนภาพ 1 ในภาคผนวก) รายละเอียดของวิธีการประเมินได้อธิบายไว้ในภาคผนวก

1.5 ฉากทัศน์

การคำนวณค่าการสูญเสียของการเพิกเฉยต่อมลพิษทางอากาศ ดังที่แสดงในแผนภาพ 1 การประเมินนี้จะระบุปริมาณผลกระทบโดยตรง และค่าการสูญเสียเนื่องจากผลกระทบต่อสุขภาพจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในอนาคตในสองกรณี กรณีแรกหรือ 'นโยบายในปัจจุบัน' สมมติว่ามีการนำกฎหมาย และนโยบายปัจจุบันที่เกี่ยวข้องกับมลพิษทางอากาศมาใช้เท่านั้น ตามการวิเคราะห์โดย Nikam และคณะ (2021) ในขณะที่นโยบายเพิ่มเติมหรือกรณี 'การบรรเทาผลกระทบที่เข้มงวด' จะสมมติถึงการนำแนวทางการแก้ปัญหาเชิงรุกไปใช้งาน ซึ่งได้รับการกล่าวถึงและพัฒนาในรายงานทางออกสำหรับอากาศสะอาดในอาเซียน (Zusman et al., 2023) และรับเอาแนวคิดที่นำไปใช้ในการประเมินมลพิษทางอากาศในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิกของ UNEP-CCAC (Amann et al., 2019; UNEP, 2019) คำอธิบายเพิ่มเติมของสถานการณ์สำหรับภูมิภาคอาเซียนปรากฏอยู่ในภาคผนวก

การระบายมลพิษในอนาคตสำหรับทั้งสองกรณีขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงในกิจกรรมซึ่งเป็นผลมาจากการขับเคลื่อนทางสังคม และเศรษฐกิจมหภาคที่สำคัญ จากทั้งสองกรณีสันนิษฐานได้ว่าประเทศไทยจะเผชิญหน้ากับการพัฒนาทางเศรษฐกิจที่มีนัยสำคัญในอนาคต โดย GDP จะเพิ่มขึ้นเกือบ 70% ในปีค.ศ. 2030 จาก 401 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี ค.ศ. 2015 เป็นไปตามการคาดการณ์ที่ปรากฏใน ภาพรวมพลังงานโลก ค.ศ. 2018 ขององค์การพลังงานระหว่างประเทศ (IEA, 2018) นอกจากนี้ จำนวนประชากรของประเทศไทยยังถูกสันนิษฐานว่าจะเปลี่ยนแปลงในอนาคต จาก 68.6 ล้านคนในปี ค.ศ. 2015 จะเพิ่มขึ้นสูงสุดถึง 69.7 ล้านคนในปี 2025 ก่อนจะลดลงอย่างช้าๆ เป็น 65.4 ล้านคนในปี 2050 ตามรายงานขององค์การสหประชาชาติว่าด้วยแนวโน้มประชากรโลก ค.ศ. 2017 (UN, 2017) กรณีการประเมินฉากทัศน์แบบปานกลาง ในขณะเดียวกัน ประชากรไทยคาดว่าจะมีอายุเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะส่งผลอย่างมากต่อการคำนวณผลกระทบต่อสุขภาพในการศึกษานี้

กรณีศึกษาฉากทัศน์ของ นโยบายในปัจจุบัน ที่ใช้เป็นพื้นฐานในการประเมินนี้ เป็นเกณฑ์มาตรฐานที่จะไม่พิจารณาการพัฒนาในใดๆ ในอนาคต โดยจะพิจารณาเฉพาะนโยบายที่ได้ดำเนินการหรือได้ตกลงในประเทศไทยแล้วภายในกลางปี ค.ศ. 2020 โดยข้อมูลเกี่ยวกับนโยบายในปัจจุบัน ค่าจำกัดการระบายมลพิษ และมาตรฐานต่างๆ นำมาจาก Motokura และคณะ (2017), Dieselnet.com, He และคณะ (2021) และการศึกษาข้อมูลล่าสุดเกี่ยวกับนโยบายที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพอากาศในประเทศไทย (Nikam et al., 2021) แนวโน้มด้านพลังงานที่ใช้ในกรณีศึกษานโยบายในปัจจุบันนั้นสอดคล้องกับการจำลองสถานการณ์ 'New Policies' (NPS) ของ IEA และการควบคุมมลพิษทางอากาศจะถูกนำไปใช้ในขอบเขตที่คาดการณ์ไว้ภายใต้กฎหมายปัจจุบัน แต่ไม่มีการดำเนินการเพิ่มเติม การศึกษาบางส่วนข้างต้นยังให้การประเมินความคืบหน้าในการดำเนินการตามนโยบาย ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการสร้างภาพที่เป็นจริงมากขึ้นของผลกระทบจากการนำกฎหมายที่มีอยู่มาใช้ และการประเมินศักยภาพในการบรรเทาผลกระทบในอนาคต ประสบการณ์ที่ได้รับรายงานสะท้อนให้เห็นแนวทางการสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการประเมินนี้

ตรงกันข้ามกับกรณีศึกษาก่อนหน้านี้ ฉากทัศน์ของ **นโยบายที่แข็งกร้าว** (กรณีที่มีนโยบายเพิ่มเติมในรูปภาพ 1.1) พิจารณาว่ามีแนวทางการแก้ปัญหาหลักเพิ่มเติม 12 ข้อ[1] ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นภายใต้การศึกษาเรื่อง รายงานทางออกสำหรับอากาศสะอาดในอาเซียน (Zusman et al., 2023) และได้รับการผลักดันอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อขยายความเป็นไปได้ถึงที่สุด แนวทางการแก้ปัญหาเหล่านี้ไม่ใช่การดำเนินการเฉพาะแหล่งกำเนิดมลพิษ แต่เป็นกลุ่มที่เกี่ยวข้องกันทางเทคโนโลยีหรือเป็นภาคส่วนที่มีความเกี่ยวเนื่องกัน (เช่น สำหรับการขนส่งทางถนน การปรับปรุงมาตรฐานการระบายมลพิษที่ และเพิ่มจำนวนยานพาหนะที่ใช้ไฟฟ้าจะถูกพิจารณาเป็นแนวทางการแก้ปัญหาเดียว) (แผนภาพ 2 /อินโฟกราฟิก[2]) และได้รับการคัดเลือกตามศักยภาพของภาคส่วนเหล่านั้นในการลดการรับสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ของประชากรได้อย่างสูงสุด แนวทางการแก้ปัญหาที่ได้รับการคัดเลือกได้รวมเอาแนวทางด้านเทคโนโลยีเพื่อแก้ปัญหามาใช้เพื่อลดการระบายมลพิษตลอดจนใช้ประโยชน์จากศักยภาพด้านพลังงาน การเปลี่ยนรูปแบบเชื้อเพลิง พลังงานหมุนเวียน และการทำยานพาหนะให้ใช้พลังงานไฟฟ้าตามที่ระบุในการจำลองสถานการณ์การพัฒนาที่ยั่งยืน (SDS) ของ IEA นอกจากนี้ การบริโภคและผลผลิตทางการเกษตรยังสอดคล้องกับ the Lancet EAT Planetary Diet ของ Lancet-EAT (Willett et al., 2019) รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีแก้ปัญหาที่รวมอยู่ในการประเมินนี้ปรากฏในภาคผนวก และใน Zusman และคณะ (2023) นอกจากการคำนวณผลกระทบโดยรวมของการใช้แนวทางการแก้ปัญหาทั้ง 12 ข้อ (รูปภาพ 1.2) แล้ว แนวทางการแก้ปัญหาแต่ละข้อยังสามารถประเมินแยกจากกันในแง่ของผลกระทบต่อการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ซึ่งจะช่วยในการระบุแนวทางการแก้ปัญหาที่อาจส่งผลกระทบมากที่สุดต่อการปรับปรุงคุณภาพอากาศ ดังที่แสดงภายหลังในการศึกษานี้ มาตรการหลายอย่างเหล่านี้ยังนำมาซึ่งผลประโยชน์ร่วมกันอย่างเข้มแข็ง เช่น การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และนำไปสู่การบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) หลายข้อ

[1] การประเมินว่าด้วยทางออกสำหรับอากาศสะอาดในอาเซียน ของ UNEP/CCAC ค้นหาแนวทางการแก้ปัญหา 15 ข้อ อย่างไรก็ดี ในบางกรณีไม่ได้มีอิทธิพลต่อระดับมลพิษทางอากาศโดยตรง การวิจัยนี้รวมถึงแนวทางการแก้ปัญหา 12 ข้อที่เกี่ยวกับความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$

[2] รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับแนวทางการแก้ปัญหา 12 ข้อ ปรากฏในตารางที่ 1 ในภาคผนวก

* ศักยภาพในอนาคตที่แสดงรวมถึงขอบเขตที่เป็นไปได้สำหรับสิ่งที่การเร่งการใช้พลังงานไฟฟ้าของยานพาหนะสามารถทำได้กล่าวคือน่าจะน้อยกว่าครึ่งหนึ่งที่สามารถทำได้โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในปี 2030

** การปรับปรุงการผลิตและจำหน่ายถ่านหินน้ำมันและก๊าซรวมถึงการลดการรั่วไหลและการใช้ก๊าซที่จับได้

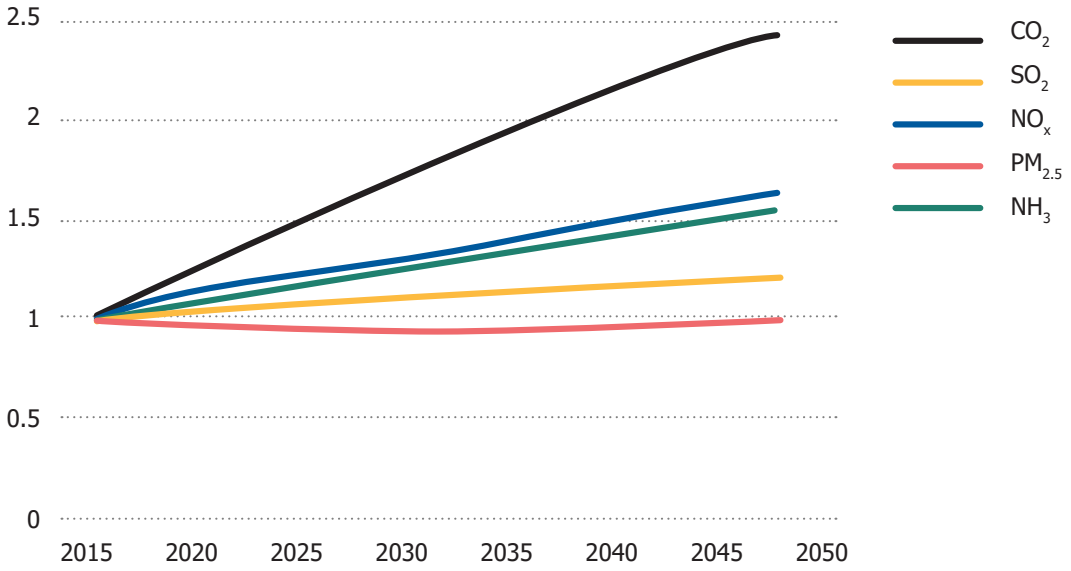
รูปภาพ 1.2 *แนวทางการแก้ปัญหาหลัก 12 ข้อ เพื่อรับมือกับปัญหาการรับสัมผัสฝุ่นละอองขนาดเล็กในอาเซียน*

2. ผลการศึกษา

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์จากการประเมิน โดยหัวข้อ 2.1 จะกล่าวถึงการระบายมลพิษและความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน กับฉากทัศน์นโยบายที่แข็งกร้าว ต่อมา หัวข้อ 2.2 จะกล่าวถึงผลกระทบต่อสุขภาพ และต้นทุนของการเพิกเฉยสำหรับแต่ละมาตรการที่ปรากฏในฉากทัศน์นโยบายที่แข็งกร้าว และหัวข้อ 2.3 จะวิเคราะห์ถึงประโยชน์ร่วมของมาตรการต่อการบรรเทาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

2.1. การระบายมลพิษและความเข้มข้นของมลพิษในบรรยากาศ

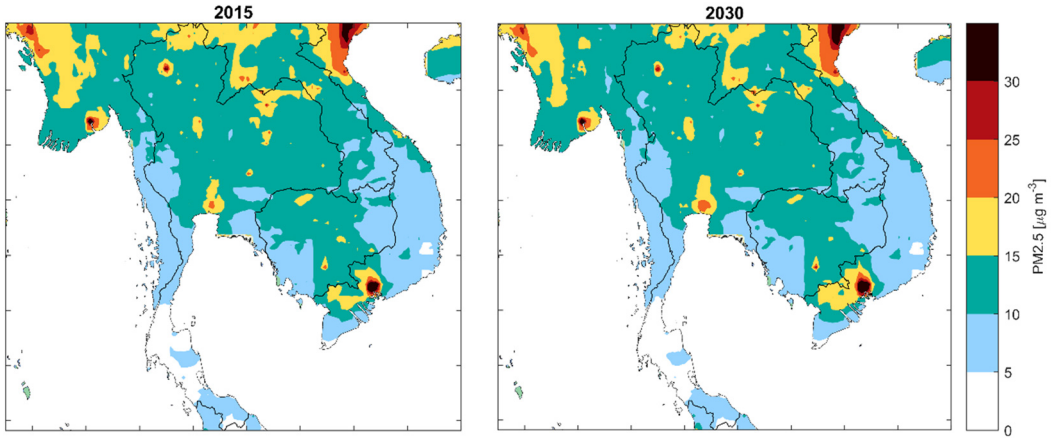
2.1.1 ฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน



รูปภาพ 2.1 *แนวโน้มการระบายก๊าซ CO_2 และสารมลพิษทางอากาศในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบันสำหรับประเทศไทย*

ในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน การดำเนินการตามนโยบายที่มีอยู่และที่เพิ่งได้รับการเสนอแสดงให้เห็นว่ามีผลกระทบในการชะลอการเพิ่มขึ้นของการระบาย $PM_{2.5}$ และสารมลพิษตั้งต้นที่สำคัญของ PM (So2, NO_x, NH_3, NMVOCs) (แผนภาพ 3) อย่างไรก็ตาม นโยบายในปัจจุบันไม่เพียงพอที่จะชดเชยการเพิ่มขึ้นของการใช้เชื้อเพลิงและกิจกรรมการผลิตซึ่งประกอบกับการเติบโตทางเศรษฐกิจที่คาดไว้ในประเทศไทย ทำให้การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นอย่างมาก (รูปภาพ 2.1) ในข้อเท็จจริงที่ว่าการระบายสารมลพิษทางอากาศเติบโตข้ากว่าการระบายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บ่งชี้ถึงการเติบโตทางเศรษฐกิจจากการระบายสารก่อมลพิษทางอากาศอย่างค่อยเป็นค่อยไป ประเทศไทยได้ส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงที่สะอาดในภาคครัวเรือน และประสบความสำเร็จในการลดการระบายสารตั้งต้นของ PM ลงได้อย่างมีนัยสำคัญ ผ่านการเข้าถึงเชื้อเพลิงสะอาดทั้งในเขตเมือง และชนบท อย่างไรก็ตาม ในนโยบายและกฎหมายที่มีอยู่นั้น ไม่มีการระบุการลดลงอย่างมีนัยสำคัญเพิ่มเติม ดังนั้นภายในปี ค.ศ. 2030 สำหรับฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน ประมาณหนึ่งในสี่ของการระบาย $PM_{2.5}$ ยังคงมีที่มาจากแหล่งกำเนิดมลพิษหลักดังกล่าว

ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น $PM_{2.5}$ ต่อปีในประเทศไทยที่ประมาณโดย GAINS อยู่ระหว่าง 5 ถึง 40 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ในปี ค.ศ. 2015 (รูปภาพ 2.2 รูปด้านซ้าย) โดยมีประชากรเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่รับสัมผัสกับระดับความเข้มข้นสูงสุด ถึงแม้ในที่นี้หมายความว่าปัญหามลพิษ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทยจะน้อยกว่าประเทศอื่นในเอเชีย แต่ความเข้มข้นของมลพิษยังคงสูงกว่าค่าแนะนำขององค์การอนามัยโลก ซึ่งอยู่ที่ 5 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (WHO, 2021) เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตเมือง นอกจากนี้ เป็นที่สังเกตได้ว่าความเข้มข้นที่ได้จากแบบจำลองนี้ น้อยกว่าความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ในพื้นที่ของประเทศไทย (ซึ่งอาจได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดมลพิษในท้องถิ่นที่ไม่สามารถแสดงได้ในความละเอียดของแบบจำลอง) ดังนั้น ข้อสรุปที่ได้น่าจะแสดงว่าความเข้มข้นจากแบบจำลองจะมีค่าประมาณที่ต่ำกว่า และระดับการรับสัมผัสที่แท้จริงในบางพื้นที่อาจสูงกว่าที่ระบุในที่นี้ การตรวจสอบความถูกต้องของระดับความเข้มข้นที่ประมาณการณ์โดย GAINS เทียบกับข้อมูลที่เฝ้าระวัง ปรากฏอยู่ในภาคผนวก

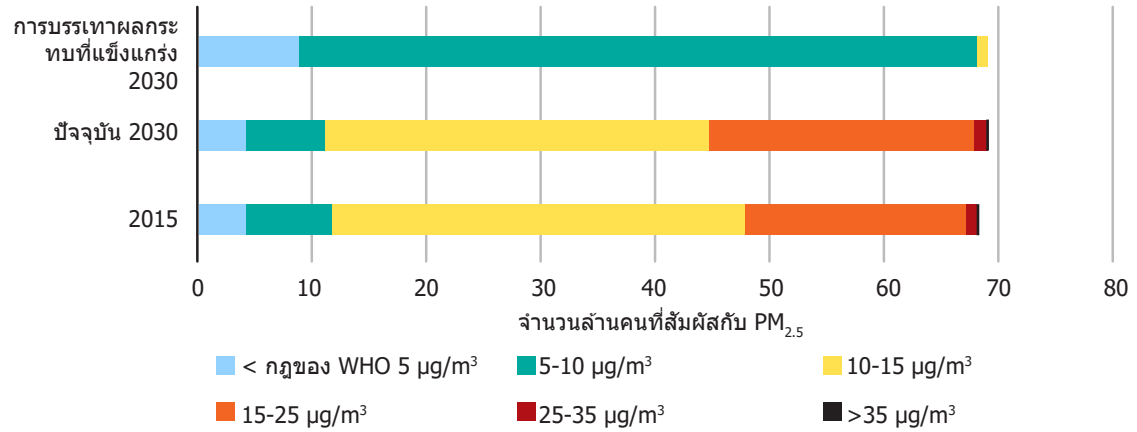


รูปภาพ 2.2 *ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทย ซึ่งจำลองโดย GAINS เมื่อปี ค.ศ. 2015 (ซ้าย) และเมื่อปี ค.ศ. 2030 ภายใต้นโยบายในปัจจุบัน (ขวา)*

แม้จะถือได้ว่าการดำเนินการตามนโยบาย และกฎหมายที่มีอยู่ประสบผลสำเร็จ แต่จะส่งผลทำให้ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ดีขึ้นเล็กน้อยเท่านั้นภายในปี ค.ศ. 2030 ในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน (รูปภาพ 2.2 รูปด้านขวา) กรณีดังกล่าวนี้ยังปรากฏอยู่ในรูปภาพ 3 ซึ่งแสดงการกระจายตัวของประชากรที่รับสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ในปี ค.ศ. 2015 นั้น 94% ของประชากรรับสัมผัสกับระดับ $PM_{2.5}$ ที่สูงกว่าค่าแนะนำขององค์การอนามัยโลกฉบับปัจจุบัน ซึ่งอยู่ที่ 5 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร และสูงกว่า 80% ของประชากรได้รับสัมผัสในระดับที่สูงกว่าค่าแนะนำขององค์การอนามัยโลกปี ค.ศ. 2005 ที่ 10 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (ปัจจุบันคือเป้าหมายชั่วคราวที่ 4) ในขณะที่มีจำนวน 28% ของประชากร รับสัมผัสกับมลพิษในระดับที่อยู่ระหว่างเป้าหมายชั่วคราวที่ 2 และ 3 (15-25 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร) และมีจำนวน 1% ของประชากร ที่รับสัมผัสกับความเข้มข้นสูงกว่า 25 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร ภายใต้ฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน คาดว่าสถานการณ์จะไม่ดีขึ้นภายในปี 2030 แม้ว่าจะมีการบังคับใช้กฎหมายปัจจุบันอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ประชากรมากกว่า 80% ก็ยังอาจประสบกับความเข้มข้นของมลพิษที่สูงกว่าค่าแนะนำขององค์การอนามัยโลกปี ค.ศ. 2005 ที่ 10 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร (ได้รับนิยามใหม่เป็นเป้าหมายชั่วคราวที่ 4 ในแนวทางขององค์การอนามัยโลกปี ค.ศ. 2005) และจำนวนผู้ที่รับสัมผัสมลพิษที่ความเข้มข้นเกิน 15 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร อาจเพิ่มขึ้นจาก 19 ล้านคนเป็นมากกว่า 23 ล้านคน เนื่องจากความเข้มข้นที่สูงขึ้นในบางภูมิภาค (แผนภาพ 4) และการขยายตัวของเมืองอย่างต่อเนื่อง

2.1.2 นโยบายเพิ่มเติม

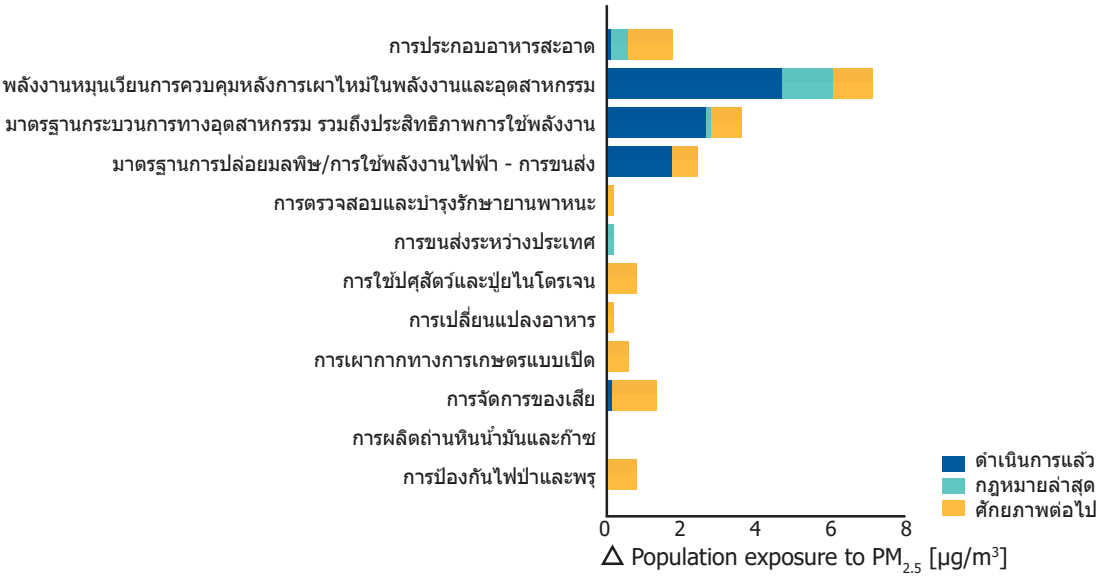
ขอบเขตทั้งหมดของการดำเนินการที่เป็นไปได้เพื่อลดระดับมลพิษทางอากาศได้รับการศึกษาในฉากทัศน์ของนโยบายที่แข็งกร้าวซึ่งเป็นฉากทัศน์ที่ต้องการความมุ่งมั่นในการใช้มาตราการอย่างที่สุด ซึ่งจะต้องมีการกำหนดเป้าหมายในเชิงรุก และการดำเนินการตามนโยบายที่เข้มงวดในทันที เพื่อใช้ประโยชน์จากมาตรการการบรรเทาปัญหาทั้ง 12 ข้อ ที่แสดงไว้ในรูปภาพ 2 และในตาราง 1 (ภาคผนวก) ดังที่แสดงในรูปภาพ 2.3 การนำแนวทางแก้ปัญหาทั้ง 12 ข้อไปใช้ในฉากทัศน์ของนโยบายที่แข็งกร้าว หมายความว่าภายในปี ค.ศ. 2030 ประชากรมากกว่า 8 ล้านคนจะได้รับสัมผัสกับความเข้มข้นของ PM ต่ำกว่าแนวทางขององค์การอนามัยโลกในปัจจุบัน และมีเพียง 2% ของประชากรเท่านั้นที่จะรับสัมผัสมลพิษในระดับที่สูงกว่า 10 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร เทียบกับ 80% ของประชากรในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน ฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบันและฉากทัศน์ของนโยบายที่แข็งกร้าวอาจถือว่าเป็นกรณีที่อาจเป็นไปได้ระหว่างการดำเนินธุรกิจตามปกติ และการพยายามลดผลกระทบอย่างถึงที่สุด ภายในช่วงนี้ กรณีศึกษาที่ใกล้เคียงความเป็นไปได้มากกว่าจะถูกปรับใช้เป็นนโยบายในระดับหนึ่งเพื่อใช้ประโยชน์จากศักยภาพในขณะที่มีการจำกัดต้นทุนของนโยบายเป็นส่วนใหญ่ เพื่อที่จะระบุว่าแนวทางใดใน 12 ข้อมีผลกระทบมากที่สุด ในการวิเคราะห์นี้ ศักยภาพของแต่ละแนวทางในการแก้ปัญหาและปรับปรุงคุณภาพอากาศจะถูกนำมาพิจารณา



รูปภาพ 2.3 *ผลจากแบบจำลอง GAINS แสดงการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ของประชากร ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2015 ถึง 2030 ภายใต้กรณีศึกษาที่แตกต่างกัน*

รูปภาพ 2.4 แสดงผลการคาดการณ์บางส่วนของแนวทางการแก้ปัญหา 12 ข้อ เพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศในแง่ของความเข้มข้น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยโดยวิธีถ่วงน้ำหนักประชากรในประเทศไทยในปี ค.ศ. 2030 โดยสมมติว่ามีการดำเนินการอย่างเต็มรูปแบบของแต่ละแนวทางทั้งในประเทศไทย และทั่วทั้งภูมิภาคอาเซียน แผนภาพนี้ยังแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อการสัมผัสจากมาตรการที่ถูกนำมาใช้แล้วในปี ค.ศ. 2015 (สีน้ำเงิน) และมีส่วนทำให้คุณภาพอากาศดีขึ้น โดยมาตรการที่รวมอยู่ในกฎหมายและนโยบายล่าสุดที่ถูกกำหนดขึ้นหลังปี ค.ศ. 2015 แต่อาจยังไม่ได้ดำเนินการอย่างเต็มที่ (สีเขียว) อาจมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพอากาศในอนาคตหากดำเนินการได้สำเร็จ ศักยภาพเพิ่มเติม (สีเหลือง) สำหรับแต่ละแนวทางจะมาจากการดำเนินการเชิงรุก จุดมุ่งหมายของการวิเคราะห์นี้คือเพื่อแสดงให้เห็นซึ่งความคืบหน้าในภาคส่วน (กลุ่มของแหล่งกำเนิดมลพิษ) ที่ได้ดำเนินการไปแล้ว และภาคส่วนที่ยังคงมีศักยภาพมากที่สุดสำหรับการดำเนินการต่อไปผ่านการบังคับใช้แนวทางแก้ปัญหาและนโยบายต่างๆ

การควบคุมการปล่อย PM และ SO_2 จากการผลิตไฟฟ้า และอุตสาหกรรมมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพอากาศในประเทศไทยอย่างมาก ซึ่งคาดว่าจะส่งผลให้ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ต่อประชากรลดลง 5 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการใช้นโยบายหรือการควบคุมใด ๆ ในพื้นที่เหล่านี้ ในขณะที่การบังคับใช้มาตรฐานการระบายมลพิษที่เข้มงวดขึ้นสำหรับยานพาหนะยังช่วยลดความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพประมาณ 2 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ส่วนสีน้ำเงินเข้มและสีเขียวของแถบ) แม้จะประสบความสำเร็จในบางพื้นที่ รูปภาพ 2.4 แสดงให้เห็นว่ามีศักยภาพสูงสำหรับพัฒนาการอื่น ๆ (สีเหลือง) ซึ่งเป็นจุดเน้นของการวิเคราะห์ที่นำเสนอในส่วนที่เหลือของรายงานนี้ พื้นที่ที่ใหญ่ที่สุดซึ่งมีศักยภาพเพิ่มเติมในการปรับปรุงคุณภาพอากาศ ได้แก่ การใช้พลังงานสะอาดในการประกอบอาหาร (การยกเลิกการใช้เชื้อเพลิงแข็ง เช่น ไม้ฟืน ถ่านหิน ในภาคครัวเรือน) การจัดการขยะ (การกำจัดการเผาขยะในที่โล่ง) และมาตรการเพิ่มเติมในการควบคุมแหล่งกำเนิดขนาดใหญ่ เช่น ภาคการผลิตพลังงาน และภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนมาตรการในภาคการขนส่งต่อไป ประการหลังยังรวมถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าในการคมนาคมทางบก ในขณะที่มาตรการในภาคพลังงาน และอุตสาหกรรมรวมถึงการเปลี่ยนไปใช้พลังงานหมุนเวียน และการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน



รูปภาพ 2.4*พัฒนาการที่คาดการณ์ไว้โดยวิธีถ่วงน้ำหนักประชากรต่อความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทย จากแต่ละแนวทางการแก้ปัญหาทั้ง 12 ข้อ ในปี ค.ศ. 2030 โดยแบ่งเป็นมาตรการที่บังคับใช้แล้ว (สีน้ำเงิน), กฎหมายที่ผ่านร่างออกมาภายหลังปี ค.ศ. 2015 แต่ยังไม่ได้นำมาบังคับใช้ (สีเขียว) และความเป็นไปได้อื่น ๆ (สีเหลือง)*

2.2 ผลกระทบต่อสุขภาพและค่าการสูญเสียของการเพิกเฉย

การรับสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างมากในประเทศไทย แบบจำลอง GAINS ประมาณการว่าในปี ค.ศ. 2015 จะมีผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรมากกว่า 16,000 รายเนื่องจาก $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ ซึ่งสอดคล้องกับตัวเลขปีสูญเสียสุขภาวะจากการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรจำนวน 313,000 (YLLs) ค่าประมาณการเหล่านี้ต่ำกว่าตัวเลขที่เผยแพร่โดย Global Burden of Disease และน่าจะเป็นตัวเลขที่อยู่ในช่วงที่ต่ำ ตามที่กล่าวไว้ในส่วนที่ 2.1 ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่ประเมินโดยแบบจำลอง GAINS นั้นค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับค่าจากสถานีตรวจวัดความเข้มข้น ซึ่งอาจอธิบายความแตกต่างนี้ได้ ในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน เนื่องจากความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ที่เพิ่มขึ้น รวมถึงอายุของประชากร คาดว่าการเสียชีวิตจะเพิ่มขึ้นใกล้เคียง 24,000 สำหรับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร และเพิ่มเป็น 413,000 YLLs ในปี ค.ศ. 2030

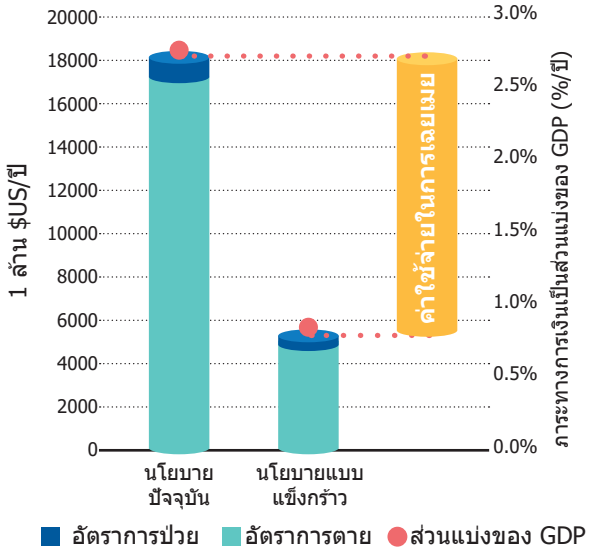
ในขณะเดียวกัน $PM_{2.5}$ ยังก่อให้เกิดภาระการเจ็บป่วยอย่างมาก ตัวเลขการเจ็บป่วย และการเสียชีวิตที่เกิดจากการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ที่ประมาณการในปี ค.ศ. 2015 และภายใต้ฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบันในปี ค.ศ. 2030 แสดงไว้ในตารางที่ 1 พร้อมด้วยมูลค่าทางการเงินและต้นทุนต่อหน่วยที่ใช้ในการคำนวณ สำหรับการเสียชีวิต ตัวเลขการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรสามารถใช้ร่วมกับมูลค่าชีวิตเชิงสถิติ (VSL) หรือตัวเลขปีสูญเสียสุขภาวะจากการเสียชีวิต (YLL) ร่วมกับมูลค่าปีชีวิตเชิงสถิติ (VOLY) ตามปกติแล้ว เราพบว่ามูลค่าทางการเงินจากการเสียชีวิต × VSL ให้ค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า YLLs × VOLY ซึ่งสะท้อนถึงความลำบากบางประการในการกำหนดมูลค่าทางการเงินให้กับชีวิตของประชากร สำหรับการวิเคราะห์เพิ่มเติมทั้งหมดที่แสดงในการศึกษานี้ เราใช้วิธีการสร้างมูลค่าจาก YLL ในการประเมินมูลค่าการสูญเสียชีวิต

ต้นทุนต่อหน่วย VSL และ VOLY ที่แสดงในตารางที่ 1 รวมข้อมูลในประเทศไทยกับชุดข้อมูลที่มีอยู่ระหว่างประเทศซึ่งปรับให้เข้ากับ GDP ต่อประชากรของประเทศไทย

ตารางที่ 1 *การเจ็บป่วย และการเสียชีวิตจากความเข้มข้นในบรรยากาศของ $PM_{2.5}$ ในประเทศไทยในปี ค.ศ. 2015 และ 2030 ภายใต้กฎหมายและนโยบายในปัจจุบัน รวมถึงการบังคับใช้มาตรการที่แข็งกร้าวในประเทศอาเซียน และมูลค่าผลกระทบที่เกี่ยวข้อง สำหรับการเสียชีวิต, การเสียชีวิตก่อนวัยอันควร และ การใช้ YLLs เป็นดัชนีทางเลือกโดยแสดงไว้เพื่อการเปรียบเทียบเท่านั้น*

ดัชนี	ผลกระทบต่อสุขภาพในหน่วยทางกายภาพ [จำนวน/ปี]			ต้นทุนต่อหน่วย [เหรียญสหรัฐในปี 2015]	ต้นทุนผลกระทบ [พันเหรียญสหรัฐในปี 2015 / ปี]		
	ในอดีต	นโยบายในปัจจุบัน	การบรรเทาผลกระทบที่เข้มแข็ง		ในอดีต	นโยบายในปัจจุบัน	การบรรเทาผลกระทบที่เข้มแข็ง
	2015	2030	2030		2015	2030	2030
การเสียชีวิต							
การเสียชีวิตก่อนวัยอันควร	16,453	23,998	6,530	1,094,019	17,999,895	26,254,268	7,143,944
ตัวเลขปีสูญเสียสุขภาวะจากการตาย (YLLs)	315,588	413,094	114,036	41,370	13,055,996	17,089,853	4,717,719
การเจ็บป่วย							
หอบหืด (เข้าห้องฉุกเฉิน), ทุกช่วงอายุ	20,332	21,603	9,867	15	310	330	151
การเข้า รพ. ด้วยโรคหลอดเลือดหัวใจ, ต่ำกว่า 65 ปี	2,815	2,705	1,154	920	2,589	2,487	1,061
การเข้า รพ. ด้วยโรคหลอดเลือดหัวใจ, สูงกว่า 65 ปี	5,167	10,074	4,645	920	4,751	9,263	4,271
การเข้า รพ. ด้วยโรคทางเดินหายใจ, ทุกช่วงอายุ	16,236	17,257	7,956	920	14,930	15,869	7,316
โรคทางเดินหายใจที่ไปจำกัดการเข้าถึงกิจกรรมกลางแจ้ง, ช่วงวัยทำงาน	31,838,063	36,508,057	13,469,368	33	1,064,200	1,220,297	450,219

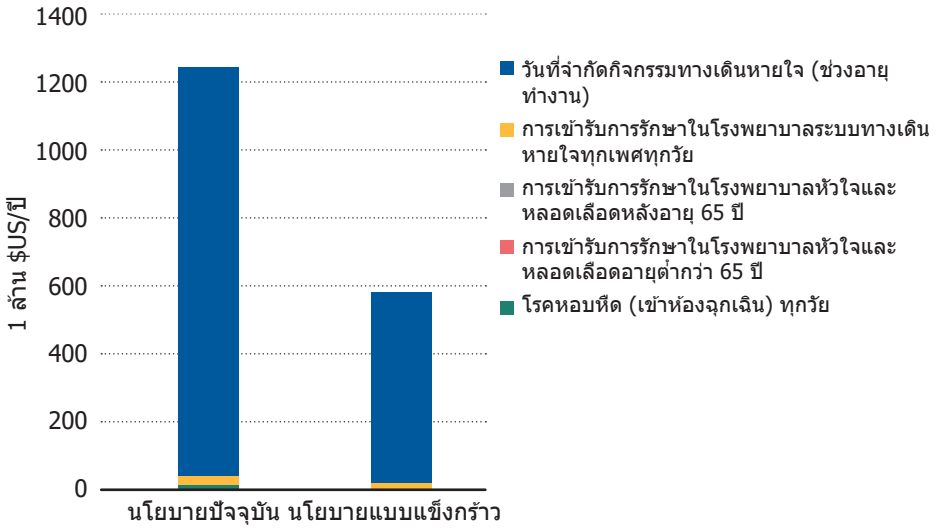
รูปภาพ 2.5 แสดงค่าการสูญเสียทั้งหมดเนื่องจากผลกระทบจากการเจ็บป่วย และการเสียชีวิตจากการรับสัมผัสมลพิษทางอากาศในปี ค.ศ. 2030 ในสองฉากทัศน์ทางเลือกในอนาคตที่ได้รับการพิจารณาในการศึกษานี้ ในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน ภายในปี ค.ศ. 2030 ความเสียหายด้านสุขภาพเฉพาะในประเทศไทยคาดว่าจะสูงถึงประมาณ 18 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี ซึ่งคิดเป็นมูลค่า 1.2% ของ GDP ประเทศไทย เนื่องจากคุณภาพอากาศจะดีขึ้นเพียงเล็กน้อย ในทางตรงกันข้าม ในฉากทัศน์ของนโยบายที่แข็งกร้าว เนื่องจากความสำเร็จของแนวทางการแก้ปัญหาอากาศบริสุทธิ์ 12 ข้อ ในการลดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ค่าการสูญเสียนี้จึงคาดว่าจะลดลงเหลือประมาณ 5.8 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี หรือคิดเป็นประมาณ 0.4% ของ GDP ในปี ค.ศ. 2030 ดังนั้น กล่าวได้ว่าหากไม่นำแนวทางการแก้ปัญหาอากาศทั้ง 12 ข้อ ไปใช้ และจัดการกับมลพิษทางอากาศ ค่าการสูญเสียของการไม่ดำเนินการในประเทศไทยจะอยู่ที่ประมาณ 12.5 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี หรือคิดเป็นประมาณ 0.8% ของ GDP ในปี ค.ศ. 2030 ต้นทุนเหล่านี้เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับภาระด้านสุขภาพจากการสัมผัสมลพิษทางอากาศเป็นตัวบ่งชี้ถึงค่าใช้จ่ายจำนวนมากที่สามารถหลีกเลี่ยงได้หากมีการดำเนินการกับมลพิษทางอากาศ



รูปภาพ 2.5 *ภาระทางสุขภาพที่ได้รับการคำนวณจากการรับสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ในปี ค.ศ. 2030 เปรียบเทียบระหว่างฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน และการบังคับใช้มาตรการทั้งหมดที่ได้รับประเมินในการศึกษานี้อย่างมีประสิทธิภาพ (กรณีฉากทัศน์ที่แข็งกร้าว) แถบที่ทับซ้อนกัน - แกนซ้าย: ภาระซึ่งแสดงเป็นล้านเหรียญสหรัฐต่อปี, จุดสีแดงทั้งสอง - แกนขวา: การเปรียบเทียบกับ GDP*

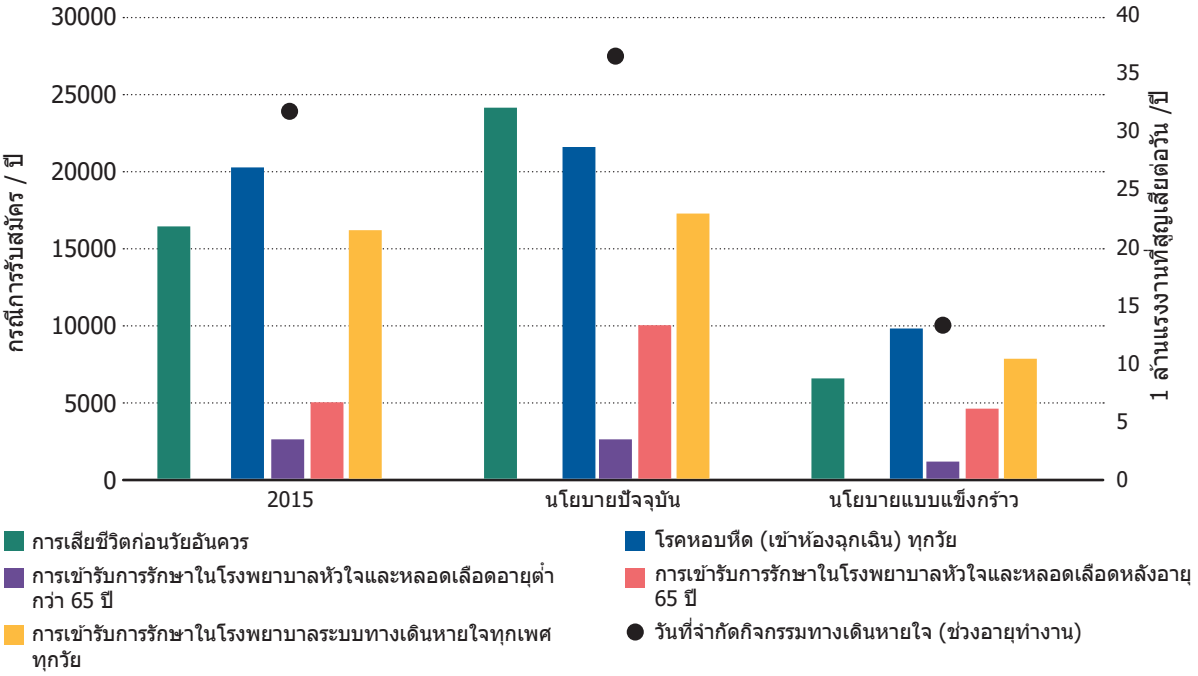
ภาระทางเศรษฐกิจจากค่าการสูญเสียของการเพิกเฉยส่วนใหญ่ - หรือต้นทุนของการไม่บังคับใช้มาตรการทั้งหมด - เกี่ยวข้องกับการเสียชีวิต (แสดงไว้ที่นี่เป็นค่าประมาณการทางการเงินสำหรับ YLL) คิดเป็นประมาณ 90% ของค่าการสูญเสีย ส่วนที่เหลืออีก 10% ได้รับผลกระทบหลักๆ (98%) โดยต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับปัญหาระบบทางเดินหายใจซึ่งถูกจำกัดไม่ให้ทำกิจกรรมกลางแจ้ง ซึ่งได้รับการตีค่าเป็นมูลค่าเป็นการสูญเสียวันทำงาน (รูปภาพ 2.6)

[3] มูลค่า GDP มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในแต่ละปี เห็นได้จากเหรียญสหรัฐในช่วงปี ค.ศ. 2015 เช่นเดียวกับต้นทุนอื่นๆ การเปรียบเทียบกับ GDP เป็นไปเพื่อการอ้างอิงเท่านั้น; ต้นทุนความเสียหายไม่ได้แสดงซึ่งความเสียหายทางเศรษฐกิจโดยตรง แต่สามารถระบุถึงการแบ่งปันซึ่งต้นทุนที่ไม่ใช่จากการลดลงของอายุขัยโดยทั่วไปซึ่งสามารถคำนวณได้



รูปภาพ 2.6 *ภาระการเจ็บป่วยจากการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ที่ได้รับการคำนวณในปี ค.ศ. 2030, เปรียบเทียบระหว่างฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน และการบังคับใช้มาตรการทั้งหมดอย่างมีประสิทธิภาพ (ฉากทัศน์นโยบายแบบแข็งกร้าว)*

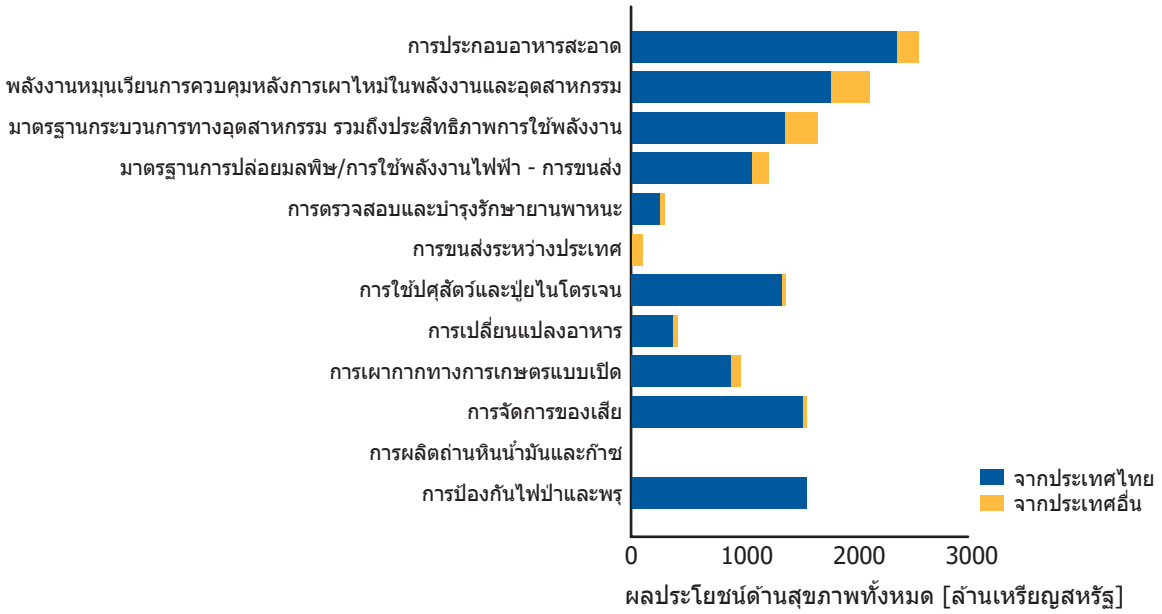
รูปภาพ 2.7 แสดงข้อมูลโดยสรุปการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร การเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล และจำนวนวันทำงานที่สูญเสียไปเนื่องจาก $PM_{2.5}$ ที่อยู่ในบรรยากาศตามที่ประมาณไว้สำหรับปี ค.ศ. 2015 และพัฒนาการที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 2030 ในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน เช่นเดียวกับในฉากทัศน์นโยบายที่แข็งกร้าว ซึ่งมาตรการที่เสนอทั้งหมดถูกนำมาใช้ มีการประมาณการว่าในปี ค.ศ. 2015 มีการเข้ารับการรักษาตัวในห้องฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับโรคหอบหืดประมาณ 20,000 ราย การเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล 4,000 รายด้วยเหตุผลเกี่ยวกับหลอดเลือดและหัวใจ การรับเข้ารักษาในโรงพยาบาลที่เกี่ยวข้องกับระบบทางเดินหายใจ 16,000 ราย และเกือบ 32 ล้านวันของกิจกรรมที่ถูกจำกัดด้วยเหตุผลเกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจในหมู่ประชากรวัยทำงานมีสาเหตุมาจากการรับสัมผัส $PM_{2.5}$ ในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน ผลกระทบต่อสุขภาพเหล่านี้มีแนวโน้มว่าจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่การใช้แนวทางการแก้ปัญหาทั้ง 12 ข้อในฉากทัศน์ที่แข็งกร้าวสามารถลดการรักษาในโรงพยาบาลโดยภาพรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ประมาณ 16,000 ราย และลดตัวเลขการเข้ารับการรักษาในห้องฉุกเฉินจากโรคหอบหืดลง 12,000 ราย และหลีกเลี่ยงการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรได้ 17,000 ราย (รูปภาพ 2.7)



รูปภาพ 2.7 *ข้อมูลโดยสรุปของผลกระทบโดยรวมที่ได้รับการประมาณการเมื่อปี ค.ศ. 2015 และฉากทัศน์ที่ได้รับการวิเคราะห์ การเสียชีวิต, การเข้ารับการรักษาในห้องฉุกเฉิน และการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล เป็นไปตามที่ปรากฏในแกนซ้าย ส่วนกิจกรรมกลางแจ้งที่ถูกจำกัด (จุด) จะใช้แกนขวา*

นอกเหนือจากการวิเคราะห์ผลกระทบสำหรับนโยบายที่ปรากฏตามแนวทางการแก้ปัญหา 12 ข้อโดยภาพรวม (รูปภาพ 2.5) การศึกษานี้ยังวัดผลประโยชน์ด้านสุขภาพที่เฉพาะเจาะจงในรูปแบบของตัวเงินจากการบังคับใช้แต่ละแนวทางการแก้ปัญหาที่รวมอยู่ในฉากทัศน์นโยบายที่แข็งกร้าว ผลประโยชน์ต่อสุขภาพเหล่านี้ยังสามารถถูกมองว่าเป็นค่าการสูญเสียของการเพิกเฉยสำหรับแต่ละแนวทางหากไม่ได้นำไปบังคับใช้ สิ่งนี้จะมีประโยชน์ต่อการทำความเข้าใจว่ามาตรการหรือแนวทางใดจะมีประโยชน์ต่อสุขภาพมากที่สุดและมีต้นทุนที่สามารถหลีกเลี่ยงได้ และยังสามารถเปรียบเทียบกับต้นทุนการนำแต่ละแนวทางไปบังคับใช้ได้หากสามารถเข้าถึงข้อมูลดังกล่าว รูปภาพ 2.8 แสดงให้เห็นว่าผลประโยชน์ที่ใหญ่ที่สุดคาดว่าจะได้รับจากการเปลี่ยนมาใช้วิธีการใช้เชื้อเพลิงที่สะอาดในการประกอบอาหารในครัวเรือน ซึ่งผลประโยชน์ที่คำนวณได้อยู่ที่ประมาณ 2.5 พันล้านเหรียญสหรัฐ[4] ในขณะที่การเพิ่มพลังงานหมุนเวียน และการควบคุมหลังการเผาไหม้ในภาคพลังงาน และภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนการปรับปรุงมาตรฐานทางอุตสาหกรรมอาจนำมาซึ่งผลประโยชน์ใกล้เคียง 4 พันล้านเหรียญสหรัฐ เมื่อรวมกันแล้ว แนวทางแก้ปัญหาด้านการเกษตรทั้ง 3 ประการ ได้แก่ การลดการเผาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การปรับเปลี่ยนอาหาร และการใช้ปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และแนวทางการจัดการปศุสัตว์ สามารถประหยัดเงินได้ประมาณ 3 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในท้ายที่สุดแนวทางการแก้ปัญหาที่จัดการกับการระบายมลพิษจากการคมนาคม การปรับปรุงการจัดการสิ่งปฏิกูล และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการป่าไม้ อาจส่งผลให้เกิดผลประโยชน์ทางการเงินตามลำดับ 1.5 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อภาคส่วน

ประเทศไทยยังได้รับผลกระทบจากมลพิษทางอากาศข้ามแดนจากประเทศเพื่อนบ้านซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพในประเทศไทยด้วย ส่งผลให้ประเทศไทยได้รับผลประโยชน์จากมาตรการบรรเทาผลกระทบในประเทศเหล่านั้นด้วย จากการประเมินเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าการบังคับใช้แนวทางการแก้ปัญหาทั้ง 12 ข้อ ภายในภูมิภาคอาเซียนจะสามารถหลีกเลี่ยงความเสียหายได้ถึง 0.6 พันล้านเหรียญสหรัฐต่อปี นอกเหนือไปจากที่ประเทศไทยจะหลีกเลี่ยงได้ รูปภาพ 2.8 แสดงให้เห็นโดยตรงถึงผลประโยชน์เพิ่มเติมที่ได้รับจากการนำแต่ละแนวทางการแก้ปัญหาไปใช้ในประเทศไทย (สีน้ำเงิน) และในประเทศอาเซียนอื่นๆ (สีเหลือง) ดังนั้น จึงเป็นที่ชัดเจนว่าผลประโยชน์จำนวนมากสามารถได้จากความร่วมมือในการดำเนินการด้านคุณภาพอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในบางพื้นที่ ในขณะที่มีแนวโน้มว่าประเทศอื่นๆ ในอาเซียนจะได้รับผลประโยชน์จากการดำเนินการด้านคุณภาพอากาศที่มีเชิงรุกในประเทศไทย



รูปภาพ 2.8 *ผลประโยชน์ทางสุขภาพที่คำนวณได้จากแต่ละมาตรการที่ถูกใช้ในปี ค.ศ. 2030 นอกเหนือจากนโยบายในปัจจุบัน*

[4] การประมาณการนี้รวมถึงผลกระทบด้านสุขภาพจาก $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศที่สามารถคำนวณเป็นตัวเงินได้เท่านั้น ผลประโยชน์เพิ่มเติมอื่นๆ ได้รับการกล่าวถึงจากการลดมลพิษทางอากาศในครัวเรือนผ่านมาตรการการใช้เชื้อเพลิงสะอาดในการปรุงอาหาร

2.3 สภาพภูมิอากาศและผลประโยชน์ร่วมอื่นๆ

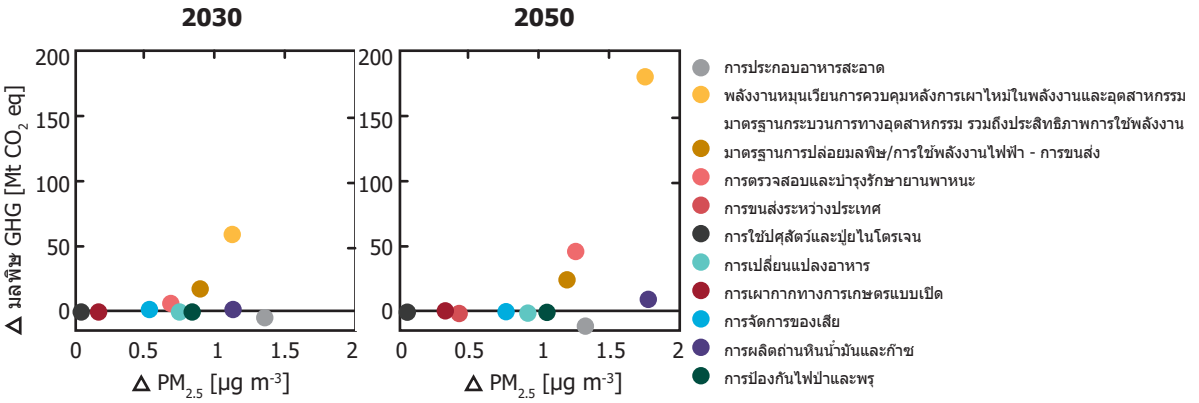
การศึกษานี้ได้ประเมินค่าการสูญเสียที่ประเทศไทยจะต้องประสบในอนาคตหากไม่มีการดำเนินการใดๆ เพิ่มเติม เนื่องจากภาระด้านสุขภาพที่เพิ่มขึ้นจากมลพิษทางอากาศ นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงผลประโยชน์ต่อคุณภาพอากาศ และสุขภาพในประเทศไทย ซึ่งสามารถแสดงออกผ่านการดำเนินการแก้ปัญหาอากาศเชิงรุก การนำแนวทางการแก้ปัญหาเพื่ออากาศบริสุทธิ์ 12 ข้อไปใช้นั้น มีแนวโน้มที่จะให้มีผลประโยชน์เพิ่มเติมอื่นๆ ตามมาอีกมากมาย นอกเหนือจากการลดการระบายมลพิษ และความเข้มข้นของสารมลพิษทางอากาศ ซึ่งรวมถึงผลประโยชน์ต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศผ่านการลดการระบายก๊าซเรือนกระจก แผนภาพ 11 แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของแนวทางการแก้ปัญหาแต่ละข้อในการลดการระบายก๊าซเรือนกระจก และเปรียบเทียบการลดความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ กับการลดการปล่อย CO_2 และ CH_4 (ในหน่วยการระบาย CO_2 เทียบเท่าโดยใช้ค่า GWP-100) จากการบังคับใช้แต่ละแนวทาง

ในปี ค.ศ. 2030 ศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใหญ่ที่สุดคือแนวทางที่เกี่ยวข้องกับภาคพลังงาน และภาคอุตสาหกรรม: การนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้ในภาคพลังงานพร้อมด้วยการควบคุมที่เข้มงวดในการระบายก๊าซเรือนกระจกหลังการเผาไหม้ ช่วยประหยัดการระบาย CO_2 เทียบเท่าเท่ากับ 60 Mt ขณะเดียวกันยังลดค่าเฉลี่ยการรับสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ต่อประชากร มากกว่า 1 ไมโครกรัม/ลูกบาศก์เมตร การเสริมสร้างมาตรฐานกระบวนการทางอุตสาหกรรมร่วมกับการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานที่เกี่ยวข้อง ยังมีประโยชน์อย่างมากในการลดการระบายก๊าซเรือนกระจก ในขณะที่ผลกระทบจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของรถยนต์มีเพียงเล็กน้อยในปี ค.ศ. 2030 เนื่องจากอัตราการหมุนเวียนของยานพาหนะที่ช้าลง แม้ว่าจะไม่ได้รับการพิจารณาในการวิเคราะห์นี้ แต่มีแนวโน้มว่าผลประโยชน์ที่เทียบเคียงได้สามารถบรรลุโดยนโยบายด้านอุปสงค์ต่อกรณีการขนส่งทางบก ซึ่งรวมถึงการปรับปรุงการขนส่งสาธารณะ เขตปลอดมลพิษ (ปลอดรถยนต์) แผนการจัดการความแออัด การพัฒนาทางจักรยานใหม่ และการจูงใจให้มีพัฒนาการเคลื่อนตัวในระบบการจราจรขนส่งเป็นต้น ในขณะเดียวกันนโยบายดังกล่าวอาจให้ประโยชน์ร่วมกันหลายประการ เช่น ลดความแออัด และเวลาที่เสียให้กับการจราจรที่ติดขัด ลดจำนวนอุบัติเหตุบนท้องถนน รวมถึงผลประโยชน์ร่วมด้านสุขภาพเพิ่มเติมจากการเดินทางที่มีความคล่องตัว

มาตรการที่มีศักยภาพสูงสุดในการลด $PM_{2.5}$ ในปี ค.ศ. 2030 เช่น การปรุงอาหารในบ้านเรือนโดยใช้เชื้อเพลิงสะอาด นำมาซึ่งผลกระทบด้านลบเล็กน้อยต่อการปล่อย CO_2 เนื่องจากการเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงชีวภาพ (ซึ่งให้พิจารณาว่ามีการระบาย CO_2 เป็นศูนย์ในคำนวณของเราภายใต้สมมติฐานว่าเชื้อเพลิงชีวภาพถูกผลิตได้อย่างยั่งยืน) เป็นก๊าซหุงต้ม เนื่องจากการปรุงอาหารโดยเชื้อเพลิงสะอาดเป็นประโยชน์อย่างสูงต่อเป้าหมายความยั่งยืนอื่นๆ จึงไม่ควรมีข้อโต้แย้งต่อการเปลี่ยนแปลงนี้ ตัวอย่างเช่น การปรุงอาหารโดยเชื้อเพลิงสะอาดยังช่วยลดภาระด้านสุขภาพจากมลพิษทางอากาศภายในอาคาร และช่วยให้บรรลุ SDGs หลายประการ เช่น การปรับปรุงความเท่าเทียมทางเพศ (SDG 5) เนื่องจากผู้หญิงจะต้องสัมผัสมลพิษทางอากาศภายในอาคารมากขึ้น และจะใช้เวลาทำอาหารโดยใช้เตาที่ไม่มีประสิทธิภาพ หรือเสียเวลาในการเก็บฟืนเพื่อใช้ในบ้านเรือนนานขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น การระบาย CO_2 ที่เพิ่มขึ้นระหว่างการเปลี่ยนผ่านสู่การปรุงอาหารโดยใช้เชื้อเพลิงที่สะอาดสามารถหลีกเลี่ยงได้โดยการเปลี่ยนไปใช้การปรุงอาหารด้วยไฟฟ้าโดยตรง แทนการใช้ก๊าซหุงต้ม หากใช้พลังงานหมุนเวียนเพื่อผลิตไฟฟ้า

การวิเคราะห์ที่นำเสนอในรายงานนี้มุ่งเน้นที่ผลประโยชน์ที่สามารถบรรลุได้ในระยะเวลาอันใกล้เป็นสำคัญซึ่งเป็นขอบเขตระยะเวลาของนโยบายคุณภาพอากาศโดยทั่วไป นโยบายทางสภาพภูมิอากาศที่กำหนดเป้าหมายระยะยาวและมาตรการการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องมักต้องใช้เวลานานกว่าจะนำไปบังคับใช้ได้อย่างเป็นรูปธรรม รูปภาพ 2.9 แสดงทั้งคุณภาพอากาศ และผลประโยชน์ร่วมของสภาพภูมิอากาศที่สามารถทำได้ในระยะเวลาอันใกล้ (ภายในปี ค.ศ. 2030) เช่นเดียวกับภายในปี 2050 เพื่อเน้นย้ำถึงผลประโยชน์ร่วมของการเปลี่ยนแปลงในระยะยาว มุมมองด้านเวลาที่นานขึ้นช่วยให้เห็นประโยชน์ร่วมกันของมาตรการบางอย่าง เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคการขนส่ง ซึ่งมีความก้าวหน้าค่อนข้างช้าเนื่องจากอัตราหมุนเวียนพาหนะในท้องถนน (รถยนต์เก่าเลิกใช้งาน และถูกแทนที่ด้วยรถยนต์ใหม่) และการปรับใช้พลังงานหมุนเวียนจำนวนมากในภาคพลังงาน และภาคอุตสาหกรรม ในทางกลับกัน การเพิกเฉยในภาคส่วนเหล่านี้ก็ถือว่าละเลยการลดการระบายก๊าซเรือนกระจกจำนวนมากเช่นกัน และทำให้มี 'ค่าการสูญเสียของการเพ'กเฉย' ในแง่ของการระบายก๊าซเกิดขึ้น ซึ่งอาจเชื่อมโยงกับต้นทุนทางการเงินหากมีการกำหนดราคาคาร์บอน

นโยบายด้านสภาพภูมิอากาศเองก็ให้ประโยชน์ร่วมกันต่อมลพิษทางอากาศ แม้ว่านโยบายเหล่านี้อาจไม่ได้สำรวจศักยภาพทั้งหมดที่มีอยู่ผ่านนโยบายคุณภาพอากาศ และการพัฒนาร่วมกัน



รูปภาพ 2.9 *ผลประโยชน์ร่วมของแต่ละมาตรการต่อการระบายก๊าซเรือนกระจก (CO_2 + CH_4) เมื่อมีการบังคับใช้อย่างเป็นรูปธรรมในปี ค.ศ. 2030 (ซ้าย) และ 2050 (ขวา)*

3. ข้อจำกัด

3.1 ฉากทัศน์และแนวทางการแก้ปัญหา

การวิเคราะห์ที่นำเสนอในรายงานนี้พัฒนาบนพื้นฐานของฉากทัศน์ที่พัฒนาสำหรับการประเมินทางออกสำหรับอากาศสะอาดในอาเซียน (Zusman et al. 2023) โดยจะขึ้นอยู่กับฉากทัศน์ที่มีอยู่ การพัฒนาฉากทัศน์ใหม่ที่สมบูรณ์แบบสำหรับการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลอง GAINS ไม่สามารถทำได้เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่ อย่างไรก็ตาม ฉากทัศน์ที่มีอยู่สะท้อนให้เห็นถึงภาพรวมที่หลากหลายเกี่ยวกับผลกระทบและคาดว่าจะครอบคลุมขอบเขตของนโยบายในประเทศที่มีศักยภาพ แท้จริงแล้วการทบทวนแผนผังนโยบายล่าสุดที่แสดงบริบทด้านการกำกับดูแล และแนวโน้มสำหรับประเทศไทย (Nikam et al., 2021) แสดงให้เห็นว่าสมมติฐานเกี่ยวกับนโยบายที่พิจารณาในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบันนั้นสมบูรณ์ และสอดคล้องกับกรอบกฎหมายที่มีอยู่ในประเทศไทยเป็นส่วนใหญ่ที่กล่าวถึงคุณภาพอากาศ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ แม้ว่านโยบายล่าสุดบางนโยบายที่ตัดสินใจแล้วว่าจะดำเนินการในปีต่อไปจะไม่ถูกรวมอยู่ในฉากทัศน์นโยบายในปัจจุบัน แต่ศักยภาพในการลดผลกระทบดังกล่าวจะถูกกำหนดในศักยภาพการลดผลกระทบเพิ่มเติมที่ประมาณการไว้ กรณีเดียวกันนี้ปรับใช้กับนโยบายที่วางแผนไว้ซึ่งแสดงในฉากทัศน์นโยบายที่แข็งกร้าว

การเปรียบเทียบผลการศึกษานี้กับการศึกษาที่มีอยู่เพียงเล็กน้อยเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยาก สำหรับประเทศไทยซึ่งมีการประมาณการผลกระทบต่อสุขภาพและผลประโยชน์ไว้ (Chavanaves et al., 2021; Wongpun, 2018; Chulabhorn Research Institute, 2018) เนื่องจากมีการดำเนินการเฉพาะในบางภูมิภาค (ระดับเมืองหรือจังหวัด) ของประเทศไทยเท่านั้น วิธีการในแต่ละการศึกษามีความแตกต่างกัน

ความละเอียดของแบบจำลองเริ่มต้นคือห้าปี และแม้ว่าการวิเคราะห์สามารถทำได้ในปีเดียวหรือแต่ละปี ชุดของฉากทัศน์ที่มีอยู่ไม่มีความละเอียดที่เพียงพอ การประเมินในการศึกษานี้มีเป้าหมายเพื่อแสดงให้เห็นถึงผลประโยชน์ (การค่าการสูญเสียของการเพิกเฉย) ในมุมมองระยะยาว ซึ่งสอดคล้องกับการตอบสนองโดยทั่วไปต่อการดำเนินการตามนโยบาย

3.2 การเข้าถึงและความน่าเชื่อถือของข้อมูล

การศึกษานี้มีข้อจำกัดหลายประการอันเนื่องมาจากข้อมูลที่มีอยู่ แบบจำลองที่ใช้ ตลอดจนทรัพยากรที่มีอยู่ คุณภาพ และผลลัพธ์ ซึ่งการประเมินขึ้นอยู่กับข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับอัตราการเสียชีวิต การเจ็บป่วย และค่าใช้จ่ายที่เป็นพื้นฐาน ขณะที่ชุดข้อมูลเริ่มต้นที่สร้างจากแหล่งข้อมูลระหว่างประเทศจะมีความถูกต้องทางวิทยาศาสตร์ แต่ไม่จำเป็นเสมอไปที่ข้อมูลเหล่านั้นจะสามารถแสดงถึงข้อมูลในประเทศไทยได้อย่างสมบูรณ์ (ข้อมูลในประเทศไทยดีกว่าอย่างชัดเจน) การประเมินอยู่บนพื้นฐานของการผสมผสานระหว่างข้อมูลในประเทศ และต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สำหรับค่าใช้จ่ายในการรักษาตัวในโรงพยาบาล และการทำงานในแต่ละวัน ซึ่งไม่สามารถเก็บข้อมูลในประเทศไทยได้

3.3 ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ จากแบบจำลอง

แม้ว่า GAINS จะจำลองการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นของ PM2.5 ได้ทั่วประเทศเป็นอย่างดี แต่ความเข้มข้นโดยเฉลี่ยจากแบบจำลองกลับมีค่าต่ำเกินไป สิ่งนี้น่าจะนำไปสู่การประเมินผลกระทบต่อสุขภาพ และต้นทุนความเสียหายที่ต่ำเกินไป โดยเทียบความแตกต่างใน Global Burden of Disease การประมาณการการเสียชีวิตจากสาเหตุ $PM_{2.5}$ นั้นจะต่ำกว่าเกือบ 2 เท่า

3.4 ต้นทุนค่าใช้จ่ายของการดำเนินการ

แม้ว่าการประเมินจะมุ่งเน้นไปที่ค่าการสูญเสียของการเพิกเฉย การประมาณการของต้นทุนการดำเนินการ (รวมทั้งนโยบายในปัจจุบัน เช่นเดียวกับการดำเนินการตามมาตรการบรรเทาผลกระทบเพิ่มเติม) ยังไม่ได้รับการกล่าวถึงในการประเมินนี้ และจะต้องมีการพูดคุยเพิ่มเติมกับผู้เชี่ยวชาญระดับประเทศเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และขยายขอบเขตการประเมินมาตรการ

แบบจำลอง GAINS คำนวณต้นทุนต่อปีสำหรับการดำเนินการตามมาตรการควบคุมมลพิษทางอากาศทางเทคนิค (‘end of pipe’) อย่างสม่ำเสมอ การประเมินในภาพรวมควรรวมถึงต้นทุนสำหรับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เช่น การลดคาร์บอนของภาคพลังงาน ซึ่งถูกวัดปริมาณในแบบจำลองระบบพลังงาน โดยทั่วไปจะใช้เป็นแหล่งที่มาของกรณีศึกษาจำลองการใช้พลังงานในแบบจำลอง GAINS ต้นทุนอื่นๆ เพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงไปสู่เศรษฐกิจที่มีมลพิษต่ำอาจรวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดหาพลังงานสะอาดสำหรับการปรุงอาหาร การปรับปรุงการจัดการสิ่งปฏิกูล การเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตพืชผลทางการเกษตร และต้นทุนในการบังคับใช้กฎหมายที่ได้รับการพิจารณา การประมาณการเบื้องต้นในแบบจำลอง GAINS ซึ่งพิจารณาเฉพาะทางเลือกการบรรเทาผลกระทบทางเทคนิค และการสรุปต้นทุนระหว่างประเทศ ระบุต้นทุนต่อปีสำหรับมาตรการเพิ่มเติม (กรณีนโยบายที่เข้มงวดเทียบกับนโยบายปัจจุบัน) ในระดับ 4-5 พันล้านเหรียญสหรัฐซึ่งมีค่าประมาณหนึ่งในสามของต้นทุนค่าการสูยเสียโดยประมาณของการเพิกเฉย อย่างไรก็ตาม ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ การประมาณการนี้ไม่รวมต้นทุนในการเปลี่ยนไปสู่การแบ่งปันพลังงานทดแทนที่สูงขึ้น ทางเลือกการบริโภคอาหาร ฯลฯ

โดยสรุปแล้ว ในแง่ของการประมาณการต้นทุนการดำเนินการ แบบจำลองและข้อมูลมีข้อจำกัดหลายประการ:

i. GAINS อ้างอิงตามข้อมูลระหว่างประเทศสำหรับข้อมูลค่าการสูญเสีย และไม่รวมปัจจัยในประเทศที่มีความเหมาะสม (แม้ว่าเทคโนโลยีการควบคุมมลพิษทางอากาศส่วนใหญ่จะมีการซื้อขายระหว่างประเทศ),

ii. GAINS ครอบคลุมเฉพาะค่าใช้จ่ายสำหรับมาตรการควบคุมมลพิษทางอากาศทางเทคนิคเท่านั้น ไม่ใช่ต้นทุนของระบบสำหรับการเปลี่ยนถ่ายพลังงาน การเปลี่ยนแปลงการบริโภคอาหาร ค่าใช้จ่ายสถาบัน ฯลฯ และ

iii. GAINS สมมติว่ามีการใช้เทคโนโลยีนั้นๆ แบบเต็มรูปแบบ แม้จะมีราคาแพงมาก ซึ่งน่าจะไม่ถูกพิจารณาในเชิงของความคุ้มค่าของการบังคับใช้เทคโนโลยี

3.5 ขอบเขตผลกระทบที่ได้รับการประเมิน

ช่วงของค่าการสูญเสียที่เป็นไปได้ในด้านผลกระทบซึ่งใช้สำหรับการวัดปริมา`ของ `ค่าการสูญเสียของการเพ'กเฉย' นั้นมีจำนวนมาก นอกเหนือจากค่าการสูญเสียจากการเสียชีวิตที่คำนวณได้ และค่าการสูญเสียทั่วไปสำหรับการเจ็บป่วยแล้ว ยังรวมถึงค่าการสูญเสียทางเศรษฐกิจระดับมหภาค และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ เช่น:

- การสูญเสียพืชผลที่เกี่ยวข้องกับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของก๊าซโอโซน (มลพิษ) ในบรรยากาศ
- ผลกระทบต่อระบบนิเวศจากมลพิษทางอากาศ (การตกสะสมของกำมะถัน และไนโตรเจน)
- ผลกระทบทางเศรษฐกิจระดับมหภาคจากการสูญเสียกำลังแรงงาน

การวิเคราะห์ในการศึกษานี้จำกัดเฉพาะค่าการสูญเสียจากการเสียชีวิต และการเจ็บป่วย และเฉพาะความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศเท่านั้น การรับสัมผัสกับมลพิษทางอากาศอื่นๆ เช่น NO_2 และโอโซน (O_3) นั้นสัมพันธ์กับผลกระทบต่อสุขภาพ และระบบนิเวศ และการสูญเสียพืชผลทางการเกษตรเนื่องจากความเข้มข้นของโอโซนที่สูงขึ้น การก่อตัวของโอโซนได้รับอิทธิพลจากการระบายก๊าซมีเทน ดังนั้นการแนะนำมาตรการที่ถูกวิเคราะห์ในการประเมินนี้อาจนำมาซึ่งประโยชน์ร่วมอื่นๆ อย่างไรก็ตาม สิ่งเหล่านี้มีความสำคัญในลำดับที่เล็กกว่าผลประโยชน์ที่เกี่ยวข้องกับการลดฝุ่นละอองและไม่ได้นำมารายงานไว้ในที่นี้

ผลกระทบจากการตกสะสมของกำมะถัน และไนโตรเจน เช่น ฝนกรด และกระบวนการยูโทรฟิเคชันของระบบนิเวศอาจมีนัยสำคัญ และมาตรการที่ถูกวิเคราะห์ในการประเมินจะนำมาซึ่งการระบาย SO_2, NO_x, NH_3 ที่ลดลง ส่งผลให้การตกสะสมลดลงตามไปด้วย และนำไปสู่การฟื้นตัวของระบบนิเวศบางส่วนในระยะยาว อย่างไรก็ตาม การขาดชุดข้อมูลที่สอดคล้องกันเกี่ยวกับระบบนิเวศที่มีความอ่อนไหวทั่วทั้งภูมิภาค ตลอดจนการประเมินค่าการสูญเสียสำหรับผลกระทบที่เกี่ยวข้องยังไม่เป็นจุดสำคัญที่ทำให้มีการวิเคราะห์ดังกล่าว

สุดท้ายนี้ การประเมินผลกระทบ และผลประโยชน์ของเศรษฐกิจระดับมหภาคโดยใช้แบบจำลองเศรษฐกิจระดับมหภาคนั้น อยู่นอกเหนือทรัพยากรที่มีอยู่สำหรับการศึกษานี้ และจำเป็นต้องอาศัยทีมงานที่มีส่วนร่วมในสร้างแบบจำลองทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้องพร้อมด้วยเครื่องมือ และข้อมูลที่เพียงพอ

4. บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ประเทศไทยมีภาระด้านสุขภาพจากการสัมผัสกับ $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศอยู่ในเกณฑ์ที่สูง ทั้งจากการเสียชีวิต และการเจ็บป่วย ค่าการสูญเสียและผลกระทบที่เกี่ยวข้องนี้มีมาก การบังคับใช้กฎหมายที่ผ่านร่างออกมาแล้วอย่างมีประสิทธิภาพจะมีความสำคัญในการชะลอหรือหยุดแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของการระบายมลพิษ และผลกระทบจากมลพิษทางอากาศ อย่างไรก็ตาม หากไม่มีการนำนโยบายอื่นๆเพิ่มเติมมาใช้ การลดลงของผลกระทบต่างๆ คาดว่าจะไม่เกิดขึ้น

จากการประเมินโดยใช้รายงานทางออกสำหรับอากาศสะอาดในอาเซียน (Zusman et al, 2023) การวิจัยนี้ระบุศักยภาพในการบรรเทาผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งประกอบด้วยการดำเนินการทางเทคนิค และไม่ใช่ทางเทคนิคที่ได้รับการพิสูจน์แล้ว ซึ่งหากมีการบังคับใช้อย่างเต็มที่ จะช่วยลดมลพิษทางอากาศได้อย่างมีนัยสำคัญ และส่งผลถึงผลประโยชน์ร่วมต่อสภาพภูมิอากาศในระยะยาว

การขาดการดำเนินการเพิ่มเติมซึ่งสามารถแสดงถึง 'ค่าการสูญเสียของการเพิกเฉย' ซึ่งได้รับการประมาณการไว้ในการศึกษานี้ โดยพิจารณาจากอัตราการเสียชีวิต และการเจ็บป่วยเนื่องจากมลพิษทางอากาศ ค่าการสูญเสียดังกล่าวอยู่ที่ประมาณ 12.5 พันล้านเหรียญสหรัฐในปี ค.ศ. 2030 โดยค่าการสูญเสียส่วนใหญ่เกี่ยวข้องกับการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร การแนะนำนโยบายที่กระตุ้นมาตรการบรรเทาผลกระทบเพิ่มเติมที่กล่าวถึงอย่างรวดเร็ว จะส่งผลให้เกิดผลประโยชน์อย่างมีนัยสำคัญที่มีค่าการสูญเสียที่ต่ำกว่ามาก แม้ว่ามาตรการดังกล่าวจะไม่ได้ประมาณการทั้งหมดก็ตาม การประมาณการเบื้องต้นของต้นทุนการบังคับใช้มาตรการทางเทคนิคบ่งชี้ว่าในปี ค.ศ. 2030 ต้นทุนเหล่านี้จะน้อยกว่าหนึ่งในสามของค่าการสูญเสียของการเพิกเฉย

การประเมินสนับสนุนการดำเนินการ และการบังคับใช้นโยบายที่มีอยู่แล้วในประเทศไทย แสดงให้เห็นว่าขอบเขตที่เป็นไปได้สำหรับการบรรเทาผลกระทบที่พัฒนาขึ้นในการวิจัยนี้สอดคล้องกับนโยบายล่าสุดในประเทศไทย แม้ว่าจะการประเมินจะครอบคลุมมากกว่าทั้งในแง่ของความเร็ว และประสิทธิภาพของการดำเนินการ การศึกษานี้เป็นหนึ่งในการศึกษาที่ดำเนินการโดยกรมควบคุมมลพิษของประเทศไทยเพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการจัดการปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การจัดการคุณภาพอากาศ และการพัฒนาที่ยั่งยืนในองค์รวม ตัวอย่างเช่น การประเมินมลพิษทางอากาศและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยภายใต้ the Supporting National Action Planning (SNAP) ที่เริ่มโดย Climate and Clean Air Coalition (CCAC) ได้ทำการศึกษามาตรการต่างๆ เพื่อลดปริมาณการระบายมลพิษทางอากาศ และก๊าซเรือนกระจกในประเทศไทย ซึ่งผลลัพธ์ก็แสดงเป็นในทิศทางเดียวกันกับการศึกษานี้ที่การจัดการคุณภาพอากาศที่แข็งกร้าว ส่งผลต่อคุณภาพของสุขภาพประชาชนที่ดีขึ้น ผ่านการลดลงของมลพิษในอากาศ และลดการระบายก๊าซเรือนกระจก และมลพิษช่วงชีวิตสั้นที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (CCAC, 2023)

นโยบายหลักที่นำมาซึ่งผลประโยชน์สูงสุดรวมถึง

- การเปลี่ยนไปใช้เชื้อเพลิงสะอาดในการปรุงอาหารอย่างสมบูรณ์ โดยมุ่งตรงไปที่การใช้ไฟฟ้า
- ภาคพลังงาน และอุตสาหกรรม: เร่งการเปลี่ยนไปสู่การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนร่วมกับการควบคุมการระบายมลพิษทางอากาศแบบติดตั้งอุปกรณ์ลดมลพิษ, การใช้พลังงานไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม, เพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตที่ประหยัดพลังงาน
- การใช้ยานพาหนะพลังงานไฟฟ้า, การควบคุมการระบายมลพิษที่เข้มขึ้นสำหรับเครื่องยนต์สันดาปที่มีใช้อยู่
- การจัดการขยะอย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันการเผาขยะในที่โล่ง
- การบังคับใช้กฎหมายห้ามเผาเศษวัสดุทางการเกษตรอย่างเข้มงวด เพิ่มการป้องกันการเผาป่า และไฟป่า

การดำเนินการเพิ่มเติมที่ขับเคลื่อนโดยเชื่อมโยงกับความสูญเสียด้านสุขภาพจะนำมาซึ่งประโยชน์ร่วมด้านสภาพภูมิอากาศที่สำคัญ (การลดการระบายก๊าซเรือนกระจก) ซึ่งจะเป็นปัญหาที่ใหญ่ขึ้นในระยะยาว โดยการลด CO_2 และ CH_4 อย่างมีนัยสำคัญภายในปี ค.ศ. 2050 หนึ่งในมาตรการที่สำคัญที่สุดที่ให้ผลประโยชน์ระยะยาวเหล่านี้ ได้แก่ การส่งเสริมการจ้างงานที่เพิ่มขึ้นในภาคพลังงานทดแทน การควบคุมขนส่งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า และนโยบายการจัดการสิ่งปฏิกูล

ภาคผนวก การประเมินค่าการสูญเสียของการเพิกเฉยต่อการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศในประเทศไทย

ภาคผนวก 1 วิธีการดำเนินการและการรวบรวมข้อมูล

ภาพรวมการศึกษา

การคำนวณค่าการสูญเสียจากการเสียชีวิต และการเจ็บป่วยในรายงานนี้ใช้หลักการตามกรอบการประเมินความเสี่ยงเชิงเปรียบเทียบ (comparative risk assessment framework) ซึ่งหมายความว่าจากค่าการสูญเสียจากโรคทั้งหมด (ในแง่ของการเสียชีวิตหรือการเจ็บป่วย) บางส่วนของค่าการสูญเสียส่วนหนึ่งเกิดจากการรับสัมผัสกับค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ดังนั้นการตัวแปรที่มีความสำคัญต่อการประเมินค่าความสูญเสียได้แก่ ค่าความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ การกระจายตัวของจำนวนประชากร ฟังก์ชันของความเข้มข้นและการตอบสนอง (concentration-response functions: CRFs) สำหรับการประเมินผลลัพธ์ของโรคและผลกระทบที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามข้อมูลค่าการสูญเสียเฉพาะต่อหน่วยยังมีความจำเป็นเพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น

รูปภาพ 1 แสดงแผนภาพสำหรับข้อมูลและการคำนวณในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ GAINS (Greenhouse gas-Air Pollution Interactions and Synergies) (Amann et al. 2011) สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ GAINS เป็นเครื่องมือหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) โดยการประยุกต์ใช้ข้อมูลการพัฒนาเศรษฐกิจโครงสร้าง ศักยภาพในการควบคุมและต้นทุนของแหล่งกำเนิดมลพิษ การก่อตัว และการกระจายของสารมลพิษในชั้นบรรยากาศและการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากมลพิษ ข้อมูลเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในการประเมินการระบายฝุ่น $PM_{2.5}$ และสารมลพิษตั้งต้น (precursors) เพื่อคำนวณความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ ดังที่จะมีการอธิบายเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบต่อสุขภาพเพิ่มเติมไว้ในหัวข้อที่ 1.2

ค่าความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ จะถูกนำมาใช้ในการคำนวณผลกระทบทางสุขภาพในเชิงการเสียชีวิตและการเจ็บป่วย ผลกระทบทั้งหมดได้แสดงไว้ใน กล่องข้อมูลที่ 1 แบบจำลอง GAINS ทำการประเมินค่าการสูญเสียทางสุขภาพในรูปของการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรและปีของการสูญเสียสุขภาวะ (premature death and YLL) ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการประเมินที่ใช้โดย Global Burden of Disease (GBD) (Murray et al. 2020). ในการประเมินนี้ การประเมินผลกระทบได้ขยายออกเพื่อครอบคลุมการเจ็บป่วยเกี่ยวกับระบบหัวใจและหลอดเลือด และปอดอุดกั้นเรื้อรัง ดังนั้นข้อมูลความเข้มข้นและการตอบสนองสำหรับการเจ็บป่วยต่างๆ ได้ถูกพัฒนาขึ้นและกำลังอยู่ภายใต้การตรวจสอบในการตีพิมพ์เอกสารทางวิชาการ ข้อมูลการเจ็บป่วยและการเสียชีวิตทั้งหมดในการศึกษานี้ถูกรวบรวมไว้ในกล่องข้อความที่ 1 และคำอธิบายของค่าความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและการตอบสนองจะนำเสนอในหัวข้อที่ 1.4

สำหรับผลกระทบที่เกิดขึ้นของการเสียชีวิตหรือการเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับโรคแต่ละชนิด (d) เราจะคำนวณอัตราส่วนของภาระการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้องกับประชากร (PAF) ของภาระโรคทั้งหมด โดยอิงตามการกระจายตัวของประชากรที่ได้รับผลกระทบจากความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ ได้จากสมการที่ 1

$$PAF_{da} = \frac{\sum_n pop_n \cdot (RR_{nda} - 1)}{\sum_{n'} pop_{n'} \cdot RR_{n'da}} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

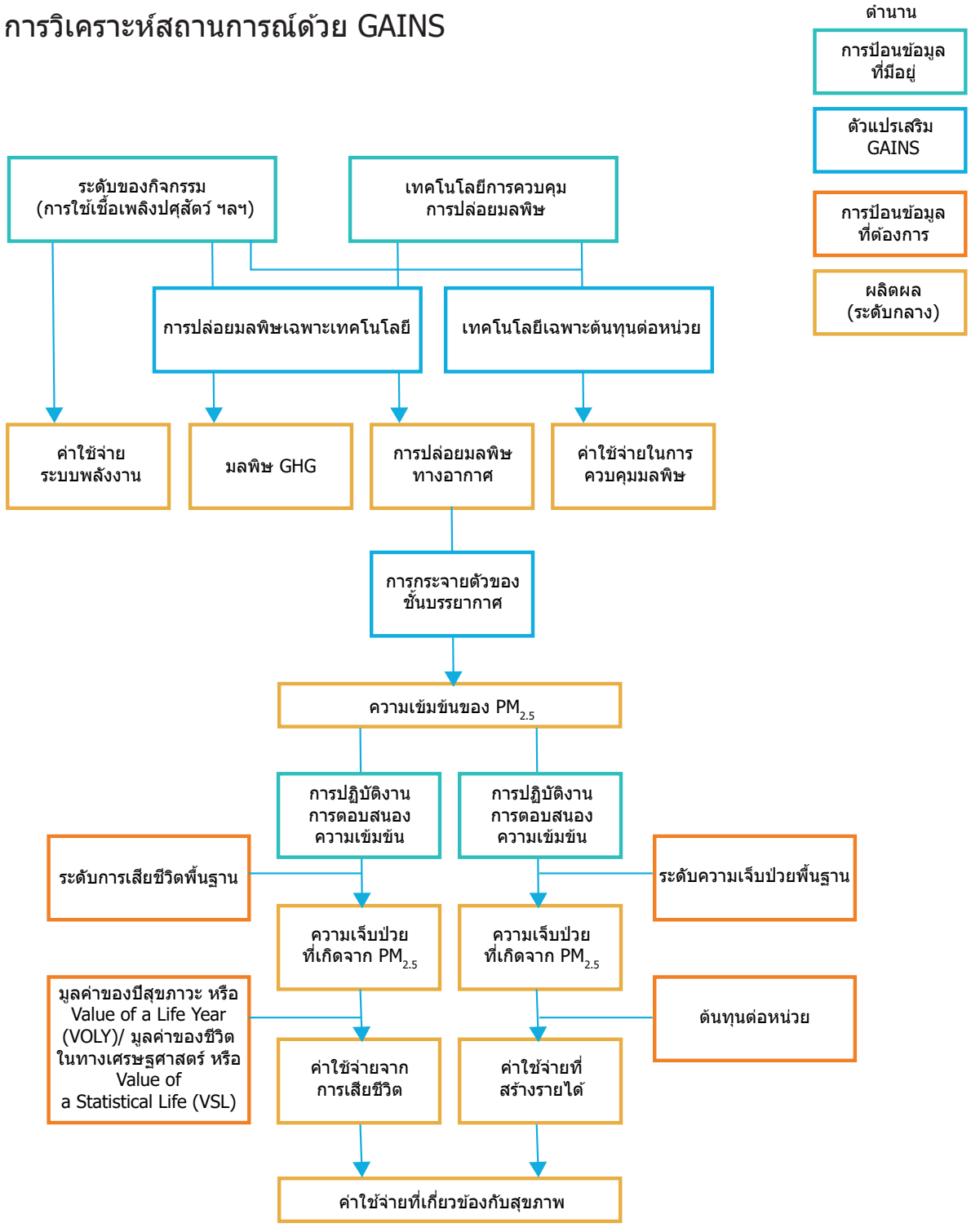
โดยที่ PAFda คือ ความเสี่ยงสัมพัทธ์ของค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$

n คือ ระดับความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$

popn คือ จำนวนประชากรที่ได้รับสัมผัสกับมลพิษดังกล่าว

RR คือ ค่าที่ได้รับจากการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการเสียชีวิตและการเจ็บป่วยจากแบบจำลอง CRFs

ค่า RR และ PAF จะแปรผันตามช่วงอายุ (a) ในกรณีที่เป็นผลลัพธ์ของโรคที่ที่ไม่เกี่ยวข้องกับอายุ ตัวแปร (a) สามารถถูกละทิ้งจากสมการที่ 1 ได้



รูปภาพ 1 *แผนภาพแสดงการเคลื่อนถ่ายข้อมูลในแบบจำลอง GAINS เพื่อประเมินค่าการสูญเสียของฉากทัศน์หนึ่ง (มาตรการในปัจจุบันหรือมาตรการแบบแข็งกร้าว) กล่องสีส้มแสดงข้อมูลที่ต้องการจากหน่วยงานในพื้นที่*

กรณีที่เกี่ยวข้องกับการเสียชีวิต (c) การรักษาตัวในโรงพยาบาล การรักษาตัวในห้องฉุกเฉิน หรือวันที่ถูกจำกัดกิจกรรมกลางแจ้ง สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$c_{da} = PAF_{da} \cdot c_{BL,da} \qquad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่ $c_{BL,da}$ คือ จำนวนเคสที่เกิดจากบนเงื่อนไข d ซึ่งการคำนวณเกี่ยวกับการเสียชีวิตจะเกี่ยวข้องกับอายุ อัตราการเสียชีวิตในกลุ่มอายุที่มีช่วงห่างกัน 5 ปี ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลจาก GDB โดยใช้เพื่อแสดงข้อมูล GBD ในปี คศ 2019 (Murray et al. 2020) ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลระดับชาติของอัตราการเจ็บป่วยจะถูกดำเนินการประมวลผลจากชุดข้อมูลที่มีอยู่ในระดับนานาชาติและได้ถูกดำเนินการอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 1.5 โดยตั้งสมมติฐานว่าอัตราการเกิดเหตุการณ์จะคงที่ในอนาคตและการคาดการณ์จำนวนประชากรเป็นไปตาม United Nations (UN) World Population Prospects 2017 (United Nations [UN], 2017)

กล่องข้อความที่ 1: สาเหตุของการเสียชีวิตและเจ็บป่วยที่พิจารณาในการศึกษานี้

สาเหตุของการเสียชีวิตที่พิจารณาในการศึกษานี้:

- โรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง (Chronic obstructive pulmonary disease)
- โรคหัวใจขาดเลือด (Ischemic heart disease)
- โรคหลอดเลือดสมอง (Stroke)
- โรคมะเร็งปอด (Lung cancer)
- โรคติดเชื้อเฉียบพลันระบบหายใจส่วนล่าง (Acute lower respiratory infections)
- โรคเบาหวานชนิดที่ 2 (Type 2 diabetes)

สาเหตุของการเจ็บป่วยที่พิจารณาในการศึกษานี้:

- การเข้ารักษาตัวในห้องฉุกเฉินเนื่องจากโรคหืด (Asthma-related emergency room visits)
- การเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular hospital admissions (pre/post 65 years))
- การเข้ารักษาตัวในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคทางเดินหายใจ (Respiratory hospital admissions)
- จำนวนวันที่ไม่สามารถทำงานได้เนื่องจากโรคทางเดินหายใจ (Respiratory restricted activity days (working age))

จากการเสียชีวิตก่อนเวลา ตัวเลขปีสูญเสียสุขภาวะจากการเสียชีวิต (YLLs) ถูกคำนวณโดยการคูณจำนวนการเสียชีวิตที่เกิดขึ้นด้วยอายุที่เหลืออยู่ในขณะที่เสียชีวิต โดยวิธีการดังกล่าว จะมีข้อจำกัดของอายุขัยที่แตกต่างกันของแต่ละประเทศ แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการอื่นที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ เช่น Global Burden of Disease (GBD) ใช้อายุที่เหลืออยู่ในชีวิตจากประเทศที่มีอายุขัยที่สูงสุด (อาทิ ประเทศญี่ปุ่น) ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำให้ได้ค่าตัวเลขปีสูญเสียสุขภาวะจากการเสียชีวิตที่สูงขึ้น

การคำนวณต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบขึ้นอยู่กับต้นทุนต่อหน่วย (ucd) สำหรับผลลัพธ์ของโรค (d) ที่คูณด้วยค่าความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ สำหรับผลลัพธ์ของค่า cd แต่ละค่า ดังสมการ

$$cost_d = c_d \cdot uc_d \qquad \text{สมการที่ 3}$$

สำหรับการประเมินมูลค่าของการเสียชีวิต เราสามารถใช้ค่ามูลค่าชีวิตเชิงสถิติ (VSL) หรือ มูลค่าปีชีวิตเชิงสถิติ (VOLY) ได้ สำหรับค่ามูลค่าชีวิตเชิงสถิติ จำเป็นต้องคำนวณร่วมกับจำนวนการเสียชีวิตที่เกี่ยวข้อง ในขณะที่มูลค่าปีชีวิตเชิงสถิติจะถูกนำมาใช้ร่วมกับตัวเลขปีสูญเสียสุขภาวะจากการเสียชีวิต สำหรับกรณีที่ไม่มีข้อมูลในระดับท้องถิ่นเพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุนต่อหน่วยจะถูกดำเนินการคำนวณจากชุดข้อมูลระดับนานาชาติ ดังที่ถูกอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 1.6

การประเมินผลกระทบด้านสุขภาพและต้นทุนของผลกระทบขึ้นอยู่กับนิยามของมาตรการการลดผลกระทบที่ได้อธิบายไว้ในรายงานเล่มหลักในตารางที่ 1 ในขณะที่แบบจำลอง GAINS ใช้หาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความเข้มข้นในบรรยากาศกับการระบายฝุ่น $PM_{2.5}$ แต่อย่างไรก็ตามฟังก์ชันความเสี่ยงต่อการเสียชีวิต เป็นฟังก์ชันที่ไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ของมาตรการที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับลำดับความสำคัญในการบังคับใช้มาตรการต่างๆ เพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อน การศึกษาได้ดำเนินการหาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างความเข้มข้นของฝุ่น $PM_{2.5}$ และผลลัพธ์ของสุขภาพแต่ละรายการตามความเข้มข้นและผลกระทบต่อสุขภาพที่ได้รับภายใต้ฉากทัศน์นโยบายปัจจุบันและฉากทัศน์นโยบายแข็งกร้าว

มลพิษและความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ

การคำนวณการระบายสารมลพิษของภาคส่วนต่างๆ ด้วยการประยุกต์ใช้ข้อมูลกิจกรรม ค่าสัมประสิทธิ์การระบายสารมลพิษแบบไม่มีการควบคุม ประสิทธิภาพของการบำบัดสารมลพิษด้วยเทคโนโลยี และการบังคับใช้มาตรการ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$E_{i,p} = \sum_k \sum_m A_{i,k} ef_{i,k,m,p} \, x_{i,k,m,p} \qquad \text{สมการที่ 4}$$

โดยที่:

i, k, m, p คือ พื้นที่ศึกษา ประเภทของกิจกรรม มาตรการการลดมลพิษ และประเภทของมลพิษ ตามลำดับ

$E_{i,p}$ คือ สารมลพิษทางอากาศ p (SO_2, NO_x, Non-methane volatile organic compound (NMVOC), NH_3, $PM_{2.5}$) จากแหล่งกำเนิดที่ต่างกัน (i) รวมทั้งสารมลพิษทางอากาศที่เกี่ยวข้องกับก๊าซเรือนกระจก (GHGs - CO_2, CH_4, N2O)

$A_{i,k}$ คือ กิจกรรมที่เกิดขึ้นประเภท k (เช่น ปริมาณการใช้ถ่านหินในโรงไฟฟ้า) ในแหล่งกิจกรรม (i)

$ef_{i,k,m,p}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การระบายมลพิษประเภท (p) สำหรับประเภทกิจกรรม (k) ในแหล่งกิจกรรม (i) หลังจากใช้มาตรการควบคุม (m)

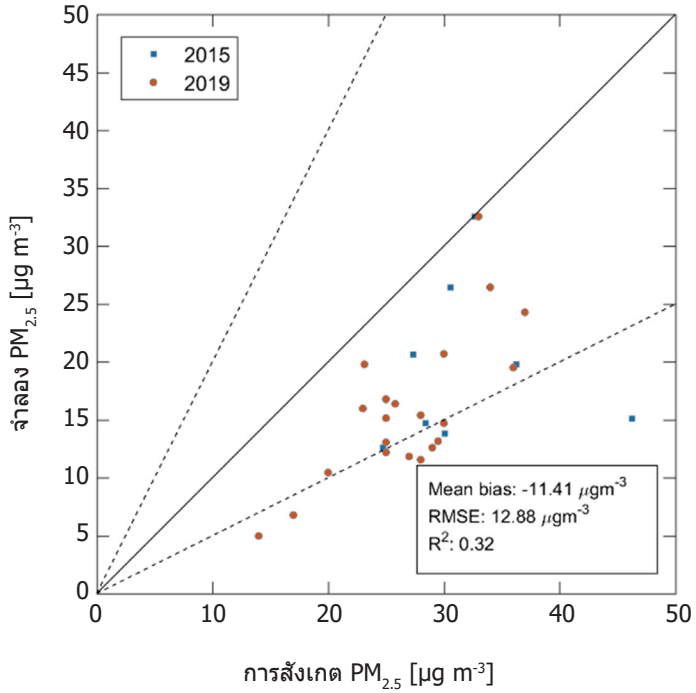
$x_{\mathrm{i,k,m,p}}$ คือ สัดส่วนของประเภทกิจกรรมทั้งหมดประเภท (k) ในพื้นที่ (i) ซึ่งใช้มาตรการควบคุม (m) สำหรับสารก่อมลพิษ (p)

สำหรับพื้นที่ศึกษา GAINS เป็นแบบจำลองที่สามารถระบุปริมาณการระบายสารมลพิษทางอากาศในระดับภาคส่วนย่อยของเอเชีย ในประเทศไทย แบบจำลอง GAINS ถูกแบ่งออกเป็น 5 ภูมิภาค ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ภาคกลาง ภาคใต้ ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การคำนวณความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศแบบจำลอง GAINS ใช้การประมาณเชิงเส้น ของ EMEP Chemistry Transport Model (Simpson et al. 2012) ตามที่อธิบายไว้ใน the Supplementary Information ของเอกสาร Amann และคณะ (2020). ความเข้มข้นของ $PM_{2.5}$ คำนวณบนกริดที่มีความละเอียดประมาณ 0.1° (ประมาณ 10x10 กม.) และซึ่งสอดคล้องกับระดับความเข้มข้นของมลพิษในเมือง ที่ไม่ใช่จุดที่มีความเข้มข้นของมลพิษสูงในพื้นที่

การตรวจสอบความถูกต้องของความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศ

รูปภาพ 2 แสดงการเปรียบเทียบความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ของแบบจำลองในปี 2558 กับข้อมูลความเข้มข้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ จากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศของกรมควบคุมมลพิษ ในปี 2558 และข้อมูลปี 2564 ถูกดำเนินการรวบรวมจากฐานข้อมูลคุณภาพอากาศขององค์การอนามัยโลก (WHO Ambient Air Quality Database) การนำข้อมูลมาใช้เฉพาะสถานีที่มีข้อมูลครอบคลุมทุกช่วงเวลามากกว่าร้อยละ 75 เพื่อใช้ในการตรวจสอบข้อมูล แบบจำลอง GAINS สามารถประเมินความแปรปรวนของความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ได้ดี แต่จากการประเมินพบว่า ความเข้มข้นทั้งหมดต่ำกว่าค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 40 ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากการประเมินการระบายสารมลพิษทางอากาศที่ต่ำเกินไป และมีแหล่งข้อมูลที่ขาดหายที่ไม่ได้ถูกระบุในการคำนวณการระบายสารมลพิษทางอากาศ หรือความละเอียดของกริดที่ไม่เพียงพอของแบบจำลอง นอกจากนี้ สถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ อาจจะได้รับผลกระทบจากสภาพแวดล้อม เช่น การจราจรหนาแน่นรอบสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศ ซึ่งแบบจำลอง GAIN ที่ความละเอียด 10 ตารางกิโลเมตร ไม่สามารถสะท้อนปัญหาดังกล่าวได้ เนื่องจากความละเอียดที่ต่ำเกินไป



รูปภาพ 2 *การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง GAINS ของปี 2558 และปี 2562*

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและการตอบสนอง (concentration-response functions: CRFs)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นและการตอบสนอง (CFRs) ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลจากการศึกษาที่ผ่านมาของการศึกษาด้านผลลัพธ์ของการระบาดวิทยา ซึ่งสาเหตุของการเสียชีวิตและเจ็บป่วยได้ถูกเลือกตามเครื่องมือ CaRBonH tool (Spadaro, Kendrovski and Martinez, 2018) การประเมินนี้ยังไม่ได้รับการเผยแพร่ เนื่องจากปัจจุบันอยู่ในระหว่างตีพิมพ์ (Ru et al.) ผลลัพธ์ที่ดำเนินการใช้ประเมินได้แก่

- ผู้ป่วยเข้าห้องฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับโรคหืด
- ผู้ป่วยเข้าโรงพยาบาลเกี่ยวกับโรคหัวใจและหลอดเลือด (ก่อน/หลังอายุ 65 ปี)
- ผู้ป่วยเข้าโรงพยาบาลเกี่ยวกับโรคทางเดินหายใจ
- วันที่จำกัดกิจกรรมทางเดินหายใจ (ช่วงอายุทำงาน)

นอกจากนี้ยังมีการพัฒนา CRFs สำหรับผู้ป่วยเข้าโรงพยาบาลเกี่ยวกับหอบหืด อาการจากอุดกั้นทางเดินหายใจในเด็ก และการเกิดโรคสมองเสื่อมโดย Ru et al. อย่างไรก็ตามผลลัพธ์เหล่านี้ไม่ได้ถูกนำมาใช้ในการศึกษานี้

Ru et al. ได้พัฒนา CRFs ออกแบบเป็นสองรุ่น โดยใช้แบบจำลองที่เป็นการถดถอยแบบเชิงเส้นแบบ log (log-linear regres-sion) และไม่ใช่เชิงเส้น (non-linear regression) เพื่อให้เข้ากับการศึกษาที่มีอยู่ การศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลอง log-linear เนื่องจากการประมาณประโยชน์จากการดำเนินการใช้มาตรการแต่ละอันต้องผ่านขั้นตอนการเชิงเส้น ดังนั้น CRFs แบบจำลอง log-linear มีความเหมาะสมมากกว่า

สำหรับการใช้การประเมินแบบ log linear ของ CRFs มีการใช้ความสัมพันธ์:

$$RR\ (PM) = \exp\ (\beta \cdot PM)$$

โดยที่ค่า β มาจากแบบจำลองที่เป็นการถดถอยแบบเชิงเส้นแบบ log ดังนี้

ผู้ป่วยเข้าห้องฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับโรคหืด	β = 0.0034/μg m^{-3}
ผู้ป่วยเข้าโรงพยาบาลเกี่ยวกับโรคหัวใจและหลอดเลือด (ก่อนอายุ 65 ปี)	β = 0.0009/μg m^{-3}
ผู้ป่วยเข้าโรงพยาบาลเกี่ยวกับโรคหัวใจและหลอดเลือด (หลังอายุ 65 ปี)	β = 0.0013/μg m^{-3}
ผู้ป่วยเข้าโรงพยาบาลเกี่ยวกับโรคทางเดินหายใจ	β = 0.0013/μg m^{-3}
วันที่จำกัดกิจกรรมทางเดินหายใจ (ช่วงอายุทำงาน)	β = 0.0102/μg m^{-3}

อัตราการป่วยอ้างอิง

ความน่าเชื่อถือของข้อมูลการประเมินขึ้นอยู่กับข้อมูลอัตราอ้างอิงของการเจ็บป่วยและการเสียชีวิต ในขณะที่ข้อมูลการเสียชีวิตโดยช่วงอายุต่างๆ สามารถใช้ได้จากข้อมูล Global Burden of Disease Results Tool (https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/) ซึ่งสอดคล้องกับ GBD 2019 assessment (Vos et al. 2020) ข้อมูลการเจ็บป่วยในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลแค่บางส่วนที่มีในข้อมูลระดับชาติ (หัวข้อ 1.5.1) สำหรับข้อมูลที่ไม่มีในข้อมูลระดับชาติ การศึกษานี้ประเมินข้อมูลที่หายไปจากข้อมูลระดับนานาประเทศตาที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 1.5.2

ข้อมูลระดับชาติ

ข้อมูลการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลตามชนิดของโรคในปี 2562 ในการศึกษานี้ใช้ข้อมูลจาก Health Data Center (HDC) สังกัดกระทรวงสาธารณสุข ข้อมูลนี้ใช้สำหรับปรับแก้ข้อมูลการเจ็บป่วยในการศึกษานี้ที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารักษาในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคหัวใจและหลอดเลือดและระบบทางเดินหายใจ โดยครอบคลุมแค่ข้อมูลการวิเคราะห์โรคเบื้องต้นสำหรับการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาล ข้อมูลการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลที่เกี่ยวข้องกับโรคหืดถูกประเมินจากข้อมูลการเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาลที่เกี่ยวกับโรคหืดและปรับด้วยข้อมูลสัดส่วนการรับการรักษาในห้องฉุกเฉินกับการเข้ารักษาพยาบาล

อัตราการเกิดโรคในสถานการณ์อ้างอิง: ค่าประมาณการเริ่มต้น

การรวบรวมข้อมูลเจ็บป่วยในสถานการณ์อ้างอิงมักมีความยากลำบากในการเข้าถึงข้อมูล ดังนั้นการศึกษาได้ประมาณค่าเริ่มต้นจากแหล่งข้อมูลระดับโลก โดยผลลัพธ์ของโรคอาทิ การเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลและการเข้ารักษาตัวในห้องฉุกเฉิน ซึ่งเป็นผลมาจากอัตราการเกิดโรคพื้นฐานและปัจจัยอื่นๆ โดยที่ปัจจัยเหล่านั้น จะถูกนำมาพิจารณาว่าเกี่ยวข้องกับโรคที่เกิดขึ้นและได้เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลหรือรักษาห้องฉุกเฉินหรือไม่ ดังนั้น เราได้คำนวณข้อมูลอัตราการเกิดโรคในสภาวะฐานของแต่ละประเทศโดยอิงตามอัตราการเป็นโรคพื้นฐานและปรับค่าด้วยอัตราการเป็นโรคพื้นฐานเบื้องต้นที่รายงานอยู่ในแหล่งที่มีข้อมูลที่มี

การศึกษานี้ได้รับข้อมูลอัตราการเป็นโรคพื้นฐาน จาก GBD 2019 (Global Burden of Disease Collaborative Network, 2021) ดังนี้:

ผลลัพธ์ของการเป็นโรคหรือเจ็บป่วย	ข้อระบุที่เกี่ยวข้องกับการเป็นโรค (GBD 2019)
การเข้าห้องฉุกเฉิน (ERV) สำหรับผู้ประชากรทั้งหมดที่เป็นโรคหืด	อัตราการเป็นโรคหอบหืด (>=20)
การรับเข้าโรงพยาบาลสำหรับผู้ใหญ่อายุตั้งแต่ 20 ปีขึ้นไปเนื่องจากโรคหืด	อัตราการเป็นเนื่องจากโรคหอบหืด(>=20)
การรับเข้าโรงพยาบาลสำหรับเด็กอายุต่ำกว่า 20 ปีเนื่องจากโรคหืด	อัตราการเป็นเนื่องจากโรคหอบหืด(<20)
การรับเข้าโรงพยาบาลที่เกี่ยวกับโรคหัวใจสำหรับผู้ใหญ่อายุต่ำกว่า 65 ปี	อัตราการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด (<70)
การรับเข้าโรงพยาบาลที่เกี่ยวกับโรคหัวใจสำหรับผู้ใหญ่อายุ 65 ปีขึ้นไป	อัตราการเป็นโรคหัวใจและหลอดเลือด (>=70)
การรับเข้าโรงพยาบาลที่เกี่ยวกับโรคทางเดินหายใจสำหรับประชากรทุกช่วงอายุ	อัตราการเป็นโรคทางเดินหายใจเรื้อรังในทุกช่วงอายุ

ข้อมูลสำหรับแต่ละประเทศได้รับการรวบรวมในปี 2558 จาก GBD Results Tool (https://vizhub.healthdata.org/gbd-results/)

ข้อมูลสถิติโดยตรงของตัวบ่งชี้การเป็นโรคที่เกี่ยวข้องในการศึกษานี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลของประเทศสหรัฐอเมริกาจากฐานข้อมูลออนไลน์ HCUPnet (AHRQ 2022) ข้อมูลดังกล่าวได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างโรคที่เกี่ยวข้องและสาเหตุของการเกิดโรค หลังจากนั้นอัตราส่วนจะถูกนำไปปรับใช้ในประเทศไทย จากการปรับข้อมูลทำให้ผลลัพธ์มีเงื่อนไขจากสมมุติฐานดังกล่าว และเกิดความสอดคล้องและเป็นวิธีการศึกษาเดียวกันทั่วโลกและประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากทราบดีว่า การเข้าถึงการรักษาในโรงพยาบาลและห้องฉุกเฉิน เป็นเรื่องที่ยากและง่ายขึ้นอยู่กับความพร้อมของแต่ละประเทศและอาจจะเป็นเรื่องยากโดยเฉพาะอย่างยิ่งพื้นที่ที่เป็นชนบท

ต้นทุนต่อหน่วย

ต้นทุนต่อหน่วยที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลบางส่วนจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของประเทศและมีการใช้ข้อมูลในระดับนานาชาติมาประมาณการเช่นเดียวกับข้อมูลการเจ็บป่วยพื้นฐาน สำหรับข้อมูลที่ไม่มีในระดับประเทศ

ข้อมูลระดับชาติ

โครงการ Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMap) สำหรับประเทศไทย (Pham, 2022) ระบุค่า VSL ที่ประเมินจากการศึกษาที่ดำเนินการในประเทศไทย ดังนั้นการศึกษานี้ใช้ค่านี้สำหรับมูลค่าชีวิตเชิงสถิติ (VSL) และประมาณค่ามูลค่าปีชีวิตเชิงสถิติ (VOLY) โดยการปรับแก้ค่า VSL ของประเทศไทยด้วยอัตราส่วนของ VOLY ต่อ VSL ในชุดข้อมูลเริ่มต้น

การประมาณการข้อมูลเบื้องต้นจากการใช้ข้อมูลระดับนานาชาติ

ต้นทุนต่อหน่วยสำหรับผลลัพธ์ทางการเจ็บป่วยแต่ละประการถูกประมาณค่าจากชุดข้อมูลระดับนานาชาติ การศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลต้นทุนต่อหน่วยจาก 54 ประเทศจากแบบจำลอง CaRBonH tool (Spadaro, Kendrovski และ Martinez 2018) โดยทั้ง 54 ประเทศนี้ส่วนใหญ่อยู่ในทวีปยุโรปและเอเชียกลาง นอกจากนี้ได้ทำการรวบรวมข้อมูลต้นทุนต่อหน่วยจาก Healthcare Cost and Utilization Project (HCUPnet) ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 55 ประเทศได้ถูกรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวกับต้นทุนต่อหน่วย จากนั้นการศึกษาได้ดำเนินการต่อด้วยการรวบรวมข้อมูลผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) ต่อคนจากฐานข้อมูล World Data Bank (World Bank 2021) สำหรับการประเมินค่าใช้จ่ายต่อหน่วยของแต่ละการเจ็บป่วยและการเสียชีวิต โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังแสดง

สมการที่ 5

$$\ln\left(Unit\ cost_{ij}\right) = \beta_{0i}\ln(\text{GDP per capita}_j + \beta_{1i})$$

โดยที่ i คือ จุดสิ้นสุดหรือผลลัพธ์ของโรคที่ป่วยแต่ละโรค

j คือ ประเทศ

ค่าสัมประสิทธิ์ที่เราได้รับจากการถดถอยมีดังต่อไปนี้:

ผลลัพธ์ของการเป็นโรค	จุดตัด	ความชัน
จำนวนวันของอาการโรคหลอดลมอักเสบในเด็ก	8.80	0.66
จำนวนวันของอาการโรคหอบหืดในเด็ก	6.60	0.65
จำนวนวันของอาการโรคหลอดลมอักเสบในผู้ใหญ่	13.46	0.67
วันเวลาจ้างแรงงานที่เสียไป	7.19	0.65
วันจำกัดกิจกรรม	6.84	0.65
วันเข้ารับการรักษาพยาบาล	10.81	0.78
ค่ามูลค่าชีวิตเชิงสถิติ (VSL)	17.09	0.65
มูลค่าปีชีวิตเชิงสถิติ (VOLY)	13.82	0.65

เราใช้ค่าความชันที่ได้จากการถดถอยเพื่อประมาณค่าหน่วยต่อรายการสำหรับประเทศอื่นๆ สำหรับแต่ละประเภทของโรคหรือผลกระทบทางสุขภาพ ค่าที่ประมาณคือค่าต่อรายการของโรคหรือผลกระทบทางสุขภาพ

ภาคผนวก 2 ฉากทัศน์ต่างๆ

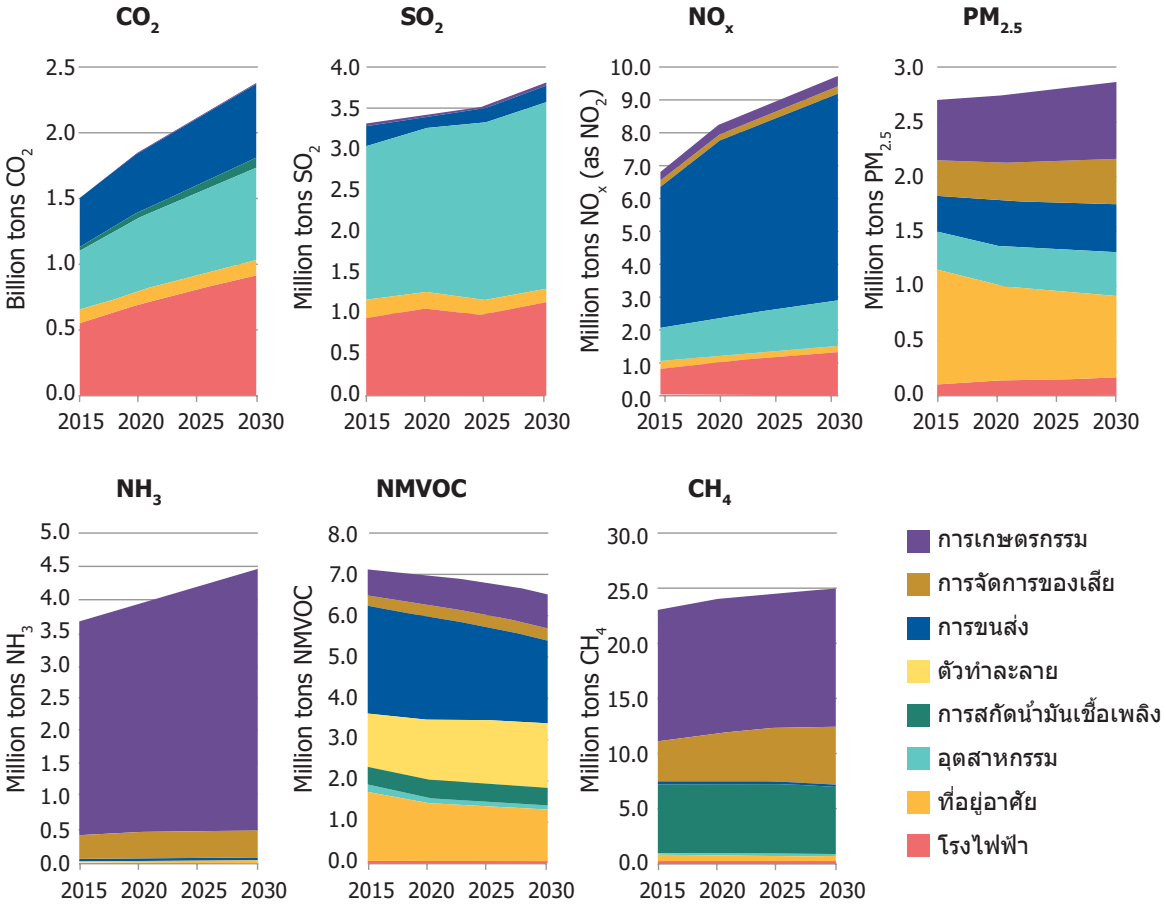
สถานการณ์การจำลองการระบายสารมลพิษทางอากาศ (ฉากทัศน์นโยบายปัจจุบันและฉากทัศน์นโยบายแข็งกร้าว) นำเสนอการคาดการณ์ทางสังคมและเศรษฐกิจจากการประเมินของแนวโน้มพลังงานทั่วโลกในฉบับ World Energy Outlook 2561 (สำนักงานพลังงานระหว่างประเทศ [IEA] 2018) แนวโน้มสถานการณ์เศรษฐกิจสำหรับภูมิภาคสมาคมประชาชาติแห่งเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (ASEAN) ในการศึกษานี้คาดการณ์ว่าเศรษฐกิจแต่ละประเทศจะเติบโตอย่างเข้มแข็ง สถานการณ์ที่แตกต่างกันอยู่ในเรื่องต่างๆ เช่นการปรับปรุงความมีประสิทธิภาพด้านพลังงานและการเกษตร และคาดการณ์เกี่ยวกับการใช้เทคโนโลยีและนโยบายควบคุมมลพิษทางอากาศซึ่งมีผลต่อการระบายสารมลพิษทางอากาศและก๊าซเรือนกระจกตามที่แสดงในการประเมินระดับชาติ

ฉากทัศน์นโยบายปัจจุบัน

ผลจากการเติบโตทางเศรษฐกิจที่แข็งแกร่งอย่างต่อเนื่องแบบจำลองการคาดการณ์การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สำหรับฉากทัศน์นโยบายปัจจุบันจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในปี 2573 โดยเพิ่มขึ้นเกือบ 60 เปอร์เซ็นต์ จากปี 2558 การเพิ่มขึ้นในการระบาย CO_2 ที่สำคัญและการเติบโตในภูมิภาคอาเซียนมาจากภาคพลังงาน ภาคอุตสาหกรรม และภาคการขนส่ง (รูปภาพ 3) สถานการณ์นี้ดึงมาจากสถานการณ์นโยบายใหม่ (New Policy Scenario - NPS) ของ World Energy Outlook และรวมถึง Nationally Defined Contributions (NDCs) ที่รายงานจนถึงปี 2561 (IEA 2018)

ฉากทัศน์นโยบายปัจจุบันถือว่ามาตรการที่มีอยู่และมาตรการที่เพิ่งได้กำหนดใช้ในภาคพลังงาน ภาคอุตสาหกรรม และการขนส่งที่สามารถนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพและได้ชะลอการเติบโตของการระบายสารตั้งต้นของฝุ่นขนาดเล็ก (PM) ที่สำคัญ ในความเป็นจริงสารตั้งต้นเหล่านี้มีปริมาณการเพิ่มขึ้นของอัตราการระบายช้ากว่าการระบายก๊าซ CO_2 ซึ่งบ่งบอกถึงการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างค่อยเป็นค่อยไปจากการระบายสารมลพิษทางอากาศ อย่างไรก็ตามในเวลาเดียวกันมาตรการที่ไม่เข้มงวดเพียงพอที่จะชดเชยการเพิ่มขึ้นของการใช้เชื้อเพลิงและกิจกรรมการผลิต ซึ่งอธิบายถึงการเติบโตของ CO_2 ที่ค่อนข้างเร็วขึ้น (รูปภาพ 3)

แนวโน้มที่โดดเด่นอีกประการหนึ่งเกี่ยวข้องกับการประกอบอาหารในภาคครัวเรือน ซึ่งเป็นภาคส่วนที่มีสัดส่วนการระบายฝุ่นขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ ที่สูง นอกจากนี้ แนวโน้มไปสู่เชื้อเพลิงสะอาดสำหรับการประกอบอาหารในภาคครัวเรือนนั้นเห็นได้อย่างชัดเจนผ่านการระบายมลพิษที่ลดลงในส่วนนี้ (รูปภาพ 3) และการใช้เชื้อเพลิงสะอาดยังคงส่งผลต่อแนวโน้มของ NMVOC ที่ลดลงด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากนโยบายที่มีมาอย่างยาวนานในการเข้าถึงพลังงานสะอาดทั้งสำหรับผู้อยู่อาศัยในชนบท และในเมือง สำหรับภูมิภาคนี้



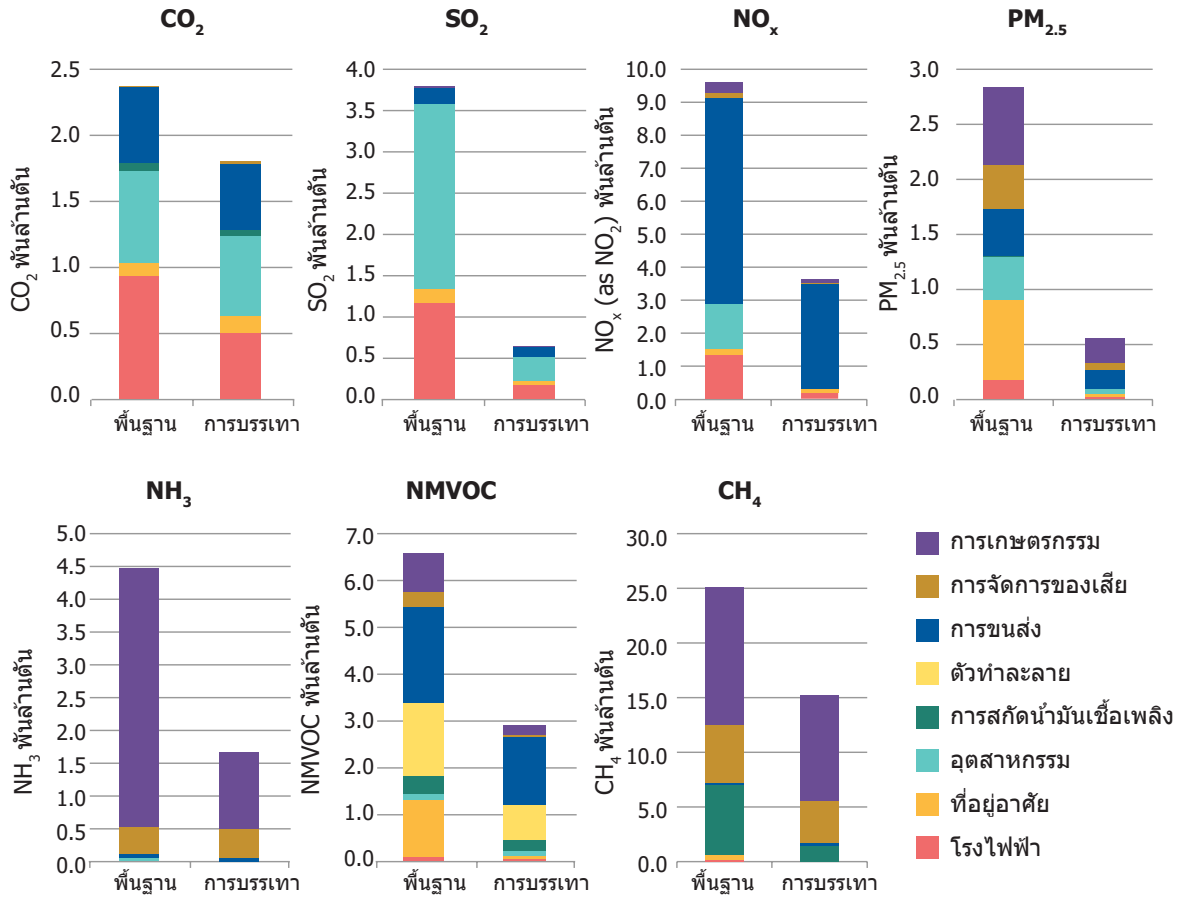
รูปภาพ 3 *การระบายสารมลพิษแต่ละภาคส่วนของ ก๊าซ CO_2, ฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$, สารตั้งต้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศและก๊าซ CH_4 สำหรับภูมิภาคอาเซียนของฉากทัศน์ปัจจุบัน*

ฉากทัศน์นโยบายแบบแข็งกร้าว

สถานการณ์ฉากทัศน์นี้ระบุถึงศักยภาพในการลดการระบายสารมลพิษเพิ่มขึ้นจากฉากทัศน์นโยบายแบบปัจจุบัน ภายในปี 2573 โดยพิจารณาการนำเทคโนโลยีการระบายก๊าซมลพิษที่น้อยที่สุดร่วมกับฐานข้อมูลแบบจำลอง GAINS โดยคาดการณ์ว่าจะมีการนำเทคโนโลยีมาใช้อย่างเต็มรูปแบบและมีประสิทธิภาพ ร่วมกับการพิจารณาขีดจำกัดของความเป็นไปได้ทางเทคนิค และมาตรการอื่นๆ ที่ไม่ใช่วิธีการหรือเทคนิคเดียวกัน โดยที่มาตรการที่ไม่ใช่วิธีการหรือเทคนิคเดียวกัน หมายถึง มาตรการที่สำรวจโอกาสในการปรับปรุงด้านประสิทธิภาพพลังงานในส่วนต่างๆ การเพิ่มสัดส่วนของรถยนต์ไฟฟ้า เร่งรัดการเข้าถึงพลังงานสะอาดในภาคครัวเรือน การบรรลุความเป็นไปได้ที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจนในการเกษตรและการเปลี่ยนแปลงการบริโภคอาหาร (เช่น การลดการบริโภคโปรตีนเนื้อสัตว์)

ความเป็นไปได้ในการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงาน การเปลี่ยนแหล่งและชนิดเชื้อเพลิง และการใช้รถยนต์ไฟฟ้าเกิดจากการประเมิน และเปรียบเทียบแนวโน้มของสถานการณ์ในสองฉากทัศน์ของสถาบันพลังงานระหว่างประเทศ (IEA) ได้แก่ ฉากทัศน์แบบจำลองเส้นทางนโยบายใหม่ (New Policy Scenario: NPS) และฉากทัศน์ภาวะพัฒนาที่ยั่งยืน (SDS) โดยฉากทัศน์แบบ SDS ถูกออกแบบเพื่อให้เกิดการลดปริมาณ CO_2 ที่สอดคล้องกับเป้าหมายของสนธิสัญญาปารีส (IEA 2018)

แม้ว่าการดำเนินการใช้ฉากทัศน์นโยบายปัจจุบัน จะมีส่วนช่วยทำให้การระบายมลพิษช้าลง (รูปภาพ 3) แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับฉากทัศน์นโยบายเชิงแข็งกร้าว แสดงให้เห็นถึงโอกาสสำคัญในการลดการระบายมลพิษได้มากขึ้น (รูปภาพ 4) ในขณะที่ระดับการระบาย CO_2 ลดลงในอัตรากว่า 25% จากการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานและการเปลี่ยนแหล่งและชนิดเชื้อเพลิง และปริมาณการระบายมลพิษทางอากาศประเมินว่าจะลดลงตั้งแต่ 55% สำหรับสารมลพิษ NMVOC ถึง 84% สำหรับก๊าซ SO_2 และปริมาณการระบายก๊าซมีเทนลดลงถึง 40% การบรรลุผลดังกล่าว จำเป็นต้องมีการกำหนดนโยบายเพิ่มเติมที่ถูกกำหนดขึ้นสำหรับฉากทัศน์แบบนโยบายแข็งกร้าว ซึ่งประกอบไปด้วย 12 มาตรการ ซึ่งแต่ละมาตรการสามารถนำไปใช้ได้กับหลายภาคส่วนหรือภาคส่วนที่เฉพาะเจาะจง สำหรับขั้นตอนและวิธีการได้มาอย่างละเอียดของแต่ละมาตรการ สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จากรายงานของ Zusman et al. (2023) และโครงการสิ่งแวดล้อม (UNEP 2019 and UNEP 2020)



รูปภาพ 4 *การระบายสารมลพิษแต่ละภาคส่วนของ ก๊าซ CO_2, ฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$, สารตั้งต้นของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในบรรยากาศและก๊าซ CH_4 สำหรับภูมิภาคอาเซียนของฉากทัศน์ปัจจุบัน และฉากทัศน์นโยบายแข็งกร้าว*

มาตรการส่วนบุคคล

ตารางที่ 1 แสดงคำอธิบายของทั้ง 12 มาตรการ ที่นำมาซึ่งการลดการระบายมลพิษอย่างมีนัยยะสำคัญในภูมิภาคอาเซียน มาตรการเหล่านี้แสดงถึงกลุ่มของมาตรการมากกว่าที่จะเป็นมาตรการเดี่ยวๆ และถูกเลือกมาจากมาตรการที่ส่งผลกระทบต่อการลดลงของการระบายมลพิษมากกว่ามาตรการอื่นๆ อย่างที่ได้ประเมินและมีการพูดถึงในส่วนรายงานหลัก มาตรการเปล่านี้นำมาซึ่งผลประโยชน์ร่วม (Co-benefits) ที่รวมถึงการลดการระบายก๊าซเรือนกระจกและส่งผลถึงการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals (SDGs))

ตารางที่ 1 *คำอธิบายของทั้ง 12 มาตรการ*

12 กลุ่มมาตรการ	คำอธิบายคร่าวๆ
การประกอบอาหารสะอาด	ทางเลือกที่สะอาดสำหรับการปรุงอาหารแบบดั้งเดิมรวมถึงเตา LPG และเตาเชื้อเพลิงแข็งที่มีประสิทธิภาพสูงกว่ารวมถึงการใช้เตาพัดลมช่วย
พลังงานหมุนเวียนการควบคุมหลังการเผาไหม้ในพลังงานและอุตสาหกรรม	การพิจารณาศักยภาพในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงและพลังงานหมุนเวียนและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการทำความสะอาดก๊าซไอเสียที่มีประสิทธิภาพสูงในโรงไฟฟ้าและหม้อไอน้ำอุตสาหกรรมรวมถึงการกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไอเสียการกำจัดฝุ่นที่มีประสิทธิภาพสูง
มาตรฐานกระบวนการทางอุตสาหกรรม รวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน	การปรับปรุงเทคโนโลยีกระบวนการการจับและกำจัดกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นและการปล่อยมลพิษจากการผลิตภาคอุตสาหกรรม
มาตรฐานการปล่อยมลพิษ/การใช้พลังงานไฟฟ้า - การขนส่ง*	การแนะนำค่าขีด จำกัด การปล่อยมลพิษที่เข้มงวดมากขึ้นและมาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับยานพาหนะ ศักยภาพเพิ่มเติมจะถูกประเมินโดยสมมติว่ามีการแนะนำกฎหมายที่จำเป็นสำหรับยานพาหนะใหม่ (ถนนและไม่ใช่ถนน) มาตรฐานการปล่อยมลพิษเทียบเท่า Euro VI / 6 และ / หรือการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเร่งของยานพาหนะ
การตรวจสอบและบำรุงรักษายานพาหนะ	การแนะนำกฎหมายที่เข้มงวดขึ้นซึ่งกำหนดให้มีการตรวจสอบและบำรุงรักษายานพาหนะบ่อยขึ้นและบังคับใช้ซึ่งจะช่วยให้สามารถรับรู้และกำจัด / ซ่อมแซมยานพาหนะที่ปล่อยมลพิษสูงได้ตั้งแต่เนิ่นๆ
การขนส่งระหว่างประเทศ	เชื้อเพลิงกำมะถันต่ำเช่น S 0.5% ในน้ำมันเชื้อเพลิงหนักและลดลงอีกเป็น S 0.1% การเปิดตัวตัวกรองอนุภาคและการติดตั้ง NO_x Reduction Selective Catalyst Reduction (deNOX SCR) อีกทางเลือกหนึ่งคือสามารถติดตั้งการกำจัดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ของก๊าซไอเสียเพื่อลดซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เช่นเดียวกับเมื่อใช้เชื้อเพลิงกำมะถันต่ำ
การใช้ปศุสัตว์และปุ๋ยไนโตรเจน	การควบคุมการปล่อยแอมโมเนียจากการผลิตปศุสัตว์และการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนแร่มาตรการปศุสัตว์รวมถึงการก่อสร้างที่อยู่อาศัยที่ปล่อยมลพิษต่ำใหม่ร้านค้าที่ครอบคลุมสำหรับปุ๋ยคอกและการใช้ปุ๋ยคอกบนบกอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับปุ๋ยแร่การปล่อยมลพิษจากการใช้ยูเรียได้รับการแก้ไขโดยการแทนที่ยูเรียด้วยตัวอย่างเช่นแอมโมเนียมไนเตรตการปรับปรุงการใช้ยูเรีย (เวลาและปริมาณที่เหมาะสม) และการส่งเสริมสูตรใหม่และสารยับยั้งยูเรีย
การเปลี่ยนแปลงอาหาร	เปลี่ยนไปใช้โปรตีนจากเนื้อสัตว์น้อยลงในอาหารส่งผลให้จำนวนปศุสัตว์ลดลงและลดการใช้ปุ๋ยแร่ธาตุรวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไนโตรเจน
การเผากากทางการเกษตรแบบเปิด	หรือห้ามการเผากากทางการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ
การจัดการของเสีย	การจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนเป็นหลักโดยการลดการเผาขยะและแนะนำแผนการรวบรวมและรีไซเคิลขยะที่มีประสิทธิภาพ
การผลิตถ่านหินน้ำมันและก๊าซ	ปรับปรุงกลยุทธ์การจัดการป่าไม้ที่ดินและน้ำและการป้องกันอัคคีภัย ยกระดับความร่วมมือผ่านความตกลงอาเซียนว่าด้วยมลพิษหมอกควันข้ามพรมแดน
การป้องกันไฟป่าและพรุ	ในขณะที่มาตรการส่วนใหญ่ในการสกัดการแปรรูปและการกระจายเชื้อเพลิงฟอสซิลจะลดการปล่อยก๊าซมีเทน แต่ก็มีการลดสารตั้งต้นของ PM (รวมถึง BC) เมื่อการวูบวาบเป็นประจำลดลงหรือถูกห้ามรวมถึงการลดการปล่อยฝุ่นที่หลบหนีจากอุตสาหกรรมเหมืองแร่ตามความต้องการถ่านหินที่ลดลงในสถานการณ์การพัฒนาที่ยั่งยืน

* ศักยภาพในอนาคตที่แสดงรวมถึงขอบเขตที่เป็นไปได้สำหรับสิ่งที่การเร่งการใช้พลังงานไฟฟ้าของยานพาหนะสามารถทำได้กล่าวคือน่าจะน้อยกว่าครึ่งหนึ่งที่สามารถทำได้โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในปี 2030

อ้างอิง

Agency for Healthcare Research and Quality. (2022). *Healthcare Cost and Utilization Project (HCUPnet) Data Tools.* AHRQ. https://datatools.ahrq.gov/hcupnet#setup

Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. *ESA Working paper,* Rome, FAO.

Amann, M., Bertok, I., Borken-Kleefeld, J., Cofala, J., Heyes, C., Höglund-Isaksson, L. et al. (2011). Cost-effective control of air quality and greenhouse gases in Europe: Modeling and policy applications, *Environmental Modelling & Software*, 26 (12), 1489–1501, https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.07.012

Amann, M., Jiming, H., Borken-Kleefeld, J., Cofala, J., Sanabria, A. G., Heyes, C. et al. (2019). Scenarios and Solutions, in: Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-based solutions, United Nations Environment Programme (UNEP), Bangkok, Thailand, 61–100.

Amann M, Kiesewetter G, Schoepp W, Klimont, Z., Winimarter, W., Cofala, J. et al. (2020). Reducing global air pollution: The scope for further policy interventions. *Philosophical Transactions of the Royal Society a Mathematical, Physical and Engineering Sciences.* https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0331

Chavanaves, S., Fantke, P., Limpaseni, W., Attavanich, W., Panyametheekul, S., Gheewala, S. H. et al. (2021). Health impacts and costs of fine particulate matter formation from road transport in Bangkok Metropolitan Region. *Atmospheric Pollution Research*, 12 (10), 101191, https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101191

Chulabhorn Research Institute. (2018). *Air Quality Assessments for Health and Environment Policies in Thailand, Chulabhorn Research Institute.*

DieselNet. (n.d.). *Emissions Standards.* https://dieselnet.com/standards/

Haines, A., Amann, M., Borgford-Parnell, N., Leonard, S., Kuylenstierna, J., & Shindell, D. (2017). Short-lived climate pollutant mitigation and the sustainable development goals. *Nature Climate Change,* 7, 863–869. https://doi.org/10.1038/s41558-017-0012-x

He, X., Shen, W., Wallington, T. J., Zhang, S., Wu, X., Bao, Z. et al. (2021). Asia Pacific road transportation emissions, 1900–2050. *Faraday Discussions*, 226.

International Energy Agency. (2019). *World Energy Model Documentation* - 2019 version. Paris, France.

Motokura, M., Lee, J., Kutani, I. & Phoumin, H. (2017). Improving Emissions Regulations for Coal-Fired Power Plants in ASEAN. ERIA Research Project Report, Jakarta.

Murray, C.J.L., Aravkin, A.Y., Zheng, P., Abbafati, C., Abbas, K.M., Abbasi-Kangevari, M. et al (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, 396(10258), 1223–1249. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30752-2

Nikam, J., Archer, D., & Nopsert, C. (2021). Regulating air quality in Thailand: Review of policies. *SEI Policy Brief*.

Pham T. (2022). *Technical note on Developing the BenMAP Database for Thai Health Burden Assessment*. Center for Clean Air Solution, Bangkok, Thailand.

M. Ru, D. Shindell, J.V. Spadaro, J-F. Lamarque, A. Challapalli, F. Wagner, G. Kiesewetter, New concentration-response functions for seven morbidity endpoints associated with short-term PM2.5 exposure and their implications for health impact assessment, *Environment International* (2023), doi: https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108122

Simpson, D., Benedictow, A., Berge, H., Bergström, R., Emberson, L. D., Fagerli, H. et al. (2012). The EMEP MSC-W chemical transport model – technical description. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12 (6), 7825–7865. https://doi.org/10.5194/acp-12-7825-2012

Spadaro, J.V., Kendrovski, V., & Martinez, G.S. (2018). *Achieving health benefits from carbon reductions: Manual for CaRBonH calculation tool*. WHO Regional Office for Europe, Denmark.

TransportPolicy.net. (n.d.). Topics - *Efficiency and GHS Standards.* https://www.transportpolicy.net/topic/efficiency-and-ghg-standards/

United Nations. (2017). *World Population Prospects: The 2017* Revision. United Nations Department of Economic and Social Affairs. https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision

United Nations Environment Programme (2019). *Air Pollution in Asia and the Pacific: Science-Based Solutions.* Nairobi, Kenya.

United Nations Environment Programme/Climate and Clean Air Coalition. (2023). *Clean Air and Climate Solutions for ASEAN.* UNEP/CCAC, Nairobi, Kenya.

Vos, T., Lim, S.S., Abbafati, C., Abbasi, M., Abbasifard, M., Abbasi-Kangevari, M. et al. (2020). Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, 396 (10258), 1204–1222. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30925-9

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S. et al. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet* 393, 447–492. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4

Zhang, X. (2016). *Emission standards and control of $PM_{2.5}$ from coal power plant*. IEA Clean Coal Centre, London.

International Institute for Applied Systems Analysis
IIASA www.iiasa.ac.at

กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

AIT Asian Institute of Technology

UN environment programme