

# 국내 대기환경기준 및 대기오염도 변천과 향후 과제

## Historical Changes of Air Quality Standards and Air Pollution of Korea, and Challenges for Their Improvements

김경찬, 이춘상, 최다영, 주흥수, 홍유덕<sup>1)</sup>, 김성태<sup>2)</sup>, 이강웅<sup>3)</sup>,  
박진수<sup>4)</sup>, 박정민<sup>4)</sup>, 한진석\*

안양대학교 환경에너지공학과, <sup>1)</sup>금경엔지니어링, <sup>2)</sup>이투엠쓰리(주),  
<sup>3)</sup>한국외국어대학교 환경학과, <sup>4)</sup>국립환경과학원 대기환경연구과

Kyoung-Chan Kim, Chun-Sang Lee, Da-yeong Choi, Hung-Soo Joo,  
You-Deog Hong<sup>1)</sup>, Sung-Tae Kim<sup>2)</sup>, Gang-Woong Lee<sup>3)</sup>, Jin-Soo Park<sup>4)</sup>,  
Jung-Min Park<sup>4)</sup>, Jin-Seok Han\*

Department of Environmental and Energy Engineering, Graduate School of Anyang University, Anyang, Gyeonggi,  
Republic of Korea

<sup>1)</sup>KUMKYOUNG ENGINEERING. Co. Ltd., Anyang, Gyeonggi, Republic of Korea

<sup>2)</sup>E2M3 Co. Ltd., Anyang, Gyeonggi, Republic of Korea

<sup>3)</sup>Department of Environmental Science, Hankuk University of Foreign Studies, Yongin, Gyeonggi, Republic of Korea

<sup>4)</sup>Climate and Air Quality Research Department, National Institute of Environmental Research, Incheon, Republic of Korea

접수일 2023년 8월 14일  
수정일 2023년 9월 12일  
채택일 2023년 9월 25일

Received 14 August 2023  
Revised 12 September 2023  
Accepted 25 September 2023

\*Corresponding author

Tel: +82-(0)31-463-1292  
E-mail: nierhan@hanmail.net

**Abstract** Korea's Ambient Air Quality Standard (KAAQS) was initially established in 1978, for sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>). Since then, KAAQS has undergone seven revisions. As of 2018, criteria air pollutants have expanded to include seven more species: NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, Pb, and Benzene. After the Korean government formulated comprehensive short- and long-term air quality standards, and subsequently established a comprehensive air quality monitoring network in 1993. From 2007 onwards, KAAQS has functioned as an administrative goal, counting diverse considerations like current air quality status with non-attainment areas, incorporation of human health risks, and effectiveness of regulatory enforcement. To attain the standards and enhance national air quality, the Korean government has implemented a range of policies. These encompass emission standards for industries and automobiles, fuel usage regulations, emission charges for air pollutants, designations of special measures areas for air pollution, regulation of total emission quantity, and more. These initiatives led to significant reductions in atmospheric SO<sub>2</sub>, CO, TSP, PM<sub>10</sub>, and Pb from the 1980s to the 1990s. Furthermore, enhanced vehicle emission controls contributed to notable improvements in NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, and benzene levels since 2000. However, challenges remain in reducing levels of PM<sub>2.5</sub> and O<sub>3</sub>. For further advancements in Korea's air quality, additional measures are crucial: i) The accumulation of up-to-date scientific evidence directly relevant to human health, ii) Regular evaluations of the effectiveness of various regulatory policies, iii) Establishing a systematic framework for periodic revision and assessment of KAAQS.

**Key words:** Ambient air quality standard, Historical changes of air quality standard, Criteria air pollutants, Regulatory policy

### 1. 서 론

18세기에 산업혁명이 일어나면서 석탄과 석유 등의 화석연료 사용이 급증하고 각종 화학물질이 대량으로 생산되면서, 대기오염에 의한 대규모 피해가 1940년~

1960년대에 유럽과 미국에서 발생하였다. 이에 미국과 영국에서는 청정공기법 (Clean Air Act)을 제정하였는데, 청정공기법의 핵심은 대기질 기준의 제정과 이행이며 배출원 관리를 강화하는 것이다 (ME, 2017; EPA, 1970, 1963; EC, 1956). 대부분의 국가들은 대기

오염물질의 규제 및 관리를 위해 인체 유해성과 환경 및 복지에 미치는 영향을 고려하여 대기환경기준을 설정하여 관리한다(Kim *et al.*, 2016).

대기환경기준의 근본적 의미는 오염된 자연을 본래 자연의 상태로 되돌아가도록 개선하기 위하여 각 나라별로 그 시기에 달성 가능한 대기질 목표치이며, 보다 미시적인 관점에서는 오염으로부터 발생할 수 있는 인체 건강, 재산, 자연 등의 피해를 최소화하기 위한 대기질 목표치라고 할 수 있다(Kim, 1991). 이러한 대기환경기준은 먼저 사회, 경제 및 기술적인 여건을 감안한 후 건강, 재산 보호 등 환경문제와 조화를 이루며 만들어져야 하는 것으로, 환경과 경제, 사회 간의 균형을 이루는 행정 목표치이다(Kim, 1993; Kim, 1991).

우리나라는 1960년대부터 급속히 산업화가 추진되면서 도시지역에 대기오염이 심화됨에 따라 1963년에 공해방지법이 제정되었으며, 1997년에 환경보전법으로 개편되었다(NIER, 2021). 대기환경기준은 1978년에 최초로 제정된 이래 2012년 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 기준이 추가되고, 2018년에 초미세먼지 기준이 강화되는 등 현재까지 총 일곱 차례 개정되었다(NIER, 2021; ME, 2017). 대기환경기준이 최초로 제정된 1978년 당시, 외국의 기준과 설정 배경 등을 참고하여 이산화황(SO<sub>2</sub>)에 대한 기준치를 최초로 설정하였으며, 환경청이 설립된 이후 1982년에 연구조사 사업 결과를 바탕으로 기타 항목에 대한 환경기준치가 설정되었다(Kim, 1991). 대기오염측정망이 설립된 이후 국립환경연구원(대기화학연구과)이 1988년부터 1991년까지 4년간의 대기질 측정자료를 분석하여 기준(안)을 작성하였고 국내 최초로 1992년 5월 대기환경기준(안) 공청회를 개최하고 1993에 단기 및 장기 기준을 포함하는 체계적인 대기환경기준을 개정·시행한 바 있다(Kim, 1993).

국내 대기환경기준 설정 및 강화에 대한 연구가 일부 진행되었으며 대기환경기준의 적정성 및 평가, 국내·외 기준 비교에 관한 연구도 진행된 바 있다(Kim *et al.*, 2018; Kim *et al.*, 2016; Kim *et al.*, 1999; Kim, 1993; Kim, 1991). 또한, 대기환경기준 개정 및 강화,

초미세먼지 기준 제정 및 강화를 위한 조사 연구사업 등이 수행된 바 있으며(ME, 2017; NIER, 2009, 2005), 대기질 현안과 정책 평가 그리고 대기오염규제 제도의 변천에 대한 연구 등이 진행된 바 있다(Kim, 2017; Kim *et al.*, 2016; Kim and Yeo, 2013). 그러나 대기환경기준 및 대기환경정책의 변천 및 성과에 따른 대기오염도의 변화와 대기환경기준 달성 현황에 대한 종합적인 평가와 검토에 대한 연구는 미흡한 상태이다.

본 논문에서는 그간 대기환경의 질을 개선하기 위한 우리나라 대기환경기준의 변천과 이에 따른 대기환경 개선대책의 수립 및 시행 과정을 평가하고자 한다. 또한, 현재 우리나라 대기오염도와 대기환경기준 달성률을 검토하여 우리나라 대기환경의 현주소를 파악하고 앞으로 체계적이고 효율적인 대기환경기준 개선 및 검토 체계를 모색하기 위한 방안을 제안하고자 한다.

## 2. 대기환경기준의 변천

### 2.1 미국 대기환경기준의 변천

미국은 1950년대 LA 스모그 사건과 같은 심각한 대기오염을 겪으면서 체계적이고 과학적인 대기질 관리제도 구축과 대기오염 모니터링 및 방지 기술이 발전되어왔다. 미국의 연방정부에서 1963년에 제정한 청정공기법과 1970년에 제정한 대기질법을 근거로 미국 Environmental Protection Agency (EPA)는 대기환경기준이라 할 수 있는 National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)를 결정하였다(EPA, 1970, 1963). 이러한 법·제도를 기반으로 1971년에 최초로 SO<sub>2</sub>, 이산화질소(NO<sub>2</sub>), 광화학 옥시던트(Ox), 총먼지(TSP), 일산화탄소(CO), 탄화수소(HCs)에 대한 대기환경기준을 설정하였으며, 1978년에 납(Pb)에 대한 대기환경기준을 설정하고, HCs 및 TSP 기준을 폐지, PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 기준을 신설하는 등 잦은 환경기준 개정을 겪어왔다(EPA, 2006, 1990, 1977).

미국에서는 1979년 기준항목 Ox를 O<sub>3</sub>으로 변경하

여 관리하다가, 1997년에 O<sub>3</sub> 1시간 기준을 폐지하고 8시간 기준을 신규로 설정하였다. 이는 대기 중 O<sub>3</sub> 오염도 저감 효과가 미미하다는 전문가 그룹의 과학적 평가를 기반으로, O<sub>3</sub> 관리정책의 실효성 및 기준 달성 제고를 위한 기준 완화의 성격을 띠고 있다(EPA, 1997). 이후 대기 중 O<sub>3</sub> 오염도가 감소함에 따라 2008년과 2015년에 O<sub>3</sub> 기준치를 강화한 바 있다(EPA, 2015, 2008). 이처럼 미국은 정기적이고 체계적인 대기환경기준 평가를 통해 대기환경기준이 대기환경 실정과 시기에 맞게 행정 목표치의 역할을 할 수 있도록 기준치 및 초과기준 개정을 수행하고 있다.

## 2.2 영국 및 유럽연합 대기환경기준의 변천

유럽연합(EU)은 1980년에 SO<sub>2</sub>, 미세먼지(PM)를 관리하기 위한 지침을 마련하였으며(EC, 1980), 1982년부터 1992년에 걸쳐 Pb, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>을 관리하기 위한 지침을 마련하였다(EC, 1992, 1985, 1982). 또한 2001년에 국가별 배출량 상한지침을 채택하여 SO<sub>2</sub>, 질소산화물(NO<sub>x</sub>), 휘발성유기화합물(VOCs) 및 암모니아(NH<sub>3</sub>)의 4가지 대기오염물질에 대한 국가별 배출량 제한을 설정하였다(NECD, 2001). 뒤이어 2005년에는 대기오염에 관한 주제별 전략을 계획하여 위해도 중심의 대기오염물질 관리를 진행하였다. 우리나라보다 훨씬 앞선 2008년에 처음으로 PM<sub>2.5</sub>의 대기환경기준을 도입하여 현재 우리나라와 같은 8종의 물질을 대상으로 대기환경기준을 설정하고 있다(EC, 2016, 2008, 2005).

1952년 영국의 런던 스모그 사건은 석탄 연소에 따른 SO<sub>2</sub> 오염의 심각성을 일깨웠으며 이를 계기로 영국은 1956년 청정공기법을 제정하였다(EC, 1956). 이후 1989년에 EU의 관리지침을 반영하여 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM, Pb에 대한 기준을 도입하였다(EC, 1989). 1997년에는 CO와 벤젠 등 신규물질에 대한 기준을 제정하고 PM에 대한 기준에서 PM<sub>10</sub>의 기준으로 전환하였다(EC, 1997). 이후 청정공기법 개정과 EU의 지침을 반영하여 현재까지 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 등 12종 물질의 환경기준을 설정하여 관리하고 있다(EC, 2016).

## 2.3 세계보건기구(WHO) 권고기준의 변천

WHO는 1958년도부터 대기오염이 인체에 미치는 건강 영향 관점에서 대기오염물질이 건강에 미치는 영향에 대하여 검토하였으며, 이를 근거로 1980년대 중반부터 현재까지 대기오염물질에 관한 4번의 Air Quality Guideline (AQG)을 발간하였다(WHO, 2021). 대기질 지침은 전 세계 국가의 의사 결정자들이 대기질 관리에 대한 판정기준(criteria)과 목표를 설정하는데 도움을 주는 도구로 널리 사용되었다.

1987년과 2000년에 발간된 첫 번째 및 두 번째 AQG는 28개 항목의 유·무기 대기오염물질의 권고치 설정에 대한 과학적 근거를 만들었다(WHO, 2000, 1987). 그간 유럽 대기환경을 대상으로 했던 기존 보고서와 달리 2005년에 발간된 세 번째 AQG는 세계 각국에서 참고할 수 있도록 전 세계를 대상으로 하였다. 또한, PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>를 포함하여 O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>의 위해성 평가와 저감정책을 결정하는 목표설정의 관점에서 권고치와 잠정목표치를 제시하였다(WHO, 2006). 가장 최근인 2021년에는 기존 AQG보다 낮은 농도에서의 장·단기 노출이 사망률과 유병률에 미치는 영향이 증가하는 새로운 연구 및 역학조사 결과가 제시됨에 따라, 네 번째 보고서를 발간하여 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO 등 6가지 기준성 대기오염물질에 대한 권고치(guideline)와 잠정목표(interim target) 기준을 변경한 바 있다(WHO, 2021).

## 2.4 우리나라 대기환경기준의 변천

우리나라는 1963년에 공해방지법이 제정됨에 따라 대기오염물질 측정을 시작하였으며, 1978년에 SO<sub>2</sub>에 대한 대기환경기준을 최초로 설정하였다. 1978년부터 2018년까지 총 7차례에 걸쳐 대기환경기준 항목 및 기준치를 개정하였으며 이는 표 1에 자세히 정리하였다. 현재는 SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, 납, 벤젠의 8개 대기오염물질에 대하여 대기환경기준을 설정하고 대기질을 관리하는 행정 목표치로서 사용하고 있다. 1983년도에는 기존의 SO<sub>2</sub>에 NO<sub>2</sub>, CO, TSP, O<sub>3</sub>, 탄화수소를 추가하였으며, 1991년도에는 납을 신규 기

준물질로 추가하였다. 이를 만족시키기 위해 환경부는 사업장 배출허용기준을 설정하고 초과배출부과금 제도를 시행하였다. 1993년도에는 총먼지와 별도로 PM<sub>10</sub>의 환경기준을 설정하며 대기환경관리의 관점이 입자상 물질에 의한 기관지 및 폐포 등의 건강영향을 고려한 인체 위해성 측면으로 전환되었다. 2001년도에는 TSP 기준을 삭제, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> 및 납의 기준을 강화하였으며, 대기환경기준 초과 여부 판정에 분위수(percentile)의 개념을 새롭게 적용하였다. 또한 O<sub>3</sub> 8시간 평균화 기준에 대하여 기존의 블록평균(block average)의 개념에서 이동평균(moving average)의 개념으로 바꾸었다. 이는 농도 기준치의 변화는 없지만, 실제로는 기존의 1993년도의 기준에 비하여 훨씬 강화된 성격이라 할 수 있다(ME, 2014).

2007년도에는 PM<sub>10</sub> 기준이 해외 기준 대비 완화된 수준이고, 물질의 유해성을 고려하여 연간 및 24시

간 기준을 각각 선진국 수준인 50 µg/m<sup>3</sup> 및 100 µg/m<sup>3</sup>으로 강화하였다(EC, 1999). NO<sub>2</sub> 또한 전 지역에서 기준을 만족함에 따른 기준 강화의 필요성이 제기되어, 연간, 24시간 및 1시간 기준을 각각 0.03 ppm, 0.06 ppm, 0.1 ppm으로 강화하였다. 이 외에도 발암성 등 인체 유해성으로 사회적 관심이 증가한 벤젠의 연간 기준을 유럽 수준인 5 µg/m<sup>3</sup>으로 신규 설정하였다(EC, 2008; ME, 2007). 환경부는 당시 대기오염도가 가장 심각했던 수도권 지역을 대상으로 하는 수도권 대기오염물질 총량관리제를 실시하여 대기오염물질 환경부하의 집중 관리가 시작되었다.

2012년도에는 인체에 미치는 영향이 새롭게 제기되고 미국과 EU, WHO 등에서 이미 설정되어 관리 중인 PM<sub>2.5</sub> 대기환경기준을 신규로 설정하였다(ME, 2012; Jeon, 2010; WHO, 2006). 대기 중 PM<sub>2.5</sub>에서 기인하는 호흡계 및 심혈관계 사망 등 PM<sub>2.5</sub>의 위해성

**Table 1.** Historical change of air quality standards of Korea.

	1978	1983	1991	1993	2001	2007	2012	2018
SO <sub>2</sub> (ppm)	0.05/annual 0.15/24-hr	→	→	0.03/annual 0.14/24-hr 0.25/1-hr	0.02/annual 0.05/24-hr 0.15/1-hr	→	→	0.02/annual 0.05/24-hr 0.15/1-hr
CO (ppm)		8/1-month 20/8-hr	→	9/8-hr 25/1-hr	→	→	→	9/8-hr 25/1-hr
NO <sub>2</sub> (ppm)		0.05/annual 0.15/1-hr	0.05/annual 0.15/24-hr	0.05/annual 0.08/24-hr 0.15/1-hr	→	0.03/annual 0.06/24-hr 0.1/1-hr	→	0.03/annual 0.06/24-hr 0.1/1-hr
TSP		150/annual 300/24-hr	150/annual 300/24-hr	150/annual 300/24-hr				
PM (µg/m <sup>3</sup> )				80/annual 150/24-hr	70/annual 150/24-hr	50/annual 100/24-hr	→	50/annual 100/24-hr
PM <sub>2.5</sub>							25/annual 50/24-hr	15/annual 35/24-hr
O <sub>3</sub> (ppm)		0.02/annual 0.1/1-hr	→	0.06/8-hr 0.1/1-hr	→	→	→	0.06/8-hr 0.1/1-hr
Pb (µg/m <sup>3</sup> )			1.5/3-month	→	0.5/annual	→	→	0.5/annual
HCs (ppm)	3/annual 10/1-hr	3/annual 10/1-hr						
Benzene (µg/m <sup>3</sup> )						5/annual	→	5/annual

이 대두되고 우리나라 대도시의  $PM_{10}$  중  $PM_{2.5}$ 의 비율이 약 50~80%의 상당히 많은 양으로 보고되며(Do *et al.*, 2014), 2018년도에는 WHO 및 미국 등 국외의 미세먼지 기준, 국외 미세먼지 유입 및 국내 대기질 현황 등을 고려하여  $PM_{2.5}$ 에 대한 연간 및 24시간 기준을 중간 목표치인 각각  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화하였다(ME, 2017).

그간 환경부는 미세먼지 관리대책, 대기환경개선 종합계획 등을 수립하여 지자체 및 대기관리권역별로 대기오염도를 저감하고 대기환경기준을 만족하도록 노력을 기울였다. 정부 및 지자체가 대기환경기준을 만족시키기 위한 수단으로서 수립·시행한 정책에 대한 자세한 내용은 3절에서 다루고자 한다.

현재 우리나라의  $SO_2$  24시간 기준,  $NO_2$  1시간 기준 및 CO 기준은 최종 대기질 개선 목표(criteria)로 볼 수 있는 WHO의 권고치와 유사한 수치이다.  $SO_2$ 의 장기노출에 의한 인체 영향이 부족함을 근거로 하여 WHO 및 미국 EPA, EU에서는  $SO_2$ 의 1년 기준을 미 설정하고 있으나 현재까지 우리나라는 0.02 ppm의 기준을 설정하고 있다.  $O_3$ 의 경우 1시간 기준을 설정하고 있는 나라는 비교국 중 우리나라가 유일하며, 반대로 WHO만 유일하게 Peak season 제도를 적용하여  $O_3$  관리의 효율성을 목표로 하고 있다. 입자상 물질에 대해서는 현재 우리나라 기준이 해외국가들에 비해 비교적 높은 농도 수준으로 설정되어 있다.

일반적으로 WHO의 권고기준은 순수하게 인체에 미치는 유해성에 관한 자료를 근거로 한 값이기 때문에 가장 엄격한 수치를 설정하고 있다. 각국은 이 자료를 바탕으로 사회나 국가의 특성, 즉 기술적 현황, 효과 비용, 사회·경제·지리적 조건 등을 고려하여 대기환경기준을 설정하기 때문에 WHO의 권고치에 비하여 완화된 수치를 도입하게 된다.

대기환경기준은 반드시 그 농도 수치에 도달해야 하는 절대적인 수치라기보다는 현실을 고려한 중간 단계의 행정책임이며, 현재 시행되고 있는 대기질 개선정책의 성과를 평가하기 위한 평가지표로서의 성격이 있다. 이에 일반적인 경우에서는 대기오염도 감소

에 따른 기준치 강화가 필요하다. 그러나 미국의  $O_3$  기준치 완화 개정 예시와 같이, 현재의 대기환경기준이 정책 효과를 판단하는 지표로서의 역할을 감당하기 어려운 상황이라면 과학적인 근거를 바탕으로 기준치를 완화하는 방향을 고려할 필요성이 있다(Kim *et al.*, 2021). 이처럼 향후 우리나라 대기환경기준 개정 시, 우리나라의 대기오염도와 기준 달성도, 저감 기술 수준, 정책 효과, 기타 사회·경제적 상황을 종합적으로 고려하여 객관적인 변경(안)을 제시할 수 있어야 할 것으로 판단된다.

### 3. 대기환경정책의 수립과 변천

우리나라의 환경 정책 전반에 걸쳐 표 2에 우리나라의 대기환경 개선과 관련된 정책을 연도별로 정리하였다.

1978년 「환경보전법」에 급속한 산업화 과정에서 활발하게 사용되던 B-C유, 석탄 등의 연소를 통해 주로 발생하는  $SO_2$ 에 대한 대기환경기준을 설정함으로써 국가적 차원의 대기질 관리를 시작으로 지속적인 추가 및 강화가 이뤄졌다(Kim, 1993). 1983년에는 오염물질의 배출허용기준을 초과하는 사업장에 대해 부과하는 초과배출부과금(초과부과금) 제도를 먼저, 황산화물, 암모니아, 염화수소 등 9종의 대기오염물질에 대해 적용하기 시작하였다(ME, 2005). 이후 1990년에 「환경보전법」에서 대기보전 관계 조항을 분리한 「대기환경보전법」이 제정되고, 1991년부터 시행됨으로써 대기질 관리를 위한 법률적 토대가 보다 확고히 마련되었다. 1997년에는 배출허용기준 초과와 무관하게 대기질 부하 증가에 대한 부과금인 기본배출부과금(기본부과금) 제도가 먼저, 황산화물 두 항목을 대상으로 시행됨으로써 오염물질로 인한 환경부하 측면의 관리가 본격적으로 시작되었다(ME, 2005). 2002년 환경부는 수도권 지역의 대기질 개선을 위한 수도권 대기질 개선 특별대책을 수립하였고, 이는 2003년 제정된 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」의 근간

**Table 2.** History of air quality management policy in South Korea.

1960s~1980s		1990s		After 2000s	
Year	Contents	Year	Contents	Year	Contents
1963	Registration of air pollution prevention act	1990	Promoted to Korea ministry of environment as "Cheo"	2001	Comprehensive short- and long-term VOCs management plan
1977	Registration of natural environment conservation act	1990	Categorizing environment conservation law (Clean Air Conservation Act)	2002	SMA air quality improvement special plan
1978	Establishing NIER	1990	1st Mid-term comprehensive plan for environmental conservation	2003	3rd Mid-term comprehensive plan for environmental conservation
1979	Implementation of air quality standard (SO <sub>2</sub> )	1991	Permissible emission levels (according to implementation rules)	2003	Special act on the improvement of air quality in SMA
1980	Establishment of Korea environment administration as "Cheong"	1993	2nd phase of regulation on solid fuels (22 cities and counties)	2004	Promoting zero- and low-emission vehicles
1981	Regulation on the sulfur content in petroleum	1993	2nd phase of regulation on the sulfur content in petroleum	2005	Establishment of the metropolitan air quality management office
1983	Implementation of air quality standards (CO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , TSP, HCs)	1993	Full revision of air quality standards	2005	Comprehensive national environmental plan/ SMA air quality improvement master plan
1983	Implementation of emission charge system	1994	Further promotion of Korea ministry of environment as "Bu"	2006	1st implementation of air quality improvement plan (2006~2015)
1983	Extensions of district heating (southern SMA)	1995	Ozone warning system (Seoul) and designation of air quality control areas	2007	Cap-and-trade system against the air pollutants in the SMA
1985	Regulation on solid fuels (SMA and eight large cities)	1997	Introduction of basic charge for emission charge system	2012	Introduction of PM <sub>2.5</sub> air quality standards
1986	Designation of special measures areas (Ulsan, Onsan, Mipo)	1997	Designation of the air quality control area (SMA)	2016	2nd implementation of air quality improvement plan (2016~2025)
1987	Establishing fugitive dust source facility management standards	1997	NOx emissions regulations for motor vehicles (SMA)	2016	Special measures on fine dust
1987	Installation of catalytic converters on new or imported vehicles	1998	NOx emissions regulations for motor vehicles (Nationwide)	2017	Comprehensive plan on fine dust management
1987	Online air quality monitoring system (SMA, Ulsan, Onsan)	1999	2nd mid-term comprehensive plan for environmental conservation	2019	Special act for the reduction and management of fine dust
1987	Promoting low-emission and unleaded gasoline vehicles	1999	Mandatory TMS installation (category 1~3 factory)	2020	Comprehensive management plan on the fine dust
1988	Long-term comprehensive plan for national environment (1987~2001)			2023	3rd implementation of air quality improvement Plan (2023~2032)
1988	Use of clean fuels (LNG and LPG Boiler larger than 0.5 ton in Seoul)				

이 되었다. 2006년에는 5대 광역시 및 광양만 지역을 대상으로 10년 단위의 대기질 개선정책인 <제1차 대기환경개선 종합계획>이 실시되었는데, 관리대상물질인 PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, 황산화물(SO<sub>x</sub>), VOCs의 저감을 위한 사업장, 자동차 등 분야별 대책이 수립되고 시행되었다. 제1차 대기환경개선 종합계획 시행 결과, 5대 광역시와 광양만을 대상으로 2001년 대비 PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, VOCs의 배출량이 각각 28%, 34%, 15%, 24% 삭감되는 결과를 보였으며, 대기질 목표를 설정한 6개 지역(대전, 광주, 부산, 대구, 울산, 광양) 중 PM<sub>10</sub>은 2개 지역(대전, 광주), NO<sub>2</sub>는 4개 지역(부산, 대전, 광주, 광양)에서 달성하는 성과를 도출했다(ME, 2015). 2007년과 2010년에는 각각 수도권 대기오염물질 총량관리제 1단계, 2단계가 실시되어 농도 중심의 관리에서 환경부하 측면의 관리로 확대되었다. 2012년부터 PM<sub>2.5</sub>로 인한 건강위해에 대한 우려가 증가함에 따라 PM<sub>2.5</sub>에 대한 대기환경기준이 적용되기 시작하였다. 2013년 이후 미세먼지 농도가 개선되지 않고 높은 수준으로 유지됨으로써 국민의 우려가 지속되자 환경부, 기획재정부, 산업통상자원부 등 관계부처 합동으로 2016년 <미세먼지 관리 특별대책>을 확정·발표하였고, 다음해인 2017년 9월에는 더욱 강화된 <미세먼지 관리 종합대책>을 발표하였다. 해당 대책의 주요 내용은 권역별 대기관리 시행으로 인한 총량관리 지역 확대와 NO<sub>x</sub>에 대한 배출부과금 신설이었다. 이와 동시에 <제1차 대기환경개선 종합계획>이 종료됨에 따라, 환경부는 <제2차 대기환경개선 종합계획>을 수립하고 2016년부터 시행하였다. 전국을 대상으로 하는 이 계획에서는 대기 중 농도관리 물질로 미세먼지(PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub>)와 O<sub>3</sub>을 택했으며, PM 및 NO<sub>2</sub>, VOCs의 배출량 관리, HAPs 물질의 위해도 관리를 주요 내용으로 하였다. 그 결과, PM<sub>10</sub>의 전국 연평균 농도는 2차 계획 목표를 2018년에 조기달성(2018년 달성률은 95.9%)하였다. 그러나 전국 PM<sub>2.5</sub>의 연평균 농도의 경우 환경기준의 강화로 인해 목표를 달성하지 못했으며, O<sub>3</sub>의 연평균 농도는 2015년 27 ppb에서 2021년 32 ppb로 증가함에 따라 목표를 달성하지 못

하였다(ME, 2022). 이후 2019년 <미세먼지 관리 종합계획>이 수립되어 산업부문의 배출량 감축을 위한 사업장 감시 확대 등 강화된 세부방안이 마련되었다(ME, 2019a). 2019년에는 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」을 시행하여 미세먼지 관리에 박차를 가했고, 2020년에는 「대기관리권역의 대기환경 개선에 관한 특별법」이 시행되어 대기오염물질 농도 저감의 효율성을 제고하였다. 2023년 환경부는 장거리 이동 대기오염물질을 포함한 대기오염물질의 배출 현황 및 전망에 대해 되짚어보고, 2032년까지의 국내 대기환경기준 달성률 제고 및 대기오염물질 배출량 저감을 위한 구체적인 대책을 주요 골자로 하는 <제3차 대기환경개선 종합계획>을 새로이 발표·시행하였다(ME, 2022).

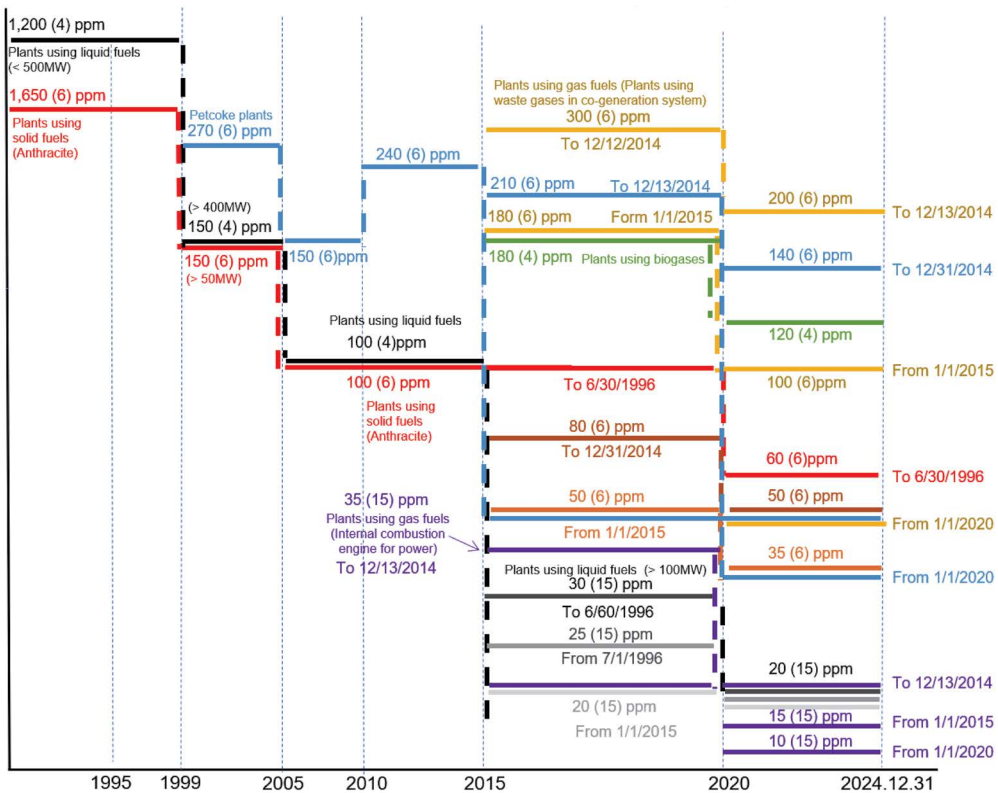
### 3.1 사업장 배출허용기준

표 3에 나타난 바와 같이 1963년 공해방지법부터 대기오염 배출허용기준을 정하였으나 당시 배출시설의 종류나 규모는 고려하지 않고 모든 시설에 공통적으로 적용되어 실질적인 배출저감을 기대하기는 어려웠다. 1978년 환경보전법 제정 이후 비로소 배출시설을 세분화하여 설정하고 일부 오염물질에 대한 본격적인 관리가 시작되었다(ME, 2000). 대기오염물질 배출허용기준은 1991년부터 4년 단위로 단계별 허용기준을 제시하였다. 2000년에는 배출허용기준의 체계적 수립의 기반을 구축하였고, 2011년부터 사업장의 시설 개선 및 보완에 소요되는 기간을 고려하여 배출허용기준 사전예고제를 시행하였다. 국내 사업장 배출허용기준 강화는 1996년, 2001년, 2007년, 2010년, 2015년 등 여러 차례 이루어져왔고 2020년부터 한층 강화된 사업장 배출허용기준이 적용되었다(Lho, 2020).

2005년에는 염화비닐과 탄화수소에 대한 배출허용기준이 새로이 설정되었고 2007년 미세먼지, 이산화질소 등에 선진국 수준의 국가 대기환경기준의 강화와 더불어 반도체산업 등 첨단산업에 대한 대기오염물질 관리 필요성 및 1991년 대기환경보전법 제정 후 15년간 유지되었던 배출시설의 재분류 필요성이 제기

**Table 3.** Historical changes of the air pollutants emission standard of Korea. It summarizes Enforcement Regulations in Air Quality Conservation Act of Korea.

Air pollutants	1971.9	1983.8.1	1991.2.2~	1995.1.1~	1999.1.1~	2005.1.1~	2010.1.1~	2015.1.1~	2020.1.1~
SOx (ppm)	43,000	1,800	300~1,950	150~1,950	120~650	30~700	30~540	10~540	10~250
CO (ppm)	3,000	400	350~700	350~700	350~700	50~300	50~200	50~300	50~300
NOx (ppm)	250	250	200~1,400	200~1,400	200~950	50~350	50~600	15~530	10~250
NH <sub>3</sub> (ppm)	600	250	100~200	70~200	50~100	50~100	20~50	20~50	12~30
THC (ppm)	-	-	-	-	-	40~200	40~200	40~200	40~200
Benzene (ppm)	-	200	50	50	50	30	20	10	6
TSP (mg/Sm <sup>3</sup> )	-	200~800	30~300	20~200	15~150	15~100	10~70	10~70	5~50
Pb (mg/Sm <sup>3</sup> )	-	30	20	20	10	0.2~5	0.2~10	0.2~2	0.15~1.5

**Fig. 1.** Historical changes of SO<sub>x</sub> on the air pollutant emission standards for power plants. The emission limit ( ) refers to the standard oxygen concentration. (percentage of O<sub>2</sub>) The black line is plants using liquid fuels (<500MW), the red line is plants using solid fuels, the blue line is petcoke plant, the yellow and the purple line is plants using gas fuels and the green line is plants using biogases respectively.

되었다. 이에 2010년 SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, 먼지가 각각 100 ppm, NO<sub>x</sub> 100 ppm, 40 mg/m<sup>3</sup>으로 대기오염물질 배출허용 기준이 대폭 강화되었고 배출시설의 세분화를 통한

분류체계 개선이 이루어졌다(ME, 2006).

2015년에는 액체연료를 사용하는 일반 보일러 배출허용기준이 SO<sub>2</sub> 50~85%, NO<sub>2</sub> 30~50%, 먼지 50%



이상 강화되었으며, 발전용 내연기관 및 1차 금속 제조시설 등에서 SO<sub>2</sub> 20~50%, NO<sub>2</sub> 20~65%, 먼지 33~60% 강화되었다(Lho, 2020).

2020년부터 사업장 배출허용기준이 한층 강화되었는데 주요 내용으로는 먼지 33%, 질소산화물 28%, 황산화물 32%, 암모니아 39%, 황화수소 26% 등 10종의 배출허용기준이 평균 30% 강화되었고 13종의 특정대기유해물질 배출기준은 평균 33% 강화되었다(ME, 2019b). 이밖에 2024년까지 석탄발전소 6곳의 야외저탄장 옥내화에 대한 의무가 신설되는 등 사업장 배출물질 관리를 위한 정책이 꾸준히 시행되었다(표 3).

2020년 기준 CAPSS 배출량 자료를 참고하여 배출량의 많은 부분을 차지하는 발전시설에 대한 황산화물 배출허용기준을 그림 1에 나타냈다. 2015년부터 기체연료 사용시설과 바이오가스 이용시설에 관한 배출허용기준이 새로 설정되었고 액체연료 사용시설의 경우 2020년부터 설치년도에 상관없이 모든 시설에 배출허용기준은 20(기준 산소농도 15 O<sub>2</sub>) ppm으로 강화되었다. 이처럼 배출허용기준이 설정된 초기 시점부터 현재에 이르기까지 상당한 기준 강화가 이뤄졌

으며, 강화 시 각 시설의 설치 시점에 따른 배출허용기준치가 상이한 것을 알 수 있다. 경제성장에 더욱 치중하는 사회적 분위기로 인해 방지시설 수요에 대한 지원이 발생하게 되고, 정부는 산업체의 경제활동을 고려하여 개정할 수밖에 없는 상황에 의한 것으로 추정할 수 있다. 이는 발전시설의 황산화물 배출뿐 아니라 다른 사업형태의 배출허용기준에서도 볼 수 있는 형태이며, 이러한 사회·경제적 상황에 의한 기준치 설정은 분명 의미가 있으나, 한편으로는 방지시설 기술의 개발을 제한할 가능성이 있음을 시사한다.

### 3.2 연료 정책

표 4에서 보는 바와 같이 도시지역의 SO<sub>2</sub> 오염도 저감을 위해 1981년 황함유 기준제도가 도입되었다. 1981년 중유는 4.0%에서 1.6% 이하, 경유는 1.0%에서 0.4% 이하로 함유기준을 강화하여 공급을 시작하였다. 황함유 기준제도는 SO<sub>2</sub>의 배출을 근본적으로 줄일 수 있는 방안의 일환으로 시행되었으며 기준 및 적용대상지역은 강화 또는 확대되었다. 저황유의 함유기준은 중유의 경우 1.6%에서 0.3%로, 경유는 0.4%에서

**Table 4.** Changes of the standard for sulfur containing oil (ME, 2007, 2000).

Year	Number of implementation regions					
	Regulatory limits of heavy oil (sulfur contents)				Regulatory limits of diesel (sulfur contents)	
	1.6%	1.0%	0.5%	0.3%	0.4%	0.1%
1981	Only Seoul				Only Seoul	
1982	8				8	
1988	27				27	
1992	34				34	
1993	18				20	
1994	17				21	
1995	19				22	
1996					42	
1997					37	
					24	
1999					Nationwide except 0.5% limits region	
56					Nationwide	
:						
2009					101	
2010					63	
2012					21	
					43	
					44	
					58	
					104	
					61	

0.1%로 대폭 강화되었고, 공급지역도 확대되어 2000년 중유의 경우 56개 지역에서 0.5%, 기타지역에서 1.0%로, 경유의 경우 전국에서 0.1%의 함유기준으로 적용되었다(ME, 2000). 중유의 경우 2009년부터 대기오염개선 시급성에 따라 중유의 황함유량 1.0% 사용지역은 0.5%, 0.5% 사용지역은 0.3%를 공급 및 사용하기로 하고 사용지역을 2012년까지 단계적으로 확대하여 2012년 0.3% 사용지역은 61개, 0.5% 사용지역은 104개로 확대하였다. 또한 황함유량 1.0% 중유는 2012년부터 전국적으로 사용을 금지하였다(ME, 2007).

배출량 또는 오염도를 줄이기 위해서는 연료 사용량 자체를 줄이는 것이 가장 효과적이나, 강제적 사용 제한이 없는 한 오염도를 현저하게 줄이는 것에는 한계가 있어 1985년 수도권 및 대도시 등 대기오염 우심지역을 고체연료 사용금지 지역으로 지정하여 규제하는 고체연료 사용금지제도가 도입되었고 1999년 기준 총 20개의 지역이 규제되었다(ME, 2000). 그럼에도 불구하고 1980년대 후반, 전반적인 대기질은 크게 개선되지 않거나 오히려 악화되는 현상이 초래되었는데, 이는 오염물질 배출의 효과적인 저감을 위한 방지기술의 발달이 늦어졌기 때문이다(ME, 2000). 따라서 1988년 청정연료 사용 의무화 제도가 도입되어 서울특별시 내의 보일러 용량 2톤 이상 빌딩에 청정연료 사용을 의무화하였으며 1999년 평택 등 12개 지역에 대해 보일러 용량 0.2톤 이상, 18평 이상의 아파트를 청정연료로 대체하였고, 김해 등 6개 지역의 발전소를 청정연료 사용 의무화 대상으로 추가하였다(ME, 2000).

### 3.3 자동차 관련 규제

1978년 6월 30일 환경보전법시행령 제정으로 제작차 배출가스 허용기준을 규정하여 우리나라 자동차 배출가스 규제가 처음으로 시작되었다(SMG, 2006; Kim, 2000). 휘발유(승용차) 배출허용기준에 대해 표 5에 나타난 것과 같이 최초 제정된 배출허용기준은 일산화탄소, 질소산화물, 탄화수소, 매연에 대하여 차종별로 정해졌으나 매우 완화된 기준이었다. 1991년 대기환경보전법 시행규칙 제정으로 휘발유 또는 가스 자동차, 경유 자동차, 이륜자동차로 구분하고 배출허용기준을 세분화하였다.

휘발유 및 가스 자동차의 배출가스 허용기준은 미국의 규제를 채택하여 시내주행 조건(CVS-75 모드)으로 시행되었다(NIER, 2019; KERi, 1996). 2016년 이후 CVS-75 모드 외 고속 및 급가속조건(US06 모드)과 에어컨 가동조건(SC03 모드)에서의 규제를 실시하였다. 2016년부터 휘발유 및 가스 자동차의 제작 배출허용기준을 4단계에서 7단계로 세분화하여 제작의 유연성을 부여하였고, 질소산화물과 탄화수소를 합산한 기준을 배출허용기준으로 설정하였다.

경유 자동차의 배출가스 허용기준은 유럽의 기준을 적용하고 있고, 1991년부터 규제가 시행되었다. 1996년 이전까지는 배출농도 중심의 규제 형태를 나타내며 연료 주입형태(직·간접 주입)에 따른 규제를 실시하였으나, 1996년 이후부터 배출 중량의 단위로 변경하면서 규제의 형태를 달리하였다. 2004년까지는 휘발유와 동일한 시험모드인 CVS-75로 배출가스 측정을 실시하였다(NIER, 2019; ME, 2011; KERi, 1996).

**Table 5.** Historical changes of exhaust gas emission standard for gasoline vehicles (sedan).

Air pollutants	1991.2.2	1998.1.1	2000.1.1	2002.7.1	2006.1.1	2009.1.1	2013.1.1	2016.1.1
CO (g/km)	2.11	2.11	2.11	2.11	1.06	1.06	1.06	1.06
NOx (g/km)	0.62	0.40	0.25	0.12	0.031	0.031	0.031	-
Exhaust gas (g/km)	0.25	0.25	0.16	0.047	0.025	0.025	0.025	0.025
THC								
Blow-by gas (g/driving)	0	0	0	0	0	0	0	0
Evaporation gas (g/test)	2	2	2	1	1	2	1.2	1.2
HCHO (g/km)	-	-	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005

2006년 EURO-4 기준 도입으로 NEDC 시험모드를 이용하여 2017년까지 사용하였고, 2017년 EURO-6 도입과 함께 WLTC 모드를 시행하였다. 대형경유차의 경우에 EURO-6 기준이 도입되었고, 나노입자 개수와 암모니아 기준이 신설되어, 2014년 1월부터 신차, 2015년 1월부터 기존 차량에 대한 적용이 구분되어 실시되었다. 매연에 대한 규제는 2009년 9월 이후 적용되지 않고 있다.

이륜자동차의 배출가스 허용기준이 1991년 일본의 기준치를 도입하여 신설되었다(표 6). 제작차의 기준으로 일산화탄소, 탄화수소로 물질이 선정되었고, 2000년 1월부터는 농도규제에서 중량규제로 기준과 시험방법이 바뀌면서 단위도 %에서 g/km로 변경되었다. 2008년부터는 강화된 EURO-3 규제를 적용하였고, 2016년은 EURO-4, 2020년부터는 EURO-5의 강화된 기준이 적용되었다(Eom, 2015). 건설기계 원동기의 경우 배출허용기준이 2004년 이후로 제정되었고, 2015년부터 현재까지 Tier-4 기준으로 강화하여 적용되고 있다(ME, 2011). 농업기계 원동기에 대한 배출허용기준은 2013년 이후로 Tier-3 기준으로 도입되었고, 2015년 이후로는 Tier-4 기준으로 강화하여 규제 중에 있다(ME, 2012). 미국, 유럽 등에서 실행되던 경유 철도차량 원동기에 대한 배출허용기준은 2019년에 최

초로 신설된 바 있다(ME, 2019c).

그림 2는 디젤 승용차 규모(소형 및 중형, 대형)별 NOx와 PM의 배출허용기준 변화를 나타낸 것이다. 그림 1의 변화과정과 비교하면 자동차 배출허용기준도 많은 변화가 이뤄졌지만 비교적 단순한 형태를 띠고 있다. 이는 비용적인 측면에서 사업장 방지시설 대비 자동차 방지시설 부착에 비교적 부담이 적은 것에 기인할 가능성이 있다. 일반적으로 자동차의 수명이 산업시설의 수명보다 짧기 때문에 강화된 배출허용기준에 맞는 기술이 보다 빠르게 발전되고 적용된다는 점 또한 그 이유 중 하나로 사료된다.

### 3.4 대기환경정책의 효과 평가

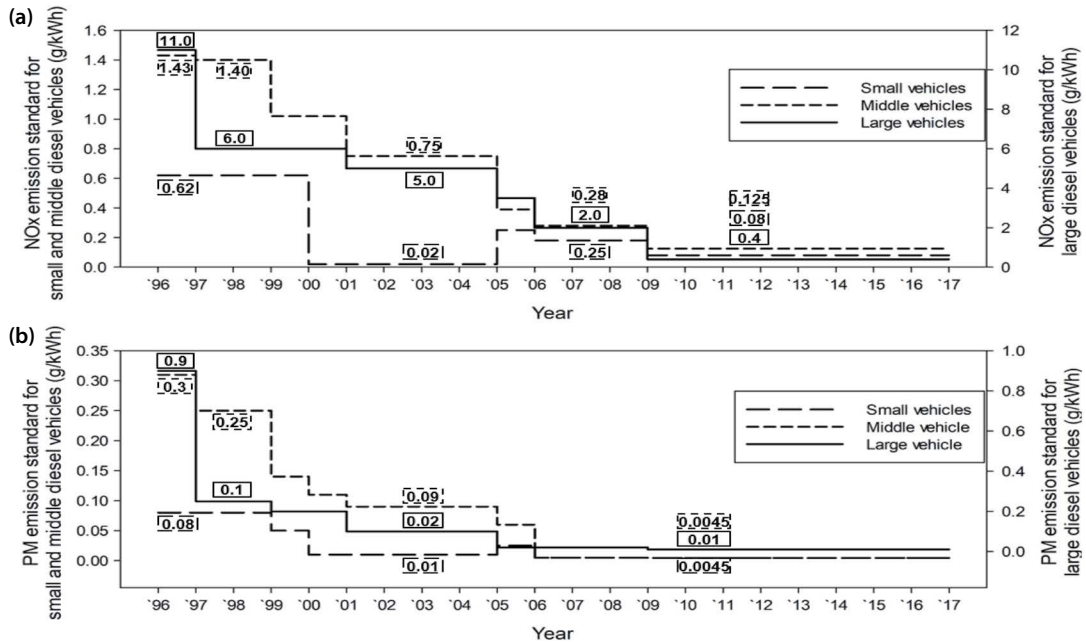
대기환경기준을 달성하기 위한 수단으로서, 대기환경정책을 계획하고 시행하기 위해서는 다음과 같은 과정이 필요하다(Cheong and Kim, 2022). 첫째, 대기환경의 현재 상황을 명확히 파악하여야 한다. 여기에는 정확한 대기오염물질 배출량 정보, 배출원별 기여율 정보, 국외로부터 유입되는 대기오염물질에 대한 정보 등이 포함된다. 둘째, 이러한 정보를 기반으로 하여 대기오염물질 감축 목표를 설정하고, 이를 달성하기 위한 여러 가지 시나리오를 마련한다. 이때 각 시나리오를 시행하기 위한 계획이 적절하게 이루어져야

**Table 6.** Historical changes exhaust gas emission standard for diesel vehicles (middle and large scale vehicles). The unit for NOx emission standard was ppm in 1991 and 1993, and it has been changed to g/kWh since 1996.

Air pollutants	1991.2.2	1993.1.1	1996.1.1	1998.1.1	2000.1.1	2001.1.1	2002.7.1	2006.1.1	2009.9.1	2014.1.1	2017.10.1
CO (g/kWh)	980 ppm	980 ppm	4.9	4.9	3.0	3.0	2.1	1.50	1.50	1.50	1.50
NOx (g/kWh)	IDI*	450 ppm	350 ppm	11.0	6.0	6.0	6.0	5.0	3.5	2.0	0.40
	DI**	850 ppm	750 ppm								
HCs (g/kWh)	670 ppm	670 ppm	1.2	1.2	1.0	1.0	0.66	0.46	0.46	0.13	0.13
PM (g/kWh)	-	-	0.9	0.25	0.2	0.2	0.1	0.02	0.02	0.01	0.01
Smoke (%)	50	40	35	25	20	20	15	10	15	-	-
Particle number (#/kWh)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8 × 10 <sup>11</sup>	8 × 10 <sup>11</sup>
NH <sub>3</sub> (ppm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	10

\*IDI: Indirect Injection mode

\*\*DI: Direct Injection mode



**Fig. 2.** Historical changes of NOx (a) and PM (b) on the air pollutant emission standard from exhaust gas of diesel vehicles. The solid line, long-dashed line, and short-dashed line represent the standards for small, middle, large scale vehicles respectively. The values in the boxes show some standards for each pollutants and vehicles.

한다. 그러나 대기오염물질 배출량의 산정 방법의 오류와 국외 영향을 고려하지 않은 모델링에 의한 삭감률 목표설정 등을 기반으로 한 그간의 대기환경정책에는 상당히 많은 불확실성이 내포되어 있는 실정이었다.

이러한 제한적인 상황에서도 대기환경정책의 효과를 평가하기 위한 시도가 일부 있었다. Baik *et al.* (2018)은 서울시에 도입된 간선급행버스체계(Bus Rapid Transit)로 발생하는 대기오염물질 감소 효과를 이중차분법을 이용하여 평가하였고, 결과적으로 전반적인 오염 수준의 절감 효과가 있었음을 보고하였다. Lee and Ham (2020)은 서울시에서 시행되는 미세먼지 관리 정책의 효과를 평가할 수 있는 기상현상 및 배출량이 반영된 평가모델을 개발하고 이를 적용함으로써 저감 효과를 보고한 바 있다. Hwang *et al.* (2021)은 서울시에서 시행되는 대기오염물질 감축 사업에 대해 개별 사업 시행 소요예산과 대기오염물질 삭감에 의한 사회적 편익을 산정함으로써 대기오염물질 감축수단

의 비용효과성 분석을 실시한 바 있다. 이어서 Cheong and Kim (2022)은 수도권의 운행 경유차 저공해화 사업을 통한 PM<sub>10</sub> 및 NO<sub>2</sub> 저감 효과를 이중차분법과 사건역사분석법을 활용하여 정량적으로 분석하고, 이를 근거로 사업의 설계와 집행·운영에 대한 타당성 및 효율성을 제고하는 방안을 제안한 바 있다. 그러나 이러한 연구들에는 다소 국한적인 대기오염물질 저감 사업 혹은 지역을 대상으로 하거나, 제한적인 조건과 방법을 활용하여 평가했다는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 현재 대기환경 상태를 대변하는 정확한 정보를 기반으로 폭넓은 범위에서 대기환경정책의 효과를 분석하는 시도는 지속적으로 이루어져야 한다. 이를 위해서 미국의 사례와 같이 대기환경정책이 효율적으로 운영되고 시행되었는지 평가할 수 있는 체계를 구축하고 정기적으로 피드백함으로써 기존 정책을 보완하는 과학적이고 객관적인 정책 자료기반을 제공하는 방안을 모색할 필요가 있다.

## 4. 대기오염도 변화

### 4.1 전국 대기오염도의 변화

그림 3은 국립환경과학원의 대기환경연보와 국가 미세먼지정보센터의 Clean Air Policy Support System (CAPSS) 2021 배출량 통계 자료를 이용하여 그간 대기오염물질의 오염도 변화와 배출량 변화 및 배출원 분포를 나타낸다(NIER, 2022). 또한 국가 에너지 수급 및 자동차등록대수 변화를 함께 표시하였다(KESIS, 2022; KOSIS, 2022).

SO<sub>2</sub>와 CO의 경우 대기환경기준이 설정된 1979년 이후, 전국 에너지 공급량이 꾸준히 증가함에도 1990년대 후반까지 가파른 감소 추세를 나타내고 있었다. 이는 연료용 유류 황함유 기준 설정·강화, 고체연료 사용 규제지역 고시·강화 등의 연료정책에 의한 효과인 것으로 판단된다. 1996년 이후에는 연평균 기준에 대해 대부분의 측정소에서 대기환경기준을 만족하고 있었다. 이와 함께 SO<sub>x</sub> 배출량도 저감되는 경향을 나타냈으며, 2020년 SO<sub>x</sub> 배출원은 생산공정이 52.3%로 가장 큰 비중을 나타냈다. CO는 생물성 연소, 도로 및 비도로 이동오염원에서 각각 30.5%, 25.9%, 21.3%로 크게 나타났으며 배출량 저감 수준이 적지만 감소하는 경향성을 나타냈다. 연료정책에 의한 SO<sub>2</sub> 및 CO 농도는 비교적 손쉽게 큰 저감 효과를 나타냈다. 하지만 이러한 성과로 인해 사업장 등에서 배출되는 저감 장치의 기술적 발전의 필요성이 둔화되었으며 대기공학적인 관점에서 부정적인 측면이라 할 수 있다.

NO<sub>2</sub>의 경우 저공해자동차 및 무연 휘발유차 보급(1987년), 일부 차량의 LNG 사용 의무화(1988년), 자동차 배출가스 내 질소산화물 규제(1997년) 등의 정책이 시행됨에도 대기오염도가 뚜렷하게 감소하지 않았다. 그러나 자동차 배출가스 내 질소산화물 규제 지역 확대, 무·저공해 자동차 보급 추진 등의 꾸준한 저감정책이 시행되어 점차 오염도가 저감되는 추세를 나타냈다. NO<sub>x</sub>의 주된 배출원은 도로(33.3%) 및 비도로(31.8%) 이동오염원이었으며, NO<sub>x</sub> 연간 배출량은 상승과 하강을 반복하다가 2016년부터는 감소하는 추

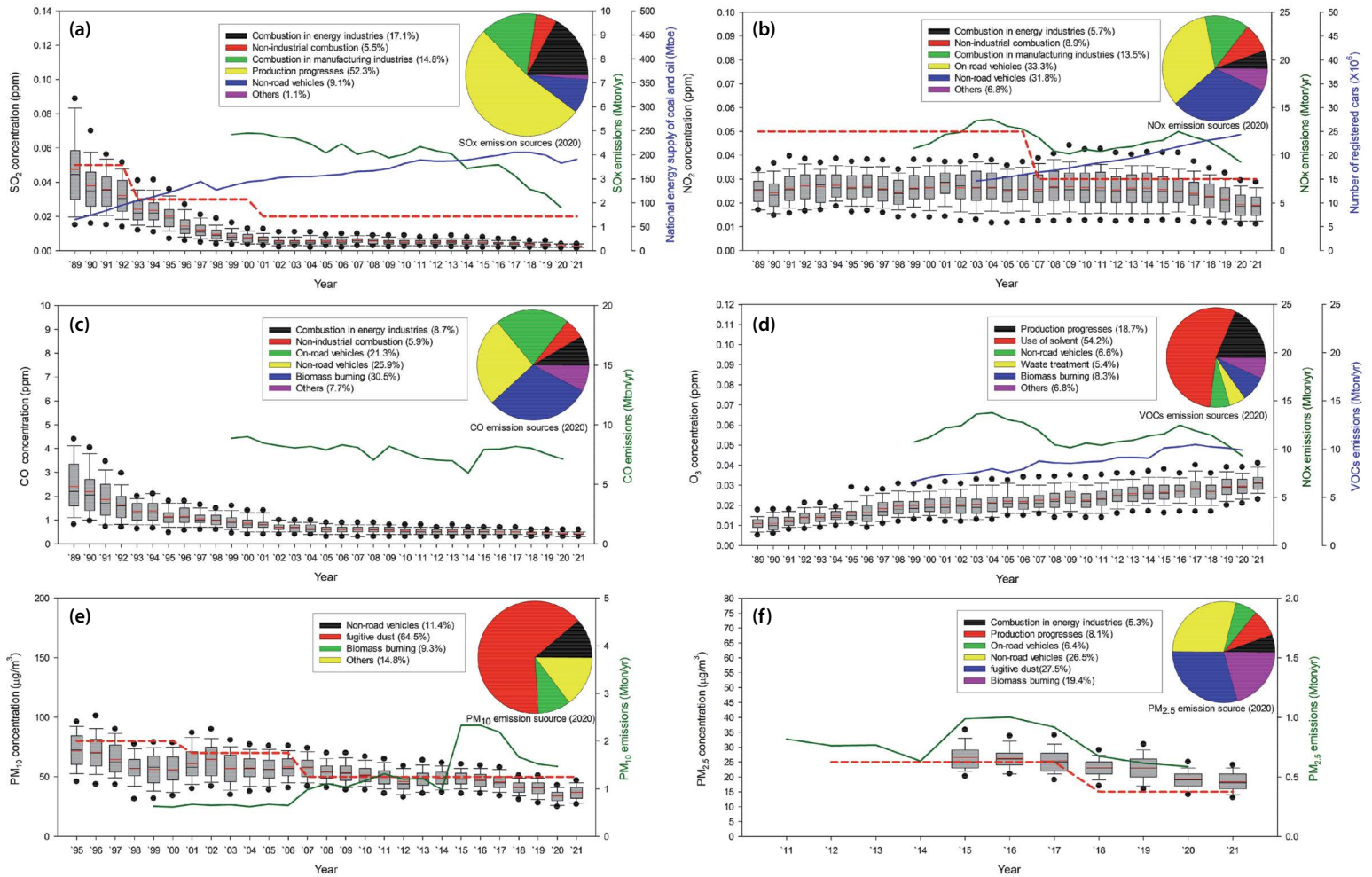
세로 전환되었다.

O<sub>3</sub>의 대기 중 농도에 관해서는 O<sub>3</sub>의 생성 및 반응과 밀접한 관련이 있는 NO<sub>x</sub> 및 VOCs를 함께 고려해서 해석하여야 한다. 대기 중 NO<sub>x</sub> 배출량은 저감정책의 효과로 미약하게나마 감소하는 경향을 나타내지만, VOCs의 배출량은 증가하는 추세를 보였다. 대기 중 O<sub>3</sub> 농도 증가 원인을 NO<sub>x</sub>와 VOCs로만 판단하는 것은 약간의 위험성을 내포하지만, 이 두 물질과 O<sub>3</sub>의 대기화학적 이론을 생각했을 때, O<sub>3</sub> 농도가 저감되지 않고 오히려 증가하는 추세가 나타나는 것은 NO<sub>x</sub> 및 VOCs 배출량에서 기인한 것으로 해석하는 것이 합리적일 수 있다(Kim *et al.*, 2021; Tsai, 2016; Shin *et al.*, 2015).

PM<sub>10</sub> 오염도의 경우 2007년까지는 측정소 전반에 걸쳐 비교적 양호한 기준 달성도를 나타냈다. 이에 맞춰 기준치를 2001년과 2007년에 강화함에 따라 지속적으로 PM<sub>10</sub> 농도의 감소 경향이 나타난다. PM<sub>2.5</sub>의 연평균 농도의 경우 지속적인 감소 추세이지만 기준이 강화됨에 따라 2018년부터 오염도가 기준보다 높게 분포하고 있다. PM<sub>10</sub> 대비 PM<sub>2.5</sub>의 배출량이 점점 감소하고 있는 추세를 나타내며, 비산먼지와 비도로 이동오염원, 생물성 연소가 주된 배출원으로 나타났다.

### 4.2 전국 대기오염도 분포

그림 4는 2007년과 2014년, 2021년 대기환경연보에서 발췌한 국내 대기오염물질의 대기오염도 공간분포를 나타낸 것이다(NIER, 2022, 2015, 2008). 공간분포는 등농도 곡선으로 나타나며, 각 측정소에서 측정된 대기오염물질 연평균 농도를 기반으로 작성되었다. 대기오염측정소의 개수수는 2007년에는 227개였지만 2021년에는 504개로 두 배 이상 증가했다. 따라서 최근 자료에 비해 과거 자료는 대기오염도의 해상도가 떨어진다. 또한, 지금은 높은 수준으로 모델링 기법이 발전했으나 과거자료는 불확도가 클 것으로 사료된다. 대기오염도의 공간분포 자료에는 이러한 제한점을 포함하고 있지만, 그 당시 대기오염물질의 공간적 분포를 확인하는 데 가장 유리한 방법인 것은 분명하다.



**Fig. 3.** Concentration changes of annual average values of criteria air pollutants in the past 25 years of Korea. (a)~(f) represent SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> respectively. The red dash line refers to the annual average air quality standard (CO (c) and O<sub>3</sub> (d) have no average annual standard). The blue line in (a) shows the national energy supplies of coal, and those in (b) and (c) are the number of registered cars and VOCs emissions respectively. The pie charts show the distribution of emission sources by categories of National Air Emission Inventory and Research Center in Korea.

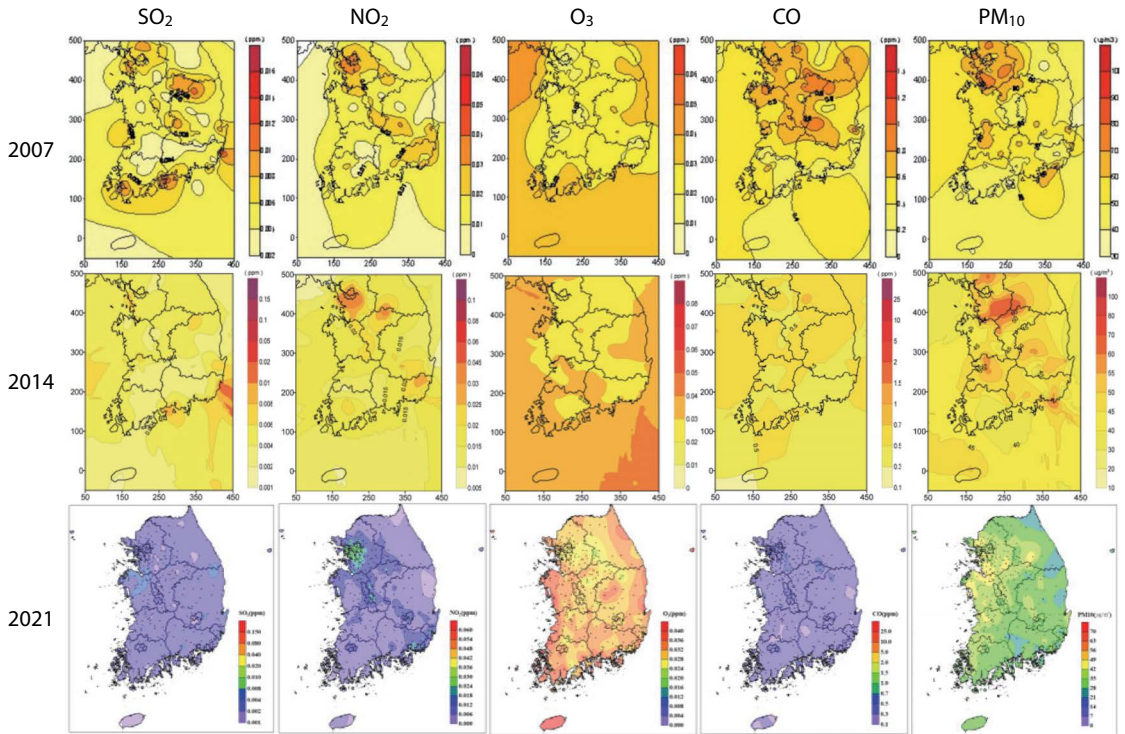


Fig. 4. Spatial distribution of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO and PM<sub>10</sub> concentrations of Korea at the years of 2007, 2014 and 2021 (NIER, 2022, 2015, 2008).

SO<sub>2</sub>의 경우 2007년에는 수도권 북부와 여수, 광양 및 부산 등 남해 인근, 일부 강원도 북근에서 높은 농도를 나타냈지만 이후 2014년과 2021년에는 전국적으로 낮은 농도 분포를 나타내고 있다. NO<sub>2</sub>의 경우, 과거에는 수도권과 부산 지역에 비교적 고농도로 분포하고 있었으나, 수도권을 제외한 다른 지역에서는 NO<sub>2</sub> 오염도가 상당히 개선된 모습을 나타낸다. 그러나 여전히 수도권에서 높은 농도를 유지하고 있으며, 수도권 인구밀집 현상으로 인한 차량 이용 증가가 그 원인으로 판단된다. CO의 경우 2007년에는 내륙지방을 중심으로 고농도로 분포하여 있었으나 점차 전국에 걸쳐 그 농도가 감소하는 추세를 확인할 수 있다. PM<sub>10</sub>은 과거부터 현재까지 동부지역에 비해 서부지역에서 높은 농도를 나타내고 있으며, 이는 황사의 영향이 일부 작용한 것으로 판단된다. 그 외에 부산 및 내륙지방의 PM<sub>10</sub> 농도는 2007년에 대비 감소하는 추

세를 보이지만 완전히 낮은 농도로 보기는 어려운 실정이다. O<sub>3</sub>의 경우 2007부터 지속적으로 내륙지역보다 해상에서 더 높은 분포를 나타냈으며, 2021년에는 O<sub>3</sub>의 고농도 분포 지역이 보다 증가한 것을 확인할 수 있다.

## 5. 대기환경기준 달성 여부

### 5.1 대기환경기준 달성 현황

최근 23년간의 전국 모든 측정소에서의 대기환경기준 달성률을 분석한 결과는 표 7과 같다. 대기환경기준 달성률은 대기측정 연도에 따라 산정 방법이 다르고, 환경기준이 개정됨에 따라 달성률이 변화하므로 이에 대한 수치상의 상이한 부분이 있다. 따라서 기본적으로 2023년 현재의 대기환경기준을 기준으로 달성률을

분석하였으며, 2007년 개정된 NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> 및 2018년 개정된 PM<sub>2.5</sub>의 경우 개정 전 기준으로 분석한 결과를 병기하였다. 2000년 이후 SO<sub>2</sub>와 NO<sub>2</sub> 및 PM<sub>10</sub>의 달성률이 소폭 감소한 것은 2001년 달성률 통계처리 방식이 변경됨에 따른 결과로 판단된다(NIER, 2020).

SO<sub>2</sub>와 CO의 경우 지난 23년 동안 대부분 100%에 가까운 달성률을 나타냈다. NO<sub>2</sub>의 연평균 기준, 24시간 기준, 1시간 기준의 경우는 2001년 각각 58.8%, 48.1%, 50.4%로 절반 수준의 달성률을 나타냈지만, 점차 달성률이 증가하는 추세로서, 가장 최근인 2021년에는 각각 100%, 97.3%, 99.2%로 증가하였다. PM<sub>10</sub>의 연평균 기준을 2007년 개정 전의 대기환경기준으로 달성 여부를 판단하면, 2001년부터 2006년까지 70~84.9%로 꾸준한 상승 추세를 나타내며, 비교적 양호한 결과를 보인다. 그러나 현재 대기환경기준을 달성 기준으로 적용하였을 때, PM<sub>10</sub>의 연평균 기준 달성률은 2001년에는 25.8%로 낮은 수준을 나타냈으며, 달성률이 점차 증가하여 2021년에는 전 측정소에서 98.5%를 달성하는 양호한 결과를 나타냈다. PM<sub>10</sub>의 24시간 기준의 경우 상대적으로 낮은 달성률을 나타내다가 2020년에는 코로나 19의 영향으로 96.5%의 높은 달성률을 나타냈지만 이후 29.6%로 급격히 낮아졌다. O<sub>3</sub>과 PM<sub>2.5</sub>의 기준 달성률은 대기오염도의 증가 및 유지 현상으로 인해 다른 물질의 달성률과 비교하면 상당히 낮은 수준으로 나타났다.

## 5.2 대기환경기준 미달성 지역의 노출인구

그림 5는 대기환경기준 미달성 지역의 노출인구를 공간적 분포로 나타낸 것이다. 각 지역에서 오염물질별, 항목별 대기환경기준을 초과하는 경우 해당 지역의 인구를 노출인구로 포함하고 최종적으로 이를 시도별로 합산하여 각 시도별 노출인구 및 노출비율로 산정하였다. 선택적으로 PM<sub>10</sub>과 NO<sub>2</sub>의 24시간 기준, 연평균 기준에 대해서만 나타냈으며 이외의 대기오염 물질에 대한 달성률은 지역별 차이가 크게 나타나지 않았다. 특히 오존과 PM<sub>2.5</sub>는 거의 모든 지역에서 대기환경기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 노

출인구는 통계청의 주민등록인구 통계 자료를 활용하였으며(KOSIS, 2022), 대기질 측정자료는 에어코리아의 2018년 대기질 통계 자료를 활용하여 분석하였다.

## 6. 체계적 기준 설정을 위한 향후 과제

### 6.1 해외 국가의 기준 설정 사례

미국은 1980년부터 위해성 평가제도를 환경관리의 기초적 수단으로 활용하고 있다. 1994년부터 인체 건강에 대한 영향조사를 연방정부 주도하에 실시하고 있다(Yoon, 2018). 1995년에는 EPA의 연구조직을 개편하여 오염원(source) 중심의 연구에서 환경오염에 의해 실제로 피해를 받는 인간의 건강, 생태계 등 수용체(receptor) 중심의 연구로 방향이 바뀌었다. 이와 같이, 미국의 환경 관련 연구는 위해성 평가(risk assessment)와 위해성 관리(risk management)의 2개 주제가 기본 축을 담당하며, 다음의 세 단계를 거쳐 대기환경기준 초안이 작성된다. 먼저, 기존 문헌이나 정보시스템을 이용하여 대상 화학물질이 인체에 미치는 위해도를 결정한다. 이후, 위해성 평가 결과를 포함하는 건강평가서 초안을 작성하고 워크샵에서 전문가의 면밀한 재검토가 진행된다. 마지막으로 공청회를 통해 초안에 대한 시민단체 및 이해관계자 등 공공의 견해가 수렴되고 청정공기 과학자문위원회가 재검토한 후 최종 초안이 작성된다. Clean Air Act에 따라 US EPA는 일반적인 대기오염물질(PM, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Pb 및 CO)에 관한 과학적 정보 및 기준을 5년마다 검토하고 있다(Ha, 2014). 대기환경기준의 목표설정을 위해서는 체계적인 검토 절차를 수행하고, 공공건강 유해성, 대기오염 저감기술, 경제성 및 기타 제반 사항을 조화시켜 도출할 필요가 있다.

WHO에서는 대기 중에서 검출가능한 물질에 대하여 WHO 과학 전문가들에 의해 제시된 기준에 따라 우선순위 오염물질 선정 및 위해성을 확인한다. 이후 국제암연구기관의 분류체계를 이용하여 발암성 물질과 비발암성 물질로 구분하고 각 물질에 대한 권고기



**Table 7.** Attainment percentages of air quality standards of Korea in the past 23 years.

Air pollutant		Attainment percentages of air quality standards (%)																						
		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
SO <sub>2</sub>	Annual	100	100	99.3	100	99.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	24-hr	100	100	98.5	98.6	98.2	98.8	100	99.5	99.5	99.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	1-hr	100	100	99.3	99.3	98.8	98.2	99	99	99.1	99.6	99.6	99.6	99.1	98.8	98.8	99.2	99.2	98.8	99.2	99.7	100	99.8	100
NO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	Annual			58.8	63.2	60	63.7	69.9	69.3	68.7	68.6	70.9	71.5	72.8	78.9	74	71.9	76.9	82.3	85.8	91.6	94.5	100	100
	24-hr			48.1	54.3	53	53.3	67.2	70	63.4	65	63.5	63	68.2	73	66.1	67.2	71.8	82.7	81.9	79	90.7	96.2	97.3
	1-hr			50.4	62.5	57.6	61.9	76.7	79.5	62.2	70.4	70.4	74.9	79.1	83.8	70.1	77	79.2	89.6	96.5	93.7	97.3	98.6	99.2
NO <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	Annual	100	100	100	100	100	100	100	100															
	24-hr	91.9	95.1	86.3	94.3	93.9	94.1	97.4	98.5															
	1-hr	97.8	97.2	95.4	100	98.2	100	99.5	99.5															
O <sub>3</sub>	8-hr	35.3	37.5	53.8	67.8	47	41.2	44.8	49	28	26	10	22.1	20.9	9.7	4.7	5.5	6.2	1.9	1.9	3.7	1.1	3.9	0.6
	1-hr	56.6	49.3	73.5	79.2	71.4	57.1	70.6	81.5	59.9	57.4	48.7	48.1	59.8	61.9	35	37.5	50.8	26.8	24.2	22.9	12	41.1	40.8
CO	8-hr	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	1-hr	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
PM <sub>10</sub> <sup>(1)</sup>	Annual			25.8	18.8	30.5	20.1	29.5	22.1	23.5	32.3	40.2	48.1	55.6	76.8	62.6	61.2	65.6	71.6	80.2	95.9	94.5	100	98.5
	24-hr			1.7	0	10.7	8.3	8.5	3.5	1.9	1.4	2.6	3.4	1.7	38.5	7.9	1.6	10.7	10.4	26	18.3	27.1	96.5	29.6
PM <sub>10</sub> <sup>(2)</sup>	Annual	96.5	97.2	70	58.6	82.3	80.5	87.9	84.9															
	24-hr	48.2	39.4	22.7	0.8	54.7	55	61.9	35.3															
PM <sub>2.5</sub> <sup>(1)</sup>	Annual																	0	0	0	0	1.9	17.1	24.3
	24-hr																	0	0	0	0	0	3.3	7.1
PM <sub>2.5</sub> <sup>(3)</sup>	Annual																	60	40.1	53.1				
	24-hr																	4	11	8.6				

<sup>(1)</sup>based on the standard of present year (2023)  
<sup>(2)</sup>based on the standard before 2007's revision  
<sup>(3)</sup>based on the standard before 2018's revision

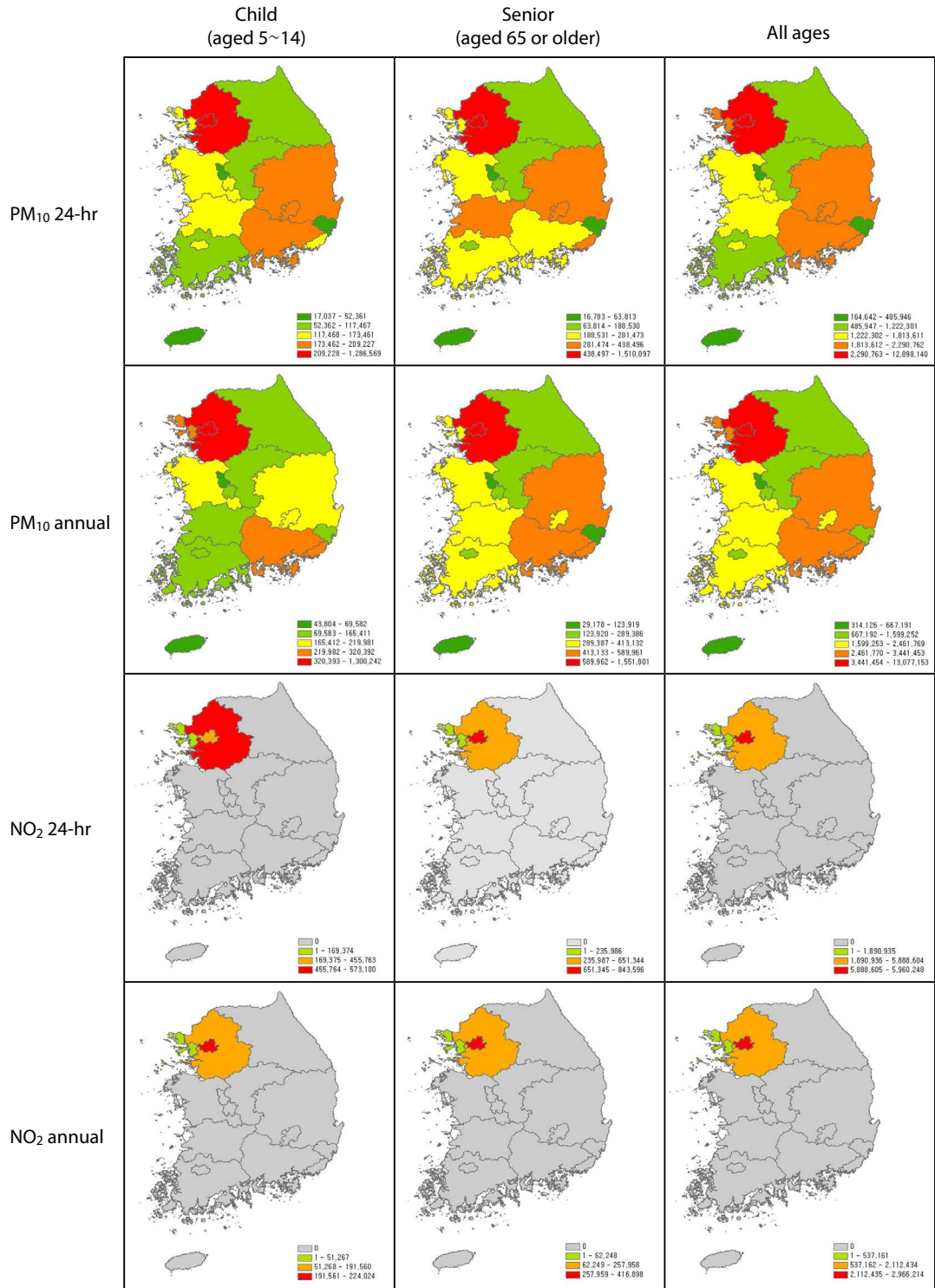


Fig. 5. Spatial distribution of exposed population by air quality standards in Korea.

**Table 8.** Air pollutant-exposed population of the cities and counties in Korea. The numbers (%) in the parenthesis are the rate of population exposed by the pollutants. The criteria for exposure were assumed by the air quality standards of Korea (2023).

Cities and counties	NO <sub>2</sub> (0.06 ppm 24-hr standard)			O <sub>3</sub> (0.06 ppm 8-hr standard)			PM <sub>2.5</sub> (15µg/m <sup>3</sup> annual standard)
	2008	2013	2018	2008	2013	2018	2018
Seoul	10,200,827 (100%)	9,774,718 (96%)	5,960,248 (61%)	10,200,827 (100%)	10,143,645 (100%)	9,765,623 (100%)	9,765,623 (100%)
Busan	400,516 (11%)	425,536 (12%)	0 (0%)	3,254,115 (91%)	3,235,865 (92%)	3,441,453 (100%)	3,441,453 (100%)
Deagu	769,062 (31%)	166,062 (7%)	0 (0%)	2,492,724 (100%)	2,501,588 (100%)	2,461,769 (100%)	2,461,769 (100%)
Incheon	2,625,309 (98%)	2,630,180 (91%)	1,890,935 (64%)	2,692,696 (100%)	2,879,782 (100%)	2,954,642 (100%)	2,954,642 (100%)
Gwangju	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1,117,817 (79%)	1,472,910 (100%)	1,459,336 (100%)	1,459,336 (100%)
Deajeon	0 (0%)	498,917 (33%)	0 (0%)	1,480,895 (100%)	1,532,811 (100%)	1,489,936 (100%)	1,489,936 (100%)
Ulsan	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1,112,407 (100%)	1,156,480 (100%)	1,155,623 (100%)	1,155,623 (100%)
Sejong	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	-	122,153 (100%)	314,126 (100%)	314,126 (100%)
Gyeonggi	5,348,267 (47%)	6,141,917 (50%)	5,888,604 (45%)	11,057,487 (98%)	12,234,630 (100%)	13,077,153 (100%)	13,077,153 (100%)
Gangwon	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1,508,575 (100%)	1,542,263 (100%)	1,284,415 (83%)	1,543,052 (100%)
Chung-buk	0 (0%)	137,204 (9%)	0 (0%)	1,519,587 (100%)	1,572,732 (100%)	1,599,252 (100%)	1,599,252 (100%)
Chung-nam	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2,018,537 (100%)	2,047,631 (100%)	2,126,282 (100%)	2,082,551 (98%)
Jeon-buk	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1,732,930 (93%)	1,872,965 (100%)	1,784,402 (97%)	1,836,832 (100%)
Jeon-nam	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1,919,000 (100%)	1,907,172 (100%)	1,691,765 (90%)	1,882,970 (100%)
Kyeong-buk	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2,673,931 (100%)	2,699,440 (100%)	2,676,831 (100%)	2,676,832 (100%)
Kyeong-nam	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	3,225,255 (100%)	3,333,820 (100%)	3,373,988 (100%)	3,373,988 (100%)
Jeju	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	560,618 (100%)	593,806 (100%)	667,191 (100%)	667,191 (100%)
Nationwide	19,343,981 (39%)	19,774,534 (39%)	13,739,787 (27%)	48,567,401 (98%)	50,849,693 (99%)	51,323,787 (99%)	51,782,328 (100%)

준을 설정한다. WHO의 대기 중 발암성 및 비발암성 물질의 위해성 평가 절차는 미국 EPA와 유사하지만,

WHO에서는 평균 비교 위해성 모델(average relative risk model)을 통한 추계와 같은 인체 자료에 입각한

위해성 평가 등 인체 영향 측면의 과학적이고 체계적인 검토를 실시하여 권고기준을 설정한다는 특징이 있다.

이처럼 대기환경기준을 설정하는 데에는 체계적인 평가체계가 필요하며, 다음 절에서 보다 구체적인 제언을 제시하였다.

## 6.2 국가 대기환경기준 개정을 위한 향후 과제

대기환경기준 수립 및 개정 시에는 우리나라 실정에 맞는 대기오염물질의 장·단기 노출 위해성 및 인체 위해성 정보, 체계적이고 정확한 대기오염물질 배출량 산정, 배출량을 삭감하기 위한 대기오염 개선정책 시나리오와 이를 반영한 전망 배출량, 전망 배출량과 대기오염도 상태를 기반으로 예측한 미래 대기오염도 모델링 계산치, 대기오염물질에 장기 및 단기간 노출되는 인구수 예측 등의 과정이 필요하다. 이를 통해 대기환경기준 개선에 의한 사회적 편익을 계산하고, 개선 시나리오별 시행에 수반되는 비용을 계산하여 경제성 분석을 진행함으로써 대기환경기준 수립 및 개정에 과학적이고 체계적인 근거를 마련할 필요가 있다. 그러나 그간 우리나라의 대기환경기준 설정 과정에는 이러한 과정이 부족했다.

최근 국내에서는 환경기준 수립 시, 다음과 같은 단계를 실행하여 각 대기오염물질과 기준치를 설정하고 있다. 먼저 국내·외 기준치 검토와 국내 대기질 현황 분석, 노출인구 산정과 같은 대기오염물질 노출실태 조사가 동시에 이뤄진다. 이를 바탕으로 필요시 대기환경기준을 변경하거나 신규 대상항목을 선정하여 초안을 작성하고 해당 대기오염물질의 인체 위해성 평가를 실시한다. 작성된 개정 초안을 기준으로 저감수단을 고려한 환경기준 달성방안을 모색한 후, 이때 발생하는 비용과 편익을 산정하여 경제성 분석을 진행한다. 해당 결과를 공청회 등을 통해 전문가의 의견을 수렴함으로써 최종적으로 대기환경기준(안)을 수립한다(NIER, 2021).

우리나라의 대기환경기준 설정 시, 기본적으로 위해도 관점에서 접근하고, 건강 위해성을 기반으로 분

석기술, 공학적 처리, 비용 및 편익 등을 고려하여 기준성 물질과 기준치를 설정한다는 점에서 미국 및 WHO와 유사한 점이 있다. 하지만 체계적인 대기환경기준의 설정과 대기오염 개선 정책에 대한 효율적인 평가를 위해서 필요한 향후 과제가 있다.

첫째, 국내 실정에 맞는 인체 위해성 데이터 등 과학적 정보가 보강되어야 한다. 현재까지 국내를 대상으로 한 인체 위해성 연구는 해외의 역학자료에 비해 그 수나 근거가 매우 부족한 실정이다. 이처럼 선진화된 대기환경기준을 도입하기 위해서는 우리나라의 대기환경과 인구분포 특성 등에 적합한 과학적 정보가 더욱 요구된다.

둘째, 정부 및 지자체에서 국내의 대기오염도 개선을 위해 수립·시행된 정책의 효과를 평가하기 위한 체계가 필요하다. 시행된 정책이 대기오염도 개선에 미친 영향을 검토하고, 평가 결과를 기반으로 향후 정책의 방향과 수준을 모색한다면 추후 효율적이고 객관적인 지표를 근거로 한 정책수립이 가능할 것이다.

셋째, 대기환경기준의 보강과 정기적인 운영을 위한 체계적인 시스템의 마련이 필요한 상황이다. 미국의 예시와 같이 정기적으로 현 대기환경기준의 수준 적정성 및 달성도 등을 면밀히 검토하고 추후 대기환경기준 개정의 기반 자료로 활용함으로써 보다 체계적으로 대기환경기준(안)을 수립할 수 있을 것으로 사료된다. 마지막으로, 최근 물질 자체의 위해성이 크고, 대기환경기준 달성도가 현저히 낮은 O<sub>3</sub>의 경우 행정 목표치로서의 대기환경기준을 완화하는 방향을 고려할 필요가 있다. 대기환경기준은 오염도 개선의 중간목표치로서, 정책 시행을 평가하는 지표로서 활용될 필요가 있다.

## 7. 요약

우리나라의 대기환경기준은 1978년에 SO<sub>2</sub>에 대한 제정을 시작으로, 7차례 개정되어 2018년 이후 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, Pb, Benzene 등 총 8가지

항목을 대상으로 하고 있다. 1993년에는 대기오염측정망의 대기질 측정 및 분석으로 단기 및 장기 기준의 체계적인 설정이 가능하게 되었다. 2007년 이후부터는 대기질 현황과 기준 달성도, 인체 유해도의 관점에서 대기환경기준 설정 및 시행의 경제성 분석을 고려하여 행정목표로서의 대기환경기준을 설정하였다. 이러한 기준 달성과 대기오염도 개선을 위해서 사업장 및 제작차 배출허용기준 도입, 연료 사용 규제, 배출부과금 제도 등의 정책이 시행되었다. 그 외에도 대기환경 특별대책지역 및 대기관리지역 지정, 대기오염물질 총량규제 등의 정책이 수행되었다. 연료 정책 등을 통해 1980~1990년대에는 대기 중 SO<sub>2</sub>, CO, TSP, PM<sub>10</sub>, Pb의 농도가 현저히 줄어들었다. 2000년 이후로는 특히 자동차 배출가스 관리강화로 NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, 벤젠의 농도가 많이 개선되었다. 하지만 아직까지 PM<sub>2.5</sub>와 O<sub>3</sub>의 오염도와 달성도는 개선되지 못하고 있다. 대기환경기준의 체계적인 설정과 효율적인 대기오염 개선정책 시행을 위해서 보완할 과제가 있다. 첫째, 국내 실정에 맞는 인체 유해성 데이터 등 과학적 정보가 보강되어야 한다. 둘째, 오염도 개선을 위해 시행된 정책 효과를 평가하기 위한 체계가 필요하다. 셋째, 대기환경기준의 보강과 정기적인 운영을 위한 체계적인 시스템의 마련이 필요한 상황이다. 마지막으로 행정목표치인 대기환경기준의 달성률이 미흡한 O<sub>3</sub>의 기준을 완화하는 방향을 고려할 필요가 있다.

**감사의 글**

본 연구는 환경부의 재원으로 국립환경과학원 용역사업(NIER-2023-01-01-142)의 지원을 받아 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

**References**

Baik, Y.-J., Kim, D.-W., Kwon, H.-Y., Kim, Y.-K., Kim, S.-Y. (2018) Impact of the Exclusive Median Bus Lane System on Air Pollution Concentrations in Seoul, Korea, *Journal*

of Korean Society for Atmospheric Environment, 34(4), 542-553.

Cheong, S.-W., Kim, N.-Y. (2022) Effects and Management Risk of Air Quality Management Policies in the Seoul Metropolitan Area: Focusing on lessening PM<sub>10</sub> and NO<sub>2</sub> in the pollution reduction project of in-use diesel vehicles, *Public Audit and Inspection Review*, 37(5), 5-36.

Do, H.-S., Choi, S.-J., Park, M.-S., Lim, J.-K., Kwon, J.-D., Kim, E.-K., Song, H.-B. (2014) Distribution Characteristics of the Concentration of Ambient PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> in Daegu Area, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 36(1), 20-28.

Eom, M.-D. (2015) The New Emission Standard of Domestic Motorcycle Regulations, *Journal of Korean Society of Automotive Engineers*, 37(8), 38-40.

Environmental Protection Agency (EPA) (1963) THE CLEAN AIR ACT.

Environmental Protection Agency (EPA) (1970) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1970.

Environmental Protection Agency (EPA) (1977) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1977.

Environmental Protection Agency (EPA) (1990) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1990.

Environmental Protection Agency (EPA) (1997) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1997.

Environmental Protection Agency (EPA) (2006) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 2006.

Environmental Protection Agency (EPA) (2008) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 2008.

Environmental Protection Agency (EPA) (2015) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 2015.

Environmental Protection Agency (EPA) (2019) Integrated review plan for the ozone national ambient air quality standards [cited 2014 Sep 12]. Available from: [http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/data/2011\\_04\\_OzoneIRP.pdf](http://www.epa.gov/ttn/naaqs/standards/ozone/data/2011_04_OzoneIRP.pdf)

European Commission (EC) (1956) THE CLEAN AIR ACT, 1956.

European Commission (EC) (1980) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1980.

European Commission (EC) (1982) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1982.

European Commission (EC) (1985) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1985.

European Commission (EC) (1989) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1989.

European Commission (EC) (1992) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1992.

European Commission (EC) (1997) THE CLEAN AIR ACT, As Amended Through 1997.

European Commission (EC) (2008) THE CLEAN AIR ACT, As

- Amended Through 2008.
- European Commission (EC) (2005) The Thematic Strategy on Air Pollution.
- European Commission (EC) (2016) <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standards.htm> (accessed on Aug. 10, 2023).
- Ha, J.-S. (2014) Applying Policy and Health Effects of Air Pollution in South Korea: Focus on Ambient Air Quality Standards, *Journal of Environmental Health and Toxicology*, 29, 1-7.
- Hwang, I.-C., Baek, J.-R., Jeon, E.-M., Ahn, M.-J. (2021) Cost-effective Reduction of Air Pollutants in Seoul, The Seoul Institute Report.
- Jeon, B.-I. (2010) Characteristics of Spacio-Temporal Variation for PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> Concentration in Busan, *Journal of The Environmental Sciences*, 19(8), 1013-1023.
- Kim, D.-C. (1993) Air Quality Standards Improvement Method, *Journal of Korea Petroleum Association*, 11(153), 24-30.
- Kim, D.-S. (2013) Air Pollution History, Regulatory Changes, and Remedial Measures of the Current Regulatory Regimes in Korea, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 29(4), 353-368.
- Kim, D.-S., Heo, J.-S., Kim, T.-O. (1999) A Comparative Study on Ambient Air Quality Standard for Ozone, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 15(2), 159-173.
- Kim, D.-S., Park, M.-B., Lee, T.-J., Lee, E.-S. (2016) A Comparative Study on the Ambient Air Quality Standard Strength among Korea, the U.S.A, and the EU, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 32(6), 559-574.
- Kim, D.-U. (2000) Policy of Air Pollution Preservation Direction in the 21<sup>st</sup> Century, *Journal of Korea Environmental Preservation Association*, 22(9), 17-27.
- Kim, J.-H., Ghim, Y.-S., Han, J.-S., Park, S.-M., Shin, H.-J., Lee, S.-B., Kim, J.-S., Lee, G.-W. (2018) Long-term Trend Analysis of Korean Air Quality and Its Implication to Current Air Quality Policy on Ozone and PM<sub>10</sub>, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 34(1), 1-15.
- Kim, J.-S. (1991) The Procedure of the Establishment of Ambient Air Quality Standards, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 7(1), 67-71.
- Kim, J.-W., Lee, J.-M., Han, J.-S., Choi, J.-S., Kim, D.-G., Park, J.-S., Lee, G.-W. (2021) Long-term Assessment of Ozone Nonattainment Changes in South Korea Compared to US, and EU Ozone Guidelines, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 15(4), 24-32.
- Kim, Y.-P. (2017) Research and Policy Directions against Ambient Fine Particles, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 33(3), 191-204.
- Kim, Y.-P., Yeo, M.-J. (2013) The Trend of the Concentrations of the Criteria Pollutants over Seoul, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 29(4), 369-377.
- Korea Economic Research Institute (KERI) (1996) Environment and Automobile Industry.
- Korea Energy Statistical Information System (KESIS) (2022) Primary Energy Supply.
- Korean Statistical Information Service (KOSIS) (2022) Statistic of Number of internal migrants by one-year age groups for city, country, and district.
- Lee, S.-J., Ham, S.-H. (2022) Development of an Evaluation Model for Regulatory Effectiveness to Reduce PM<sub>2.5</sub> and its Application in Seoul, The Seoul Institute Report.
- Lho, S.-W. (2020) Impacts on the Degree of Air Pollution by Industrial Emission Limit Value, *Journal of Korea Environmental Policy and Administration Society*, 28(1), 51-70.
- Ministry of Environment (ME) (2000) A Study on the Establishment of Air Conservation Policy in the 2000s.
- Ministry of Environment (ME) (2005) Air Emission Charge. [http://www.me.go.kr/home/web/policy\\_data/read.do?pageROffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=title&searchValue=%EB%8C%80%EA%B8%B0%EB%B0%B0%EC%B6%9C%EB%B6%80%EA%B3%BC%EA%B8%88&menuId=10259&orgCd=&condition.toInpYmd=null&condition.fromInpYmd=null&condition.deleteYn=N&condition.deptNm=null&seq=663](http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pageROffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=title&searchValue=%EB%8C%80%EA%B8%B0%EB%B0%B0%EC%B6%9C%EB%B6%80%EA%B3%BC%EA%B8%88&menuId=10259&orgCd=&condition.toInpYmd=null&condition.fromInpYmd=null&condition.deleteYn=N&condition.deptNm=null&seq=663)
- Ministry of Environment (ME) (2006) <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?pagerOffset=10&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=title&searchValue=%EB%B0%B0%EC%B6%9C%ED%97%88%EC%9A%A9%EA%B8%B0%EC%A4%80&menuId=286&orgCd=&boardId=149001&boardMasterId=1&boardCategoryId=&decorator=>
- Ministry of Environment (ME) (2007) <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=title&searchValue=%ED%99%A9%ED%95%A8%EC%9C%A0&menuId=286&orgCd=&boardId=161330&boardMasterId=1&boardCategoryId=&decorator=>
- Ministry of Environment (ME) (2011) <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?pagerOffset=3620&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=&orgCd=&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&boardId=176845&decorator=>
- Ministry of Environment (ME) (2012) <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.dojsessionid=vZeY5f8qOVlyGvnkYFhrpPRCqf9cY5RwKGGZ4kTEOCfrIsEC6Oq->

- wo1603rMPljU.meweb1vhost\_servlet\_engine1?pagerOffset=190&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=titleOrContent&searchValue=%EB%AF%B8%EC%84%B8%EB%A8%BC%EC%A7%80&menuId=286&orgCd=&boardId=183117&boardMasterId=1&boardCategoryId=&decorator=
- Ministry of Environment (ME) (2014) White Paper of Environment.
- Ministry of Environment (ME) (2015) The 2nd National Air Quality Improvement ('16-'25). [http://me.go.kr/home/web/policy\\_data/read.do?menuId=10262&seq=6757](http://me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10262&seq=6757)
- Ministry of Environment (ME) (2017) A Study on the Advancement of the National Ambient Air Quality Standards.
- Ministry of Environment (ME) (2019a) [http://www.me.go.kr/home/web/policy\\_data/read.do?menuId=10262&seq=7399](http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10262&seq=7399)
- Ministry of Environment (ME) (2019b) <https://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?sessionId=UsKKJgHfsmEA5btQIVBGJ1Ck.mehome1?pagerOffset=2120&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=&orgCd=&boardId=979615&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&decorator=>
- Ministry of Environment (ME) (2019c) <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?sessionId=odAnLihWXGLFp999YpaQ8BVg.mehome1?pagerOffset=30&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=286&orgCd=&boardId=1007845&boardMasterId=1&boardCategoryId=&decorator=>
- Ministry of Environment (ME) (2022) The 3rd National Air Quality Improvement (2023-2032). [http://me.go.kr/home/web/policy\\_data/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=92&orgCd=&condition.deleteYn=N&seq=8025](http://me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=92&orgCd=&condition.deleteYn=N&seq=8025)
- National Emission Ceilings Directive (NECD) (2001) <https://www.irceline.be/en/air-quality/emissions>
- National Institute of Environmental Research Center (NIER) (2005) Research for improvement of air quality standards (II).
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2008) Annual Report of Ambient Air Quality in Korea.
- National Institute of Environmental Research Center (NIER) (2009) A study to establish PM<sub>2.5</sub> air quality standards.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2015) Annual Report of Ambient Air Quality in Korea.
- National Institute of Environmental Research Center (NIER) (2019) A study on Vehicle Emission Characteristics of Air Pollutant (Carbon, NH<sub>3</sub>).
- National Institute of Environmental Research Center (NIER) (2020) Annual Report of Ambient Air Quality in Korea.
- National Institute of Environmental Research Center (NIER) (2021) Annual Report of Ambient Air Quality in Korea.
- National Institute of Environmental Research (NIER) (2022) Annual Report of Ambient Air Quality in Korea.
- Seoul Metropolitan Government (SMG) (2006) Environment of Seoul 2006.
- Shin, H.-J., Park, J.-H., Son, J.-S., Rho, S.-A., Hong, Y.-D. (2015) Statistical Analysis for Ozone Long-term Trend Stations in Seoul, Korea, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 24(2), 111-118.
- Tsai, W.-T. (2016) Toxic Volatile Organic Compounds (VOCs) in the Atmospheric Environment: Regulatory Aspects and Monitoring in Japan and Korea, *Journal of Environments*, 23(3), 1-7.
- World Health Organization (WHO) (1987) Air quality guidelines for Europe, first release.
- World Health Organization (WHO) (2000) Air quality guidelines for Europe, 2<sup>nd</sup> edition.
- World Health Organization (WHO) (2006) WHO Air quality guidelines global update 2005.
- World Health Organization (WHO) (2021) WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.
- Yoon, K.-S. (2018) The Evolution of the U.S. National Ambient Air Quality Standards, *Ministry of Government Legislation*, 2018(10), 222-250.

## Authors Information

- 김경찬 (안양대학교 환경에너지공학과 박사과정)  
(rudcksdlqk@naver.com)
- 이춘상 (안양대학교 환경에너지공학과 박사과정)  
(dlcnstkd456@naver.com)
- 최다영 (안양대학교 환경에너지공학과 석사과정)  
(dana623@naver.com)
- 주홍수 (안양대학교 환경에너지공학과 교수)  
(hungsoo.joo@gmail.com)
- 홍유덕 (금경엔지니어링 부사장)  
(ydhong3@naver.com)
- 김정태 (이투엠쓰리(주) 대표)  
(kst7579@e2m3.com)
- 이강웅 (한국외국어대학교 환경학과 교수)  
(gwee@hufs.ac.kr)
- 박진수 (국립환경과학원 대기환경연구과 연구관)  
(airchemi@korea.kr)
- 박정민 (국립환경과학원 대기환경연구과 과장)  
(ilikepaul@korea.kr)
- 한진석 (안양대학교 환경에너지공학과 교수)  
(nierhan@hanmail.net)