กรมควบคุมมลพิษ
POLLUTION CONTROL DEPARTMENT

โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

โดย

กรมควบคุมมลพิษ
กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

คำนำ

กรมควบคุมมลพิษมีภาระกิจตรวจวัดคุณภาพอากาศและและบริหารจัดการคุณภาพอากาศ ในพื้นที่กรุงเทพมหานครมีสถานีตรวจวัด $PM_{2.5}$ จำนวน 7 สถานี ผลการตรวจวัดพบค่าเฉลี่ยรายปีเกินค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐาน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ใน 2 สถานี และค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เกินค่ามาตรฐาน (มาตรฐาน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) 40-50 วันต่อปี ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน และกระทบต่อภาพลักษณ์ของกรุงเทพมหานคร ในฐานะศูนย์กลางการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

กรมควบคุมมลพิษจึงจัดทำโครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล โดยแบ่งเป็นแนวทางระยะสั้น ที่ต้องดำเนินการในขณะที่เกิดปัญหา และแนวทางระยะยาว เพื่อเตรียมการรับมือและลดความรุนแรงของสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่อาจเกิดขึ้นอีกในช่วงเดือนมกราคม – มีนาคม 2562 และปีต่อๆ ไป

กรมควบคุมมลพิษได้จัดให้มีการรับฟังรายงานการศึกษานี้เมื่อวันที่ 2 สิงหาคม 2561 โดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่รับผิดชอบจากหน่วยงานต่างๆที่เกี่ยวข้อง สถาบันการศึกษาและสถาบันวิจัย ทั้งภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้มีข้อเสนอแนะ ข้อท้วงติง เพื่อปรับปรุงรายงานฉบับนี้ให้สมบูรณ์สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$ ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

รายงานฉบับนี้ได้ใช้ข้อมูลจากรายงานทางวิชาการทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะจากรายงานและผลการดำเนินงานของกรมควบคุมมลพิษ เอกสารการนำเสนอของ ดร.สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา และ ดร.สาวิตรี การีเวทย์ รวมถึงข้อคิดเห็นจากที่ประชุมหลายครั้งในช่วงที่เกิดสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$ ในช่วงต้นปี 2561 ซึ่งผู้ดำเนินการศึกษาได้ทำการทบทวนและสรุปเป็นแนวทางดำเนินการบริหารจัดการสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$

ข้อมูลเอกสารทางวิชาการจากต่างประเทศในเรื่องผลการบริหารจัดการคุณภาพอากาศและความสำเร็จในการดำเนินงานได้รับความเอื้อเฟื้อจาก Dr. Scott Voohees, Mr. Neal Fann และ Mr. Jim Neumann จาก USEPA ผู้ดำเนินการศึกษาขอขอบคุณเป็นอย่างสูงในการนำตัวอย่างดังกล่าวมาเป็นบทเรียนสำหรับประเทศไทย

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ประเทศไทยประสบผลสำเร็จในการจัดการคุณภาพอากาศในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา โดยสามารถลดระดับมลพิษชนิดต่างๆให้อยู่ภายในหรือใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน แม้ว่าแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทต่างๆ โดยเฉพาะยานพาหนะได้เพิ่มขึ้นมากกว่า 4 เท่าตัว แต่ในช่วงหลายปีหลังระดับฝุ่น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยทั้งปี และเฉลี่ย 24 ชั่วโมง สูงเกินค่ามาตรฐานในช่วงฤดูแล้งระหว่างเดือนมกราคม - มีนาคม เนื่องจากแหล่งกำเนิดมลพิษเพิ่มมากขึ้น และมีความสลับซับซ้อนในการควบคุมฝุ่นละเอียด $PM_{2.5}$ ซึ่งการศึกษาพบว่ามีแหล่งกำเนิดที่สำคัญ 3 ประเภท คือ ไอเสียรถยนต์ดีเซล การเผาชีวมวล และฝุ่นทุตยภูมิอันเกิดจากปฏิกิริยารวมตัวกันของไอเสียรถยนต์และแอมโมเนียจากปุ๋ยที่ใช้ในเกษตรกรรม

ฝุ่นละเอียด $PM_{2.5}$ มีอันตรายมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่ โดยเฉพาะฝุ่นจากไอเสียรถดีเซลถูกจัดว่าเป็นสารก่อมะเร็ง อีกทั้งองค์การอนามัยโลกระบุว่าไม่มีระดับฝุ่นละอองขั้นต่ำใดใดที่ยอมรับได้ว่าปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัย ทั้งนี้องค์การอนามัยโลกคาดคะเนว่าประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตจากมลพิษอากาศใน ปี 2556 ประมาณ 50,000 คน คิดเป็นมูลค่าความเสียหายประมาณ 60,000 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือประมาณ 1.8 ล้านล้านบาท ดังนั้นการลงทุนเพื่อควบคุมมลพิษ $PM_{2.5}$ จึงน่าจะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า

การดำเนินงานในต่างประเทศมากมายหลายประเทศพบว่าในทุกประเทศการลงทุนเพื่อควบคุมฝุ่นละอองให้ผลประโยชน์ตอบแทนมากกว่าต้นทุนหลายเท่า การบังคับใช้มาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวดกว่าหรือการตั้งเป้าหมายที่สูงขึ้นจะให้ผลประโยชน์ที่มากกว่า การนำมาตรการที่เข้มงวดกว่ามาใช้ และเร่งรัดใช้มาตรการให้เร็วขึ้นจะให้ผลประโยชน์ที่สูงขึ้น ในสหรัฐอเมริกา การบังคับใช้ พ.ร.บ.อากาศสะอาด ปี 2533 (The 1990 Clean Air Act Amendment) มีค่ากลางของอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 30 เท่า แม้ว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตามมาตรการจะสูงมากถึง 65 พันล้านเหรียญต่อปี แต่ผลประโยชน์ที่ได้สูงกว่าหลายเท่าตัว และประมาณว่ามีมูลค่าสูงถึงเกือบ 2 ล้านล้านเหรียญ

การปรับปรุงมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงและมาตรฐานไอเสียรถยนต์เป็นระดับ Euro 3 และ Euro 4 ในปัจจุบันให้ผลประโยชน์ตอบแทนทั้งในการลดระดับฝุ่นละอองและการสูญเสียด้านสุขภาพอนามัยคิดเป็นมูลค่าหลายหมื่นล้านบาท หากมีการนำมาตรฐาน Euro 5 และ Euro 6 มาใช้โดยเร่งด่วนย่อมจะยังผลประโยชน์ต่อสุขภาพอนามัยที่คุ้มค่ากับการลงทุนในภาคอุตสาหกรรม และช่วยลดระดับฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ทั้งในช่วงเวลาปกติและช่วงวิกฤติ หากแต่ในช่วงวิกฤติจะต้องมีมาตรการที่เข้มงวดเป็นพิเศษเพื่อลดระดับฝุ่นละออง ได้แก่ การกำหนดเขตปลอดมลพิษ การลดแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งในภาครัฐและภาคประชาชน และเข้มงวดการเผาในที่โล่ง

ทั้งนี้ในการบริหารจัดการคุณภาพอากาศโดยองค์รวมจะต้องมีมาตรการทั้งในด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน การพัฒนาองค์ความรู้ในด้านการจัดทำมาตรฐานคุณภาพอากาศ การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย และการประเมินความคุ้มทุนของแผนจัดการคุณภาพอากาศ การควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญ การบริหารจัดการแบบบูรณาการการขนส่ง ผังเมือง และการใช้ประโยชน์ที่ดิน และมาตรการทางเศรษฐศาสตร์

สารบัญ

หน้า

คำนำ **ก**

กิตติกรรมประกาศ **ข**

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร **ค**

สารบัญ **ง**

สารบัญตาราง **ฉ**

สารบัญภาพ **ช**

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ 3

2.1 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดมลพิษฝุ่นละออง 3

2.2 องค์ประกอบของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล 4

2.3 แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ทั้งแบบปฐมภูมิ และแบบทุติยภูมิ ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล 8

บทที่ 3 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละออง$PM_{2.5}$ 10

3.1 ภูมิภาคเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แนวโน้มระยะยาวและรูปแบบเชิงพื้นที่ของอัตราการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากฝุ่น $PM_{2.5}$ (ค.ศ. 1999-2014) (2018) 10

3.2 ประเทศญี่ปุ่น ทำการศึกษาผลกระทบจากการลดความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ ต่อการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ (2013) 10

3.3 ประเทศสเปน ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นต่อการเสียชีวิตรายวันของผู้สูงอายุเกิน 75 ปี ในกรุงแมดริด ประเทศสเปน (2009) 10

3.4 ประเทศออสเตรเลีย การศึกษาผลกระทบจากฝุ่นและก๊าซโอโซนในกรุงซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีระดับมลพิษที่ต่ำ 11

3.5 สาธารณรัฐมาเซโดเนีย Health Impacts and Economic Costs of Air Pollution in the Metropolitan Area of Skopje (2018) 11

3.6 ภูมิภาคเอเชียตะวันออก การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการลดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากก๊าซโอโซนและฝุ่น $PM_{2.5}$ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกในปี พ.ศ. 2563 (2015) 13

3.7 ประเทศจีน การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการนำมาตรฐานไอเสียรถขนาดเล็ก China 6 มาใช้ก่อนกำหนดในจังหวัดกวางดอง (2017) 13

3.8 ประเทศเกาหลี การประเมินค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่ได้จากกลยุทธบูรณาการการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจกในกรุงโซล (2011) 16
3.9 ประเทศสหรัฐอเมริกา วิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์จากการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์ (2003) 16
3.10 มาตรการในสหรัฐ Benefits and Costs of the Clean Air Act 1991-2020 (2011) 17
3.11 สรุปการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองPM$_{2.5}$ ในต่างประเทศ 18

บทที่ 4 วิเคราะห์สถานการณ์และมาตรการการจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM$_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล 20

4.1 สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละออง PM$_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล 20
4.2 มาตรการการจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM$_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล 23
(1) การจัดทำมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ 23
(2) การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย 24
(3) โครงการกลยุทธในการควบคุมฝุ่น PM$_{10}$ ในกรุงเทพและปริมณฑล 2540 25
(4) การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันดีเซล Euro 3 ในปี พ.ศ. 2547 27
(5) การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันดีเซล Euro 4 ในปี พ.ศ. 2556 27
(6) ข้อเสนอการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมัน Euro 4 เป็น Euro 5 & 6 ในอนาคต 29
(7) สรุปปัจจัยความสำเร็จในการจัดการปัญหาฝุ่นละอองของประเทศไทย 31

บทที่ 5 ข้อเสนอมาตรการป้องกันและแก้ไขฝุ่นละออง PM$_{2.5}$ 33

เอกสารอ้างอิง 47

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก สรุปการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองPM$_{2.5}$ ในต่างประเทศ 50
ภาคผนวก ข สรุปการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองPM$_{2.5}$ ในประเทศไทย 53
ภาคผนวก ค รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนา 55

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ คาร์บอนรวม คาร์บอนอินทรีย์ และคาร์บอนอนินทรีย์ ที่ จุฬาฯ 6

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นสารพีเอเอชในฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ 3 แห่งในกรุงเทพมหานคร 7

ตารางที่ 3 แหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 9

ตารางที่ 4 ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการลดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากก๊าซโอโซนและฝุ่น $PM_{2.5}$ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกในปี พ.ศ. 2563 13

ตารางที่ 5 ผลกระทบด้านบวกจากการบังคับใช้มาตรฐานรถยนต์ China 6b ก่อนกำหนดเปรียบเทียบกับการดำเนินการตามปกติ ในปี พ.ศ. 2573 14

ตารางที่ 6 ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้มาตรฐาน China 6 สำหรับรถขนาดทั่วไป (เครื่องยนต์ 1.7 ลิตร) 15

ตารางที่ 7 ต้นทุน-ผลประโยชน์จากการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงในสหรัฐอเมริกาปี 2030 16

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบมาตรฐานฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ของประเทศไทยและต่างประเทศ 24

ตารางที่ 9 ประมาณการจำนวนผู้เสียชีวิต และมูลค่าความเสียหายจากมลพิษอากาศในประเทศไทย 25

ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์จากกลยุทธในการควบคุมฝุ่นในกรุงเทพและปริมณฑล พ.ศ. 2540 26

ตารางที่ 11 ผลประโยชน์ทางด้านสุขภาพอนามัยจากการปรับลดกำมะถันในน้ำมันดีเซล 28

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบการลดลงของมลพิษในไอเสียรถยนต์เบนซินและดีเซลขนาดเล็กมาตรฐาน Euro 4 เทียบกับ มาตรฐาน Euro 3 29

ตารางที่ 13 มาตรฐานไอเสีย Euro 1 ถึง 6 สำหรับรถประเภทต่างๆ สำหรับฝุ่นละออง 29

ตารางที่ 14 ร้อยละมลพิษที่ลดลงเมื่อใช้น้ำมันมาตรฐาน Euro 5 แทนน้ำมัน Euro 4 31

ตารางที่ 15 Benefit & Cost จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง EURO 5 31

ตารางที่ 16 ข้อเสนอมาตรการเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละออง$PM_{2.5}$ 44

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงการกระจายขนาดของฝุ่นละออง 5

ภาพที่ 2 การกระจายขนาดของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดต่างๆ 6

ภาพที่ 3 ที่มาของฝุ่นหยาบและฝุ่นละเอียดในฮ่องกง 8

ภาพที่ 4 แหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบริเวณดินแดง 8

ภาพที่ 5 แหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในเมืองและชานเมืองกรุงเทพฯ 9

ภาพที่ 6 ก ประโยชน์ที่ได้จากมาตรการลด $PM_{2.5}$ ให้เท่ากับมาตรฐานอียู ในกรุงสโคปิเอ สาธารณรัฐมาเซโดเนีย สะสม 105 ปี 12

ภาพที่ 6 ข ประโยชน์ที่ได้จากมาตรการลด $PM_{2.5}$ ให้เท่ากับมาตรฐานองค์การอนามัยโลก ขในกรุงสโคปิเอ สาธารณรัฐมาเซโดเนีย สะสม 105 ปี 12

ภาพที่ 7 ปริมาณฝุ่นที่ลดลงในแต่ละสถานการณ์ของจังหวัดกวางดอง 14

ภาพที่ 8 ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการนำมาตรฐานไอเสียรถขนาดเล็ก China 6 มาใช้ก่อนกำหนดในจังหวัดกวางดอง 15

ภาพที่ 9 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกับผลประโยชน์ที่ได้จากมาตรการ ตาม พ.ร.บ.อากาศสะอาด 2533 17

ภาพที่ 10 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของมาตรการแต่ละด้านตาม พ.ร.บ.อากาศสะอาด 2533 17

ภาพที่ 11 ความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ รายวัน ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปี 2554-2561 21

ภาพที่ 12 ความเข้มข้นฝุ่นละออง TSP PM_{10} $PM_{2.5}$ รายปี ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 21

ภาพที่ 13 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โอโซน และไนโตรเจนไดออกไซด์ ในกรุงเทพฯ 21

ภาพที่ 14 การกระจายความเข้มข้นฝุ่นละอองเชิงพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร 22

ภาพที่ 15 สัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นละออง PM_{10} ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล ปี 2540 26

ภาพที่ 16 ผลจากการลดกำมะถันในน้ำมันดีเซลต่อระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศ 2545 – 2548 27

ภาพที่ 17 Euro Emission Standards for Heavy-Duty Diesel Engine 30

ภาพที่ 18 ปริมาณการระบายมลพิษจากไอเสียรถส่วนบุคคล เปรียบเทียบมาตรฐาน Euro 4 และ Euro 5/6 30

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

กรมควบคุมมลพิษ ดำเนินภารกิจการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศของประเทศไทย เพื่อประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศ เฝ้าระวังและแจ้งเตือนกรณีพบปริมาณสารมลพิษเกินค่ามาตรฐาน ข้อมูลคุณภาพอากาศที่ตรวจวัดได้ นำมาใช้ประกอบการกำหนดแผนงาน/มาตรการ ในการบริหารจัดการคุณภาพอากาศ สำหรับการตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เริ่มดำเนินการตรวจวัดตั้งแต่ปี 2554 เป็นต้นมา ในปี 2560 พื้นที่กรุงเทพมหานคร มีสถานีตรวจวัด $PM_{2.5}$จำนวน 7 สถานี ผลการตรวจวัดพบค่าเฉลี่ยรายปีเกินค่ามาตรฐาน (ค่ามาตรฐาน 25 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ใน 2 สถานี และค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง เกินค่ามาตรฐาน (มาตรฐาน 50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) 40-50 วันต่อปี ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน และกระทบต่อภาพลักษณ์ของกรุงเทพมหานคร ในฐานะศูนย์กลางการท่องเที่ยวและเศรษฐกิจของเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

กรมควบคุมมลพิษ จึงจัดทำโครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล โดยแบ่งเป็นแนวทางระยะสั้น ที่ต้องดำเนินการในขณะที่เกิดปัญหา และแนวทางระยะยาว เพื่อเตรียมการรับมือและลดความรุนแรงของสถานการณ์ฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่อาจเกิดขึ้นอีกในช่วงเดือนมกราคม – มีนาคม 2562 และปีต่อๆ ไป

1.2 วัตถุประสงค์

(1) เพื่อศึกษาปริมาณ ประเภทและสัดส่วนแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

(2) เพื่อเสนอแนะแนวทางการจัดการฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑลระยะสั้นและระยะยาว

1.3 พื้นที่เป้าหมาย

กรุงเทพและปริมณฑล (นครปฐม สมุทรปราการ สมุทรสาคร ปทุมธานี นนทบุรี)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

รายงานแหล่งกำเนิดขอฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ และมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองPM$_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

1.5 ขอบเขตการดำเนินงาน

(1) ทบทวนวรรณกรรมและสรุปผลการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับ

- ปัจจัยที่ก่อให้เกิดมลพิษฝุ่นละออง
- องค์ประกอบของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล
- แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ทั้งแบบปฐมภูมิ และแบบทุติยภูมิ ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

(2) ทบทวนวรรณกรรม และสรุปผลการศึกษาที่เกี่ยวกับการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองPM$_{2.5}$ โดยเฉพาะมาตรการที่ถูกนำมาใช้จัดการปัญหานี้ในต่างประเทศ

(3) รวบรวม ข้อมูล วิเคราะห์สถานการณ์และมาตรการการจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM$_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล

(4) ทบทวน คัดเลือกและนำเสนอมาตรการระยะสั้นและระยะยาวในการป้องกันและแก้ไขฝุ่นละออง PM$_{2.5}$ พร้อมกับประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น ความคุ้มค่าของแต่ละมาตรการในการจัดการฝุ่นละออง PM$_{2.5}$ ที่นำเสนอ

(5) จัดทำรายงานโครงการ โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับฝุ่นละอองในข้อ 5.1 และ 5.2 และข้อเสนอแนะการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง ตาม 5.3 และ 5.4

(6) จัดสัมมนาจำนวน 1 ครั้ง (จำนวนผู้เข้าร่วมไม่น้อยกว่า 50 คน)

บทที่ 2
แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

2.1 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดมลพิษฝุ่นละออง

ปัจจัยที่ทำให้เกิดมลพิษฝุ่นละอองและเป็นผลกระทบต่อสุขภาพประชาชนและสภาพแวดล้อม ประกอบด้วย (1) แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง (2) การพัดพาและแปรสภาพของมลพิษ และ (3) สภาพของผู้รับมลพิษ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังแสดงในแผนภูมิภาพที่ 1 มีรายละเอียดดังอธิบายไว้ในหนังสือมลภาวะอากาศ (วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, 2543) และตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ (นพภาพร พานิช และคณะ, 2550) ในที่นี้จะอธิบายโดยสังเขปอ้างอิงพื้นที่กรุงเทพมหานครต่อไปนี้

การพัดพาและแปรสภาพของมลพิษ (transportation and transformation of pollutants) ได้แก่ สภาพอุตุนิยมวิทยาและสภาพแวดล้อมซึ่งส่งผลต่อการแพร่กระจายของมลพิษ สภาพอุตุนิยมวิทยาได้แก่ ฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ(กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์) และฤดูมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ (กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม) ซึ่งส่งผลต่อสภาพอากาศ ความกดอากาศ ทิศทางลมประจำฤดู อุณหภูมิ ปริมาณฝน ความชื้น ทำให้ระดับฝุ่นละอองในฤดูมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือในพื้นที่กรุงเทพมหานครมีระดับสูง เนื่องจากสภาพอากาศแห้ง และทิศทางลมตะวันออกเฉียงเหนือพัดพาฝุ่นละอองจากการเผาชีวมวลในพื้นที่เกษตรกรรมภาคกลางเข้าสู่พื้นที่กรุงเทพมหานคร ประกอบกับการแปรปรวนสภาพอากาศรายวัน หากในช่วงวันดังกล่าวมีอุณหภูมิต่ำ ความกดอากาศสูง ท้องฟ้าปิด สภาพอากาศสงบนิ่งไม่กระจายตัว จะเกิดการสะสมของมลพิษทำให้ระดับมลพิษสูงกว่าปกติ

สภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการแพร่กระจายของมลพิษอากาศ ได้แก่ ลักษณะภูมิประเทศ เช่น ภูเขา หุบเขา ชายฝั่งทะเล รวมถึงสิ่งกีดขวางลมที่พัดพามลพิษให้แพร่กระจายและเจือจาง เช่น อาคารและสิ่งปลูกสร้าง ผังเมืองซึ่งกำหนดความหนาแน่นและการกระจายตัวของการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยเฉพาะที่พักอาศัยหรือผู้รับมลพิษ ที่ตั้งและการกระจายตัวของแหล่งกำเนิดมลพิษ อันจะส่งผลต่อระดับมลพิษในพื้นที่ใต้ลม ซึ่งจะได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดมลพิษทั้งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และพื้นที่รอบนอก

สภาพของผู้รับมลพิษ ได้แก่ สภาพส่วนตัวของผู้รับมลพิษ เช่น ความเสี่ยงต่อการรับมลพิษ อันเป็นผลมาจากอาการป่วย สภาวะความเป็นเด็กหรือคนชรา และความไวต่อการรับมลพิษ (Sensitivity) และสภาพภายนอก ได้แก่ อาชีพ กิจกรรม การเดินทาง ที่ตั้งที่ทำงานและที่พักอาศัย รวมถึงสภาพที่ทำงานและที่พักอาศัย ซึ่งจะส่งผลต่อระดับมลพิษที่ได้รับและความรุนแรงของอาการของแต่ละรายบุคคล ทั้งนี้ การกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศจะใช้ข้อมูลการศึกษาทางระบาดวิทยาของประชากรทั้งหมดในพื้นที่ โดยคำนึงถึงกลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงเป็นพิเศษประกอบด้วยทั้งสองปัจจัยที่กล่าวมาแล้ว (การพัดพาของมลพิษและสภาพของผู้รับมลพิษ) เป็นข้อมูลที่สำคัญในการจัดการมลพิษอากาศ แต่เป็นปัจจัยที่ไม่อาจควบคุมได้ ปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ในการจัดการมลพิษอากาศคือแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ ทั้งนี้ในการวางแผนจัดการคุณภาพอากาศและการกำหนดมาตรการควบคุมมลพิษอากาศจะต้องสามารถระบุถึงแหล่งกำเนิดที่สำคัญและมีข้อมูลสัดส่วนที่มาของแหล่งกำเนิดมลพิษดังกล่าวในพื้นที่ เพื่อเป็นข้อมูลในการกำหนดลำดับความสำคัญของมาตรการควบคุมมลพิษอากาศ รวมถึงการประเมินความคุ้มทุนของแต่ละมาตรการ

แหล่งกำเนิดมลพิษฝุ่นละอองประกอบด้วยแหล่งกำเนิดธรรมชาติ และแหล่งกำเนิดจากกิจกรรมของมนุษย์ แหล่งกำเนิดธรรมชาติ ได้แก่ ฝุ่นละอองดินฟุ้งปลิวจากพื้นดินและพื้นที่เกษตรกรรม ไฟป่า เกลือทะเล

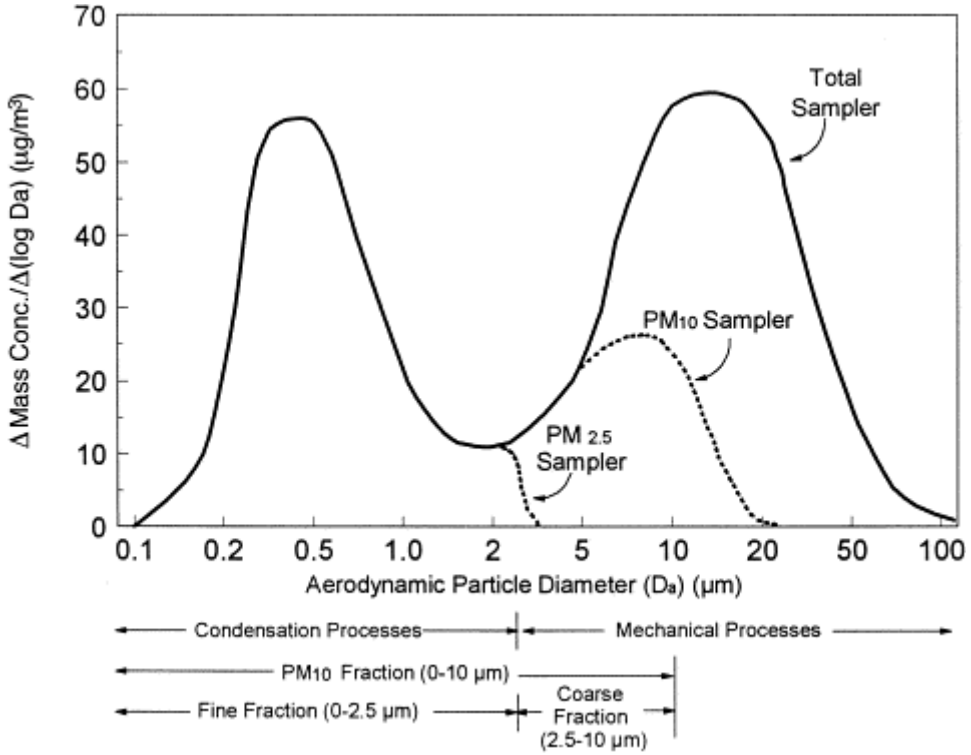
ภูเขาไฟปะทุ ฝุ่นฟุ้งปลิวจากทะเลทราย ซึ่งมักจะเป็นฝุ่นรวมที่มีขนาดใหญ่ แหล่งกำเนิดจากกิจกรรมมนุษย์ ได้แก่ การใช้เชื้อเพลิง การจราจร (ไอเสียรถยนต์ ส่วนประกอบของรถยนต์ และฝุ่นละอองฟุ้งปลิวจากถนน โดยเฉพาะถนนดินลูกรัง) โรงงานอุตสาหกรรม โรงไฟฟ้า การก่อสร้าง การเผาชีวมวล (รวมถึงการเผาขยะมูลฝอยและการเผาในที่โล่ง) และการเกษตรกรรม ซึ่งมักจะเป็นฝุ่นขนาดเล็ก (PM_{10}-ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน และ $PM_{2.5}$-ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน) และแหล่งกำเนิดทางอ้อมจากกิจกรรมของมนุษย์ จัดเป็นฝุ่นทุติยภูมิ เกิดจากการรวมตัวของก๊าซมลพิษเป็นฝุ่นละอองขนาดเล็กมาก (Ultra-fine particle) จากกระบวนการรวมตัวของสาร (Coagulation) เช่น แอมโมเนียมไนเตรตและแอมโมเนียมซัลเฟต

การระบุสัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นละอองเป็นข้อมูลที่สำคัญในการควบคุมมลพิษอากาศ ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

2.2 องค์ประกอบของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

ฝุ่นละอองแขวนลอย (Suspended Particulate Matter) มีขนาดระหว่าง 0.001 ถึง 100 ไมครอน ฝุ่นละอองที่กำหนดในมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทั่วไปประกอบด้วยฝุ่นละอองขนาดใหญ่ หรือที่เรียกว่าฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate – TSP) ฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) และฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ทั้งนี้ฝุ่นรวมและฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) จัดเป็นฝุ่นหยาบเกิดจากกระบวนการทางฟิสิกส์ ได้แก่ ลมพัดฝุ่นดิน เถ้าภูเขาไฟ ละอองน้ำทะเล การบดย่อย ขัดสี สึกกร่อนและการฟุ้งกระจายของวัสดุอุตสาหกรรมและหิน ดิน ทราย ส่วนฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนจัดเป็นฝุ่นละเอียดเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเกิดเป็นฝุ่นควันโดยตรง (เรียกว่า ฝุ่นปฐมภูมิ - primary particle) หรือเกิดเป็นก๊าซซึ่งอาจกลั่นตัวเป็นเม็ดฝุ่นเริ่มต้นและรวมตัวกันเป็นเม็ดฝุ่นขนาดใหญ่ขึ้น (เรียกว่า ฝุ่นทุตยภูมิ – secondary particle) ตัวอย่างเช่น แอมโมเนียมไนเตรต แอมโมเนียมซัลเฟต (ภาพที่ 1)

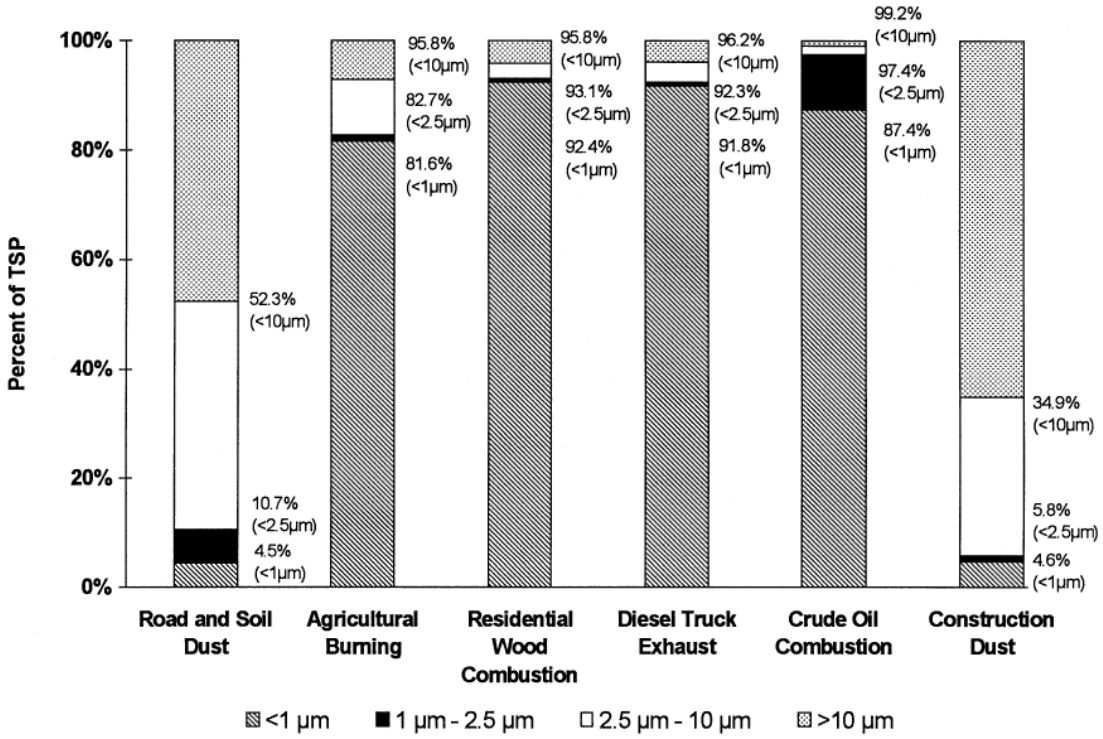
องค์ประกอบของฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ จึงแตกต่างกันออกไปตามชนิดและลักษณะเชื้อเพลิงและกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทั้งนี้ เชื้อเพลิงได้แก่เชื้อเพลิงปิโตรเลียม (ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ) เชื้อเพลิงชีวมวล และของเสียจากชุมชน อุตสาหกรรม และการเกษตรกรรม ส่วนกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิง ได้แก่ การเผาในเตาเผา การเผาไหม้ในห้องสันดาปของรถยนต์เบนซินและรถบรรทุกดีเซล และการเผาในที่โล่ง



ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงการกระจายขนาดของฝุ่นละออง
ที่มา : U.S. EPA, PM Pollution

ฝุ่นละอองจากแหล่งกำเนิดต่างๆจะมีการกระจายขนาดแตกต่างกัน (ภาพที่ 2) ฝุ่นละอองจากถนนและดินฟุ้งปลิวรวมถึงฝุ่นจากการก่อสร้างจะมีขนาดใหญ่กว่า 2.5 ไมครอน มากกว่าร้อยละ 90 หรือน้อยกว่าร้อยละ 10 เป็นฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนหรือฝุ่น $PM_{2.5}$ ส่วนฝุ่นจากการเผาในที่โล่ง เช่น การเผาของเสียเกษตรกรรมซึ่งเป็นการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์อาจมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนประมาณร้อยละ 80 ในขณะที่การเผาไหม้น้ำมันดิบ ไอเสียรถยนต์ดีเซล และการเผาไม้ในเตาเผาครัวเรือนจะมีฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมากกว่าร้อยละ 90 ดังนั้นหากเราพูดถึงฝุ่นไอเสียรถยนต์ย่อมหมายถึงฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอน แต่การฉีดน้ำรดถนนหรือฉีดละอองน้ำในอากาศอาจช่วยลดฝุ่นขนาดใหญ่ในอากาศ แต่มีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนน้อยมาก

การเผาเชื้อเพลิงทำให้เกิดควันดำหรือสารประกอบคาร์บอน คาร์บอนรวม (Total Carbon) ประกอบด้วยคาร์บอนอินทรีย์ (OC – organic carbon) และคาร์บอนอนินทรีย์ (IC – inorganic carbon) ซึ่งส่วนใหญ่คือแบล็คคาร์บอน (BC - black carbon) การเผาเชื้อเพลิงที่อุณหภูมิต่ำ เช่น การเผาชีวมวลในที่โล่งจะทำให้เกิด OC ในสัดส่วนที่สูงกว่า ในขณะที่การเผาไหม้เชื้อเพลิงที่อุณหภูมิสูง เช่น ในห้องสันดาปเครื่องยนต์โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลจะเผาไหม้คาร์บอนอินทรีย์ได้สมบูรณ์กว่า และคงเหลือคาร์บอนอนินทรีย์ในสัดส่วนที่สูงกว่า



ภาพที่ 2 การกระจายขนาดของฝุ่นจากแหล่งกำเนิดต่างๆ

ศิวรินทร์ ดวงแก้ว (2555) ตรวจวัดฝุ่น $PM_{2.5}$ และสารคาร์บอนในฝุ่นบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เปรียบเทียบฤดูฝนและฤดูแล้ง พบว่า นอกจากฝุ่น $PM_{2.5}$ ในฤดูแล้งจะสูงกว่าในฤดูฝนประมาณ 2 เท่าแล้ว ยังพบสารคาร์บอนรวมในฤดูแล้งสูงกว่าในฤดูฝนประมาณ 3-4 เท่า ซึ่งความเข้มข้นฝุ่นและสารคาร์บอนรวมในฤดูแล้งที่สูงกว่าในฤดูฝนนี้มาจากคาร์บอนอินทรีย์ซึ่งมีแหล่งกำเนิดจากการเผาชีวมวลในพื้นที่เกษตรกรรมรอบนอกกรุงเทพมหานคร (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ความเข้มข้นฝุ่น $PM_{2.5}$ คาร์บอนรวม คาร์บอนอินทรีย์ และคาร์บอนอนินทรีย์ ที่ จุฬาฯ

ฤดู		$PM_{2.5}$ (µg/m³)	TC (µg/m³)	TC/PM	OC (µg/m³)	OC/PM	EC (µg/m³)	EC/PM
ฤดูฝน	ค่าต่ำสุด	12.04	2.75	0.12	1.51	0.06	1.24	0.05
	ค่าสูงสุด	32.41	7.67	0.53	4.40	0.31	3.27	0.21
	ค่าเฉลี่ย	22.85	5.05	0.25	3.03	0.15	2.02	0.10
ฤดูแล้ง	ค่าต่ำสุด	26.85	6.49	0.23	5.13	0.19	1.36	0.05
	ค่าสูงสุด	68.52	31.64	0.64	27.17	0.55	4.52	0.09
	ค่าเฉลี่ย	47.72	17.29	0.36	14.26	0.3	3.03	0.06

ที่มา: ศิวรินทร์ ดวงแก้ว (2555)

ธัญภัสสร์ ทองเย็น (2552) ตรวจวัดฝุ่นละอองแยกขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน (เล็กกว่า 100 นาโนเมตร หรือเรียกว่าฝุ่นละอองขนาดนาโน), 0.1-1.0 ไมครอน, 1.0-2.5 ไมครอน, 2.5-10 ไมครอน

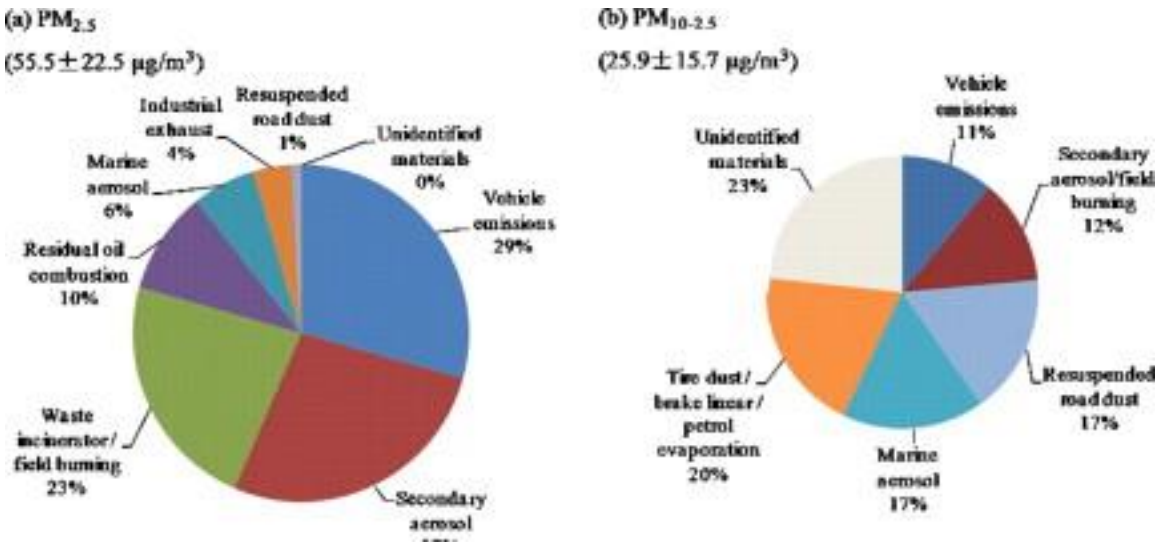
และขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน โดยใช้เครื่องเก็บตัวอย่างฝุ่นละอองนาโน (Nanoparticle sampler) ใน 3 พื้นที่ในกรุงเทพมหานคร และวิเคราะห์หาปริมาณสารพีเอเอช (PAH - Polycyclic Aromatic Hydrocarbons) ในฝุ่นแต่ละขนาด พบกลุ่มสารพีเอเอชที่มีความเข้มข้นสูง มีจำนวน 4 ชนิด ได้แก่ Benzo(a)pyrene Benzo(b)fluoranthene Acenaphthylene และ Fluorene และพบว่าแหล่งกำเนิดของสารพีเอเอชมาจากการจราจรเป็นหลัก และบริเวณที่มีความเข้มข้นสารพีเอเอชสูงคือพื้นที่ที่มีการจราจรหนาแน่น (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความเข้มข้นสารพีเอเอชในฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ 3 แห่งในกรุงเทพมหานคร

PAHs	PAHs in each PM2.5 (ng/m^3)			
	Dindaeng	Bansomdej	Chulalongkorn	Average
Nap	0.64	0.54	0.50	0.56
Acy	1.21	1.18	0.78	1.06
Ace	0.50	0.46	0.36	0.44
Flu	1.17	1.17	0.76	1.03
Phen	0.35	0.35	0.30	0.33
Anth	0.75	0.73	0.37	0.62
Flt	0.79	0.46	0.38	0.54
Pyr	0.51	0.51	0.42	0.48
BaA	0.50	0.51	0.36	0.46
Chr	0.74	0.71	0.50	0.65
BbF	2.55	2.21	1.47	2.08
BkF	0.87	0.78	0.43	0.69
BaP	2.79	2.16	1.83	2.26
Total	13.38	11.77	8.47	11.21

ที่มา: ธัญภัสสร์ ทองเย็น (2552)

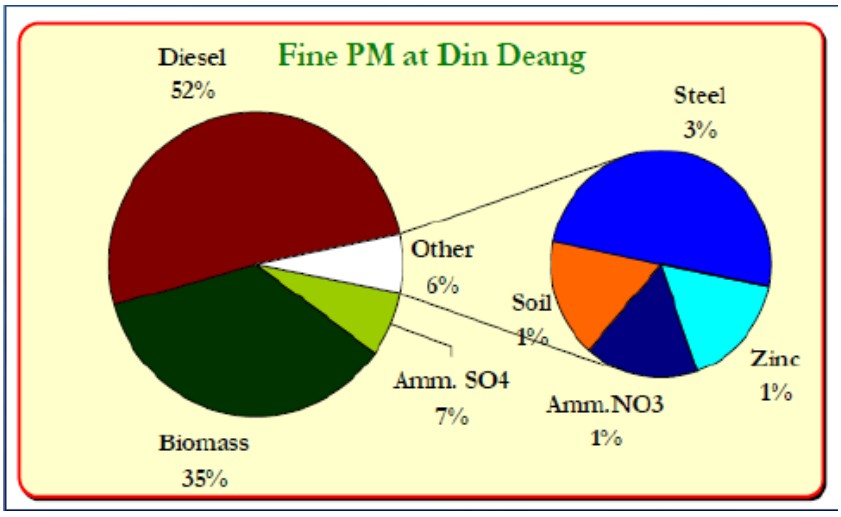
Cheng et. al (2015) เก็บตัวอย่างบริเวณริมถนนการจราจรหนาแน่นในฮ่องกง รายงานว่าฝุ่นหยาบ $PM_{10-2.5}$ และฝุ่นละเอียด $PM_{2.5}$ มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ธาตุที่มีปริมาณมากในฝุ่นหยาบได้แก่ Cl^-, Al, Si, Ca, Ti, และ Fe ในขณะที่องค์ประกอบหลักในฝุ่นละเอียดได้แก่ OC, EC, SO_4^{2-}, NH_4^+, และ K^+ ที่มาของฝุ่นหยาบได้แก่ ฝุ่นจากส่วนประกอบของรถ (ยาง ผ้าเบรค) ฝุ่นดินฟุ้งลอย ไอทะเล การเผาชีวมวลและฝุ่นทุติยภูมิ และจากการจราจรน้อยที่สุด (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ที่มาของฝุ่นหยาบและฝุ่นละเอียดในฮ่องกง
ที่มา: Cheng et. al (2015)

2.3 แหล่งกำเนิดฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ทั้งแบบปฐมภูมิ และแบบทุติยภูมิ ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

การศึกษา Source Apportionment ด้วยการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นในบรรยากาศในพื้นที่ที่สนใจ โดย Kim Oanh (2007) พบว่าฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่ดินแดง มาจากไอเสียรถดีเซล 52% จากการเผาชีวมวล 35% ฝุ่นทุติยภูมิและอื่นๆ 13% Kim Oanh (2017) พบว่าฝุ่น $PM_{2.5}$ มาจากไอเสียรถดีเซล 20.8-29.2% จากการเผาชีวมวล 24.6-37.8% ฝุ่นทุติยภูมิ 15.8-20.7% และอื่นๆ ทั้งนี้ ในช่วงหน้าแล้งจะมีการเผาชีวมวลสูงกว่าในช่วงหน้าฝน (ภาพที่ 4 และ 5)



ภาพที่ 4 แหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในบริเวณดินแดง (Kim Oanh, 2007)

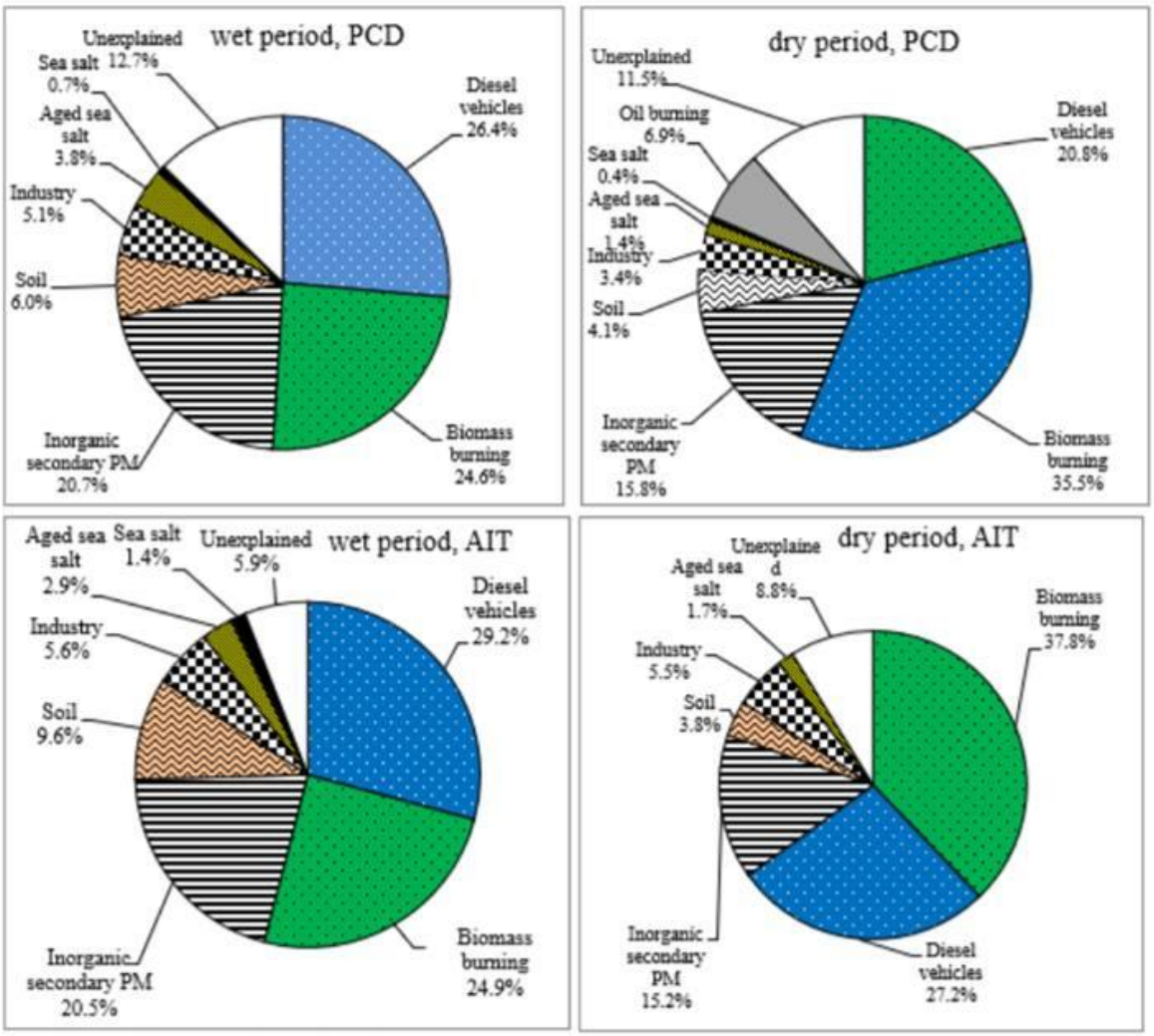


Figure 10 Average source contributions to $PM_{2.5}$ in wet and dry periods at AIT and PCD

ภาพที่ 5 แหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในฤดูฝนและฤดูแล้ง ในเมืองและชานเมืองกรุงเทพฯ (Kim Oanh, 2017)

ตารางที่ 3 แหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร (ร้อยละ)

	Kim, 2007	Kim, 2017				พิสัย
ที่มา	ดินแดง	กรมควบคุมมลพิษ		เอไอที		
		ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	ฤดูฝน	ฤดูแล้ง	
ไอเสียดีเซล	52	26.4	20.8	29.2	27.2	20.8-29.2
การเผาชีวมวล	35	24.6	35.5	24.9	37.8	24.6-37.8
ฝุ่นทุตยิภูมิ	8	20.7	15.8	20.5	15.2	15.2-20.7
โรงงาน	4	5.1	3.4	5.6	5.5	3.4-5.6
ดิน	1	6.0	4.1	9.6	3.8	3.8-9.6
อื่นๆ	-	17.2	20.4	10.2	10.5	10.2-20.4

บทที่ 3
ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองPM$_{2.5}$

3.1 ภูมิภาคเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แนวโน้มระยะยาวและรูปแบบเชิงพื้นที่ของอัตราการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากฝุ่น PM$_{2.5}$ (ค.ศ. 1999-2014)

Shi Y, et.al (2018) ใช้ข้อมูลระยะยาวของความเข้มข้นฝุ่น PM$_{2.5}$ จากดาวเทียมความละเอียดสูง (0.01° × 0.01°) เพื่อคาดคะเนการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากฝุ่น PM$_{2.5}$ ในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (SSEA) ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2557 (15 ปี) ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,447,000 ราย จำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรเพิ่มจาก 1,179,400 รายในปี พ.ศ 2542 เป็น 1,724,900 ในปี พ.ศ. 2557 โดยมีอัตราการเพิ่มร้อยละ 38 และจำนวนเพิ่มสุทธิ 545,500 ราย โรคหัวใจล้มเหลวและโรคหลอดเลือดหัวใจเป็นสาเหตุหลัก คิดเป็นอัตราส่วนร้อยละ 39 และ 35 ตามลำดับ ผู้เสียชีวิตจำนวนมากอยู่ในอินเดียตอนเหนือ บังคลาเทศ ปากีสถานตะวันออก และบางเมืองในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ประมาณว่าผู้เสียชีวิตในอินเดียเท่ากับ 991,600 ราย หรือเท่ากับ 69 ของจำนวนทั้งหมด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอในทุกประเทศยกเว้นศรีลังกา ผลการศึกษานี้ชี้ว่าควรมีการควบคุมระดับฝุ่น PM$_{2.5}$ อย่างเร่งด่วนในภูมิภาคเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

3.2 ประเทศญี่ปุ่น ทำการศึกษาผลกระทบจากการลดความเข้มข้นฝุ่น PM$_{2.5}$ ต่อการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ (2013)

Nawahda (2013) ทำการศึกษาผลกระทบจากการลดความเข้มข้นฝุ่น PM$_{2.5}$ ต่อการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในประเทศญี่ปุ่น ระหว่างปี ค.ศ. 2006-2009 โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศ 1,843 แห่งในญี่ปุ่น การคำนวณค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (RR - relative risk) เท่ากับ 1.04 (95 % CI, 1.01–1.08) ทุกๆ 10 มคก./ลบ.ม. ที่สูงกว่าค่ามาตรฐานรายปี 10 มคก./ลบ.ม. ขององค์การอนามัยโลก ผลการศึกษาชี้ว่าคุณภาพอากาศที่ดีขึ้นในช่วงเวลาที่ศึกษาช่วยลดจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรโดยเฉพาะกับกลุ่มเสี่ยง ข้อมูลนี้ใช้ในการทำนายว่าหากทำการลดระดับฝุ่น PM$_{2.5}$ ลงเหลือ 10 มคก./ลบ.ม. จะช่วยลดจำนวนผู้เสียชีวิตได้อีก 3,602 ราย ในจำนวนนี้ร้อยละ 77 เป็นกลุ่มผู้มีอายุมากกว่า 75 ปี ผลการศึกษาสรุปได้ว่าการปรับปรุงคุณภาพอากาศสามารถลดจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรได้โดยเฉพาะกับกลุ่มผู้สูงอายุ

3.3 ประเทศสเปน ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นต่อการเสียชีวิตรายวันของผู้สูงอายุเกิน 75 ปี ในกรุงแมดริด ประเทสสเปน (2009)

Jiménez และคณะ (2009ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นต่อการเสียชีวิตรายวันของผู้สูงอายุเกิน 75 ปี ในกรุงแมดริด ประเทสสเปน โดยพิจารณาสาเหตุของการเสียชีวิตจาก (1) ทุกสาเหตุยกเว้นอุบัติเหตุ (2) โรคระบบโลหิต (3) โรคระบบหายใจ และพบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างค่าความเข้มข้นรายวันของฝุ่น PM$_{2.5}$ และการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุ โดยมีค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (Relative Risks) ของการเสียชีวิตจากทุกสาเหตุเท่ากับ 1.057 (1.025–1.088); โรคระบบโลหิต, 1.088 (1.041–1.135); และโรคระบบหายใจ, 1.122 (1.056–1.189) โดยสามารถเห็นผลกระทบในระยะเวลาสั้น (1-2 วัน) ทั้งนี้การศึกษาสรุปว่าความเข้มข้นรายวันของฝุ่น PM$_{2.5}$ มีผลกระทบอย่างมากต่อการเสียชีวิตของผู้สูงอายุเกิน 75 ปี ในกรุงแมดริด ประเทศสเปน จำต้อง

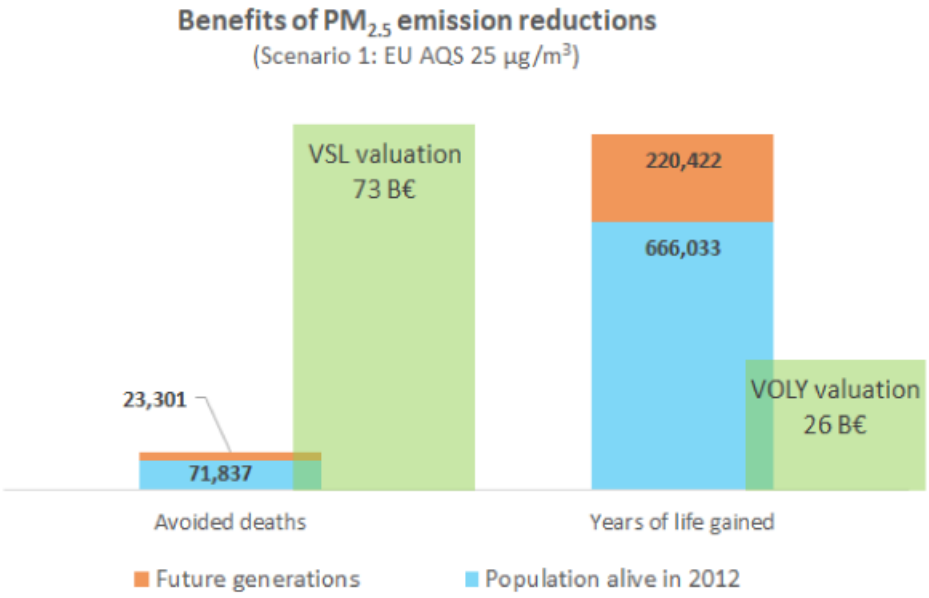
เน้นความจำเป็นในการควบคุมฝุ่นละอองโดยเฉพาะลดปริมาณการจราจรซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของมลพิษในเมือง

3.4 ประเทศออสเตรเลีย การศึกษาผลกระทบจากฝุ่นและก๊าซโอโซนในกรุงซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีระดับมลพิษที่ต่ำ

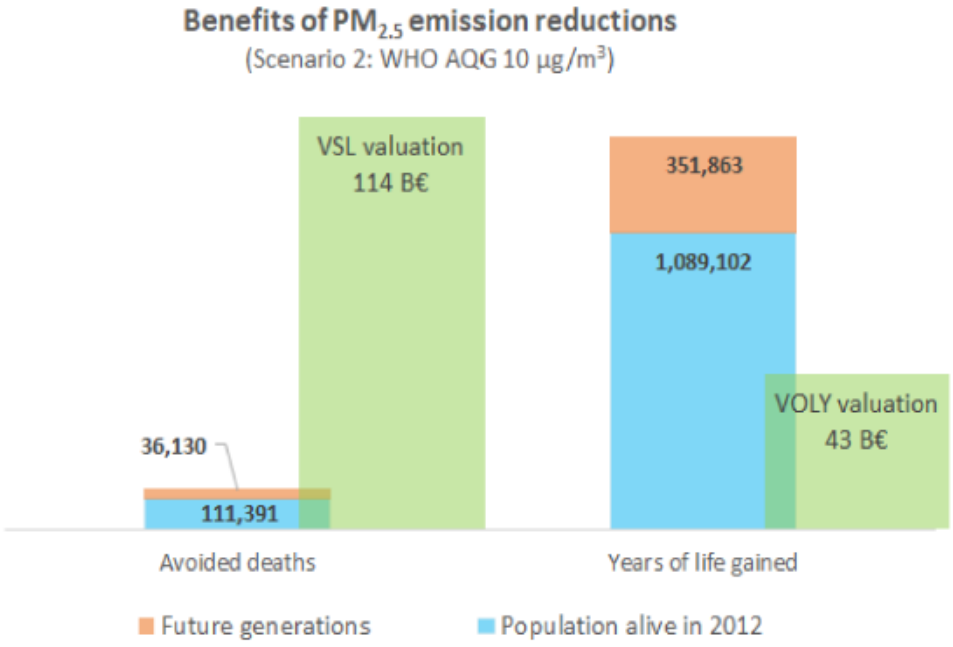
Broome et. al (2015) รายงานผลการศึกษาผลกระทบจากฝุ่นและก๊าซโอโซนในกรุงซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีระดับมลพิษที่ต่ำกว่าประเทศในยุโรปและสหรัฐอเมริกา ผลการศึกษาชี้ว่าระดับมลพิษอากาศในปี 2007 ยังผลให้มีจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวันอันควร 430 ราย และจำนวนปีทีสูญเสียไปเนื่องจากการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร (YLL – year of life lost) เท่ากับ 5800 และมีจำนวนผู้เข้ารักษาพยาบาลเนื่องจากโรคระบบหายใจและระบบหลอดเลือดหัวใจ 630 ราย ทั้งนี้หากสามารถลดระดับมลพิษได้เพียงร้อยละ 10 ก็จะยังผลให้ลดการสูญเสียดังกล่าวได้ประมาณร้อยละ 10 หรือมากกว่า โดยมีข้อสรุปว่าแม้จะมีระดับมลพิษต่ำอยู่แล้วและทำการลดระดับมลพิษอีกเพียงเล็กน้อยก็จะยังผลประโยชน์ต่อสุขภาพของประชาชนได้

3.5 สาธารณรัฐมาเซโดเนีย Health Impacts and Economic Costs of Air Pollution in the Metropolitan Area of Skopje (2018)

Martinez et. al (2018) ศึกษาผลกระทบจากนโยบายควบคุมฝุ่นละออง 2 มาตรการ ในกรุงสโคปิเอ เมืองหลวงของสาธารณรัฐมาเซโดเนีย และมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการเสียชีวิต พบว่าในปี พ.ศ.2555 (ค.ศ.2012) ผลกระทบระยะยาวจากฝุ่น $PM_{2.5}$ (49.2 $\mu g/m^3$) อาจทำให้มีการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร 1199 ราย (CI95% 821–1519) ซึ่งคิดเป็นมูลค่าทางเศรษฐกิจระหว่าง 22,000-57,000 ล้านบาท (570-1470 million euros) นอกจากนี้ยังคาดว่าอาจเกิดผู้ป่วยเข้ารักษาในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคหลอดเลือดหัวใจ 547 ราย และโรคระบบหายใจ 937 รายในปีนั้น หากสามารถลดระดับฝุ่น $PM_{2.5}$ ลงเท่ามาตรฐานสหภาพยุโรป (25 $\mu g/m^3$) จะลดจำนวนผู้เสียชีวิตจากฝุ่นได้ร้อยละ 45 และหากสามารถลดระดับฝุ่น $PM_{2.5}$ ลงเท่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลก (10 $\mu g/m^3$) จะลดจำนวนผู้เสียชีวิตจากฝุ่นได้ร้อยละ 77 (ภาพที่ 6)นอกจากนี้มาตรการทั้งสองยังจะช่วยลดจำนวนผู้ป่วยเข้ารักษาในโรงพยาบาลเนื่องจากโรคหลอดเลือดหัวใจและโรคระบบหายใจได้จำนวนมาก จึงสรุปได้ว่ามลพิษอากาศจากฝุ่น $PM_{2.5}$ มีผลกระทบที่รุนแรงต่อสุขภาพของประชาชน คิดเป็นมูลค่าความเสียหายทางเศรษฐกิจจำนวนมหาศาล มาตรการลดระดับฝุ่น $PM_{2.5}$ ที่เข้มแข็งกว่าจะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพประชาชนและผลดีต่อเศรษฐกิจของเมืองมากกว่า



ภาพที่ 6 ก ประโยชน์ที่ได้จากมาตรการลด $PM_{2.5}$ ให้เท่ากับมาตรฐานอียู
ในกรุงสโคปิเอ สาธารณรัฐมาเซโดเนีย สะสม 105 ปี (Martinez et. al. 2018)



ภาพที่ 6 ข ประโยชน์ที่ได้จากมาตรการลด $PM_{2.5}$ ให้เท่ากับมาตรฐานองค์การอนามัยโลก ข
ในกรุงสโคปิเอ สาธารณรัฐมาเซโดเนีย สะสม 105 ปี (Martinez et. al. 2018)

3.6 ภูมิภาคเอเชียตะวันออก การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการลดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากก๊าซโอโซนและฝุ่น $PM_{2.5}$ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกในปี พ.ศ. 2563

Chen และคณะ (2015) เปรียบเทียบต้นทุน-ผลประโยชน์จากการลดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากก๊าซโอโซนและฝุ่น $PM_{2.5}$ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกในปี พ.ศ. 2563 โดยจำลองสถานการณ์ควบคุมมลพิษในประเทศจีนในปี พ.ศ. 2563 แยกเป็น 2 กรณีคือ กรณีเข้มงวดมาก และกรณีเข้มงวดน้อย ผลการศึกษาสำหรับโอโซนมีต้นทุนและผลประโยชน์สำหรับกรณีที่ 1 และ 2 เท่ากับ 33,000 and 8,200, 36,600-99,700 and 22,200-60,700 (million int. $, 2005) สำหรับฝุ่น $PM_{2.5}$ มีต้นทุนและผลประโยชน์สำหรับกรณีที่ 1 และ 2 เท่ากับ 3580 and 523, 292,000-797,000 and 194,000-530,000 (million int. $, 2005) ตามลำดับ (ตารางที่ 4) เนื่องจากทั้งสองกรณีมีผลประโยชน์สูง แต่มีต้นทุนต่ำ อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนจึงมีค่าสูง โดยเฉพาะสำหรับฝุ่นละออง การศึกษาชี้ถึงความสำคัญในการควบคุมฝุ่นละอองในภูมิภาคเอเชียตะวันออก

ตารางที่ **4** ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการลดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากก๊าซโอโซนและฝุ่น $PM_{2.5}$ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกในปี พ.ศ. 2563 (million int. $, 2005)

การควบคุมมลพิษ	ต้นทุน	ผลประโยชน์	อัตราส่วน B/C
โอโซน			
เข้มงวดมาก	33,000	‘36,600-99,700	1.1-3.0
เข้มงวดน้อย	8,200	‘22,200-60,700	2.7-7.4
ฝุ่น $PM_{2.5}$			
เข้มงวดมาก	3,580	‘292,000-797,000	81-222
เข้มงวดน้อย	523	‘194,000-530,000	370-1,013

ที่มา: Chen และคณะ (2015)

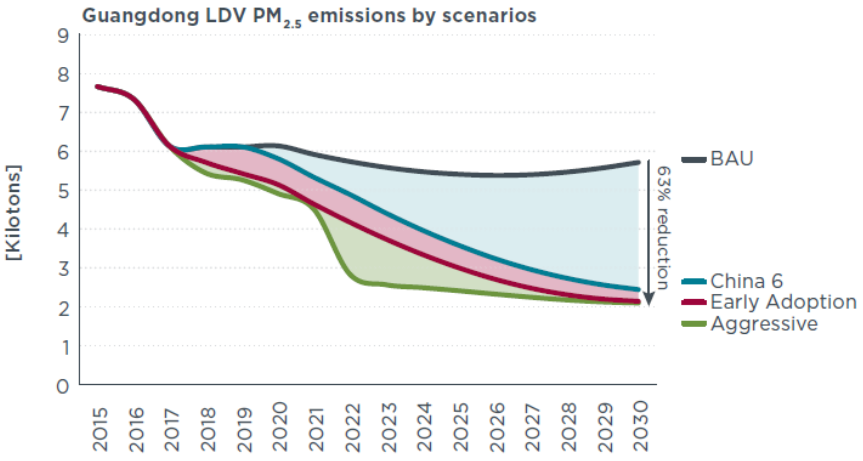
3.7 ประเทศจีน การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการนำมาตรฐานไอเสียรถขนาดเล็ก China 6 มาใช้ก่อนกำหนดในจังหวัดกวางดอง (2017)

Shao Z, Yang Z, Cui H (2017) ทำการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการนำมาตรฐานไอเสียรถขนาดเล็ก China 6 มาใช้ก่อนกำหนดในจังหวัดกวางดอง ซึ่งเป็นจังหวัดที่มีความก้าวหน้าในการจัดการคุณภาพอากาศได้ตามมาตรฐานคุณภาพอากาศ (35 มคก.ลบ.ม.) ซึ่งดีกว่าหลายๆพื้นที่ในประเทศจีน และเมืองเชนเซนในจังหวัดกวางดองกำหนดเป้าหมายคุณภาพอากาศไว้ที่ 25 มคก.ลบ.ม. ในปี พ.ศ.2563 แต่ในช่วงหลายไตรมาศที่ผ่านมามีแนวโน้มมลพิษอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น การศึกษาสัดส่วนแหล่งกำเนิดมลพิษระบุว่าในเมืองกวางซู เมืองหลวงของกวางดอง ฝุ่น $PM_{2.5}$ มาจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะถึงร้อยละ 21.7 และในเมืองเชฯเซน ฝุ่น $PM_{2.5}$ มาจากแหล่งกำเนิดยานพาหนะถึงร้อยละ 41 ในการควบคุมมลพิษอากาศ จังหวัดกวางดองได้บังคับใช้มาตรฐาน China V สำหรับน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซลตั้งแต่ปี พ.ศ.2557 และ 2558 ตามลำดับ ซึ่ง

เร็วกว่ากำหนดของประเทศจีน 2 ปีครึ่ง และบังคับใช้มาตรฐานไอเสียรถยนต์ขนาดเล็กและขนาดใหญ่ China 5/V ในปี พ.ศ. 2559 หนึ่งปีก่อนกำหนดการของประเทศจีน แต่มาตรการดังกล่าวไม่เพียงพอกับจำนวนรถยนต์ที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละปี ผู้ศึกษาทำการศึกษาผลกระทบจากการนำมาตรฐาน China 6 (เข้มงวดกว่ามาตรฐานยูโร 6) มาใช้ก่อนกำหนด โดยทำการเปรียบเทียบสถานการณ์ (1) บังคับใช้มาตรฐาน China 6 ตามกำหนดการของประเทศจีนในปี พ.ศ. 2566 (2) บังคับใช้ก่อนกำหนดในปี พ.ศ.2561 และ (3) บังคับใช้ก่อนกำหนดและงดใช้รถเก่าเริ่มในปี พ.ศ. 2565

ผลการศึกษาชี้ว่าการบังคับใช้มาตรฐานไอเสียรถยนต์ตามกำหนด (China 6 vs BAU) จะลดฝุ่นได้ 20 กิโลตัน ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2573 แต่การบังคับใช้มาตรฐานก่อนกำหนดจะลดฝุ่น $PM_{2.5}$ (และมลพิษอื่น) ลงได้อีกร้อยละ 35 (ภาพที่ 7) ยังผลให้การเสียชีวิตก่อนวัยอันควรลดลง 880 ราย และการเข้ารักษาในดรงพยาบาลลดลง 626 ราย ทั้งนี้ผลกระทบเชิงบวกด้านสุขภาพนี้ส่วนใหญ่ (3 ใน 4 ส่วน) มาจากการลดระดับฝุ่นละออง และผลกระทบหนึ่งในสี่ส่วนมาจากการลดระดับก๊าวโอโซน (ตารางที่ 5)

ต้นทุนในการควบคุมมลพิษคำนวณจากการใช้เทคโนโลยีรถยนต์สมัยใหม่ราคาต่ำ สำหรับรถยนต์เบนซินใช้เครื่องกรองฝุ่นและการควบคุมไอระเหย ซึ่งมีต้นทุนประมาณ 4,500 บาท (138 เหรียญสหรัฐ) สำหรับรถดีเซลใช้เทคโนโลยี selective catalytic reduction และอื่นๆ ซึ่งมีต้นทุนประมาณ 15,000 บาท (430 เหรียญสหรัฐ) ซึ่งเป็นต้นทุนของผู้ผลิต (ตารางที่ 6)



ภาพที่ 7 ปริมาณฝุ่น ที่ลดลงในแต่ละสถานการณ์ของจังหวัดกวางดอง

ที่มา: Shao Z, et. al (2017)

ตารางที่ 5 ผลกระทบด้านบวกจากการบังคับใช้มาตรฐานรถยนต์ China 6b ก่อนกำหนดเปรียบเทียบกับการดำเนินการตามปกติ ในปี พ.ศ. 2573

	ลดจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควร			ลดการเข้ารักษาในโรงพยาบาล		
	$PM_{2.5}$	โอโซน	รวม	$PM_{2.5}$	โอโซน	รวม
กวางดอง	669	211	880	471	155	625

ที่มา: Shao Z, et. al (2017)

ตารางที่ 6 ต้นทุนที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ได้มาตรฐาน China 6 สำหรับรถขนาดทั่วไป (เครื่องยนต์ 1.7 ลิตร)

	China 5 to 6a		China 5 to 6b	
	รถยนต์นั่ง	รถบรรทุกเล็ก	รถยนต์นั่ง	รถบรรทุกเล็ก
รถเบนซิน	4,350	4,000	4,600	4,250
รถดีเซล	21,500	22,500	23,200	24,000

หมายเหตุ: China 6b ลดฝุ่นลงจาก China 6a ร้อยละ 33 (1/3)

ที่มา: Shao Z, et. al (2017)

การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการนำมาตรฐานไอเสียรถขนาดเล็ก China 6 มาใช้ก่อนกำหนดในจังหวัดกวางดอง คำนวณเฉพาะผลประโยชน์จากจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรที่ลดลง (VSL – value of statistical life) ได้เท่ากับ 64.8 พันล้านบาท (1.95 พันล้านเหรียญสหรัฐ) ในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งเป็นมูลค่ามากกว่า 3 เท่าของต้นทุน (ภาพที่ 8) จึงสรุปได้ว่าสมควรอย่างยิ่งที่จะบังคับใช้มาตรฐานไอเสียรถยนต์ก่อนกำหนดเพื่อปรับปรุงคุณภาพอากาศและป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน โดยเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

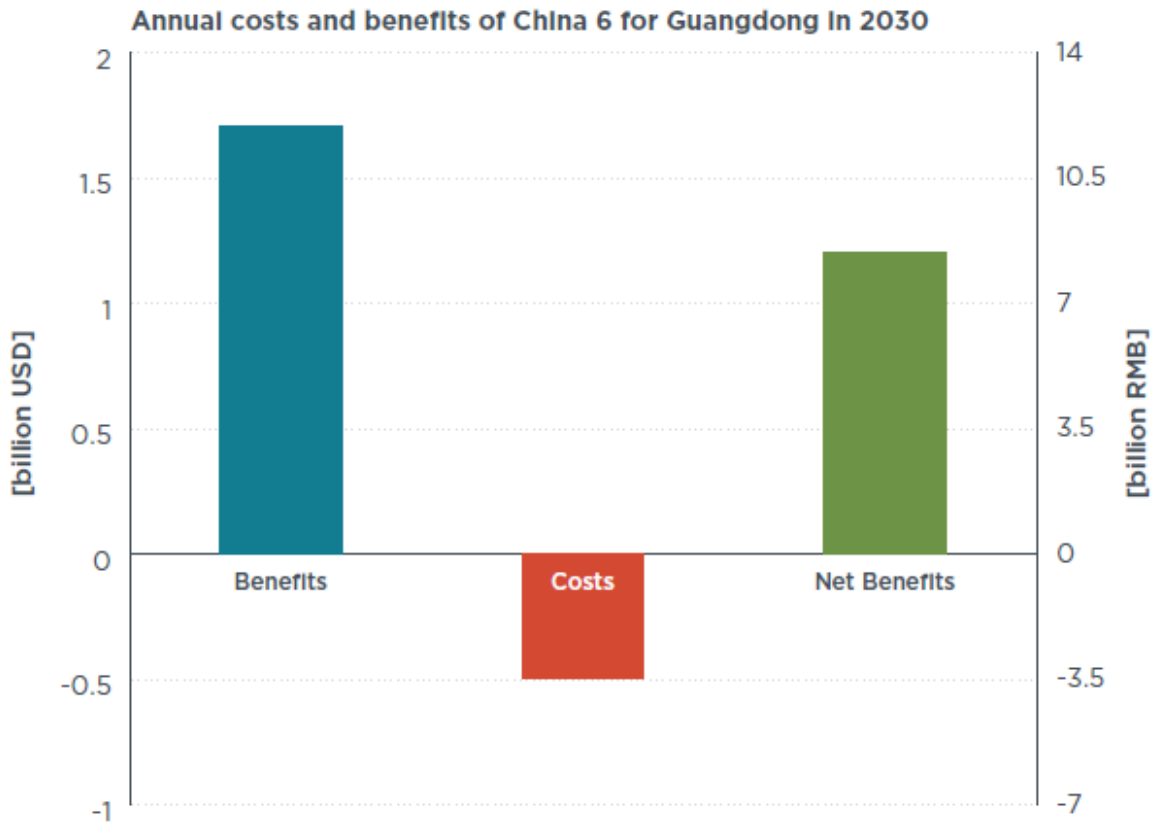


Figure 6: 2030 annual costs and benefits of implementing China 6 LDV emission standard in Guangdong (Early Adoption scenario vs. BAU).

ภาพที่ 8 ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการนำมาตรฐานไอเสียรถขนาดเล็ก China 6 มาใช้ก่อนกำหนดในจังหวัดกวางดอง ที่มา: Shao Z, et. al (2017)

3.8 ประเทศเกาหลี การประเมินค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่ได้จากกลยุทธบูรณาการการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจกในกรุงโซล (2011)

Chae และ Park (2011) การประเมินค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่ได้จากกลยุทธบูรณาการการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจกในกรุงโซล โดยมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในปี พ.ศ.2527 และเปรียบเทียบกับแผนงานปัจจุบันในการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจก ผลการศึกษาพบว่ากลยุทธดังกล่าวจะให้ประโยชน์จากการป้องกันการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเป็นมูลค่า 414,000 ล้านบาท (14 ล้านล้านวอน) โดยมีค่าใช้จ่าย – 106,000 ล้านบาท หรือคิดเป็นผลประโยชน์สุทธิ 520,000 ล้านบาท และหากคิดผลประโยชน์จากการลดก๊าซเรือนกระจกร่วมด้วย จะได้ผลประโยชน์สุทธิ 4,350,000 ล้านบาท ผลประโยชน์ที่ได้จากแผนงานจัดการคุณภาพอากาศและแผนงานลดก๊าซเรือนกระจกแต่ละแผนงานเท่ากับ 414,000 ล้านบาท และ 236,000 ล้านบาท ตามลำดับ ข้อสรุปจากการศึกษานี้แสดงว่ากลยุทธบูรณาการการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจกจะให้ผลประโยชน์สูงกว่าแผนงานจัดการคุณภาพอากาศและแผนงานลดก๊าซเรือนกระจกที่ดำเนินการแยกจากกัน

3.9 ประเทศสหรัฐอเมริกา วิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์จากการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์ (2003)

Blumberg et. al (2003) ทำการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์เปรียบเทียบการดำเนินการของ U.S. EPA ในการใช้มาตรฐานรถยนต์ระดับที่ 2 (Tier 2) และมาตรฐานเครื่องยนต์สำหรับรถขนาดใหญ่ (Heavy-duty Engine and Vehicle Standards) โดยทำการลดกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงควบคู่กันกับมาตรฐานไอเสียรถยนต์ พบว่าการลดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากการลดปริมาณการระบายฝุ่นละอองเป็นผลประโยชน์หลักของมาตรการ การลดปริมาณการระบายฝุ่นละอองเนื่องจากมาตรฐานรถขนาดใหญ่จะให้ผลประโยชน์ที่สูงกว่า แต่การลดปริมาณการระบาย NOx และ Sox (ซึ่งทำให้เกิดฝุ่นทุตยภูมิ) จากมาตรฐานรถยนต์ระดับที่ 2 ก็มีผลประโยชน์ที่ไม่น้อยเช่นกัน ผลประโยชน์ที่ไม่ได้ตีค่าเป็นตัวเงินได้แก่ การป่วย การสูญเสียทัศนวิสัย และความเสียหายทางเกษตรกรรม U.S. EPA วิเคราะห์ผลประโยชน์จนถึงปี พ.ศ. 2573 และพบว่าผลประโยชน์รวมจากทั้ง 2 มาตรการเท่ากับ 86 พันล้านเหรียญสหรัฐ ค่าที่ประมาณนี้เป็นค่าขั้นต่ำเนื่องจากยังไม่ได้รวมผลประโยชน์ที่ไม่ได้ตีค่าเป็นตัวเงินดังกล่าวข้างต้น (ตารางที่ 7)

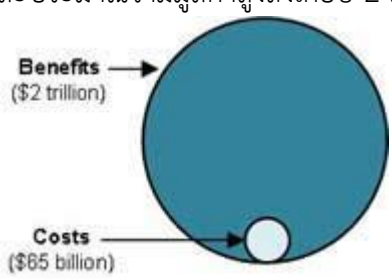
ตารางที่ 7 ต้นทุน-ผลประโยชน์จากการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิงในสหรัฐอเมริกาปี 2030

Regulation	Benefit (billions)	Cost (billions)	Net (billions)
Tier 2 (EPA 1999)	25.2	- 5.3	19.9
Heavy-Duty (EPA 2000)	70.4	-4.3	66.1
Total	95.6	-9.6	86.0

ที่มา: Blumberg et. al (2003) Low-Sulfur Gasoline & Diesel: The Key to Lower Vehicle Emissions

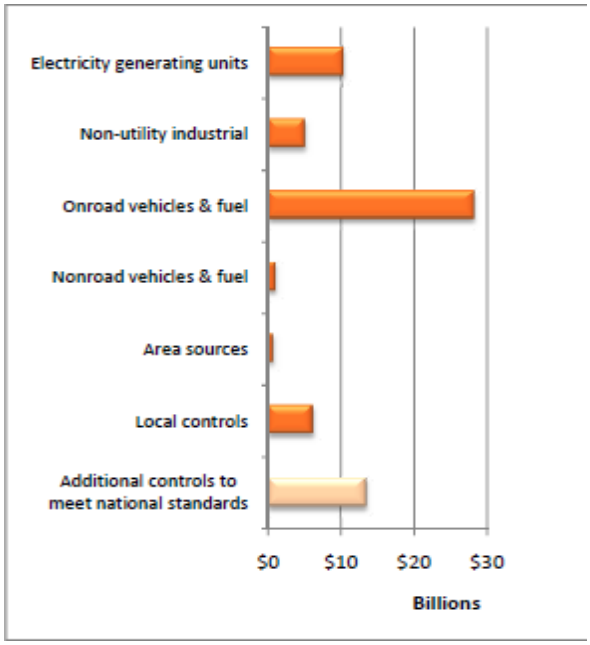
3.10 มาตรการในสหรัฐ Benefits and Costs of the Clean Air Act 1991-2020

สหรัฐอเมริกาได้ศึกษาความคุ้มทุนของมาตรการตาม พ.ร.บ.อากาศสะอาด (The 1990 Clean Air Act Amendment) ในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2533-2563) (USEPA, 2011) และพบว่าการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวดขึ้นจะป้องกันการเสียชีวิตของประชากรจำนวน 230,000 รายในปี ค.ศ. 2020 ทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้ส่วนใหญ่ (85%) มาจากผลที่ได้จากการลดระดับฝุ่นละออง ทั้งนี้ค่ากลางของอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 30 เท่า และอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายมีช่วงระหว่าง 3 ถึง 90 เท่า แม้ว่าค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานตามมาตรการจะสูงมากถึง 65 พันล้านเหรียญต่อปี แต่ผลประโยชน์ที่ได้สูงกว่าหลายเท่าตัว และประมาณว่ามีมูลค่าสูงถึงเกือบ 2 ล้านล้านเหรียญในปี ค.ศ. 2020 (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกับผลประโยชน์ที่ได้จากมาตรการตาม พ.ร.บ.อากาศสะอาด 2533 (USEPA, 2011)

ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายตรงในการลดมลพิษประกอบด้วยมาตรการลดมลพิษจากแหล่งกำเนิดหลัก 5 ประเภท ได้แก่ การผลิตไฟฟ้า อุตสาหกรรม ยานพาหนะทางถนนและเชื้อเพลิง ยานพาหนะที่ไม่ใช่ทางถนนและเชื้อเพลิง และแหล่งกำเนิดแบบพื้นที่ แต่มาตรการที่มีค่าใช้จ่ายสูงสุดคือ มาตรการลดมลพิษจากยานพาหนะทางถนนและเชื้อเพลิง มีค่าใช้จ่ายเกือบครึ่งหนึ่งของทั้งหมด หรือเกือบ 30 พันล้านเหรียญต่อปี (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของมาตรการแต่ละด้านตาม พ.ร.บ.อากาศสะอาด 2533 (USEPA, 2011)

3.11 สรุปการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองPM$_{2.5}$ ในต่างประเทศ

Shi Y และคณะ (2018) ใช้ข้อมูลระยะยาวของความเข้มข้นฝุ่น PM$_{2.5}$ จากดาวเทียมความละเอียดสูง (0.01° × 0.01°) เพื่อคาดคะเนการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากฝุ่น PM$_{2.5}$ ในเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (SSEA) ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2557 (15 ปี) ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,447,000 ราย จำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรเพิ่มจาก 1,179,400 รายในปี พ.ศ 2542 เป็น 1,724,900 ในปี พ.ศ. 2557 Shi ได้แสดงถึงการใช้นวัตกรรมข้อมูลดาวเทียมเพื่อแสดงภาพความเข้มข้นมลพิษครอบคลุมพื้นที่หลายภูมิภาคซึ่งยังไม่มีข้อมูลการตรวจวัดภาคพื้นดิน เพื่อใช้ในการคาดคะเนการสูญเสียเนื่องจากมลพิษอากาศ

Nawahda (2013) ทำการศึกษาผลกระทบจากการลดความเข้มข้นฝุ่น PM$_{2.5}$ ต่อการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรในประเทศญี่ปุ่น ระหว่างปี ค.ศ. 2006-2009 โดยใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศ 1,843 แห่งในญี่ปุ่น การคำนวณค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ (RR - relative risk) เท่ากับ 1.04 (95 % CI, 1.01–1.08) ทุกๆ 10 มคก./ลบ.ม. ที่สูงกว่าค่ามาตรฐานรายปี 10 มคก./ลบ.ม. ขององค์การอนามัยโลก Nawahda ได้ใช้ข้อมูลพิษอากาศจากการตรวจวัดภาคพื้นดินเพื่อคำนวณค่าความเสี่ยงต่อการเสียชีวิตซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการคาดคะเนการสูญเสียเนื่องจากมลพิษอากาศ นอกจากนี้ยังชี้ว่ากลุ่มผู้มีอายุมากกว่า 75 ปีเป็นกลุ่มเสี่ยงที่มีอัตราการเสียชีวิตร้อยละ 77 ของกลุ่มผู้สูงอายุ

Jiménez และคณะ (2009) ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นต่อการเสียชีวิตรายวันของผู้สูงอายุเกิน 75 ปี ในกรุงแมดริด ประเทศสเปน และชี้ให้เห็นผลกระทบในระยะเวลาสั้น (1-2 วัน) ของความเข้มข้นรายวัน ฝุ่น PM$_{2.5}$ ต่อการเสียชีวิตของผู้สูงอายุเกิน 75 ปี Jiménez ชี้ว่ามลพิษอากาศมีผลกระทบรุนแรงถึงระดับเสียชีวิตในระยะเวลาสั้นเช่นเดียวกับผลระยะยาวโดยเฉพาะกับผู้สูงอายุ

Broome และคณะ (2015) รายงานผลการศึกษาผลกระทบจากฝุ่นและก๊าซโอโซนในกรุงซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีระดับมลพิษที่ต่ำกว่าประเทศในยุโรปและสหรัฐอเมริกา และมีข้อสรุปว่าแม้จะมีระดับมลพิษต่ำอยู่แล้วและทำการลดระดับมลพิษอีกเพียงเล็กน้อยก็จะยังผลประโยชน์ต่อสุขภาพของประชาชนได้

Martinez และคณะ (2018) ศึกษาผลกระทบจากนโยบายควบคุมฝุ่นละออง 2 มาตรการ ในกรุงสโคปิเอ เมืองหลวงของสาธารณรัฐมาเซโดเนีย หากสามารถลดระดับฝุ่น PM$_{2.5}$ ลงเท่ามาตรฐานสหภาพยุโรป (25 $\mu g/m^3$) จะลดจำนวนผู้เสียชีวิตจากฝุ่นได้ร้อยละ 45 และหากสามารถลดระดับฝุ่น PM$_{2.5}$ ลงเท่ามาตรฐานองค์การอนามัยโลก (10 $\mu g/m^3$) จะลดจำนวนผู้เสียชีวิตจากฝุ่นได้ร้อยละ 77 และสรุปว่ามาตรการลดระดับฝุ่น PM$_{2.5}$ ที่เข้มแข็งกว่าจะเป็นประโยชน์ต่อสุขภาพประชาชนและผลดีต่อเศรษฐกิจของเมืองมากกว่า

Chen และคณะ (2015) เปรียบเทียบต้นทุน-ผลประโยชน์จากการลดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากก๊าซโอโซนและฝุ่น PM$_{2.5}$ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกในปี พ.ศ. 2563 โดยจำลองสถานการณ์ควบคุมมลพิษในประเทศจีนในปี พ.ศ. 2563 แยกเป็น 2 กรณีคือ กรณีเข้มงวดมาก และกรณีเข้มงวดน้อย Yamashita พบว่ามาตรการควบคุมมลพิษที่เข้มงวดมากจะให้ผลประโยชน์สูงกว่า โดยเฉพาะฝุ่นละอองมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนระหว่าง 81-222 เท่า

Shao Z, Yang Z, Cui H (2017) ทำการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการนำมาตรฐานไอเสียรถขนาดเล็ก China 6 มาใช้ก่อนกำหนดในจังหวัดกวางดอง คำนวณเฉพาะผลประโยชน์จากจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรที่ลดลง (VSL – value of statistical life) ได้เท่ากับ 64.8 พันล้านบาท (1.95 พันล้านเหรียญสหรัฐ) ในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งเป็นมูลค่ามากกว่า 3 เท่าของต้นทุน และสรุปว่าการนำมาตรฐานไอเสียมาใช้ก่อนกำหนดจะให้ผลประโยชน์ที่คุ้มค่า

Chae และ Park (2011) การประเมินค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่ได้จากกลยุทธบูรณาการการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจกในกรุงโซล หากคิดผลประโยชน์จากแผนงานจัดการคุณภาพอากาศบูรณาการร่วมกับแผนงานลดก๊าซเรือนกระจก จะได้ผลประโยชน์สุทธิ 4,350,000 ล้านบาท คิดเป็น 6 เท่าของผลประโยชน์ทั้ง 2 แผนงานรวมกัน

Blumberg et. al (2003) ทำการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์เปรียบเทียบการดำเนินการของ U.S. EPA ในการใช้มาตรฐานรถยนต์ระดับที่ 2 (Tier 2) และมาตรฐานเครื่องยนต์สำหรับรถขนาดใหญ่ (Heavy-duty Engine and Vehicle Standards) พบว่าการลดปริมาณการระบายฝุ่นละอองเป็นผลประโยชน์หลักของมาตรการ การลดปริมาณการระบายฝุ่นละอองเนื่องจากมาตรฐานรถขนาดใหญ่จะให้ผลประโยชน์ที่สูงกว่า

สหรัฐอเมริกาได้ศึกษาความคุ้มทุนของมาตรการตาม พ.ร.บ.อากาศสะอาด (The 1990 Clean Air Act Amendment) ในรอบ 30 ปี (พ.ศ.2533-2563) (USEPA, 2011) และพบว่าการกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวดขึ้นจะป้องกันการเสียชีวิตของประชากรจำนวน 230,000 รายในปี ค.ศ. 2020 ทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้ส่วนใหญ่ (85%) มาจากผลที่ได้จากการลดระดับฝุ่นละออง ทั้งนี้ค่ากลางของอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายอยู่ที่ 30 เท่า

ข้อสรุปโดยรวมของการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละออง$PM_{2.5}$ ในต่างประเทศ คือ การคาดคะเนมูลค่าการสูญเสียจากมลพิษอากาศเป็นข้อมูลและเหตุผลสำคัญในการจัดการมลพิษอากาศ โดยสามารถใช้ข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศภาคพื้นดินและข้อมูลดาวเทียมในการฉายภาพสถานการณ์มลพิษอากาศที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ประกอบกับการคำนวณค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ต่ออัตราการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรที่ได้จากการศึกษาทางระบาดวิทยา นำไปสู่การกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศที่เข้มงวดพร้อมด้วยมาตรการที่เข้มงวดให้ผลประโยชน์สูงกว่ามาตรการที่เข้มงวดน้อยกว่า อีกทั้งการเร่งรัดมาตรการให้เร็วที่สุดก็จะให้ผลประโยชน์ที่สูงขึ้น ทั้งนี้ การลดมลพิษอากาศแม้ในพื้นที่ที่มีมลพิษต่ำก็จะให้ผลประโยชน์เพิ่มขึ้น ประเด็นสุดท้ายคือ กลุ่มผู้สูงอายุจะมีความเสี่ยงและได้รับผลกระทบสูงกว่า การเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุจะเพิ่มความรุนแรงและจำนวนผู้ได้รับผลกระทบจากมลพิษ

บทที่ 4
วิเคราะห์สถานการณ์และมาตรการการจัดการปัญหาฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล

4.1 สถานการณ์ปัญหาฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล

กรมควบคุมมลพิษ (2561) รายงานว่า กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมีการติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศโดยสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศอัตโนมัติ ซึ่งในกรุงเทพมหานครมีการตรวจวัดปริมาณ ฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ จำนวน 6 สถานี ได้แก่ 1) ริมถนนลาดพร้าว เขตลาดพร้าว 2) ริมถนนอินทรพิทักษ์ เขตธนบุรี 3) ริมถนนพระราม 4 เขตปทุมวัน 4) เขตวังทองหลาง 5) เขตพญาไท และ 6) เขตบางนา สาหรับปริมณฑล มีสถานีที่ตรวจวัดฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 จำนวน 3 สถานี อยู่ในจังหวัดสมุทรปราการ 2 สถานี ได้แก่ 1) ต.ทรงคะนอง อ.พระประแดง และ 2) ต.บางเสาธง อ.บางเสาธง และอยู่ในจังหวัดสมุทรสาคร 1 สถานี ได้แก่ ต.มหาชัย อ.เมือง

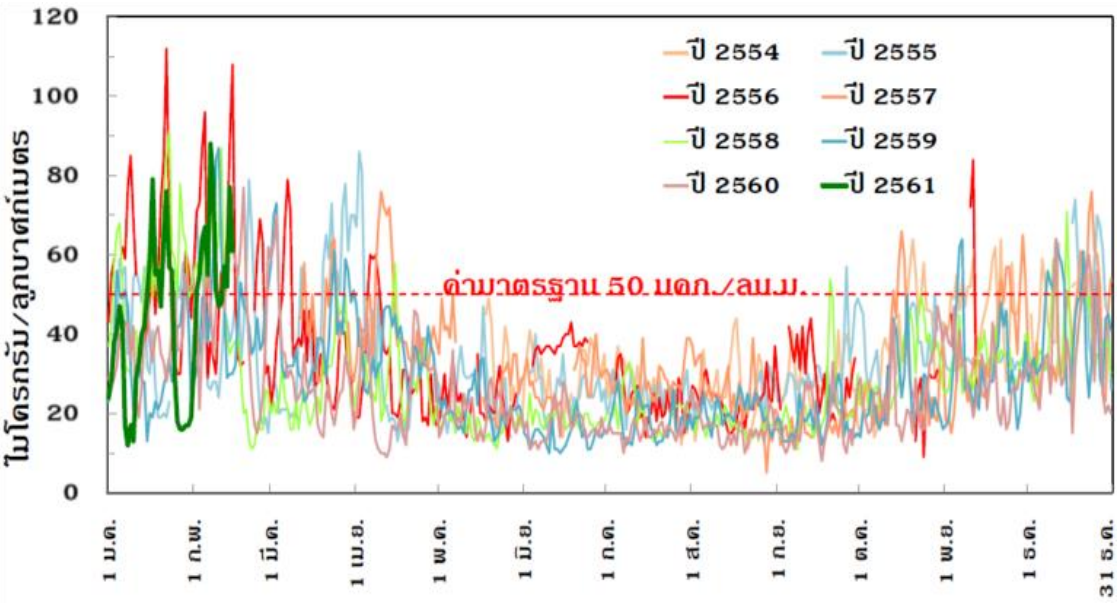
การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศ พบว่าสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบเกินเกณฑ์มาตรฐาน (50 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ในช่วงต้นปี (เดือนมกราคมถึงมีนาคม) และปลายปี (เดือนธันวาคม) ของทุกปีย้อนหลัง 8 ปี ตั้งแต่ ปี 2554-2561 (ภาพที่ 11)

การติดตามตรวจสอบสถานการณ์ฝุ่นละอองขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม – 27 มีนาคม 2561 ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร พบว่าปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็กเริ่มมีแนวโน้มสูงขึ้นจนอยู่ในระดับเกินเกณฑ์มาตรฐานตั้งแต่วันที่ 15 มกราคม 2561

แนวโน้มระยะยาวของระดับฝุ่น PM_{10} เฉลี่ยทั้งปีตั้งแต่ ปี พ.ศ.2540 จนถึงปัจจุบันมีแนวโน้มลดลงอย่างมากตามลำดับ แม้ว่าจำนวนรถยนต์จะเพิ่มสุงขึ้นมากกว่าเท่าตัว เนื่องจากมาตรการควบคุมฝุ่นละออง (ดังจะอธิบายในหัวข้อต่อไป) โดยที่ระดับฝุ่น PM_{10} ในพื้นที่ทั่วไปต่ำกว่ามาตรฐาน ส่วนระดับฝุ่น PM_{10} บริเวณริมถนนแสดงแนวโน้มลดลงเช่นกันแม้ว่าใน 2 ปีสุดท้ายจะมีค่าสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อย (ภาพที่ 12)

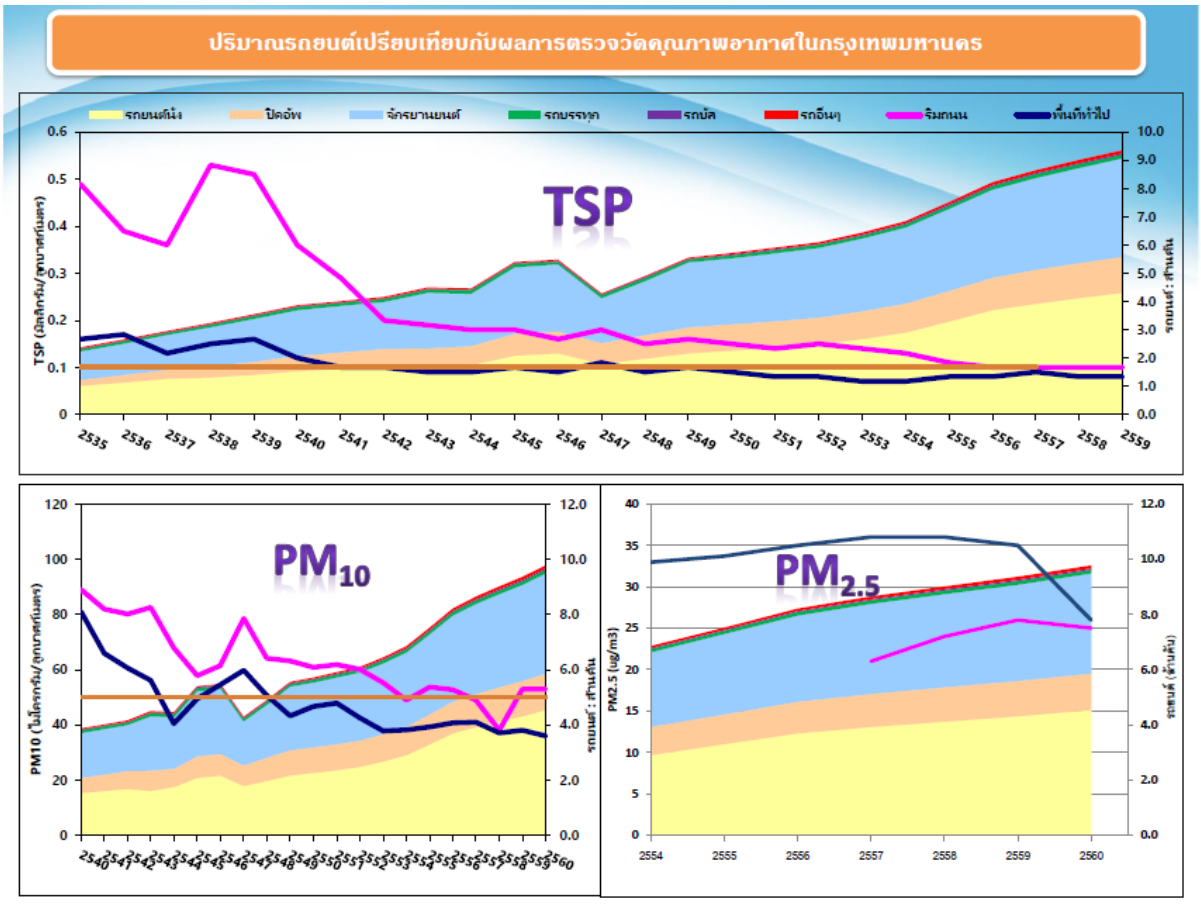
แนวโน้มระยะยาวของระดับฝุ่น $PM_{2.5}$ เฉลี่ยทั้งปีตั้งแต่ ปี พ.ศ.2554-2560 พบว่าระดับฝุ่น $PM_{2.5}$ ในพื้นที่ทั่วไปมีแนวโน้มสูงขึ้นแต่ยังอยู่ภายในค่ามาตรฐาน ระดับฝุ่น $PM_{2.5}$ บริเวณริมถนนมีแนวโน้มลดลงแต่ยังเกินค่ามาตรฐาน (ภาพที่ 13)

เมื่อพิจารณาสถานการณ์ฝุ่นละอองในภาพรวม อาจกล่าวได้ว่ามาตรการควบคุมฝุ่นละอองที่ดำเนินการมาในช่วง 20 ปี ประสพผลสำเร็จในการลดระดับฝุ่น PM_{10} เป็นตัวอย่างความสำเร็จที่นำไปใช้เป็นบทเรียนได้ แต่ระดับฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในระยะหลังแสดงถึงแหล่งกำเนิดที่เพิ่มขึ้น ปัญหาที่แตกต่างจากเดิม มีความสลับซับซ้อนและต้องวิเคราะห์ให้ทราบสาเหตุที่ชัดเจน จึงจะสามารถดำเนินการแก้ไขปัญหาได้ตรงจุด การควบคุมระดับฝุ่นเฉลี่ยทั้งปี (แม้จะเกินค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย) มีความสำคัญต่อสุขภาพอนามัยและอาจนำไปสู่การปรับค่ามาตรฐานให้เข้มงวดขึ้น ส่วนระดับฝุ่นละอองในช่วงหน้าแล้งที่เกินค่ามาตรฐานเฉลี่ย 24 ชั่วโมง จำเป็นต้องกำหนดมาตรการในช่วงวิกฤติที่เข้มงวดกว่าปกติจึงจะสามารถลดระดับฝุ่นละอองให้อยู่ภายในค่ามาตรฐาน



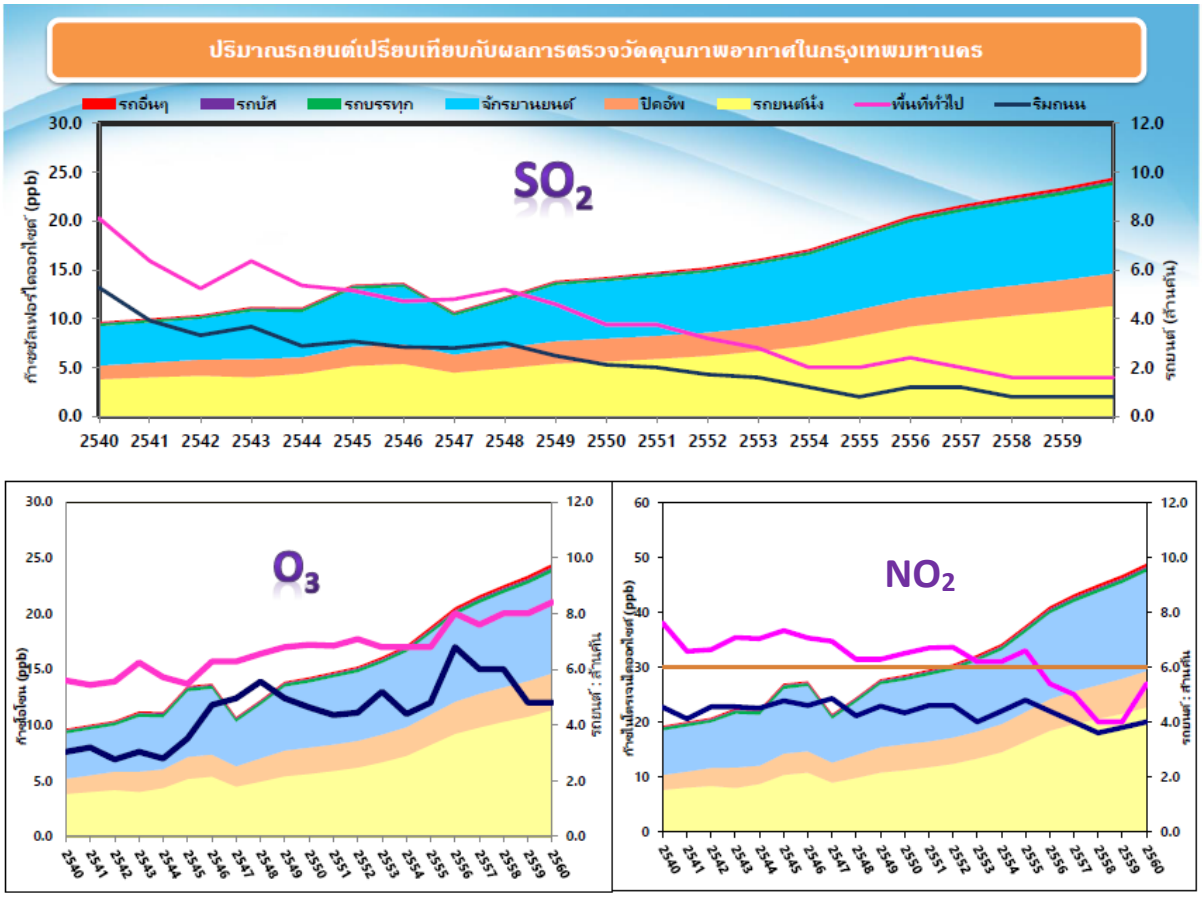
ภาพที่ 11 ความเข้มข้นฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ รายวัน ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ปี 2554-2561

ที่มา: สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา (2561)



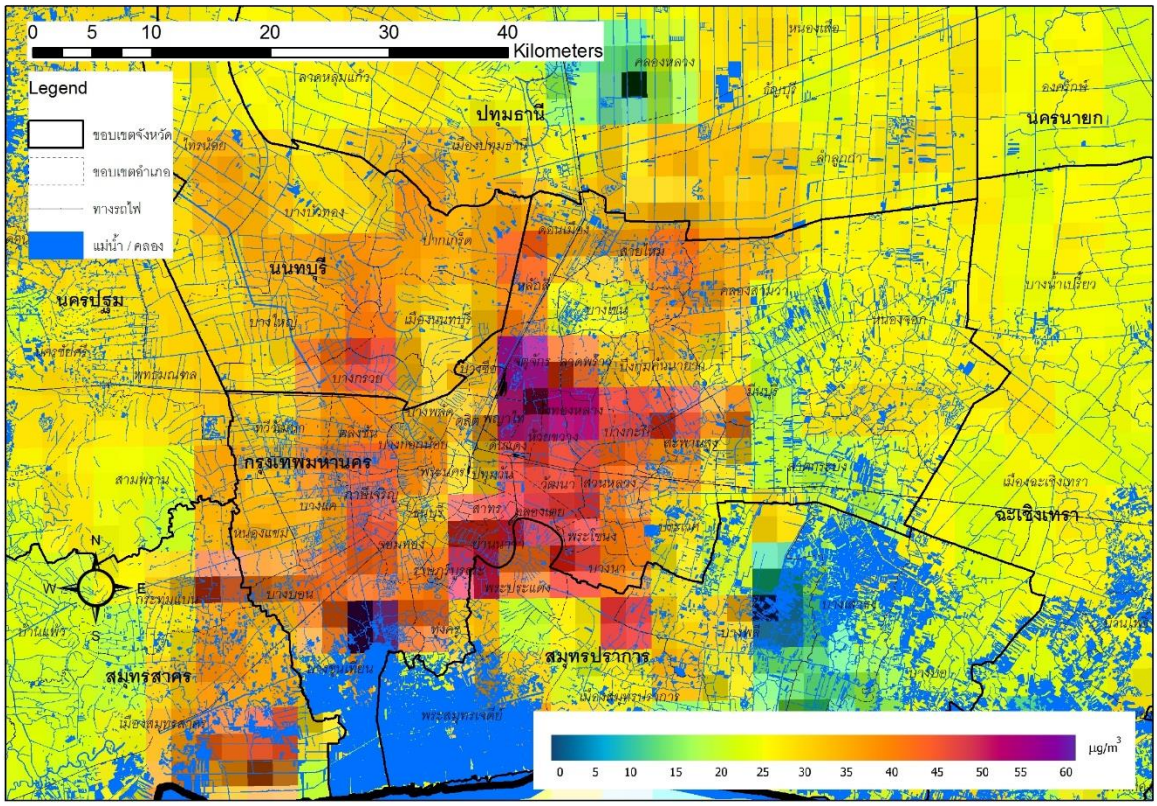
ภาพที่ 12 ความเข้มข้นฝุ่นละออง TSP PM_{10} $PM_{2.5}$ รายปี ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2561)



ภาพที่ 13 ความเข้มข้นก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โอโซน และไนโตรเจนไดออกไซด์ ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2561)

การกระจายความเข้มข้นฝุ่นละอองเชิงพื้นที่ (Spatial Distribution) ในกรุงเทพมหานคร เป็นประโยชน์ในการประเมินสถานการณ์คุณภาพอากาศ ดังแสดงในภาพการประเมิน $PM_{2.5}$ เฉลี่ยรายปี 2560 กทม. จากโครงการการจัดทำแผนที่สถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย ปี 2560 โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม (2561) ของกรมควบคุมมลพิษหัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.อิสระ มะศิริ ม.ศิลปากร จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่มีความเข้มข้น $PM_{2.5}$ สูงสุดได้แก่ พื้นที่ใจกลางกรุงเทพฯ และพื้นที่บริเวณชานเมืองทิศตะวันออกเฉียงเหนือของกรุงเทพฯ ในช่วงฤดูลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและฤดูแล้งซึ่งมีการเผาชีวมวล ลมจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือจะพัดพามลพิษอากาศเข้าสู่กรุงเทพฯและเป็นผลให้ความเข้มข้นมลพิษอากาศสูงในช่วงเวลาดังกล่าว (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 การกระจายความเข้มข้นฝุ่นละอองเชิงพื้นที่ในกรุงเทพมหานคร

ที่มา: อิสระ มะศิริ (2561)

4.2 มาตรการการจัดการปัญหาฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล

(1) การจัดทำมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศกำหนดขึ้นเพื่อป้องกันผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน (ในต่างประเทศอาจมีมาตรฐานเพื่อปกป้องรักษาสภาพแวดล้อม พืช และสัตว์ ต่างหากเป็นพิเศษ) ทั้งนี้จะต้องมีการศึกษาทางระบาดวิทยาเพื่อพิสูจน์หลักฐานของผลกระทบต่อสุขภาพเนื่องจากมลพิษอากาศแต่ละชนิดทั้งในระยะสั้นและระยะยาว รวมทั้งสถานการณ์คุณภาพอากาศและสภาพแวดล้อมอื่นๆในท้องถิ่น และพิจารณาถึงผลกระทบจากการกำหนดมาตรฐานทั้งในด้านเศรษฐกิจและสังคม

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย ฉบับแรกประกาศในราชกิจจานุเบกษา ในปี พ.ศ. 2524 และได้มีการปรับปรุงต่อเนื่องมาตามลำดับตามความรู้และวิชาการด้านผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพอนามัย จากเดิมที่มีเพียงมาตรฐานของฝุ่นรวม (TSP) ได้เพิ่มมาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 10 ไมครอน (PM_{10}) ในปี พ.ศ. 2547 และมาตรฐานของฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ($PM_{2.5}$) ในปี พ.ศ. 2553 เนื่องจากหลักฐานทางสุขภาพอนามัยชี้ว่าฝุ่นขนาดเล็กสามารถถูกหายใจเข้าไปถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมปอด ทำให้ฝุ่นขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอนมีผลกระทบที่รุนแรงกว่าฝุ่นขนาดใหญ่

มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทยมีรูปแบบเดิมตามที่ใช้ในปี พ.ศ. 2524 ซึ่งแตกต่างจากมาตรฐานนานาประเทศที่ได้มีการพัฒนามาโดยตลอด และเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ค่ามาตรฐานแตกต่างกันออกไป (ตารางที่ 7) กล่าวคือ มาตรฐานฝุ่นละอองในบรรยากาศจะประกอบด้วยมาตรฐานระยะสั้น (24 ชั่วโมง) และระยะยาว (1 ปี) ความแตกต่างของรูปแบบมาตรฐานอยู่ที่มาตรฐานระยะสั้น สำหรับประเทศไทยจะกำหนดค่าสูงสุดที่ระดับฝุ่นละอองต้องไม่เกินแม้แต่วันเดียวในรอบปี วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ (2560 ข) เสนอให้ปรับค่ามาตรฐานฝุ่น PM_{10} และ $PM_{2.5}$ ของประเทศไทยให้เป็นรูปแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 (ยอมให้มีจำนวนวันที่เกินมาตรฐานได้ 5 เปอร์เซ็นต์ใน 365 วัน หรือเท่ากับ 18 วันในรอบปี) และเพื่อให้มาตรฐานมีความเข้มงวดเท่าเดิมจะต้องลดค่ามาตรฐานเป็น 35 มคก./ลบ.ม.ซึ่งเทียบเท่ากับมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (ตารางที่ 7) โดยที่มาตรฐานรูปแบบใหม่นี้ยังมี**ความเข้มงวดเท่าเดิม** การใช้รูปแบบมาตรฐานแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์แทนการใช้ค่าสูงสุดในปัจจุบันมีความเหมาะสมเพราะค่าสูงสุดมีความแปรปรวนสูงเนื่องจากอาจได้รับอิทธิพลจากสภาพอุตุนิยมวิทยาที่เลวร้ายในเวลาสั้นๆ หรือมีแหล่งกำเนิดมลพิษที่มากผิดปกติในพื้นที่หรือพัดพาจากพื้นที่อื่นในวันนั้น ทั้งนี้ผลการตรวจวัดคุณภาพอากาศเมื่อพบว่าค่าเกินมาตรฐานแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์ จะเป็นสิ่งบอกเตือนหน่วยงานว่าต้องมีมาตรการระยะสั้นในการควบคุมมลพิษอากาศไม่ให้เกินจำนวนวันที่ยอมได้

องค์การอนามัยโลก (WHO, 2011) ระบุว่าไม่มีหลักฐานที่ชี้ว่ามีระดับฝุ่นละอองที่ปลอดภัยหรือระดับฝุ่นละอองที่ไม่แสดงผลเสียต่อสุขภาพอนามัย (There is no evidence of a safe level of exposure or a threshold below which no adverse health effects occur) ดังนั้น จึงเป็นภาระกิจของหน่วยงานรัฐทั้งในด้านสุขภาพอนามัยและหน่วยงานด้านควบคุมแหล่งกำเนิดจะต้องพยายามปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพอากาศให้เข้มงวดขึ้นในระยะยาว

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบมาตรฐานฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ของประเทศไทยและต่างประเทศ

ประเทศ	ค่าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง (มคก./ลบ.ม.)	ค่าเฉลี่ยทั้งปี (มคก./ลบ.ม)
องค์การอนามัยโลก	25	35/25/15/10[(1)]
สหภาพยุโรป	-	25
สหรัฐอเมริกา	35[(2)]	12
ประเทศไทย	50	25
ข้อเสนอสำหรับประเทศไทย	35[(3)]	25

หมายเหตุ: (1) เป้าหมายระยะที่ 1/2/3/ค่ามาตรฐาน (2) เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 98 เฉลี่ย 3 ปี
(3) เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95 ที่มา: วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ (2560 ข)

(2) การศึกษาผลกระทบต่อสุขภาพอนามัย

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนสามารถหายใจเข้าไปได้ถึงระบบทางเดินหายใจส่วนล่างและถุงลมปอด มีผลกระทบต่อสุขภาพทั้งแบบเฉียบพลัน (ชั่วโมงหรือวัน) และผลเรื้อรัง (เดือนหรือปี) ได้แก่ อาการป่วยทางระบบหายใจและหลอดเลือดหัวใจ เช่น หอบหืด อาการป่วยของระบบหายใจ และการเข้ารับการรักษาในโรงพยาบาล และการเสียชีวิตจากโรคระบบหายใจและหลอดเลือดหัวใจรวมถึงมะเร็งปอด

ฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีผลเสียต่อสุขภาพอย่างชัดเจนมากกว่าฝุ่นหยาบที่มีขนาดใหญ่กว่า มีผลการศึกษาที่ประมาณว่าอัตราการเสียชีวิตจากทุกโรคเพิ่มขึ้น 0.2-0.6% ต่อ PM_{10} ที่เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ในขณะที่อัตราการเสียชีวิตเฉพาะจากโรคระบบหายใจเพิ่มขึ้น 6-13% ต่อ $PM_{2.5}$ ที่เพิ่มขึ้น 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (WHO, 2013) ทั้งนี้ องค์การอนามัยโลกประมาณการจากแบบจำลองว่าในปี ค.ศ. 2010 ประชากรทั่วโลกเสียชีวิตจากฝุ่น $PM_{2.5}$ ประมาณ 3.1 ล้านคน และอายุขัยของประชากรโลกลดลงโดยเฉลี่ย 8.6 เดือน สำหรับประเทศไทยจากแบบจำลองขององค์การอนามัยโลก (ตารางที่ 1) มีอัตราการเสียชีวิตจากมลพิษอากาศใน ปี ค.ศ. 2013 ประมาณ 50,000 คน คิดเป็นมูลค่าความเสียหายประมาณ 60,000 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือประมาณ 1.8 ล้านล้านบาท (World Bank, The Cost of Air Pollution, 2016)

ฝุ่นขนาดเล็กมีอันตรายมากกว่าฝุ่นขนาดใหญ่มีสาเหตุที่สำคัญคือฝุ่นขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวสูงทำให้สามารถดูดซับสารพิษได้สูง (ดูหัวข้อ 2.2) IARC – International Agency for Research on Cancer ซึ่งเป็นหน่วยงานขององค์การอนามัยโลก (WHO, 2012) จัดให้ไอเสียรถดีเซลเป็นสารก่อมะเร็งในมนุษย์กลุ่ม 1 ซึ่งหมายความว่ามีหลักฐานยืนยันว่าไอเสียดีเซลก่อให้เกิดมะเร็งในมนุษย์ (IARC classified diesel engine exhaust as carcinogenic to humans (Group 1)) ทำให้เมื่อต้นปี 2561 ประเทศเยอรมันนีอนุญาตให้เมืองต่างๆในประเทศออกกฎหมายห้ามใช้รถดีเซล ผลกระทบแบบโดมิโนที่ตามมาคือเมืองอื่นๆ ได้แก่ กรุงโรม ปารีส แมดริด เอเธนส์ และเม็กซิโกซิตี้ มีแผนการที่จะห้ามรถดีเซลบนท้องถนนในปี 2568

ตารางที่ 9 ประมาณการจำนวนผู้เสียชีวิต และมูลค่าความเสียหายจากมลพิษอากาศในประเทศไทย

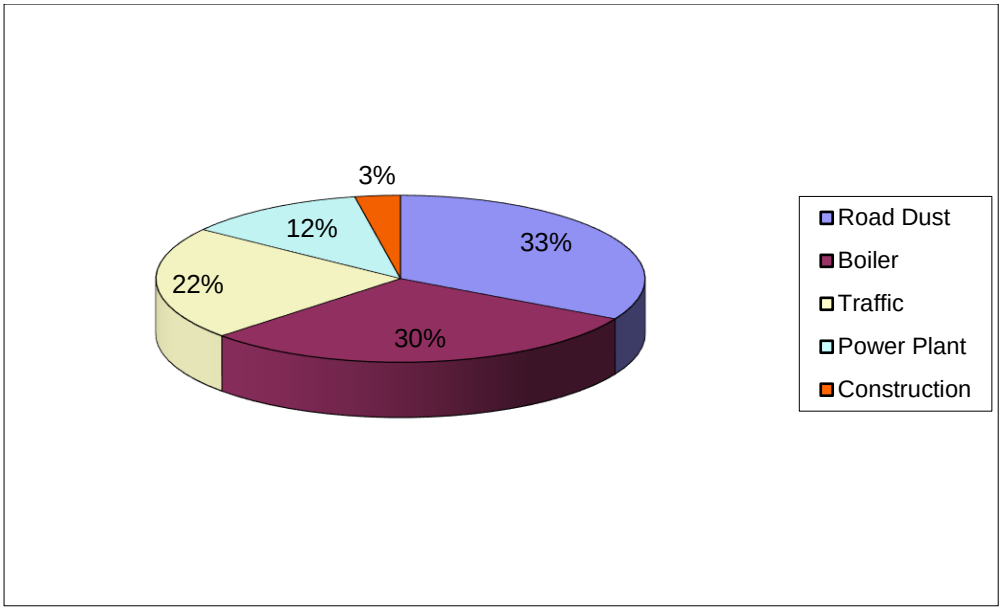
Economy	Mean annual ambient PM2.5 (μg/m3)		Total deaths from air pollution		Total welfare losses (Million 2011 U.S. dollars, PPP-adjusted; % GDP equivalent)		Total forgone labor output (Million 2011 U.S. dollars, PPP-adjusted; % GDP equivalent)	
	1990	2013	1990	2013	1990	2013	1990	2013
Thailand	17.24	22.36	31,173	48,819	15,317	63,369	1,155	2,361
					-4.07%	-6.29%	-0.31%	-0.23%

หมายเหตุ: จำนวนผู้เสียชีวิตและมูลค่าความเสียหายจากการประมาณการด้วยแบบจำลอง

ที่มา : World Bank, The Cost of Air Pollution, 2016

(3) กรมควบคุมมลพิษ โครงการกลยุทธในการควบคุมฝุ่น PM_{10} ในกรุงเทพและปริมณฑล 2540 (PM Abatement Strategy for the Bangkok Metropolitan Area, Pollution Control Department and the World Bank, 1997)

กรมควบคุมมลพิษ โดยการสนับสนุนของธนาคารโลก ในปี พ.ศ. 2540 ได้จัดทำโครงการกลยุทธในการควบคุมฝุ่น PM_{10} ในกรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งแม้ว่าจะไม่ใช่การควบคุมฝุ่น $PM_{2.5}$ แต่บทเรียนและความสำเร็จในการควบคุมฝุ่น PM_{10} น่าจะเป็นตัวอย่างที่ดีในการวางแผนงานและกำหนดมาตรการในการควบคุมฝุ่น $PM_{2.5}$ ในอนาคต ในการศึกษานี้ จากการจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษพบว่า แหล่งกำเนิดฝุ่น PM_{10} ที่สำคัญ 4 อันดับแรกเรียงจากมากไปน้อยคือ ฝุ่นถนน หม้อไอน้ำโรงงานอุตสาหกรรม การจราจร และโรงไฟฟ้า (ภาพที่ 15) การศึกษานี้จึงได้เสนอมาตรการควบคุมฝุ่นละออง โดยเรียงลำดับตามความคุ้มทุน ได้แก่ (1) การทำความสะอาดถนน (2) การเปลี่ยนชนิดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นก๊าซธรรมชาติหรือน้ำมันเตา กำมะถันต่ำ (3) การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์หรือน้ำมันเชื้อเพลิงที่ดีขึ้นหรือการเปลี่ยนเครื่องยนต์สำหรับรถใช้งานให้มีมาตรฐานสูงขึ้น และ (4) เปลี่ยนชนิดน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้า มาตรการดังกล่าวทั้งหมดมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV -net present value) เป็นบวก และมีมูลค่าในระยะ 5 ปี สูงระหว่างหลายร้อยล้านเหรียญจนถึงหมื่นล้านเหรียญ หรือหมายความว่าผลประโยชน์ที่ได้มากกว่าต้นทุนอย่างมหาศาล การดำเนินการตามมาตรการดังกล่าวส่งผลให้ฝุ่น PM_{10} ลดลงมาตามลำดับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 จนปัจจุบันระดับ PM_{10} ในพื้นที่ทั่วไปต่ำกว่ามาตรฐาน ในขณะที่บริเวณริมถนนมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน



ภาพที่ 15 สัดส่วนแหล่งที่มาของฝุ่นละออง PM_{10} ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล ปี 2540

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2540)

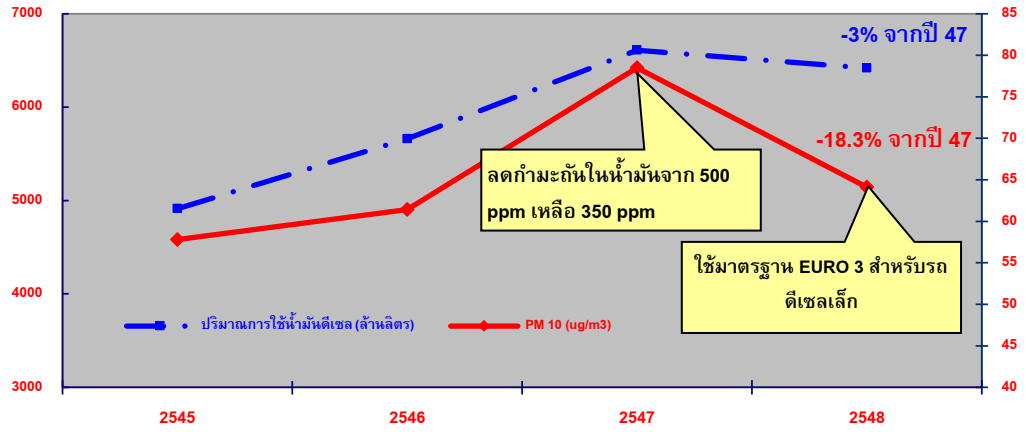
ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์จากกลยุทธในการควบคุมฝุ่นในกรุงเทพและปริมณฑล พ.ศ. 2540

แหล่งกำเนิด	**มาตรการ**	**ผลประโยชน์ NPV US$M (2000-2005)**
ฝุ่นฟุ้งลอย	ทำความสะอาดถนน	13,200
หม้อไอน้ำโรงงาน	เปลี่ยนเชื้อเพลิง	11,520
หม้อไอน้ำโรงงาน	0.5% S	3,733
รถ รวมบำรุงรักษา	เปลี่ยนเครื่องยนต์ก่อนปี 1997 เป็นระดับ 3	9,210
รถ รวมบำรุงรักษา	เปลี่ยนรถดีเซลเล็กเป็นเบนซินระดับ 5	2,749
รถ รวมบำรุงรักษา	ปรับมาตรฐานรถดีเซลเล็กเป็นระดับ 4	952
โรงไฟฟ้าโรงจักรพระนครใต้	เปลี่ยนเชื้อเพลิง	580

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2540)

(4) การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันดีเซล Euro 3 ในปี พ.ศ. 2547

กรมธุรกิจพลังงานเป็นหน่วยงานผู้กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง โดยกำหนดลักษณะและคุณภาพเชื้อเพลิงในด้านต่างๆที่เหมาะสมกับการใช้งานของเครื่องยนต์และเพื่อการควบคุมการระบายมลพิษโดยเฉพาะฝุ่นละออง ควันดำ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โดยมีประกาศในปี พ.ศ. 2536, 2539, 2542, และ 2547 กำหนดปริมาณกำมะถันไม่เกินร้อยละ 0.5 0.25 0.05 และ 0.035 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ การลดกำมะถันในน้ำมันดีเซลทำให้รถปล่อยไอเสียที่มีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ลดลง ยังผลเกิดฝุ่นซัลเฟตน้อยลง แต่ประเด็นที่สำคัญคือการลดกำมะถันต้องทำควบคู่ไปกับการประกาศใช้มาตรฐานรถยนต์ Euro 3 ทำให้ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ลดลง 14.4 มคก./ลบ.ม. หรือร้อยละ 18.3 เมื่อเทียบกับปี 2547 ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ผลจากการลดกำมะถันในน้ำมันดีเซลต่อระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศ 2545 – 2548
ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2556). เอกสารทางวิชาการการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงยูโร 5

(5) การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันดีเซล Euro 4 ในปี พ.ศ. 2556

สืบเนื่องจากความสำเร็จในการการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันดีเซล Euro 3 ในปี พ.ศ. 2547 กรมควบคุมมลพิษได้ศึกษาแนวทางการปรับปรุงการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันดีเซล Euro 4 โดยพิจารณาการปรับลดกำมะถันในน้ำมันเบนซินจาก 500 ส่วนในล้านส่วนให้เหลือไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน และปรับลดกำมะถันในน้ำมันดีเซลจาก 350 ส่วนในล้านส่วน ให้เหลือไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน โดยมีผลการศึกษาต่อไปนี้

“การปรับลดกำมะถันในน้ำมันเบนซินจาก 500 ส่วนในล้านส่วนให้เหลือไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน ส่งผลให้

- ลดการระบายมลพิษจากไอเสีย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงร้อยละ 28 ก๊าซไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 38 ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนร้อยละ 26 สารเบนซีนร้อยละ 71
- ลดการระบายมลพิษออกสู่บรรยากาศ ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง 32,650 ตันต่อปี ก๊าซไฮโดรคาร์บอนลดลง 11,892 ตันต่อปี ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง 7,188 ตันต่อปี และสารเบนซีนลดลง 1,548 ตันต่อปี”

“การปรับลดกำมะถันในน้ำมันดีเซลจาก 350 ส่วนในล้านส่วน (ppm) ให้เหลือไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน ส่งผลให้

- ลดการระบายมลพิษจากไอเสีย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลงร้อยละ 31 ก๊าซไฮโดรคาร์บอนร้อยละ 20 ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนร้อยละ 3 ฝุ่นละอองร้อยละ 15
- ลดการระบายมลพิษออกสู่บรรยากาศ : ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ลดลง 26,194ตันต่อปี ก๊าซไฮโดรคาร์บอนลดลง 5,854 ตันต่อปี ก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจนลดลง 4,446 ตันต่อปี และฝุ่นละอองลดลง 1,732 ตันต่อปี”
- ลดระดับฝุ่นละอองในบรรยากาศ 4.05 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
- ลดผลกระทบทางด้านสุขภาพอนามัย ลดอัตราการตายก่อนวัยอันควร 284-810 รายต่อปี คิดเป็นมูลค่า 22,680 – 56,700 ล้านบาท ดังแสดงในตารางที่ 10”

ตารางที่ 11 ผลประโยชน์ทางด้านสุขภาพอนามัยจากการปรับลดกำมะถันในน้ำมันดีเซล

ผลกระทบทางด้านสุขภาพอนามัย	S 350→ 50 ppm	S 50→15 ppm	S 350→15 ppm
1. การตายก่อนวัยอันควรลดลง (ราย)	284 - 810	102 - 292	386 – 1,102
2. ผู้ป่วยรายใหม่ โรคทางเดินหายใจเรื้อรังลดลง (ราย)	1,215 – 3,767	438 – 1,358	1,653 – 5,124
3. การเข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลด้วยโรคระบบทางเดินหายใจและหลอดเลือดหัวใจลดลง (ราย)	227 - 636	82 - 229	309 - 865
4. ลดวันที่มีอาการทางระบบทางเดินหายใจรุนแรงจนไม่สามารถทำกิจกรรมประจำวันได้ตามปกติ (วัน)	1,174,500 ถึง 3,685,500	423,400 ถึง 1,328,600	1,597,900 ถึง 5,014,100
5. ลดวันที่มีอาการระบบทางเดินหายใจเล็กน้อย (วัน)	8,910,000 ถึง 29,970,000	3,212,000 ถึง 10,804,000	12,122,000 ถึง 40,774,000
ผลกระทบทางสุขภาพดังกล่าวคิดเป็นมูลค่าประมาณ (ล้านบาท)	**22,680 – 56,700**	**8,176 – 20,440**	**30,856-77,140**

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2556)

“การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์เบนซินและรถยนต์ดีเซล จากมาตรฐาน Euro 3 เป็น Euro 4 พร้อมทั้งปรับปรุงคุณภาพน้ำมันให้เป็นมาตรฐาน Euro 4 จะลดอัตราการปล่อยมลพิษในรถยนต์มาตรฐาน Euro 4 จากรถยนต์มาตรฐาน EURO 3 สำหรับรถยนต์เบนซิน ลดการระบาย HC CO NOx ร้อยละ 50 57 และ 47 ตามลำดับ สำหรับรถยนต์ดีเซล ลดการระบาย CO NOx HC+NOx และ PM ร้อยละ 22 50 46 และ 50 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 11”

การนำรถยนต์เบนซินที่มีมลพิษต่ำ (Euro 4) เข้ามาใช้ในประเทศไทยให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการลดมลพิษ จะต้องปรับลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันให้เหลือไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน โดยรถยนต์เบนซินมาตรฐาน EURO 4 จะระบายมลพิษทางอากาศต่ำกว่ามาตรฐาน Euro 3 ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 12 เปรียบเทียบการลดลงของมลพิษในไอเสียรถยนต์เบนซินและดีเซลขนาดเล็ก มาตรฐาน Euro 4 เทียบกับ มาตรฐาน Euro 3

มลพิษ	ร้อยละที่ลดลง	
	เบนซิน	ดีเซล
HC	50%	-
CO	57%	22%
NOx	47%	50%
HC+NOx	-	46%
PM	-	50%

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2556)

(6) ข้อเสนอการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมัน Euro 4 เป็น Euro 5 & 6 ในอนาคต

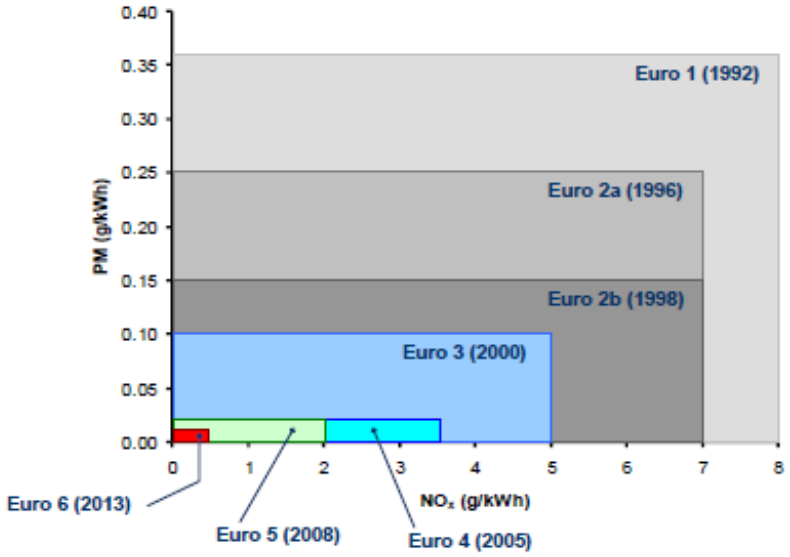
การควบคุมฝุ่นละเอียดขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนมีความจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำมันและมาตรฐานไอเสียรถยนต์ดีเซลและรถเบนซินเข้าสู่มาตรฐานยูโร 5 และยูโร 6 ทั้งนี้คณะอนุกรรมการพิจารณามาตรฐานไอเสียรถยนต์ในคณะกรรมการควบคุมมลพิษได้มีมติที่จะประกาศใช้มาตรฐานน้ำมันยูโร 5/6 ภายใน 5 ปี หรือปี พ.ศ. 2566 พร้อมกันกับการประกาศใช้มาตรฐานไอเสียรถยนต์ยูโร 5 สำหรับรถดีเซลเล็ก โดยมีแผนการที่จะปรับเป็นมาตรฐานยูโร 6 หลังจากนั้นอีก 6 ปีหรือในปี พ.ศ. 2572 ส่วนรถดีเซลขนาดใหญ่จะมีการใช้มาตรฐานไอเสียยูโร 5 ในปี พ.ศ. 2569 และมาตรฐานยูโร 6 ในปี พ.ศ. 2575 หรือหลังจากรถดีเซลขนาดเล็ก 3 ปีในแต่ละขั้นตอน

การปรับปรุงมาตรฐานไอเสียจาก Euro 3 เป็น Euro 4 เป็น Euro 5 & 6 จะลดการปล่อยฝุ่นละอองตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 12 รูปที่ 17 และรูปที่ 18

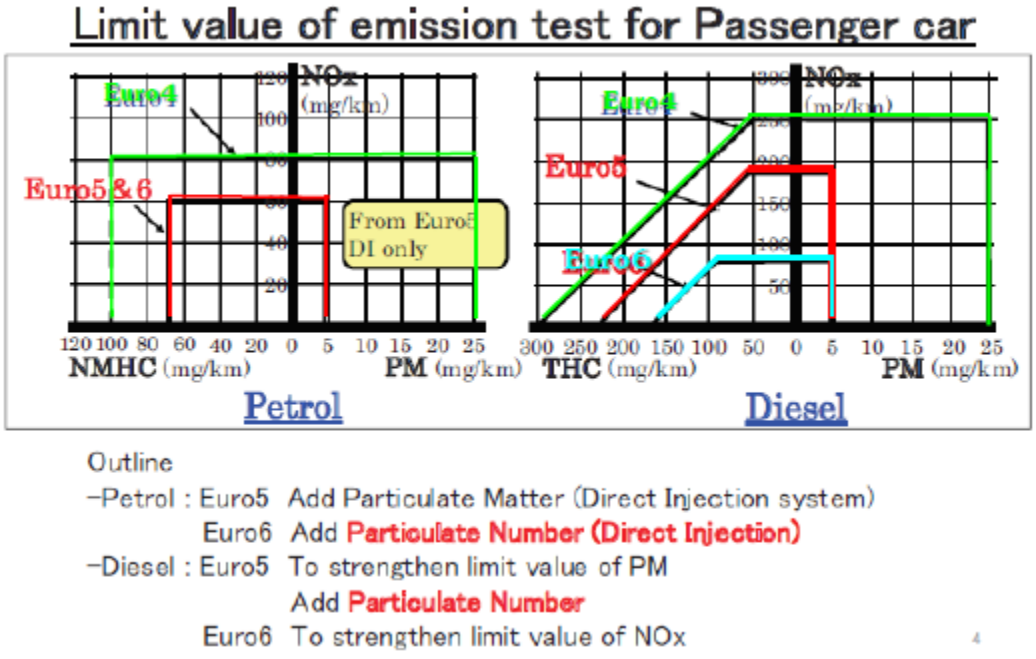
ตารางที่ 13 มาตรฐานไอเสีย Euro 1 ถึง 6 สำหรับรถประเภทต่างๆ ปริมาณการปล่อยฝุ่นละออง

Diesel		Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Sulfur ppm		2000	500	350	50	10	10
passenger cars		0.14 (0.18)	0.08	0.05	0.025	0.005	0.005
light commercial vehicle	≤1305 kg	0.14	0.08	0.05	0.025	0.005	0.005
	1305–1760 kg	0.19	0.12	0.07	0.04	0.005	0.005
	>1760 kg	0.25	0.17	0.1	0.06	0.005	0.005
HD Diesel Engines	g/kWh	0.36 0.612	0.15 0.25	0.1	0.02	0.02	0.01

หมายเหตุ: หน่วย มก./กม. ยกเว้นที่ระบุไว้เป็นอย่างอื่น



ภาพที่ 17 Euro Emission Standards for Heavy-Duty Diesel Engine



Outline

–Petrol : Euro5 Add Particulate Matter (Direct Injection system)

Euro6 Add **Particulate Number (Direct Injection)**

–Diesel : Euro5 To strengthen limit value of PM

Add **Particulate Number**

Euro6 To strengthen limit value of NOx

ภาพที่ 18 ปริมาณการระบายมลพิษจากไอเสียรถส่วนบุคคล เปรียบเทียบมาตรฐาน Euro 4 และ Euro 5/6

รายงานการศึกษาของ Garivait (2018) ชี้ว่าการบังคับใช้มาตรฐาน Euro 5&6 จะช่วยลดปริมาณการระบาย $PM_{2.5}$ จากภาคคมนาคมขนส่งในกรุงเทพมหานครและปริมณฑลลงแต่ละปี โดยจะช่วยลด PM_{10} ลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้มาตรฐาน Euro 4 ร้อยละ 5% **33% 58% 74% 82%** และ 86% ในปี พ.ศ. 2568 2573 2578 2583 2588 และ 2593 ตามลำดับ และในภาพรวมจะช่วยให้ปริมาณการระบาย PM_{10} ลดลงตามลำดับจาก ประมาณ 4 พันตันต่อปี ใน พ.ศ. 2568 ลงเหลือประมาณ 1 พันตันต่อปี ใน พ.ศ. 2593

การปรับเปลี่ยนมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงจาก Euro 4 เป็น Euro 5 & 6 นอกจากเพื่อใช้กับรถยนต์มาตรฐาน Euro 5 & 6 แล้วยังเป็นผลดีกับการระบายไอเสียจากรถยนต์มาตรฐาน Euro 4 ที่ใช้อยู่บนท้องถนนในปัจจุบัน กล่าวคือการลดกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงจาก 50 ส่วนในล้านเหลือ 10 ส่วนในล้าน จะส่งผลให้ปริมาณ HC, CO และ PM ในรถดีเซลลดลง 25% 32% และ 16% ตามลำดับ และส่งผลให้ปริมาณ NOx, CO และ CH4 ในรถเบนซินลดลง 31% 74% และ 100% ตามลำดับ (ตารางที่ 13)

ตารางที่ 14 ร้อยละมลพิษที่ลดลงเมื่อใช้น้ำมันมาตรฐาน Euro 5 แทนน้ำมัน Euro 4

มาตรฐานรถ	ร้อยละมลพิษที่ลดลง					
	HC	NOx	CO	CO2	CH4	PM
รถดีเซล						
Euro 3	-51%	0%	-38%	-2%	-4%	-20%
Euro 4	-25%	-4%	-32%	-2%	-12%	-16%
รถเบนซิน						
Euro 3	-2%	-14%	-35%	0%	-7%	
Euro 4	-3%	-31%	-74%	0%	-100%	

ที่มา: Garivait (2018)

กรมควบคุมมลพิษ (2556) ประเมินผลประโยชน์จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง EURO 5 เฉพาะผลประโยชน์จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันดีเซลเท่ากับ 22,680-56,700 บาทต่อปี ในขณะที่มีเงินลงทุนเพียงครั้งเดียว 25,000 บาท และ 15,040 บาทสำหรับน้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซินตามลำดับ (ตารางที่ 14)

ตารางที่ 15 Benefit & Cost จากการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง EURO 5

Regulation	ผลประโยชน์ (ล้านบาท/ปี)	เงินลงทุน (ล้านบาท)	ราคาน้ำมันเพิ่ม (บาท/ลิตร)
น้ำมันดีเซล	22,680 – 56,700	25,000	0.4-3.0
น้ำมันเบนซิน	-	15,040	1.0-1.8
รถยนต์	-	-	-

ที่มา : สรุปจากเอกสารกรมควบคุมมลพิษ (2556). เอกสารทางวิชาการการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงยูโร 5

(7) สรุปปัจจัยความสำเร็จในการจัดการปัญหาฝุ่นละอองของประเทศไทย

ประเทศไทยจัดได้ว่าเป็นประเทศที่ประสบความสำเร็จในการจัดการคุณภาพให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน และเป็นตัวอย่างแก่ประเทศเพื่อนบ้านในการจัดการคุณภาพอากาศอย่างเป็นระบบ ตั้งแต่การกำหนดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่อ้างอิงผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยและปัจจัยด้านเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ประกอบกับข้อมูลการตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรยากาศที่ดำเนินการโดยกรมควบคุมมลพิษอย่างต่อเนื่อง มีข้อมูลค่อนข้างครบถ้วนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการวางแผนจัดการคุณภาพอากาศ โดยที่เครือข่ายสถานีตรวจวัดต้องมีการกำหนดที่ตั้งสถานีอย่างถูกต้องเพื่อการตรวจวัดคุณภาพ

อากาศในบรรยากาศทั่วไปหรือการตรวจวัดแหล่งกำเนิด (เช่น การจราจร) ใช้เครื่องมือและวิธีการตรวจวัดที่เป็นมาตรฐานอ้างอิงได้ และมีตรวจสอบ ประกันคุณภาพข้อมูลการตรวจวัด

การศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพและการจัดทำโครงการกลยุทธในการควบคุมฝุ่น PM_{10} ในกรุงเทพและปริมณฑล เป็นตัวอย่างของการจัดการคุณภาพอากาศอย่างเป็นระบบ กล่าวคือ มีการศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพเพื่อใช้ประเมินผลประโยชน์ที่ได้จากการลดระดับมลพิษอากาศ มีการตรวจวัดฝุ่นละอองเพื่อใช้จัดทำแบบจำลองแหล่งที่มาของฝุ่นละอองในกรุงเทพฯ มีการจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศควบคู่กับการจัดทำแบบจำลองแหล่งที่มา และใช้ข้อมูลบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศเพื่อศึกษาผลที่ได้จากมาตรการควบคุมฝุ่นละอองแต่ละมาตรการ ที่มีต่อคุณภาพอากาศทั้งในพื้นที่ทั่วไปและบริเวณริมถนน เพื่อให้ได้มาตรการควบคุมฝุ่นละอองที่คุ้มทุน และมีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนสูงสุด การนำมาตรการดังกล่าวมาใช้ในการจัดการคุณภาพอากาศของกรุงเทพฯ พิสูจน์ว่าได้ผลเป็นอย่างดี กล่าวคือทำให้คุณภาพอากาศดีขึ้นในช่วงเวลา 20 ปีที่ผ่านมา แม้ว่าจำนวนแหล่งกำเนิดโดยเฉพาะรถยนต์เพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่าตัวในช่วงเวลาเดียวกัน

มาตรการที่ส่งผลในระยะยาวและมีประสิทธิผลที่ชัดเจน (นอกเหนือจากการทำความสะอาดถนนที่ต้องทำเป็นประจำอย่างต่อเนื่อง) คือมาตรการทางกฎหมายในการกำหนดมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงและมาตรฐานแหล่งกำเนิดมลพิษ รวมถึงการก่อสร้างและเครื่องจักรยานพาหนะที่ใช้ในการก่อสร้าง ทั้งนี้มาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงประกอบด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในรถยนต์และในโรงงานอุตสาหกรรมและโรงไฟฟ้า สำหรับมาตรการด้านโรงไฟฟ้าคือการเปลี่ยนเชื้อเพลิงสำหรับโรงจักรพระนครใต้เป็นก๊าซธรรมชาติ และการหยุดเดินโรงจักรพระนครเหนือในระหว่างรอการเดินท่อก๊าซธรรมชาติ ซึ่งโรงจักรพระนครเหนือได้เปิดดำเนินการอีกครั้งโดยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในปี พ.ศ. 2560 ส่วนมาตรฐานน้ำมันเตาสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมได้ลดปริมาณกำมะถันจากร้อยละ 3 เป็นร้อยละ 0.5 หรือลดลงร้อยละ 83 สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในกรุงเทพฯ

มาตรฐานรถยนต์และมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์เป็นสิ่งที่ต้องดำเนินการควบคู่กัน เนื่องจากเครื่องยนต์สะอาดจำเป็นต้องใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสะอาดเพื่อให้การทำงานของเครื่องยนต์มีประสิทธิภาพตามที่ต้องการ ทั้งนี้ประเทศไทยได้กำหนดให้ใช้มาตรฐาน Euro 3 ในปี พ.ศ. 2547 ซึ่งกำหนดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลไม่เกินร้อยละ 0.035 และใช้มาตรฐาน Euro 4 ในปี พ.ศ. 2556 ซึ่งกำหนดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน การกำหนดมาตรฐานรถยนต์จะส่งผลในระยะยาวตามการทดแทนรถเก่าด้วยรถตามมาตรฐานใหม่ แต่การกำหนดมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถเห็นผลได้ทันทีเนื่องจากมีการปล่อยมลพิษที่น้อยลงจากการใช้เชื้อเพลิงสะอาด

บทที่ 5
ข้อเสนอมาตรการป้องกันและแก้ไขฝุ่นละออง $PM_{2.5}$

มาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง

ประสบการณ์ของประเทศไทยชี้ให้เห็นว่ามาตรการด้านกฎหมายในการควบคุมแหล่งกำเนิดเป็นมาตรการที่มีประสิทธิผลที่ชัดเจน ง่ายต่อการปฏิบัติและกำกับดูแล และมีผลในระยะยาวอย่างต่อเนื่อง มาตรการด้านกฎหมายในการควบคุมแหล่งกำเนิดของประเทศไทยที่สำคัญได้แก่ มาตรฐานคุณภาพเชื้อเพลิง และมาตรฐานไอเสียรถยนต์ เนื่องจากการกำกับดูแลโรงกลั่นน้ำมันและบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ซึ่งมีจำนวนน้อย สามารถทำได้ง่าย อีกทั้งบริษัทสามารถผลักภาระค่าใช้จ่ายไปให้ผู้บริโภค ซึ่งแตกต่างจากมาตรการเฝ้าระวังและจับกุมรถใช้งานซึ่งมีจำนวนมาก การจับกุมรถควันดำบนท้องถนน หรือการตรวจสภาพรถใช้งานไม่สามารถประเมินประสิทธิผลของมาตรการที่ได้ดำเนินการมาเป็นเวลานาน

อย่างไรก็ดี การจะกำหนดมาตรการใดๆก็ตามจำเป็นต้องมีองค์ความรู้ในการบริหารจัดการรวมถึงความสามารถในการจัดลำดับความสำคัญของแหล่งกำเนิดมลพิษที่ต้องควบคุมและการประเมินผลประโยชน์ต่อต้นทุนในการควบคุมมลพิษ มาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองจึงจำต้องครอบคลุมในเรื่องต่อไปนี้

ด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน

(1) เผยแพร่ข้อมูลแก่ประชาชนและรับฟังข้อคิดเห็น

ความสนใจของประชาชนต่อภาวะมลพิษอากาศดังปรากฏเมื่อต้นปี 2561 เป็นปรากฏการณ์ใหม่ซึ่งชี้ถึงความสนใจต่อสภาวะแวดล้อมของคนชั้นกลางรุ่นใหม่ ประกอบกับการเข้าถึงสื่ออีเล็กทรอนิคส์และข้อมูลจากต่างประเทศ เป็นแรงผลักดันให้หน่วยงานราชการต้องให้ความสำคัญต่อการเผยแพร่ข้อมูลแก่ประชาชนอย่างเท่าเทียมและไม่น้อยกว่าสื่อทางอื่น เพื่อสร้างความเข้าใจถูกต้องและระดมกำลังของประชาชนในการปรับปรุงคุณภาพอากาศ

(2) ขยายเครือข่ายการตรวจวัดคุณภาพอากาศ รวมข้อมูลการตรวจวัดโดยประชาชน โดยใช้นวัตกรรม

เนื่องจากสถานีตรวจวัดคุณภาพอากาศมีจำนวนจำกัด อาจไม่อยู่ในพื้นที่ที่ประชาชนให้ความสนใจ ประกอบกับปัจจุบันมีเครื่องวัดมลพิษอากาศราคาถูกที่ประชาชนสามารถหาซื้อมาใช้ได้เอง หน่วยงานของรัฐควรมีมาตรการในการให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการตรวจวัดมลพิษอากาศ โดยให้ข้อแนะนำการซื้อและใช้อุปกรณ์และการตรวจสอบความถูกต้องของอุปกรณ์

ด้านองค์ความรู้

(3) ทบทวนและปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพอากาศ

กรมควบคุมมลพิษมีหน้าที่ที่จะทบทวนและปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศทุก 5 ปี และควรมีเป้าหมายและกำหนดเวลาในการปรับปรุงมาตรฐานฝุ่น $PM_{2.5}$ ให้เข้าสู่มาตรฐานขององค์การอนามัยโลกซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานเฉลี่ยทั้งปีไว้ที่ 10 มคก./ลบ.ม นอกจากนี้ควรพิจารณาปรับปรุง

มาตรฐานระยะสั้นให้อยู่ในรูปแบบเปอร์เซ็นไทล์ และปรับปรุงการรายงานดัชนีคุณภาพอากาศให้รวมค่าฝุ่น $PM_{2.5}$

(4) ศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน

การศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพประชาชนเป็นรากฐานที่สำคัญของกระบวนการจัดการคุณภาพอากาศ เพราะผลประโยชน์ที่ได้จากการลดการสูญเสียด้านสุขภาพอนามัย โดยเฉพาะการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเป็นแรงผลักดันให้เกิดการลงทุนควบคุมมลพิษอากาศ ซึ่งมีอัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อต้นทุนสูงและคุ้มค่า รัฐควรกำหนดให้มีการศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนทุกๆ 5 ปี ก่อนการปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพอากาศ

(5) ศึกษาความสูญเสียเนื่องจากมลพิษอากาศที่มีต่อสุขภาพอนามัย ความเป็นอยู่ สังคมและเศรษฐกิจ

การศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพประชาชนเป็นรากฐานที่สำคัญของกระบวนการจัดการคุณภาพอากาศ

ด้านการควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษ

(6) จัดทำแผนปฏิบัติงานจัดการปัญหาฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล และประเมินความคุ้มทุน

การจัดการปัญหาฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล จำเป็นต้องมีการศึกษาทางเลือกของมาตรการในการควบคุมฝุ่นละออง และประเมินความคุ้มทุนของแต่ละมาตรการ เพื่อคัดเลือกมาตรการที่มีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนสูงสุดมาดำเนินการ

(7) ปรับปรุงมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงเป็น Euro 5/6

การปรับปรุงมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงเป็น Euro 5/6 จำต้องดำเนินการก่อนหรือควบคู่ไปกับการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์เป็น Euro 5/6 เพื่อให้เครื่องยนต์สะอาดสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่โดยตัวของน้ำมันเชื้อเพลิง Euro 5/6 ซึ่งลดปริมาณกำมะถันลงจาก 50 ส่วนในล้านส่วนเหลือเพียง 10 ส่วนในล้านส่วน แม้ใช้กับรถยนต์รุ่นเก่าก็ช่วยลดมลพิษลงได้ โดยเฉพาะฝุ่นละอองจากรถยนต์ดีเซลอาจลดได้ถึง 20% (ดูหัวข้อ 4.2 (10))

(8) ปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์เบนซินเป็น Euro 5/6

การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์เบนซินเป็น Euro 5/6 ควบคู่กับการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง จะช่วยลดฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซไฮโดรคาร์บอน ซึ่งนอกจากจะช่วยลดระดับก๊าซโอโซนในบรรยากาศแล้ว ยังผลให้ลดฝุ่นทุติยภูมิได้ด้วย (ดูหัวข้อ 4.2 (10))

(9) ปรับปรุงมาตรฐานรถดีเซลขนาดเล็กเป็น Euro 5/6

การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์ดีเซลขนาดเล็กเป็น Euro 5/6 ควบคู่กับการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง จะช่วยลดฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซไฮโดรคาร์บอน

ทั้งนี้การลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลลงเหลือ 1 ใน 5 ย่อมทำให้ปริมาณการระบายฝุ่นจากท่อไอเสียลดลงเหลือ 1 ใน 5 เช่น ลดจาก 25 มิลลิกรัม/กิโลเมตร เหลือ 5 มิลลิกรัม/กิโลเมตร (ดูหัวข้อ 4.2 (10))

(10) ปรับปรุงมาตรฐานรถดีเซลขนาดใหญ่เป็น Euro 5/6

การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เป็น Euro 5/6 ควบคู่กับการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง จะช่วยลดฝุ่นละออง ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ และก๊าซไฮโดรคาร์บอน ทั้งนี้การลดปริมาณกำมะถันในน้ำมันดีเซลลงเหลือ 1 ใน 5 ในภาพรวมจะช่วยให้ปริมาณการระบาย $PM_{2.5}$ ลดลงตามลำดับจาก ประมาณ 4 พันตันต่อปี ใน พ.ศ. 2568 ลงเหลือประมาณ 1 พันตันต่อปี ใน พ.ศ. 2593 ตามอัตราการทดแทนรถเก่าด้วยรถมาตรฐานใหม่ (ดูหัวข้อ 4.2 (10))

(11) เร่งรัดการใช้มาตรฐาน Euro 5/6 และทดแทนรถเก่าด้วยรถมาตรฐาน Euro 5/6

เนื่องจากการทดแทนรถเก่าด้วยรถมาตรฐานใหม่จะใช้เวลานานโดยเฉพาะกับรถดีเซลขนาดใหญ่ (รถโดยสารและรถบรรทุก) การเร่งรัดการใช้มาตรฐาน Euro 5/6 และทดแทนรถเก่าด้วยรถมาตรฐาน Euro 5/6 จะทำให้สามารถลดปริมาณการระบายมลพิษได้เร็วขึ้น และยังผลประโยชน์ต่อสุขภาพอนามัยที่คุ้มค่ากับการลงทุน (ดูหัวข้อ 3.7)

(12) บูรณาการมาตรการควบคุมมลพิษจากรถยนต์และมาตรการลดก๊าซเรือนกระจก

การบูรณาการมาตรการควบคุมมลพิษจากรถยนต์และมาตรการลดก๊าซเรือนกระจกจะให้ผลประโยชน์เพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ ตัวอย่างเช่น การใช้ระบบขนส่งมวลชนซึ่งลดปริมาณการจราจร ลดปริมาณการระบายมลพิษ ลดการจราจรติดขัด ลดการใช้เชื้อเพลิง จะได้ผลตอบแทนทั้งด้านสุขภาพอนามัยและการลดก๊าซเรือนกระจก (ดูหัวข้อ 3.8)

(13) ลดการเผาในที่โล่ง

การเผาชีวมวลในพื้นที่รอบนอกของกรุงเทพฯ อาจเป็นแหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ 24.6-37.8% ของแหล่งกำเนิดฝุ่นทั้งหมด ดังนั้นการควบคุมฝุ่นละอองจากการเผาชีวมวลสามารถลดฝุ่นละอองได้อย่างมีนัยสำคัญ การศึกษา ทดลอง และส่งเสริมทางเลือกอื่นแทนการเผาชีวมวลจะต้องดำเนินการโดยกระทรวงเกษตรกรรมและสหกรณ์โดยการมีส่วนร่วมของเกษตรกร (ดูหัวข้อ 2.3)

(14) ปรับปรุงมาตรฐานเตาที่ใช้เชิงพาณิชย์และในครัวเรือน

เตาย่างและเตาหุงต้มอาหารที่ใช้เชิงพาณิชย์และในครัวเรือนมักมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์สิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ระบายมลพิษฝุ่น และสารพิษอื่นๆ เช่น สารคาร์บอน สารพีเอเอช ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จึงควรมีการปรับปรุงและส่งเสริมมาตรฐานเตาที่ประหยัดเชื้อเพลิงและระบายมลพิษต่ำ

The Global Alliance for Clean Cookstoves รายงานว่าประเทศไทยมีผู้ใช้เชื้อเพลิงแข็งในการทำอาหารร้อยละ 24 คิดเป็นสัดส่วนของประชากรชนบทร้อยละ 47 และสัดส่วนของประชากรในเมืองร้อยละ 11 เป็นผลให้มีผู้รับก๊าซพิษ (HAP – Hazardous Air Pollutant) ประมาณ 16 ล้านคน และเสียชีวิตจากก๊าซพิษ 24,520 คนต่อปี การศึกษาในประเทศโมซัมบิคซึ่งประชากรร้อยละ 96 ใช้เชื้อเพลิงแข็งในการทำอาหาร คาดว่าการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นก๊าซแอลพีจีจะได้ผลประโยชน์สูงสุดจากจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอัน

ควรและจำนวนปีสุขภาวะที่สูญเสีย (DALY - Disability-Adjusted Life Years) ที่ลดลง ในขณะที่การเปลี่ยนไปใช้เตาถ่านสมัยใหม่จะมีมูลค่าผลประโยชน์สูงสุด เนื่องจากราคาเตาและเชื้อเพลิงที่ถูกกว่า

สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร รายงานข้อมูลปี 2552 มีสถิติผู้ประกอบการปิ้งย่างเนื้อสัตว์บนเปลวไฟโดยตรงในกรุงเทพมหานครมากกว่า 1,000 ราย และมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำนักสิ่งแวดล้อมตระหนักถึงอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของผู้ปิ้งย่างเนื้อสัตว์ ผู้บริโภค และผลกระทบต่อคุณภาพอากาศของกรุงเทพมหานคร จึงพัฒนาและทดสอบเตาปิ้งย่างที่สามารถลดสารอินทรีย์ระเหยง่ายรวม (Total Volatile Organic Compounds : Total VOCs) ได้ 4.6 เท่า อย่างไรก็ดียังไม่ปรากฏว่ามีการใช้เตาตามแบบของกรุงเทพมหานคร จึงควรมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องให้เป็นที่ยอมรับของผู้ขายอาหาร

USEPA (1999) รายงานการศึกษาการระบายมลพิษจากเตาย่างถ่านของร้านอาหารริมบาทวิถีในเม็กซิโก พบว่าฝุ่นร้อยละ 80 เป็นฝุ่นขนาดเล็ก $PM_{2.5}$ ปริมาณฝุ่นมาจากไขมันที่หยดจากเนื้อสัตว์และน้ำหมัก มีอัตราการระบายฝุ่นในหน่วยกรัมต่อกิโลกรัมเนื้อ การควบคุมมลพิษทำได้โดยการใช้หน้าเตาแบบเรียบ (flat griddle) หรือหน้าเตาแบบมีร่อง (grooved griddle) หรือโดยใช้อุปกรณ์ควบคุม after burner, mist eliminator, electrostatic precipitator

ด้านการบริหารจัดการการขนส่ง ผังเมือง และการใช้ประโยชน์ที่ดิน

(15) ใช้นวัตกรรมในการจับรถควันดำบนท้องถนน

รถดีเซลขนาดเล็กและรถดีเซลขนาดใหญ่มีอายุใช้งานสูงและมักมีภาระบรรทุกสูงกว่าที่ออกแบบไว้ ประกอบกับการขาดการบำรุงรักษา ทำให้รถจำนวนหนึ่งระบายควันดำปริมาณสูงกว่าค่ามาตรฐานหลายเท่าตัว แม้ว่าจะมีมาตรการจำกัดอายุใช้งานของรถประจำทาง ขสมก. แต่ไม่สามารถครอบคลุมรถดีเซลทั้งหมดบนท้องถนน การตรวจสภาพและการตรวจจับบนท้องถนนที่ดำเนินการในปัจจุบันมีข้อจำกัดและไม่มีประสิทธิผล แต่ด้วยเทคโนโลยีการบันทึกภาพอัจฉริยะที่สามารถพัฒนานำมาใช้ร่วมกับกล้องวงจรปิด CCTV ของ กทม.จะช่วยในการตรวจจับรถควันดำได้ครอบคลุมและมีประสิทธิผล

(16) ปรับปรุงผังเมืองและการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดปริมาณการขนส่งและลดมลพิษ

การปรับปรุงผังเมืองและการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อเอื้ออำนวยความสะดวกต่อการใช้ชีวิตของคนเมือง ลดระยะเดินทางของคนเมือง และลดปริมาณการขนส่งสินค้า จะช่วยลดปริมาณมลพิษจากรถยนต์

(17) ปรับปรุงกฎหมายและส่งเสริมการพัฒนาพื้นที่รอบสถานีขนส่งมวลชน (TOD)

ในบริบทของการส่งเสริมระบบขนส่งมวลชน จำเป็นต้องมีการพัฒนาพื้นที่รอบสถานีขนส่งมวลชนเพื่อความสะดวกในการใช้ระบบขนส่ง ปัจจุบันการพัฒนาพื้นที่เวนคืนเพื่อสร้างระบบขนส่งไม่สามารถนำมาใช้เพื่อวัตุประสงค์อื่น จึงควรมีการปรับปรุงกฎหมายเพื่อให้สามารถทำการพัฒนาพื้นที่รอบสถานีขนส่งมวลชนได้อย่างเต็มรูปแบบ

(18) ส่งเสริมการเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์และปลอดมลพิษ

การทดแทนการเดินทางโดยรถยนต์ด้วยการเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์หรือการเดินทางที่ปลอดมลพิษ ได้แก่ การใช้รถไฟฟ้า รถจักรยาน และการเดินเท้า จำเป็นต้องได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ ซึ่งจะช่วยในการประหยัดพลังงาน ลดโลกร้อน เป็นผลดีต่อสุขภาพประชาชน และสร้างเมืองน่าอยู่

ตัวอย่างการส่งเสริมการเดินเท้า จากข่าวประชาชาติธุรกิจ (24 กรกฎาคม 2561) รายงานว่า “คนกรุงเทพฯได้ใช้ทางเดินลอยฟ้าหรือสกายวอล์ก “สี่แยกบางนา” ที่ยาวที่สุด 1.74 กม. มี “กทม.-กรุงเทพมหานคร” เป็นผู้ดำเนินการก่อสร้าง ด้วยงบประมาณ 450 ล้านบาทโดยจะเชื่อมการเดินทางรถไฟฟ้าบีทีเอส 2 สถานี “บางนา-อุดมสุข” ช่วงจากสถานีอุดมสุขถึงแยกบางนา ความยาว 560 เมตร ช่วงจากแยกบางนาถึงสถานีบางนา ความยาว 460 เมตร บริเวณแยกบางนา ฝั่งถนนสรรพาวุธ ความยาว 340 เมตร ฝั่งถนนเทพรัตน ความยาว 380 เมตร และยังมีทางเดินลอยฟ้าแห่งใหม่ เพิ่มขึ้น ในย่าน “หมอชิต-จตุจักร” เพิ่งเปิดใช้ทางการไปเมื่อวันที่ 15 ก.ค.ที่ผ่านมา เป็นสกายวอล์กเชื่อมจากรถไฟฟ้าบีทีเอสหมอชิต ไปถึงหน้าโครงการคอนโดมิเนียม “เดอะไลน์ จตุจักร-หมอชิต” โปรเจ็กต์ร่วมทุนของบีทีเอส-แสนสิริ โดย บริษัท บีทีเอสกรุ๊ป โฮลดิ้งส์ จำกัด (มหาชน) ผู้รับสัมปทานเดินรถไฟฟ้าบีทีเอส เป็นผู้ควักเงินลงทุนก่อสร้าง ด้วยวงเงิน 200 ล้านบาท อกจากจะก่อสร้างทางเดินลอยฟ้าไต่ยอดต้นไม้เลาะไปตามเกาะกลางถนนพหลโยธินจนไปสุดปลายทางพหลโยธินซอย 18/1 มีความยาวทั้งสิ้น 450 เมตร ยังปรับปรุงสะพานลอยคนข้ามให้มีความไฉไลมากขึ้น เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับประชาชนที่ทำงานในย่านดังกล่าว ว่ากันว่าทางเดินพรมแดงแห่งนี้ ได้กลายเป็นทางเดินลอยฟ้าที่ทุบสถิติสูงที่สุดในเวลานี้ ด้วยความสูง 14 เมตรหรือสูงเท่ากับตึก 4-5 ชั้น โดยสูงเพิ่มขึ้น 1 เท่าตัว เมื่อเทียบกับสกายวอล์กทั่วไปที่สร้างเชื่อมจากชั้นโถงพื้นที่จำหน่ายตั๋วโดยสารบีทีเอส ที่จะมีความสูงอยู่ที่ประมาณ 7 เมตร และมีโครงการในอนาคตลงทุนก่อสร้างต่อขยายไปถึงหน้าอาคารทหารไทย”

แนวโน้มการเดินทางที่ปลอดมลพิษโดยการใช้รถไฟฟ้าเป็นกระแสสังคมปัจจุบันและจะเพิ่มมำขึ้นในอนาคต Japan Today (July 25, 2018) รายงานว่ารัฐบาลญี่ปุ่นต้องการที่จะลดการระบายก๊าซเรือนกระจกลงร้อยละ 90 ในรถแต่ละคัน จึงมีเป้าหมายที่จะให้รถยนต์ใหม่ทุกคันเป็นรถไฟฟ้าไฮบริดหรือรถไฟฟ้าภายในปี 2050 สำหรับประเทศไทย สืบเนื่องจากนโยบายของรัฐในการลดหย่อนภาษีให้บริษัทผู้ผลิตรถไฟฟ้า สำนักงานคณะกรรมการส่งสริมการลงทุนได้อนุมัติโครงการของบริษัทนิสสัน (ประเทศไทย) และบริษัทฮอนด้า (ประเทศไทย) ที่จะลงทุนผลิตรถไฟฟ้าและแบตเตอรี่เป็นเงินลงทุน 10.96 พันล้านบาท และ 5.82 พันล้านบาทตามลำดับ (Bangkok Post, 25 July 2018)

(19) ส่งเสริมการขนส่งมวลชนโดยรัฐเป็นผู้จ่าย

การขนส่งมวลชนได้แก่รถโดยสารประจำทาง รถไฟฟ้า และอื่นๆ เป็นทางเลือกในการเดินทางที่ลดมลพิษ และมีผลกระทบในทางอ้อมในการลดความคับคั่งของการจราจรซึ่งช่วยลดมลพิษ แต่การใช้บริการระบบขนส่งมวลชนอาจไม่สะดวก ไม่ปลอดภัย ใช้เวลา และค่าโดยสารอาจมีราคาสูง รัฐสามารถสร้างแรงจูงใจเพื่อส่งเสริมการขนส่งมวลชนโดยวิธีต่างๆ รวมถึงการสนับสนุนด้านการเงิน

กรุงปารีสกำลังศึกษาโครงการให้บริการขนส่งสาธารณะฟรีสำหรับประชากร 11 ล้านคน ครอบคลุมรถใต้ดิน รถประจำทาง และรภไฟชานเมือง โดยประมาณว่าค่าใช้จ่ายปีละ 6 พันล้านยูโรอาจมาจากเงินที่เก็บจากค่ารถส่วนตัวเข้าเมือง ในปัจจุบันฝรั่งเศสมี 30 เมืองที่ให้บริการขนส่งสาธารณะฟรีแต่เป็นเมืองขนาดเล็ก มีประชากรสูงสุด 120,000 คน (O’Sullivan, 2018)

(20) กำหนดเขตเก็บค่าจราจรหนาแน่น

(ขยายพื้นที่ห้ามรถบรรทุกเข้าเป็นเส้นวงแหวนรอบนอก)

มาตรการห้ามรถบรรทุกเข้าเมืองในเขตชั้นในมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความคับคั่งของการจราจร ในขณะเดียวกันมีผลในการลดมลพิษทั้งทางตรง คือลดไอเสียจากรถบรรทุก และผลทางอ้อม คือลดความคับคั่งของการจราจรซึ่งช่วยลดมลพิษ การขยายพื้นที่ห้ามรถบรรทุกเข้าเป็นเส้นวงแหวนรอบนอกมีปัจจัยรองรับคือ สถานีขนถ่ายชานเมือง 4 มุมเมือง แต่จำต้องมีการปรับปรุงระบบโลจีสติกส์ในการนำสินค้าไปถึงร้านค้าและผู้บริโภค มาตรการสนับสนุนได้แก่ ผังการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ต้องกระจายจุดขนถ่ายสินค้าออกไปชานเมือง และการใช้รถปลอดมลพิษในการขนส่งภายในเมือง

กรุงลอนดอนกำหนดพื้นที่ใจกลางเมืองเป็นเขตเก็บค่าจราจรหนาแน่นสำหรับตั้งแต่ปี 2003 ระหว่างเวลา 07.00-18.00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ ในอัตรา 11 ปอนด์ต่อวัน ยกเว้นรถไฟฟ้าและรถยูโร 5 ทั้งนี้มีแผนที่จะขยายพื้นที่เป็นเส้นวงแหวนรอบนอกในปี 2021 จนถึงสิ้นปี 2013 เงินรายได้เท่ากับ 2.6 พันล้านปอนด์ โดยนำเงินไปใช้ในการปรับปรุงระบบรถโดยสารประจำทาง ถนน สะพาน ทางเท้าและทางจักรยาน ผลที่ได้ลดปริมาณรถร้อยละ 10

(21) ปรับปรุงระบบจราจรและลดปริมาณการจราจร

การปรับปรุงระบบจราจรให้คล่องตัวและการลดปริมาณการจราจรมีผลกระทบทางตรงและทางอ้อมในการลดปริมาณมลพิษ มาตรการที่อาจนำมาใช้ได้แก่ การจำกัดรถเข้าในพื้นที่ควบคุมโดยการเก็บค่าผ่านทาง การกำหนดวันคู่วันคี่และเลขทะเบียนรถที่ตรงวันจึงเข้าในพื้นที่ได้ ซึ่งอาจเป็นมาตรการที่นำมาใช้ในกรุงเทพฯได้ยากลำบาก อีกมาตรการหนึ่งคือ การห้ามรถจอดริมถนนอย่างเด็ดขาด และการลดพื้นที่จอดรถในอาคารที่พักอาศัยและอาคารพาณิชย์ในเมือง ซึ่งเป็นอุปสรรคในการใช้รถเพื่อลดปริมาณการจราจรบนท้องถนน

เมื่อต้นปี 2017 ในช่วงที่มลพิษสูง กรุงปารีสห้ามรถเก่ากว่าปี 1997 และรถดีเซลขนาดใหญ่เก่ากว่าปี 2001 (รถยูโร 2) เข้าในเขตวงแหวนชั้นที่ 2 โดยกำหนดให้รถทุกคันต้องแสดงป้ายประเภทรถซึ่งระบุปีที่ผลิต ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และปริมาณการปล่อยมลพิษ มีเมืองมากกว่า 200 แห่งในยุโรปที่ใช้มาตรการเดียวกันนี้ นอกจากนี้ยังเพิ่มค่าจอดรถ และยกเลิกการจอดรถฟรีในวันเสาร์ (หนังสือพิมพ์ Independent 24 January 2017)

Richard Florida (2018) รายงานความสิ้นเปลืองของพื้นที่จอดรถในเมือง 5 แห่งในสหรัฐอเมริกา เมื่อคิดเป็นมูลค่าทดแทนเป็นเงิน 35 พันล้านเหรียญในซีแอตเติล 20 พันล้านเหรียญในนิวยอร์ค 17.5 พันล้านเหรียญในฟิลาเดลเฟีย 3 พันล้านเหรียญในเดสมอยน์ และ 711 พันล้านเหรียญในแจ็คสัน หากแปลงตัวเลขดังกล่าวเป็นค่าใช้จ่ายต่อครัวเรือนจะยิ่งน่าตกใจ กล่าวคือ เงินลงทุนที่จอดรถเท่ากับเกือบ 200,000 เหรียญต่อครัวเรือนในแจ็คสัน และมากกว่า 100,000 เหรียญในซีแอตเติล ทั้งๆที่ปัจจุบันจำนวนรถต่อครัวเรือนและจำนวนผู้มีใบขับขี่ลดลงกว่าในอดีต ผู้เขียนบทความทิ้งท้ายว่าถึงเวลาแล้วที่เราจะเอาที่จอดรถกลับคืนมา และใช้เป็นพื้นที่สำหรับบ้าน เลนจักรยาน ทางเดิน และสวน

มาตรการในช่วงวิกฤติ

(22) กำหนดแผนงานในช่วงวิกฤติ

ในช่วงวิกฤติมลพิษอากาศ หน่วยงานรัฐจำต้องมีแผนงานรองรับที่ชัดเจน กำหนดผู้ปฏิบัติงานในแต่ละเรื่อง และมีผู้สั่งการที่มีอำนาจเต็ม โดยใช้ระบบบัญชาการภัยมลพิษ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ มาตรการป้องกันและลดผลกระทบ มาตรการเตรียมความพร้อม มาตรการลดมลพิษฉุกเฉิน และมาตรการให้ความช่วยเหลือกับผู้ได้รับมลพิษ

(23) ขยายเวลาห้ามรถบรรทุกเข้าเป็นตลอด 24 ชั่วโมง

ในช่วงวิกฤติมลพิษอากาศมีความจำเป็นต้องใช้มาตรการที่เข้มงวดรุนแรงเพื่อลดลดพิษอากาศที่เกินค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นมาตรการระยะสั้นใช้เฉพาะช่วงเวลาวิกฤติ การห้ามรถบรรทุกเข้าในพื้นที่ที่การจราจรหนาแน่นช่วยลดมลพิษจากไอเสียโดยตรง ลดความคับคั่งของการจราจรซึ่งอาจติดสะสมตลอดทั้งวัน เป็นการลดมลพิษทางอ้อม ทั้งนี้ฝุ่นละออง $PM_{2.5}$ สามารถสะสมความเข้มข้นได้จนถึงวันรุ่งขึ้นในสภาวะอากาศปิดเวลากลางคืน

(24) ลดแหล่งกำเนิดมลพิษในภาครัฐ

หน่วยงานภาครัฐเป็นผู้มีส่วนได้เสียด่านหน้าซึ่งต้องแสดงความมีจิตสาธารณะในการลดมลพิษอากาศโดยลดกิจกรรมที่จะก่อให้เกิดมลพิษอากาศทั้งทางตรงและทางอ้อม ทั้งที่เป็นกิจกรรมส่วนรวม เช่น งดการจัดกิจกรรม การประชุม การเดินทางเป็นหมู่คณะ การก่อสร้างในภาครัฐ และกิจกรรมส่วนตัว เช่น ใช้ระบบขนส่งมวลชนในการเดินทาง

(25) ลดแหล่งกำเนิดมลพิษในภาคประชาชนโดยการมีส่วนร่วม

ประชาชนควรได้รับความรู้ในบทบาทของประชาชนที่จะมีส่วนร่วมในการลดการระบายมลพิษ งดการเผาในที่โล่ง ใช้ระบบขนส่งมวลชนในการเดินทาง หรือเดินทางโดยวิธีปลอดมลพิษ เป็นต้น

(26) เข้มงวดการเผาในที่โล่ง

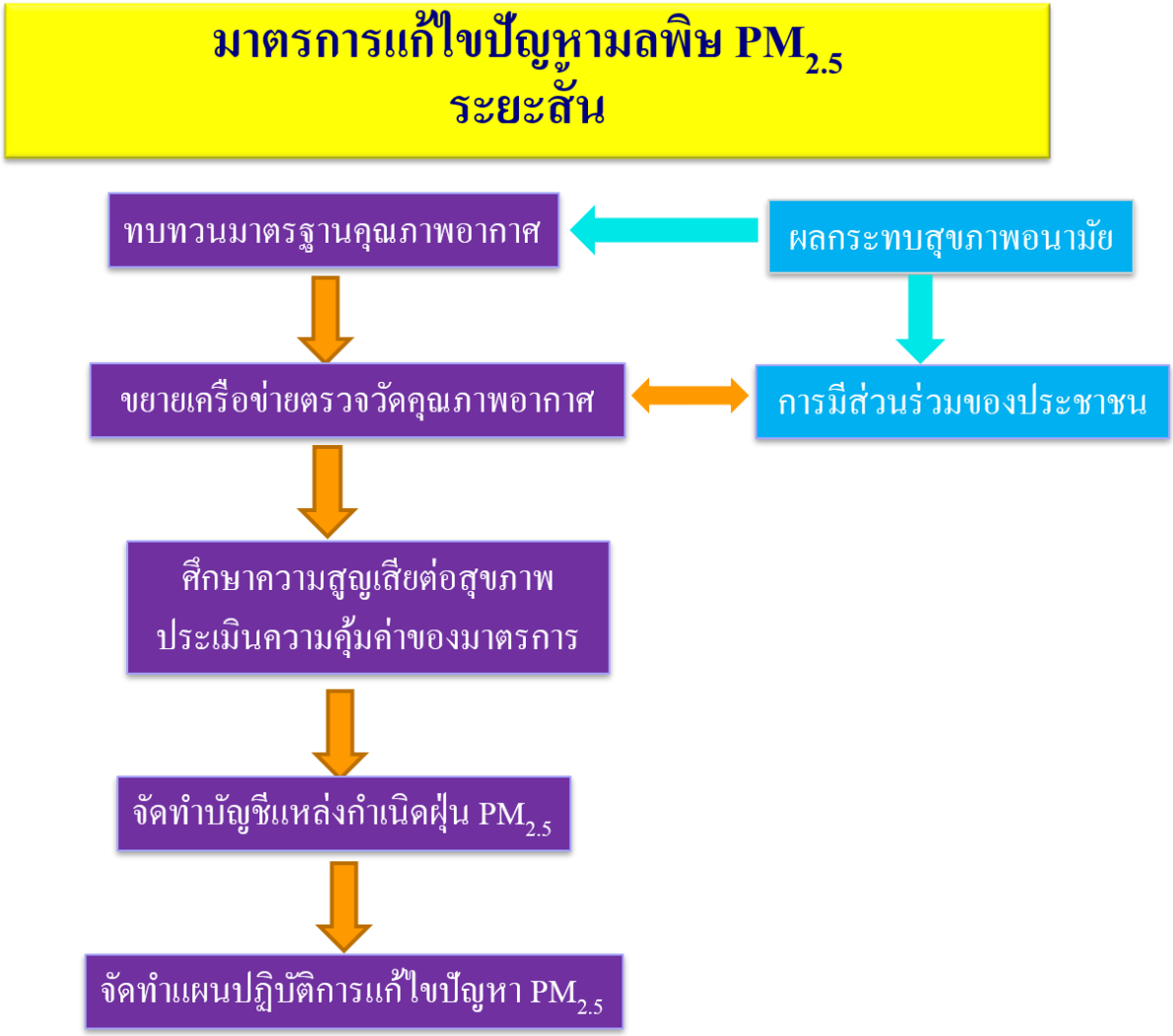
การเผาของเสียจากเกษตรกรรมบริเวณรอบนอกของกรุงเทพฯ เป็นที่มาที่สำคัญของฝุ่น $PM_{2.5}$ ในกรุงเทพฯ ทั้งนี้ หน่วยงานภาครัฐควรแนะนำและกำกับให้มีทางเลือกในการจัดการกับของเสียจากเกษตรกรรม โดยดำเนินการร่วมกับบุคลากรภาคเกษตรกรรม

(27) ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทราบข้อมูลและการดูแลสุขภาพ

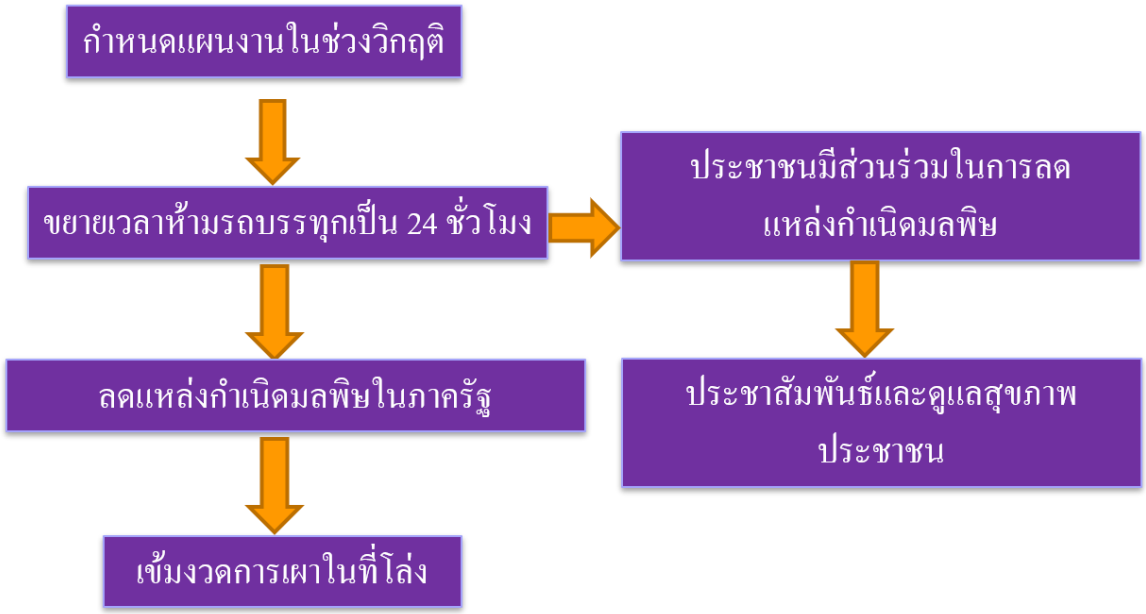
ประชาชนเป็นแรงผลักดันที่สำคัญต่อภาครัฐให้จัดการแก้ไขปัญหาฝุ่น $PM_{2.5}$ ดังนั้นประชาชนควรได้รับข้อมูลข่าวสารที่ถูกต้องและฉับไวถึงสถานการณ์มลพิษ $PM_{2.5}$ รายวันที่ประชาชนสัมผัส และมีข้อแนะนำแก่ประชาชนในการดูแลสุขภาพ ตลอดจนการเยียวยาหากจำเป็น

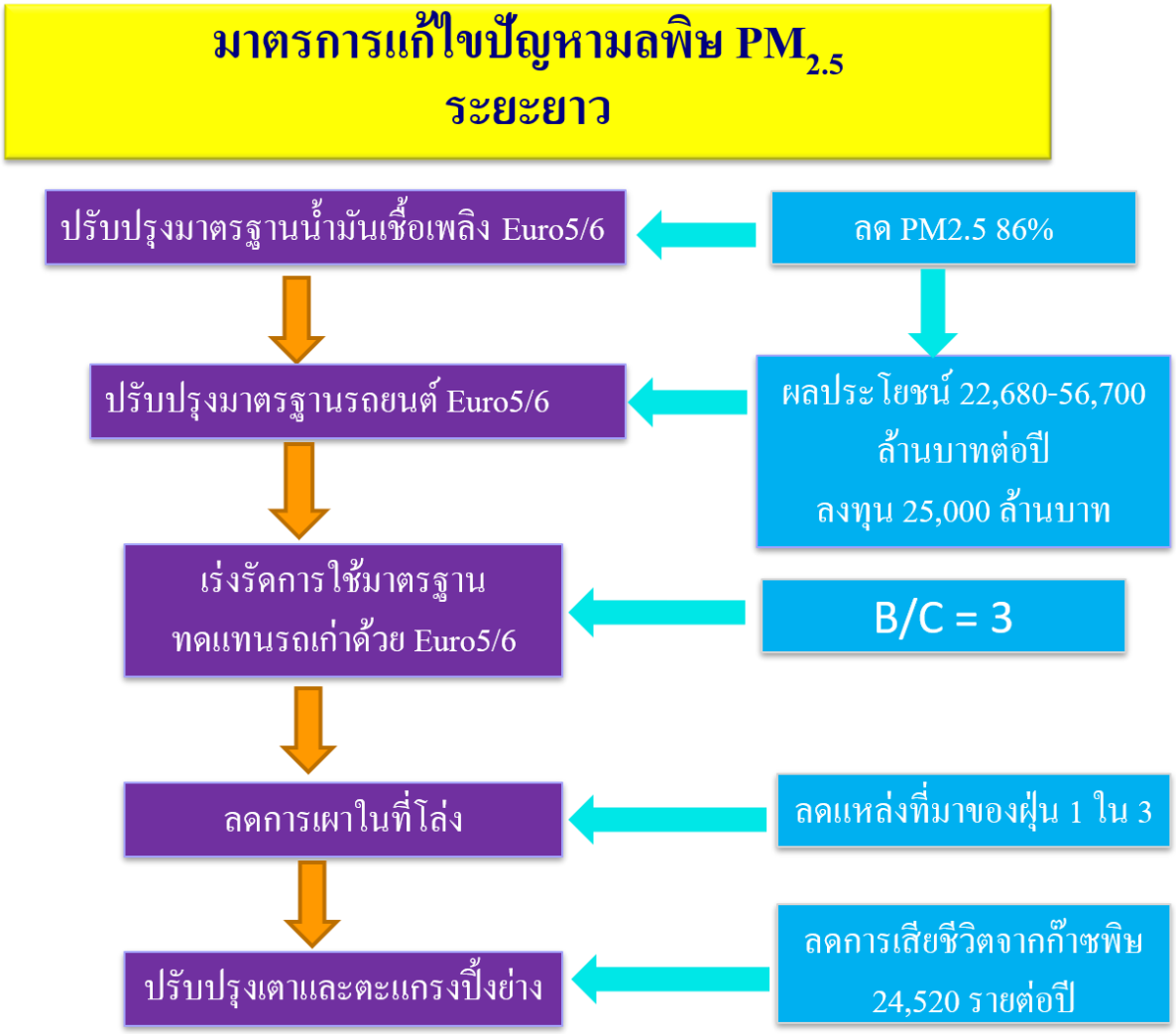
ความคุ้มค่าของมาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละออง

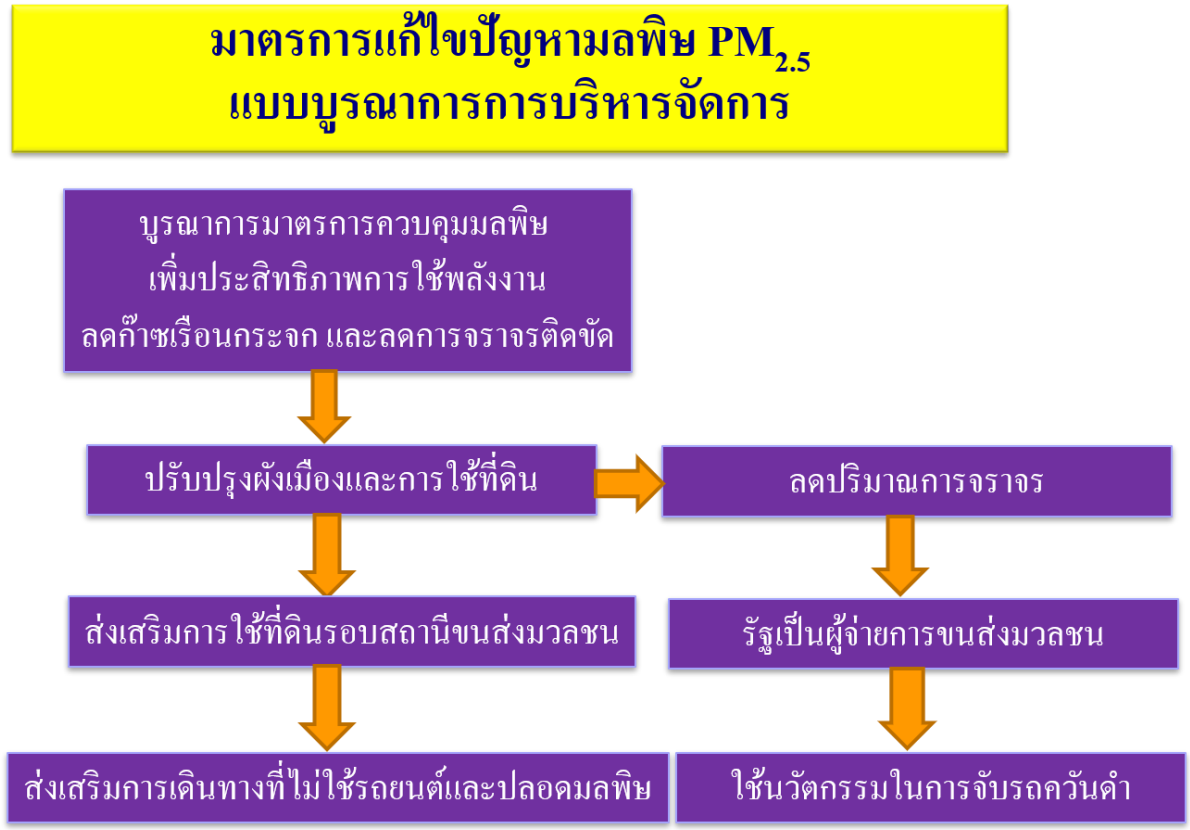
มาตรการป้องกันและแก้ไขปัญหาฝุ่นละอองสามารถจำแนกเป็นมาตรการระยะสั้น มาตรการในช่วงวิกฤติ มาตรการระยะยาว มาตรการแบบบูรณาการการจัดการ และมาตรการทางเศรษฐศาสตร์ ดังแผนภูมิต่อไปนี้ และดังสรุปในตารางที่ 15



มาตรการแก้ไขปัญหามลพิษ $PM_{2.5}$ ในช่วงวิกฤติ




มาตรการแก้ไขปัญหามลพิษ $PM_{2.5}$
ระยะยาว
ปรับปรุงมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง Euro5/6
ลด PM2.5 86%
ปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์ Euro5/6
ผลประโยชน์ 22,680-56,700
ล้านบาทต่อปี
ลงทุน 25,000 ล้านบาท
เร่งรัดการใช้มาตรฐาน
ทดแทนรถเก่าด้วย Euro5/6
B/C = 3
ลดการเผาในที่โล่ง
ลดแหล่งที่มาของฝุ่น 1 ใน 3
ปรับปรุงเตาและตะแกรงปิ้งย่าง
ลดการเสียชีวิตจากก๊าซพิษ
24,520 รายต่อปี


มาตรการแก้ไขปัญหามลพิษ $PM_{2.5}$
แบบบูรณาการการบริหารจัดการ
บูรณาการมาตรการควบคุมมลพิษ
เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
ลดก๊าซเรือนกระจก และลดการจราจรติดขัด
ปรับปรุงผังเมืองและการใช้ที่ดิน
ลดปริมาณการจราจร
ส่งเสริมการใช้ที่ดินรอบสถานีขนส่งมวลชน
รัฐเป็นผู้จ่ายการขนส่งมวลชน
ส่งเสริมการเดินทางที่ไม่ใช้รถยนต์และปลอดมลพิษ
ใช้นวัตกรรมในการจับรถควันดำ

มาตรการทางเศรษฐศาสตร์

กำหนดเขตเก็บค่าจราจรหนาแน่น
คิดภาษีรถยนต์ตามปริมาณมลพิษ

ตารางที่ 16 ข้อเสนอมาตรการเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองPM$_{2.5}$

โครงการ	มาตรการ	ผลประโยชน์ / ต้นทุน
ด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน		
1. เผยแพร่ข้อมูลแก่ประชาชน และรับฟังข้อคิดเห็น	ตอบสนองความสนใจของประชาชน ต่อภาวะมลพิษและการเข้าถึงสื่ออีเล็กทรอนิคส์ และการสื่อสาร 2 ทาง	สร้างความเข้าใจที่ถูกต้องและระดมกำลังของประชาชนในการปรับปรุงคุณภาพอากาศ
2. ขยายเครือข่ายการตรวจวัดคุณภาพอากาศ รวมข้อมูลการตรวจวัดโดยประชาชน โดยใช้นวัตกรรม	ผนวกข้อมูลการตรวจวัดของประชาชน ให้คำแนะนำและตรวจสอบความถูกต้อง	ได้ข้อมูลการตรวจวัดที่ครอบคลุมพื้นที่ และสร้างเครือข่ายภาคประชาชน
ด้านองค์ความรู้		
3. ทบทวนและปรับปรุงมาตรฐานคุณภาพอากาศ	ปรับปรุงมาตรฐานให้เข้าสู่มาตรฐานองค์การอนามัยโลก และเพิ่มค่าฝุ่น PM$_{2.5}$ ในดัชนีคุณภาพอากาศ	USEPA, (2011) The 1990 Clean Air Act Amendment B/C ratio 30
4. ศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน	ศึกษาผลกระทบต่อประชาชนทั่วไป ต่อกลุ่มเสี่ยง ในพื้นที่มลพิษสูง และในพื้นที่ชนบท	ได้ข้อมูลค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ของมลพิษอากาศต่ออัตราการเสียชีวิตและจำนวนปีที่สูญเสียสุขภาพ
5. ศึกษาความสูญเสียเนื่องจากมลพิษอากาศที่มีต่อสุขภาพ อนามัย ความเป็นอยู่ สังคมและเศรษฐกิจ	ประเมินผลประโยชน์ที่ได้จากแต่ละมาตรการควบคุมมลพิษ	ทราบถึงความคุ้มค่าที่ได้จากแต่ละมาตรการควบคุมมลพิษ
6. จัดทำแผนปฏิบัติงานจัดการปัญหาฝุ่นละออง PM$_{2.5}$ ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล และประเมินความคุ้มทุน	ศึกษาทางเลือกของมาตรการควบคุมมลพิษที่ครอบคลุมแหล่งกำเนิดมลพิษและประเมินความคุ้มทุนของมาตรการที่เข้มงวดต่างกัน	โครงการฝุ่น PM$_{10}$ กรมควบคุมมลพิษ (2540) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV - net present value) ในระยะ 5 ปี สูงระหว่างหลายร้อยล้านเหรียญจนถึงหมื่นล้านเหรียญ
ด้านการควบคุมแหล่งกำเนิดมลพิษ		
7. ปรับปรุงมาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงเป็น Euro 5/6 พ.ศ. 2566	ลดกำมะถันในน้ำมันดีเซลจาก 50 สนล. เหลือ 10 สนล.	ลด PM$_{2.5}$ ลง 5% 33% 58% 74% 82% และ 86% ในปี พ.ศ. 2568 2573 2578 2583 2588 และ 2593 ตามลำดับ Garivait (2018)
8. ปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์เบนซินเป็น Euro 5/6	PM 25→5 mg/km NOx 80→60 mg/km HC 100→70 mg/km	เงินลงทุนครั้งเดียว 15,040 ล้านบาท กรมควบคุมมลพิษ (2556)
9. ปรับปรุงมาตรฐานรถดีเซลขนาดเล็กเป็น Euro 5/6 พ.ศ. 2566/2572	PM 25→5 mg/km NOx 250→80 mg/km HC 300→150 mg/km	

โครงการ	มาตรการ	ผลประโยชน์ / ต้นทุน
10. ปรับปรุงมาตรฐานรถดีเซลขนาดใหญ่เป็น Euro 5/6 พ.ศ. 2569/2575	$PM_{2.5}$ 4 พันตันต่อปี ใน พ.ศ. 2568 ลงเหลือประมาณ 1 พันตันต่อปี ใน พ.ศ. 2593 Garivait (2018)	22,680 – 56,700 ล้านบาทต่อปี / เงินลงทุนครั้งเดียว 25,000 ล้านบาท กรมควบคุมมลพิษ (2556)
11. เร่งรัดการใช้มาตรฐาน Euro 5/6 และทดแทนรถเก่าด้วยรถมาตรฐาน Euro 5/6	เร่งรัดการใช้มาตรฐานก่อนกำหนด	เร่งรัดการใช้มาตรฐาน Euro 5/6 Shao et. al (2017) 3 เท่า ทดแทนรถเก่า Crane and Mao (2015) 3 เท่า
12. บูรณาการมาตรการควบคุมมลพิษจากรถยนต์และมาตรการลดก๊าซเรือนกระจก	ประเมินค่าใช้จ่ายและประโยชน์ร่วมจากการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจก	ผลประโยชน์ 414,000 ล้านบาท ต้นทุน – 106,000 ล้านบาท Chae และ Park (2011)
13. ลดการเผาในที่โล่ง	การศึกษา ทดลอง และส่งเสริมทางเลือกอื่นแทนการเผาชีวมวลและของเสียจากเกษตรกรรม	แหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ 24.6-37.8% Kim Oanh (2007, 2017) ควบคุมแหล่งที่มาของฝุ่น $PM_{2.5}$ 1 ใน 3
14. ปรับปรุงมาตรฐานเตาที่ใช้เชิงพาณิชย์และในครัวเรือน	ปรับปรุงและส่งเสริมเตามาตรฐานไร้มลพิษ	ประเทศไทย (ชนบท/เมือง 4/1) รับก๊าซพิษ 16 ล้านคน และเสียชีวิต 24,520 คนต่อปี
ด้านการบริหารจัดการการขนส่ง ผังเมือง และการใช้ประโยชน์ที่ดิน		
15. ใช้นวัตกรรมในการจับรถควันดำบนท้องถนน		
16. ปรับปรุงผังเมืองและการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อลดการขนส่งและลดมลพิษ		
17. ปรับปรุงกฎหมายและส่งเสริมการพัฒนาพื้นที่รอบสถานีขนส่งมวลชน (TOD)		
18. ส่งเสริมการเดินทางที่ไม่ใช้เครื่องยนต์และปลอดมลพิษ		
19. ส่งเสริมการขนส่งมวลชนโดยรัฐเป็นผู้จ่าย		
20. ขยายพื้นที่ห้ามรถบรรทุกเข้าเป็นเส้นวงแหวนรอบนอก		
21. ปรับปรุงระบบจราจรและลดปริมาณการจราจร		
มาตรการในช่วงวิกฤติ		
22. กำหนดแผนงานในช่วงวิกฤติ		
23. ขยายเวลาห้ามรถบรรทุกเข้าเป็นตลอด 24 ชั่วโมง		
24. ลดแหล่งกำเนิดมลพิษในภาครัฐ		
25. ลดแหล่งกำเนิดมลพิษในภาคประชาชนโดยการมีส่วนร่วม		
26. เข้มงวดการเผาในที่โล่ง		
27. ประชาสัมพันธ์ให้ประชาชนทราบข้อมูลและการดูแลสุขภาพ		

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ (2540). โครงการกลยุทธในการควบคุมฝุ่น PM_{10} ในกรุงเทพและปริมณฑล โดยการสนับสนุนของธนาคารโลก

กรมควบคุมมลพิษ (2556). เอกสารทางวิชาการการปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงยูโร 5

กรมควบคุมมลพิษ (2561). สถานการณ์มลพิษทางอากาศและการดำเนินการภาครัฐ ในการสัมมนาระดมความคิดเห็นวิกฤตเมืองกรุงฯ 16 มีนาคม 2561

ธัญภัสสร์ ทองเย็น (2552). การจำแนกสัดส่วนแหล่งกำเนิดของสารโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในฝุ่นละอองแต่ละขนาดในพื้นที่กรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นพภาพร พานิช. แสงสันติ์ พานิช. วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์. วิจิตรา จงวิศาล และวราวุธ เสือดี (2550). ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาฯ. พิมพ์ครั้งที่ 2.

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์, ธีระ เกรอต และนิตยา มหาผล. มลภาวะอากาศ (2543). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. พิมพ์ครั้งที่ 6

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ (2560 ก), รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศในกรุงเทพมหานคร, วิทยาลัยพัฒนามหานคร, 2560

วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ และคณะ (2560 ข), รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ การประเมินทางสถิติความเข้มข้นมลพิษอากาศในกรุงเทพมหานคร, วิทยาลัยพัฒนามหานคร

รพีพัฒน์ เกริกไกวัล (2543). องค์ประกอบธาตุในฝุ่นละอองขนาดเล็กกว่า 2.5 ไมครอนในเขตกรุงเทพมหานคร วิทยานิพนธ์ (วท.ม.) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศิวรินทร์ ดวงแก้ว องค์ประกอบคาร์บอนในบรรยากาศทั่วไปในเมืองกรุงเทพมหานครบริเวณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2555

สุพัฒน์ หวังวงศ์วัฒนา (2561). ฝุ่น $PM_{2.5}$ แก้อย่างไรให้ตรงจุด. เอกสารนำเสนอในการเสวนาแก้ไขปัญหา $PM_{2.5}$ 23 มีนาคม 2561

อิสระ มะศิริ (2561). โครงการการจัดทำแผนที่สถานการณ์มลพิษทางอากาศของประเทศไทย ปี 2560 โดยใช้ภาพถ่ายดาวเทียม. กรมควบคุมมลพิษ

Blumberg K, Walsh M and Pera C. (2003) Low-Sulfur Gasoline & Diesel: The Key to Lower Vehicle Emissions

Broome RA, Fann N, Cristina TJN, Fulcher C, Duc H, Morgan GC. (2015) The health benefits of reducing air pollution in Sydney, Australia Environmental Research 143. 19–25

Chae Y and Park J. (2011) Quantifying costs and benefits of integrated environmental strategies of air quality management and greenhouse gas reduction in the Seoul Metropolitan Area. Energy Policy 39 (2011) 5296–5308

Chen F, Yamashita K, Kurokawa J, & Klimont Z (2015). Cost-benefit analysis of reducing premature mortality caused by exposure to ozone and PM2.5 in East Asia in 2020. Water, Air, & Soil Pollution 226 (4): 108-125. DOI:10.1007/s11270-015-2316-7.

Cheng Y, Lee S, Gu Z, et. al (2015). $PM_{2.5}$ and $PM_{10-2.5}$ chemical composition and source apportionment near a Hong Kong roadway. Particuology 18: 96-104. https://doi.org/10.1016/j.partic.2013.10.003

Crane K and Mao Z (2015). Costs of Selected Policies to Address Air Pollution in China. Rand Corporation.

Garivait S (2018). Emission Inventory and Projection to Support the Implementation of Euro 5-6

Jiménez E, Linares C, Rodríguez LF, Bleda MJ, Díaz J. (2009) Short-term impact of particulate matter (PM2.5) on daily mortality among the over-75 age group in Madrid (Spain). Science of the Total Environment 407 5486–5492

Kim Oanh, A Study in Urban Air Pollution Improvement in Asia AIT, 2017

Kim Oanh. Improving air Quality in Asian Developing Countries (AIRPET), 2007

Martinez GS, Spadaro JV, Chapizanis D, et. al. (2018). Health Impacts and Economic Costs of Air Pollution in the Metropolitan Area of Skopje. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018, 15, 626; doi:10.3390/ijerph15040626

O'SULLIVAN F (2018) Paris Gets Serious About Free Transit. CityLab (MAY 16, 2018). https://www.citylab.com/transportation/2018/05/paris-ponders-an-audacious-idea-free-transit-for-all/560522/

Nawahda A (2013). Reductions of PM2.5 Air Concentrations and Possible Effects on Premature Mortality in Japan. Water Air Soil Pollution (2013) 224:1508. DOI 10.1007/s11270-013-1508-2

Richard Florida (2018). Parking has eaten American cities. https://www.citylab.com/transportation/2018/07/parking-has-eaten-american-cities/565715/?utm_source=citylab-daily&silverid=MzEwMTkxMTU2NTQwS0

Shao Z, Yang Z, Cui H. (2017). Cost–benefit analysis of early implementation of the China 6 light-duty vehicle emission standard in Guangdong Province, International Council on Clean Transportation Working paer 2017-09

Shi Y, Matsunaga T, Yamaguchi Y, Zhao A, Li Z, Gua X (2018). Long-term trends and spatial patterns of PM2.5-induced premature mortality in South and Southeast Asia from 1999 to 2014. *Science of the Total Environment*. 631–632: 1504–1514

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก สรุปการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองPM$_{2.5}$ ในต่างประเทศ

โครงการ	มาตรการ	ประโยชน์ที่ได้	รวมมูลค่าผลประโยชน์	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ผลประโยชน์ / ต้นทุน B/C Ratio
1. ภูมิภาคเอเชียใต้และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แนวโน้มระยะยาวและรูปแบบเชิงพื้นที่ของอัตราการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากฝุ่น PM$_{2.5}$ (ค.ศ. 1999-2014)	ใช้ข้อมูลระยะยาวของความเข้มข้นฝุ่น PM$_{2.5}$ จากดาวเทียมความละเอียดสูง (0.01° × 0.01°) เพื่อคาดคะเนการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากฝุ่น PM$_{2.5}$	ทราบว่า จำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรเพิ่มจาก 1,179,400 รายในปี พ.ศ 2542 เป็น 1,724,900 ในปี พ.ศ. 2557			
2. ประเทศญี่ปุ่น ทำการศึกษาผลกระทบจากการลดความเข้มข้นฝุ่น PM$_{2.5}$ ต่อการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ (2013)	ใช้ข้อมูลการตรวจวัดจากสถานีตรวจวัดมลพิษอากาศ 1,843 แห่งในญี่ปุ่น ระหว่างปี ค.ศ. 2006-2009 คำนวณค่าความเสี่ยงสัมพัทธ์ RR	คุณภาพอากาศที่ดีขึ้นในช่วงเวลาที่ศึกษาช่วยลดจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวัยอันควรโดยเฉพาะกับกลุ่มผู้สูงอายุเกิน 75 ปี	ใช้ค่า RR ประเมินว่า ถ้าลดระดับฝุ่น PM$_{2.5}$ ลงเหลือ 10 มคก./ลบ.ม. จะลดจำนวนผู้เสียชีวิตได้อีก 3,602 ราย ร้อยละ 77 เป็นกลุ่มผู้มีอายุมากกว่า 75 ปี		
3. ประเทศสเปน ทำการศึกษาผลกระทบของฝุ่นต่อการเสียชีวิตรายวันของผู้สูงอายุเกิน 75 ปี ในกรุงแมดริด ประเทศสเปน (2009)	ศึกษาผลกระทบระยะเวลาสั้นของฝุ่นต่อการเสียชีวิตรายวันของผู้สูงอายุเกิน 75 ปี	เห็นผลกระทบในระยะเวลาสั้น (1-2 วัน)	RR จากทุกสาเหตุเท่ากับ 1.057 (1.025–1.088); โรคระบบโลหิต, 1.088 (1.041–1.135); และโรคระบบหายใจ, 1.122 (1.056–1.189)		
4. ประเทศออสเตรเลีย การศึกษาผลกระทบจากฝุ่นและก๊าซโอโซนในกรุงซิดนีย์ ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งมีระดับมลพิษที่ต่ำ	ศึกษาผลกระทบจากการลดมลพิษอีกเพียงเล็กน้อยจากเดิมที่มีระดับมลพิษต่ำอยู่แล้ว	มีจำนวนผู้เสียชีวิตก่อนวันอันควร 430 ราย และจำนวนปีทีสูญเสีย (YLL)	การลดมลพิษลงอีกร้อยละ 10 จะยังผลให้ลดการสูญเสียได้ร้อยละ 10 หรือมากกว่า		

โครงการ	มาตรการ	ประโยชน์ที่ได้	รวมมูลค่าผลประโยชน์	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ผลประโยชน์ / ต้นทุน B/C Ratio
		เท่ากับ 5800 และมีจำนวนผู้ป่วย 630 ราย			
5. สาธารณรัฐมาเซโดเนีย Health Impacts and Economic Costs of Air Pollution in the Metropolitan Area of Skopje (2018)	ลดฝุ่น $PM_{2.5}$ ลงเท่ากับสหภาพยุโรป (25 $\mu g/m^3$) และ มาตรฐานองค์การอนามัยโลก (10 $\mu g/m^3$)	ลดจำนวนผู้เสียชีวิตจาก 1199 รายลง ร้อยละ 45 และร้อยละ 77 ตามลำดับ	22,000-57,000 ล้านบาท		
6. ภูมิภาคเอเชียตะวันออก การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการลดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควรเนื่องจากก๊าซโอโซนและฝุ่น $PM_{2.5}$ ในภูมิภาคเอเชียตะวันออกในปี พ.ศ. 2563	มาตรการ 2 กรณีคือ กรณีเข้มงวดมาก และกรณีเข้มงวดน้อย	มาตรการที่เข้มงวดมากจะให้ผลประโยชน์ที่สูงกว่า	ฝุ่น $PM_{2.5}$ กรณีเข้มงวดมาก ‘292,000-797,000 (million int. $, 2005)	3,580	81-222
7. ประเทศจีน การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ในการนำมาตรฐานไอเสียรถขนาดเล็ก China 6 มาใช้ก่อนกำหนดในจังหวัดกวางดอง (2017)	นำมาตรฐานไอเสียรถขนาดเล็ก China 6 มาใช้ก่อนกำหนด	ลดฝุ่นเพิ่มได้อีกร้อยละ 35 จาก 20 กิโลตัน ระหว่างปี พ.ศ. 2558-2573 และจำนวนผู้เสียชีวิต 880 ราย	64.8 พันล้านบาท (1.95 พันล้านเหรียญสหรัฐ) ในปี พ.ศ. 2573	รถเบนซิน 4,500 บาทต่อคัน รถดีเซล 15,000 บาทต่อคัน	3
8. ประเทศเกาหลี การประเมินค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่ได้จากกลยุทธบูรณาการการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจกในกรุงโซล (2011)	ประเมินค่าใช้จ่ายและประโยชน์ที่ได้จากกลยุทธบูรณาการการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจกในกรุงโซล	แสดงว่ากลยุทธบูรณาการการจัดการคุณภาพอากาศและลดก๊าซเรือนกระจกจะให้ผลประโยชน์สูงกว่า	414,000 ล้านบาท (14 ล้านล้านวอน)	– 106,000 ล้านบาท	ต้นทุนเป็นลบ

โครงการ	มาตรการ	ประโยชน์ที่ได้	รวมมูลค่าผลประโยชน์	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ผลประโยชน์ / ต้นทุน B/C Ratio
9. ประเทศสหรัฐอเมริกา วิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์จากการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์ (2003)	มาตรฐานรถยนต์ระดับที่ 2 (Tier 2) และมาตรฐานเครื่องยนต์สำหรับรถขนาดใหญ่ (Heavy-duty Engine and Vehicle Standards)	ลดปริมาณการระบายฝุ่นละอองเนื่องจากมาตรฐานรถขนาดใหญ่จะให้ผลประโยชน์ที่สูงกว่า	25.2+70.1=95.6 billions USD	5.3+4.3=9.6 billions USD	Net 19.9+66.1=86.0 billions USD
10. มาตรการในสหรัฐ Benefits and Costs of the Clean Air Act 1991-2020	ลดมลพิษจากแหล่งกำเนิดหลัก 5 ประเภท เน้นที่ยานพาหนะทางถนนและเชื้อเพลิง	ลดการเสียชีวิตก่อนวัยอันควร 230,000 รายในปี ค.ศ. 2020	2 ล้านล้านเหรียญในปี ค.ศ. 2020	65 พันล้านเหรียญต่อปี	30

ภาคผนวก ข สรุปการดำเนินงานเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหามลพิษฝุ่นละอองPM$_{2.5}$ ในประเทศไทย

โครงการ	มาตรการ	ประโยชน์ที่ได้	รวมมูลค่าผลประโยชน์	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ผลประโยชน์ / ต้นทุน B/C Ratio
1. การจัดทำมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ					
2. การตรวจวัดคุณภาพอากาศในบรรรยากาศ					
3. การศึกษาผลกระทบของมลพิษอากาศต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน					
4. การจัดทำบัญชีแหล่งกำเนิดมลพิษอากาศ พ.ศ. 2540	แหล่งกำเนิดฝุ่น PM$_{10}$ ที่สำคัญ 4 อันดับแรกเรียงจากมากไปน้อยคือ ฝุ่นถนน หม้อไอน้ำโรงงานอุตสาหกรรม การจราจร และโรงไฟฟ้า	พบว่าฝุ่นถนน 33% ฝุ่นหม้อไอน้ำ 30% ไอเสียรถยนต์ 22% โรงไฟฟ้า 12% การก่อสร้าง 3%	รวมอยู่ในข้อ 7	รวมอยู่ในข้อ 7	
5. การจัดทำแบบจำลองแหล่งที่มาของมลพิษอากาศ	Source apportionment ปี 2017 ที่เอไอทีและกรมควบคุมมลพิษ ในฤดูแล้งและฤดูฝน	พบว่าฝุ่น PM$_{2.5}$ มาจากไอเสียรถดีเซล 20.8-29.2% จากการเผาชีวมวล 24.6-37.8% ฝุ่นทุติยภูมิ 15.8-20.7% และอื่นๆ			
6. การจัดทำแบบจำลองการแพร่กระจายมลพิษอากาศ	ประเมินผลจากแต่ละมาตรการในการจัดทำกลยุทธ์	ได้ข้อมูลระดับมลพิษที่ลดลงจากแต่ละมาตรการ	รวมอยู่ในข้อ 7	รวมอยู่ในข้อ 7	
7. การจัดทำกลยุทธ์การควบคุมฝุ่นละอองในกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2540	มาตรการควบคุมฝุ่นละออง โดยเรียงลำดับตามความคุ้มทุน ได้แก่ (1) การทำความสะอาดถนน (2) การเปลี่ยนชนิดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นก๊าซ	ฝุ่น PM$_{10}$ ลดลงมาตามลำดับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 จนปัจจุบันระดับ	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV - net present value) เป็นบวก และมีมูลค่าในระยะ 5 ปี สูงระหว่างหลายร้อย	1 ล้านเหรียญสหรัฐ หรือ 25 ล้านบาท (2540)	

โครงการ	มาตรการ	ประโยชน์ที่ได้	รวมมูลค่าผลประโยชน์	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ผลประโยชน์ / ต้นทุน B/C Ratio
	ธรรมชาติหรือน้ำมันเตา กำมะถันต่ำ (3) การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และน้ำมันเชื้อเพลิง (4) เปลี่ยนชนิดน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับโรงไฟฟ้า	PM_{10} ในพื้นที่ทั่วไปต่ำกว่ามาตรฐาน	ล้านเหรียญจนถึงหมื่นล้านเหรียญ		
8. การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันดีเซล Euro 3 ในปี พ.ศ. 2547	กำหนดมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมัน Euro 3 ปริมาณกำมะถันไม่เกินร้อยละ 0.035 โดยน้ำหนัก	ฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM_{10} ลดลง 14.4 มคก./ลบ.ม. หรือร้อยละ 18.3 เมื่อเทียบกับปี 2547			
9. การปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมันดีเซล Euro 4 ในปี พ.ศ. 2556	กำหนดมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมัน Euro 4 ปริมาณกำมะถันไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน	CO ลดลง 26,194 ตัน/ปี HC ลดลง 5,854 ตัน/ปี NIOx ลดลง 4,446 ตัน/ปี PM ลดลง 1,732 ตัน/ปี $PM_{2.5}$ ลดลง 4.05 มคก./ลบ.ม.			
10. ข้อเสนอการปรับปรุงมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมัน Euro 4 เป็น Euro 5 & 6 ในปี พ.ศ. 2566/2569/2575	กำหนดมาตรฐานรถยนต์และคุณภาพน้ำมัน Euro 5&6 ปริมาณกำมะถันไม่เกิน 10 ส่วนในล้านส่วน	ปริมาณการระบาย $PM_{2.5}$ ลดลงตามลำดับจากประมาณ 4 พันตันต่อปี ใน พ.ศ. 2568 ลงเหลือประมาณ 1 พันตันต่อปี ใน พ.ศ. 2593 (86%)			

ภาคผนวก ค

รายชื่อผู้เข้าร่วมการสัมมนา "โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล"

วันที่ 2 สิงหาคม 2561 ณ ห้องประชุม 202

รวม 60 คน

กรมควบคุมมลพิษ

1. นายพันศักดิ์ ถิรมงคล	ผู้อำนวยการกองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
2. นายเสกสรร แสงดาว	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
3. นางสาวนิภาภรณ์ ใจแสน	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
4. นางสาวนุชจริยา อรัญศรี	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
5. นางสาวกาญจนา สวยสม	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
6. นางสาวนิตยา ไชยสะอาด	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
7. นางสาวภัทรียา เกตุสิน	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
8. นางสาวเกศศินี อุนะพำนัก	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
9. นางสาวนันทวัน ว.สิงหะคเชนทร์	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
10. นางสาวมานวิภา กุศล	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการพิเศษ
11. นายอิทธิพล พ่ออามาตย์	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
12. นายพิเชษฐ์ อธิภาคย์	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
13. นางสาวอรวรรณ มานูญวงศ์	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
14. นายศักดา ตรีเดช	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
15. นางสาวพัชราภา โชคยางกูร	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
16. นางสาวนาบุญ ฤทธิ์รักษ์	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
17. นางสาววลัยนุช พรรณสังข์	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
18. นายอำนวย อภัย	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการ
19. นางสาวทิฆัมพร ทิพย์แสง	นักวิชาการสิ่งแวดล้อม
20. นางสาววรรณรัฐ อยู่เย็น	นักวิชาการสิ่งแวดล้อม

กรมควบคุมโรค

21. นางสาวณราวดี ชินราช	นักวิชาการสาธารณสุขชำนาญการ
22. นายเกรียงไกร ก้ำไพบูลย์	นายแพทย์ปฏิบัติการ อาชีวเวชศาสตร์

กรมอนามัย

23. นางสาวสุนิษา มะลิวัลย์	นักวิชาการสาธารณสุข
24. นางสาวณัฐกานต์ ฉัตรวิไล	นักวิชาการสาธารณสุข

กรมโรงงานอุตสาหกรรม

25. นางสาวศิรกาญจน์ เหลืองสกุล	ผู้อำนวยการกลุ่มมลพิษอากาศ
26. นางสาวพรวิฐู ฤทธินนท์	วิศวกรปฏิบัติการ

กรมการขนส่งทางบก

27. นายเกียรติณรงค์ ครูบา	นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ

กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย

28. นายพรพิสุทธิ์ บุญศิริ	นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญการพิเศษ

สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร

29. นายนพพร จรุงเกียรติ	นักวิเคราะห์นโยบายและแผนชำนาญ

สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร

30. นางนภาพร ศรีเพ็ชร์พันธุ์	หัวหน้ากลุ่มงานควบคุมมลพิษ 2
31. นางสาวสุวรรณา กองกาไว	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมชำนาญการ
32. นายชาญศักดิ์ คชานุบาล	นักวิชาการสุขาภิบาลชำนาญการ
33. นางสาวทิพย์ญาณี สุวรรณวิจิตร	นักวิชาการสิ่งแวดล้อมปฏิบัติการ

องค์การขนส่งมวลชนกรุงเทพ

34. นางธัญญ์นรี ภู่ทอง	หัวหน้ากลุ่มงานพัฒนาระบบสวัสดิการ ส านักการเจ้าหน้าที่
35. นายพรเทพ สายสินธุ์	เจ้าหน้าที่อาชีวอนามัย

กองบังคับการตำรวจจราจร

36. พ.ต.ท.สมเกียรติ อนันตกาล รอง ผกก.5 บก.จร.

37. พ.ต.ต.รัฐฉัตร พันธุ์สุข สว.งานตรวจพิสูจน์มลภาวะ กก.5 บก.จร.

การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย

38. นางสาวพรพิมล พุ่มพวง ผู้อำนวยการกองสิ่งแวดล้อม

39. นางสาวสวนีย์ บรรพจน์พิทักษ์ รักษาการหัวหน้าแผนกติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม

สถาบันปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

40. นายฐนันดร์ มฤคทัต รองผู้อำนวยการอาวุโส

41. นางสาวสาวเดือน ทาวะรมย์ นักวิเคราะห์อาวุโส

42. นายธราธร อานทิพย์สุวรรณ นักวิเคราะห์

สมาคมอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย

43. นายองอาจ พงศ์กิจวนสิน นายกสมาคม

44. นายอดิสร พลทะจักร์ สมาชิกสมาคมอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย

มหาวิทยาลัยมหิดล

45. ผศ.ดร.ตระการ ประภัสพงษา อาจารย์

46. รศ.ดร.สราวุธ เทพานนท์ รองศาสตรจารย์

47. นางสาวณัฐพร ปิ่นทอง นักศึกษา

48. นางสาววนิชญา กุลแทน นักศึกษา

49. นางสาวพัชรากร สักเพ็ง นักวิจัย

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

50. นายสมโภค กิ่งแก้ว อาจารย์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

51. นายพรรณนพ ลิ่มหุ่น นักวิจัย

52. นางสาวนริฏา ฟักแก้ว นิสิตปริญญาเอก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

53. ผศ.ดร.พรรณวดี สุวัฒิกะ อาจารย์

บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม (JGSEE) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

54. รศ.ดร. สาวิตรี การีเวทย์ อาจารย์

55. นายสิทธิพงษ์ เป็งจันทร์ นักศึกษา

56. นายภัทรภูมิ พึ่งแย้ม นักศึกษา

57. Pham Thi Bich Thao นักศึกษา

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย

58. นายสุพัฒน์ หวังวงษ์วัฒนา อาจารย์

สำนักกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ

59. ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อาจารย์

สมาคมอนามัยสิ่งแวดล้อมไทย

60. นายสนธิ คชวัฒน์ เลขาธิการ

กองจัดการคุณภาพอากาศและเสียง
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
92 ซอยพหลโยธิน 7 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กทม. 10400
โทร. 0-2298-2000 โทรสาร 0-2298-2357
http://www.pcd.go.th

สิงหาคม 2561

ชื่อโครงการ : โครงการศึกษาแหล่งกำเนิดและแนวทางการจัดการฝุ่นละออง
ขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน ในพื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล

ดำเนินการโดย
รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์
วิทยาลัยพัฒนามหานคร มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช
อาคารศรีจุลทรัพย์ ชั้น 19
44 ถนนพระราม 1 เขตปทุมวัน กทม. 10330
โทร. 02 214 4366 โทรสาร 02 214 4367

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
เป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์ และมีสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้