

창립 40주년 기념 특집호

제3차 대기환경개선 종합계획의 의의와 정책 이행 방향

The Significance of the 3rd Comprehensive National Air Quality Improvement Plan and Directions for Policy Implementation

심창섭*, 최기철, 공성용, 한진석, 이승민, 정예민, 정은혜, 나건수

한국환경연구원 대기환경연구실

Changsub Shim*, Ki-Chul Choi, Sungyong Gong, Jinseok Hahn,
Seungmin Lee, Yemin Chung, Eunhye Jung, Geonsoo Na

Division for Atmospheric Environment, Korea Environment Institute, Sejong, Republic of Korea

접수일 2023년 8월 11일
수정일 2023년 9월 12일
채택일 2023년 9월 13일

Received 11 August 2023
Revised 12 September 2023
Accepted 13 September 2023

*Corresponding author
Tel : +82-(0)44-415-7701
E-mail : cshim@kei.re.kr

Abstract This paper aims to address the background, significance, and core contents of the Third Comprehensive National Air Quality Improvement Plan (hereafter referred to as The 3rd Plan (2023~2032)), which is the top-level national plan for air pollution management in Korea based on the National Air Quality Preservation Act. The 3rd Plan was established before the conclusion of the 2nd Plan, responding to evolving both domestic and international circumstances, including national legislation and policies for carbon neutrality, and recent strengthening of air quality standards by the World Health Organization (WHO). The 3rd Plan sets the goal of significantly reducing the emissions of air pollutants and improving the annual average concentration of fine particulate matter (PM_{2.5}) to 13 µg/m³ by 2027 (12 µg/m³ by 2032) in order to meet the current national air quality standards. To achieve this goal, the plan includes targets such as achieving a 29% reduction in PM_{2.5} and a 45% reduction in NO_x emissions by 2032 (base year of 2021), achieved through measures such as promoting the adoption of low/no emissions vehicles and significant reducing emission allowances for industrial facilities. Additionally, the 3rd Plan also outlines policies to combat the deterioration of domestic ozone pollution through researches and effective reduction of volatile organic compounds (VOCs). To achieve these objectives, future air quality plans should align with the National Determined Contributions (NDC) roadmap for carbon neutrality. Practical measures are needed for managing both greenhouse gases and air pollutants together. Transitioning to air quality goals based on toxicity assessments is essential. Improving emissions inventories for hazardous air pollutants (HAPs), conducting health impact assessments, and enhancing governance and government support for local governments are also critical. Urgent actions are required to facilitate effective communication, stakeholder collaboration, and institutional improvements to reduce industrial emissions significantly.

Key words: Air pollution, Management, Policies, Implementation, Mitigation

1. 서 론

1991년 국내 ‘환경정책기본법’과 ‘대기환경보전법’ 도입 이후 우리나라는 수도권 대기환경 개선을 시작으로 여러 관련 입법과 정책을 추진해왔다. 2010년대는 미세먼지 오염이 점차 사회적 관심사로 부각되면서 2019년 ‘미세먼지 저감 및 관리에 대한 특별법’(이

하 미세먼지 특별법)이 제정, 관련 정책들이 고도화되었다. 이후 고농도 시기 미세먼지 관리 강화와 부문별, 지역별 대기오염 배출저감 등을 위한 여러 대책들이 수립·이행되고 있다.

이런 가운데 정부는 2022년 대기환경보전법에 근거한 ‘제3차 대기환경 개선 종합계획(2023~2032)’(이하 3차 계획)을 수립하였다. 본고를 통해 제3차 대기

환경 개선 종합계획의 의미와 정책 지향점 및 주요 대책과 함께 대기환경 개선 목표 달성을 위한 이행 제고 방안에 대해 논의하고자 한다¹⁾.

1.1 법적 근거 및 성격

우리나라는 2006년부터 ‘대기환경보전법’ 제11조에 따라 “대기오염물질과 온실가스”를 저감하여 대기환경을 개선하기 위한 ‘대기환경 개선 종합계획’을 10년 단위로 수립하고 있다. 수립 주체는 환경부 장관이다. 대기환경 개선 종합계획은 대기오염 분야의 최상위 전국 단위 행정계획으로서 10년 단위의 정책방향과 대책을 제시하는 역할을 하고 있다(MOE, 2022). 온실가스 관련 정책은 당초 대기환경보전법상에 따라 대기환경 개선 종합계획에 포함되어 있었으나 2022년 정부의 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법(이하 기후법)’이 제정되면서 온실가스 분야는 기후법에 따른 목표와 대책을 수립하는 것으로 행정적 구분이 이뤄졌다. 따라서 제3차 계획은 행정적으로 미세먼지 등 대기오염물질 저감에 집중하면서도 탄소중립 정책과 정합성을 유지하게 되는 성격을 갖게 되었다.

1.2 계획의 연혁

정부는 대기환경보전법에 따라 1차 대기환경개선 종합계획(2006~2015)이 수립·이행되었으며 미세먼지 대응 중심의 위해성 저감을 강조한 제2차 대기환경 개선 종합계획(2016~2025)(이하 2차 계획)이 수립·이행되었다. 그러나 이후 초미세먼지(particulate matter less than 2.5 μm , PM_{2.5}) 저감 강화를 위해 2019년 미세먼지 특별법이 제정되면서 다부처 차원의 미세먼지 관련 다수 정책들이 새로 도입되었다²⁾. 이로 인해 미세먼지 계절관리제 및 고농도 비상저감조치 시행을 위한 법적 근거가 마련되었다.

또한 2021년 세계보건기구(World Health Organization, WHO)의 초미세먼지 연평균 권고기준이 강화되었으며(5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), 최근 국내 기후법 제정에 따른 2050 탄소중립을 위한 정책들이 본격적으로 추진되었다. 따라서 본 종합계획은 이러한 새로운 국내외적 대기환경 관리상의 여건 변화를 반영하고 정부의 대기질 개선 의지를 실현하기 위하여 2차 계획 종료 전 재수립되었다³⁾.

또한 3차 계획은 2022년 당시 기존의 황사 및 미세먼지, 유해화학물질 등의 장거리이동 대응을 위한 ‘장거리이동 대기오염물질 피해방지 종합대책(이하 장거리 대책)’의 2차 계획(2018~2022)의 종료 시점에서 장거리 대책과 내용상 그 범위와 성격이 유사하므로 3차 계획부터 함께 다루게 되었다.

이 밖에도 3차 계획은 대기오염 분야 최상위 계획으로서 지역의 주요 배출사업장 총량제를 골자로 하는 ‘권역별 대기환경관리 기본계획’의 지속적 이행과 2022년 지방자치법 개정에 의한 지자체와 중앙정부, 지방자치단체 간 협력의무가 강조되는 등 지자체 대기환경 관리 및 협력이 필요해진 상황에서 수립되었다.

1.3 대기환경 개선 종합계획의 범위

대기환경보전법에 근거한 대기환경 개선 종합계획에서 다루는 주요 정책 부문은 아래와 같다.

- 대기오염물질의 배출 현황과 전망
- 대기오염물질 저감 목표 설정 및 분야별, 단계별 대책
- 유해성대기감시물질의 측정, 감시, 관찰
- 장거리이동 대기오염물질 피해방지를 위한 국내대책, 관련 국제협력과 민관협력
- 대기오염 및 온실가스를 연계한 통합대기환경 관리 체계구축

¹⁾본고는 환경부의 제3차 대기환경개선 종합계획(MOE, 2022)과 Shim *et al.* (2022a)를 근거로 작성되었음.

²⁾예로 ‘미세먼지 관리 종합계획(‘20~‘24)’, ‘권역별 대기환경 기본계획(‘20~‘24)’ 등이 있으며 미세먼지특별대책위원회, 국가미세먼지정보센터 등의 조직이 설치되었다.

³⁾대기환경보전법 제11조에는 환경부장관은 종합계획이 수립된 날부터 5년이 지나거나 종합계획의 변경이 필요하다고 인정되면 그 타당성을 검토하여 변경할 수 있도록 명시되어 있다.

2. 제2차 종합계획의 성과 평가

2.1 제2차 대기환경 개선 종합계획의 목표와 주요 내용

2차 계획(2016~2025)에서는 대기질 개선 부문과 기후변화 대응 부문으로 구분되어 수립되었다. 대기오염 계획 부문은 미세먼지(particulate matter less than 10 μm , PM₁₀), 오존(O₃)을 농도 관리 대상으로, 배출량은 미세먼지, 이산화질소(nitrogen dioxide, NO₂), 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOCs)로 관리하며, 위해도 측면에서 유해대기오염물질(Hazardous Air Pollutants, HAPs)을 관리 대상 물질에 포함하였다. 2차 계획에서는 대기환경 농도 개선을 위해 '25년 대기오염 배출량 전망(Business as usual, BAU) 대비 약 30~45%(당시 기준연도인 '12년 대비 27~35%) 감축을 목표로 제시하였다.

2.2 2차 계획의 목표 달성 상황

2차 계획의 대기오염물질별 배출량 감축 측면의 성

과는 3차 계획 수립 당시 최신 국가 대기오염 배출목록(CAPSS)이 2019년도였으므로 2019년을 기준으로 성과를 측정하였다. PM₁₀ 배출량의 경우 '25년도 목표 배출량 대비 2019년도 배출량이 약 12% 많으나 당초 계획에 따라 정합성 있게 감축되고 있음을 보여주고 있다(표 1). 초미세먼지 배출량도 미세먼지와 비슷하게 감축 추세를 보인다(표 1). 그러나 NO_x와 VOCs의 '19년 감축 상황은 '25년 감축목표와 약 30% 이상 거리가 있어 미세먼지 감축량에 비해 부진한 편이다. 특히 VOCs 배출량은 '12년 대비 오히려 증가하여 가장 감축 성과가 저조한 것으로 나타났다(표 1).

PM₁₀은 목표 농도 수준을(연평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 기준농도; 연간 달성률을 '25년까지 90% 달성) 계획기간 중에 달성했다('15년 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ → '21년 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 달성률 98.5%) (표 2). PM_{2.5} 농도 역시 계획기간 중 당초 목표를(이전 연평균 기준 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 적용 시 연간 달성률을 '25년까지 90% 달성) 계획기간 중 달성하였다(연평균 농도 '15년 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (이전 기준 달성률 65%) → '21년 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (이전 기준 달성률 98.1%)) (MOE,

Table 1. Air pollutants emissions projections and reduction targets (by 2025) by the 2nd Comprehensive Air Quality Improvement Plan. (Units: Tons, %)

Air pollutants	2012 Emissions	Emissions projections (2025, BAU)	Target emissions (2025)	CAPSS Emissions (2019) & (the emission ratio) ^a	Reduction targets (%)		
					Comparing to 2012	Comparing to BAU (2025)	2019 Reductions comparing to BAU
PM ₁₀	251,533	260,699	182,134	207,866 (1.14)	28	30	20%
PM _{2.5}	108,111	113,832	73,884	87,618 (1.18)	32	35	23%
NO _x	1,108,176	1,210,557	727,067	1,086,862 (1.49)	34	40	10%
VOCs	991,515	1,170,493	641,233	1,020,216 (1.59)	35	45	13%

Sources: Shim *et al.* (2022a) based on MOE (2015) and NAIR (2020).

^aThe numbers in the parentheses denote the emission ratios (CAPSS 2019/Target emissions (2025)).

Table 2. Annual mean concentrations (left column of each year) and attainment rates (unit: %, right column of each year) for ambient PM ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) and Ozone (ppm) concentrations.

Air Quality Standards	2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
PM ₁₀ (Annual 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	48	65.6	47	71.6	45	79.9	41	95.9	41	94.5	33	100	36	98.5
PM _{2.5} (Annual 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	26	0	26	0	25	0	23	0	23	1.9	19	16.8	18	24.3
O ₃ (1 hour: 0.1 ppm)	0.027	50.8	0.027	26.8	0.029	24.5	0.027	22.9	0.030	12.0	0.030	41.1	0.032	40.8

Sources: NIER (2022)

Note. Air quality standards of PM_{2.5} revised in 2018 was applied.

2022). 그러나 계획기간 중 초미세먼지 연평균 농도 기준이 강화되면서('18년 $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 신규 기준에 따른 달성률은 21년 24.3%로 불과해 지속적인 농도 개선이 필요한 것으로 나타났다(표 2).

2차 생성 물질인 O_3 의 경우 전국 연평균 농도가 오히려 증가('15년 27 → '21년 32 ppb)하여 제2차 종합계획의 목표에 미달한 것으로 나타났다(당초 1시간 기준 달성률⁴⁾을 '25년 70% 목표, 그러나 '21년 40.8%에 불과). 따라서 현재 초미세먼지와 오존에 대한 대책이 동시에 강화될 필요성을 시사하고 있다.

2.3 주요 부분별 성과와 시사점⁵⁾

2차 계획에서는 목표 달성을 위해 (1) 통합적 대기 관리 체계 구축(제도 기반 마련), (2) 다각적 사업장 배출관리, (3) 자동차 이용 전(全)단계 저감 추진, (4) 생활오염 관리 사각지대 해소, (5) HAPs로부터 안전한 대기환경 조성, 그리고 (6) 과학적 추진기반 강화를 제시하였다. 이에 대한 정성적 성과와 시사점에 대해 간단히 논의하고자 한다.

먼저 제도적인 측면에서는 2018년 우리나라의 초미세먼지 대기환경기준 강화(연평균 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (MOE, 2018)에 이어 2019년 이후 미세먼지 특별법과 관련된 정부 정책이 강화되고 대기오염 저감에 대한 중앙정부와 지자체 차원의 세부 정책 및 고농도 시기 관리 체계 등이 수립되었다고 평가할 수 있다.

배출사업장 관련 대책은 그간 대기오염물질의 배출 허용기준을 강화하였고('20), 권역별 총량 대상 사업장 및 권역에 대한 대기오염 배출 총량을 할당하여 사업장 배출 저감의 실질적 이행을 위한 정책 기반을 마련하였다(권역별 대기환경관리 기본계획, Gong *et al.*, 2020; MOE, 2020a). 생활 영역에서도 저NOx 버너 지원기준을 강화하였다(MOE, 2023). 그러나 대기오염물질별 인벤토리 고도화를 통한 사업장 관리가 필요하며 상대적으로 부진한 휘발성유기화합물(VOCs)의 저감을 위한 관리기반 마련이 시급하다고 평가할

수 있다.

수송 분야의 대책은 그동안 제작차의 실주행 조건의 배출허용 기준을 신설·강화하였고, 운행차 약 130만 대의 DPF (Diesel Particulate Filter) 및 PM, NOx 저감장치를 부착하고 경유차의 조기폐차 등을 지원하였다(MOE, 2020b). 그 결과 노후 경유차 등의 조기폐차가 배출 가스 저감장치 부착유도보다 더욱 효과적 인 것으로 평가되었다. 또한 승용차 이외에도 상용차의 무공해화 및 비도로 이동오염원 실질적 저감을 확대하는 방안이 필요한 것으로 평가되었다.

생활오염 대책 부문에서는 제2차 계획기간 중 대기 관리권역의 유증기 회수설비 설치를 지원하였고 가정용 저NOx 보일러 지원사업 등이 이행되었다. 영농폐기물 공동 집하장을 확충하고 도로 청소차를 확충하였다. 향후 주요 배출원별(업종별) VOCs의 실효적 관리 확대 및 물질별 인벤토리의 고도화가 필요하며 초미세먼지에 영향을 주는 농축산 분야 등의 암모니아의 배출 저감이 중요한 것으로 판단된다.

유해대기오염물질(HAPs) 관리 측면에서는 향후 HAPs 관리는 위해성 저감을 목표로 정책의 우선순위를 도출하도록 중장기적인 관리체계 발전이 필요하며 HAPs의 모니터링과 화학종별 인벤토리의 정교한 구축 등이 필요한 것으로 파악되었다.

3. 국내 대기오염물질 배출 현황 및 전망

3.1 최근 국내 대기오염물질 배출 현황

제3차 계획에서는 대책수립을 위한 기준년도 배출량을 2022년 당시 최신의 국가 배출자료인 CAPSS의 2019년 자료를 기반으로 하되 2021년 중대형 사업장의 배출량 현황과 배출량 산정법의 개선사항을 반영한 2021년 잠정 배출량⁶⁾을 기반으로 현재 배출 상황과 미래 전망을 제시하였다(표 3).

국가 CAPSS 배출량 자료에 의하면 NOx 배출량은

⁴⁾달성률(%)은 연간 75% 이상의 관측 자료가 존재하는 유효 측정소 중 환경기준을 달성하는 측정소 수의 비율을 나타내는 지표임.

⁵⁾성과의 정성적 평가 및 시사점은 관련 대책 수립 과정에서 학회 전문가 등의 다양한 의견을 반영하였음.

⁶⁾2021년 잠정 배출량은 국가미세먼지정보센터의 협조로 활용되었음.

Table 3. Potential estimates of air pollutants emissions(2021) and the projected emissions for 2027 and 2032. (Unit: Tons, %)

Pollutants	Potential emissions 2021		Emissions projections		Changes (2032-2021) %
			2027	2032	
NOx	987,090	Decrease since 2016	978,332	964,695	-2.3
SOx	204,551	Decrease in 2010s	214,310	218,000	+6.6
PM _{2.5}	61,083	Decrease since 2018	60,097	59,023	-3.4
VOCs	1,015,374	Steady/increase	1,038,470	1,038,578	+2.3
NH ₃	267,950	Steady/increase	276,123	281,645	+5.1

Note: The potential emissions 2021 has been estimated with the latest emissions estimated for the emitters under total emissions-cap targetregulation (2021) and CAPSS 2019. The final updated emissions will be released in 2023. This table does not contain the emissions targets of the 3rd Plan.
Source: Revision of Shim *et al.* (2022a).

21년 약 98.7만 톤으로 '16년(124.8만 톤) 이후 점차 감소 추세이며, 이는 노후 차량 감소 등 수송 부문을 포함한 여러 정책 효과가 포함된 것으로 판단된다. SOx 배출량은 '21년도 약 20.5만 톤이며 2010년대의 에너지 전환(예, 유연탄 및 BC유 사용 감소) 등에 의해 꾸준히 감소 추세이다. 이러한 복합적 요인으로 초미세먼지 배출량 또한 2018년 이후 소폭 감소된 것으로 나타났다('18년 약 9.8만 톤, '21년 약 6.2만 톤). 그러나 비도로 및 생활 영역에서의 배출량 증가 등의 원인으로 휘발성유기화합물(VOCs)의 배출량은 소폭 증가 혹은 정체 상황인 것으로 나타났으며('21년 배출량 약 101만 톤)이며 암모니아 역시 육류소비 증가에 따른 사육두수 증가 등의 영향으로 소폭 증가 추세인 것으로 나타났다('21년 배출량 약 27만 톤)⁷⁾.

3.2 국내 및 국외 대기오염물질의 미래 배출 전망('23~'32)

미래의 대기오염물질 배출을 장기적으로 전망하는 것은 불확실성을 포함한다. 미래 경제 및 산업구조, 인구 및 인구 구조와 세대수의 변화 등과 밀접한 관련이 있기 때문이다. 3차 계획의 미래 대기오염 배출량 전망('23~'32)은 아래와 같은 전제하에 작성되었다.

먼저 현재 기화정된 '미세먼지 관리 종합계획('20~'24) 등이 예정대로 수행되는 것을 전제로 하였으며

'25년 이후에는 아직 확정된 대기오염 관련 정책이 없으므로 추가 대책이 없는 것을 가정하여 미래 배출량을 산정하였다. 기준 배출량은 앞서 언급한 '21년 CAPSS 잠정 배출량 자료를 사용하였다.

제3차 계획의 대기오염물질 배출 전망에는 기본적으로 국가 중장기 에너지 계획인 '제3차 에너지 기본계획'과 발전 부문의 '제9차 전력수급기본계획(2020~2034)'을 미래 배출량 산정에 적용하였다. 이는 3차 계획을 수립할 당시 국가의 최신 국가 에너지 관련 통계 자료이다. 수송 부문의 경우 기존 정책에 반영된 국가 자동차 등록 대수 전망(Joint Ministries of Korea, 2021)을 성장 전망에 반영하였으며, 차령별, 차종별 자연 폐차율과(Gong *et al.*, 2020) 차량 노후화에 따른 열화 계수까지 고려하여 미래 배출 전망을 수행하였다. 세부적인 전망 방법 및 활용 자료는 Choi *et al.* (2022)에 적용된 것을 활용하였다.

중국 등 국외 대기오염 배출 시나리오 설정을 위해 관련된 학술 및 정책 자료들을 검토하였으며(Choi *et al.*, 2022; Choi, 2021; 중국 생태환경부(MEE), 2021; NIER, 2020; Tong *et al.*, 2020), 가능한 범위에서 탄소 중립 계획이 실현되고 대기오염 감축 계획이 반영되는 상황을 적용하였다⁸⁾. 국제 연구기관에서 전망하는 Maximum Technically Feasible Reduction Scenario (MTFR) 시나리오 등과 유사한 전제라고 할 수 있으며⁹⁾

⁷⁾2021년 기준의 최근 국내 대기오염물질 배출 실태 정보는 '제3차 대기환경개선 종합계획'(MOE, 2022)의 3장 1절 참조.

⁸⁾중국은 2021년 '청정대기 및 탄소중립 동시관리 노선'을 발표하였다.

⁹⁾이와 같은 시나리오 전제는 OECD 및 IASA 등 관련 국제기관에서 사용되는 가정이다(Rafaj *et al.*, 2021; Belis *et al.*, 2022).

각국의 탄소중립 및 대기오염 저감 계획이 실현되는, 낙관적 상황을 가정하였다고 할 수 있다.

국내 대기오염 배출 전망 결과는(표 3)에 나타내었다. 배출 전망에 따라 PM_{2.5}, NOx 배출량은 소폭 감소하였으나(각각 -3.4%, -2.3%), 그 외 대기오염물질은 소폭 증가하여 대기오염물질별로 다른 증감 추이를 나타내었다. 이러한 결과는 주로 수송 및 발전 부문에서의 배출감소, 특히 수송 부문의 감소로 인한 것으로 확인된다. 자동차 등록 대수 및 전체 발전량 증가에도 불구하고 대기오염물질 배출이 감소한 이유는, 현 미세먼지 관리 종합계획의 이행과 함께 주로 노후 발전 설비 폐지 및 신규 설비 대체, 노후 자동차(특히 경유차) 자연 폐차 및 신차 대체 효과가 기본 전망에 반영되었기 때문이다. 그 외 국내 배출 사업장의 증가 및 농축산 소비의 확대 등 영향에 의해 SOx, VOCs, NH₃의 배출량은 소폭 증가할 것으로 전망되었다(각각 +6.6%, +2.3%, +5.1%).

4. 제3차 종합계획의 주요 목표와 주요 내용

4.1 국내 대기오염도의 개선 목표와 근거

동 계획의 목표는 대기오염으로부터 위해성을 개선하기 위해 국내 대기오염물질 농도 저감을 달성하고 이를 추진하기 위한 핵심과제를 도출·제시하는 것이

다. 3차 계획에서 최종년도인 2032년까지 달성하고자 하는 농도 목표는 초미세먼지와 오존이 정량적으로 제시되었는데, PM_{2.5}의 경우 전국 연평균 농도를 2032년까지 12 µg/m³(황사 발생일 제외) 수준을 달성하는 것을 목표로 하였다¹⁰⁾. 2027년까지 중간목표는 2021년 현재 OECD의 중위권 수준인 13 µg/m³으로 설정하고, 동 목표를 고려하여 향후 PM_{2.5} 등의 국내 대기환경기준 변경을 추진할 계획이다¹¹⁾.

악화일로의 O₃ 오염은 현재 국내 8시간 기준농도(0.06 ppm)가 전국적으로 미달성 상태이며 1시간 기준농도(0.1 ppm)는 2021년 현재 40.8%로 저조하다. 또한 오존주의보 발령일수가 2000년대 평균 21.6일에서 최근 '16~'20년간 57.2일로 91%나 증가하였다. 오존 오염악화는 동아시아의 공통된 현상이며 오존 농도의 저감을 위해서는 질소산화물의 저감뿐 아니라 휘발성유기화합물의 뚜렷한 저감이 동시에 필요하다. 3차 계획에서는 2032년까지 현재 오존의 악화 추세를 전환하여 전국 1시간 기준 달성률을 현재보다 개선하는 것을 목표로 하고 있다(달성률을 50%까지 높임). 2027년 1시간 기준 달성률의 중간목표는 45%로 설정하였다.

4.2 국내 대기오염물질 감축 목표

대기오염물질 저감 목표는 3차 계획의 부문별 핵심과제 중 오염물질 삭감량 추정이 가능한 수치를 적용한 것이며¹²⁾ 수송 및 발전 부문 등에서는 국가 온실

Table 4. Reduction targets of air pollutants by the 3rd Plan (2027 and 2032).

(Unit: Tons, %)

Pollutants	Potential emissions 2021 (base year)	2027 Target (mid-term goal)		2032 Target (final goal)	
		Emissions after reductions	Reductions (%) (Comparing to 2021)	Emissions after reductions	Reductions (%) (Comparing to 2021)
NOx	987,090	658,163	33.3	539,438	45.4
SOx	204,551	85,889	58.0	80,315	60.7
PM _{2.5}	61,083	46,365	24.1	43,340	29.0
VOCs	1,015,374	902,066	11.2	892,028	12.1
NH ₃	267,950	252,551	5.7	234,581	12.5

¹⁰⁾미국 환경청 자료에 따르면 미국은 연평균 초미세먼지 농도 12 µg/m³에서 비용 대비 편익이 높은 것으로 분석되었고 국내에서도 이러한 농도별 비용-편익 기반의 최적화된 대기환경기준 마련이 필요하다.

¹¹⁾국민인식 조사 결과 이러한 초미세먼지 개선 수준에 대해 국민의 약 64%가 충분한 것으로 응답하였다 (Shim et al., 2022b).

¹²⁾환경부의 '제3차 대기환경개선 종합계획(MOE, 2022) 부속3의 '27년 전국 연평균 PM_{2.5} 농도 달성 로드맵 자료 참고.

가스 감축 정책이 일부 반영되었으나 향후 2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC, Joint Ministries of Korea, 2021)의 구체적 이행 로드맵이 확정되면 삭감량 변화 여부를 추가로 검증·반영할 필요가 있다.

표 4와 같이 3차 계획의 산업 및 수송 분야의 저감 정책 및 탄소중립 정책 효과로 인해 NO_x, SO_x 및 초미세먼지 배출량은 '21년 잠정 배출량 대비 '32년 약 29~61% 저감될 것으로 전망되었다. '27년 중간목표로는 NO_x, SO_x 및 초미세먼지는 24~58% 저감될 것으로 전망된다. 그러나 VOCs와 암모니아는 현재 정량화가 가능한 정책 수단이 상대적으로 제한적이므로 다소 적은 삭감 목표가 제시되었다('32년 약 12%, '27년 5.7~11% 삭감 목표(표 4)).

상기 감축 목표를 적용하여 중간 목표연도인 '27년도 전국 초미세먼지 평균 농도를 계산한 결과 현 정부의 국정과제 목표인 '27년 전국 평균 13 µg/m³을 달성할 수 있는 것으로 예상되었다¹³⁾. 향후 초미세먼지 전국 연평균 농도 개선은 사업장 총량제가 적용되는 권역을 중심으로 그 효과가 더 클 것으로 나타났으며 '21년 대비 국내 전국 평균 농도 감소 정도는 국외 배출량 저감의 효과가 국내 저감 효과보다 다소 클 것으로 계산되었다. 오존은 현재 정책 활용을 위한 정량적 재현성 확보가 선행되어야 하므로 향후 종합계획의 정책 효과에 따른 오존 농도 감소 효과를 정량적으로 평가해야 할 것으로 사료된다.

4.3 3차 종합계획의 특징과 주요 대책¹⁴⁾

3차 계획의 목표 달성을 위한 핵심전략은 '국민건강 중심의 관리체계 구축' 등 5가지로 제시되었는데 5대 핵심분야(전략)를 표 5에 나타내었다.

4.3.1 국민건강 중심의 관리체계 구축

3차 계획에서는 대기오염물질의 건강 영향 연구를 지속 발전시켜 위해성 기반의 대기오염 관리에 대한 진일보한 방법론을 적용할 수 있도록 제도적 기반 마련을 추구하고 있다. 또한 장거리이동 대기오염물질

Table 5. Main strategies of the 3rd Plan for Implementation.

5 Key Strategies
Establishment of air quality management systems focusing on public health "국민건강 중심의 관리체계 구축"
Strengthening the regulations of emission facilities "사업장 배출관리 고도화"
Acceleration of emission reductions in transportation sector "이동 오염원 배출 저감 가속화"
Effective management and reduction of emissions from residential areas "생활주변 배출원의 효과적 관리 및 저감지원"
Strengthening scientific capabilities and promoting effective international cooperation "과학적 역량강화 및 실질적 국제협력 추진"

Sources: MOE (2022).

과 HAPs 등의 관리 개선을 위해 측정소 및 측정항목과 주기를 단계적으로 확대하고 관련 연구와 HAPs 인벤토리에 대한 구축과 활용을 목표로 하고 있다.

또한 현재 미세먼지특별대책위원회 이후 보다 포괄적이고 전문적인 민관 협의체를 구성·운영하여 대기환경기준과 관련 법제도 및 각종 계획들을 논의·검토하는 역할을 수행할 근거를 마련하였다.

고농도 초미세먼지 대응 강화는 기존의 관련 대책(예, 미세먼지 관리 종합대책)을 강화하는 것을 골자로 하고 있으며 예보 능력의 강화 계절관리제 기간과 세부 정책의 강화를 위한 근거를 마련하였다. 또한 이번 계획에서 기존에 없던 고농도 오존에 대한 대책이 신규로 추가되었는데, 고농도 오존 발생 시 NO_x, VOCs에 대한 저감 및 감시 등이 가능한 관리대책을 수립·이행하고 전구물질 등을 포함한 측정역량 및 예보능력 강화, 자연적 휘발성유기화합물(Biogenic VOCs, BVOCs)을 포함한 VOCs 정보력 강화를 골자로 하고 있다. 또한 오존 발생과 영향, 저감을 연계하는 다차원적인 오존 정책을 지원할 수 있는 연구를 강화하도록 하였다.

¹³⁾상기 모의는 국가미세먼지정보센터의 협조와 협업으로 최신 CMAQ 모형기반으로 수행되었음.

¹⁴⁾세부 내용은 환경부(2022)의 제3차 대기환경종합계획을 참고, 본고에서는 중점 부문에 대한 특징을 서술하였음.

4.3.2 사업장 배출관리 고도화

3차 계획의 사업장 대책은 현재 권역별 대기관리 기본계획에서 시행하는 사업장 배출허용 총량을 강화하는 것을 골자로 하고 있다('21년 대비 '27년까지 50% 이상 감축). 이는 현정부의 국정과제의 세부사항을 이행하는 것에 해당한다. 이를 달성하기 위해 배출허용총량 할당을 위한 최적방지기술(BACT) 적용 기준 마련과 현재 권역별 대기관리 대책의 충실한 이행 및 단계적 강화를 계획하고 있다. 이를 뒷받침 하기 위해 대기배출원관리시스템(SEMS)과 사업장 총량관리시스템(Stacknsky) 등 관련 시스템의 고도화를 포함하고 있다.

4.3.3 이동오염원 배출 저감 가속화

차량 부문은 전기/수소 차량 중심의('무공해차') 2030까지 누적 450만 대의 보급과 충전인프라를 지속 확대하는 것을 포함하였다. 이 부문은 국가 탄소중립 계획과 목표에 따라 정합성 있게 할 예정이다. 경유차 대책은 기존 정책의 경험에 따라 노후 경유차의 퇴출을 가속화하는 것으로 지향하며(4등급 경유차의 조기폐차 지원으로 확대) 노후 경유차의 운행 제한 지역(Low Emission Zone)을 2030까지 6대 특광역시로 확대하는 것을 목표로 하고 있다.

기존의 내연기관차량의 배출 허용 기준은 SULEV(Super Ultra Low Emission Vehicle) 및 EURO7 등 선진국의 기준에 부합하도록 강화하는 것을 기본 방향으로 하고 있으며 운행차의 NO_x 정밀검사를 모든 대기관리권역으로 확대할 예정이다.

또한 사각지대라 할 수 있는 이륜차, 농업 및 건설 기계에 대한 친환경화(전기 동력화를 가속화)를 주요 내용으로 추진할 계획이며, 선박에 대한 저감장치 부착과 친환경 연료 적용, 저황 연료 사용 등 배출규제 해역 운영 등으로 강화할 계획이다.

4.3.4 생활 주변 배출원의 효과적 관리 및 저감 지원

생활 영역은 배출원이 다양하고 상대적으로 정책

수단을 발굴하기 어려운 영역인데 본 계획에서 이 부문에 대한 세부 대책이 보강되었다. 먼저 VOCs 저감을 위한 배출사업장 강화 및 생활용품 등 제품의 VOCs 함량 관리를 확대할 예정이며, 가정용 저녹스 보일러 보급 지속과 가스 열펌프(GHP) 배출 허용기준을 적용할 예정이다. 생물성 연소 저감도 영농잔재물의 소각 대신 수거 및 파쇄 등을 통한 대기오염 억제 유도를 계획이며 불법소각 방지와 산불 대응을 강화하기로 하였다. 3차 계획에서는 처음으로 농축산 부문의 암모니아 저감 대책이 포함되었는데 기존의 퇴·액비사용을 억제하고 가축분뇨의 자원화(예, 바이오가스)를 촉진하며 저단백사료 등을 보급하여 가축의 암모니아 배출을 억제하는 것이 주요 방향이다. 또한 기상·기후 등에 민감한 암모니아 배출량 산정을 개선하고 미세먼지의 지역별 생성 원인 규명의 정확성을 추구하는 것을 포함하고 있다.

4.3.5 과학적 역량강화 및 실효적 국제협력 추진

과학적 역량강화는 환경위성의 활용 확대가 가장 중요한 과제 중 하나가 될 예정이다. 위성자료의 정확성 향상과 검증에 위한 '판도라 아시아 네트워크(PAN)'를 운영하여 과학적 연구 협력을 도모할 예정이며, 차기 정지궤도 환경위성의 개발을 통해 양질의 대기질 정보를 지속적으로 확보, 활용할 수 있도록 계획하고 있다. 또한 대기오염물질-온실가스 통합관리 체계를 통해 대기오염물질과 온실가스 저감의 공편익을 극대화하고 관련 정책 수단들을 발굴하기 위한 관련 연구를 확대할 수 있는 방향성을 제시하였다.

이 밖에도 지역 차원의 대기정책의 효과를 분석할 수 있는 수치 모델링 지원사업(NEAS)과 위해성 분석 평가, 대기질 예보 역량강화, 응축성 미세먼지의 실태와 원인 규명을 위한 연구, 대기오염 배출목록의 고도화 등 과학 기반의 정책 추진을 뒷받침할 수 있는 연구 역량강화 주제들이 포함되어 있다¹⁵⁾.

이 밖에도 동아시아 역내 대기오염 협력 차원의 국제협력 이슈는 한-중 양자 협력 중심에서 기존의 한중

¹⁵⁾제3차 종합계획의 모든 세부과제는 환경부(2022)를 참조.

일 환경장관회의(TEMM)의 발전과 다국적 대기조사 관련 연구사업의 추진, 그리고 국제기구 기반의 대기질 공동관리의 의제화를 추진하는 등 다자간 협력 차원으로 확대하는 방향성을 제시하였다. 추가적으로 지방자치법 개정('22)에서 지자체의 국제협력에 관한 조항이 신설된 만큼 향후 시·도차원에서도 환경 분야의 다양한 국제협력을 기대할 수 있다.

4.3.6 본 계획의 세부 성과지표

3차 계획에서는 대기오염물질의 감축량과 미세먼지 등 농도에 대한 '27년(중간)과 '32년의 최종목표의 설정 이외에도 세부 실천사항 중 성과지표를 마련하였다(MOE, 2022). 세부 성과지표에는 HAPs를 포함하는 대기오염물질의 위해성 평가체계를 발전시켜 3차 계획기간 중 통합대기환경지수의 개선·적용하는 것을 지표로 삼고 있다. 또한 초미세먼지 예보 정확도 향상과 대기오염물질 배출목록의 정확도 개선하는 것을 지표로 포함하였으며, 국정과제에 포함된 배출사업장의 배출허용 총량을 중간 목표연도까지 50% 감축하는 것('21년 대비)이 주요 지표로 설정되었다. 무공해차 및 비도로 부문의 무공해 굴착기 보급 대수도 국가 NDC 계획에 맞춰 목표 물량을 성과지표에 포함되 향후 평가에 활용될 전망이다(무공해차 누적 450만 대 보급, 무공해 굴착기 누적 2만 대 보급).

5. 정책제언: 정책 이행 달성을 위한 방향

환경부는 제3차 대기환경 개선 종합계획 수립을 통해 (1) 국가 탄소중립 정책과의 연계 및 온실가스·대기오염물질 동시 관리를 통한 기후·대기 정책의 공편익 극대화, (2) 포스트 코로나 시대의 전 세계적인 대기오염 개선 목표에 대응, (3) 미세먼지뿐 아니라 오존 및 유해대기화합물질(HAPs) 관리를 통해 전반적 대기환경의 위해성 개선, (4) 그리고 국가 대기질 개선을 위한 주요 핵심 과제들의 추진 계획들을 마련하

여 향후 10년간의 정책 추진 방향과 내용을 제시하였다. 본 절에서는 3차 계획 이행 제고를 위한 주요 제안 사항에 대해 논의하고자 한다.

5.1 대기 분야 주요 정책 간 연계를 통한 이행 제고

제3차 대기환경 개선 종합계획은 2019년의 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」과 2020년 「대기관리구역의 대기환경개선에 관한 특별법」을 포함하는 대기오염분야 최상위 계획으로서 본 계획이 2032년까지의 국가 정책 목표와 방향을 제시한 만큼 동 계획과 부합하는 차기 「미세먼지 관리 종합계획('25~'29)」과 「권역별 대기관리 기본계획('25~'29)」의 수립이 필요하다. 특히 고농도 기간의 강화된 오염 저감 정책과 사업장 배출 감축 강화에 대한 종합계획의 목표가 해당 정책에 정합성 있게 구체적, 단계적으로 반영되어야 하며 지자체, 중대형 배출사업장 등 주요 당사자들과의 소통을 통해 규제와 지원을 병행하여 현장의 정책 이행력을 제고할 필요가 있다. 특히, 그간 복잡해진 대기오염 관련 제도와 규제를 점차 간소화하여 배출사업장 등 현장 당사자들의 제도 이행을 지원할 필요성이 있다¹⁶⁾.

5.2 대기환경보전과 탄소중립 제도의

정합성 있는 발전

온실가스와 대기오염물질의 발생원인의 공통점과 기후·대기질 상호작용 등을 고려한다면 온실가스와 대기오염물질의 통합관리가 대기오염 정책에 미리 포함되어 제도화가 추진되었다면 바람직하였을 것이다. 따라서 이제 탄소중립과 대기환경 관련 제도, 그리고 거버넌스상의 정합성과 통일성을 확보할 수 있는 정책적 발전이 시급한 상황이다. 이와 관련하여 대기환경의 통합관리가 가능한 '위원회'의 설치에 관한 법적·제도적 근거를 마련하여 대기환경정책 전반에 관한 심사, 평가 등 의사결정을 총괄할 수 있는 독립적 위원회의 설치와 운영이 바람직하다.

3차 계획에서 거버넌스의 발전을 위해 '자문기구'의

¹⁶⁾Shim et al. (2021)의 대기 배출 사업장의 규제 관련 당사자 대상의 설문조사를 기반으로한 의견임.

설립 운영을 제시하였으므로 이러한 부문이 발전적으로 수행될 수 있는 거버넌스 체계의 마련과 운영이 중요하다. 또한 탄소중립과 대기환경 관리 이슈는 정책별로 부처별 혹은 부처 내 담당 부서에서 운영되고 있어 ‘기후위기 대응을 위한 탄소중립 녹색성장 기본법’과 ‘대기환경 보존법’ 차원의 대기오염물질과 온실가스의 통합관리를 위해 정부의 행정 구조적인 뒷받침이 필요하다.

또한 배출 현장의 대기오염물질과 온실가스 통합관리 실현을 위해 각 부문의 설비/기술별로 대기오염 저감 및 온실가스 저감에 대한 공편익과 상충관계를 면밀히 분석하고 목록화할 필요가 있으며 이러한 정밀한 자료들을 근거로 향후 세부 정책에 대한 목표와 기준을 정량적으로 분석, 발전시킬 필요가 있다. 또한 기후변화로 인한 대기질 영향과 대기질/온실가스 저감에 따른 기후-대기 복합 영향에 대한 과학적 근거를 확인하고 평가·반영하는 중장기적 연구도 일관성 있게 추진될 필요가 있다.

5.3 위해성 기반의 포괄적 대기오염 관리

우리나라는 2010년대 이후 미세먼지 중심의 대기환경 정책이 추진되었다고 할 수 있다. 그러나 동북아시아 미세먼지 문제의 핵심 당사자인 중국 정부에서도 2013년 이후 미세먼지 저감 정책이 추진된 이후 오존 오염이 악화되는 현상을 겪었으며 오존 고농도 현상 해결을 위해 VOCs 관리 정책에 높은 관심을 갖게 되었다(Liu and Wang, 2020). 우리나라도 현재 VOCs 저감이 상대적으로 더딘 상황에서 중국과 마찬가지로 고농도 오존 현상을 겪고 있으며 이제 대기오염 이차생성 저감을 위한 포괄적 대기오염물질의 배출 저감을 일관적 정책 기조로 삼아야 한다. 특히, VOCs의 배출 목록 고도화와 물질별 측정 확대, 오존 저감을 위한 지역 간 생성 메커니즘의 분석과 지역 특화된 정책 목표 설정, 그리고 HAPs 등 대기오염물질의 지자체와 대기오염 민감 계층 및 고령화를 고려한 노출 평가 장기적으로 이행될 필요가 있다¹⁷⁾.

5.4 비용-편익에 기반한 정책 추진기반 마련

현재 우리나라는 대기환경 정책 이행을 위한 정부 투자 비용의 대부분이 수송 부문에 집중되어 있으며 3차 계획에서도 무공해차 전환과 경유차 퇴출 등 수송 부문의 투자 비용이 가장 많다(MOE, 2022). 국내 수송 부문의 초미세먼지에 미치는 건강피해 비용(대기오염물질 톤당 건강피해 비용)은 가장 높은 수준인데(Shim *et al.*, 2021), 이는 우리나라에서 수송 부문 중심의 대기오염 관련 예산 집중에 대한 타당성을 뒷받침하고 있다. 그러나 아직도 다양한 대기오염 사각지대가 존재하고 이에 대한 저감이 수반되어야 대기환경 개선 목표가 달성 가능하므로 생활 부문을 포함한 다양한 부문의 정책 수단을 발굴하고 이에 대한 정부 투자가 다변화되는 것이 바람직하다.

이를 위해 다양한 정부 정책의 옵션에서 비용 대비 편익이 큰, 예산 투자의 우선순위를 파악하기 위해 비용-편익에 대한 기초 자료 확보와 관련 연구가 꾸준히 필요하다. 예를 들어 저NOx 보일러의 가정/빌딩 차원의 보급이나 도로 청소차의 운행은 비용 대비 효과가 상대적으로 큰 것으로 나타나(Shim *et al.*, 2022b) 이에 대한 정부 및 지자체의 재정 투자 계획에서 참고할 필요가 있다.

5.5 대기환경 개선을 위한 지자체의 역할 강화

향후 국가 대기환경 개선을 위해서 지자체의 특성과 실태에 맞는 대기환경 개선 노력이 필수적이다. 현재 권역별 대기관리 기본계획(‘25~’29)에서는 권역의 대기오염 배출 총량을 정하고 이를 이행하기 위한 지자체의 참여가 매우 중요하다. 현재 수도권청을 포함한 지자체가 독자적인 행정 및 재정 체계를 구축하기 위해서는 자체 재원의 확보가 중요하다. 이를 위해서 지자체의 특별회계를 정비하는 방안이나 정부의 특별교부금을 활용하는 방안 등을 고려할 수 있다(Shim *et al.*, 2022b, 2021).

이러한 재정적 지원이 시도 등 지방자치단체와 대기관리권역 차원의 대기환경 거버넌스 발전과 연계될

¹⁷⁾미 캘리포니아의 Multiple Air Toxics Exposure Study in the South Coast Air Basin (MATES) 프로그램을 참고할 필요가 있다.

Themes	Previous		➔	Recommended
Main policy goals	PM management			Integrated management both GHGs and air pollutants
Management targets	PM + Precursors			PM + O ₃ + Precursors + HAPs
Management area and key considerations	High pollution events + Polluted areas			Regional pollution characteristics + Exposed vulnerable people + Supporting local government/stakeholders
Policy-Prioritization	High pollution + Health risks			Health risk + Benefits to Costs
Application of science and technology	Improving scientific capabilities for analyzing air pollutions			Linking scientific achievements to national policies

Fig. 1. Recommendations of shifting paradigms for the 3rd Plan.

필요가 있는데 현재 부족한 지자체/권역의 대기 관리 분야 전문 인력을 확충하고 그 역량을 강화하여 중앙 정부와 지자체 간 실질적 협력을 통해 지자체 특성에 기반한 대기관리 정책의 발전을 도모하는 중장기적 전략이 요구된다.

마지막으로 본고는 앞서 언급한 정책적 제언 차원에서 제3차 대기환경 종합계획의 새로운 패러다임을 그림 1에서와 같이 제안하고자 한다.

감사의 글

제3차 대기환경 개선 종합계획 수립을 위해 환경부와 정부 관계 기관 담당자들의 노고에 감사드립니다. 또한 민간차원에서 대기환경학회 차원의 참여 및 지원(학회장님 및 전문가)에 감사드리며 대기환경학회 40주년을 맞아 본 정책 발제와 정책 제언을 위해 지원해 주시고 참여하신 학회 정책 및 실태분과장님과 분과위원님들께도 감사의 말씀을 드립니다. 본고는

환경부의 ‘대기환경개선 종합계획’ 및 ‘장거리 이동 대기오염물질 피해방지 종합대책 수립 연구(2022)’ 및 한국연구재단의 ‘동북아-지역 연계 초미세먼지 대응 기술개발사업’의 일부 지원을 받아 수행하였습니다(과제번호: 2020M3G1A1114616, 2020M3G1A1114625).

References

- Belis, C.A., Dingenen, R.V., Klimont, Z., Dentener, F. (2022) Scenario analysis of PM_{2.5} and ozone impacts on health, crops and climate with TMS-FASST: A case study in the Western Balkans, *Journal of Environmental Management*, 319, 115738.
- Choi, K. (2021) China's Air Quality Strategy and Korea-China Environmental Cooperation Plan, Clean Air Center, Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Republic of Korea.
- Choi, K., Jung, Y., Jung, E., Jeon, H., Kim, Y. (2022) Predicting Particulate Matter Concentration in 2030 and Setting the Policy Direction for its Simultaneous Reduction in

- Line with the Carbon Neutrality Strategy (I), Korea Environment Institute, Sejong, Republic of Korea.
- Gong, S., Shim, C., Hahn, J., Lee, S., Choi, K., Chung, Y., Na, G., Gong, J., Kwak, J. (2020) A Study on Establishing Basic Plan for Air Quality Improvement for Atmospheric Control Area, Ministry of Environment, Sejong, Republic of Korea.
- Joint Ministries of Korea (2021) Strengthened Proposal of National Greenhouse Gas Reduction Target (Nationally Determined Contributions (NDC)), Sejong, Republic of Korea. <https://www.opm.go.kr/flexer/view.do?ftype=pdf&attachNo=110541> (accessed on Jul. 23, 2023).
- Liu, Y., Wang, T. (2020) Worsening urban ozone pollution in China from 2013 to 2017 - Part 2: The effects of emission changes and implications for multi-pollutant control, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20, 6323-6337. <https://doi.org/10.5194/acp-20-6323-2020>
- Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China (MEE) (2021) Opinions of the State Council on Intensifying the Battle of Pollution Prevention and Control, Beijing, China.
- Ministry of Environment (MOE) (2015) The 2nd Comprehensive National Air Quality Improvement Plan, Sejoing, Republic of Korea. https://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10262&seq=6757 (accessed on Jul. 16, 2023).
- Ministry of Environment (MOE) (2018) Report: "Strengthening PM_{2.5} standard as tight as that of US and Japan". <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?menuId=10525&boardMasterId=1&boardCategoryID=39> The 2nd Comprehensive National Air Quality boardID=849570 (accessed on Jul. 13, 2023).
- Ministry of Environment (MOE) (2020a) Report: Protect Citizen's health by PM_{2.5} management considering characteristics of local regions. <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?menuId=10525&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&boardId=1362850> (accessed on Apr. 3, 2020).
- Ministry of Environment (MOE) (2020b) Report: MOE is accelerating the spread of eco-friendly future transportation (mobility). <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?menuId=&boardId=1386510&boardMasterId=1> (accessed on Jul. 29, 2020).
- Ministry of Environment (MOE) (2022) The 3rd Comprehensive National Air Quality Improvement Plan, Sejoing, Republic of Korea. https://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10262&seq=8025 (accessed on Jul. 17, 2023).
- Ministry of Environment (MOE) (2023) Pages for Low NOx emission burner installation support projects. <https://www.me.go.kr/mamo/web/index.do?menuId=594> (accessed on Jul. 30, 2023).
- National Air Emission Inventory and Research Center (NAIR) (2022) 2019 National Air Pollutant Emissions Inventory, Osong, Republic of Korea. <https://www.air.go.kr/capss/emission/year.do?menuId=29> (accessed on Jun. 10, 2023).
- National Institute of Environment Research (NIER) (2020) China's PM Air Quality and measures, Incheon, Republic of Korea.
- National Institute of Environment Research (NIER) (2022) Annual Report of National Air Quality, Incheon, Republic of Korea. https://www.airkorea.or.kr/web/detailViewDown?pMENU_NO=125 (accessed on Jul. 12, 2023).
- Rafaj, P., Kiesewetter, G., Krey, V., Schoepp, W., Bertram, C., Drouet, L., Fricko, O., Fujimori, S., Harmsen, M., Hilaire, J. (2021) Air quality and health implications of 1.5°C-2°C climate pathways under considerations of ageing population: a multi-model scenario analysis, *Environmental Research Letters*, 16, 045005.
- Shim, C., Gong, S., Lee, S., Choi, K., Hahn, J., Jung, E., Gong, J., Chung, Y., Na, G., Kang, Y., Choi, S. (2022b) A Study on Integrated Management of Particulate Matter Pollution, Korea Environment Institute, Sejong, Republic of Korea
- Shim, C., Hahn, J., Lee S., Choi, K., Bae, H., Chung, Y., Jung, E., Na, G. (2022a) A Study on establishing National Comprehensive Air Quality Improvement Plan and Comprehensive Measures for Preventing Long-range Transport Air Pollutants, Ministry of Environment, Sejong, Republic of Korea.
- Shim, C., Lee, S., Hahn, J., Choi, K., Gong, S., Jung, E., Chung, Y., Na, G., Kim, E., Shin, J., Huh, J. (2021) A Study on Integrated Management of Particulate Matter Pollution, Korea Environment Institute, Sejong, Republic of Korea.
- Tong, D., Cheng, J., Liu, Y., Yu, S., Yan, L., Hong, C., Qin, Y., Zhao, H., Zheng, Y., Geng, G., Li, M., Liu, F., Zhang, Y., Zheng, B., Clarke, L., Zhang, Q. (2020) Dynamic Projection of Anthropogenic Emissions in China: Methodology and 2015-2050 Emission Pathways under A Range of Socio- Economic, Climate Policy, and Pollution Control Scenarios, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(9), 5729-5757.

Authors Information

심창섭 (한국환경연구원 대기환경연구실 선임연구위원)
(cshim@kei.re.kr)

최기철 (한국환경연구원 대기환경연구실 연구위원)
(kcchoi@kei.re.kr)

공성용 (한국환경연구원 대기환경연구실 명예연구위원)
(sgong@kei.re.kr)

한진석 (한국환경연구원 대기환경연구실 연구위원)
(jshahn@kei.re.kr)

이승민 (한국환경연구원 대기환경연구실 연구위원)
(leesm@kei.re.kr)

정예민 (한국환경연구원 대기환경연구실 전문연구위원(전))
(yeimin@naver.com)

정은혜 (한국환경연구원 대기환경연구실 연구원)
(jungeh@kei.re.kr)

나건수 (한국환경연구원 대기환경연구실 연구원)
(gsna@kei.re.kr)