

맑은 맑은 하늘을 위한 5년간의 여정

< 제1차 미세먼지관리종합계획(2020~2024) 성과와 제언 >



미 세 먼 지 특 별 대 책 위 원 회

맑은 하늘을 위한 5년간의 여정



국무총리 소속
미세먼지특별대책위원회

미세먼지 정책은
국민과 기업, 정부가 함께 만들고 실천함으로써 완성됩니다.
이 책이 푸른 하늘을 만들기 위해서 우리 모두 함께 힘을 모아야 한다는 공감대를 형성하는 데
작은 디딤돌이 되기를 희망합니다.

- 미세먼지특별대책위원회 문길주 위원장 서문중 -

맑은 하늘을 위한 5년간의 여정

미세먼지특별대책위원회

F I N E



D U S T

**정책 효과, 코로나19로 인한 경제활동 축소, 기상여건 등
여러 요인이 복합적으로 작용한 결과이기는 하나, 우리나라 초미세먼지 농도가 전에 비해
뚜렷이 개선되어가고 있다는 것은 사실입니다.**

우리나라는 급격한 산업화와 중화학공업 위주의 산업구조, 높은 인구밀도, 중국의 영향을 받는 지리적 위치 등으로 인해 미세먼지 위험에 항상 노출되어 있습니다.

특히, 2019년은 미세먼지 피해가 유독 심했던 한해였습니다. 극심한 대기정체로 고농도($50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상) 초미세먼지가 7일이나 지속(3.1~7)되는가 하면 그해 전체 고농도 관측일수도 23일로 현재까지도 최악의 한해로 기록되고 있습니다. 미세먼지에 대한 국민들의 관심과 정부의 신속한 대처를 요구하는 목소리도 최고조에 달했습니다.

이에 정부는 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」 시행, 미세먼지 추경, 「미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)」 수립, 계절관리제 시행 등 다양한 대책들을 추진하였습니다.

미세먼지특별대책위원회(이하 위원회)도 이 시기(19.2)에 출범하였습니다. 국무총리와 민간위원장을 공동위원장으로 민·관의 전문가 36명(민간 18명, 환경부 등 정부위원 18명)이 참여하였고 실무 지원을 위해 총리실 산하에 미세먼지개선기획단을 두었습니다. 위원회는 미세먼지 관리 종합계획, 계절관리제 시행계획 등 정부 대책 수립과정에 참여하고 최종 심의·의결하는 기구로서 범정부 컨트롤타워 역할을 해왔습니다.

UNEP* 보고서에 의하면 2005년 대비 2020년 서울의 초미세먼지 배출량은 75% 줄었습니다. 정책 효과, 코로나19로 인한 경제활동 축소, 기상여건 등 여러 요인이 복합적으로 작용한 결과이기는 하나, 우리나라 초미세먼지 농도가 전에 비해 뚜렷이 개선되어가고 있다는 것은 사실입니다.

* 환경 분야 국제협력 증진 및 정책을 권고하는 유엔내 기구

미세먼지 배출이 줄어든 것은 정부가 단독으로 만들낸 성과는 아닙니다. 국민과 기업, 정부가 합심해야 만들 수 있는 결과라고 생각합니다.

그러한 의미에서, 5등급 경유차 운행제한 등 일상생활의 불편을 감수하며 미세먼지 저감에 적극 참여해주신 국민 여러분께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

또한, 에너지 수급 위기 등 어려운 대내외 여건에도 불구하고 석탄발전 감축운영에 협조해 준 발전공기업들, 높아지는 환경기준에 맞춰 관련 설비투자 및 자발적 감축 활동에 적극 참여한 민간의 대형 사업장들, 그리고 미세먼지 대책 집행을 위해 현장에서 뛰었던 지자체 공무원 여러분에게도 감사의 말씀을 전하고 싶습니다.

2024년 1차 미세먼지 관리 종합계획이 종료됩니다. 그러나 미세먼지는 국민들의 일상 생활과 건강에 큰 영향을 주고 있고, 상당수준 개선되었다고는 하나 여전히 선진국들에 비하면 미흡*한 수준이므로, 향후에도 꾸준한 저감 노력이 필요합니다. 이를 위해 그동안 위원회를 중심으로 추진한 정책성과를 바탕으로 보다 실용적인 정책대안을 담아 2차 계획(2025~2029)을 마련해야 할 것입니다.

* OECD 자료에 따르면 2020년 우리나라 초미세먼지 농도는 $25.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 OECD국가중 1위

이 책은 이러한 바램을 담아 그간 미세먼지 정책의 성과와 개선할 점을 살펴보고 이를 바탕으로 위원회에 참여한 위원들이 제안한 정책 대안들을 집대성한 보고서입니다.

총 4장으로 구성하였으며 미세먼지 관련 정책의 전체 맥락과 구체적 디테일을 쉽게 이해할 수 있도록 기본개념부터 이슈화 과정, 분야별 대책들과 평가, 새로운 정책 제안 등을 빠짐없이 기술하기 위해 노력하였습니다.

1장은 미세먼지에 대한 기본적인 이해와 사회적 이슈로 부각된 배경을 설명하고, 정부의 미세먼지 감축 대책 발표 이후 관리체계·법제도·전담 조직이 어떻게 발전해 왔는지를 정리한 내용입니다 더불어 미세먼지 연구개발 현황과 개선점도 짚었습니다.

2장에서는 산업·에너지·수송 등 분야별로 미세먼지 배출을 줄이기 위한 정책 현황과 성과를 살펴보았습니다. 이어서 암모니아 배출 관리, 오존, 기후변화 등 미세먼지 저감과 함께 새롭게 고려되어야 할 분야들을 제시했습니다.

3장은 미세먼지 노출에 따른 국민건강 보호와 관련한 부분입니다. 연령이나 건강상태, 직업별로 미세먼지 건강영향이 어떻게 다른지 살펴보고 특히 취약 계층인 학령기 아동에 대한 보호대책을 중점적으로 분석합니다.

4장에서는 앞서 기술한 각 분야별 정책 제안들을 종합하였습니다. 이는 지난 5년간의 귀중한 경험에서 도출된 것으로서 향후 새로운 미세먼지 저감정책 발굴에 중요한 역할을 할 것이라 믿습니다.

정부의 방침에 따라 2026년 2월 14일 위원회 활동이 종료될 예정입니다. 하지만 위원회의 종료도 미세먼지 없는 맑은 하늘을 위한 여정에 차질을 주어서는 안됩니다. 좀더 효율적인 거버넌스를 재정립하여 위원회가 수행해온 역할과 기능을 이어나가야 할 것입니다. 미세먼지 감축 정책이 연속성을 가지고 추진될 수 있도록 새로운 거버넌스 정립을 위한 국회와 행정부의 적극적 노력을 촉구합니다.

미세먼지 정책은 국민과 기업, 정부가 함께 만들고 실천함으로써 완성됩니다. 특히, 에너지 절약은 국민들이 생활속에서 쉽게 실천가능하면서도 미세먼지 등 각종 오염물질 배출을 줄이는 효과가 큰 분야로서 국민 모두가 동참해야 할 것입니다.

이 책이 푸른 하늘을 만들기 위해서는 우리 모두가 함께 힘을 모아야 한다는 공감대를 형성하는 데 작은 디딤돌이 되기를 희망합니다.

미세먼지특별대책위원회
맑은 하늘을 위한 5년간의 여정

www.cleanair.go.kr



제 1 장	미세먼지 정책 배경 및 체계	11
	미세먼지의 속성과 사회적 이슈화 배경	12
	미세먼지 관리체계와 주요 법·제도 발전	16
	미세먼지 전담 조직 및 기관의 설치와 운영	26
	미세먼지 관리 연구개발의 현황과 발전방향	35
제 2 장	미세먼지 대책의 정책효과와 발전방향	41
	1절 미세먼지 대책의 정책효과	
	미세먼지 대책별 감축량 및 정책효과	43
	석탄발전 분야 저감정책	54
	미세먼지 저감과 교통정책	58
	2절 미세먼지 대책의 발전방향	
	미세먼지와 오존의 통합 관리 필요성	65
	산업부문 미세먼지 관리	71
	암모니아 관리 현황과 발전방향	75
	기상·기후변화를 고려한 미세먼지 관리정책의 필요성	79
	미세먼지 관리정책의 효율성과 이행평가	82
제 3 장	미세먼지의 국민건강과 소통	89
	미세먼지 노출과 건강영향	90
	학교 미세먼지 관리	100
	미세먼지의 국민인식과 정책개선	108
제 4 장	맺는말	119

chapter



미세먼지특별대책위원회
맑은 하늘을 위한 5년간의 여정

www.cleanair.go.kr

총론

미세먼지 정책 배경 및 체계

- 미세먼지의 속성과 사회적 이슈화 배경
- 미세먼지 관리체계와 주요 법·제도 발전
- 미세먼지 전담 조직 및 기관의 설치와 운영
- 미세먼지 관리 연구개발의 현황과 발전방향

미세먼지의 속성과 사회적 이슈화 배경



1 다양한 미세먼지의 속성

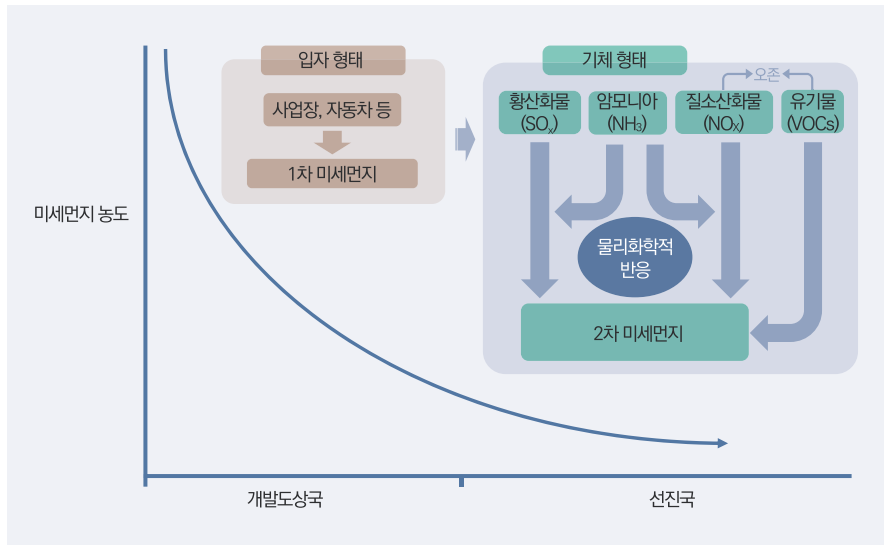
우리는 보통 미세먼지를 눈으로 볼 수 없을 만큼 매우 작고(10 마이크로미터 이하), 호흡을 통해 인체로 침투하여 다양한 질환을 일으킬 수 있는 1군 발암물질이라고 단순하게 이해하고 있다. 그런데 미세먼지는 다양하고 복잡한 속성을 지니기 때문에 대기환경 전문가도 다루기 까다로운 대기오염물질이다.

미세먼지는 산업활동(제철소, 시멘트공장 등), 일상생활(자동차, 요리 등), 자연현상(황사, 해염 등) 등에 의해 끊임없이 발생하여 우리가 호흡하는 대기 중에 항상 존재 하며, 미세먼지 농도는 경제적 수준이 반영되어 지역에 따라 큰 차이를 보인다. 이러한 미세먼지는 크게 물리적 특성(농도, 가시거리), 화학적 특성(독성, 건강) 및 생물학적 특성(미생물, 질환)을 보인다. 미세먼지 농도는 대기질 수준을 나타내는 대표적 지표로 대기환경기준의 만족여부 판단과 대기질 예보에 사용된다. 미세먼지의 화학성분은 배출원의 대기질 영향(기여도)을 추정하는 데 사용되는 중요한 정보로서 배출원 관리에 활용된다. 현재 일부 다중이용시설의 경우 박테리아와 곰팡이는 미세먼지와 함께 별도의 오염물질로 관리하고 있다. 그러나 코로나-19와 같이 팬데믹을 일으켜 일상생활에 지대한 영향을 미치는 바이러스는 아직 관리하지 못하고 있다.

대기 중으로 배출된 미세먼지는 기상의 영향을 받아 바람을 따라 이동하고, 태양이나 습기에 의해 물리화학적 반응을 겪기도 하며, 마지막으로 비에 씻기거나 중력에 의해 자연적으로 지표로 낙하하여 없어지는 과정을 거친다. 이러한 과정은 사람의 일생을

나타내는 생노병사(生老病死)와 흡사하다. <그림 1-1>과 같이 미세먼지는 사업장, 자동차 등에서 입자 형태로 직접 배출되는 1차 미세먼지와 기체 형태로 배출되어 대기 중에서 물리화학적 반응에 의해 입자로 변환되는 2차 미세먼지로 구분된다. 산업화 초기 단계인 개발도상국의 경우 1차 미세먼지가 대부분을 차지하며, 미세먼지 농도를 비교적 쉽게 낮출 수 있다. 그러나 선진국으로 산업이 고도화되면 2차 미세먼지가 오존과 함께 중요하게 다루어지고, 미세먼지 농도를 낮추려면 과학적 지식을 바탕으로 정교한 대응이 필요하다.

그림 1-1 1차와 2차 미세먼지의 구분

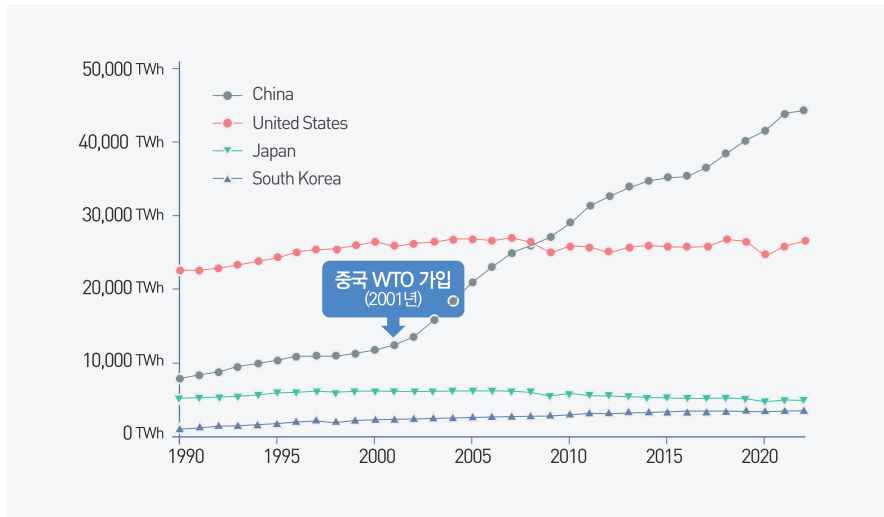


2 미세먼지의 사회적 이슈화 배경

이미 오래전부터 봄철 중국 대륙에서 발원하는 황사가 우리나라에 영향을 미쳐왔다. 그러나 전문가들이 중국에서 발생한 대기오염물질의 이동에 관심을 갖기 시작한 것은 중국 경제가 개혁개방으로 본격적인 성장을 시작한 1990년대 중반부터이다. <그림 1-2>에서 보듯이 중국이 2001년 세계무역기구(WTO)에 가입한 이후 세계의 공장으로서 자리매김하면서 막대한 에너지를 사용하였고, 결국 2009년에는 1차 에너지소비량이 미국을 추월하였다. 하지만 국내 대기환경 전문가와 환경부는 이로 인한 대기오염의 심각성을 간과함으로써 무방비 상태로 2013년 1월 중국을 중심으로 동북아 지역에서 대기오염의 대재앙을 맞이하였다.

화석 연료를 완벽하게 연소하면 이산화탄소와 수증기로 변환되어 기후변화에 영향을 미친다. 그런데 이 경우 대부분 불완전연소로 인해 미세먼지, 질소산화물, 황산화물 등 대기오염물질이 함께 생성되어 대기질을 악화시킨다. 즉, 석탄, 석유 등 화석 연료를 사용하면 이산화탄소와 미세먼지가 발생하므로, 탈화석연료 전환은 탄소중립에 기여하고 나아가 미세먼지 저감에도 효과적이다. 또한, 2013년 10월 세계보건기구 (WHO) 산하 국제암연구소(IARC)에서 미세먼지를 1군 발암물질로 지정함에 따라 세계적으로도 미세먼지의 건강 영향에 대한 관심이 고조되었다.

그림 1-2 1차 에너지소비량 추이



[자료]
Our World in Data
<https://ourworldindata.org>

당시 한국인들은 중국의 경제성장으로 한국경제에 대한 잠재적 리스크가 증가하는 상황에 더하여, 지리적으로도 향후 심각한 대기오염의 영향을 빈번하게 받을 것이라는 공포 때문에 사회적 패닉 상태에 빠지게 되었다. 그런데 한 달이 지나기도 전에 도이치 은행 홍콩지점은 중국의 투자환경이 급격하게 변화할 것에 대비하여 발간한 특별 보고서를 통해, 당시 중국의 사회경제적 상황이 1952년 런던 스모그 발생시기와 매우 유사하다고 분석하고 초미세먼지 개선을 위한 에너지구조 전환방안을 제시하였다 (Deutsche Bank AG/Hong Kong, 2013).

그러나 국내 대기환경 전문가와 환경부는 2013년 중국의 상황에 대한 객관적 진단을 내리지 못하였고, 그 결과 국민들이 수궁할 수 있는 대책을 제시하지 못하였다. 어린이

집이나 초등학교에 다니는 자녀를 둔 학부모들의 미세먼지에 대한 관심과 우려에 적절히 대응하지 못하였고, 그러던 중에 2015년 경유 자동차의 질소산화물 과다 배출로 인한 디젤게이트가 발생하였다. 또한, 2017년 ‘한-미 협력 국내 대기질 공동조사 (KORUS-AQ)’의 예비 종합보고서가 발표되면서 국내 배출원 관리의 허점이 언론에 크게 노출되어 정부에 대한 불신을 바탕으로 국민적 관심이 촉발되었다.

이에 환경부는 2016년 6월 ‘미세먼지 관리 특별대책’, 2017년 9월 ‘미세먼지 관리 종합 대책’, 2018년 11월 ‘비상·상시 미세먼지 관리 강화대책’ 등을 연이어 마련하였다. 그러나 급격하게 변한 동북아 환경을 적절하게 반영하지 못하고 과거의 연장선에서 기존 미세먼지 관리대책을 강화하는 정도로 미세먼지에 대응함으로써 국민적 공감을 얻지 못하였고, 미세먼지는 사회적 이슈로 부각되었다. 이에 따라 2017년 5월 대통령 선거, 2018년 7월 지방자치단체장 선거에서 미세먼지가 핵심 공약으로 다루어지면서 정치적 이슈로도 크게 부상하였다.

급기야 2019년에는 미세먼지가 사회재난에 포함되었다. 현재 우리나라에서 사망원인 1순위는 암이다. 1963년 원자력병원이 개원한 이래 국가적 차원에서 예방-검진-진단-치료-생존-사망에 이르는 암의 전주기 관리체계를 마련하여 운영하고 있다. 오늘날 암이 미세먼지와 달리 심각한 사회적 문제로 다루어지지 않는 것은 국가에서 국민이 안심할 수 있도록 체계적으로 관리하고 있기 때문이라고 생각된다. 이는 미세먼지 관리에 대한 국가의 역할이 무엇인지에 대해 시사하는 바가 크다.

미세먼지 관리체계와 주요 법·제도 발전



1 서론

2019년 이래 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」(이하 「특별법」)과 「미세먼지 관리 종합계획」(이하 「종합계획」)이 시행되면서 관리체계, 관련 법률, 제도 등 각 영역에서 미세먼지 정책은 일련의 진화와 발전을 거쳤다. 고농도 시기 관리체계의 도입, 평가와 환류 시스템 및 국외 정보 공유체계 구축 등 미세먼지 관리체계가 추가되거나 보완되었다. 미세먼지 관리정책의 대상 영역과 지역이 확대되면서 이른바 ‘미세먼지 8법’이 제정 또는 개정되어 정책의 집행력과 정합성이 제고됐다. 석탄발전 상한계약 등 주로 공급관리 분야에서 일련의 제도가 도입되었다.

미세먼지 관리체계는 일반적으로 미세먼지의 생애주기에 따라 구성된다. 배출, 확산, 노출 및 흡입의 미세먼지 생애주기에 대응하여 지난 4년여간 진행되어온 미세먼지 관리체계의 주요 변화는 다음과 같다.

2 미세먼지 관리체계의 진화·발전

가. 미세먼지 배출에 대한 관리체계

미세먼지 배출에 대한 관리체계는 크게 배출에 대한 과학적 증거 확보에 관한 관리체계와 미세먼지 저감에 관한 관리체제로 구성된다. 미세먼지 배출량 정보 수집·분석·관리, 미세먼지 저감 정책의 효과 분석은 과학적 증거 확보를 위한 관리체계의 핵심 가운데 하나이다. 2019년에 환경부 소속으로 국가미세먼지정보센터가 설립되어 국가 대기오염물질 배출 정보 관리위원회의 검토·심의 과정과 연동하여 배출량 정보에 대한 체계적인 산정과 검증, 정확한 원인 및 정책 효과 분석을 전담하게 되었다. 특히, 2020년부터 미세먼지

원인 규명 및 정책 효과 분석 기법으로 '국가 배출 및 대기질 평가 체계(NEAS)'를 마련하여 적용함으로써 정책 성과의 평가 및 환류를 포함한 미세먼지 배출 관련 과학적 증거 확보에 관한 관리체계가 진일보하였다.

미세먼지 저감에 관한 관리체계의 진화는 관리대상 지역의 확대와 조정을 통해 이루어졌다. 2020년부터 「권역별 대기환경관리 기본계획(2020~2024)」과 연계하여 기존의 수도권 1곳에 3곳을 추가함으로써 관리대상 지역이 중부권, 남부권, 동남권으로 확대되었다. 광역적 대기질의 영향 범위, 대기오염도, 주요 배출원 입지 등을 고려하여 전국을 4대 권역으로 구분하고 광역 차원의 대기관리권역 내에서 미세먼지 관리대책을 실행하게 되었다. 다음으로 배출원 관리 사각지대에 대한 관리체계의 개선책이 집중적으로 실시되었다. 첫째, 항만, 선박, 건설기계, 영농부산물 및 폐기물 불법소각 등에 대한 관리가 강화되었다. 둘째, 농업기계, 공항과 항공기, 축산·경종 분야 암모니아, 소규모 발전시설, 소규모 배출시설, 가정용 난방기기 등으로 관리대상 배출원을 확대하였다. 셋째, IoT, 드론 등 기술을 활용한 감시체계를 강화하는 등 관리체계를 보완하였다. 배출 허용기준은 사업장(대기오염물질 22종 기준 강화, 총탄화수소(THC) 기준 적용시설 확대, 8종 VOCs 기준 신설 등)과 경유 차량을 대상으로 강화되었다.

「종합계획」의 실행을 통해 달성하고자 하는 배출량 관리의 대상과 목표는 미세먼지 배출에 대한 관리체계가 달성해야 할 목표지표로서 위상을 갖고 있다. 2017년의 「미세먼지 관리 종합대책」은 미세먼지 국내 배출량 감축목표를 총량 기준 30%로 설정하고 부문별 감축량 목표를 달성하기 위한 관리체계였다. 이와 비교하여, 「종합계획」은 미세먼지 전체에 대한 총량 관리에서 벗어나서 2차 생성을 고려하여 오염물질별(PM_{2.5}(직접 배출), SO_x, NO_x, VOCs, NH₃)로 산업, 발전, 수송, 농업·생활 부문별 감축량 목표를 달성하기 위한 관리체계로 진화하였다.

나. 미세먼지 확산에 대한 관리체계

미세먼지 확산에 대한 관리체계는 주요하게 농도에 대한 측정, 예·경보 등 체계로 구성되며, 이는 국내 체계와 국외 체계를 함께 포괄하는 관리체계이다. 먼저 국내 체계는 측정 사각지대 해소와 입체적 측정체계의 구축 등을 통해 고도화되었다. 2020년부터는 기존의 수도권 중심의 측정망에서 탈피하여 서해 도서 지역 및 접경 지역, 비수도권 지역에 국가 및 지자체 측정소를 확충하여 전국적인 측정망을 구축하고 측정 DB의 신뢰도와

국의 유입량 추정의 정확도를 향상할 수 있게 되었다. 또한 2020년에 발사된 환경 위성인 천리안위성 2B호를 통해 국내 범위를 넘어선 아시아 지역 범위의 측정과 국외에서 유입 되는 미세먼지 기여도에 대해 지상 측정망과 연동하여 입체적인 추정이 가능한 측정 체계로 발전하였다. 국외 측정체계는 2015년 한중 양국 간 체결한 '대기질 및 황사 측정 자료 공유합의서'에 따라 구축된 중국 11개 성(직할시) 35개 도시의 6개 대기질 항목의 1시간 평균 대기질 모니터링 데이터를 전용선(FTP)으로 공유하여 국내 대기질 예보에 활용하는 체계로 운영되고 있다.

미세먼지 확산에 대한 예·경보 체계에서는 2020년부터 한국형 대기질 수치예보 모형을 개발·구축하여 모델 성능을 개선하고 인공지능을 활용하여 전국 19개 예보권역별로 3일 예측정보를 제공하는 등 예보정확도 향상을 위한 관리체계의 지속적인 발전이 추진 되었다. 국외 예보체계는 국외 측정체계와 유사하게 2019년에 한중 양국 간 체결한 '한국 환경부와 중국 생태환경부 간 대기질 예보정보 및 예보기술 교류 협력사업 방안'에 따라 중국 10개 성(직할시), 11개 도시의 일평균 대기질 지수(AQI) 범위와 주요 오염물에 관한 예보(향후 24시간, 48시간, 72시간) 정보를 공유하여 국내 대기질 예측에 활용하는 체계로 운영되고 있다. 미세먼지 예보체계는 2018년에 개정하여 2개 오염물질(PM₁₀, PM_{2.5})의 일평균 농도 가운데 높은 농도를 기준으로 좋음, 보통, 나쁨, 매우 나쁨의 4개 등급으로 구분, 전국 19개 권역을 대상으로 운영되고 있다. 미세먼지 경보체계는 2018년에 PM₁₀과 PM_{2.5}에 대한 주의보와 경보의 농도 기준을 강화하여 2019년 상반기 부터 전국 17개 시·도의 66개 권역에 발령하는 체계로 운영되고 있다.

다. 미세먼지 노출과 흡입에 대한 관리체계

미세먼지 노출과 흡입에 대한 관리체계는 고농도 발생 강도 및 빈도 완화 관리체계, 민감·취약계층 건강 보호 관리체계, 대국민 소통·홍보 관리체계 등으로 구성되어 있다. 이는 국민의 건강 보호를 위하여 미세먼지 고농도 발생의 강도와 빈도를 완화하기 위한 관리체계로서, 기존의 관리체계와 가장 큰 차이점은 「미세먼지 고농도 시기 대응 특별 대책」, 즉 '미세먼지 고농도 계절관리제'(이하, 계절관리제)의 도입이다. 계절관리제는 미세먼지 생애주기의 모든 단계를 포괄하여 연(年) 단위의 상시저감조치와 일(日) 단위의 비상저감조치와는 다른 계절(季節) 단위(4개월)의 미세먼지 저감조치로서 노출과 흡입에 관한 관리체계의 가장 대표적인 정책의 진화라고 할 수 있다. 미세먼지 고농도 시기인

12~3월에 배출원에 대한 강력한 강제 저감조치를 실시하는 계절관리제는 2019년부터 2023년까지 총 4차례 시행되었다. 관리체계의 측면에서 주요한 특징은 실행 기간에 제반 조치의 현장 실행력을 강화하기 위하여 범정부 상황관리체계를 가동한다는 점이다. 이와 함께 2019년부터 ‘초미세먼지 재난 위기관리 표준매뉴얼’을 제정하여, 계절관리제 시기에 관심, 주의, 경계, 심각의 4단계 위기경보를 시도별로 발령하고 단계별 저감조치와 국민 건강 보호조치를 실시 중이다. 또한 관계부처와 지자체가 참여하는 범정부 컨트롤타워 가동 등 고농도 초미세먼지 재난에 대한 위기관리 체계도 도입되었다.

아울러 민감·취약계층 건강 보호 관리체계를 통해 주로 민감·취약계층의 활동공간을 보호·관리하였다. 2020년부터 학교 등 시설에 공기정화설비를 설치했고, 어린이, 노인 등 취약계층 이용시설 밀집 지역에 대한 미세먼지 집중관리구역 지정, 민감계층 등의 보호를 위한 다중이용시설의 실내공기질 개선 지원, 현장 이행력 제고를 위한 점검 및 교육 등을 시행하였다. 대국민 소통·홍보 관리체계를 통해 유치원에서 일반 시민에 이르기까지 생애주기별 수요자 맞춤형 미세먼지 교육의 체계화, 소통·홍보 채널의 다양화 및 기능 고도화, 국민참여형 소통 프로그램 확대 등을 시행하여 국민과의 소통·홍보를 강화하였다.

3 미세먼지 저감 및 관리를 위한 법과 제도의 진화·발전

2019년부터 4년여 동안 「특별법」과 함께 미세먼지 관련 8개 법률이 제정 또는 개정되어 시행되고 있다. 이를 통해 노후 경유차 퇴출, 석탄발전 가동중단 등 다수의 관련 제도가 도입되었다. 정부, 기업, 시민 등이 참여하는 미세먼지 관리 거버넌스 및 심의 기구로서 국가기후환경회의와 미세먼지특별대책위원회가 설치되어 운영되었다.

가. 미세먼지 관리 법률

법률의 진화·발전은 2018년 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」(이하 「특별법」)의 제정에서 시작되었다. ‘미세먼지 8법’의 대표법률인 「특별법」은 미세먼지 관리 종합계획 및 시행계획 수립, 고농도 미세먼지 비상저감조치, 배출시설 가동 조정, 집중관리구역 지정, 미세먼지특별대책위원회 및 미세먼지개선기획단 설치, 국가기후환경정보센터 설치 등 앞에서 살펴본 미세먼지 관리체계의 주요 사항을 규정하였다.

표 1-1 미세먼지 저감 및 관리를 위한 '미세먼지 8법'의 주요 내용

법 률	기 존	변 경	제정일/시행일
미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법		<ul style="list-style-type: none"> 미세먼지 저감 및 관리의 기본법 성격의 대표법률 	2018.8.14. 2019.2.15.
대기관리권역의 대기환경 개선에 관한 특별법	<ul style="list-style-type: none"> 대기관리권역 서울·인천(응진 제외)·경기 (28개 시군) 	<ul style="list-style-type: none"> 대기관리권역 - 대기오염이 심각한 지역 및 대기오염물질 배출량이 많은 지역 생활 주변 경유차 사용금지 - 공포 4년 후부터 어린이 통학차 및 택배차 경유차 신규 사용 제한 사도별 소규모 배출원 오염행위 제한 및 방지시설 설치 명령 가능 환경부장관 인증 가정용보일러만 판매·사용 가능 	2019.4.2. 2020.4.3.
항만지역 등 대기질 개선에 관한 특별법		<ul style="list-style-type: none"> 항만대기질관리구역 지정 - 일반해역보다 황함유량 기준 강화, 저속운항 해역 지정 하역장비 배출가스 허용기준 신설 노후경유차 운행제한 가능 육상전원공급설비 설치 의무화 	2019.4.2. 2020.1.1.
대기환경 보전법	<ul style="list-style-type: none"> 자동차판매사의 저공해차 보급·구매 및 정부·지자체·공공기관의 저공해차 신차·임차 의무 - 수도권 대기관리권역 내 한정 TMS 측정결과 연 1회 공개 	<ul style="list-style-type: none"> 자동차판매사의 저공해차 보급·구매 및 정부·지자체·공공기관의 저공해차 신차·임차 의무 전국으로 확대 배출가스 관련 부품 임의조작 금지 - 배출가스 관련 부품 탈거 훼손·해체 및 요소수 미사용 등 기능·성능 저하 행위 노후건설기계 저공해조치명령 및 조기 폐차 권고 근거 마련 TMS 측정결과 실시간 공개 	2019.4.2. 2020.1.1.
학교 보건법	<ul style="list-style-type: none"> 교실 내 공기질 점검 - 매년 1회 이상 공기질 점검 	<ul style="list-style-type: none"> 교실 내 공기정화설비 및 미세먼지 측정기 설치 의무화 교실 내 공기질 점검 - 반기별 1회 이상 공기질 점검, 매년 1회 이상 공기질 측정장비 점검, 학교운영위원회 위원 또는 학부모 요청시 참관 허용 	2019.4.2. 2019.7.3.

법 률	기 준	변 경	제정일/시행일
실내공기질 관리법	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 법 적용대상 - 다중이용시설 (가정·협동 어린이집, 실내 어린이 놀이 시설 미적용) ▶ 지하역사 공기질 측정기 부착/대중교통차량공기질 측정/유지기준 초과 공개 (권고) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 법 적용대상 확대 - 가정·협동 어린이집, 실내 어린이 놀이 시설 추가 ※ 어린이임신부노인 등 민감계층 이용시설은 일반시설 보다 엄격한 관리기준 적용 ▶ 지하역사 공기질 측정기 부착/대중교통 차량 공기질 측정/유지기준 초과 공개 의무화 	2019.4.2. 2020.4.3.
재난 및 안전관리 기본법		▶ 사회재난에 미세먼지 추가	2019.3.26.
액화석유가스 (LPG)의 안전관리 및 사업법	▶ 액화석유가스 연료 사용제한 규정	▶ 액화석유가스의 연료사용제한 규정 삭제	2019.3.26.

[자료]
환경부 보도자료(2019.3.26),
법제처 국가법령정보센터
홈페이지(2023).

「특별법」은 시행령, 시행규칙 및 행정규칙(배출시설, 간이측정기, 측정망 등)과 함께 17개 광역지자체의 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 조례’로 구성된 자체적인 법령체계를 갖추어 전국 및 지자체 차원에서 시행되고 있다. 또한 2018년부터 2019년까지 ‘미세먼지 8법’으로 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」과 「항만지역 등 대기질 개선에 관한 특별법」이 제정됐으며, 「대기환경보전법」, 「학교보건법」, 「실내공기질관리법」, 「재난 및 안전관리 기본법」, 「액화석유가스(LPG)의 안전관리 및 사업법」의 5개 법률이 개정되었다.

나. 미세먼지 관리제도

제도는 일반적으로 미세먼지를 배출하는 오염원에 대한 공급관리 제도와 수요관리 제도로 나뉜다. 지난 4년여간 「종합계획」의 실행을 통해 규제와 지원을 병행하여 공급 관리에 초점을 두고 다양한 제도가 시행되었다.

공급관리 측면에서 시행되고 있는 주요한 미세먼지 관리제도는 다음과 같다. 첫째, 석탄 발전에 대한 가동정지와 가동률 80%의 상한제약 조치는 이번 「종합계획」에서 대표적인 미세먼지 관리제도 가운데 하나이다. 이러한 석탄발전에 대한 상시 관리제도는 계절 관리제의 핵심 조치로서 2019년부터 지속해서 확대 시행되고 있으며, 매년 미세먼지 배출량 저감에 주요한 역할을 하고 있는 것으로 보고되고 있다. 둘째, 노후 차량 운행 제한 및 조기 퇴출, 국가 예산을 활용하여 보조금 지원을 통한 노후 경유차 퇴출 및 저공해차

보급목표제 실시 등 조치는 수송부문에서 실시되고 있는 미세먼지 관리제도이다. 수송 부문 공급관리 제도도 「종합계획」에서 역점을 두고 추진한 핵심과제로서 전기·수소차 등 친환경차 등록대수 증가와 경유자동차 감소에 따른 미세먼지 감축 효과가 나타나고 있는 것으로 밝혀졌다. 셋째, 확대된 대기관리권역별 미세먼지 총량관리제 및 사업장에 대한 TMS와 IoT를 통한 원격감시는 산업부문에서 실시하고 있는 주요한 미세먼지 관리 제도이다. 특히, 사각지대에 놓여 있던 4·5종 소규모 사업장에 대해 IoT 센서를 부착하여 원격감시를 실시함으로써 권역별 총량관리제의 실효성을 제고시키는 기반을 구축하는 등 산업부문에서 미세먼지 관리제도가 확대되었다.

공급관리 측면과는 달리 세제, 가격신호 등 수요관리 측면에서 시행되고 있는 미세먼지 관리제도는 많지 않다. 이번 「종합계획」에서 미세먼지 배출원에 대한 수요 관리는 2018년 미세먼지 관련 환경비용을 반영한 개별소비세법의 개정을 통해 유연탄은 kg 당 36원에서 46원으로 높이고, LNG는 91.4원에서 23원 낮추는 발전연료의 세제를 개편한 것이 거의 유일하다.

다. 미세먼지 관리 거버넌스

「종합계획」의 실행 초기인 2019년 미세먼지 관리 거버넌스 체계는 범정부 부처가 참여한 민관합동의 ‘미세먼지특별대책위원회’와 ‘국가기후환경회의’로 이원화하여 구축되었다. 국민의견 수렴기구인 국가기후환경회의는 국민정책참여단 464명의 명의로 단기 핵심 과제와 중장기 정책과제를 담은 「국민이 만든 미세먼지 대책: 국가기후환경회의의 국민정책 제안」을 제출한 바 있다. 국무총리 소속의 미세먼지특별대책위원회는 미세먼지 관리 종합계획 수립과 시행계획 추진실적의 점검·평가 등을 위한 민관합동 심의기구로서 2019년 2월 출범하였으며, 민관합동 전체회의, 분과위원회 회의 및 현장점검 등 활동을 전개해왔다.

가. 미세먼지 관리의 흐름과 정책체계 발전방향에 대한 제언

미세먼지 관리정책을 효율적으로 수립하여 추진하기 위해서는 정책의 ‘추진 체계’를 정립하고 이 체계의 관점에서 접근할 필요가 있다. 정책추진 체계를 구성하는 일반적인 방법은 미세먼지의 생애주기에 따라 구성하는 것이다. 미세먼지는 <표 1-2>과 같이 배출원에서 배출된 후, 대기 중의 농도로 표현되며, 미세먼지 농도에 따라 인체의 건강에

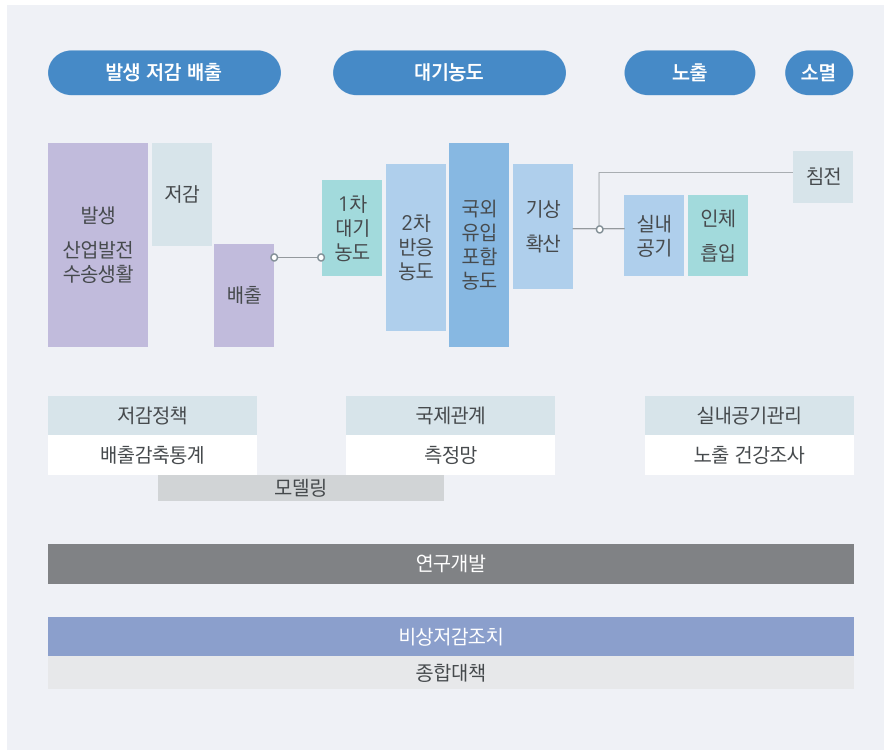
영향을 미친다. 먼저, 미세먼지는 산업, 발전, 수송, 생활 등 분야에서 생산 및 소비 활동 과정을 통해 대기 중으로 배출된다. 이어서 대기 중에서 바람, 온도, 혼합고 등의 영향을 받으며 확산한다. 사람들은 실외에서는 대기 중 미세먼지를 흡입하고, 실내에서는 다시 실내공기 관리의 영향을 받으면서 미세먼지를 흡입한다.

표 1-2 미세먼지 관리의 흐름

생애주기	배출	대기확산	인체노출
활동(Activity)	산업, 수송 등 생산 저감	기상 정체 확산 국외 유입	실내공기관리 마스크착용 등
계량(Account)	배출량	대기농도	흡입농도/양

이러한 미세먼지의 생애주기를 정책차원에서 살펴보면 사람 또는 자연의 활동이라는 관점과 이를 추적하여 계량적으로 관리하는 관점으로 나누어 볼 수 있다. 활동의 관점이란 사람들이 생산 및 소비과정에서 발생한 미세먼지의 배출량을 줄이기 위해 수행하는 저감활동, 흡입 및 노출을 줄이기 위한 활동을 말한다. 자연 활동은 국외유입 또는 기상 현상에 의한 정체, 확산 등을 말한다. 계량의 관점이란 미세먼지 발생원과 발생량 및 저감량을 수치로 재고 알아가는 과정이다. 미세먼지 관리의 생애주기와 이에 대응하는 활동 또는 계량적 관점에서 실제 미세먼지 관리의 주요 정책을 구체적으로 연결하여 나타낸 것이 <그림 1-3>이다.

그림 1-3 미세먼지 관리의 흐름



미세먼지 관리 주요 정책을 활동 관점에서 보면 배출관리정책, 저감정책, 국제관계, 실내 공기관리 등으로 구성된다. 이를 계량적 관점에서 보면 배출 저감 통계, 측정망에 의한 농도 추적, 노출 조사, 흡입량 조사 등으로 구분할 수 있다. 그리고 배출과 농도를 연결 하여 농도를 추정하기 위한 과정이 배출-농도추정 모델링이다. 농도와 건강을 연결하기 위한 과정은 배출량, 측정망, 기상, 국외유입 등을 고려하여 장단기 미세먼지 농도를 예상하여 알리는 예보 활동이다. 이런 활동과 계량, 연결의 관점에서 정책을 종합적으로 집대성하여 정책계획을 수립한 것이 미세먼지 관리 종합대책이다.

이런 정책 체계를 구축하여 접근하는 방법론은 주요정책 추진 과정에서 자원배분의 편중이나 결여를 예방할 수 있고, 효과적인 평가와 대안 정책을 발굴할 수 있게 하며, 미세먼지 관리 법률의 체계정시 구조화를 가능하게 하는 등의 정책적 효용성을 바탕으로 정책형성 및 평가, 환류의 주요한 틀을 제공한다. 달리 말하면 최소의 노력으로 최대의 정책효과를 거둘 수 있다는 것이다. 미세먼지 관리정책은 종합정책이든 단위 정책이든 모두 이런 체계에 대한 이해에 기반해서 수립 추진되어야 한다는 점을 제안한다.

나. 미세먼지 관리체계 및 법과 제도의 보완방안에 대한 제언

여기에서는 앞에서 살펴본 현행 미세먼지 관리체계와 법 및 제도에 대한 검토를 바탕으로 향후 보완방안에 대하여 몇 가지 구체적인 제언을 하고자 한다.

첫째, 현재 활용하고 있는 미세먼지 원인 규명 및 정책 효과 분석 기법은 ‘국가 배출 및 대기질 평가 체계(NEAS)’인데, 여기에 정책의 비용 효과 분석을 포함하여 평가와 환류 체계를 제대로 작동시키고 효과적인 정책 대안을 발굴하는 관리체계로 발전시킬 필요가 있다. 둘째, 현행 배출량 감축과 농도 저감을 중심으로 설정한 목표에서 한 단계 나아가 미세먼지에 노출된 수용체 보호에 관한 목표를 검토할 필요가 있다. 셋째, 측정과 예·경보 체계의 운영에 AI, 드론, 인공위성 등 최신 과학기술과 설비를 적극적으로 활용하여 정확도 및 신뢰도를 향상해야 할 것이다.

다음으로 미세먼지 정책의 집행력, 정합성, 효과성 제고를 위한 현행 법과 제도, 그리고 거버넌스의 지속적인 개선과 보완이 필요하다. 이는 미세먼지 정책에 대한 국민의 신뢰와 지지를 확보하여 정책의 지속가능성과 발전을 담보한다는 점에서 중요하다. 현행 법과 제도 및 거버넌스의 발전방향으로 다음의 각 사항을 제안하고자 한다.

첫째, 향후 미세먼지 상태, 사회경제적 여건 및 정책 수요 등의 변화를 면밀하게 고려하여 현행 「특별법」의 주요 내용을 기존의 대기환경 관련 법에 통합하여 발전시키는 방안을 신중하게 검토할 것을 제안한다. 둘째, 현행 공급관리 위주로 되어 있는 관리제도에서 탈피하여 국민의 행위변화를 통해 미세먼지를 해결하는 수요관리 제도를 적극적으로 도입할 필요가 있다. 특히, 국가 재정부담 경감과 오염자부담원칙의 적용을 위해서도 상당수 재정투입에 의존하고 있는 현행 공급관리 위주의 정책은 변화가 필요하다. 셋째, 국내외 대기환경 정책이 탄소중립 정책과 통합되거나 수렴되는 추세를 고려하여 탄소중립 정책에서 추진하고 있는 제도와 연계함으로써 미세먼지와 온실가스 감축의 공편익(co-benefits)을 확보하는 통합 관리제도를 마련하여 시행해야 할 것이다. 넷째, 다양한 부처와 이해당사자가 관련된 미세먼지 저감과 관리정책의 효율적인 추진을 위해 민관이 참여하는 거버넌스 기구의 유지를 원칙으로 하여 실현 가능한 방안을 다양하게 모색할 필요가 있다.

미세먼지 전담 조직 및 기관의 설치와 운영



1 머리글

「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」시행 이래 미세먼지 관리에서 나타난 가장 큰 변화는 범부처의 업무를 관리하는 전담 조직과 미세먼지 정보 및 정책 효과를 관리하고 평가하는 전담 기관이 설치, 운영되었다는 점이다. 범부처 업무를 관리하는 전담조직으로 국무총리실 산하에 미세먼지개선기획단이 설치되었다. 미세먼지 정보 및 정책효과를 관리하고 평가하는 전담 기관으로는 환경부 소속 국가미세먼지정보센터가 운영되고 있다.

2 미세먼지개선 기획단 주요 활동 및 성과

가. 미세먼지개선기획단 설치 목적 및 현황

미세먼지개선기획단은 미세먼지 저감 및 관리의 원활한 추진과 미세먼지특별대책위원회 사무 및 운영의 효율적인 지원을 위하여 설치되었다. 법적 근거는 미세먼지특별법 제 12조(국무총리 소속 미세먼지개선기획단 설치)에 두고 있으며, 미세먼지특별대책위원회 사무국으로서의 성격을 가진다. 존속기한은 5년('19.2.15~'24.2.14 법 부칙 제2조)으로 미세먼지특별대책위원회와 동일하다. 국무조정실 직제에 반영되었으며, 국무조정실의 사회조정실장이 단장을 겸하고, 부단장(고위공무원)을 포함한 현 기준('24.1월) 정원/현원은 모두 17명이다. 미세먼지개선기획단의 조직은 기획총괄과, 미세먼지저감과, 국민보호·소통과 등 3과로 구성되며 각 과의 역할은 다음과 같다.

기획총괄과는 미세먼지 관리 종합계획 수립·이행점검 관리, 예보·통계·R&D 등 정책 기반 관리, 한중 공동연구 및 협력사업 관리·동북아 협력 및 협약 체결 대응 등 국제협력 총괄 조정, 미세먼지특별대책위원회 운영 등을 수행한다. 미세먼지저감과의 역할은, 발전소 섯다운·상한제약, 권역별 배출허용기준 관리 등 발전·산업부문 정책 관리 조정, 노후 경유차 퇴출 추진, 친환경차 보급, 선박·항만 미세먼지 저감 대책 추진 점검, 공사장 비산먼지 저감 등 수송, 생활 부문 정책 관리 조정 등이다. 국민보호·소통과는 지자체 시행계획 수립 지원 등 지자체 협력 및 정책 조정 추진, 실내 공기질 관리 등 취약계층 보호, 고농도 미세먼지 비상저감조치 관리, 정책홍보, 국민 교육, 언론대응 총괄 등의 역할을 담당한다.

나. 미세먼지개선기획단 운영 실적

1) 미세먼지 특별대책위원회의 출범 및 운영

미세먼지특별대책위원회가 미세먼지 관리정책의 의제발굴부터 대책, 이행평가까지 미세먼지 관련 정책 전반을 조율하는 범부처 컨트롤타워 역할을 차질없이 수행할 수 있도록 위원회의 운영계획을 수립하고, 미세먼지 관련 주요 정책 심의 및 국민건강 관리·대국민 홍보 등의 정책사항 추진을 지원하였다. 미세먼지특별대책위원회의 본회의는 총 12회 개최되었으며, 이 중 국무총리 주재 본회의는 7회, 민간위원장 주재 본회의는 5회였다. 본회의 상정 전 사전적 정책 협의를 위하여 민간위원 전체회의 21회, 분과위원회 50회(23.12월 기준)를 지원함으로써, 위원회가 심도있는 미세먼지 저감 정책의 조정기능을 원활히 수행할 수 있도록 뒷받침하였다.

표 1-3 미세먼지특별대책위원회 개최 현황('19~'23)

구분	회수(일자)	안 건 명	비고
2019	제1차(2.15)	▶ 미세먼지 대책 중점 추진계획 ▶미특위 운영계획	국무총리 주재
	제2차(6.28)	▶ 대기오염물질 배출 사업장 관리대책 ▶항만·선박분야 저감방안 ▶ 농업·농촌분야 저감방안 ▶ 실내공기질 관리방안	국무총리 주재
	제3차(11.1)	▶ 미세먼지 관리 종합계획('20~'24) ▶ 고농도 시기 대응 특별대책 ▶ 지자체 고농도 시기 특별대책 이행계획(서울시·충남도)	국무총리 주재
2020	제4차(11.2)	▶ 제2차 미세먼지 계절관리제 시행계획 ▶ 미세먼지 대책 추진현황과 향후 개선방향 ▶ 지자체 고농도 시기 특별대책 이행계획(충남도·평택시)	국무총리 주재
2021	제5차(7.8)	▶ 미특위 운영세칙 개정(당연직 대리참석 규정 보완)	민간위원장 주재
	제6차(8.27)	▶ '20 종합계획 추진실적 평가	민간위원장 주재
	제7차(11.29)	▶ 제3차 미세먼지 계절관리제 시행계획	국무총리 주재
2022	제8차(3.20)	▶ 미특위 운영세칙 개정(분과위 개편)	민간위원장 주재
	제9차(10.26)	▶ 종합계획 추진실적 중간 평가	민간위원장 주재
	제10차(11.25)	▶ 제4차 미세먼지 계절관리제 시행계획	국무총리 주재
2023	제11차(11.24)	▶ 제5차 미세먼지 계절관리제 시행계획	국무총리 주재
	제12차(12.1)	▶ 종합계획 '22년 추진실적 평가 ▶ 종합계획 시도 시행계획 추진실적 종합평가	민간위원장 주재

[자료] 미세먼지개선기획단(2023)

2) 미세먼지 관리 종합계획(2020-2024) 수립 및 이행점검 추진

미세먼지법 제7조(미세먼지관리종합계획의 수립등)에 의거하여 미세먼지 농도 개선 목표 및 기본 방향, 분야별·단계별 대책, 취약계층 보호 등 5개년 「미세먼지 관리 종합계획('20~'24)」을 마련하였다. 이에 따라 구체적인 미세먼지 농도 개선 목표를 설정하고, 4대 분야(국내배출 감축, 국민건강, 국제협력, 정책기반 소통) 및 15대 중점 추진과제를 선정하여 범부처 종합계획이 실시될 수 있도록 하였다.

또한, 종합계획의 차질 없는 이행으로 목표한 정책효과 달성을 가능케 하기 위해 종합계획에 반영된 과제(17개 부처 36개 과제-97개 세부과제)에 대한 연도별·분기별 이행계획을 수립하고, 과제별 계획 이행 여부를 정기적으로 점검하였으며 지연 과제는 지연 사유 및 개선 방안 등을 검토하여 정상추진될 수 있도록 독려하였다.

표 1-4

미세먼지 관리 종합계획 과제(36개) 주요 성과(~22년)

부문	과제명	주요성과
산업	① 미세먼지 다량배출지역 대기관리권역으로 엄격 관리	시·도 대기환경관리 시행계획 평가, 분기별 추진현황 점검 등 권역별 대기관리체계 점검·개선
	② 사업장 오염물질 배출기준 강화 및 관리체계 재정비	대기오염물질 배출허용기준 강화 및 질소산화물 대기배출부과금 부과(20.1~), 사업장 통합허가 추진(718개소), 자가측정 대행업체 능력 평가 추진
	③ 사업장 배출관리실태 감시·단속 강화	소규모 사업장 사물인터넷(LoT) 부착 의무화, 드론 등 첨단장비 활용 특별점검 및 민간감시단 운영을 통한 미세먼지 불법 과다배출 예방 및 감시
	④ 사업장 환경관리 강화를 위한 지원 확대	소규모 사업장 방지시설 설치지원(12천개소) 및 시설개선 비용 융자지원
도로	⑤ 노후경유차 퇴출 가속화	노후조기폐차(60.9만대), 1톤 화물차(3.1만대), 어린이통학차량(0.9만대), 매연저감장치DPF(22만대), 4등급 차량 조기폐차 시범사업 추진방안 마련 및 6개 특·광역시 노후차량 운행제한을 위한 조례 개정 추진
	⑥ 운행차 검사관리 강화	민간검사소상시 모니터링 및 상·하반기 합동특별점검, 이륜차 민간검사소 확대(439개소) 및 정비 사각지대출장검사 서비스 지원(186개소)
	⑦ 신규 경유차 수요 억제	「대기환경보전법 시행규칙」개정·시행으로 자동차 배출가스 인증 시 실제로 배출허용기준 강화
	⑧ 저공해차 보급 확대	무공해차보급(총 누적43.2만대) 중 전기차(누적40.2만대), 수소차(누적 3.0만대), 공공부문 저공해차 의무구매 실적 강화, 전기차 급속충전기 구축(누적2.1만기), 급속충전기 고장률 1% 미만 유지 목표 달성, 수소충전소 설치(누적229기)
	⑨ 대중교통 편의 증진	광역급행버스(M버스) 노선 신설·개통(2개), 간선급행버스(BRT, S-BRT) 사업 정상 추진(5개), 알뜰교통카드 도입(48.7만) 및 사업지역 확대(163개소)
	⑩ 교통수요 관리 강화	국도 및 지자체 지능형교통시스템(ITS) 구축, 자전거도로 사업추진(누적 146.4km), 철도 화물전환(누적674백만톤km), 화물차 해운전환 사업(누적283만km)
비도로	⑪ 선박 배출 미세먼지 저감	선박연료 황함유량 기준을 강화하여 황산화물 배출 규제(3.5%→0.5%, 배출규제해역은 0.1%/ 외항선박→전체선박) / 선박 운항속도 저감을 위해 저속운항해역 지정·운영(참여율 30%→68%)
	⑫ 항만 미세먼지 감축	공공 민간 분야 환경친화적 선박 전환 확대(관공선 환경친화선박 의무화, 민간 수요 창출을 위한 맞춤형 지원), 하역장비 LNG 연료전환(160대) 및 DPF 부착(351대) 등으로 친환경 장비 전환, 육상전원공급설비(AMP)로 친환경 항만 인프라 구축
	⑬ 건설·농업기계 관리 강화	관급 민간공사장 노후건설기계 사용제한 현장점검(1,986개소), 노후 농업기계 조기폐차(3,200대), 건설기계 엔진교체(4,911대), 건설기계 배출가스 모니터링 및 원동기 제작사별 배출가스 배출량 조사
	⑭ 공항 미세먼지 저감 추진	공항 대기개선계획 이행상황 점검(11곳) 및 이행실적 수집(10곳), 항공기 노후 지상전원공급장치AC-GPS 제작(38대)·교체(53대), 공항특수차량 배출가스 점검(인천 408대, 김포 589대, 김해 123대, 제주 260대)

부문	과제명	주요성과
발전	⑮ 석탄화력 미세먼지 저감 추진	계절관리제 기간 석탄화력발전소 가동정지 및 상한계약(최대 출력을 80%로 제한 운영)을 실시, 이를 통해 4차 계절관리제 기간동안 석탄 발전소 부문 미세먼지 배출량을 제도 시행전 대비 절반 이하(57.2%)로 감소
	⑯ 친환경 에너지 전환 및 사각지대 관리 강화	자기발전 도서지역의 노후한 디젤발전기를 태양광 등 재생에너지로 전환 (6개 도서), 하이브리드 시스템 도입(9개, ESS 등 설치), 대기오염물질 배출 저감 설비 도입(3개) 등 추진
농업 농촌 및 생활	⑰ 영농폐기물 불법소각 방지	영농폐기물 집중 수거, 불법소각 계도·단속, 영농폐비닐 수거보상금 지급, 공동 집하장 설치(누적9,8천개소), 영농잔재물 적정처리 가이드라인 제작·배포, 파쇄기 지원 사업 등 계획 이행
	⑱ 축산·경종분야 암모니아 관리 강화	퇴비 부숙도 의무화 시행('21.3) 및 기술 지도, 사물인터넷(CT) 활용 암모니아 상시 모니터링 체계구축(누적635개소), 깨끗한 축산농장 지정(누적5,586개소 지정)
	⑲ 도심 난방시설 미세먼지 저감	가정용 친환경 보일러 보급(누적37.4만대), 친환경 보일러 인증시스템 구축·운영('21), 미세먼지 집중관리도로 확대(495개도로, 2,003km) 도로 청소 강화, 친환경 도로청소차 보급(누적688대), 계절관리제 기간 건설 공사장 자발적 협약 참여(최대 767개소/년)
	⑳ 생활 속 소규모 배출원 관리 강화	주유소 유증기 회수설비 설치(누적877개) 및 기술 지원(누적371개), 오존 취약시기 특별 점검 및 도로 휘발성유기화합물VOCs 함유기준 점검 (7개 유역청, 약250개소/년)
	㉑ 도심 내 Eco-인프라 확충 및 '생활권 숲' 조성·관리	도시숲 체계적 조성관리를 위한 「도시숲법」 제정('20), 공공건축물 대상 도시 소생태계 조성, 도시생태축 복원 등 추진
국제	㉒ 한·중 양자협력 및 공동 대응 강화	청천계획 수립·이행, 계절관리제 전 과정 공조 등 다양한 외교 채널을 통한 미세먼지 대응 양자협력 강화
	㉓ 동북아시아 및 국제사회와의 공조 노력 강화	동북아시아가, 국제기구 등과 연구사업 및 행사 추진을 통해 대기오염 공동대응 인식 제고 및 국제협력 기반 강화
국민 건강 보호	㉔ 민감·취약계층 활동공간 보호 관리	집중관리구역 지정('20. 36개소 → '21. 45개소 → '22.52개소)
	㉕ 민감·취약계층 건강보호 현장 이행 강화	전국 학교 교실 공기청정기 배치 완료(~'20.) 및 학교 공기질 정기 측정 실시 (연 2회, '21.~) 민감계층 이용시설 실내공기질 컨설팅(연 200개소), 다중이용시설 특별 점검(연 4,500개소 내외), 민감계층 이용시설(학교, 어린이집 등) 자체·현장점검 등
	㉖ 고농도 미세먼지 대응	초미세먼지 재난 위기관리 표준매뉴얼 제정, 비상저감조치 시행 ('20년 7일, '21년 8일, '22년 3일), 비상저감조치 지자체 모의훈련 및 종합평가 실시 (매년), 예비저감조치 시행 확대(수도권 → 전국), 고농도 미세먼지 조기 예보 강화
	㉗ 미세먼지에 대한 국민 건강 보호 지원	저소득층 미세먼지 마스크 지원('20. 1억 2천만 장) 육외근로자 미세먼지 마스크 지원 ('19. 415만개 → '20. 470만개 → '22. 416만개), 미세먼지 취약사업장 가이드 배포 및 교육(연 7,600여개소)
	㉘ 실내공기질 관리 강화	공기정화설비 표준(KSB6141, KSB6879) 제정('20) 지하역사 공기정화설비 확대(10,114대 ~'22.) 및 초미세먼지 측정결과 공개 등 관리

부문	과제명	주요성과
정책 인프라 구축 및 소통 홍보	㉔ 측정 사각지대 해소 및 신뢰도 높은 측정 DB 구축	대기오염측정망 구축(중앙 267개, 지자체 652개) 및 관측 지속(환경위성 자료 검증, 고농도시 항공관측 지속, 국제 대기질 공동조사 캠페인 진행)
	㉕ 국민 알권리 충족에 부합하는 예보 및 정보제공	시 대기질 예측시스템 기반 구축 추진, 금속성분 측정결과 공개확대 추진 (총 10개소)
정책 인프라	㉖ 통계관리 기반 구축 및 원인규명 강화	연구관리센터 운영(4개소), 배출량 통계관리 기반구축 및 국가 배출 및 대기질 평가 체계(NEAS) 마련 및 운영
	㉗ 미세먼지 대응력 제고를 위한 R&D 강화	미세먼지 해결 중장기 기술개발, 사각지대 해소와 취약계층 건강보호 조치 관련 실증기술개발 및 배출원별 특성화 R&D 추진, 전시회, 간담회 개최를 통한 미세먼지 대응 연구성과 공유
	㉘ 미세먼지 저감 신기술 제품 판로 및 인증체계 구축	미세먼지 저감 혁신 시제품 시범구매 실시('20년 완료), 미세먼지 저감 '레인지 후드' 환경표지 인증기준(안) 마련
	㉙ 취약·특정계층 대상 교육 확대	대국민 미세먼지 교육(계층별, 교사, 임산부 등) 및 홍보 접점 확대, 다양한 참여·체험 프로그램 시행
	㉚ 대국민 홍보접점 확대	미세먼지 종합포털 구축, 미세먼지연구관리센터 정보 연계 다양한 매체 활용 미세먼지 정책 홍보 추진
	㉛ 국민참여 확산 및 소통 프로그램 운영	일반국민·민간단체 미세먼지 참여사업, 미세먼지 리빙랩 콘텐츠 개발 및 운영('21년~)

[자료]
미세먼지개선기획단(2023)

3) 고농도 미세먼지 대응 및 계절관리제 이행점검 실시

고농도 미세먼지 발생시 미세먼지개선기획단은 관계 기관 긴급점검회의를 개최하여 비상저감조치 사전점검, 범정부적 대응 지시 등을 추진하였다. 고농도 미세먼지 지속 시 위기경보 발령 수준(관심-주의-경계-심각)에 따라 비상저감조치 등 단계별 대응 수준 강화방안을 마련('19.10월)하기도 하였다.

또한 국가기후환경회의의 미세먼지 계절관리제 국민 정책제안('19.9.30)을 검토하여, 「미세먼지 고농도 시기('19.12월~'20.3월) 대응 특별대책」('19.11월)을 수립하였다. 이에 따라 연도별 고농도 미세먼지 시기(12월~3월)마다 계절관리제를 시행하여 고농도 미세먼지 저감을 위해 노력하였다. 계절관리제 기간에는 범정부 총괄점검팀을 운영하여 이행상황을 일일 및 주간으로 점검하고 필요시 보완방안을 마련하여 현장 이행력을 제고 하였다.

가. 미세먼지 관리 전담기관 설립의 배경과 경과

미세먼지 관리를 위한 다양한 정책을 추진하였으나 정책 핵심자료인 배출량의 정확성에 대한 지적은 지속적으로 발생하였다. 배출량은 미세먼지 원인분석의 기초자료로서 대책 수립·추진·평가의 근거가 되므로 배출량 조사의 부정확성은 정책실효도 저하로 이어졌다. 원인 물질, 배출원, 배출계수 등 배출량에 대한 부실한 기초자료를 체계적으로 산정·검증·관리하기 위한 전담 조직의 필요성이 더욱 커짐에 따라 국가미세먼지정보센터의 신속한 설립에 대한 대내·외 요구도 급증하였다.

이에 환경부는 2018년 국회 미세먼지특별위원회에 국가미세먼지정보센터 설치 추진 계획을 보고하였으며, 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(이하 미세먼지법)」 제정(18.8.14)으로 그 설치 근거가 마련되었다. 총리실·행정안전부·환경부 등 관계부처 간 지속적인 협의와 노력으로 센터 입지를 충청북도 오송으로 확정하고, 2019년 12월 「환경부와 그 소속기관 직제」 시행(19.8.27)에 따라 정책지원팀과 배출량조사팀 등 1센터 2팀 19명과 전문연구원 38명으로 구성된 국가미세먼지정보센터가 오송에 설립되었다.

나. 국가미세먼지정보센터의 기능 및 역할

국가미세먼지정보센터는 미세먼지 관리정책 추진체계의 과학적 기반을 구축하는 중추적인 역할을 수행하고 있다. 미세먼지 관리정책을 효과적으로 수립하고 이행하기 위해서는 국가 대기오염물질 배출량 수준에 대한 정확한 이해가 선행되어야 한다. 이에 국가 배출량 산정 정확도 제고를 위한 “국가 대기오염물질 배출량 개선연구 로드맵(20~24)”을 수립하여 노후 배출계수 현행화, 누락 배출원 발굴, 활동도 개선 등의 연구를 체계적으로 수행하고 있다.

국가 대기오염물질 배출량 통계는 대기정책지원시스템(CAPSS)을 이용하여 매년 발전·산업·수송·생활 부문에 걸쳐 작성된다. 배출량 통계에 근거하여 물질별, 지역별 주요 배출원 및 배출 형태의 수준을 파악하고 있으며, 이는 다양한 미세먼지 관리정책 시행계획 수립 시 저감량 및 미세먼지 관리정책을 평가하는 필수적인 기초자료가 된다. 국내 주요 배출부문인 사업장 부문은 대기배출원관리시스템(SEMS)을 운영하여 배출업소별 운영 기록을 수집함으로써 국내 배출 감축 정책을 위한 기초 통계를 구축하고 있다.

국가미세먼지정보센터는 미세먼지를 관리하기 위한 각종 정책의 계획을 수립하는 단계

부터 정책 이행에 따른 배출 감축량 및 대기질 개선 효과를 분석하는 역할을 수행하고 있다. 정책 수립 단계에서 대책별 대기오염물질 배출 감축량을 산정하여 정량적인 정책 목표를 제시하며, 정책 이행단계에서는 이행 실적에 따른 배출 감축량을 산정함으로써 이행률을 평가하고 있다. 정책 이행 완료 단계에서는 대기질 미세먼지 농도에 영향을 미치는 기상여건, 국외 미세먼지 유입 상황 등을 종합적으로 고려하여 국내 대기질 농도 변화에 대한 미세먼지 관리정책 시행의 효과를 정량적으로 평가한다. 즉, 국가미세먼지 정보센터는 미세먼지 관리정책의 정량적 평가체계를 통해 정책의 과학적 기반을 마련하고 실효성을 높일 수 있는 지표를 제시하고 있다.

국가미세먼지정보센터는 개소(2019.12월) 이후 배출 감축량 산정방법을 마련하고 고도화하여 미세먼지 관리 종합계획, 제1~4차 미세먼지 계절관리제, 제3차 대기환경개선계획 등 다양한 미세먼지 관리정책을 지원해왔다. 범부처 합동계획인 미세먼지 관리 종합계획(20~24년)의 경우 연도별·분기별 이행계획을 수립하고 과제별 이행여부 실적점검에 따른 배출 감축량 및 대기질 개선효과를 산정하고 평가한다. 17개 부처 36개 과제(97개 세부과제) 중 정량적으로 이행평가가 가능한 과제를 선정하고, 정책 시행에 따른 대기오염물질(PM_{2.5}, SO_x, NO_x, VOCs) 배출 감축량과 대기질 농도 개선 목표를 산정하여 정량적으로 제시하였다. 정책이 시행되는 5년동안 정책이 계획대로 이행되고 있는지 매년 추진 실적을 정량적으로 평가하며, 실제로 '20~'22년 추진실적 정량평가를 수행하였다. 이는 정책이 계획대로 진행되었는지 여부와 목표 달성율을 정량적으로 제시함으로써 다음연도 정책의 방향을 점검할 수 있는 필수적인 자료가 된다.

정책시행을 통한 배출 감축량 및 대기질 농도 개선에 대한 정량적 평가는 미세먼지 관리 정책의 실효성을 높이는 데 매우 중요한 기초자료가 되며, 정부의 미세먼지 감축 노력과 국민들이 동참한 노력의 결과를 정량적으로 제시함으로써 정책의 긍정적인 환류체계 구축에 기여하고 있다.

다. 국가 미세먼지 관리정책 시행효과 평가의 발전방향

미세먼지 관리정책의 실효성을 제고하기 위해서는 정책의 수립단계부터 이행 및 평가단계 까지 과학적이고 체계적인 평가 시스템이 뒷받침되어야 한다. 이를 위해서는 정확한 배출량 통계, 정책별 배출 감축량, 배출량에 따른 대기질 농도의 고해상도 시·공간 모델링 시스템이 필수적이다. 따라서 국가미세먼지정보센터에서는 배출량 통계의 품질을 제고

하기 위하여 지속적으로 누락배출원을 발굴하고 국내실정을 반영한 배출계수를 개발하기 위해 노력하고 있다.

또한 미세먼지 관리정책 시행에 따른 대기오염물질 저감효과가 중복되거나 과도하게 산정되지 않도록 하고, 대책 간 이행실적이 정확하게 배출 감축 효과로 나타날 수 있도록 하기 위해서 평가체계를 지속적으로 개선하고 정교화하는 연구를 수행하고 있다. 배출 정보관리위원회를 통해 관련 전문가들의 의견을 수렴하며 연구를 추진함으로써 정책시행 효과의 객관성과 전문성을 확보하고자 노력하고 있다.

아울러 배출 감축 노력과 대기질에 미치는 농도 간 영향력을 연계하기 위하여 국외 배출량 분석과 모델링 시스템의 시공간적 해상도를 고도화하는 작업을 추진하고 있다. 그리고 지자체별 배출 감축량 산정체계를 일원화하여 대책 간 정합성을 유지하고 향후 지역 맞춤형 정책시행을 위한 가이드를 제시하기 위한 노력을 기울이고 있다.



미세먼지 관리 연구개발의 현황과 발전방향



1 2016년 이후 미세먼지 관리 연구개발 현황

2016년 이전까지 미세먼지는 환경부가 전적으로 다루는 환경문제이었으나, 2013년 이후 미세먼지에 대한 국민적 관심이 고조됨에 따라 더 이상 환경부 단독으로 미세먼지 문제를 다루기 어렵게 되었다. 즉, 저감기술과 선진국 정책의 모방 위주의 기존 미세먼지 대책의 한계를 극복하기 위하여 미세먼지의 발생원인 등을 규명할 수 있는 과학적 접근 방법을 범부처 차원에서 모색하기 시작하였다. 이에 따라 2016년 11월 관계부처 합동으로 ‘과학기술기반 미세먼지 대응 전략(안)’을 수립하였고, 이때 현상규명 및 예측, 미세먼지 배출저감 및 국민생활 보호를 대분류로 구분하는 미세먼지 대응 기술 분류체계도 마련하였다(관계부처 합동, 2016). 이러한 정부 전략을 연구개발(R&D)로 뒷받침하기 위하여 2017년 8월부터 3년 동안 발생·유입, 측정·예보, 집진·저감, 보호·대응 등 미세먼지 전 분야를 아우르는 ‘미세먼지 범부처 프로젝트’가 추진되었다(한국과학기술연구원, 2020).

〈표 1-5〉에서 보듯이 환경부 이외 과학기술정보통신부, 산업부 등 여러 부처에서 미세먼지 연구개발 사업을 새롭게 추진함에 따라 2018년 1월 과기정통부 연구개발투자심의국에서는 기술체계-R&D 수행-제도개선 등 연계를 통한 투자 효율성을 제고하기 위하여 ‘미세먼지 R&D 패키지 투자 모델’을 만들었다. 그러나 이 모델이 신규 연구사업의 선정, 성과 활용 등에 적용되지 못하여 부처별 미세먼지 연구사업이 환경부를 중심으로 추진되고 있는 정부의 미세먼지 관리정책과 효과적으로 접목되지 못하고 있다. 코로나19로 인해 대면 활동의 제약이 있었으나 부처별·지자체별 연구성과 등을 공유하는 활동도

미진하였다. 2020년 정부의 2050 탄소중립 선언과 2022년 2050 탄소중립녹색성장 위원회의 발족 등 사회적 환경이 크게 변하면서 미세먼지 이슈가 급격히 잠잠해지고 탄소중립 이슈로 전환되어 미세먼지 R&D 환경이 매우 나빠졌다.

표 1-5 부처별 미세먼지 연구개발사업 목록

부처명	사업명	사업기간
교육부·과기정통부	에너지환경 통합형 학교 미세먼지 관리기술개발	2019~2024
과기정통부	발생원별 오염현상 심층 분석 및 현장 맞춤형 저감 실증 기술개발	2019~2022
과기정통부	동북아-지역 연계 초미세먼지 대응 기술개발	2020~2025
과기정통부	Net-zero 대응 미세먼지 저감 기술개발	2023~
환경부	미세먼지 사각지대 해소 및 관리 실증화 기술개발	2020~2022
환경부	사업장 미세먼지 지능형 최적 저감관리 기술개발	2022~2024
환경부	환경성질환 예방 및 사후관리	2020~
질병관리청	미세먼지 기인 질병 대응 연구	2019~2023
질병관리청	미세먼지 대응 질환 예방관리 연구	2024~
국토부	지하철 미세먼지 저감 기술개발	2019~2023
산업부	수송 분야 비배기관 미세먼지 저감을 위한 신소재 부품개발 및 보급	2019~2023
산업부	제조 분야 미세먼지 감축을 위한 공정 맞춤형 실용화 기술개발	2019~2022
산업부	제조 분야 온실가스-미세먼지 동시 저감 기술개발	2021~2025
산업부	석탄발전 미세먼지 저감 친환경 설비혁신 기술개발	2019~2023
해수부	선박 배출 미세먼지 통합저감 기술개발	2019~2023
중기부	미세먼지 저감 실용화 기술개발	2020~2022
농진청	농축산 분야 미세먼지 발생 실태 및 저감 기술개발	2019~2021
농진청	미세먼지 저감을 위한 농업 분야 대응 강화 기술개발	2022~2026
산림청	미세먼지 대응 도시숲 연구	2019~

2 2016년 이후 미세먼지 R&D 성과와 한계

1기 「미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)」에서는 미세먼지 대응력 제고를 위한 R&D를 강화하였다. 이에 따라 각 부처별로 특화된 단기 및 특성화 R&D를 추진하였으며, 교육부는 과기정통부와 공동으로 학교 맞춤형 미세먼지 관리, 과기정통부는 미확인 배출원의 원인 규명, 산업부는 자동차 비배기관 미세먼지 저감사업, 해수부는 선박 배출 미세먼지 관리, 환경부는 중소사업장, 군용차량 등 관리 사각지대 해소, 질병관리청은 건강취약 계층 대상 질병 예방·중재 기술개발, 국토부는 지하철 미세먼지 실시간 감시 및 예측,

농진청은 영농형태 및 작물별 암모니아 배출량 산정 등을 각각 수행하였다(한국환경연구원, 2022).

한편, 다부처 사업으로 2017년부터 3년 동안 수행한 ‘미세먼지 범부처 프로젝트’를 통해 통합적 R&D를 수행하여 국민 눈높이에 맞는 연구성과 도출을 위해 노력하였고(〈표 1-6〉), 개별 연구가 아닌 그룹 연구를 통해 사회문제를 해결해나가는 연구자들의 연구 역량이 크게 향상되었다. 이어서 미세먼지 문제에 대하여 중장기적으로 대응하고자 과학적 발생원 규명부터 배출원 측정·감시 및 관리정책 마련을 연계하는 ‘미세먼지 해결 다부처 사업’을 기획하였으나 예비타당성 평가를 통과하지 못하였다(한국환경연구원, 2022). 이에 따라 부처별 현안 문제에 대응하는 단편적 R&D만 수행되고 있으며, 여러 분야를 아우르는 통합적 R&D를 통해 미세먼지 관리정책의 과학적인 뒷받침에 이르지 못하였다.

표 1-6 미세먼지 범부처 프로젝트의 7대 대표성과

대표성과	상세성과
미세먼지 저감 정책 수립의 과학적 근거가 되는 연구결과 도출	<ul style="list-style-type: none"> - 장거리 이동 고농도 초미세먼지 발생 원인 규명 - 지역별 고농도 미세먼지 원인 규명 - 베이징과 광주의 초미세먼지 성분 및 배출원 차이 규명
미세먼지 예보역량 향상	<ul style="list-style-type: none"> - 동북아 환경을 반영하여 대기질 예보 모델링 시스템 개량 - 휘발성 유기화합물(VOCs)의 2차 생성반응 정량화
사업장 미세먼지 저감기술 개발 및 실증	<ul style="list-style-type: none"> - 저비용·고효율 초미세먼지(PM_{2.5}) 집진기술 개발 및 실증 - 제철소 미세먼지 원인물질(NO_x, SO_x) 저감기술 개발 및 실증 - 이산화황(SO₂) 분리·회수 원천기술 개발
미세먼지 연구 인프라 확대	<ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지 입체관측을 위한 중형 항공측정시스템 구축 - 생성기작 규명 연구를 위한 중형 스모그 챔버 구축 - 동아시아 기상·대기질 입체관측 정보 통합 플랫폼 구축
미세먼지 인체영향의 과학적 규명	<ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지 건강영향 및 보건용 마스크 착용 효과 평가
미세먼지 노출저감을 위한 기술개발 및 가이드라인 마련	<ul style="list-style-type: none"> - 실내 미세먼지 노출 저감기술 개발 - 주택 미세먼지 현장평가 및 관리 가이드라인 마련
미세먼지 국민 이해도 제고	<ul style="list-style-type: none"> - 미세먼지 파수꾼 양성 교육

[자료]
한국과학기술연구원(2020)

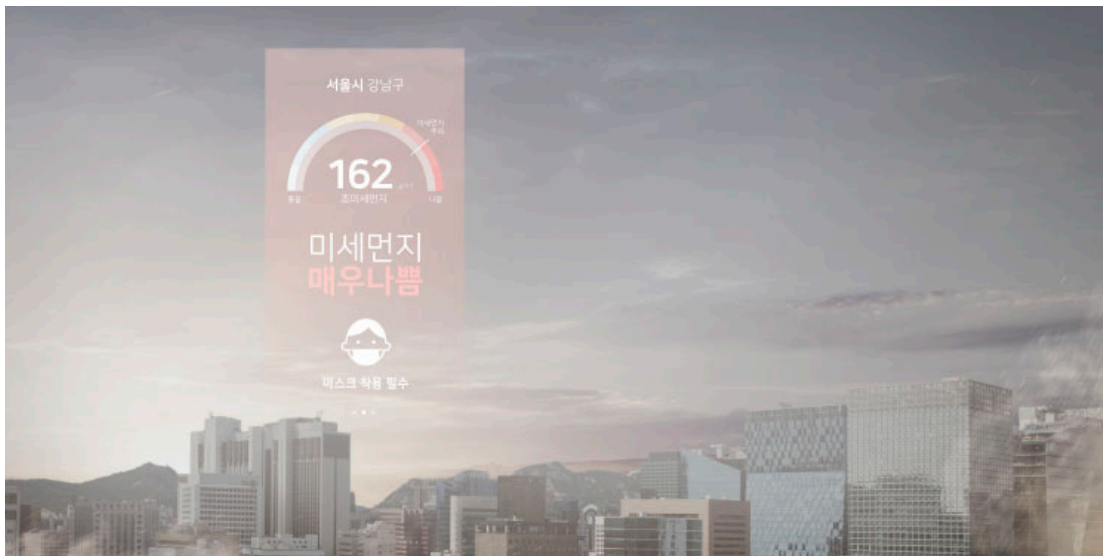
2002년 극심한 황사를 겪은 후 2004년 황사가 자연재난에 포함되었고, 2013년 이후 수년 동안 미세먼지가 주된 사회적 관심사로 다루어짐에 따라 2019년 미세먼지가 화재, 산불, 원전 사고와 같은 사회재난으로 규정되었다. 환경부는 1983년 총먼지(TSP), 1993년 미세먼지(PM₁₀), 2011년 초미세먼지(PM_{2.5}) 기준을 설정하여 관리하고 있다. 한편, 2021년 세계보건기구(WHO)에서는 연평균 초미세먼지 농도의 가이드라인으로 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 제시하였다. 현재 우리나라 농도는 이보다 4배 정도 높은 수준이므로, 국민의 건강을 보호하기 위해서는 초미세먼지가 매우 장기간 중점적으로 관리해야 할 대기 오염물질이라는 것을 인식할 필요가 있다. 암은 국가에서 예방-검진-진단-치료-생존-사망에 이르는 암의 전주기 관리체계를 마련하여 운영하고 있어 국민이 안심하고 생활할 수 있으므로 미세먼지와 달리 사회문제로 다루어지고 있지 않다. 이처럼 미세먼지도 장기적 마스터플랜을 만들어 국가의 미세먼지 관리체계를 확립하는 것이 가장 우선적으로 필요하다. <그림 1-4>에 과학-기술-정책 연계의 미세먼지 통합관리를 도식적으로 표현하였는데, 현재 배출과 노출의 통합적 관리가 매우 중요하다.

1기 「미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)」에서 배출은 산업, 수송, 발전 및 농업·생활 부문으로 나누어 매우 체계적이고 촘촘하게 다루고 있다. 이에 반해 노출은 고농도 초미세먼지 재난 대응체계 구축, 미세먼지 고농도 계절관리제 시행, 민감·취약계층 건강 보호 기반 강화 및 현장 이행점검 강화, 실내공기질 관리 강화 등으로만 구분되어 체계적이지 않고 단편적으로 취급하고 있다. 2기 「미세먼지 관리 종합계획(2025~2029)」에서는 국민들이 건강보호를 체감할 수 있도록 노출 분야의 미세먼지 관리체계를 확립할 필요가 있다. 최근 실내공기를 다루는 환경부 생활환경과의 소속이 환경보건국에서 대기환경국으로 변경되어 노출 분야의 관리체계를 확립하는 데 큰 도움이 될 것으로 보인다.

그림 1-4 과학-기술-정책 연계의 미세먼지 통합관리



미세먼지가 사회문제로 인식됨에 따라 기존 관리방식과 달리 합리적인 근거를 기반으로 관리되어야 사회구성원의 공감을 얻을 수 있다. 예를 들면, 사업장 굴뚝의 배출가스 규제를 강화하려면 연구개발을 통해 현장 관측-대기질 모사-기여도 산출 등 일련의 과학적 근거를 마련하고, 이와 함께 배출가스를 줄일 수 있는 비용 효과적 저감기술 개발과 실증을 거쳐 현장에 바로 적용할 수 있도록 준비해야 한다. 즉, 과학적 원인 규명과 기술적 저감 수단을 기반으로 정책적으로 배출가스 규제를 강화하는 사회적 합의 과정을 거쳐야 한다. 이러한 연구개발 사업은 기존 개별과제 방식이 아니라 목표 지향적 패키지 형태로 추진되어야 연구성과를 통해 정부의 미세먼지 정책을 효과적으로 지원할 수 있다. 또한, 연구자들은 급격한 환경변화를 반영한 정책적 수요를 명확하게 설정하고, 이것을 연구개발로 뒷받침할 수 있는 연구사업을 구상하여 정부에 제안하고 추진하는 노력을 기울여야 한다. 미세먼지는 복합적, 다층적 환경문제이므로, 통합적 관점에서 컨트롤타워 중심으로 관리해야 실효성을 확보할 수 있다. 연구개발 사업도 흩어져 있는 연구성과를 공간적, 시간적으로 치밀하게 연계하는 심화 연구를 통해 정책에 접목하는 노력이 요구된다.



chapter

2

미세먼지특별대책위원회
맑은 하늘을 위한 5년간의 여정

www.cleanair.go.kr



미세먼지 대책의 정책효과와 발전방향

제1절 미세먼지 대책의 정책효과

- PART 01 미세먼지 대책별 감축량 및 정책효과
- PART 02 석탄발전 분야 저감정책
- PART 03 미세먼지 저감과 교통정책

제2절 미세먼지 대책의 발전방향

- PART 01 미세먼지와 오존의 통합 관리 필요성
- PART 02 산업부문 미세먼지 관리
- PART 03 암모니아 관리 현황과 발전방향
- PART 04 기상·기후변화를 고려한 미세먼지 관리정책의 필요성
- PART 05 미세먼지 관리정책의 효율성과 이행평가



제 1 절

미세먼지 대책의 정책효과

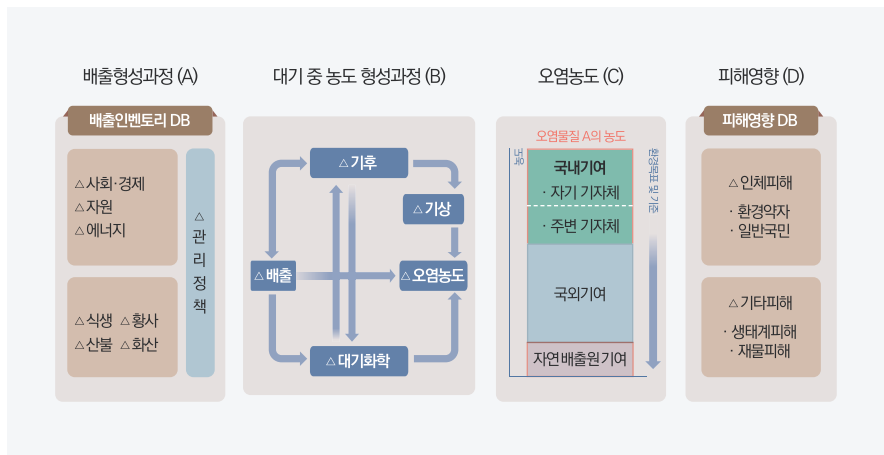
미세먼지 대책별 감축량 및 정책효과



1 미세먼지 대책의 정책효과

미세먼지를 포함한 대기오염 현상은 <그림 2-1>과 같은 과정을 통해 일어난다. 여기에서 대기환경정책의 궁극적인 목표는 국민의 건강을 보호하는 것이며, 그 수단은 에너지/비에너지 활동도를 줄이거나, 기술적/비기술적 수단을 통해 배출을 저감하는 것이다. 하지만 대기 중 농도형성과정은 배출량의 증감뿐만 아니라 배출물질의 조성, 기후-기상 변화로 인한 확산, 대기 중 화학반응의 경로 등 복잡한 과정을 포함하므로 그 효과의 평가는 보다 정교한 과학적 해석을 필요로 한다. 여기에서는 우리나라 미세먼지 배출 저감정책의 감축량과 효과에 대해 정리해 보고자 한다.

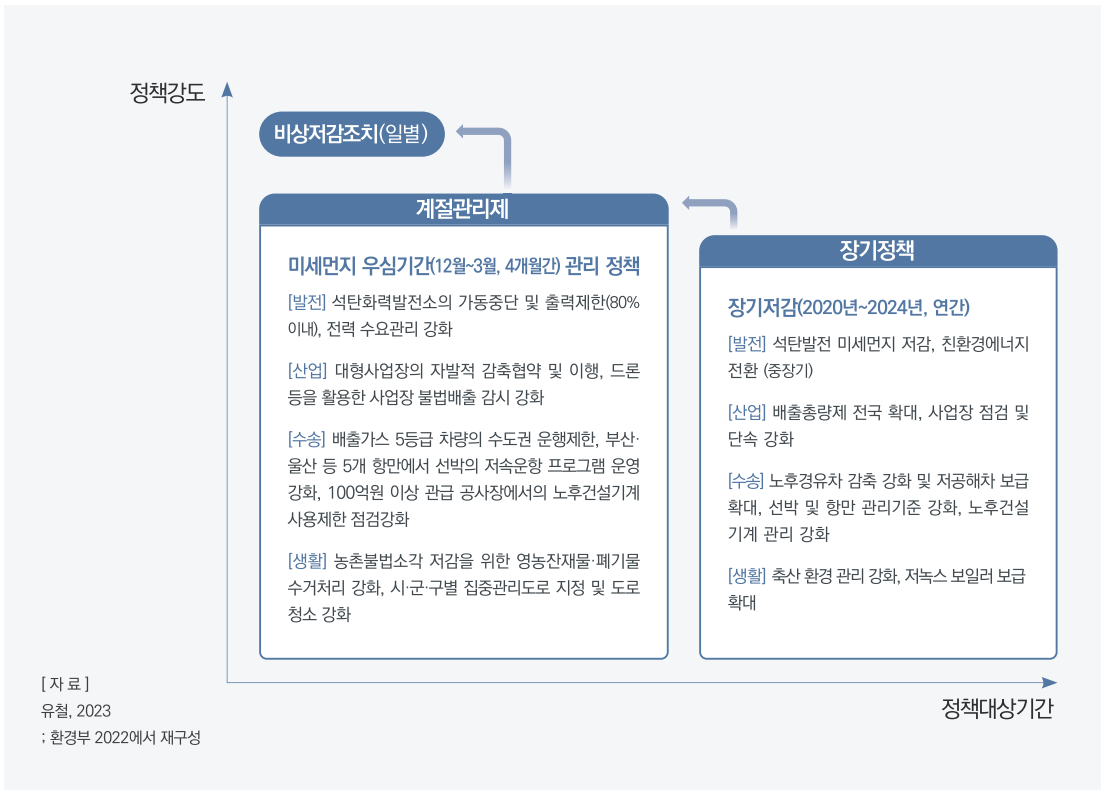
그림 2-1 대기오염 형성과정, 관리목표 및 정책의 역할



정부는 국내 미세먼지 오염 현상을 해결하기 위해, 2016년 미세먼지 관리 특별대책을 발표한 바 있다. 하지만 이후 2019년 고농도 미세먼지 현상이 장기간 지속됨에 따라 여전히 해결되지 않는 환경문제에 대응하기 위해 「미세먼지 관리 종합계획」(이하 「종합계획」)을 발표하였다. 이에 따라, 권역별로는 2020년부터 2024년까지 시행되는 「종합계획」을 최상위 계획으로 하여 구체적인 방안을 마련하였다(이승민 외, 2019).

〈그림 2-2〉에 나타난 바와 같이 「종합계획」에는 정책의 대상기간과 강도에 따라 세 단계의 정책이 적용되는데, 여기에서는 주로 장기정책의 감축효과에 집중하고, 부분적으로 계절관리제의 성과에 대해서도 분석하였다. 이를 위해 2016년 대기오염물질 배출량을 기준으로, 「종합계획」으로 인한 PM_{2.5}, SO_x, NO_x, VOCs의 감축효과를 분석하고, 2024년까지 감축 목표를 달성하기 위해 필요한 사항을 평가하였다. 이 분석에는 미세먼지종합정보센터 (NAIR)의 자료를 주로 활용했다.

그림 2-2 미세먼지 관리 종합계획의 감축정책수단



2

미세먼지 대책별 감축량 및 정책효과

가. 미세먼지 관리 종합계획의 장기정책 성과

1) 장기감축정책 개요

「종합계획」의 최종 목표는 2024년 연평균 초미세먼지 농도를 기준 연도인 2016년 대비 35% 이상 저감하여 $16\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 개선하는 것이다.

2016년을 기준으로 우리나라 전체에서 배출된 오염물질의 양은 $\text{PM}_{2.5}$ 는 100.2 Gg/yr, SO_x 는 359.0 Gg/yr, NO_x 는 1,248.3 Gg/yr, VOCs는 1,024.0 Gg/yr이다. 2024년에는 각 물질별로 19.9%, 46.5%, 41.7%, 15.4% 감축된 80.3 Gg/yr, 192.2 Gg/yr, 727.4 Gg/yr, 866.6 Gg/yr를 배출하는 것이 최종 목표이다.

현 시점에서 평가 가능한 가장 최신 연도(2022년)의 감축실적을 살펴보면, 2016년 배출량 대비 $\text{PM}_{2.5}$ 는 15.3%, SO_x 는 37.6%, NO_x 는 29.8%, VOCs는 12.8%를 저감하였다. 따라서, $\text{PM}_{2.5}$ 및 VOCs 배출량은 2024년에 최종 저감 목표를 달성할 가능성이 높으며, $\text{PM}_{2.5}$ 농도의 2차 전구물질로 알려진 SO_x , NO_x 저감 대책을 위주로 「종합계획」의 목표 연도까지 추적 및 관리한다면, 성공적인 대기질 개선을 기대할 수 있다.

2) 감축정책별 성과 : 초미세먼지($\text{PM}_{2.5}$)

장기정책 성과를 오염물질별, 부문별로 살펴보면, $\text{PM}_{2.5}$ 의 경우, 2016년을 기준으로 발전·산업 부문에서 45.5 Gg/yr, 수송 부문에서 24.1 Gg/yr, 생활 부문에서 30.7 Gg/yr를 배출했다. 「종합계획」의 목표연도인 2024년에는 각 부문에서 14.2%, 41.9%, 11.0%를 저감한 39.0 Gg/yr, 14.0 Gg/yr, 27.3 Gg/yr를 배출하는 것을 목표로 하고 있다. 현 시점에서 실적 값의 집계 가능한 연도는 2020, 2021, 2022년으로, 가장 최근 연도인 2022년의 달성 현황과 2020년부터 2년간의 감축정도를 고려하여 목표연도의 계획 달성 가능성을 판단하였다.

발전·산업 부문의 경우, 2022년에 기준연도 대비 13.7% 감축된 39.2 Gg/yr를 배출했는데, 2020년부터 2년간 0.4 Gg를 추가 감축한 것으로 보아, 2024년에 39.0 Gg/yr 배출 목표를 달성할 수 있을 것으로 판단된다. 성공적인 목표 달성을 위해서는 해당 부문의 4개 정책 중 ‘사업장 배출허용기준 강화’ 정책과 ‘사업장 총량관리제 확대·강화’ 정책 시행을 모니터링 하는 것이 중요하다.

‘사업장 배출허용기준 강화’ 정책은 발전·산업 부문에서 가장 큰 감축을 주도하는 정책으로서, 이를 통해 2020년부터 2022년까지 연간 5.4 Gg/yr의 $\text{PM}_{2.5}$ 가 감축되었다. 또한, ‘사업장 총량관리제 확대·강화’ 정책의 경우, 2020~2022년에는 0.3~0.4 Gg/yr를 감축하는

정책이나, 2024년에는 기존 실적 대비 약 2배에 달하는 0.7 Gg/yr를 감축할 것을 목표로 하고 있어, 해당 정책이 예정대로 시행되어야 목표 달성이 가능할 것으로 사료된다.

수송 부문의 경우, 2022년에 기준연도 대비 23.6% 감축된 18.4 Gg/yr를 배출했는데, 2024년에 목표 배출량인 14.0 Gg/yr를 달성하기 위해서는 최근 2년간 추가 감축한 2.0 Gg의 2배가 넘는 4.4 Gg를 더 감축해야 한다. 따라서, 남은 기간동안 더 강력한 정책을 시행할 필요가 있다. 수송 부문의 총 15개 정책 중 가장 효과적인 것은 ‘노후 경유차 조기 폐차 확대’ 정책으로, 2022년에는 약 2.7 Gg/yr의 감축량을 보였다. 2024년에는 4.8 Gg/yr이 해당 정책으로 인해 감축될 것으로 예정되어 있는 만큼, 보조금 지원 확대 등을 통해 예정대로 시행되도록 하는 것이 중요하다. 또한, ‘선박, 항만 미세먼지 저감’ 정책 중 ‘DPF(Diesel Particulate Filter) 장치 부착’의 경우, 2020~2022년까지 감축 효과가 없다가 2024년에는 0.5 Gg/yr를 감축할 것으로 예정되어 있는데, 목표 달성을 위해 2023년까지 DPF 기술개발의 추진과 부착이 시행되고 있는지 점검할 필요가 있다.

생활 부문의 경우, 2024년 목표 배출량이 기준연도 대비 11.0% 저감된 27.3 Gg/yr인데, 이미 2020년부터 목표를 달성하여 계획이 가장 잘 시행되고 있는 분야이다. 생활 부문의 8개 정책 중, PM_{2.5}를 효과적으로 감축하고 있는 정책은 ‘불법소각관리(12~3월)’와 ‘건설 현장 비산먼지 자발적 협약’ 정책으로, 2024년 감축 목표가 각 1.8 Gg/yr, 1.5 Gg/yr이다. 두 정책은 2020년부터 목표를 달성하였다. 다만, 정책 이행에 대한 관리·감독이 필요하므로, 원격 탐지 등의 과학적 검증 방법을 도입하여 실제로 배출이 감소하는지 확인하는 것이 중요하다.

표 2-1 PM_{2.5} 연도별 부문별 감축 후 배출량(Gg/yr) 및 감축률(%)

	부 문	기준연도	실적			목표연도
		2016	2020	2021	2022	2024
감축 후 배출량(Gg/yr) 기준연도 대비감축률 %	발전·산업	45.5	39.6 [-12.8%]	39.4 [-13.4%]	39.2 [-13.7%]	39.0 [-14.2%]
	수 송	24.1	20.4 [-15.4%]	19.2 [-20.4%]	18.4 [-23.6%]	14.0 [-41.9%]
	생 활	30.7	27.3 [-10.9%]	27.3 [-11.0%]	27.3 [-11.0%]	27.3 [-11.0%]
	합 계	100.2	87.4 [-12.9%]	85.9 [-14.3%]	85.0 [-15.3%]	80.3 [-19.9%]

[자료]
국기미세먼지정보센터(2023)을
바탕으로 재구성

3) 감축정책별 성과 : 황산화물(SO_x)

SO_x의 경우, 2016년을 기준으로 발전·산업 부문에서 293.2 Gg/yr, 수송 부문에서 41.7 Gg/yr, 생활 부문에서 24.1 Gg/yr을 배출했다. 「종합계획」의 목표연도인 2024년에는 발전·산업 부문에서 45.0%를 저감한 161.3 Gg/yr, 수송 부문에서는 83.7%를 저감한 6.8 Gg/yr를 배출하는 것을 목표로 하고 있으며, 생활 부문은 저감 목표량이 설정되지 않았다.

발전·산업 부문의 경우, 2022년에 기준연도 대비 34.2% 감축된 193.1 Gg/yr를 배출했는데, 2020년부터 2년간 34.2 Gg 추가 감축에 성공한 것과 SO_x는 황합유량이 적은 연료를 사용함으로써 오염물질 배출량을 감축할 수 있으므로 2024년에 161.3 Gg/yr 배출 목표를 달성할 가능성이 높은 것으로 판단된다. PM_{2.5}와 동일하게 발전·산업 부문의 4개 정책 중 ‘사업장 배출허용기준 강화’와 ‘사업장 총량관리제 확대·강화’ 정책이 가장 큰 감축효과를 주도하는 정책이며, ‘사업장 배출허용기준 강화’의 경우, 2020년부터 2024년까지 목표 감축량인 29.7 Gg/yr를 감축하여, 현재 상태만 유지한다면 무리 없이 목표 달성이 가능하다. 다만, ‘사업장 총량관리제 확대·강화’의 경우, 2024년에 해당 정책으로 인한 감축량이 92.6 Gg/yr으로 계획되어 있는데, 2020년에 28.3 Gg/yr, 2021년에 42.0 Gg/yr, 2022년에 57.6 Gg/yr를 감축하여 정책 강도를 기존보다 높여야 목표 달성이 가능할 것으로 보인다.

수송 부문의 경우 2022년에 기준연도 대비 83.5% 감축된 6.9 Gg/yr를 배출했는데, 이는 2024년 목표 배출량인 6.8 Gg/yr과 거의 유사하다. 수송 부문의 15개 정책 중 SO_x 저감에 가장 효과적인 정책은 ‘선박, 항만 미세먼지 저감’ 정책 중 ‘황합유량 기준강화’로, 2024년 목표 감축량 34.8 Gg/yr를 2022년에 이미 달성하였다. 수송 부문의 SO_x 배출 저감은 전반적으로 잘 이행되고 있는 편이나, 다만 ‘선박, 항만 미세먼지 저감’ 정책 중 AMP (Alternative Maritime Power, 육상전원공급설비)설치는 2024년에 0.1 Gg/yr를 감축할 것으로 계획되어 있음에도 2020~2022년까지 감축 효과가 없어 진행상황을 점검할 필요가 있다. 특히 육상전원공급설비는 제2차 수도권 미세먼지 관리 기본계획(2015~ 2024)에 따르면 2018년부터 2020년까지 인천항과 평택·당진항에 각 6개소씩 설치 계획이 있었기 때문에, 감축량 실적값도 추가 검증이 필요하다.

표 2-2 SO_x 연도별 부문별 감축 후 배출량(Gg/yr) 및 감축률(%)

	부 문	기준연도	실적			목표연도
		2016	2020	2021	2022	2024
감축 후 배출량(Gg/yr) 기준연도 대비감축률 %	발전·산업	293.2	227.2 [-22.5%]	210.2 [-28.3%]	193.1 [-34.2%]	161.3 [-45.0%]
	수 송	41.7	26.5 (-36.4%)	8.5 (-79.6%)	6.9 (-83.5%)	6.8 (-83.7%)
	생 활	24.1	24.1 [-0.0%]	24.1 [-0.0%]	24.1 [-0.0%]	24.1 [-0.0%]
	합 계	359.0	277.8 [-22.6%]	242.8 [-32.4%]	224.0 [-37.6%]	192.2 [-46.5%]

[자료]
국가미세먼지정보센터(2023)을
바탕으로 재구성

4) 감축정책별 성과 : 질소산화물(NO_x)

NO_x의 경우, 2016년을 기준으로 발전·산업 부문에서 297.6 Gg/yr, 수송 부문에서 634.7 Gg/yr, 생활 부문에서 87.2 Gg/yr을 배출했다. 「종합계획」의 목표연도인 2024년에는 각 부문에서 51.3%, 40.6%, 11.7%를 저감한 189.9 Gg/yr, 453.5 Gg/yr, 84.0 Gg/yr을 배출하는 것을 목표로 하고 있다.

발전·산업 부문의 경우, 2022년에 기준연도 대비 42.7% 감축된 223.5 Gg/yr를 배출했는데, 2020년부터 2년간 74.1 Gg를 추가 감축한 것으로 보아, 2024년에 189.9 Gg/yr 배출 목표를 달성할 수 있을 것으로 판단된다. 발전·산업 부문의 NO_x 저감 목표를 달성하기 위해서는, 다른 오염물질들과 동일하게 4개 정책 중 ‘사업장 배출허용기준 강화’ 정책과 ‘사업장 총량관리제 확대·강화’ 정책의 역할이 가장 중요한데, ‘사업장 배출허용기준 강화’ 정책은 2022년에 이미 목표연도 감축량인 75.9 Gg/yr를 달성하였다. 다만, ‘사업장 총량관리제 확대·강화’ 정책은 지난 2년 간 추가 감축한 양(28.1 Gg) 보다 향후 2년 간 더 감축해야 할 양(37.7 Gg)이 1.3배 크기 때문에, 정책 이행에 대한 지속적인 모니터링이 중요할 것으로 사료된다.

수송 부문의 경우, 2022년에 기준연도 대비 25.6% 감축된 567.4 Gg/yr를 배출했는데, 2024년에 목표 배출량인 453.5 Gg/yr를 달성하기 위해서는 최근 2년간 추가 감축한 67.3 Gg의 1.7배인 113.9 Gg를 남은 2년간 더 감축해야 한다. 따라서, 남은 기간동안 더 강력한 정책을 시행해야 목표 달성이 가능하다. 수송 부문의 총 15개 정책 중 목표 달성을 위해 주요 관리가 필요한 정책은 총 5개로, 해당 정책은 ‘제작차 기준 강화’, ‘노후 경유차 조기폐차 확대’, ‘친환경차 보급 확대(전기차)’, ‘건설장비 배출저감(엔진교체)’, ‘선박, 항만 미세먼지 저감(AMP 설치)’이다. ‘제작차 기준 강화’ 정책은 2024년에 예정대로 119.9 Gg/

yr가 감축된다면, 전 부문 정책 중 가장 NO_x 감축량이 크며 이행에 대한 모니터링이 요구된다.

다음으로 큰 감축량을 갖는 정책은 ‘노후 경유차 조기폐차 확대’ 정책으로, 2024년에 약 114.7 Gg/yr을 감축할 것으로 계획되어 있다. 다만, 해당 정책의 경우, 2022년 감축량이 64.4 Gg/yr으로, 목표연도에 해당 값의 1.8배에 달하는 배출량이 감축되어야 하기 때문에, 2년 간 계획된 정책 이행이 가능하지에 대해 점검한 후에 다른 정책을 강화하는 방안을 고려할 필요가 있다. 비슷한 측면에서, ‘친환경차 보급 확대(전기차)’, ‘건설장비 배출저감(엔진교체)’ 역시 2024년에 각 17.0 Gg/yr, 17.8 Gg/yr를 감축할 것으로 계획되어 있는데, 2022년 감축량 대비 2.1배, 2.3배 높은 값이기 때문에 지속적인 관리가 필요하다. ‘선박, 항만 미세먼지 저감’ 정책 중 ‘AMP 설치’의 경우에는 다른 물질들과 동일하게 2022년 까지는 감축 실적이 없다가, 2024년에 오염물질을 감축할 것으로 계획되어 있기 때문에 장비 설치 관련 진행상황 검토가 요구된다.

생활 부문의 경우, 2024년 목표 배출량이 기준연도 대비 11.7% 저감된 84.0 Gg/yr인데, 2022년에 기준연도 대비 10.7% 저감된 84.9 Gg/yr를 배출하여, 현 상황을 유지한다면 정책 목표를 달성할 가능성이 높다. 생활 부문의 8개 정책 중 NO_x 배출량을 가장 크게 감축하는 정책은 ‘LNG, LPG 보일러 배출허용기준 강화’ 정책과 ‘생활주변 냉난방 보일러’ 정책으로 두 정책 모두 목표연도에 4.9 Gg/yr을 저감할 것으로 계획되어 있다. 이 중에서 ‘LNG, LPG 보일러 배출허용기준 강화’ 정책은 이미 2020년부터 4.9 Gg/yr씩 감축 중이며, ‘생활주변 냉난방 보일러’ 정책의 경우 매년 감축량을 약 1.0~1.3 Gg/yr씩 증가시켜 2022년에는 3.9 Gg/yr까지 감축하였다.

표 2-3 NO_x 연도별 부문별 감축 후 배출량(Gg/yr) 및 감축률(%)

부 문		기준연도	실적			목표연도
		2016	2020	2021	2022	2024
감축 후 배출량(Gg/yr) 기준연도 대비감축률 %	발전·산업	390.3	297.6 (-23.7%)	262.3 (-32.8%)	223.5 (-42.7%)	189.9 (-51.3%)
	수 송	763.0	634.7 (-16.8%)	595.0 (-22.0%)	567.4 (-25.6%)	453.5 (-40.6%)
	생 활	95.1	87.2 (-8.2%)	86.2 (-9.3%)	84.9 (-10.7%)	84.0 (-11.7%)
	합 계	1,248.3	1,019.5 (-18.3%)	943.6 (-24.4%)	875.8 (-29.8%)	727.4 (-41.7%)

[자료]
국기미세먼지정보센터(2023)을
바탕으로 재구성

나. 미세먼지 관리 종합계획의 계절관리제 성과

1) 계절관리제 정책 및 감축성과 개요

미세먼지 계절관리제란 미세먼지 고농도 시기인 12월부터 이듬해 3월까지 평상시보다 강화된 미세먼지 저감 및 관리 정책을 시행하는 것이다. 환경부는 2019년 12월 1일부터 4달간 미세먼지 고농도 예상 시기에 평소보다 강화된 배출 저감을 시행하고, 국민건강 보호도 함께 강화하는 미세먼지 계절관리제를 처음 시행하였다. 미세먼지 계절관리제는 2023년 현재까지 총 4회에 걸쳐서 <그림 2-2>의 주요 정책수단으로 시행되었으며, 그 감축 효과는 <표 2-4>와 같다.

표 2-4 제1차~제4차 계절관리제 감축실적

부 문	계절관리제 배출 감축실적 (톤/4개월)							
	1차 (19.12~20.3월)				2차 (20.12~21.3월)			
	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	VOC _s	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	VOC _s
총 계	5,224	24,953	39,714	21,395	5,575	32,026	41,940	21,364
발전·산업	3,095	21,940	25,665	11,095	3,192	25,152	31,381	11,095
수 송	1,100	3,014	13,193	988	1,348	6,874	9,290	958
생 활	1,029	0	855	9,312	1,036	0	1,269	9,312
부 문	3차 (21.12~22.3월)				4차 (22.12~23.3월)			
	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	VOC _s	PM _{2.5}	SO _x	NO _x	VOC _s
	총 계	6,108	36,109	52,938	22,255	6,017	37,685	53,880
발전·산업	3,130	26,300	33,640	11,095	3,140	27,046	36,015	11,095
수 송	1,941	9,809	18,119	1,492	1,835	10,279	16,604	1,322
생 활	1,038	0	1,179	9,669	1,041	0	1,261	9,896

[자료]
국가미세먼지정보센터(2023)을
바탕으로 재구성

※ '22년까지 과제별 이행실적(과제관리카드 기준)을 토대로 '종합계획 감축량 산정법'(21.7월)을 적용하여 감축량 산정

5년에서 10년 정도에 걸쳐 이행하는 장기정책과 달리 계절관리제와 같은 단기정책에는 배출감축 이외에도 기상과 같은 인자들이 중요한 고려 대상이 되기 때문에, 여기에서는 각 차수별 계절관리제의 농도개선 효과와 정책성적을 분석해 보고자 한다.

2) 차수별 계절관리제 성과 및 요인 분석

2019년 12월 1일부터 2020년 3월 31일까지 시행된 1차 미세먼지 계절관리제에서 전년 동기 대비 초미세먼지 평균농도가 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약 27% 개선되었다. 국가 미세먼지정보센터에서 수치 모델링을 통해 계절관리제 시행 전후 농도 변화를 모사한

결과, 고농도 빈도 측면에서 계절관리제 시행으로 나쁨 일수(36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상)가 충남(최대) 9일, 전남 4일, 서울 2일, 전국 평균 2일 감소한 것으로 분석되었다. 또한, 고농도 강도 측면에서 계절관리제 시행으로 초미세먼지 일평균 농도를 최대 세종(최대) 7.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 서울 6.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 충남 6.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 제주(최소) 2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 개선한 것으로 보인다. 계절관리제 시행효과는 지역별로 큰 편차를 보이고 있으며, 특히 석탄발전소와 제철소 등 산업시설이 밀집되어 있어 그에 따른 감축대책의 강도가 높았던 충남·전남·경북지역 등에 효과가 집중되었다.

2020년 12월 1일부터 2021년 3월 31일까지 시행된 2차 계절관리제 기간 동안 ‘초미세먼지 농도’와 ‘나쁨 일수’가 계획수립 당시 예상보다 더 개선되었다. 최근 3년간 기상 상황이 동일했다는 전제하에 초미세먼지 평균농도가 16%(29.1→24.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 개선되었고, 나쁨 일수가 감소(33→20일) 되었다. 전국 초미세먼지 농도는 24.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 최근 3년간 평균 농도(29.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다는 약 16%, 1차 기간(24.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 비해서는 소폭 개선되었다. 계절관리제 시행 기간동안 석탄발전소, 사업장, 항만·선박 분야 등 여러 부문에서 미세먼지 배출 감축 조치를 시행함에 따라, 초미세먼지 농도 개선에 효과가 있었던 것으로 판단된다.

2021년 12월 1일부터 2022년 3월 31일까지 시행된 3차 미세먼지 계절관리제 기간동안 전국 초미세먼지 평균 농도는, 전년대비 4% 개선(1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ↓, 24.3→23.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)되었고, 이는 미세먼지 저감정책 시행과 국외 영향 감소가 농도를 낮춘 것으로 추정하였다. 일평균 농도를 기준으로 분석한 결과, 전년 같은 기간 대비 나쁨일수는 20일에서 18일로 2일 줄었고, 좋음일수는 35일에서 40일로 5일 늘었다.

2022년 12월 1일부터 2023년 3월 31일까지 시행된 4차 미세먼지 계절관리제 기간에는 5등급차 운행제한 등 저감정책의 효과로 대기오염물질 총 감축량이 제3차 계절관리제 당시 11만 7,410톤에 비해 2% 증가한 11만 9,894톤으로 나타났다. 다만 전국 초미세먼지 (PM_{2.5}) 평균농도는 2~3월 불리한 기상 여건과 국외유입 영향 증가 등으로 제3차 계절관리제에 비해 다소 높아졌다(3차 23.3 → 4차 24.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 황사 제외농도).

미세먼지 계절관리제는 2019년 12월부터 4차에 걸쳐 시행되었는데, 관리정책의 시행 효과를 요약한 결과는 <표 2-5>와 같다. 시행회차에 따라 초미세먼지 평균농도, 좋음일수, 나쁨일수 등은 개선되었다. 하지만 제4차 계절관리제 기간에는 코로나19 영향으로부터의

회복으로 인해 미세먼지 대기질이 다시 악화되었다고 판단된다. <표 2-5>와 같이 좋음 일수는 총 31일로 제3차 대비 9일이 줄었고, 최근 3년 대비 3일이 줄었다. 나쁨일수는 총 20일로 제3차 계절관리제 기간 대비 2일이 늘었고, 최근 3년 대비 1일이 늘었다. 고농도 일수는 총 3일로 제3차와 동일하고, 최근 3년 대비 동일하다.

표 2-5 최근 3년 동안 네차례 계절관리제 기간 전국평균 PM_{2.5} 농도 비교

구 분	1차 (19.12~20.3)	2차 (20.12~21.3)	3차 (21.12~22.3)	4차 (22.12~23.3)
PM _{2.5} 평균 (μg/m ³)	24.4	23.7	23.2	24.6
PM _{2.5} 최고 (μg/m ³)	55	53	67	80
PM _{2.5} 최저 (μg/m ³)	4	7	3	8
좋음일수 (15μg/m ³ 이하)	28	35	40	31
나쁨일수 (35μg/m ³ 초과)	22	18	18	20
고농도일수 (50μg/m ³ 초과)	2	5	3	3

[자료]
국가미세먼지정보센터
(2023)

3 미세먼지 대책의 성과와 제언

가. 종합계획의 성과 및 제언

전반적으로, 발전·산업 부문의 PM_{2.5}, SO_x, NO_x 저감 정책, 수송 부문의 SO_x 저감 정책, 생활 부문의 PM_{2.5}, NO_x, VOCs 정책은 현재 배출 및 감축 추세만 유지한다면, 2024년에 목표 감축량을 달성할 수 있을 것으로 예상된다. 특히, 생활 부문은 SO_x 저감 정책이 없는 것을 고려하면, 계획이 가장 잘 이행되고 있는 부문이다.

수송 부문은 SO_x 외 모든 물질(PM_{2.5}, NO_x, VOCs)에 대한 저감 정책의 목표 달성 가능성을 재검토할 필요가 있다. 그 이유는 2020년부터 2022년까지 달성한 연간 추가 감축량에 비해 2022년부터 2024년까지 달성해야 하는 추가 감축량이 약 1.7~2.2배에 달하기 때문이다. 그중에서도 관리되어야 할 주요 수송 부문 정책 2개는 ‘노후 경유차 조기폐차 확대’와 ‘제작차 기준 강화’인데, 먼저 ‘노후 경유차 조기폐차 확대’의 경우, 2024년까지 노후경유차를 80% 이상 퇴출하고, 어린이 통학차량을 LPG 통학차량으로 전환하여 2024년까지 3.4만대 보급을 추진하는 정책이 계획되어 있다. 하위 정책 수준에서 현재까지의 보급 현황을 정확히 평가하고, 2024년까지 해당 계획 목표를 실현할 수 있는지에 대한 논의가 필요하다. ‘제작차 기준 강화’ 정책 역시, 이미 2020년부터 EU와 동일한 수준으로 중·소형 경유차 질소산화물 배출 허용기준을 시행한 바 있고, EURO7의 시행

시기도 불분명하기 때문에, 해당 정책으로 목표 감축량을 달성할 수 있을지에 대한 재논의가 필요하다. 만약, 목표 감축량 달성이 어렵다면 다른 정책을 통해 추가 감축을 도모하는 것도 필요하다.

나. 계절관리제의 성과 및 제언

계절관리제 시행전후의 미세먼지 대기질 변화를 살펴보면 광범위하게는 미세먼지 관리 종합계획, 직접적으로는 계절관리제 감축정책의 시행으로 인해 미세먼지의 농도가 상당히 개선되었음을 알 수 있다. 하지만 계절관리제 시행 이후와 이전은 중국의 강력한 환경정책 시행, 코로나19로 인한 경제활동의 위축, 기후변화로 인한 기상요인 변화 등 다양하고 급격한 변화가 동시에 일어났기 때문에, 모든 개선이 국내 감축정책의 영향 덕분이라고 할 수는 없다. 하지만 이러한 정책시행과 성과의 분석에서 다음과 같은 부분의 이해와 교훈을 얻게 되었다고 생각된다.

첫째, 정책의 시행으로 인한 국내 배출의 감축과 다양한 요인들이 어떻게 미세먼지 농도의 악화와 개선에 영향을 주는 지에 대한 과학적 분석이 가능하게 되었고, 이는 앞으로의 과학기반 정책 수립 및 이행 평가에 많은 도움이 될 것이다.

둘째, 기후변화는 원인물질의 대기 중 체류시간이 매우 길기 때문에 에너지 전환이나 감축정책에 따른 효과가 나타나는 시간도 길게 나타나지만, 미세먼지와 같은 대기질은 개선과 악화 모두 빠른 시간에 일어나고 있음을 보여준다. 그러므로 최근의 급격한 기후 변화, 감염병, 탄소중립 정책과 같은 조건 변화로 지금까지의 대기질의 개선이 언제든지 다시 악화될 수 있으므로 지속적인 배출감축 정책이 필요하다.

석탄발전 분야 저감정책



1 서론

2016년을 기준으로 국가 미세먼지 배출량 중 발전 부문의 비중이 12%를 차지하며, 그중 석탄발전이 89%를 점유하였다. 따라서, 발전 부문의 미세먼지 감축을 위해서는 반드시 석탄발전의 미세먼지 감축 노력이 필요하며, 이를 위해 한전 및 전력그룹사는 석탄발전 상한제와 환경급전 등의 제도를 도입하여 미세먼지 감축에 기여하고자 노력하였다.

석탄발전 상한제는 제8차 전력수급기본계획(17.12, 이하 “전기분”) 수립 시 석탄발전으로 인한 고농도 미세먼지 발생을 저감하기 위한 목적으로 도입되었으며, ① 미세먼지 계절 관리제, ② 고농도 미세먼지 예보, ③ 석탄발전 자발적상한제 등의 제도로 운영된다.

표 2-6 석탄발전 상한제 운영제도

구분	미세먼지 계절관리제	고농도 미세먼지 예보	석탄발전 자발적상한제
대상	발전공기업 운영 석탄발전기(53기)	민, 관 석탄발전기(59기)	발전공기업 운영 석탄발전기(53기)
기간	12~3월	비상저감조치 발령시	4~11월
방법	가동정지, 상한제약	상한제약	가동정지, 상한제약
근거	대기환경보전법, 전기사업법, 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법		공기업 경영평가 지표

미세먼지 계절관리제는 미세먼지 농도가 높은 12월부터 이듬해 3월까지 4개월간 시행되는 제도로써, 안정적인 전력수급을 전제로 일부 석탄화력발전에 대한 가동정지와 상한제약(최대 출력의 80% 상한으로 발전기 운영)을 시행하는 제도이다. 고농도 미세먼지 예보(비상저감조치)는 고농도 초미세먼지(PM_{2.5})가 일정기간 지속 시 단기간에 대기질을 개선하기 위한 비상조치로 <표 2-7>의 발령조건 중 1개 이상 충족 시 시·도별로 발령하며, 다음날 06~21시 비상조치 발령지역내 석탄발전기 상한제약을 실시한다.

표 2-7 비상저감조치 발령조건

💡	당일 평균농도 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과이고, 다음 날 예보 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과 예측인 경우
💡	당일 주의보 또는 경보가 발령되고 다음 날 예보 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과 예측인 경우 * (주의보) 시간평균농도 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속 (경보) 시간평균농도 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속
💡	다음 날 예보 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과 예측인 경우

석탄발전 자발적상한제는 5개의 발전 공기업이 온실가스 감축을 위해 자발적으로 석탄화력발전 가동정지 및 상한제약을 시행하는 제도로, 미세먼지 계절관리제가 종료되는 시기인 4월부터 11월까지 운영된다.

2 석탄발전 상한제의 효과

석탄발전 상한제는 제8차 전기분을 시작으로 매 회차 전기분에 반영되어 왔으며, 제10차 전기분에서는 2036년까지 수명이 도래하는 노후 석탄발전소 28기 폐지와 더불어 미세먼지와 온실가스 저감을 위한 석탄발전 제약을 명시하였다. 전력그룹사는 고농도 미세먼지 기간동안 전국 58~60기의 석탄발전소를 대상으로, 1차 계절관리제('19.12~'20.3)와 2차 계절관리제 기간('20.12~'21.3) 중 동절기(12~2월)에는 최대 15~17기, 춘절기(3월)에는 최대 28기의 가동을 정지하였고, 나머지 석탄발전소에 대하여 상한제약을 실시하는 등 당초 목표대로 미세먼지 저감조치를 충실히 이행하였다.

또한, 전력그룹사는 석탄발전 감축 운영, 노후 석탄발전 폐지, 탈황·탈질설비 등 환경 개선 설비투자자와 같은 노력을 지속해왔다. 그 결과, 석탄발전 상한제 시행 전인 2019년 대비 2022년 석탄 발전량(217→186TWh, 약14%) 및 전력그룹사 대기오염물질 배출량(85,204→44,429톤, 약48%)은 모두 감소하였다. 석탄발전 감축 정책은 국가 미세먼지 감축과 국정과제 달성 등을 위해 중장기적으로 유지·운영하는 것은 필수적이나, 석탄발전 상한제의 경우 에너지 가격의 급등에 따라 전력시장에 미치는 영향과 국민 부담 등을 고려하여 유연하고 탄력적인 시행이 필요하다. 아울러 석탄발전 폐지에 따른 석탄발전소의 자산가치 잠식, 즉 좌초자산에 대한 보상 등의 논의가 필요할 것으로 보인다.

미세먼지 감축을 위한 제도개선 방안으로 “환경급전”이 도입되었다. “급전(給電)”이란 전력 설비(발전, 송변전, 배전 등)의 합리적 운영을 통해 소비자(가정, 공장 등)에게 전력을 공급하는 것을 의미한다. 기존 급전순위(발전기 가동순위)는 발전원별 경제성을 기반으로 하는 “경제급전”에 따라 결정하였으나, “환경급전”의 도입으로 환경비용을 변동비에 포함하여 급전순위를 정하게 되었다. 온실가스 배출이 많은 석탄발전에 더 많은 환경비용을 부과하여 발전기 가동순위를 낮추고 발전 비중 축소를 통해 미세먼지 저감에 기여하고자 한 것이다.

환경급전에 고려되는 환경비용은 크게 ① 환경 개선비용과 ② 배출권 거래비용으로 나뉜다. 그 중 환경 개선비용에는 탈황비용, 탈질비용, 규제비용이 있다. 탈황비용이란 발전소의 화석연료가 연소될 때 발생하는 황산화물¹을 제거하는 데 소요되는 석회석 등의 재료비(석회석, 용수비, 폐수처리 약품비 등)를 말하며, 탈질비용이란 인체에 유해한 질소산화물²을 질소와 수증기로 환원시키기 위해 필요한 암모니아 등의 재료비(암모니아, 요소수, 순수 등)를 말한다. 규제비용이란 「대기환경보전법」 및 「환경오염시설의 통합관리에 관한 법률」에 의거하여 발전사업자가 납부하는 대기오염물질 기본배출부과금³과 「자원순환기본법」에 의한 사업장일반폐기물 관련 폐기물처분부담금⁴을 말한다. 배출권 거래비용은 「배출권거래법」에 따라 기업이 정부로부터 할당받은 배출권을 초과하여 온실가스 배출량이 발생할 경우 시장을 통해 배출권을 구매하는 데 지출한 비용을 말한다.

1 산성비 또는 호흡기 질환의 원인이 되는 주요 대기오염물질
 2 질소와 산소로 이루어진 화합물로 산성비 또는 극지방 오존층 파괴의 원인이 되는 물질
 3 먼지·질소산화물·황산화물이 허가배출기준 이하로 배출되는 양에 대해 부과하는 부과금
 4 폐기물을 재활용할 수 있음에도 불구하고 소각 또는 매립의 방법으로 처분하는 경우 부과하는 부담금

2017년 3월 「전기사업법」에 전력시장 및 계통운영과 관련하여 경제성, 환경 및 국민 안전에 미치는 영향 등을 종합적으로 검토한다는 내용의 조항이 신설되었고, 그해 12월 경제성을 확보하면서도 안전하고 깨끗한 발전원을 구성하고 전력시장 운영 시 경제급전과 환경급전의 조화를 추구하는 내용의 제8차 전기본이 공표되면서 환경급전의 개념이 명문화되었다.

이어서, 8차 전기본 이행을 위해 환경 개선비용과 온실가스 배출권 거래비용을 변동비에 반영·산정한다는 내용을 담아 전력시장 운영규칙이 개정('19.12월)되었고, 배출권 거래 비용 산정 및 발전기별 배분 방안에 대한 내용이 비용평가 세부운영규정에 반영('21.2월) 되었으며, 이에 따라 2022년 1월부터 변동비에 배출권 거래비용이 포함된 환경급전 제도가 시행되었다.

3 제언

환경 개선비용 및 배출권 거래비용이 전력 공급의 우선순위를 결정하는 비용에 포함되어 경제성뿐만 아니라 환경요인을 고려하는 급전 기반이 마련되었다는 점은 매우 긍정적이다. 다만, 최근 높았던 국제 에너지 가격 대비 낮은 환경비용(석탄 약 3%, LNG 약 0.5%)으로 인해 급전순위 변동에 미치는 단기적인 영향은 미미하였지만 향후 국제 에너지 가격이 안정된다면 환경급전의 영향이 더욱 커질 것으로 기대된다.

미세먼지 및 온실가스 감축을 위해 석탄발전을 줄이고 수소, 재생에너지 등 청정 에너지 발전을 늘리는 것은 꼭 필요한 정책이다. 청정 에너지 발전의 확대를 위해서는 연구개발(R&D), 기술 실증, 인프라 구축 등이 필요하고 이 모든 활동에는 상당한 재원이 소요될 것으로 전망된다. 이에 따른 자원 확보를 위하여 정부 재정 및 기금 지원 등의 방법을 통해 청정에너지 발전을 지원하고, 국민의 공감대와 신뢰를 얻기 위한 노력을 지속적으로 강화해야 할 것이다.

미세먼지 저감과 교통정책



1 미세먼지 저감을 위한 교통정책

자동차에서 배출되는 미세먼지는 이동오염원으로서 주로 인구 활동이 집중된 지역에서 발생한다. 따라서 산업과 발전 분야에 비해 절대적인 배출량은 적더라도 노출 위험도나 건강에 미치는 영향은 더 크다. 미세먼지 저감 대책으로 수송부문 정책이 강조되는 이유이기도 하다.

과거 국내 친환경 교통정책은 고배출 차량에 대한 저감장치 지원과 하이브리드·전기·수소차 등 저공해 차량 전환 사업 등 지원제도를 통해 자발적인 감축을 유도하는 데 집중했다. 그러나 이번 1기 미세먼지 관리대책으로 추진된 교통정책은 기존 지원제도에 덧붙여 5등급 차량 운행제한 등 정책 실효성을 높일 수 있는 다양한 정책 조합을 시도했다는 측면에서 그 의미가 크다. 특히 2019년 초 최악의 미세먼지 사태를 맞이한 이후 전국적으로 대중교통 무료 이용, 5등급 차량 운행제한, 공공부문 차량 2부제 등 다양한 시책이 시도됐다. 대부분 정책 시행에 수반되는 비용과 찬반 논란 등 도입 과정 중 난관이 있었고, 미세먼지 특별대책위원회에서도 정책 의사결정을 위한 활발한 논의가 이뤄졌다.

이 글에서는 지난 위원회 활동을 돌아보며 미세먼지 저감을 위해 시행된 교통정책의 성과를 논하고 향후 개선방안을 제언하고자 한다. 여기에서는 앞에서 검토한 감축량과 정책 효과 등 정량적 성과보다는 정책수용성과 장기적인 변화 등 정성적 분석에 중점을 두었다.

2

주요 성과와 한계

가. 자동차 시장의 소비 패턴 변화

미세먼지 저감을 위한 핵심 정책으로 저공해차 보급과 경유차 관리가 강조되면서 자동차 시장에서 소비자 선택이 달라지고 있다. 특히 경유차 선호가 낮아지고 전기·수소차 수요가 증가한 것은 강화된 미세먼지 정책의 영향이 크다고 판단된다.

우리나라는 2005년부터 승용 경유차 판매를 허용하면서 경유차가 증가하기 시작했으며 2015년에는 신규 등록차량을 기준으로 경유차가 휘발유차를 추월했다. 2015년 폭스바겐 디젤게이트 사건으로 인해 경유차 오염물질 과다 배출에 대한 우려가 높아졌으나, SUV 강세 등 자동차 소비 트렌드의 변화로 인해 경유차는 지속적으로 증가 추세였다. 그러나 2010년대 후반부터 미세먼지에 대한 사회적 인식 수준이 높아지고, 경유차 관리가 강화되면서 구매 패턴이 달라지고 있다. 지난 10년간 등록대수를 살펴보면 지속적으로 증가 추세에 있던 경유차 등록대수는 2021년부터 감소하고 있다.

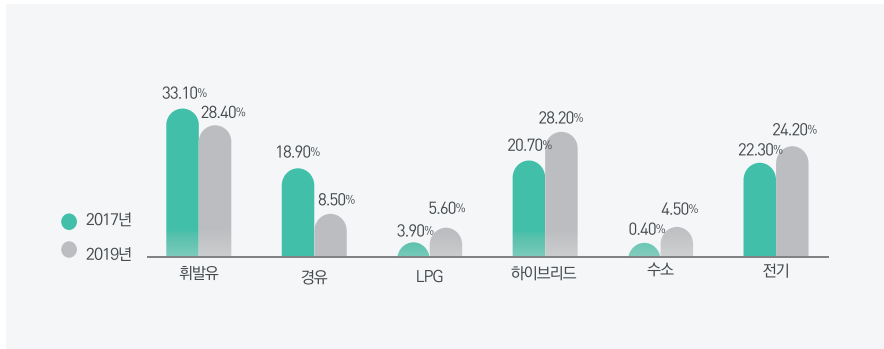
표 2-8 연료유형별 자동차 등록대수(2013~2023.6)

연도	휘발유	경유	엘피지	하이브리드	전기	수소
2013	9,399,738	7,395,739	2,391,988	103,580	1,464	-
2014	9,587,351	7,936,627	2,336,656	137,522	2,775	-
2015	9,848,412	8,622,179	2,257,447	174,620	5,712	29
2016	10,131,281	9,170,456	2,167,094	232,216	10,855	87
2017	10,408,671	9,576,395	2,104,675	313,856	25,108	170
2018	10,668,231	9,929,537	2,035,403	405,084	55,756	893
2019	10,998,826	9,957,543	2,004,730	506,047	89,918	5,083
2020	11,447,424	9,992,124	1,979,407	674,461	134,962	10,906
2021	11,794,774	9,871,951	1,945,674	908,240	231,443	19,404
2022	12,102,044	9,758,173	1,904,860	1,170,507	389,855	29,623
2023.6	12,264,176	9,631,252	1,867,618	1,346,821	464,928	32,484

[자료]
국토교통부 자동차등록대수
현황 중 각 연도별 12월말 기준

소비 패턴의 변화는 한국교통연구원에서 수행한 일반 운전자 조사 결과에서도 가늠할 수 있다. 2017년과 2019년에 조사한 차기 구매차량에 대한 연료유형별 선호도를 비교하면 경유를 선택한 비율은 2019년에 10% 이상 감소하고, 하이브리드와 전기 및 수소 선택 비율은 모두 증가했다.

그림 2-3 우리나라 운전자의 차기 구매차량 연료 유형 선호도 (2017년도와 2019년도 비교)



[자료]
한국교통연구원(2020), KOTI Brief, 미래차 기반 교통체제 지원사업 2020 vol.1

신차 시장에서 하이브리드·전기·수소차 비중은 높아지고 있지만 아직 전체 등록대수 중 10%에 불과하기 때문에 단기간에 획기적인 저감 효과를 기대하기는 어렵다. 그러나 장기적으로 고배출 노후차가 저공해차로 전환됨으로써 수송부문 배출량은 지속적으로 감축될 것으로 예상된다. 특히 전기차는 연료비용 경쟁력이 높아서 상대적으로 연료비용에 민감한 주행거리가 긴 운전자의 전기차 전환 비율이 높다는 점도 저감 효과를 극대화하는 데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

나. 화물차 관리정책의 성과와 한계

국내 화물차 시장은 경유차가 중심이며 전체 자동차 중 화물차 비중은 15.2%에 불과하나 질소산화물 배출량의 53.3%, 미세먼지 배출량의 69.4%를 차지한다(한국교통연구원, 2020). 1기 미세먼지 저감 대책 수립 과정에서는 화물차를 포함한 모든 경유차의 저공해차 전환을 유도하기 위한 정책으로 수송용 연료세제 개편 방안 등 적극적인 가격 정책이 검토되었다.

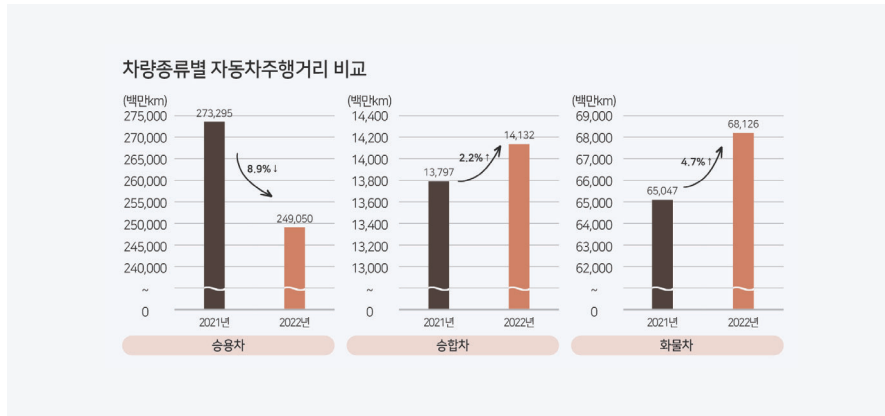
하지만 열악한 화물차 운송시장에 미치는 영향을 고려할 때 정책수용성과 형평성 문제가 제기됐으며, 결국 유가보조금 제도 개편이나 수송용 에너지 상대가격 조정 등은 시행되지 못했다. 하지만 미세먼지 저감 정책이 강화되면서 2019년 4월 제정된 「대기관리권역법」에 근거해 대기관리권역 내 택배 차량은 경유차 운행이 제한되고 있다⁵. 제정 당시 택배 업체 요청으로 4년 간 유예기간이 부여됐고 2023년 2월에는 2024년 1월 1일로 재차 시행

5 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」 제28조 제2호에 근거하여 화물자동차 운송사업 중 화물을 집하·분류·배송하는 형태의 운송사업에 사용되는 자동차의 경유자동차 사용 제한

시기가 유예됐으나, 2019년부터 1톤급 전기트럭이 출시되는 등 소형 화물차 부문에서도 저공해차 전환이 가속화되는 계기가 마련되었다. 그 결과 2023년 6월 기준 소형 화물차 중 전기트럭 등록대수는 10만 7천대를 넘어서 전체 화물차 중 2.8%를 차지하는 등 시장 규모가 지속적으로 성장하고 있다.

소형화물차는 전기트럭 전환이 가시화되고 있으나 아직 중대형 화물차에 대해서는 실효성 있는 저감 대책이 마련되지 못했다. 2019년 수소경제 활성화 로드맵 수립 등 수소 정책이 본격화되면서 수소트럭 상용화에 대한 기대가 컸으나 2023년 6월 기준 수소트럭 등록대수는 단 7대에 불과하다. 반면 화물차 주행거리는 2022년 기준 전년 대비 4.7% 증가하는 등 증가 추이를 보이고 있어서 실효성 있는 저감 대책 도입이 시급하다.

그림 2-4 차량 종류별 총 주행거리 비교(2021년과 2022년 비교)



[자료]
한국교통안전공단(2023),
2022년 자동차 주행거리 분석
결과

다. 교통수요관리 정책의 효과 평가체계 개선

미세먼지 관리 종합계획 중 도로수송 분야 이행과제로는 앞서 논의한 저공해차 전환과 노후경유차 관리 이외에도 대중교통 편의 증진과 교통수요 관리 강화 등 교통수요 관리 대책이 포함되어 있다⁶. 대중교통 편의 증진을 위한 세부 과제는 버스 이용편의 증진, 철도망 확충, 대중교통 연계를 통한 이동 편의 증진으로 구성돼 있다. 교통수요 관리 강화를 위한 세부 과제는 지능형 교통시스템 구축 확대, 교통유발부담금 부과 개선, 친환경 교통수단 전환 지원 등으로 구성돼 있다.

6 한국환경연구원(2021), 미세먼지 관리 종합계획('20~'24) 2020년 추진실적 평가

미세먼지 저감을 위해 교통수요 발생량을 줄이고 자동차 통행량을 대중교통과 비동력 교통수단으로 전환하는 등의 수요관리 정책은 매우 중요하다. 그러나 현재 세부 정책에 대한 이행 평가는 주로 공급성과 중심의 실적지표를 기준으로 하고 있어서 실제 미세먼지 감축 효과는 평가하기 어렵다. 미세먼지 저감 대책으로 포함된 교통수요관리대책은 대부분 계량화된 저감 효과를 제시하고 있지 않다. 예를 들어 수도권 GTX 사업이나 BRT 구축 사업 등 대중교통망 확충으로 미세먼지 배출량을 얼마나 줄일 수 있는지 직접적인 효과 분석은 이뤄지지 못하는 상황이다. 따라서 차기 미세먼지 관리대책에서는 교통수요관리 정책의 실효성을 개선할 수 있도록 정책대안별 미세먼지 저감 효과를 추정할 수 있는 분석체계가 구축되어야 할 것이다. 이를 위해서는 정책 추진에 따른 미세먼지 저감 효과를 분석하고 예측하기 위한 연구 수행이 적극 지원되어야 한다.

3 개선방향 제언

앞서 검토한 교통정책의 성과와 한계점을 토대로 향후 정책 수립 과정에서 다음과 같은 개선안의 반영을 제언한다.

첫째, 아직 저공해차 전환 속도가 미흡한 화물차를 포함한 중대형차 전환 계획을 구체화하는 방안이다. 자동차에서 발생하는 온실가스 및 오염물질 배출량을 동시에 감축할 수 있는 대안으로는 전기차 전환이 중요하다. 그러나 아직 중대형차 부문은 차종 전환 계획이 구체적으로 수립되지 못했다. 가장 큰 이유는 국내 시장에서 대안 차종인 전기차와 수소차 모델 출시가 지연되고 있기 때문이다. 하지만 최근 탄소중립 정책 기조가 강화되면서 글로벌 시장에서는 중대형 전기·수소차 모델도 점차 증가하고 있다. 따라서 차기 미세먼지 저감 대책에는 화물차를 포함한 중대형 자동차에 대해서도 국내 특성에 적합한 저공해차 전환 계획을 수립할 것을 제언한다. 「대기관리권역법」의 제정이 1톤급 전기트럭 출시와 보급 확대에 미친 영향을 고려할 때 중대형차급 전환도 분명한 정책시그널을 부여함으로써 촉진할 수 있을 것이다.

둘째, 교통정책이 미세먼지와 온실가스 발생량에 미치는 효과를 계량화할 수 있는 연구 수행을 지원하고, 정책 효과 분석체계를 구축하는 것이다. 5등급 차량 운행 제한이나 대중교통 활성화 등 대부분 교통정책은 수요자의 정책수용도에 따라 정책효과가 달라진다. 따라서 다양한 정책대안에 대해 수요자의 정책수용성을 분석하고, 정책별로 미세먼지와 온실가스 저감에 미치는 직접적인 영향을 분석할 수 있는 평가체계가 구축되어야 할 것이다.





제 2 절

미세먼지 대책의 발전방향

미세먼지와 오존의 통합 관리 필요성

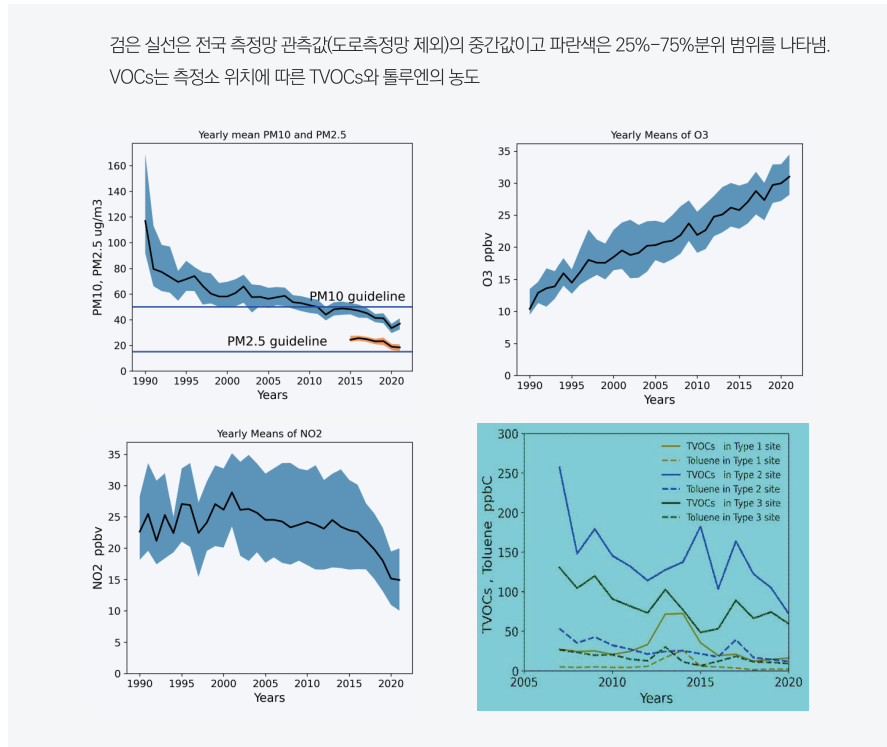


1 서론

우리나라 전국 대기오염 측정망에서 실시간으로 측정되는 기준물질 중 O₃(오존)을 제외한 NO₂(이산화질소), SO₂(이산화황), CO(일산화탄소), PM₁₀, PM_{2.5}는 2011년 이후 연평균 농도가 뚜렷하게 감소하였다(〈그림 2-5〉). 이는 국가 차원으로 진행된 대기질 개선 노력에 부합되는 결과이다. 2016년 KORUS-AQ (KORea-US Air Quality) 캠페인과 더불어 과학적인 대기질 종합분석연구가 수행되었고, 이후 2021년 PM₁₀은 22%, PM_{2.5}는 28% 감소하여 대기질의 정책적 목표에 근접하는 성과를 이루었다. 전국 대부분의 지역에서 PM₁₀은 연평균 기준(50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 충족하며, PM_{2.5}은 기준(15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)에 접근해가고 있다. 하지만 그간 코로나19 팬데믹으로 인한 산업과 인간 활동의 위축으로 국내의 오염물질 배출이 감소하였고(e.g., Sicard et al., 2020), 연변동성 또한 크게 나타나므로 분명한 정책적 효과를 산정하기 위해서는 좀 더 장기적인 관측이 필요하며 중국의 배출 저감에 따른 외부유입 영향을 구분해야 할 필요가 있다.

NO₂와 SO₂는 2016년 대비 2021년에 각각 34%와 36%의 가장 큰 폭으로 감소하여 2019년 미세먼지 관리 종합계획의 배출량 감축을 10~50%에 근접하는 성과를 보였다. 총 VOCs (TVOCs)는 모든 지역에서 감소하였으나 VOC 중 농도와 반응성이 큰 톨루엔은 도심 배출원 밀집지역 (유형2)에서 유의미한 감소를 보였고, 수도권 풍상지역 (유형1)과 오존 최고농도 발생지역 (유형3)에서는 큰 변화가 없으므로 상세 분포 파악과 저감에 집중적인 노력이 필요하다.

그림 2-5 기준 대기오염물질(PM₁₀, PM_{2.5}, O₃, NO₂, VOCs)의 연평균 변화



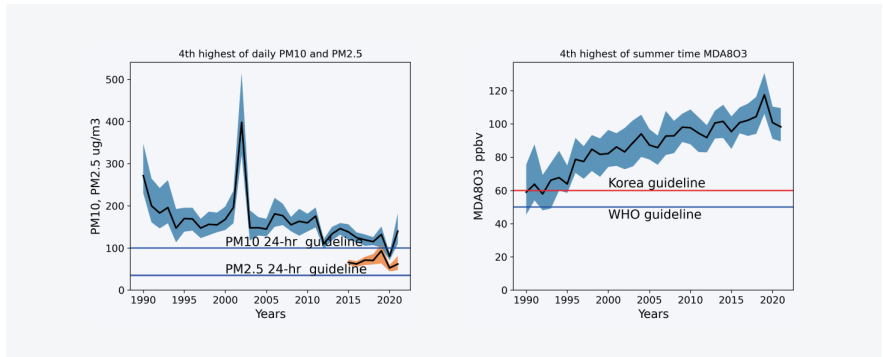
2 오존 농도의 변화

O₃의 연평균 농도는 2021년에 2016년 대비 15% 증가하여 지난 30년간 3% yr⁻¹로 지속적으로 상승하고 있다. 특히 수도권은 O₃ 생성에 VOCs의 영향이 NO_x에 비해 상대적으로 큰데 그간 VOCs에 비해 NO_x의 배출량 감소가 상대적으로 급속하게 진행되어 O₃ 증가를 촉진시킨 경향이 크다. 코로나19 팬데믹동안 NO₂의 감소와 함께 나타난 O₃의 증가가 이러한 현상을 잘 보여준다(e.g., Sicard et al., 2020). 그러나 동북아지역에서는 O₃의 배경농도도 지속적으로 증가하기 때문에 다양한 요인에 대한 정량적 파악이 필요하다.

PM₁₀과 PM_{2.5} 일평균의 99 분위수 농도도 연평균과 유사하게 전반적으로 감소하는 경향을 보인다(그림 2-6). PM₁₀의 변동 폭이 큰 이유는 황사의 영향이 포함되기 때문이다. 2021년 연평균 3~6회 발생하는 황사가 14회로 빈도가 높았고 더불어 고농도 황사가 발생했기 때문이다. 연평균 O₃는 지속적으로 증가하는 반면 8시간 평균 일최고농도의 99 분위값은 2020년 급격히 감소했다. O₃ 연평균의 증가는 NO₂의 감소로 인한 titration

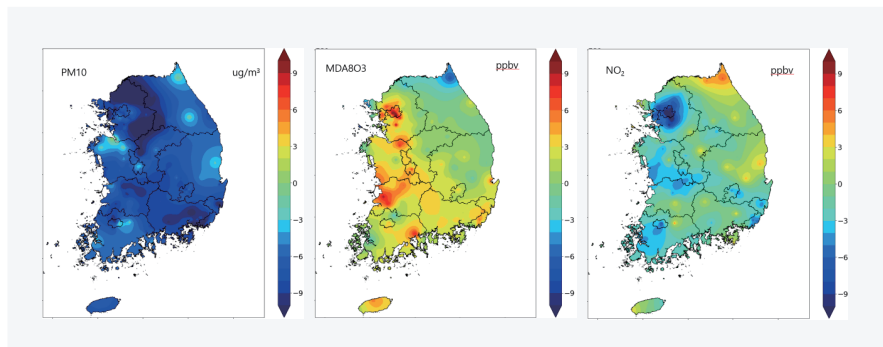
감소의 영향을 나타내는 반면 8시간 평균 일최고농도의 감소는 팬데믹으로 인한 O₃ 전구물질의 배출 감소가 직접적인 원인으로 평가된다. 이러한 결과는 미세먼지 저감을 위한 우선 정책으로 NO_x의 배출 감축이 지속될 것이므로 향후 O₃을 감소시키기 위해서는 VOCs 배출 감축이 더 강화되어야 함을 보여준다.

그림 2-6 PM₁₀과 PM_{2.5}의 일평균 농도와 O₃의 8시간 평균 중 일 최고농도의 99 분위값 연변화. 수평선은 각각 국내 기준과 WHO의 기준을 나타냄. 이외 <그림 2-5>와 동일



전국적으로 O₃을 제외한 대기오염물질의 농도는 감소하고 있는데 수도권에서 가장 분명한데(<그림 2-7>). 반면 중소도시는 변화가 없거나 오히려 증가하는 곳도 있다. 이에 반해 미세먼지가 감소한 주요 대도시 지역을 중심으로 O₃의 증가가 뚜렷하게 나타나는데, 이는 미세먼지 저감을 위해 집중적으로 시행하는 NO_x 감축의 효과로 보인다. 앞으로 NO_x 배출 감축과 동시에 VOCs의 배출 저감을 함께 시행한다면 O₃ 증가를 억제할 수 있을 것이다.

그림 2-7 PM₁₀, O₃, NO₂의 2012~2016년과 2017~2021년 5년 평균 농도의 차이

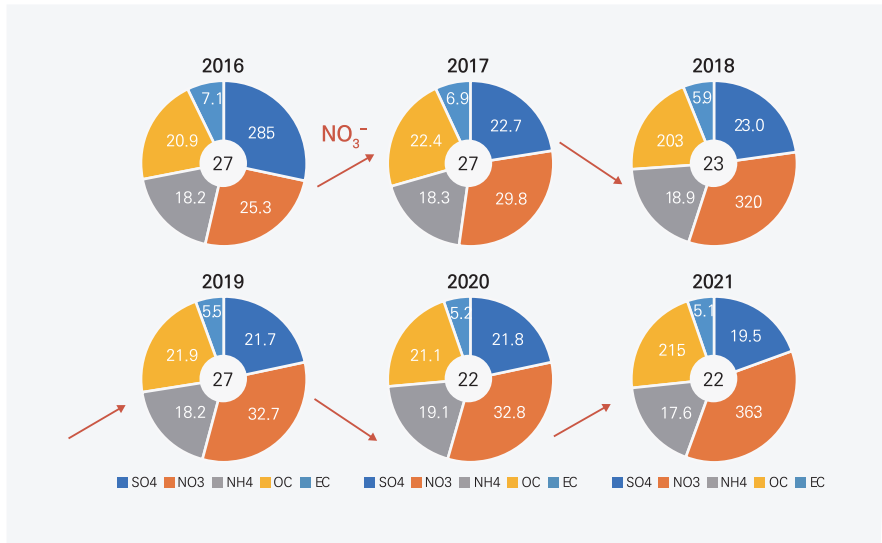


PM_{2.5}의 주요 화학 조성은 국립환경과학원에서 설치한 전국 권역별 대기환경연구소에서 1시간 간격으로 실시간으로 측정되고 있다. 2016~2021년 동안 자료가 산출된 서울 불광동의 PM_{2.5} 주요 조성을 종관기상의 특성을 고려하여 PM_{2.5} 농도가 높아 비상저감조치가 주로 발령되는 11~3월과 O₃이 높아 오존주의보가 주로 발령되는 5~6월을 구분하여 연변동을 비교하면 질산염, 황산염, 암모늄염 등 이온 성분과 유기탄소(OC)와 원소탄소(EC) 성분 중 질산염을 제외한 모든 종이 감소 추세를 보인다. 그중 황산염의 감소(43%)가 가장 분명하며 농도가 낮지만 EC도 크게 감소했다(42%).

황산염은 전구기체인 SO₂와 함께 감소 추세를 보였지만 질산염은 NO₂의 지속적인 감소(24%)에도 불구하고 농도가 상승했다. 질산염의 연변동은 CO와 가장 유사했고 두 종의 농도 모두 2016년에 가장 낮았다. 2016년에는 PM_{2.5} 연평균은 높았지만 1~3월 농도가 낮아 계절적 차이가 가장 작았다. 이는 강한 엘니뇨의 영향으로 동아시아의 겨울철 기온이 전반적으로 높아 화석연료 사용이 감소했기 때문으로 추정된다. 반면 1~3월 고농도 사례가 빈번했던 2019년에는 NO₂를 제외한 모든 종의 농도가 매우 높았고 연평균 농도가 상승했다. 2020년에는 PM_{2.5} 주요 조성과 전구기체의 농도가 모두 감소했으며 특히 1~3월의 감소가 뚜렷한데 이는 코로나19 팬데믹의 영향으로 판단된다. 증가 추세를 보이던 O₃이 2020년 5~6월에는 미미하지만 평균농도가 감소했다. 이는 위의 전국적인 추세에서 나타난 8시간 평균 일최고 농도의 감소와 같은 맥락으로(〈그림 2-6〉) 전구기체 배출의 감소에 의한 영향으로 추정할 수 있다.

2020년부터는 PM_{2.5}의 1~3월 농도가 감소하며 질산염과 CO는 11~12월의 농도가 가장 높다. 11~12월의 평균 농도는 6년 동안 큰 변화를 보이지 않으며 질산염의 농도가 가장 높다. 이러한 결과는 향후 11월을 계절관리제 기간에 포함하여 집중관리할 필요성을 보여준다. 지난 6년간 PM_{2.5} 질량의 감소와 더불어 황산염의 농도가 감소했으며 함량비도 지속적으로 감소했다. EC도 황산염과 유사한 경향을 보였다. 반면 질산염의 함량비는 10% 이상 증가했다(〈그림 2-8〉), OC 농도는 탄소만을 포함하며 함량비는 5개 성분을 기준으로 산출됨).

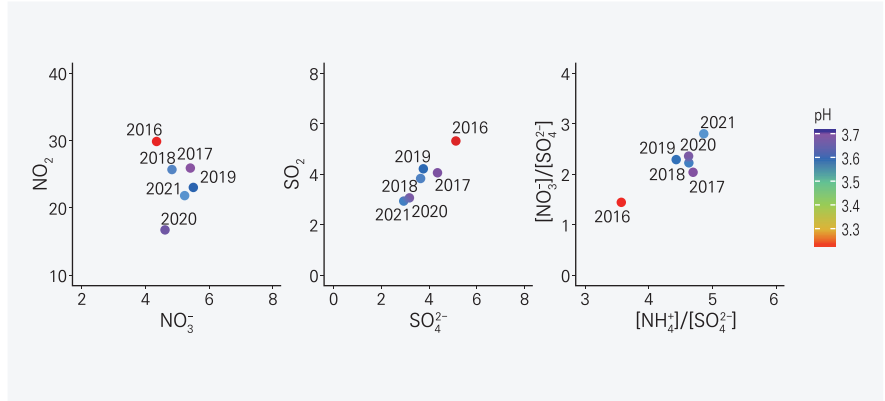
그림 2-8 2016-2021년 서울 PM_{2.5} 질량농도($\mu\text{g m}^{-3}$)와 주요 성분의 함량비(%)



연평균 농도는 황산염과 SO₂가 직선의 상관성을 보이며 함께 감소하는 반면 질산염과 NO₂는 역의 상관성을 보인다(그림 2-9). 이는 일차적으로 황산염이 질산염에 비해 전구 기체의 배출 저감에 더 민감함을 나타낸다. 그러나 계절별로 구분하면 전체적으로 감소 추이를 보이나 질산염은 전구기체 NO₂가 높은 겨울에 높고 황산염은 전구기체 SO₂가 높은 겨울철에는 낮다. 황산염 생성에는 산화과정이 결정적인 역할을 하며 산화제가 제한인자가 되지만 전구기체가 낮은 시기에 산화력이 강하므로 전체적으로 전구기체의 저감이 황산염 저감에 효과적임을 보여준다.

반면 질산염과 전구기체 NO₂ 사이 역의 상관관계는 겨울철을 대표하는 경향이므로 질소산화물 배출 저감과 질산염 농도 사이에 선형관계를 기대하기 어려움을 의미한다. 더불어 연평균으로 본 NO₃⁻, SO₄²⁻, NH₄⁺ 몰비는 황산염 감소로 pH는 약간 증가했지만 (Guo et al., 2016) 전반적으로 중화된 상태에서 크게 달라지지 않았으므로 PM_{2.5} 생성은 산성 전구기체가 주도하는 것으로 판단된다. 질산염은 전구기체 NO_x가 산화되어 생성되는데 기체상 반응에 더해 surface가 관여하는 비균질반응의 기여가 크므로 전구기체와의 선형적인 관련성이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

그림 2-9 2016~2021년 서울 PM2.5 입자상 질산염 및 황산염과 전구기체와의 상관관계와 몰비 그리고 ISORROPIA II(forward)로 계산된 에어로졸의 pH.



4 결론 및 제언

고농도 질산염 발생이 빈번했던 2018~2019년 동위원소 분석 기반의 연구 결과 기체상에서 입자상으로 전환되는 데는 낮 동안 OH에 의한 산화보다는 밤의 O_3 에 의한 산화의 기여도가 훨씬 큰 것으로 나타났다(e.g., Lim et al., 2022). 6년 동안 O_3 농도는 지속적으로 증가했으며 특히 2022년 5~6월에는 서울의 밤시간 평균 농도가 40 ppbv(용적비) 정도로 과거에 비해(e.g., Kim et al., 2018) 확연하게 상승하였다.

미세먼지가 감소한 주요 대도시 지역을 중심으로 O_3 의 증가가 뚜렷하게 나타나는데 이는 미세먼지 저감을 위해 집중적으로 시행하는 NO_x 저감의 효과로 보인다. 앞으로 NO_x 배출저감과 동시에 VOCs의 배출 저감을 함께 시행한다면 O_3 증가를 억제할 수 있을 것이다.

산업부문 미세먼지 관리



1 산업부문의 미세먼지 관리 이슈

우리나라의 제조업 비중은 1970년 19%이었으나 1962년부터 경제개발 5개년 계획을 추진하면서 중·화학공업(철강, 조선, 자동차, 석유화학, 시멘트 등)과 전자 산업을 집중적으로 육성함으로써 1980년 25%, 1990년 이후 27~30%를 유지하여 현재 독일과 함께 제조업 강국으로 인정받고 있다. 이러한 발전 과정의 이면을 살펴보면, 사업장에서 만들어진 오염물질이 대기로 배출되어 공해를 유발하였고 산업단지뿐만 아니라 인근 대도시에서도 대기오염이 중요한 환경 문제로 대두되었다. 이에 따라 정부는 일정 규모 이상의 사업장에 대기오염방지시설을 설치하게 하고, 배출 허용기준을 만들어 굴뚝에서 배출되는 대기오염물질을 규제하고 있다.

2019년 수립된 「미세먼지 관리 종합계획」의 목표를 달성하기 위한 정책으로 산업부문에서는 4개 대기관리권역을 설정하여 권역별 관리체제로 전환하고, 대기관리권역 내 총량관리제를 시행하고 있다. 그러나 아직도 중앙정부 주도로 관리가 이루어지고 있어 지자체 중심의 관리로 전환이 시급하다. 또한, 사업장의 배출 허용기준을 강화하고, 첨단 장비를 이용하여 배출규제의 실효성을 확보하기 위하여 노력하고 있다. 4, 5종 소규모 사업장에 대해서는 방지시설 설치를 지원하여 관리의 사각지대를 줄이고 있다.

황산화물(SO_x), 질소산화물(NO_x)과 함께 휘발성 유기화합물(VOCs)도 75% 감축하는 목표를 세웠으나, VOCs 배출허용기준 적용시설 확대와 저장시설에 대한 누출 확인제도 시행 등 매우 제한적 대책만 추진하고 있다. 울산, 여수, 서산 등의 석유화학 산업단지

에서는 다양한 성분의 VOCs가 대기로 배출되고 있지만, 이로 인한 대기질 악화를 방지하고 주민의 건강을 보호하기 위해 대기 중 VOCs 농도 수준과 독성을 파악할 수 있는 모니터링 체계는 매우 미흡한 실정이다.

2 산업부문의 미세먼지 관리 성과와 한계

가. 미세먼지 권역 관리체계로 전환

정부는 기존 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법」을 확대한 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법」을 제정하여 2020년 4월 3일부터 시행하였다. 이에 따라 환경부 산하 수도권대기환경청, 금강유역환경청, 영산강유역환경청, 낙동강유역환경청에서 「권역별 대기환경관리 기본계획」을 수립하고, 관할 시·도에서 「권역별 시·도 대기환경관리 시행계획」을 수립하여 「미세먼지 관리 종합계획」을 이행하고 있다.

현재 수도권대기환경청을 제외한 3개 권역의 유역환경청에서는 부서(대기환경관리단)를 신설하여 권역의 대기환경 개선에 대한 총괄 기능을 수행하고 있다. 그러나 업무에 비해 인력과 전문성이 부족하여 관할 지자체를 효과적으로 지원하지 못하고 있는 실정이다. 권역의 지자체에도 전문인력이 매우 부족함에 따라 외부 전문가에게 의존하여 업무를 처리하고 있다. 정책의 집행 능력과 실효성을 높이기 위해서는 권역별 미세먼지 관리의 전문성을 갖춘 인력과 조직을 확보하는 것이 무엇보다 시급하다.

나. 사업장 배출관리 실태의 감사·단속 강화

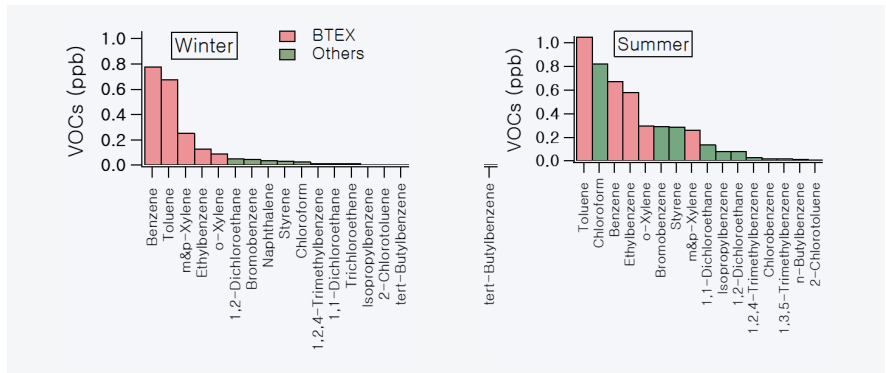
대책의 실행력을 제고하기 위하여 첨단 측정 장비의 보급 확대 및 전담인력 확충, 대기관리 권역의 추가 지정과 연계한 굴뚝원격감시체계(TMS) 설치 사업장의 확대, IoT 센서 부착을 통한 소규모 사업장의 원격감시, 대형 사업장 굴뚝의 배출가스 법정기준 준수 여부에 대한 측정·분석 체계 구축 등 다양한 사업을 추진하였다. 특히, 추가로 지정된 3개 권역 내 사업장에 대해 TMS 설치를 확대하여 2021년까지 누적 826개 사업장의 총 2,524개 배출구에 대한 감시체계가 구축되었으며, 전국 대형 사업장에 대해 상당한 감시 역량이 추가로 확보된 것으로 평가된다. 또한, 2020년에 3,356개 소규모 사업장에 IoT 설비를 부착하고, 소규모 사업장 대기배출시설 관리시스템(Greenlink.or.kr)을 구축하여 운영하기 시작하였다 (한국환경연구원, 2022).

다. 휘발성 유기화합물의 관리

2021년 12월 전년도 대비 권역별 시행계획 추진실적을 평가한 결과 PM₁₀ 최대 107%, PM_{2.5} 최대 123%, NO_x 최대 269%, SO_x 최대 215%, VOCs 최대 120% 등 대부분 권역에서 주요 대기오염물질에 대한 감축 목표를 초과 달성한 성과를 보였으나, 동남권 PM_{2.5} 감축률 98%, 남부권 VOCs 감축률 88% 등 일부 권역에서는 특정 항목의 감축 목표 달성이 미흡하여 이에 대한 개선이 필요한 것으로 나타났다(한국환경연구원, 2022).

최근 국립목포대학교 대기환경연구팀은 남부권의 여수 석유화학단지과 광양 제철산업단지에서 여름과 겨울의 VOCs를 측정·분석한 후 수용모델을 이용하여 4개의 원인분류표(source profile)를 만든 결과(〈그림 2-10〉), 계절에 따라 원인별 기여량이 달라지는 것을 밝혀냈다. 또한, 독성산화잠재력(QDTP-OP)을 분석하여 여름 관측 기간의 농도가 0.78 μmol/min/m³로 겨울 관측 기간의 0.23 μmol/min/m³에 비해 3배 이상 높다는 것을 알아냈다(송명기 등, 2023). 초미세먼지와 오존 생성의 전구물질로 작용하는 VOCs는 현재 배출 총량만 관리되고 있는데, 지역 주민의 건강에 영향을 미치는 위해성 관리도 필요하다.

그림 2-10 광양 제철산업단지에서 휘발성 유기화합물 농도의 계절적 차이



[자료] 송명기 등(2023)

3 산업부문 미세먼지 관리에 대한 제언

가. 지역 미세먼지 관리 전문가의 설립

면적이 우리나라의 4.3배이고 인구는 조금 적은 미국 캘리포니아주의 경우 35개의 대기 구역을 설정하고, 주 정부나 카운티 정부와 독립된 대기관리공단(AQMD 또는 APCD)을 만들어 지역의 대기질을 전문적으로 관리하고 있다. 〈표 2-9〉에 정리한 바와 같이 연방정부, 주 정부, 대기관리공단은 관리 대상 오염원과 권한이 다르고, 환경 기준치를

근거로 장기적 달성 목표를 설정하여 서로 협력함으로써 지역의 대기질을 개선하고 있다. 우리나라도 지역 대기질을 실효성 있게 관리하기 위해서는 대기질 관리의 전문인력으로 구성된 (가칭)대기관리공단을 권역별로 설립하여 운영할 필요가 있다.

표 2-9 미국 캘리포니아주에서 오염원별 대기질 관리주체의 권한 및 자원

구분	관리 대상	권한	자원
연방 정부	비도로 이동 오염원	<ul style="list-style-type: none"> - 국가기준 설정 - 연방 이행계획(FIP) 수립 - 주 이행계획(SIP) 제재(신규/확장사업) - 연방정부 보조금 지원 제재 - 비도로 이동오염원 규제 시행 	- 연방 정부 관련 세금
주 정부	도로 이동 오염원	<ul style="list-style-type: none"> - 주 이행계획(SIP) 수립 - 주정부 보조금 지원 제재 - 도로 이동오염원 규제 시행 	- 주 정부 관련 세금
대기관리공단 (카운티)	점오염원 면오염원	<ul style="list-style-type: none"> - 대기구역 이행계획 수립 및 이행 - 오염 특성에 적합한 대기오염법의 채택/실행/규제 - 고정오염원 사업허가증 발급 - 고정오염원 배출 규제 - 면오염원 관리 등 	<ul style="list-style-type: none"> - 오염물질 배출 사업체 수수료 - 모든 차량 등록 수수료 - 연방 및 주 정부 보조금

[자료]
미세먼지 범부처 프로젝트
사업단, 청정대기센터(2020)

나. 휘발성 유기화합물의 총량 및 유해성분 병행 관리

휘발성 유기화합물은 수천 종의 다양한 성분으로 이루어져 있고, 인위적 활동뿐만 아니라 자연 생태계에서도 배출된다. VOCs는 반응성이 좋아 사업장, 자동차 등에서 다량으로 배출되는 질소산화물과 광화학 반응을 통해 오존과 초미세먼지를 생성함으로써 대기질을 악화시킨다. 이에 따라 초미세먼지와 오존 생성을 줄이기 위해서는 VOCs 배출 총량을 감축하는 정책을 추진하고 있다. 그러나 대기질 관리의 궁극적 목적은 국민건강의 보호이므로, 유해한 VOCs가 다량으로 배출되는 산업단지에서 VOCs를 체계적으로 모니터링 하여 인근 지역 주민의 건강을 보호하는 노력을 병행할 필요가 있다.

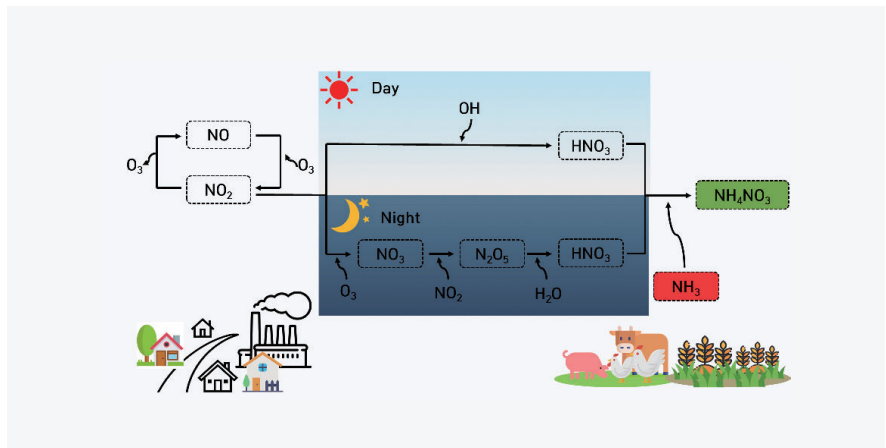
암모니아 관리 현황과 발전방향



1 암모니아와 미세먼지

암모니아(NH_3)는 대기 중에 존재하는 염기성의 가스상 물질이다. 암모니아는 대표적인 냄새물질로, 국내에서는 1991년부터 「대기환경보전법」 시행규칙에 따라 대기오염물질로 지정되었다. 이러한 염기성의 물질은 대기 중에서 풍부한 황산(H_2SO_4), 질산(HNO_3), 염산(HCl) 등과 같은 산성의 가스상 물질과 반응하여 2차 미세먼지를 생성하는 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다. 특히, 국내 고농도 미세먼지 발생 시, 2차 미세먼지의 성분 중에서 가장 많은 부분을 차지하는 것이 질산암모늄으로 보고되고 있으며 (Park et al., 2021), 질산암모늄의 주요 전구물질은 암모니아이다.

그림 2-11 대기 중 암모니아와 2차 미세먼지 생성 과정



암모니아는 다양한 배출원에 의해 공기 중으로 배출된다. 환경부 대기정책지원시스템 (CAPSS, Clean Air Policy Support System, 2020) 자료에 따르면, 국내 암모니아의 약 80% 이상은 농·축산 활동에 의해 배출되며, 그 밖의 생산공정이 약 14%, 기타 오염원이 약 4%를 차지하는 것으로 나타났다. 따라서 국내 암모니아 배출량은 농촌지역이 높은 비중을 차지하고 있다. 이러한 현상은 국외에서도 유사하여 가축분뇨, 비료사용 등에 의한 농·축산업에 의해 대부분 기인하는 것으로 알려져 있다.

2

암모니아 관리 현황

암모니아는 1991년 대기오염물질로 지정되면서 배출시설에 대한 배출 허용기준이 마련 되었다. 이어 1999년에는 화학 비료 제조시설, 기타 시설의 암모니아 배출 허용기준 농도를 강화하였으며, 암모니아 배출원별 배출량 산정을 진행하였다. 1999년에 산출된 암모니아의 배출량은 에너지 산업 연소, 비 산업 연소, 제조업 연소, 생산 공정, 도로이동 오염원, 비도로 이동오염원, 폐기물 처리가 포함되어 있으며, 농업은 2001년부터 암모니아 배출량 계산에 포함되었다(환경부, 2002).

2004년부터는 농림축산식품부와 환경부가 농촌지역의 가축분뇨로 인한 악취와 환경 문제를 해결하기 위해 가축분뇨 관리 및 이용 대책 추진기획단을 구성하여 가축분뇨에 관한 종합적인 관리대책을 수립·발표하였다. 또한 2005년에는 「악취방지법」 시행규칙에 따라 암모니아를 지정악취물질로 분류하여 악취관리지역을 지정하였고, 악취배출시설 및 배출 허용기준농도를 정하였다. 2010년에는 암모니아를 포함한 대기오염물질 배출 허용기준을 강화하였다.

2019년부터 고농도 미세먼지와 관련 전구물질의 중요성이 전 국민적인 이슈가 됨에 따라, 암모니아는 2019년 이후 미세먼지 저감을 위한 전구물질로 인식되어 본격적인 관리정책이 추진되기 시작하였다. 정부는 「미세먼지관리 종합계획」을 통해 농촌지역을 포함한 전 국가적 미세먼지와 전구물질의 저감 계획 및 대책을 마련하였다. 또한 「미세먼지 특별법」에는 농축산분야 미세먼지 저감을 위해 암모니아 배출량 30% 감축 목표도 담겨 있다(관계부처 합동, 2019).

이와 함께 대기 중 암모니아의 시공간 농도 분포 및 특성과 미세먼지로의 전환에 대한 연구도 시작되었다. 지상관측, 인공위성, 모델링 등의 기법을 활용하여 대기 중 암모니아의 월별·계절별 농도 기울기(gradient)가 관찰되었고, 농축산지역에서 높은 수준의 농도가

측정되었다. 그리고 가스상 암모니아의 상당량이 입자상 암모늄으로 전환되는 것으로 보고되었다 (Park et al., 2021). 또한 암모니아에 의한 초미세먼지의 농도를 감소시키는 것이 가장 효율적인 방법임이 제시되기도 하였다(Kang et al., 2020).

현재의 암모니아 저감 정책은 배출량이 큰 축산부문의 분뇨에 의한 암모니아 배출을 저감하는 데 초점을 맞추고 있다. 가축분뇨 퇴액비 사용비율 축소, 퇴비의 자원화, 스마트 팜 등을 통한 친환경적 문제해결을 골자로 정책을 추진하고 있다. 제3차 대기환경 개선 종합계획(23~32년)에서는 위 대책 이외에도 국내 암모니아 배출량 산정 개선과 미세먼지 생성 원인 및 영향, 가축분뇨의 질소 비율 저감 및 양분관리의 제도화 등이 포함되었다. 이러한 대책은 단기간에 가시적인 저감효과를 기대하기는 어려울 수도 있다. 그러나 장기적으로 가축사육 시설과 가축분뇨의 친환경적 자원화를 추진해나간다면 축산부문 배출량은 지속적으로 감축될 것으로 기대된다.

3 제언

미국에서는 겨울철 미세먼지 저감을 위해 암모니아를 상시 관측하고 농도를 관리하고 있다 (EPA, 2022). 최근 국내 연구 결과들을 살펴보면, 우리나라는 농촌지역을 포함한 대부분의 지역에서 암모니아의 과잉 상태가 보고되고 있다. 암모니아의 배출 특성과 미세먼지 생성 기작에 관한 과학적 근거를 구축하기 시작했다는 점에서는 의미가 있으나 아직도 해결해야 하는 숙제들이 많다.

첫째, 실측 기반의 지역 특성에 맞는 암모니아의 배출 특성에 관한 정보가 요구된다. 암모니아는 공기 중에서 체류시간이 짧고 시공간적 변동성이 크기 때문에, 그 특성을 이해하기 위해서는 장기적인 농도 특성 자료가 필요하다. 단기적인 측정 결과로 종합적인 결론을 끌어내기에는 한계가 있다. 그러나 현재까지 국내 에어코리아 측정망 자료에 암모니아는 포함되어 있지 않다. 특히, 배출량이 큰 농촌지역의 효율적인 미세먼지 관리 대책 마련을 위해서는 국내 종합 관측자료 활용을 위한 거버넌스 발전이 필요하다. 이를 활용하여 2차 미세먼지의 생성기작을 이해할 수 있고 상세한 저감 대책을 마련할 수 있을 것이다.

둘째, 암모니아 배출 특성을 보다 구체화하여 파악할 필요가 있다. 현재 우리나라 암모니아 배출계수와 배출량은 농업 부문에 집중되고 있다. 실측 기반 산업공정 및 연소 부문, 수송부문의 암모니아 배출 메커니즘 및 배출계수 등 자료 확충이 필요하다. 또한 국내 실정에 맞는 실측 기반 시기별 및 가축별 암모니아 배출계수 등(예, 축산 환경 및 가축종별)이 지속적으로 개선되어야 할 것이다.



기상·기후변화를 고려한 미세먼지 관리정책의 필요성



1 서론

지금까지의 우리나라 대기관리정책은 주로 대기오염물의 배출량 감소에 초점을 맞추어 왔으며, 그 노력의 결과로 미세먼지의 연평균 농도는 지속적으로 감소하였다. 초미세먼지의 경우 2010년까지 감소하다가, 이후 다소간의 증감을 반복하며 현재 약 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 부근에서 정체하는 상황이다.

고농도 미세먼지 사례는 계속해서 보고되고 있으며, 이 사례들이 기상 여건과 밀접하게 연관되어 있음이 밝혀지고 있다. 기후변화에 의한 대기순환의 변화가 여러 시·공간 규모에서 매우 급격하게 이루어짐에 따라, 기상·기후변화를 고려한 미세먼지 관리정책의 수립 필요성이 커지고 있다.

2 기상·기후 변화를 고려하는 미세먼지 정책의 필요성

가. 미세먼지 농도에 미치는 기상변수들의 영향

미세먼지 농도에 영향을 미치는 기상변수들은 온도, 습도, 강수, 바람, 대기안정도 등이다. 미국의 한 연구(Tai et al., 2010)는 미국에서 초미세먼지 농도 변화의 50%까지를 기상변수들의 변화를 통하여 설명할 수 있음을 보인 바 있는데, 모든 지역에서 온도는 강한 양(+)의 상관관, 바람과 강수는 음(-)의 상관관을 보였다. 반면, 습도는 동부에서는 양의 상관관, 서부에서는 음의 상관관을 보여 지역적 차이가 나타났다. 국립기상과학원(2018)에 따르면 우리나라는 1912~2017년의 106년 동안 연평균기온은 10년마다 0.18°C 상승하여 전지구 평균보다 매우 급격한 온도상승을 보였다.

IPCC 6차 보고서의 한반도 중기미래(2031~2060) 고탄소 시나리오에서는 현재(1995~2014) 대비 약 3.3°C의 온도상승을, 저탄소 시나리오에서는 약 1.8°C 상승을 나타내(국립기상과학원 2020), 온난화에 따른 미세먼지의 증가는 피할 수 없을 것으로 보인다. 강수량의 증가는 일반적으로 미세먼지를 줄이는 쪽으로 작용할 것이나, 고탄소(저탄소) 시나리오에서 현재 대비 약 7%(5%) 증가에 그칠 것으로 예상되어 온도상승에 따른 미세먼지 증가를 상쇄하기는 어려울 것으로 예상된다.

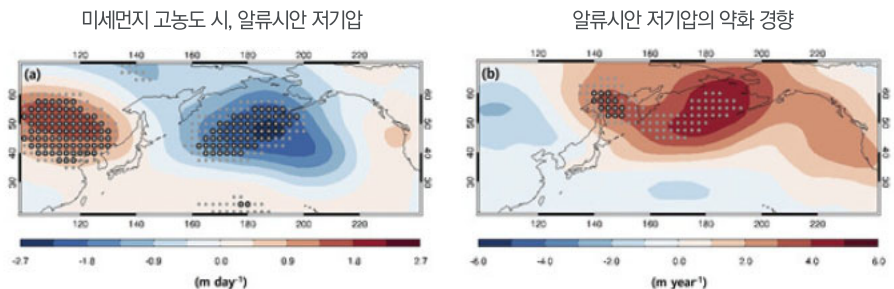
나. 기후변화에 따른 한반도 및 동아시아 종관시스템의 변화

초미세먼지 고농도 사례 발생시의 종관 기상조건은 한반도 서쪽 유라시아 고기압의 약화, 한반도 및 동아시아의 이동성 고기압 강화, 한반도 동쪽 알래스카 고기압의 강화, 알류시안 저기압의 강화로 특징지어진다. 한반도 서쪽 기압계 변화에 따른 우랄블로킹의 약화는 동아시아 지역의 서풍 약화를 초래하여 미세먼지를 정체시킴으로써 고농도 상황을 만들 수 있다. 또한, 알류시안 저기압 강화는 초미세먼지 고농도 사례 발생 시 우리나라에 위치한 이동성 고기압이 동쪽으로 빠져나가지 못하게 하는 블로킹 효과를 가져와 장기적으로 고농도 미세먼지가 한반도에 머물도록 할 수 있다(이승민 외, 2020). 기후변화에 따른 해수면온도 상승과 북극 해빙 감소의 확장은 향후 기압 패턴에 영향을 줌으로써 우리나라 미세먼지 농도에 큰 영향을 미칠 것으로 보인다. 또한, 북극 바렌츠 해의 해빙 감소는 유라시아 상층 고기압 약화 및 동북아 상층 고기압 강화를 유발하고, 북극 베링해의 해빙 감소는 알류시안 저기압을 강화시킴으로써, 위에서 언급한 미세먼지 고농도 사례의 전형적인 종관 기상조건을 심화를 가져올 것으로 예상되어, 고농도 미세먼지의 빈도 및 강도가 향후 증가될 것으로 보인다.

그림 2-12 겨울철 미세먼지 고농도 사례의 알류시안 저기압과 알류시안 저기압 약화 경향에 대한 500hPa지위고도: 이승민 외 (2020), p70.

[주]
회색 및 검은색 점은 각각 90%, 95% 신뢰 수준에서 유의한 영역을 나타냄

[자료]
Oh et al.(2018), p 2371



3 제언

대기질 향상을 위한 배출량 감소 노력으로 평균적인 미세먼지 농도 감소가 기대된다. 이와 같은 상황에서는 기후변화에 따른 기상장의 변화가 미세먼지 농도에 미치는 영향은 더욱 커질 전망이다. 이는 미세먼지 고농도 사례의 빈도 및 강도 증가로 이어질 것으로 보여, 앞으로 대기관리 정책에서 이에 적절히 대응할 수 있는 방안 마련이 필요해 보인다. 이를 위해서는 관련분야에 대한 심도 있는 과학적 연구가 조속히 이루어져야 할 것이다.

미세먼지 관리정책의 효율성과 이행평가



1 서론

미세먼지에 대한 사회적 관심에 대응하기 위한 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」(이하 「특별법」)이 2018년 7월 제정되어 2019년 2월부터 시행되었다. 이 특별법에 따라 미세먼지 저감 및 관리를 효율적으로 추진하기 위하여 국무총리 소속으로 미세먼지특별대책위원회와 미세먼지개선기획단이 설치되었으며, 「미세먼지 관리 종합계획」과 계절관리제의 내용이 구체화되었다.

계절관리제는 부칙 규정에 따라 운영기간이 제한되는 위원회나 기획단의 형태가 아니라도 상설 기구와 조직을 통해 지속적으로 관리되어야 할 것이다. 이를 위해 지난 5년간 미세먼지 관리정책의 성과와 앞으로 보완되어야 할 사항을 정책의 효율성과 이행평가를 중심으로 다음과 같이 정리한다.

2 미세먼지 관리정책의 성과

2019년부터 5년간 미세먼지특별대책위원회 운영에 의한 미세먼지 관리정책의 개선 성과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 「특별법」에 의하여 범부처의 관심과 대기질 개선 노력이 이루어지기 시작하였다. 종전까지는 주로 환경부를 중심으로 대기관리정책이 추진되었으나 「특별법」 시행 이후부터는 범부처의 관심과 종합적 대기질 개선 노력이 이루어지기 시작하였다. 이에 따라 산업부, 농림부, 해양수산부, 국방부 등 부처의 관심과 노력이 증가하였다. 산업부는

석탄화력의 운영제한, 농림부는 농축산부문에서 배출되는 암모니아 배출량과 비산먼지 배출 현황에 대한 실태조사와 저감방안 연구, 해양수산부는 항만지역 대기오염 배출을 줄이기 위한 선박의 저유황유 사용, 선박의 저속운항, 대기오염 배출 실태에 대한 조사 사업을 시작하게 되었다.

특히 노후 석탄화력의 조기폐쇄와 계절관리제 기간 동안 운영 제한, 노후경유차의 조기 폐차와 매연여과장치 부착사업 등은 산업부와 환경부의 주요 정책으로서 상당한 효과가 인정된다. 석탄화력의 운영제한은 미세먼지 저감뿐만 아니라 온실가스 저감에도 상당 부분 기여하였을 것으로 평가된다. 이는 화력발전의 연료별 단위 발전량을 기준으로 비교할 때 석탄화력의 온실가스 배출량이 가장 크기 때문이다.

또한 노후경유차 운행제한은 미세먼지 배출 저감량은 크지 않았어도 디젤PM 감소에 의한 인체위해도 저감에 상당부분 기여했을 것으로 추정된다. 이와 관련하여 미국 캘리포니아 지역에서 수년간 4차례에 걸쳐 진행된 대기 중 위해성 대기오염물질의 위해도를 분석한 연구(The Multiple Air Toxics Exposure Study, MATES I-IV) 에서 디젤PM의 배출량을 줄여서 인체 발암 위해도를 크게 줄인 사례를 참조할 필요가 있다. 그러나 우리는 이러한 주요 배출저감 대책들의 정책효과를 미세먼지에만 초점을 맞추므로써 온실가스 저감과 인체위해도 저감과 같은 다양한 정책 효과를 평가 및 홍보하지 못한 아쉬움이 있다.

둘째, 과학적 근거에 의하여 대기관리 정책목표의 불확실성을 최대한 줄이기 위하여 노력하였다.

「특별법」 제정 이전인 2017년 5월 출범한 정부는 2017년 9월 국내 대기오염 배출량을 30% 저감하여 초미세먼지를 개선하겠다는 미세먼지 관리 종합대책(2017)을 발표하였다. 이 종합대책은 2014년 초미세먼지(PM_{2.5}) 전국 배출량을 연간 32.4만 톤으로 추정하고 있었다. 그런데 이 배출량은 황산화물, 질소산화물, VOCs의 1차 배출량에 2차 미세먼지로 변환되는 전환율(SO_x: 0.345, NO_x: 0.079, VOC: 0.024)을 곱하여 2차 생성량을 산출한 후 미세먼지 1차 배출량(91,460 톤/년)과 더한 값이다.

대기 중 2차 생성은 1차 배출된 오염물질이 대기 중에서 물리화학적 반응을 거쳐 생성된다. 그러나 이러한 전환율 적용의 문제점은 2차 생성이 특정 지역의 오염배출 형태, 오염물질 구성, 기상조건, 전환을 고려하는 시간 등에 따라 달라진다는 점을 반영하지

못한다는 것이다. 따라서 전구물질 배출량에 일정 전환율을 곱하여 2차 생성을 고려한 배출량으로 산정하는 것은 배출자료의 불확실성을 높이게 된다.

미세먼지특별위원회는 이러한 문제점에 대하여 외부 전문가들이 참여하는 수차례의 분과 위원회 논의를 진행하였고, 그 결과 전환율을 곱하여 미세먼지 2차 생성을 배출량으로 해석하는 것은 배출자료의 불확실성을 높이며 배출저감 효과를 왜곡할 수 있다는 점을 지적하였다. 이에 따라 정부가 2019년 11월 발표한 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)에서는 기존 대책에서 사용한 2차 미세먼지 생성 전환계수를 더 이상 사용하지 않는다는 점을 명시하고 오염물질별 감축량을 정책목표로 제시하게 되었다.

3 정책개선을 위한 제언

앞으로 추진되는 미세먼지 관리정책에서 보완·개선되어야 할 부분은 다음과 같다.

첫째, 대기관리정책의 효율적인 추진을 위해서는 잘못된 정책을 먼저 경계하고 막아야 한다. 과학적인 근거와 개선 효과에 대한 판단이 대기관리정책의 기본이며 중요한 정책과정인데 우리는 이 부분을 소홀히 하는 경우가 있다. 특히 정치권 일부에서 획기적인 미세먼지 대책을 찾겠다는 조급함으로 비과학적인 대책들을 제안하기도 한다. 예를 들면, 2019년 3월초 역대 최악의 고농도 초미세먼지 상황이 지속되자 도심 건물옥상에 다수의 대형 집진기를 설치하자, 공공건축물에 광촉매 페인트를 칠하자, 인공강우를 이용하여 미세먼지를 줄이자는 등의 대책들이 쏟아졌다.

민간 전문가들의 전문성을 활용하고자 설치한 미특위에서 이러한 대책들에 대한 어떤 검토도 이루어지지 못한 채 정부가 이처럼 비과학적인 대책들을 쏟아낸 것은 유감스러운 상황이었다. 이렇게 조급하게 제안되는 비경제적이고 비과학적 대책들은 대기질 개선 효과를 기대하기 어려울 뿐만 아니라 국민들의 대기관리정책 신뢰도를 무너뜨릴 우려가 있다. 따라서 논의과정을 통하여 잘못된 대책을 걸러서 정책실패를 피하는 노력은 정책과정의 컨트롤타워가 수행해야 하는 가장 우선적인 역할이 되어야 한다.

둘째, 「특별법」에 의한 미세먼지 관리 종합계획과 계절관리제의 정책 효율성을 지속적으로 높여야 한다.

미세먼지 계절관리제는 미세먼지가 높은 12월부터 다음해 3월까지 오염배출관리를

평상시 보다 강화하여 고농도 미세먼지 발생의 빈도와 강도를 줄이자는 정책이다. 2019년 이후 4차재의 미세먼지 계절관리제가 실시되었다. 따라서 미세먼지 계절관리제는 특히 많은 대책들의 이행효과를 점검할 수 있는 기회를 2023년까지 1년에 한번씩 4차재 가진 셈이다. 그러나 여러 대책들의 이행 상황과 대기질 개선효과를 비교분석하여 정책 효율성을 높이는 데는 부족한 점이 남아있다.

예를 들면, 계절관리제의 대책 중 공공부문 차량 2부제가 있다. 그러나 차량 2부제는 개인 차량 대신 이용할 수 있는 대중교통시스템이 뒷받침된 지역이라야 가능하다. 출퇴근을 위하여 개인차량 운영이 불가피한 지방의 경우 공공부문 차량 2부제를 지키기 위해 공공 기관 인근 주차장에 몰래 주차하고 출근한다면, 이런 상황에서는 전혀 정책효과가 나올 수 없다. 더구나 공공부문 차량 전체가 2부제를 잘 지키더라도 전체적으로 보면 그 효과는 미미한 것으로 분석된다. 결국 이렇게 현장에서 실질적인 이행이 어려운 대책은 관리를 위한 노력에 비하여 효과가 미미할 수밖에 없으며 보여주기 식이라는 비판을 피하기 어렵다.

정책의 효율성을 높이기 위해서는 백화점식으로 모아놓은 저감 대책들의 개선효과를 점검해 예산의 우선순위를 평가한 후에, 효과적인 대책은 확대하고 비효과적인 대책은 폐지하거나 축소하는 과정을 거쳐야 한다. 정책의 수정 보완을 통하여 효율성을 높일 수 없다면 그것은 국가정책으로 추진되는 종합계획이라고 하기 어렵다.

셋째, 미세먼지 관리 종합계획과 계절관리제의 성과를 다양한 방법으로 평가하는 작업이 필요하다.

현재 미세먼지 관리 종합계획과 계절관리제의 성과는 미세먼지의 평균농도(월평균, 연평균)와 미세먼지 나쁨 일수 등으로 파악하고 있다. 그러나 미세먼지 농도 중심의 평가에 화학성분 농도를 추가하여 개선할 필요가 있다. 미세먼지는 대기 중에 존재하는 입자상물질의 총량을 측정하여 농도를 파악하지만 미세먼지의 성분은 여러 배출원에서 배출되는 다양한 물질들로 구성된다. 따라서 미세먼지의 평균농도로 확인하기 어려운 주요 대책의 효과는 배출원의 특성을 고려한 시간적, 공간적, 화학적 해상도를 다양하게 분석하여 확인하는 작업이 필요하다.

예를 들면, 현재 미세먼지 저감을 위한 주요 대책에는 노후경유차 운행제한과 불법소각 단속과 같은 대책들이 있다. 그런데 이러한 대책들의 성과를 배출량의 변화로 파악하기에는 배출자료의 정확도가 낮고, 대기 중 미세먼지 평균농도 변화로 평가하기에는 농도 차이가 크지 않아 정책효과 확인이 쉽지 않다. 따라서 노후경유차의 운행제한에 따라 배출량에서 차이를 보이는 것은 디젤PM의 감소 때문이란 점을 고려할 때 이를 확인하기 위해서는 도로변의 미세먼지 성분 중 디젤PM과 상관성이 높은 원소탄소(EC)의 농도 변화를 확인하는 것이 필요하다.

또한 농촌지역의 불법소각 단속에 의한 배출량의 저감효과는 불법소각 감소량을 추정하기 쉽지 않다. 따라서 이러한 경우에는 농촌지역의 미세먼지 성분 중 노천소각에 의하여 많이 발생하는 유기탄소(OC)의 농도 변화를 살펴보는 것이 필요하다. 이와 같이 미세먼지의 평균농도와 배출량의 변화로 대책의 대기질 개선 효과를 판단하기 어려운 경우에는 오염배출 지역과 배출원 특성을 고려하여 미세먼지의 다양한 화학성분을 추가적으로 분석하는 작업이 필요하다.

넷째, 2024년에는 미세먼지 관리 종합계획(2019.11)에 대한 추진 실적보고서가 작성되어야 한다.

정부에서 2019년 11월 발표한 미세먼지 관리 종합계획은 2020년부터 2024년까지 5년간 약 20조 원의 예산을 투입하여 대기오염 배출량을 감축함으로써 2024년 연평균 초미세먼지 농도 $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 달성하겠다는 종합적 국가계획이다. 따라서 2024년 말에는 5년간 추진된 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)에 대한 추진실적 보고서가 작성되어야 하며 이를 위해서는 조기에 준비가 필요하다.

이 실적 보고서에서는 5년간 예산을 제대로 사용하여 오염물질 배출량을 계획대로 줄이고 대기질을 개선하였는지에 대한 이행실적의 평가가 이루어져야 한다. 이행실적에는 부처별·대책별 배출저감 정책의 예산 집행율과 오염배출 저감량 또는 이행지표의 목표 달성을 분석이 포함되어야 한다. 이행평가는 5년 동안 미세먼지 관리정책에서 성공적이었던 부분을 정리하는 작업뿐만 아니라 부족한 부분과 대책별 미세먼지 개선효과의 우선순위를 분석하여 후속 미세먼지 관리 종합계획을 보완·발전시키는 작업으로 연계되어야 한다.

국가계획이 계획단계에서는 종합적으로 잘 구성되지만 진행되는 과정에서 담당공무원들의 잦은 교체와 정권 교체에 따라 이행평가가 흐지부지되어 또다시 유사한 계획을 반복하는 사례가 있다. 10년, 20년을 바라보는 장기 국가종합계획은 이를 담당하는 사람에 의존하기보다 계획과정에서 구축한 이행점검 시스템에 의하여 체계적으로 추진되도록 해야 한다.



chapter



미세먼지특별대책위원회
맑은 하늘을 위한 5년간의 여정

www.cleanair.go.kr

미세먼지의 국민건강과 소통

미세먼지 노출과 건강영향

학교 미세먼지 관리

미세먼지의 국민인식과 정책개선

미세먼지 노출과 건강영향



1

미세먼지 노출과 건강영향

가. 국민건강보호

2022~2023년간 미세먼지 계절관리제를 시행한 결과 초미세먼지 농도는 실제적으로 $1.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 저감된 것으로 나타났는데, 이러한 관리정책으로 인한 미세먼지 농도 감소가 실제 국민 건강에 어떻게 영향을 미치는지 살펴보는 것이 중요할 것이다. 미세먼지 발생을 근본적으로 감소시키는 국가정책 이외에도 개인이 실천할 수 있는 미세먼지 노출을 최소화할 수 있는 중재·관리방안을 통해 건강영향을 감소시킬 수 있을 것이다. 미세먼지의 저감 노력이 국민 전체의 건강에 미치는 영향도 물론 중요하지만, 특히 미세먼지 민감군에 대한 건강 보호기반을 강화하는 것이 더 중요하다고 하겠다. 과거 많은 연구들에서 미세먼지 노출은 건강한 성인에게는 물론 건강취약계층인 소아, 노인 그리고 만성 호흡기 질환자들에게 더욱 큰 건강 위해를 끼치는 것으로 나타났다.

나. 미세먼지 민감계층 영향

미세먼지 노출에 의한 건강영향을 평가한 연구들은 대부분 장기 노출보다는 단기 노출에 의한 영향 평가이며, 주로 호흡기질환을 많이 다루었고 그 다음으로 심혈관질환, 뇌혈관질환, 알레르기질환 연구들의 순이었다. 건강영향 평가 결과는 사망이 가장 많고, 응급실 방문, 증상 악화의 순이다. 그리고 분석 대상은 소아, 노인, 만성질환자, 건강취약계층이 주를 이루었다. 따라서, 건강영향 평가시 지역별, 대상자별, 건강영향 질환별로 접근하는 것이 구체적인 결과 제시 및 정책 반영에 도움이 될 것이다.

1) 소아

2020년 질병관리청 학술연구개발용역과제 <미세먼지로 인한 취약계층의 생애주기별 알레르기 피부질환 영향연구>의 연구 결과에 따르면 시간, 공간의 복합 노출에 따른, 전 생애에 걸친 환경요인 노출 영향 중 특히 건강취약계층인 소아에서 미세먼지 노출에 의한 알레르기 피부질환 영향이 있는것으로 나타났다. 따라서 소아에 대해서는 장기 노출에 의해 더욱 심각한 건강영향을 초래할 수도 있다는 점에서 더욱 주의가 필요하다. 그 중에서도 알레르기질환과 같은 만성 재발성 질환을 앓고 있는 소아에게는 건강한 성인에 비해 미세먼지 노출의 건강영향이 매우 심각하다고 할 수 있다. 더구나 소아는 성인에 비해 환경의 영향을 더 크게 받을 뿐 아니라 질병 발생이 성인기에도 지속되는 경우가 많기 때문에 이들에 대한 사회적 책임이 더욱 크고 정부의 관리대책과 지원에 대한 사회적 요구도 높다고 할 수 있다. 아울러 비대면 방식의 건강 정보 자료 수집 기술과 인공지능 기반 알고리즘 등을 개발·이용하여 개인별 미세먼지 노출 예측 및 예방 유도에 도움이 될 수 있을 것이다.

2) 만성호흡기질환자

<미세먼지 성분 노출과 성인 만성 호흡기질환 연관성 분석 및 중재연구를 위한 기반 연구> 보고서에 따르면 PM_{2.5}는 말초 호흡기에 도달할 수 있고, 만성폐쇄성폐질환(COPD)의 급성 악화 및 폐기능 감소의 원인으로 지적되었다. 흥미롭게도 이 보고서는 실외 미세먼지 농도가 높은 날에도 잠시 동안의 창문 환기가 실내 PM_{2.5} 수준에 악영향을 미치지 않는다고 하여, 일상생활에서 미세먼지 농도 저감 활동의 중요성을 다시 한번 인식하게 해주었다. 또한 중재를 통한 교육이 만성호흡기질환 환자에게 실천 정도를 높이는 효과를 가져왔다고 밝혔다. 실내공기 여과필터 사용, 창문 환기 등이 초미세먼지 농도를 현저하게 감소시켰을 뿐만 아니라 천식 악화로 인한 응급실 방문과 같은 임상 지표도 개선됨을 보고하였다. 이러한 결과는 비록 실외 미세먼지 농도가 높다하더라도 노출 감소를 위한 생활 습관 개선, 이클레텐 공기청정기 사용, 미세먼지 예보 확인, 미세먼지 나쁜 날 외출 자제 등의 실천으로 건강 영향을 최소화할 수 있다는 것을 보여준다.

3) 조리종사자들의 건강영향

특별한 환경의 민감군에 대한 건강영향도 살펴볼 필요가 있다. 2016년 환경부 <생물성 연소(고기구이 음식점)시 발생하는 미세먼지 관리 방안별 효과성 분석> 보고서는 2013년 고기구이 음식점에 의한 미세먼지 배출량이 PM₁₀ 420.3톤, PM_{2.5} 389.3톤이며 매년 증가하고 있고, 인체유해성이 큰 PM_{2.5}의 비중이 점점 높아지고 있다고 밝힌다. 고기구이

음식점에서 배출되는 고농도 PM_{2.5}에 유증기 등의 기름 성분이 포함되어 있어 처리가 쉽지 않고, 국내에서의 배출 저감 관리방안으로 제시되고 있는 저감 장치는 각 음식점마다 설치하는 데 어려움이 있다. 또한 배출 저감 노력뿐 아니라 직접적으로 지속적인 노출이 불가피한 고기구이 음식점 종사자, 조리시설 종사자, 학교 및 단체 급식 조리원 등의 건강영향에 대해 주목할 필요가 있다. 이들을 미세먼지 노출 건강 취약계층으로 편입시켜 노출을 최소화하고 건강을 증진시킬 수 있는 교육, 홍보 등을 실시하는 것 또한 저감노력 못지않게 중요할 것이다.

다. 미세먼지 민감계층 보호 관리 정책

미세먼지 오염 노출에 특히 취약한 소아, 노인, 장애인들의 시설에 공기정화설비를 보급하고 취약계층 이용 밀집 지역을 집중 관리 구역으로 지정하여 관리하였으며, 통학차량 연소 장치 교체 등을 추진하였다. 실제 미세먼지 민감계층 밀집 지역의 관리는 실내공기질 점검 등으로 이루어졌으나 코로나19 상황으로 인해 비대면으로 진행된 곳이 많아 아쉬움이 있으나 향후 코로나19 엔데믹 전환 후 더 높은 현장 점검 이행이 기대된다. 또한 각급 학교나 민감계층 밀집 다중이용시설에 기 설치된 공기정화 시설의 개선이나 유지 보수 또한 장기적인 지속 관리를 위해 중요할 것이다.

라. 국민건강 보호를 위한 정책기반 강화

선행 연구들이나 보고에 따르면 미세먼지로 인한 국민건강 피해, 생산 활동 위축 및 건강 비용 증가 등의 피해가 분석된 바 있다. 건강위해 민감계층이 많은 학교, 유치원, 다중이용시설, 취약계층 밀집지역 등에 대한 다양한 공기질 개선 사업 등이 적절히 진행되고 있는 것으로 보이나, 각 사업 관리 부처 간의 유기적인 관계 및 상호 협조 노력이 향후 이러한 정책을 지속가능하게 할 것으로 생각된다. 다만, 국외에서 유입되는 미세먼지의 경우 예측이 어렵고, 우리의 노력만으로 저감 효과를 기대하기 어려운 면을 고려할 때 국제적인 협약과 공조가 필요할 것으로 생각된다.

또한, 현재까지의 연구들은 대부분 미세먼지 측정, 역학, 그리고 개선방법의 효과성에 중점을 두고 있어, 여기서는 주로 미세먼지 건강영향을 입증하는 역학연구에 기반하여 건강개선을 위한 저감효과를 분석하였다. 현재까지 보건의료 측면에서 미세먼지 저감 노력이 건강개선에 영향을 주었다는 구체적인 보건의료보고서는 많지 않은 것으로

파악되며, 향후 환경부, 보건복지부 등 유관 부처 간의 유기적이고 긴밀한 협조로 구체적인 조사와 연구가 이루어지길 기대한다. 한 예로서 부산 지역의 미세먼지 농도는 연간 환경기준을 만족하고 있지만 호흡기계, 심혈관계 질환은 여전히 조기사망의 주요 원인이 되고 있어 만약, 미세먼지와 인체 건강과의 관계가 보다 정밀하게 파악되고 이를 통해 호흡기 및 심혈관계 질환자의 조기사망률을 줄일 수 있다면 부산지역에서만 약 2천억원 이상의 경제적 효과를 기대할 수 있다고 한다.

미세먼지에 의한 건강영향을 줄이기 위해 환경부가 제시한 일반적인 대응 요령은 실외 모임, 캠프, 스포츠 등 실외 활동 최소화, 외출 시 보건용 마스크 착용, 외출 시 대로변·공사장 등 대기오염이 심한 곳에서의 지체 시간 줄이기, 고농도 발생 시 심한 외부 활동을 줄이기, 외출 후 손·발 깨끗이 씻기, 물·과일·야채 등 충분히 섭취, 환기·물청소 등의 실내 공기질 관리 등이다. 이어 환경부는 2017년 5월 고농도 미세먼지 발생 시 신속하고 효율적으로 대응하기 위해서 영유아, 학생, 노인 등 건강 취약계층을 보호하기 위한 미세먼지 단계별 관리체계와 기관별 대응 방향을 구체적으로 규정한 고농도 미세먼지 대응 매뉴얼을 발표하였다. 이는, 전국 단위에서 추진되고 있는 미세먼지 예보제를 통해 국민의 건강에 미치는 피해를 최소화하고, 대기오염을 줄이기 위한 노력에 국민의 참여를 구하기 위한 제도이다.

마. 결론

같은 실외 미세먼지 농도에도 개인에 따라 노출 정도가 다르고 노출에 따른 건강영향도 다르게 나타나기 때문에 건강 민감계층에 대한 각각의 노출 평가 및 특성에 맞는 개별적 관리가 필요하다. 이는 민감 계층의 건강영향을 최소화하는 데 도움이 될 것이다. 즉, 미세먼지 노출 민감군을 대상으로 미세먼지에 의한 급성 건강 악화를 예측하고 미리 노출을 저감시키는 환경개선 및 생활습관 개선에 대한 교육과 홍보가 중요할 것이다.

2

미세먼지의 기준 (WHO-우리나라)

미세먼지특별법은 우리나라 국민의 열망에 의해 만들어진 법으로 2019년 당시 전 국민이 미세먼지를 시급히 해결해야 할 사회문제 중 1위로 꼽을 정도였다.

코로나19로 인해 잠시 국민의 관심이 줄어들기는 하였으나 날씨가 차가워지면 다시 악화되는 미세먼지 상태는 매해 반복되는 계절적 사회문제로서 이른 시일 안에 더 낮은

수준으로 관리되어야 할 가장 중요한 사회현상의 하나이다. 우리나라의 미세먼지 관리 기준의 수준에 비해 낮은 WHO의 가이드라인 설정 방법에 대하여 기술하고 이를 근거로 현재 미세먼지특별법 시행으로 인한 미세먼지 저감 효과를 조기사망 영향 평가로 가정한 분석을 통해 미세먼지 저감의 사회적 효과를 검토하고자 한다.

가. WHO 미세먼지 가이드라인 도출 과정

국내 미세먼지 관리기준 도출 과정은 세계보건기구 대기환경기준, WHO AQG(Air quality goal)와 잠정기준(Interim target) 설정의 영향을 많이 받았다. WHO에서는 수많은 전문가 검토를 토대로 미세먼지 노출과 건강영향 간의 인과관계를 우선 설정한다. 2021년에 발간된 <WHO Global Air Quality Guidelines>에서는 미세먼지 단기·장기 노출과 건강 영향 간의 인과관계를 아래와 같이 'Causal'로 정의하였고, 1급 발암물질로 분류하였다.

표 3-1 WHO 미세먼지 인과관계 수준 설정

항 목	노출기간	건강영향	인과관계 등급 결정
PM _{2.5} PM ₁₀	장기노출	<ul style="list-style-type: none"> • 모든 질환 사망 • 심혈관 질환 사망 • 호흡기 질환 사망 • 폐암 사망 	PM _{2.5} 모든 질환, 심혈관 질환, 호흡기 질환 사망과 Causal
			PM • 모든 사망과 Causal • 폐암에 대한 Group 1
	단기노출	<ul style="list-style-type: none"> • 모든 질환 사망 • 심혈관 질환 사망 • 호흡기 질환 사망 	PM _{2.5} • 모든 질환, 심혈관 질환, 호흡기 질환 사망과 Causal • 심혈관 질환 및 호흡기 질환 영향과 Causal
			PM • 모든 사망과 Causal

[자료]
WHO(2021)
<WHO global air quality
guidelines>

WHO는 미세먼지 노출로 인한 'Causal' 등급의 건강영향인 사망(총·심혈관·호흡기)에 대한 연구 결과를 토대로 2021년 새로운 AQG (PM_{2.5} 24시간 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1년 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀ 24시간 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1년 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)를 제안하였고, 기존 AQG값은 'Interim target 4'로 신설하였다.

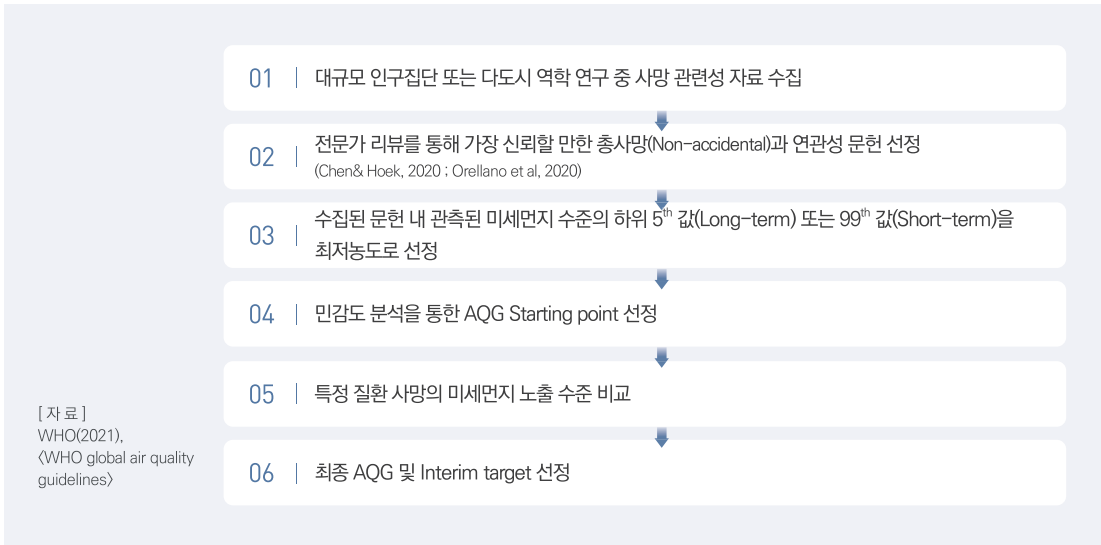
표 3-2 WHO 미세먼지 관리 가이드라인

항목	노출기간	Interim target				AQG
		1	2	3	4	
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24시간	75	50	37.5	25	15
	1년	35	25	15	10	5
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24시간	150	100	75	50	45
	1년	70	50	30	20	15

[자료]
WHO(2021),
<WHO global air quality
guidelines>

WHO 미세먼지 가이드라인 도출 과정은 <그림 3-1>과 같이 6단계로 구성된다. 첫 번째로 전문가 검토를 토대로 대규모 인구집단 또는 다도시 역학 연구 중 Casual 등급과 관련된 질환과의 관련성을 연구한 자료를 고찰한다. 두 번째로 가장 신뢰할만한 문헌을 선정한다. 이번 2021년 신규 AQG 개정에 활용된 문헌은 2편(장기노출기준: Chen & Hoek, 2020 / 단기노출기준: Orellano et al., 2020)이며 각 문헌은 대략 18편의 연구 결과에 대한 메타분석을 다루고 있다. PM_{2.5} 장기노출기준의 경우 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 때 초과사망률이 8% 증가, 단기노출은 0.65% 증가한다. PM₁₀ 장기노출기준의 경우 초과사망률 4% 증가, 단기노출은 0.41% 증가한다. 세 번째로 2개 문헌의 메타분석 연구에서 관측된 미세먼지 수준의 하위 5번째 값(장기노출의 경우) 또는 99번째 값(단기노출의 경우)을 최저농도로 선정한다. 예를 들어 PM_{2.5} 장기노출기준의 최저농도 확인을 위해 메타분석에 활용된 18개의 문헌 5번째 평균 농도를 확인한 결과는 4.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 나왔다.

그림 3-1 WHO PM_{2.5} 관리기준 도출 과정



네 번째로 최저농도에 대한 값의 변동을 확인하여 대기기준 시작점을 선정한다. 앞선 예시의 경우 민감도 분석 결과 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하지 않는다고 판단하여 PM_{2.5} 장기노출 기준의 AQG를 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 선정하였다. 다섯 번째로 특정 질환 사망의 미세먼지 노출 수준을 비교한다. 기준설정에 활용된 리스크 보다 큰 순환기계, 호흡기계, 폐암 사망 역학 자료에서의 미세먼지 평균값 하위 5순위 농도 수준을 확인하고 앞선 단계에서 설정한 AQG값 초과 여부를 확인한다. 마지막으로 최종 AQG값을 도출하고 기존 AQG값은 'Interim target 4'로 설정한다.

WHO는 철저히 검증된 문헌들에서 관측된 미세먼지 농도 수준(연평균의 경우 하위 5순위 값, 일평균의 경우 99순위 값)과 건강영향의 정량적 수준만을 고려하여 미세먼지 가이드라인을 제공하고 있다. 국내 미세먼지 관리기준 역시 과학적인 역학 및 위해성 연구 결과를 토대로 설정되었다. <그림 3-2>와 같이 먼저 국내외 대기오염물질 노출로 인한 가역(질환 발생률 등) 또는 비가역적(사망률 등) 건강영향 자료를 수집하고 국내 노출 수준과 비교하여 허용위해수준을 결정한다. 여기에 규제 준수를 위해 필요한 공학적 기술의 수준 및 보급현황과 비용편익 분석을 통한 투자 비용 대비 경제적 효과 등을 검토하여 국내 실정에 가장 적합한 대기기준으로 설정하고 있다.

그림 3-2 국내 대기오염물질 기준 설정 과정



나. 미세먼지특별법 시행 이후의 농도 변화에 따른 조기사망 추정

WHO의 대기질의 가이드라인 설정 과정을 토대로 국내 미세먼지 대기환경기준은 PM₁₀ 24시간 기준 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1년 기준 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} 24시간 기준 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 1년 기준 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정하고 있다. WHO 가이드라인에 비해 높으나 건강영향만을 감안할 수 없는 국가 상태가 반영된 기준이다. 특히 주변국가의 영향과 국내발생원의 통제 수준이나 기상상태 등 미세먼지 농도에 영향을 주는 많은 요인을 고려하여 정하는 것이 기준설정의 일반적인 원칙이다.

따라서 국가별 미세먼지 노출 수준 및 관리방안의 근거가 서로 다르기 때문에 관리기준의 직접 비교만으로는 큰 의미를 찾기는 어려울 수 있겠으나 현 관리 수준이 우리나라 건강 보호에 도움이 되는지에 대한 지속적인 검토는 필요한 상황이다.

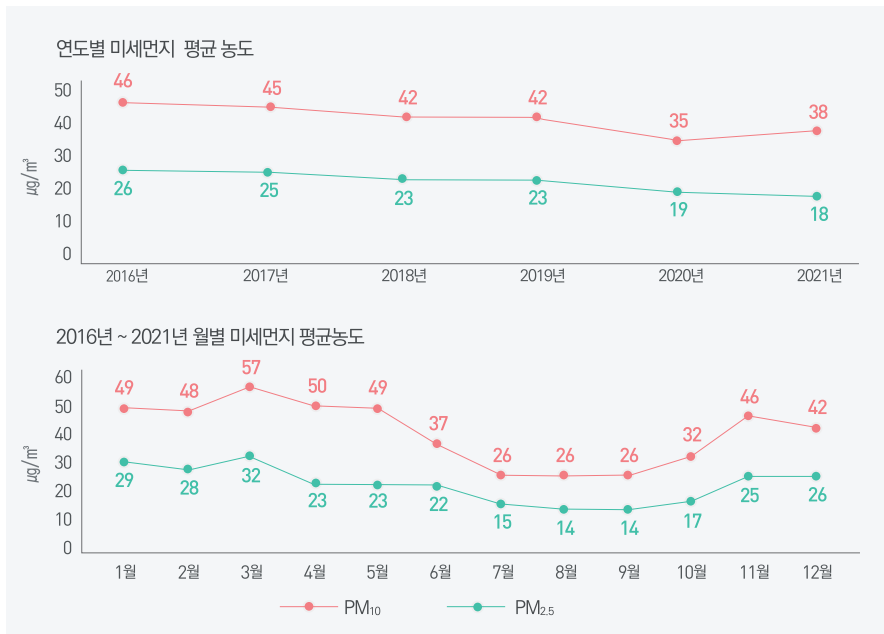
표 3-3 국내외 미세먼지 관리현황

PM	노출기간	한국	미국	일본	캐나다	호주	홍콩	중국	영국	EU	WHO
PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24시간	100	150	100	-	50	100	150	50	50	45
	년	50	-	-	-	25	50	70	40	40	15
PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24시간	35	35	35	27	25	75	75	-	-	15
	년	15	15	15	8.8	8	35	35	25	25	5

[자료]
에어코리아 국외
대기환경기준 파트
www.airkorea.or.kr/
web/contents/
contentView/?pMENU_
NO=133&cntnts_no=7

우선적으로 대기 중 미세먼지 수준에 대한 재확인이 필요하다. <2021 대기환경연보>에 따르면 2016년부터 2021년까지 PM₁₀ 연평균 농도는 약 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 약 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 17% 정도의 감소 수준을 보였으며, 마찬가지로 PM_{2.5} 연평균 농도 역시 약 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 약 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 30.7% 정도 감소된 것으로 나타나고 있다. 여전히 기상조건 등 외부 요인에 의한 시계열 트렌드가 명확히 나타나고 있음을 알 수 있다. 모든 연도에서 연평균 대기 관리기준을 준수하고 있고, 감소 경향이 명확해 미세먼지 노출로 인한 국민 전체의 건강 영향 정도 역시도 감소될 것으로 보인다.

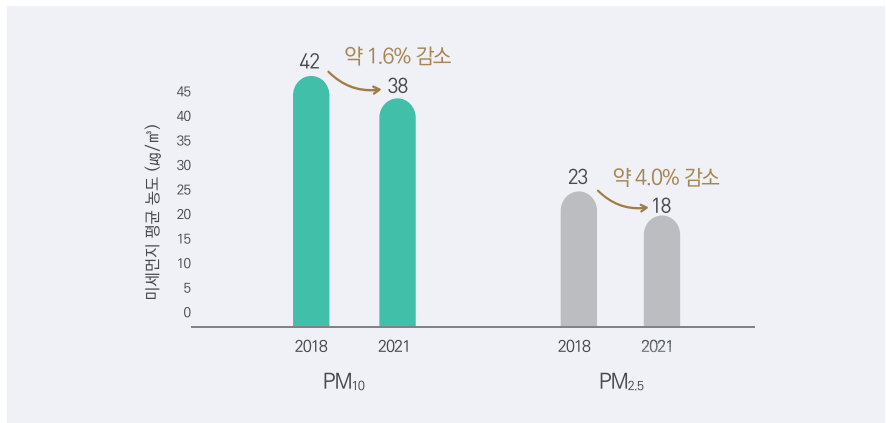
그림 3-3 '16년~'21년도 전국 미세먼지 평균 농도 현황



[자료]
국립환경과학원(2022),
<2021 대기환경연보>

무엇보다 2019년부터 미세먼지 저감을 위한 강한 정책이 반영되면서 미세먼지 감소 폭이 커졌다. PM₁₀의 연평균 농도는 2018년 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2021년 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (약 9.5%) 저감되었다. PM_{2.5} 역시 2018년 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2021년 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (약 21.7%) 정도 감소된 것으로 나타났다. 여기에 PM₁₀ 장기노출기준 설정에 활용된 위험도값을 적용하였을 때, PM₁₀ 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소됨으로 인해 초과사망률은 1.6% 정도 감소하였다(〈그림 3-4〉).

그림 3-4 국내 미세먼지 감소로 인한 초과사망률 감소 현황



[자료]
WHO(2021)
〈WHO global air quality guidelines〉
국립환경과학원(2022)
〈2021 대기환경연보〉

PM_{2.5} 장기노출기준 설정에 활용된 위험도값을 적용하면 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소됨으로 인해 초과사망률이 약 4.0% 감소되는 것으로 나타난다. 2021년 기준 통계청에서 발표한 국내 총 사망자 317,680명 중 질병 외 사망자 26,147명을 제외하면 291,533명이 질병으로 사망하였다. 미세먼지 노출로 인한 총 질환 사망을 추정할 경우 PM₁₀ 장기노출로 인해서는 11,213명, PM_{2.5} 장기노출로는 21,595명 사망한 것으로 추산된다. 산출된 초과사망자수에 미세먼지 저감으로 인한 초과사망자수 감소를 확인하면 PM₁₀ 약 4,618명, PM_{2.5} 약 11,378명으로 추산된다.

학교 미세먼지 관리



1 개요

가. 학교 미세먼지 관리의 필요성

우리나라는 미세먼지 고농도 국가로서 미세먼지 피해에서 벗어날 수 없다. 이에 지난 2019년 미세먼지가 사회재난에 포함되었다. 미세먼지는 환경오염물질로서 개개인이 대응하는 데 한계가 있어 사회가 함께 지속적으로 대응하며 관리해 나가야 할 사회문제이다. 그러나 미세먼지가 사회문제로 이슈화되기 이전까지는 관련한 대책이 거의 전무하였고, WHO(세계보건기구) 권고기준 대비 우리나라 대기환경기준은 2배 이상 높기 때문에 대기오염으로부터 우리 국민들의 숨 쉴 권리가 제대로 보장되지 못하는 상황이었다. 국민들은 이러한 환경재난에 심각하게 우려하였고 맑고 깨끗한 공기를 염원하며 정부와 국회에 대응 마련을 촉구하였다.

이에 국회가 미세먼지특별법을 마련하였고 정부는 국무총리 산하 미세먼지특별대책 위원회를 출범하여 사회재난인 미세먼지로부터 국민 개개인의 건강을 보호하기 위한 제도를 마련하기 시작하였다. 제시된 수백 가지의 제도가 모두 중요하지만 우리가 더욱 주목해야 할 점은 아이들이 다니는 학교 내 실내공기질의 관리이다.

학생들은 하루 중 집 다음으로 학교에서 보내는 시간이 많다. 실외의 미세먼지 발생을 저감하려는 노력과 동시에 학교 실내공기질도 제대로 관리해야 대기오염으로부터 건강을 제대로 보호할 수 있다. 아이와 성인이 같은 양의 미세먼지에 노출되었을 때 아이는 성인보다 호흡량이 2~3배 많아 더 많은 미세먼지에 노출된다.

민감군인 아이들이 집 다음으로 가장 많은 시간을 학교에서 생활하고 있어 학부모들은 건강피해를 우려하였고 정부와 학교에 적극적인 대응방안 마련을 요구하였다.

나. 학교 미세먼지 관리를 위한 제도 마련

국민들이 요구하는 현장의 목소리를 반영하기 위해 정부는 미세먼지특별대책위원회에 일반 국민을 전문위원으로 위촉하였다. 이를 계기로 전무했던 교육기관의 미세먼지 관리 제도가 마련되기 시작하였고 관련하여 많은 예산이 투입되었다. 미세먼지 정책은 정부와 국회가 국민의 간절한 목소리를 적극적으로 수용한 유의미한 정책으로 평가할 수 있다. 아래와 같이 관련 제도들이 도입되었고 적극적인 예산 투입으로 아이들이 교육기관에서 미세먼지로부터 보호받을 수 있는 초석이 마련되었다.

- 💡 2019년 전국 유, 초, 중, 고교 공기정화장치 설치 사업 시행
- 💡 2019년 학교 미세먼지 대응 매뉴얼 마련 (고농도 계절 별도)
- 💡 2020년 학교별 실효적인 공기질관리 시스템 마련을 위한 범부처 [학교미세먼지관리사업단] 출범 (2024년 종료)
- 💡 2022년 전국 초, 중, 고교 미세먼지 간이측정기 설치 사업 완료 등

표 3-4 공기정화장치 설치 및 유지관리 예산 현황

연도	2019		2020		2021		2022		2023	
	예산	결산	예산	결산	예산	결산	예산	결산	예산	결산
금액	133,934	108,023	123,801	119,473	239,838	214,371	192,410	173,858	178,442	-

(단위 : 백만원)

[자료]
전국 사·도 교육청 합계액
교육청 공기청정기 구매, 렌탈,
유지보수비 + 공기순환기 설치,
유지보수비 예산

다. 실효적인 학교 미세먼지 관리를 위한 개선 방안

국민들의 염원 속에 교육기관 대응책도 마련되었지만 교육기관 미세먼지 관리·대응 매뉴얼과 공기정화장치 설치사업 등을 추진하는 과정에서 현장의 상황이 제대로 반영되지 않았다. 일부 학교 현장에서는 배포된 매뉴얼의 실효성이 떨어진다는 목소리도 있다. 학교 미세먼지 관리 제도의 도입은 환영할만하나 현장 대응력의 한계와 코로나19 팬데믹으로 인해 지난 3년간 정책의 지속성이 떨어졌기 때문에 현장 이행력을 높일 수 있는 개선

방안이 뒤따라야 한다. 현장 대응력과 관련 예산편성의 적절성을 높여 미세먼지로부터 아이들의 건강을 실질적으로 보호할 수 있도록 제도가 보완되어야 한다. 학교보건법을 일부 개정하거나 시행령 마련 등의 조치가 필요하므로 무엇보다 관계 당국과 국회의 적극적인 대처가 필요하다. 기존제도의 한계 및 개선사항은 다음과 같다.

첫째, 교육부는 아이들의 건강보호를 최우선으로 고려해 매뉴얼 이행을 권고가 아닌 의무사항으로 변경함으로써 현장 이행력을 높여야 한다. 기존의 학교 미세먼지 관리 대응 매뉴얼 이행 여부는 담임이나 학교장 재량에 달려 있어 지켜도 그만 안 지켜도 그만인 권고 사항이다. 해당 학교장과 담임의 미세먼지 위해성 인식 정도에 따라 매뉴얼 이행력이 각기 달라지기 때문에 전국의 교실 공기질도 천차만별이다. 교실당 비슷한 수준의 예산이 편성되었다 하더라도 공기정화장치 설치가 곧 교실의 공기질을 담보할 수 없는 이유이다.

둘째, 현행 교실 공기질의 초미세먼지 유지기준을 학생들이 수업하고 있는 재실시간 평균을 기준으로 변경해야 한다. WHO에서는 초미세먼지가 일 평균 권고기준인 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 더 낮은 수치로 나오더라도 건강에 영향을 미칠 수 있다고 한다. 교육부는 당초 초미세먼지 유지기준 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 도입(2018년)시 예산편성 문제와 공기정화장치기술 등의 문제 때문에 기기장치 가동 여부와 상관없이도 유지가 가능한 수준으로 설정하였다. 초미세먼지 유지기준 도입 이후 지난 5년간 공기정화장치 설치·유지에 7천 9백억 원 이상의 예산이 투입되어 유·초·중·고 모든 교실에 공기정화장치가 설치되었다. 공기정화장치 가동이 가능한 현재, 아이들의 건강을 실질적으로 보호할 수 있도록 초미세먼지 유지기준을 WHO의 일 평균 권고기준인 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화해야 한다.

셋째, 학교 현장의 미세먼지 수준을 객관적으로 확인할 수 있는 모니터링 시스템이 필요하다. 연간 1천억 원 이상의 많은 예산이 투입되고 있지만, 학부모들은 학교현장에서 아이들이 미세먼지로부터 제대로 보호받고 있는지 확인할 방법이 없어 아쉬움을 표한다. 학교별 연 2회 공기질 측정을 시행하고 있지만 특정한 날을 지정해 측정하는 방식으로는 고농도 기간의 교실 공기질 확인이 불가능하다. 즉, 교실내 미세먼지의 대표성이 떨어진다. 또한 실시간 모니터링 시스템을 통해 실내 맞춤형 공기정화장치를 가동하고 학교 미세먼지 관리 대응 매뉴얼을 이행하도록 해야 한다.

표 3-5 현행 미세먼지 제도와 향후 개선 방안

현행	개선 방안	기대 효과
학교 미세먼지관리 대응 매뉴얼 이행, 권고 사항	학교 미세먼지관리 대응 매뉴얼 이행, 의무 사항으로 변경	관리 주체 책임 강화로 매뉴얼 이행력 제고
초미세먼지 유지기준/ 24시간 평균 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	초미세먼지 유지기준/ 재실시간 평균 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하	WHO 권고기준 도입으로 아이들 건강보호 강화
공기질 연 2회 측정 방식	교실공기질 실시간 모니터링 시스템 도입	예산투입 자체가 목표가 아닌 실질적인 노출 저감을 목표로 설정

자료 | 과기부·교육부(2022), <에너지·환경 통합형 학교 미세먼지 관리기술개발 사업단 5차년도 시행계획>

2 학교 미세먼지 관리를 위한 기술개발

미세먼지 특별법 시행 이후의 시급한 과제는 피해의 주요 대상인 학령기 아동을 보호하기 위한 기술개발이었다. 이에 따라 과학기술정보부와 교육부가 주도하는 ‘학교미세먼지 관리기술개발 사업단’이라는 이름의 국가사업단이 2019년 8월부터 현재까지 이를 연구, 개발중에 있다. 이 사업단의 주요 연구결과는 향후 교육현장에서 미세먼지관리의 중요한 사항으로 적용될 것이고, 아울러 교육현장의 제도보완과 관리의 원칙으로서 우리의 미래인 학생의 건강보호와 피해예방의 근거로 활용될 내용들이다.

사업단에서 도출된 주요 연구결과는 다음과 같다.

가. 학교 미세먼지관리 기술개발사업

사업단은 성장기의 학생들(초·중·고)의 건강 피해를 예방하고 안전한 학교 환경 조성을 위해 미세먼지 발생·유입과 건강영향을 규명하고 지속적 유지관리를 고려한 체계적인 에너지·환경 통합형 기술개발을 하고자 출범하였다. 사업단의 목표는 과학 기술적 근거에 기반한 학교 미세먼지 관리체계를 구축함으로써 안전하고 건강한 학교 환경을 조성하여 학생들의 건강권과 학습권을 보장하는 것이다. 이를 위해 ①WHO 권고기준 수준의 상시 초미세먼지(PM_{2.5}) 관리를 위한 학교 맞춤형 통합관리 시스템을 개발 및 실증하고, ② 학생들의 건강과 복지를 위한 교내외 대기오염의 원인 규명 및 문제 해결을 바탕으로 에너지·환경 기반 최적의 기술적/보건학적 관리시스템을 마련하는 데 목표를 두고 있다.

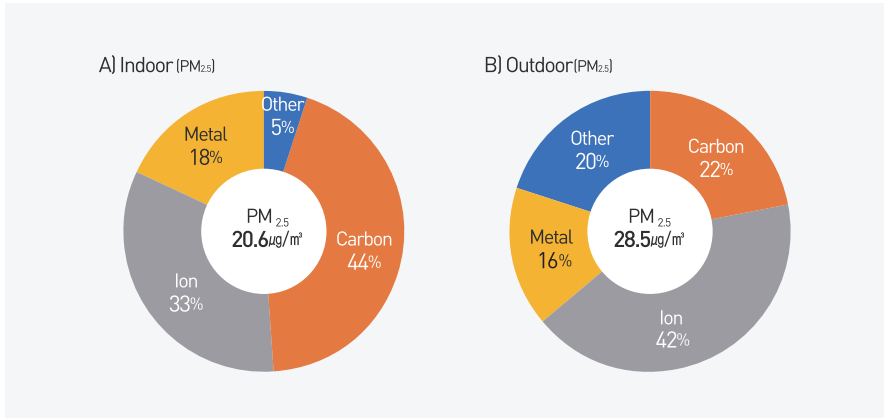
표 3-6 학교 미세먼지 사업단 주요 연구 내용 및 연구성과

핵심 연구 내용	연구성과
외부환경 및 활동도 기반 학교건물 내 미세먼지 발생특성 규명	미세먼지 저감 정책과 상관 없이 '20~'22년 학교 교실 유기탄소, 실외 이온성분 주요 영향 확인
학교 미세먼지 노출 특성별 학생건강 영향평가 및 중재효과 분석	미세먼지 저감 정책으로 인해 절대노출수준은 줄었으나, 미세먼지 노출기여도는 가정, 학교, 실외, 학원, 차량 순
신재생에너지 연계 실내외 열공기 환경 정보연동 청정공조환기시스템 개발	신재생에너지 30% 적용, 학교 PM _{2.5} (24시간 기준) 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 및 실내 소음 45 dB(A)(중양공조 기준) 이하 달성
학교 유형별 컨설팅 및 맞춤형 공기환경 개선방안 실증	학교 교실 미세먼지 개선안 적용을 통해 실외 미세먼지 농도와 상관없이 연간 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 유지
학교 미세먼지 관리체계 구축	학교 교실 PM ₁₀ 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ →50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (33% body burden ↓) PM _{2.5} 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ →25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (29% body burden ↓)

[자료]
과기부·교육부(2022),
[에너지·환경 통합형 학교
미세먼지 관리기술개발 사업단
5차년도 시행계획]

학교 실내외 미세먼지 발생특성에 대한 기초연구를 진행하였다. 우선 교실과 실외의 미세먼지 화학성분을 조사하였다(〈그림 3-5〉). 그 결과 미세먼지 저감정책 적용 이후와 큰 농도 차이는 없으며, 교실 외부에는 이온성분(NO_3^- , SO_4^{2-} 등)이 높은 농도를 보였고, 내부는 유기탄소(OC) 농도가 높았다. 탄소성분 발생원을 분석한 결과 원소탄소(EC)는 외기 영향이 지배적이며, 블랙카본(BC)은 1 μm 이하 입자와 높은 관련성을 보였다.

그림 3-5 '20~'22년 학교 실내·외 미세먼지 화학성분 분석 결과



[자료]
과기부·교육부(2022),
[에너지·환경 통합형 학교
미세먼지 관리기술개발 사업단
5차년도 시행계획]

초등학생 개인별 24시간 동선을 추적조사하여 실시간 미세먼지 농도를 측정하는 개인 노출평가 방법을 활용하여 재학기간 중 미세환경별 미세먼지 노출기여도를 확인하였다. PM_{2.5}를 기준으로 하루 24시간 중 미세먼지 노출기여도는 각각 가정 56%, 학교 25%, 실외 11%, 학원 8%, 차량 1%로 나타났다.

학교 미세먼지 사업단의 주요 목표 중 하나는 교실 내 미세먼지 관리수준을 연평균 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 유지하는 데 있다. 이를 위해 학교 내 설치 가능한 청정공조환기시스템 개발이 완료되었으며, 실환경 실증 테스트베드(mock-up 테스트룸) 고도화를 위하여 한국 기계전기전자시험연구원에 설치된 테스트룸에서 시범 적용하였다. 이를 통해 급기풍량 800 CMH¹를 기준으로 PM_{2.5}가 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소에 소요된 시간은 하부덕트 환기(floor duct return) 14.3분, 하부환기(floor return) 14.7분, 상부환기(upper return) 69.3분으로 확인되었다.

학교 교실 내 실외로부터 유입될 수 있는 미세먼지 노출 경로를 맞춤형 진단하고 에어커튼, 창문 틈새 보강, 바닥 틈새 보강 등 개선 적용을 통하여 총 30개소 (8개교) 대상 실증 수행을 완료하여 연간 미세먼지(PM₁₀) 평균 농도 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 달성하였다.

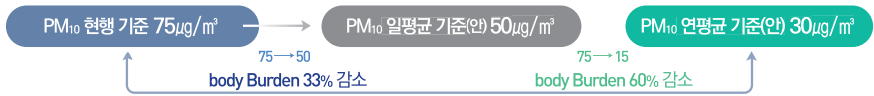
기존 학교보건법으로 관리 중인 교사 내 PM₁₀ 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 와 PM_{2.5} 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 수준을 학생 호흡률, 노출기간을 고려한 체내 축적량(Body burden)으로 도출하고 건강영향 발생 가능성 및 현실적 관리 기술 적용 등을 고려하여 PM₁₀ 일평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} 일평균 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 제안하였다. 제안된 관리 기준으로 교실 내 미세먼지와 초미세먼지가 관리될 경우 인체에 미치는 부하인 'Body Burden' PM₁₀ 33%, PM_{2.5} 29% 감소될 것으로 예상되어 건강보호의 효과를 기대할 수 있겠다(〈그림 3-6〉).

1 시간당 1입방체의 단면적을 통과하는 바람의 양

그림 3-6 학교 미세먼지 기준 강화로 인한 Body burden 감소 효과

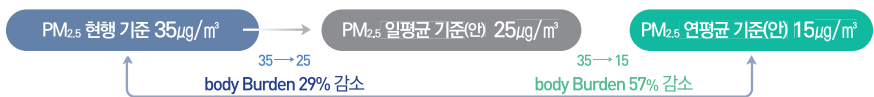
오염 물질	학교급	학생호흡률 (m ³ /hr)	노출기간* (hr/year)	공기질 목표 농도 (μg/m ³)	체내축적량 [body Burden] (μg/year)	현재 대비 체내 축적량 감소량 (μg/year)
PM ₁₀	초등학교 저학년 (만7세~9세)	0.485	1,600	75 (현행 기준)	58,520	-
				50 [일평균 기준(안)]	38,833	19,417
				30 [연평균 기준(안)]	23,330	34,950
	초등학교 고학년 (만10~12세)	0.552		75 (현행 기준)	66,200	-
				50 [일평균 기준(안)]	44,133	22,067
				30 [연평균 기준(안)]	26,480	39,720
	중학교 (만13~15세)	0.666		75 (현행 기준)	79,900	-
				50 [일평균 기준(안)]	53,267	26,633
				30 [연평균 기준(안)]	31,960	47,940
	고등학교 (만16~18세)	0.672		75 (현행 기준)	80,650	-
				50 [일평균 기준(안)]	57,767	26,883
				30 [연평균 기준(안)]	32,260	48,390

* 하루 수업시간(8hr/day) x 연간 수업일수(200day/year)



오염 물질	학교급	학생호흡률 (m ³ /hr)	노출기간* (hr/year)	공기질 목표 농도 (μg/m ³)	체내축적량 [body Burden] (μg/year)	현재 대비 체내 축적량 감소량 (μg/year)
PM _{2.5}	초등학교 저학년 (만7세~9세)	0.485	1,600	35 (현행 기준)	27,183	-
				25 [일평균 기준(안)]	19,417	7,767
				15 [연평균 기준(안)]	11,650	15,533
	초등학교 고학년 (만10~12세)	0.552		35 (현행 기준)	30,839	-
				25 [일평균 기준(안)]	22,067	8,827
				15 [연평균 기준(안)]	13,240	17,653
	중학교 (만13~15세)	0.666		35 (현행 기준)	37,287	-
				25 [일평균 기준(안)]	26,633	10,653
				15 [연평균 기준(안)]	15,980	21,307
	고등학교 (만16~18세)	0.672		35 (현행 기준)	37,637	-
				25 [일평균 기준(안)]	26,883	10,753
				15 [연평균 기준(안)]	16,130	21,507

* 하루 수업시간(8hr/day) x 연간 수업일수(200day/year)



[자료]
과기부·교육부(2022),
<에너지-환경 통합형 학교
미세먼지 관리기술개발 사업단
5차년도 시행계획>

나. 향후 추진계획

학교미세먼지관리 기술개발사업단의 주요 개발 내용은 연구기능이 없는 교육부에 유용한 연구결과이다. 그동안의 환경부 지침이나 어린이활동공간의 관리 등으로는 학령기 아동의 미세먼지 피해를 충분히 관리하기 어려웠으나 이제는 각 과제별로 진행된 연구 결과를 근거로 학교현장의 개선이 이루어질 수 있을 것으로 기대한다. 다만, 학교현장에는 이 연구 결과를 이행할 인력이나 관리체계가 없어 우려스럽다. 연구결과를 근거로 학교현장의 개선과 관리가 이행되어야 하나 학교현장은 이미 기존의 업무수행에도 바쁜

교사들로 구성되어 있어 이행을 위한 업무분장이나 추가 업무수행의 어려움이 예상되므로 이행에 필요한 인프라와 업무 지침 등이 병행되어야 할 것이다.

또한 현재 제안되고 있는 연구결과들은 현시점을 반영한 것이므로, 향후 달라질 환경 상태나, 공기정화장치의 상태와 기술적인 차이 등 많은 변화에 대비하여 지속적으로 적용 관리할 조직과 연구인력의 보완도 병행해야 할 것으로 판단된다. 결국 지금의 결과물은 단기대책으로는 적용 가능하나 관리적 측면을 감안한 중장기대안의 고려없이 지속적인 관리가 불가능하다는 점을 정책결정의 중요한 고려사항으로 인식해야 한다.

동 사업단이 평가한 기숙 또는 신축학교 대상 건축적/설비적 실내개선 고도화사업에서 창출된 성과를 토대로 다중이용시설, 민감군 이용시설 등 실내생활 중 인체 건강을 보호 할 수 있는 실내공기질을 마련하는 것이 필요하므로, 이에 대한 확장성도 고려해야 할 것이다.

제안된 연구결과들은 학생들의 미세먼지 노출을 최소화하고 건강하게 성장할 수 있는 학교환경조성을 위해 만들어진 연구결과이므로 향후 교육부를 중심으로 연구결과 의 현장 적용과 지속적인 관리원칙의 적용을 수행할 인프라구축 등 조치를 통해 쾌적하고 건강한 학교생활이 이루어질 수 있는 정책이 마련되기를 기대한다.

미세먼지의 국민인식과 정책개선



1

미세먼지에 대한 인식변화

가. 미세먼지 심각성에 대한 인식

2018년 9월 환경부가 실시한 <미세먼지 국민의식조사>에 따르면 우리 국민은 환경문제 중 가장 시급하게 해결해야 할 문제로 ‘미세먼지, 오존 등 대기분야’ (68.4%)를 선택했다(<표 3-7>). 우리나라 미세먼지 오염 심각성과 관련해서는 전체 국민중 91.1%가 ‘심각하다’(매우심각+심각)고 인식하였다(<표 3-8>). 미세먼지가 본인 건강에 미치는 위협 정도와 관련해서 ‘위협이 되며’(63.1%), ‘치명적’ (15.6%)이라고까지 생각하는 것으로 나타났으며, ‘걱정되는 수준은 아니다’(6.6%)거나 ‘전혀 위협이 되지 않는다’(1.1%)고 생각하는 국민은 극히 일부에 그쳤다(<표 3-9>).

표 3-7 환경문제 중 가장 시급하게 해결해야 할 문제(단위: %)

	조 사 사례수	미세먼지, 오존 등 대기분야	지구온난화 등 기후변화	먹는 물, 녹조 등 물 분야	자연환경 복원, 생물다양성 등 자연·생태분야	생활쓰레기, 음식물쓰레기 등 폐기물 분야
전체	1,091	68.4	51	21.8	13.9	45

표 3-8 우리나라 미세먼지 심각 정도(단위: %)

	조 사 사례수	매우 심각하다	심각하다	보통이다	심각하지 않다	전혀 심각하지 않다	매우심각 + 심각	전혀안심각 + 안심각
전체	1,091	29.8	61.2	7.7	1.2	0.1	91.1	1.2

표 3-9 미세먼지의 건강 위협정도(단위: %)

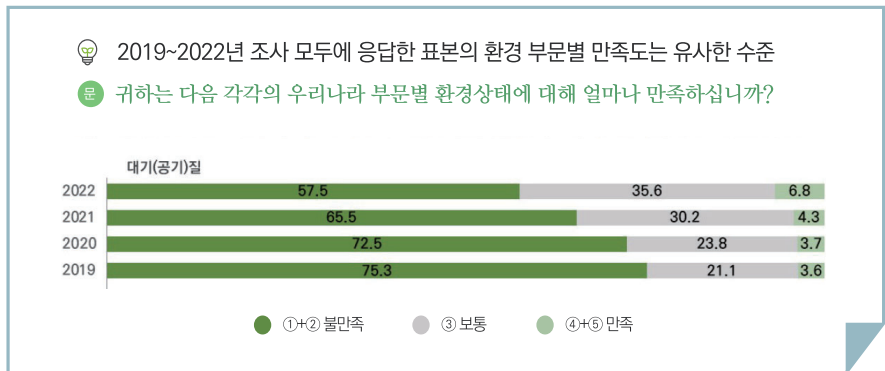
	조사 사례수	전혀 위협이 되지 않는다	걱정되는 수준은 아니다	보통이다	위협이 된다	치명적이라고 생각한다	노위협 + 노걱정	위협 + 치명적
전체	1,091	1.1	6.6	13.6	63.1	15.6	7.7	78.7

[자료]
2018.09. 환경부
<미세먼지 국민의식조사>

이런 사회적인 요구에 맞추어 정부는 미세먼지 해결을 위해 많은 자원을 쏟아부었다. 총리실에 미세먼지특별대책위원회를 신설해 전 부처가 함께 법과 정책을 만들고 국민 홍보, 캠페인, 교육 등을 진행했으며, 국가기후환경회의에서는 국민참여정책단 활동 등을 통해 국민공감대를 형성하기 위해 노력했다.

한국환경연구원의 <2022 국민환경인식조사>에 따르면 우리나라 부문별 환경상태에 대한 만족도 중 대기질에 대한 만족도는 2019년 이후 2022년까지 지속적으로 높아진 것으로 확인된다.

그림 3-7 2022 국민환경인식조사



[자료]
2022.12 한국환경연구원(KEI)

그러나 여전히 우리 국민들은 미세먼지 문제가 심각하다고 인식하고 있는 것으로 나타났다. 2022년 사단법인 녹색교통운동의 <미세먼지 현황과 시민실천방안 인식 설문조사> (<그림 3-8>)에서 전체 응답자의 75.8%인 2,828명이 미세먼지 문제가 '심각'하거나, '매우 심각'하다고 응답하여 미세먼지의 심각성에 대한 우려가 높은 것으로 나타났다.

그림 3-8 미세먼지 심각성

문 최근 3년간 미세먼지 문제는 얼마나 심각하다고 생각하시나요?

구분	전혀 심각하지 않다				매우심각하다				합계
	1	2	3	4	5	6	7		
응답수(명)	3	17	52	176	657	1,216	1,612	3,733	
비율(%)	0.1	0.5	1.4	4.7	17.6	32.6	43.2	100	

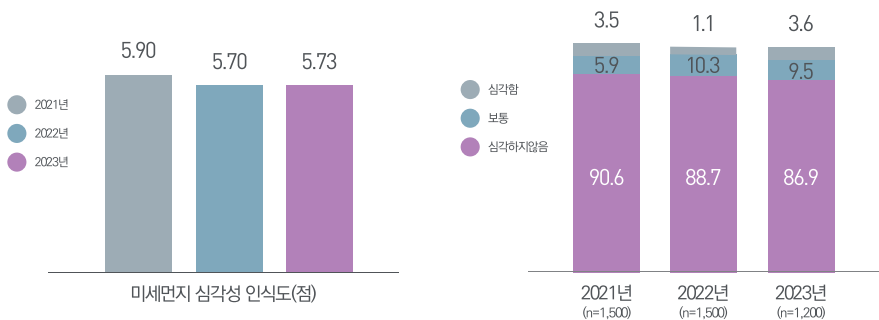
[자료]
2022.11 사단법인 녹색교통운동
<미세먼지 현황과 시민실천방안
인식 설문조사>

2023년 문화체육관광부의 <미세먼지 계절관리제 국민인식조사>에서도 응답자의 86.9%가 우리나라 미세먼지에 대해 ‘심각’하다고 응답했다. 미세먼지 심각성에 대한 응답을 7점 만점으로 평가했을 때는 2021년 5.90점, 2022년 5.70점, 본 조사(2023년)에서는 5.73점으로 매년 비슷한 수준을 보인다(<그림 3-9>).

최근 3년간 조사 결과를 살펴보면, 전국 수준에서는 물론 거주지역 수준에서의 미세먼지 문제 심각성에 대한 인식이 점차 개선된 것으로 나타났다.

전국 수준에서의 미세먼지 문제 심각성에 대한 인식은 90.6%(2021년) → 88.7% (2022년) → 86.9%(2023년, 본 조사)로 나타나 매년 2% 정도 개선되고 있다. 거주지역 수준에서의 심각성 인식도 79.1%(2022년) → 76.8%(2023년, 본 조사)로 나타남으로써 코로나19 팬데믹으로 인한 사회적 거리두기 조치가 대부분 해제된 이후에도 개선되는 추세를 유지하고 있다.

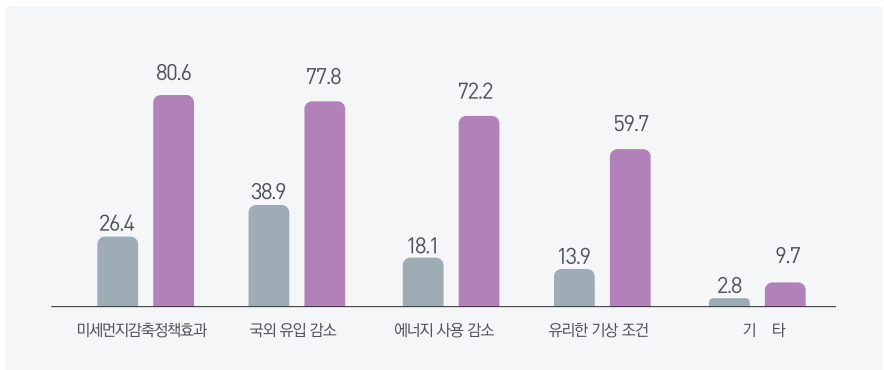
그림 3-9 미세먼지 문제 심각성 인식



[자료]
2023.06 문화체육관광부
<미세먼지 계절관리제 국민인식
조사>

같은 조사에서 전년 대비 미세먼지 상황이 개선되었다는 응답자(72명)가 꼽은 개선 이유로는(〈그림 3-10〉) 미세먼지 감축 정책 효과가 80.6%로 가장 많았으며(1+2+3순위 기준), 그 뒤를 이어 국외 유입 감소(77.8%), 에너지 사용 감소(72.2%), 유리한 기상 조건(59.7%)순이었다. 우리 국민은 정부가 지속적인 미세먼지 감축 정책을 추진해오고 있다는 사실을 어느 정도 인지하고 있으며 이러한 정부의 노력이 실질적으로 미세먼지 문제 해결에 기여한다고 평가하는 것으로 볼 수 있다.

그림 3-10 전년 대비 미세먼지 상황 개선 이유 (1순위, 1+2+3순위)



[자료]
2023.06 문화체육관광부
〈미세먼지 계절관리제 국민인식 조사〉

나. 미세먼지 인식개선을 위한 후속 과제

1) 법령 등 기존 제도의 실효성 점검

첫째, 국민들이 바라는 수준에서 미세먼지 관련법²에 부족한 내용은 없는지, 둘째, 이미 법으로 규정되어 있으나 작동되지 않아서 그 효과를 보지 못하는 것은 무엇인지를 세심히 살펴볼 필요가 있다.

예를 들어 ‘공회전 금지법’이라는 것이 분명히 있지만, 장시간 동안 공회전 중인 시청 앞 전경버스나 양재역 주변 관광버스를 쉽게 볼 수 있다. 심지어 미세먼지가 아이들에게 가장 해롭다고 걱정하는 엄마들조차도 하교하는 아이들을 차에 태우기 위해 기다릴 때 공회전 상태를 유지한다. ‘공회전 금지법’을 어긴 결과물이다. 애써 만든 법이 제대로 작동될 수 있도록 반드시 점검하고, 지켜지지 않을 경우 원인 파악 후 보완할 수 있는 대책 마련이 필요하다. 또한 중앙정부·시도광역시·기초지자체 간의 유기적인 연계를 통해 미세먼지 관련법이 현장에서 제대로 ‘이행’ 되고 있는지도 점검해야 한다.

2 대기환경보전법, 미세먼지 저감 및 관리에 대한 특별법, 실내공기질관리법, 산업안전보건법, 학교보건법, 군인복무기본법 등

2) 요리 매연(조리흠)에 대한 국민적 인식 제고 필요

2016년 미국 캘리포니아 환경청은 도심의 잠재적 초미세먼지 발생원 1위가 '요리 매연'이라고 지목했다. 우리나라 환경부도 지난 2016년 5월에 요리 매연의 심각성과 환기의 중요성을 알리는 과정에서 '고등어를 미세먼지의 주범으로 몰았다'는 오해를 받았고, 언론에 희화화되면서 요리 매연의 심각성이 다소 희석되었다.

그 후 2021년 학교 급식조리사 폐암 사망의 원인으로 요리매연이 지목되어 첫 산재 인정을 받은 사례를 시작으로 2023년 6월까지 76명의 조리사가 산재인정을 받았다. 또한 기사를 동반하는 여성 폐암환자의 94%가 비흡연자라는 서울대 이현우교수팀 연구(2022)가 발표되었다. 따라서 앞으로는 국민의 건강에 큰 영향을 미치는 요리 매연에 대한 관리가 필요하다.

특히 요리매연은 어린이, 임산부, 노인 등의 민감·취약계층에게 더욱 위험하며, 폐암을 포함한 심혈관계질환, 치매 등 다양한 건강영향과 관련성이 있다. 요리 매연의 위해성과 저감방법, 발생 시 행동 수칙 등을 적극적으로 알리는 리스크 커뮤니케이션을 통해 국민들이 요리매연의 위험성을 자각하고 스스로를 보호할 수 있도록 유도해야 한다.

미세먼지에 대한 국민들의 인지도와 위기의식이 높아졌지만, 미세먼지가 나의 삶과 어떤 관계가 있고, 어떻게 감소시킬 수 있는지에 대한 교육과 커뮤니케이션은 부족한 것이 현실이다. 공기청정기가 모든 것을 해결해 줄 것이라고 생각하기도 한다. 탄소중립시대에 부응하려면 당장 미세먼지에서 벗어나기 위한 근시안적 해결방안이 아닌 산업·발전·수송·생활의 모든 분야에서 온실가스를 감축하려는 노력이 결국 미세먼지 감축과도 연결된다는 통합적 방향성의 제대로 된 교육과 커뮤니케이션이 필요하다.

윤석열 정부의 국정과제에 '대기 중 초미세먼지 30% 저감과 실내공기질 강화'가 포함돼 있고, 제3차 대기환경개선종합계획(2023~2032년)에서는 OECD 중위권 국가 수준까지 초미세먼지 농도를 낮추기로 했다. 주요 대기오염물질 배출량도 2032년에는 2021년 대비 절반가량으로 줄일 계획이다. 이런 정부의 노력과 국민들의 적극적인 동참을 통해 국민 건강을 위협하는 초미세먼지 저감 정책이 결실을 맺기를 기대한다.

2

미세먼지 정책 추진에 따른 건강개선 효과

가. 초미세먼지와 계절관리제

초미세먼지는 인류의 건강을 위협하는 심각한 사회적 문제이다. 초미세먼지는 크기가 $2.5 \mu\text{m}$ 보다 작은 먼지로 크기가 매우 작으므로 호흡기를 통하여 폐포와 혈관으로 침투할 수 있다. 초미세먼지에 대한 노출은 심장 및 폐 관련 질환 등을 발생시키거나 악화시킬 수 있으며, 결과적으로 사망 증가에 영향을 줄 수 있다. 세계보건기구(WHO)는 초미세먼지의 노출로 인하여 2019년 기준 전 세계적으로 연간 약 420만 명의 조기 사망자가 발생한다고 보고하였다. 우리나라의 경우 초미세먼지의 농도는 주로 12월부터 이듬해 3월 까지 높아진다. 2017~2019년 12~3월의 국내 초미세먼지 평균 농도는 $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 그 외 기간인 4~11월의 평균 농도 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 대비 약 45% 높았다. 이에 정부는 매년 12월부터 이듬해 3월까지 계절관리제를 시행하여 평상시보다 강화된 초미세먼지 저감 및 관리 정책을 추진하였고, 단기간 동안 미세먼지가 저감되는 효과를 확인하였다. 하지만, 기존의 계절관리제는 부문별 대기오염물질 배출의 최대 감축량을 목표로 설정하여 정책을 추진하면서 그에 따른 건강개선 효과는 평가하지 못하였다. 제4차 계절관리제까지 종료된 현시점에서는 정책추진에 따른 초미세먼지 농도 감소와 건강개선을 평가하는 것이 필요하다.

나. 초미세먼지 정책추진에 따른 건강개선 효과 평가 방안

1) 초미세먼지의 건강영향평가

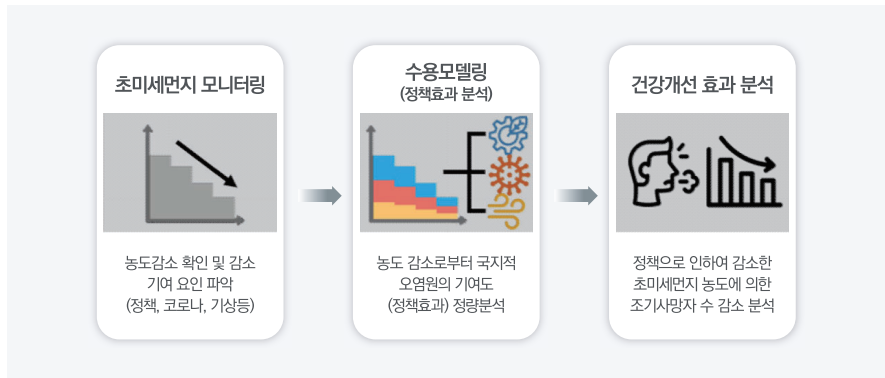
일반적으로 초미세먼지의 건강영향평가는 초미세먼지의 농도가 해당 지역의 사망자 수 혹은 환자 수 등에 미치는 영향을 통계적으로 분석하는 환경 역학(Environmental epidemiology) 연구를 통하여 수행된다. 초미세먼지와 사망자 수 사이의 농도-반응함수(C-R function)와 상대 위험도(relative risk) 등을 계산함으로써 사망 위험(mortality risk)을 평가하는 연구가 널리 수행되고 있으며, 이와 같은 연구는 세계보건기구(WHO)가 초미세먼지의 가이드라인(Air Quality Guideline)을 설정하는 방법으로 활용되고 있다. 가장 대표적인 연구는 하버드대학 연구팀에서 미국 6개 도시에 거주하는 성인 약 8,000명을 대상으로 초미세먼지가 사망률에 미치는 영향을 추적 관찰한 연구이다. 국내에서는 2019년 서울, 대전, 광주, 대구, 울산, 부산 등 국내 6개 주요 도시에서 공통적으로 초미세먼지의 원소 탄소(EC, elemental carbon) 성분이 사망률과 관련이 있다고 보고된 바 있다.

2) 수용모델링을 이용한 건강개선 효과 평가(정책추진 후)

앞서 제시한 연구들은 대상 기간에 관측된 초미세먼지의 농도에 의한 건강 영향을 평가한다. 그러나 정책추진에 따른 건강개선 효과를 보다 정확하게 평가하기 위해서는 최종적으로 관측된 초미세먼지 농도의 감소로부터 국지적 오염원(local source)의 기여도를 정량적으로 추정하고 그로 인한 조기 사망자 수의 변화를 평가하는 것이 필요하다. 국지적 오염원(예시: 자동차 오염원 등)은 정책추진을 통하여 초미세먼지 농도를 감소시킬 수 있으며 그 기여도는 수용모델링(receptor modeling)으로 추정될 수 있다. 즉, 수용모델링을 활용하는 경우 정책을 추진하는 기간 중에 국지적 오염원에서 감소된 초미세먼지 농도로 인한 건강개선 효과를 평가할 수 있다. 이러한 건강개선 효과 평가 과정을 개략적으로 설명한 것이 <그림 3-11>이다.

그 외에도 위에서 살펴본 바와 같은 기간별 초미세먼지 농도 비교분석과 대기질 모델링(air quality modeling)을 수행하는 경우, 정책 추진으로 인하여 감소한 초미세먼지 농도를 추정해볼 수 있다. 이와 같은 방법을 활용한 연구는 아래에서 설명할 BenMAP와 같은 프로그램을 이용한 방법에 비해 상대적으로 많이 수행되지 않았다. 비록 관련 논의가 부족하여 방법론에 대한 국내 혹은 국제 규정 및 가이드라인이 확립되지 않았지만, 향후 정책추진에 따른 건강개선을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 수행이 필요하다.

그림 3-11 정책 추진 후 수용모델 기반의 건강개선 효과 평가



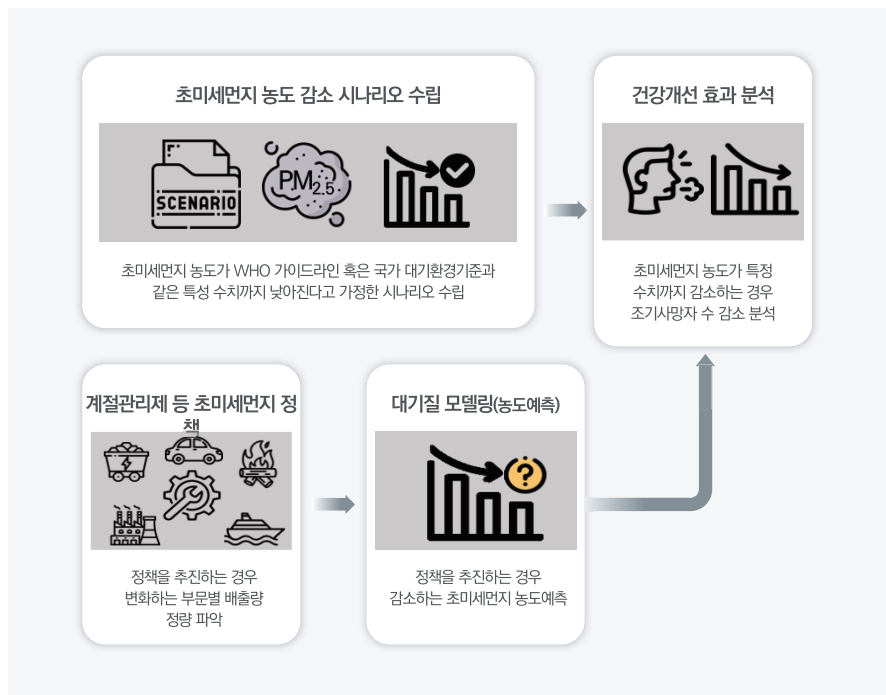
3) 초미세먼지 농도 감소 시나리오 기반의 건강개선 효과 평가(정책 추진 전)

앞서 제시한 건강개선 효과 평가가 정책 추진 후에 수행되는 것과 달리, 미래 시점의 초미세먼지 농도에 대한 가정 또는 예측 시나리오를 기반으로 하여 정책을 추진하기 전에 건강개선 효과를 평가하는 연구들이 국제적으로 이루어지고 있다. 이를 개략적으로

설명한 것이 <그림 3-12>이다. 미국 환경청(EPA)과 WHO는 각각 BenMAP 및 AirQ+ 프로그램을 제공하여 정책추진에 따른 건강개선 효과를 평가하고 있다. 이러한 프로그램들은 대기질 정책을 추진함에 따라서 초미세먼지 농도가 현재 수준에서 WHO 가이드라인 또는 국가의 대기환경기준과 같은 특정 농도(예시: $15\mu\text{g}/\text{m}^3$)까지 감소하였을 때, 조기 사망자 수 감소를 정량적으로 평가하는 데 주로 활용된다. 조기 사망자 수는 프로그램 내 설정된 농도-반응함수 등에 따라서 분석되며, 다양한 지역에서 분석이 가능하다.

또한, EPA와 WHO는 각각 AirQ+ 및 BenMAP을 이용한 연구 결과들을 상호 비교할 수 있도록 관련 규정 및 가이드라인을 제공하고 있다. 이 외에도 미국의 국립재생에너지 연구소(NREL)의 경우, 자체적으로 Global InMAP 프로그램을 개발하여 청정에너지 전환 정책추진에 따른 초미세먼지 농도의 감소를 대기질 모델링보다 비교적 간단하게 예측하고 이를 토대로 건강개선 효과를 평가하고 있다. 우리나라에서는 환경부가 대기질 정책추진에 따른 건강영향을 평가하고 이를 정책에 활용하기 위하여 국내 실정에 적합한 한국형 BenMAP을 개발하고 있다.

그림 3-12 정책 추진 전 초미세먼지 농도 감소 시나리오 혹은 예측 기반의 건강개선 효과 평가



다. 국민건강 관점에서 계절관리제의 방향성에 대한 제언

앞에서 살펴본 바와 같이 계절관리제의 정책 효과를 바탕으로 향후 초미세먼지를 보다 효과적으로 저감시키고 이에 따른 건강개선 효과를 평가 및 반영하기 위한 측면에서 계절관리제의 두 가지 방향성을 제안하고자 한다.

1) 수용모델링을 이용하여 시·도별 특성을 고려한 계절관리제 정책 추진

첫째, 충남과 같이 계절관리제의 효과가 상대적으로 낮게 나타난 시·도의 원인을 분석하고, 각 시·도별 특성을 고려하여 농도를 효과적으로 줄일 수 있는 배출량 감축 정책이 추진되어야 한다. 시·도별 특성을 고려하는 정책추진을 위해서는 각 지역별로 수용모델링을 수행하여 해당 지역의 초미세먼지 농도에 영향을 미치는 국지적 오염원(local source)을 식별하고 기여도를 정량적으로 산정하는 것이 필요하다. 이를 통하여 오염원의 기여도 변화를 분석하고 계절관리제의 효과가 낮아지는 원인과 시·도별 특성이 평가되어야 한다. 또한, 식별된 국지적 오염원의 기여도 정보가 배출량 감축을 위한 근거자료로 활용되기 위해서는 해당 오염원이 국내에서 운영 중인 대기정책지원시스템(CAPSS)의 대기오염물질 배출목록(emission inventory) 중 어느 부문에 해당하는지 비교·평가되어야 한다. 이를 통하여 시·도별 초미세먼지의 주요 오염원의 특성을 고려한 부문별 감축정책이 추진되어야 한다. 단순히 시·도별 배출량 정보만을 참고하여 정책을 수립 및 추진하는 경우, 계절관리제의 효과가 낮아지는 원인과 시·도별 특성을 고려하기에는 제한적일 수 있다. 대기오염물질의 배출량은 대기 중 화학반응의 복잡성, 기상 영향, 국외 영향 등으로 인하여 배출된 시·도의 초미세먼지 농도에 선형적으로 비례하지 않기 때문이다. 이와 같은 수용모델링의 필요성 외에도 초미세먼지 농도에 대한 국지적 오염원의 기여도는 정책추진에 따른 건강개선 효과를 평가하는 데 연계 및 활용될 수 있으므로 반드시 파악되어야 하는 정보라고 할 수 있다.

2) 수용체 중심 건강개선 효과 평가 및 정책 반영을 위한 필요사항

둘째, 앞서 언급한 바와 같이 정책추진에 따른 건강개선 효과를 정확하게 평가하기 위해서는 국내 각 시·도에서 수용모델링을 이용하여 초미세먼지 농도의 감소에 대한 국지적 오염원의 기여도를 정량적으로 추정하고 그로 인한 조기 사망자 수의 감소를 평가하는 것이 필요하다. 이를 통하여 정책을 추진하는 동안 국지적 오염원이 감소시킨 초미세먼지 농도로 인한 건강개선 효과를 평가할 수 있다. 평가된 건강개선 효과는 향후 계절관리제의 감축목표 설정에 연계 및 반영하는 노력이 필요하다. 이러한 노력을 통하여 수용체 중심의 정책효과를 분석할 수 있고 국민건강의 관점에서 정책 우선순위를 설정

할 수 있다. 조기 사망자 수 분석에 필요한 인구 및 사망자 수 자료는 마이크로데이터 통합서비스(MDIS)에서 해당 연도로부터 2년 후 공개된다. 따라서 2023년부터 추진되는 계절관리제의 목표설정에는 제1~2차 계절관리제의 정책추진에 따른 건강개선을 평가하여 반영하는 것이 가능하다.

하지만, 수용모델링을 이용한 건강개선 효과 평가를 실제로 정책에 반영하고 활용성을 높이기 위해서는 연구자가 분석 결과를 도출하고 정책에 반영하기까지의 절차에 대한 규정 및 가이드라인이 마련되어야 한다. 이를 위해서는 많은 연구를 통하여 초미세먼지의 국지적 오염원의 기여도에 따른 반응 함수(C-R function)를 구축 및 최신화하는 작업이 필요하다. 연구 결과가 축적됨에 따라서 수용모델을 이용한 건강개선 효과를 더욱 체계적으로 수행하고 정책에 반영하기 위한 규정 및 가이드라인을 마련할 수 있다. 더 나아가 향후 수용모델링과 한국형 BenMAP 등을 결합하여 정책추진에 따른 건강개선 효과를 많은 지역에서 평가하는 경우, 참고문헌의 농도-반응함수 값을 활용하는 기존 접근 방법에 비해 국내의 초미세먼지 및 인구특성 실정에 더 부합하도록 다양한 지역에서 조기 사망자 수를 평가할 수 있다.

이상으로 제시한 계절관리제의 방향성에는 공통적으로 인공지능을 이용한 초미세먼지 관측 빅데이터 분석, 지자체 협력, 국제 협력 등의 다양한 전략을 적극적으로 활용하는 노력이 병행되어야 한다. 앞으로도 매년 12월부터 이듬해 3월까지 초미세먼지의 농도가 높아지고 강화된 정책이 추진될 것으로 생각된다. 향후 과학적 데이터를 기반으로 정책의 효율성을 높이고 이에 따른 건강개선을 평가하여 국민의 건강을 보호할 수 있는 초미세먼지 저감 노력이 필요하다.

c h a p t e r

미세먼지특별대책위원회
맑은 하늘을 위한 5년간의 여정

www.cleanair.go.kr



맷는말

맷는말
용어 해설
참고자료
함께한 사람들

맺는말



2019년 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」이 시행되면서 관리체계, 관련 법률, 제도 등 각 영역에서 미세먼지 정책은 한 단계 발전하였다. 앞으로 대기환경 정책과 탄소중립 정책을 연계하기 위해서는 미세먼지와 온실가스 감축의 공편익을 확보할 수 있는 통합관리가 필요하다. 미세먼지 관리정책은 배출저감, 농도측정, 건강위해성 관리로 이어지는 통합체계로 이행되어야 정책의 연계성과 추진 효과를 극대화할 수 있다.

미세먼지 특별법의 시행에 따라 범부처 업무를 관리하는 전담 조직으로 국무총리실 산하에 미세먼지개선기획단이 운영되었으며, 미세먼지 배출정보를 관리하는 기관으로 국가미세먼지정보센터가 설치·운영되었다. 국가미세먼지정보센터는 미세먼지 관리정책의 대책별·부문별 대기오염물질 배출량을 산정하여 정량적인 정책 자료를 작성한다. 또한 국가 대기오염 배출자료의 신뢰도를 높이기 위해 누락 배출원을 지속적으로 발굴하고, 국내 실정을 반영한 배출계수를 개발하고 있다. 국외에서 유입되는 미세먼지 관리를 위해 중국과 국제협력 체계를 구축하고 대기질 측정정보와 예보정보를 공유하여 국내 대기질 예측에 활용하고 있다. 앞으로도 중국과 협력을 공고히 함으로써 정보 공유체계를 안정적으로 관리할 필요가 있다.

미세먼지 관리 종합계획(2019~2024)으로 추진되는 발전·산업 부문의 $PM_{2.5}$ (초미세먼지), SO_x (황산화물), NO_x (질소산화물) 저감정책과 수송 부문의 SO_x 저감 정책 그리고 생활

부문의 PM_{2.5}, NO_x, VOCs(휘발성유기화합물) 정책은 현재 배출감축 추세를 유지한다면, 2024년에 목표 감축량을 달성할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 수송부문은 SO_x 외 모든 물질(PM_{2.5}, NO_x, VOCs)의 목표달성을 위한 감축량에 많이 못 미치므로 목표달성 가능성과 보완 방안을 재검토할 필요가 있다. 기후변화 정책의 효과는 나타나는 시간이 길지만, 미세먼지는 개선과 악화가 모두 빠른 시간내에 일어난다. 최근의 급격한 기후변화, 감염병, 탄소중립 정책으로 지금까지 개선된 대기질이 언제든지 다시 악화될 수 있으므로 지속적인 배출감축 정책이 필요하다.

미세먼지와 온실가스 감축을 위해 석탄발전을 줄이고 수소, 재생에너지 등 청정 에너지 발전을 늘리는 것은 꼭 필요한 부분이다. 청정 에너지 발전의 확대를 위해서는 연구 개발, 기술 실증, 인프라 구축 등이 필요하다. 이에 따른 재원 확보를 위하여 정부 재정 및 기금 지원을 통해 청정 에너지 발전을 지원하고, 국민의 공감대와 신뢰를 얻기 위해 노력해야 한다.

미세먼지 관리정책으로 저공해차 보급과 경유차 관리가 강조되면서 자동차 시장에서 소비자 선택이 달라지고 있다. 특히 경유차 선호가 낮아지고 전기·수소차 수요가 증가한 것은 강화된 미세먼지 정책의 영향이 크다고 판단된다. 또한 미세먼지 저감을 위해 교통수요 발생량을 줄이고 자동차 통행량을 대중교통과 비동력 교통수단으로 전환하는 수요관리 정책이 매우 중요하다. 따라서 앞으로 교통수요관리 정책의 실효성을 개선할 수 있도록 정책대안별 미세먼지 저감 효과를 추정할 수 있는 분석체계가 구축돼야 할 것이다.

미세먼지가 감소한 주요 대도시 지역을 중심으로 O₃(오존)의 증가가 뚜렷하게 나타나는데 이는 미세먼지 저감을 위해 집중적으로 시행하는 NO_x 저감의 효과로 보인다. 앞으로 NO_x 배출저감과 동시에 VOCs의 배출을 저감시켜야 O₃ 증가를 억제할 수 있을 것이다. 또한 기후변화에 따른 기상장의 변화는 미세먼지 고농도 사례의 빈도 및 강도 증가로 이어질 것으로 보여, 앞으로 대기관리 정책에서 이에 대비하는 방안 마련이 필요하다.

산업단지에서는 다양한 성분의 VOCs가 대기로 배출되고 있다. 이로 인한 대기질 악화를 방지하고 인근 주민의 건강을 보호하기 위해 대기 중 VOCs농도 수준과 독성을 파악할 수 있는 모니터링 체계의 구축이 필요하다. 또한 2차 미세먼지의 주요 전구물질인

암모니아에 대해서는 배출실태 파악과 관리가 부족한 상황이다. 이를 개선하기 위하여 실측 기반의 암모니아 배출정보체계를 확대하고 시공간 해상도가 높은 배출자료 확보가 필요하다. 미세먼지 관리 종합계획에 대한 실적보고서에는 부문별 오염물질 배출저감량과 대기질 개선효과에 대한 이행 평가가 담겨야 한다. 이행 실적은 부처별·대책별 배출저감 정책의 예산 집행율과 오염배출 저감량 또는 이행지표의 목표 달성율이 분석되어야 한다. 이행평가는 5년(2019~2024)동안 미세먼지 관리정책의 성과뿐만 아니라 이행실적이 부족한 부분과 대책별 정책효과의 우선순위를 분석하여 후속 종합계획의 정책효율성을 높이는 작업으로 연계되어야 한다.

4년간(2018~2021년) 시행된 미세먼지 저감정책에 의해 PM₁₀의 연평균 농도는 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (약 9.5%), PM_{2.5}는 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (약 21.7%) 감소된 것으로 나타났다. 여기에 장기노출기준 설정에 활용된 위험도값을 적용하면 PM₁₀의 초과사망률은 약 1.6%, PM_{2.5}의 초과사망률은 약 4.0% 감소되는 것으로 산출된다. 이에 따라 미세먼지 저감으로 인한 초과사망자수 감소는 PM₁₀ 약 4,600명, PM_{2.5} 약 11,400명으로 추정된다.

계절관리제의 효과는 지역별 차이를 보이고 있어서 앞으로 지역별 특성을 고려한 농도 개선 정책의 보완이 필요하다. 이를 위해서는 지역별 수용모델링을 수행하여 해당 지역의 초미세먼지 농도에 영향을 미치는 국지적 주요 오염원을 식별하고 기여도를 정량적으로 산정하는 작업이 필요하다. 이는 지역 맞춤형 미세먼지 개선대책 수립뿐만 아니라 지역별 건강개선 효과를 추정하여 미세먼지 저감정책의 공간 해상도를 높이는 데 기여할 것이다.

미세먼지특별법 시행 이후 교육기관에 대한 미세먼지관리 대응매뉴얼 보급과 공기정화장치 설치사업 등이 추진되었으나 현장의 상황이 제대로 반영되지 못하여 대책의 체감 효과가 떨어지는 한계가 있었다. 현장 대응력과 관련 예산편성의 적절성을 높여 미세먼지로부터 아이들의 건강을 실질적으로 보호할 수 있도록 학교보건법을 일부 개정하거나 시행령 마련 등의 조치가 필요하다. 또한 미세먼지에 대한 일반 국민의 인지도와 위기의식은 높아졌지만, 미세먼지 개선을 위한 생활 속 실천에 대한 교육과 커뮤니케이션은 부족한 상태이다. 앞으로는 미세먼지 개선과 온실가스 동시 감축이 필요하다는 인식의 제고와 실천을 위하여 통합적 환경교육과 커뮤니케이션의 확대가 필요하다.

미세먼지특별대책위원회
맑은 하늘을 위한 5년간의 여정

www.cleanair.go.kr



● 국가 배출 및 대기질 평가시스템(National Emission Assessment System, NEAS):

2단계 CAPSS(대기정책지원시스템)에 속한 시스템으로 대기 중 오염물질의 배출·화학반응·침적 등을 계산할 수 있는 모델링 시스템

● 굴뚝원격감시시스템(Tele-Monitoring System, TMS) :

사업장 굴뚝에서 배출되는 대기오염물질을 자동측정기로 상시 측정하고 이를 관제센터와 온라인으로 연결하여 배출상황을 24시간 원격 관리하는 시스템, 발전소, 소각시설, 다배출 대형사업장 등의 먼지, 황산화물, 질소산화물 등의 항목 측정

● 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernment Panel on Climate Change, IPCC) :

기후변화에 대한 정부간 패널로서 1988년 온실화에 관한 종합적인 대책을 검토할 목적으로 UN산하 각국 전문가로 구성된 조직

● 대기관리권역 :

대기오염이 심각하다고 인정되는 지역, 해당 지역에서 배출되는 대기오염물질이 지역의 대기오염에 크게 영향을 미친다고 인정되는 지역을 포함하여 대통령령으로 정하는 지역, 수도권, 중부·남부·동남권 등 4개 권역 8개 특광역시와 69개 시군 지정

● 대기정책지원시스템(Clean Air Policy SyStem, CAPSS) :

국가 대기보전 정책수립 및 관련 연구에 필요한 기초자료 확보를 위하여 점·면·이동오염원 등에서 배출되는 9가지 대기오염물질 배출량을 매년 산정 오염물질별, 배출원별, 지역별 다양한 배출량 통계와 배출량에 적용된 제부정보를 제공하는 시스템

● 매연저감장치(Diesel Particulate Filter, DPF) :

경유차의 엔진 연소실에서 배출되는 입자상물질을 필터로 걸러내어 대기 배출량을 저감하는 장치

● 미세먼지(PM₁₀, PM_{2.5}) :

대기중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 미세한 입자상물질로, 입자 지름이 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 미세먼지(PM₁₀)와 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하인 초미세먼지(PM_{2.5})로 구분할 수 있음

● 상한계약 :

석탄화력 발전소 출력을 80%로 제한하는 제도, 미특법에 따라 비상저감조치 발령시 시·도지사가, 계절관리제 기간은 환경부가 요청할 수 있음

● 수용모델링 :

수용체를 중심으로 대기오염 배출원이 주변 지역에 미치는 영향 혹은 기여도를 수리통계학적으로 추정하는 학문 또는 방법, 측정지점(수용체)에서의 오염물질 농도와 성분분석을 통하여 배출원별 기여율을 구하는 모델링 기법

● 우랄블로킹 :

러시아의 우랄산맥 동쪽에 형성되는 대규모 고기압, 북극 주변을 돌던 제트기류의 흐름이 이 고기압에 막혀 굽이치게 됨. 우랄블로킹은 북극의 얼음이 많이 녹을수록 심하게 발달하며 찬 기류를 러시아 내륙이 아닌 동아시아쪽으로 방향을 틀게 하는 역할

● 육상전원공급설비(Alternative Maritime Power supply, AMP) :

육상 부두에서 선박에 전기를 공급하는 고압 육상전력공급 설비

● 전구물질 :

화학에서 다른 화합물을 생성하는 화학반응에 참여하는 화합물, 여기서는 2차 미세먼지를 생성하는 화학반응에 참여하는 황산화물, 질소산화물, 휘발성유기화합물, 암모니아 등을 지칭

● 지능형교통시스템(ITS) :

IT기술을 교통에 적용하여 교통 체증 등 문제에 효과적으로 대응하는 시스템, 교통·기상 정보와 도로 상태 등을 수집·처리·가공해 유무선 통신수단을 이용해서 차량 운전자 및 여행객들에게 전달하여 원활한 교통흐름 증진에 기여

● 질소산화물(NO_x) :

연료의 고온 연소시에 대기 중 질소의 일부가 산소와 반응하여 생성되는 물질로서 대표적인 예가 일산화질소, 이산화질소임. 자연적으로 토양과 수중 미생물의 작용과 번개에 의해 생성되며, 인위적인 주요 배출원은 자동차, 발전소, 시멘트공장, 소각로 등임

● 청천계획(2019.11월) :

대기분야 한중 환경협력의 최상위 계획으로서, 기존의 조사·연구사업 위주의 대기협력에서 통합 한중 협력 플랫폼으로 확대 (정책·기술교류·공동연구·산업화 등 3개 분야 9개 협력사업 추진)

● 총 입자상물질(Total Suspended Particles, TSP) :

통상 50 μ m 이하의 모든 부유 먼지를 뜻함.

● 탄화수소 :

탄소와 수소만으로 이루어진 유기 화합물, 지구상에서 발견되는 대부분의 탄화수소는 원유에서 자연발생함. 대표적인 탄화수소로 석유와 천연가스가 있고 휘발유, 파라핀, 윤활유 등도 탄화수소 혼합물임.

● 탄소중립 :

이산화탄소를 배출한 만큼 이산화탄소를 흡수하는 대책을 세워 실질적인 배출량을 '0'으로 만드는 개념. 2018년 48차 IPCC에서 2100년까지 지구 평균기온 상승 폭을 1.5℃ 이내로 제한하기 위해 2050년까지 탄소중립을 달성해야 한다고 발표

● 황산화물(SO_x) :

이산화황 등 황과 산소와의 화합물을 총칭하며, 물에 잘 녹는 무색의 자극성이 있는 불연성 가스임. 황을 함유하는 석탄, 석유 등의 화석연료가 연소할 때 인위적으로 배출됨

● 휘발성 유기화합물(VOCs) :

쉽게 증발하는 액체 또는 기체상 유기화합물로서, 대기중에서 질소산화물과 함께 광화학반응으로 오존 등 광화학산화제를 생성하여 광화학스모그를 유발하는 물질임.

● BenMAP (The Environmental Benefits Mapping and Analysis Program) :

대기환경 개선에 따른 건강개선 효과를 측정하는 프로그램으로 미국 환경청에 의해 개발

국내문헌

- 2차 미세먼지 계절관리제 시행 첫달 고농도 완화효과 확인(2020), 환경부 보도자료
- 간순영, 배현주, AirQ+와 BenMAP을 이용한 초미세먼지 개선의 건강편익 산정,
 J Environ Health Sci, 2023; 49(1): 30-36
- 관계부처합동(2017.9.26), 「미세먼지 관리 종합대책」, p.10.
- 관계부처합동(2019), 미세먼지 관리 종합계획(2020-2024)
- 국가미세먼지정보센터(2020), “국가 대기오염물질 배출량 산정방법 편람(IV)”
- 국가미세먼지정보센터(2023), 미세먼지 관리 종합계획 연도별 감축량 자료
- 국가미세먼지정보센터(2023), “내부자료”.
- 국립기상과학원(2018), 한반도기후전망보고서
- 국립기상과학원(2020), 한반도기후전망보고서
- 국립환경과학원(2022), “2021 대기환경연보”, pp.23-27.
- 국토교통부, 각 연도별 자동차등록대수 현황
- 문화체육관광부(2022), “미세먼지 계절관리제 국민인식조사”
- 문화체육관광부(2023), “미세먼지 계절관리제 국민인식조사”
- 미세먼지개선기획단(2023), “내부자료”.
- 미세먼지 범부처 프로젝트 사업단, 청정대기센터(2020), “미국 캘리포니아주의 미세먼지
 관리정책 동향”, 미세먼지 이슈 분석 보고서 01-2020, p.137.
- 법제처 (2018), 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법
- 사단법인 녹색교통운동(2022), “미세먼지 현황과 시민실천방안 인식 설문조사”
- 세계자연기금 한국본부(2016), “한국 생태발자국 보고서 2016”
- 송명기, 오세호, 최서영, 전하정, 유근혜, 배민석(2023), “국가체철산업단지 가스상 오염물질
 및 산화잡재력 평가 - PMF 모델 적용(PART II)”, 한국대기환경학회지, 34(4), 227-238.
- 유시은 외 8명, Comparison of Short-Term Associations between PM_{2.5}
 Components and Mortality across Six Major Cities in South Korea, Int.
 J. Environ. Res. Public Health, 2019; 16(16): 2872.
<https://doi.org/10.3390/ijerph16162872>
- 이승민, 신동원, 정우현, 최기철, 정예민, 김운수, 「지자체의 고농도 미세먼지 비상관리대책 수립 지원을 위한 연구」,
 기본연구보고서, 1-186, 2019.
- 이승민 외(2020), “기후변화에 따른 미세먼지 대기질 변화 추정 및 관련 정책 지원 연구”, 한국환경정책·평가연구원, p. 102.
- 제15회 지구를 위한 콜라보토론회(2023), “요리 매연(조리흡) Free, 지속가능한 도시만들기 토론자료집”

- 제3차 계절관리제 전체기간 종합분석 결과보고 (2022), 국가미세먼지정보센터
- 제4차 계절제(22.12_23.3) 성과 분석 결과보고 (2023), 국가미세먼지정보센터
- 첫 계절관리제 고농도 미세먼지 완화 효과 토크 (2021), 환경부 보도자료
- 추장민(2109), “국제협력”, 국민정책참여단 미세먼지 정책제안 참고자료집, 국가기후환경회의, p.152, p.154.
- 통계청(2020), “통계로 본 축산업 구조 변화”
- 통계청(2022), “2021년 사망원인통계 결과”, pp.1-15.
- 환경부 보도자료(2019.2.26), “실질적 조기경보체계 구축을 위한 이행계획 마련: 붙임
1. 대기질 예보정보 및 예보기술 교류 협력사업 방안”
- 환경부 보도자료(2019.3.26), “학교보건법 등 미세먼지 관련 5법 제·개정 의결 - 미세먼지 측정·공개, 저감, 건강보호 등 관리기반 강화 - 붙임: 법 개정으로 달라지는 사항 (주요내용)”, p. 5.
- 환경부 보도자료(2019.10.14), “고농도 미세먼지 위기관리 표준 매뉴얼 제정: 붙임2. 미세먼지 예경보 기준”, pp. 5-6.
- 한국과학기술연구원(2020), “미세먼지 국가전략 프로젝트 최종보고서”, 과학기술정보통신부·한국연구재단.
- 한국교통안전공단(2023), 2022년 자동차 주행거리 분석,
- 한국교통연구원(2020), “미래차 기반 교통체계 지원사업 성과 요약”, KOTI 브리프 2020 vol.1,
- 한국교통연구원(2020), 화물차 무공해화 추진 전략 마련을 위한 연구, 환경부 용역보고서,
- 한국환경연구원(KEI)(2018), “미세먼지 국민인식조사”
- 한국환경연구원(2021), 미세먼지 관리 종합계획(’20~’24) 2020년 추진실적 평가, 국무조정실 용역보고서
- 한국환경연구원(KEI)(2022), “2022 국민환경인식조사”
- 한국환경연구원(2022), “미세먼지 관리 종합계획(’20~’24) 중간평가”, p. 34, pp. 120-121.
- 한국환경연구원(2023), 「미세먼지 관리 종합계획 2022년 추진실적 평가」, p. 65, p. 159, pp. 181-195, p. 202.
- 환경부(2018), “미세먼지 국민인식조사”

●
국외문헌

- Chen J, Hoek G(2020), “Long-term exposure to PM and all-cause and causespecific mortality: a systematic review and meta-analysis”, *Environ Int*,143 : 105974.
- Deutsche Bank AG/Hong Kong(2013), “Big bang measures to fight air pollution”.
- Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S et al.(2019).
“Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities”, *NEngl J Med*. 381(8)
: 705-15.
- Orellano P, Reynoso J, Quaranta N, Bardach A, Ciapponi A(2020). “ Short-term exposure to particulate matter PM₁₀ and PM_{2.5}, nitrogen dioxide(NO₂), and ozone(O₃) and all-cause and cause-specific mortality: systematic review and meta-analysis”, *Environ Int*, 142:105876.
- South Coast Air Quality Management District(2015), Multiple Air Toxics Exposure Study in the South Coast Basin(MATES-IV).
- Tai, A,P,K., L. J. Mickley, and D. J. Jacob, 2010 : Correlation between fine particulate matter(PM_{2.5}) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM_{2.5} to climate change, *Atmospheric Environment*, 44, 3976-3984.
- WHO(2021), “WHO global air quality guidelines”

●
온라인 자료

- 법제처 국가법령정보센터 홈페이지(2023), 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」, 「재난 및 안전관리 기본법」, 「액화석유가스(LPG) 안전관리사업법」, <https://www.law.go.kr/>(검색일: 2023.9.17)
- 법제처 국가법령정보센터 홈페이지(2023), 「개별소비세법」, <https://www.law.go.kr/>(검색일: 2023.9.17)
- International Energy Agency (IEA) (2022), “World energy balances 2022”, <https://www.iea.org/>(검색일: 2023.9.15).
- 질병관리청 홈페이지 건강정보(미세먼지 건강영향), <https://url.kr/3f1vp9>
- WHO 홈페이지 뉴스룸, 마이크로데이터 통합서비스 [tps://url.kr/d1ef75](https://url.kr/d1ef75)
- 국무총리 소속 미세먼지특별대책위원회, <https://cleanair.go.kr/dust/dust/dust-season.do>
- 에어코리아, https://www.airkorea.or.kr/web/pastSearch?pM.MENU_NO=123

참고문헌

하버드 보건대학원 홈페이지, <https://www.hsph.harvard.edu/news/features/six-cities-air-pollution-study-turns-20/>

미국재생에너지연구소 홈페이지, <https://www.nrel.gov/analysis/air-quality.html>

[기고문] 이수지, 김호, 미세먼지가 건강에 미치는 영향, <https://library.krihs.re.kr/search/media/imglist/ART000303845697?type=down>

마이크로데이터 통합서비스, <https://mdis.kostat.go.kr>

<https://home.kepco.co.kr/kepco/EB/A/htmlView/EBAAHP002.do?menuCd=FN430102>

KEPCO, 전기요금 제도-전기사용 현황

<https://home.kepco.co.kr/kepco/EB/A/htmlView/EBAAHP007.do>

KEPCO, 해외 전기요금-OECD전기요금 비교 <https://www.seoul.co.kr/news/newsView.php?id=20230614009008>

서울신문 2023.06.13, “당신의 폐암, 산재입니다”... 급식 종사자 승인율 70%

<https://www.donga.com/news/article/all/20230817/120748521/1>

동아일보 2023.08.18 뉴욕서 인정받은 ‘요리매연·조리흡 제거’ 국제특허

<https://www.chosun.com/national/transport-environment/2022/11/02/>

[AZ3SAJC7IBGGBPDSYAJJBPLK7Q/?utm_source=naver&utm_medium=referral&utm_campaign=naver-news](https://www.chosun.com/national/transport-environment/2022/11/02/AZ3SAJC7IBGGBPDSYAJJBPLK7Q/?utm_source=naver&utm_medium=referral&utm_campaign=naver-news)

조선일보 2022.11.02, 요리매연의 위험성... 학교급식 종사자 18%가 폐질환

https://www.chosun.com/site/data/html_dir/2019/01/15/2019011500213.html

조선일보 2019.01.15 코로 들어온 초미세먼지, 혈관 타고 바로 뇌를 공격한다

미세먼지특별대책위원회 민간위원

미세먼지특별대책위원회 민간위원 1기

2019.2.15 ~ 2022.2.14

| 위원장 | 문길주 고려대학교 에너지환경대학원 교수

- 장영기 국가 대기오염배출정보위원회 공동위원장
- 송미정 전북대학교 지구환경과학과 교수
- 우정현 건국대학교 사회환경공학부 교수
- 이미혜 고려대학교 지구환경과학과 교수
- 추장민 한국환경연구원 선임연구위원
- 윤순진 서울대학교 환경계획과 교수
- 권오철 동서발전 기술본부장
- 박지영 한국교통연구원 모빌리티전략국제협력팀장
- 배귀남 한국과학기술연구원 동북아-지역 연계 초미세먼지 대응 기술개발사업단장
- 배민석 목포대학교 환경공학과 교수
- 이경상 대한상공회의소 지속가능경영원장
- 이재원 중소기업중앙회 경제정책본부장
- 정옥조 중소기업중앙회 혁신성장본부장
- 임영욱 연세대학교 의과대학 예방의학교실 교수
- 강정수 미디어티 대표
- 이미옥 미세먼지대책을촉구합니다(미대촉) 대표
- 하은희 이화여자대학교 의학과 교수
- 하지원 에코맘코리아(환경교육) 대표

미세먼지특별대책위원회 민간위원 2기

2022.2.15 ~ 현재

| 위원장 | 문길주 고려대학교 에너지환경대학원 교수

- 장영기 국가 대기오염배출정보위원회 공동위원장
- 전혜영 연세대학교 대기과학과 교수
- 우정현 건국대학교 사회환경공학부 교수
- 이미혜 고려대학교 지구환경과학과 교수
- 추장민 한국환경연구원 선임연구위원
- 김동철 한국전력공사 대표이사
- 배귀남 한국과학기술연구원 동북아-지역 연계 초미세먼지 대응 기술개발사업단장
- 박지영 한국교통연구원 모빌리티전략국제협력팀장
- 송미정 전북대학교 지구환경과학과 교수
- 배민석 목포대학교 환경공학과 교수
- 우태희 대한상공회의소 상근부회장
- 정윤모 중소기업중앙회 상근부회장
- 임영욱 연세대학교 의과대학 예방의학교실 교수
- 이미옥 미세먼지대책을촉구합니다(미대촉) 대표
- 유영 고려대학교 소아청소년과 교수
- 하지원 에코맘코리아(환경교육) 대표
- 이승묵 서울대학교 보건대학원 교수

국무조정실 미세먼지개선기획단

국무조정실 미세먼지개선기획단

| 단 장 |

윤창렬 2019. 2~2020. 5

장상운 2020. 5~2022. 5

김영수 2022. 8~현재

| 부단장 |

양성호 2019. 2~2020. 5.

노혜원 2020. 7~2021. 1.

김용수 2021. 2~2021. 6.

정병규 2021. 6~2021. 12.

정일황 2021. 12~2022. 8.

차동민 2022. 10~2023. 3.

신익현 2023. 3~2023. 6.

정병규 2023. 7~현재

| 직 원 |

기획총괄과 | 김진홍 과장, 민자영 사, 이정훈 사, 장혜숙 사, 김수진 사, 안설주 무관

미세먼지저감과 | 김영민 과장, 김순미 사, 윤도경 사, 민주기 사, 백승현 사, 이은화 사

국민보호·소통과 | 이상완 과장, 장명헌 사, 이준한 사, 박상진 사, 안소영 사

도움주신 분들

강은봉 한서대학교 교수(전 경제인문사회연구회 사무총장)

강성규 환경책임보험사업단 사업단장(전 국무조정실 2050탄소중립녹색성장위원회 사무처 과장)



맑은
하늘을 위한
5년간의
여정

< 제1차 미세먼지관리종합계획(2020~2024) 성과와 제언 >

