



워킹페이퍼 2022-09

미세먼지의 건강 영향 개선을 위한 최신 정책 동향 연구

신지영
강희정·김혜윤·김기주



연구진

연구책임자	신지영	한국보건사회연구원 부연구위원
공동연구진	강희정	한국보건사회연구원 선임연구위원
	김혜윤	한국보건사회연구원 전문연구위원
	김기주	Northwestern University Feinberg School of Medicine

워킹페이퍼 2022-09

미세먼지의 건강 영향 개선을 위한 최신 정책 동향 연구

발행일 2022년 11월
발행인 이태수
발행처 한국보건사회연구원
주소 [30147] 세종특별자치시 시청대로 370
세종국책연구단지 사회정책동(1~5층)
전화 대표전화: 044)287-8000
홈페이지 <http://www.kihasa.re.kr>
등록 1999년 4월 27일(제2015-000007호)

© 한국보건사회연구원 2022
ISBN 978-89-6827-939-3 [93510]
<https://doi.org/10.23060/kihasa.i.2022.09>

발|간|사

최근 국내의 미세먼지 수준은 이전 몇 년에 비해서 개선되는 추세에 있으나, 여전히 국내 미세먼지 평균 농도는 국외의 미세먼지 농도 및 국제 기준보다 높은 편이다. 이러한 상황에서 미세먼지 노출로 인한 건강영향을 개선하기 위해 위해성 평가 및 대응 전략 수립 연구들을 진행하고, 이를 바탕으로 정책적 대안을 계속해서 논의할 필요가 있다.

이러한 문제의식을 바탕으로 본 연구는 대기오염에 대한 적응 역량을 키우고 건강 위험을 최소화하기 위한 보건의료 정책방안을 마련하고자 국내외의 미세먼지 및 대기오염 적응 정책과 관련된 사례를 비교하고 효과적인 미세먼지 대응 사례를 조사함으로써 국내 미세먼지 대응체계에 대한 보건의료 정책 개선방안을 부분적으로 제시하고자 하였다.

본 연구는 한국보건사회연구원 신지영 부연구위원의 연구 책임으로 진행되었으며 같은 연구원의 강희정 선임연구위원과 김혜윤 전문연구원이 연구진으로 참여하였다. 외부에서는 김기주 노스웨스턴대학교 박사후연구원이 참여하였다. 자문위원으로서 연구를 수행하는 과정에서 조언을 아끼지 않은 한국보건사회연구원 채수미 연구위원과 김동진 연구위원에게 감사의 마음을 전한다. 마지막으로, 본 보고서의 내용은 한국보건사회연구원의 공식적인 입장이 아님을 밝힌다.

2022년 11월

한국보건사회연구원 원장

이 태 수





Abstract	1
요약	5
제1장 서론	9
제1절 연구의 필요성 및 목적	11
제2절 연구의 내용 및 방법	14
제2장 국내의 미세먼지 대응 보건의로 정책 동향	15
제1절 미세먼지 노출에 따른 건강 영향	17
제2절 국내의 대기오염·미세먼지 보건의로 정책 현황	34
제3절 국내 대응 정책의 성과와 한계	61
제3장 국외의 미세먼지 대응 보건의로 정책 동향	63
제1절 국외의 대기오염·미세먼지 보건의로 정책 현황	65
제2절 국외 대응 정책의 효과 및 고찰	85
제4장 결론 및 제언	91
제1절 주요 연구 결과 및 국내외 정책 비교 시사점	93
제2절 정책 제언	95
참고문헌	97

표 목차

〈표 2-1〉 서울 지역 미세먼지 농도 특성(2016-2020년)	23
〈표 2-2〉 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과	24
〈표 2-3〉 성별에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과	25
〈표 2-4〉 연령에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과	26
〈표 2-5〉 교육 수준에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과	27
〈표 2-6〉 직업에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과	29
〈표 2-7〉 혼인상태에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과	30
〈표 2-8〉 사망원인에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과	31
〈표 2-9〉 2017년 미세먼지 관리 종합대책 중점 추진과제(일부)	35
〈표 2-10〉 미세먼지 관리 종합계획 15대 중점 추진과제	36
〈표 2-11〉 민감군별 미세먼지 노출에 대한 보호조치사항	40
〈표 2-12〉 ‘영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼’ 법적근거 일부	47
〈표 2-13〉 옥외작업 건강보호가이드 기준(요약본)	52
〈표 2-14〉 환경부 외청/소속기관/산하공공기관 명단	53
〈표 3-1〉 미국 질병통제예방센터 미세먼지 관련 교육자료의 내용 및 목표	67
〈표 3-2〉 EPA의 AQI 도출 차트	72
〈표 3-3〉 Air Quality Flag Program의 4단계 행동요령	74
〈표 3-4〉 캐나다의 AQHI 단계별 건강 메시지	82

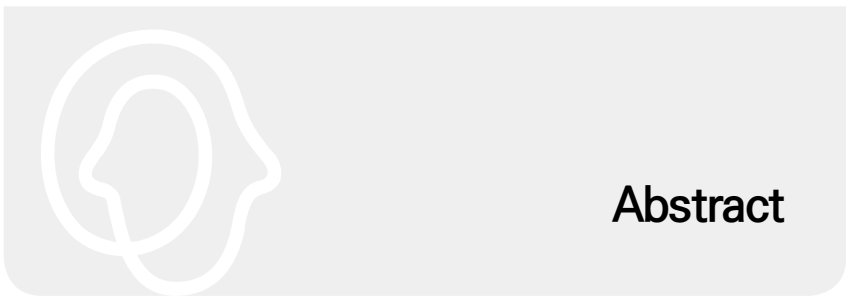
그림 목차

KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS



[그림 1-1] 주요 도시 연평균 초미세먼지(PM2.5) 농도	13
[그림 2-1] 미세먼지(Particulate matter) 입자의 크기 비교	18
[그림 2-2] 서울 지역 미세먼지 농도 연평균(2016-2020년)	23
[그림 2-3] 초미세먼지 위기경보 기준	38
[그림 2-4] 부천시 스마트 미세먼지 클린 특화단지 조성사업	45
[그림 2-5] 부천시 미세먼지 온라인 시민소통 플랫폼	45
[그림 2-6] 고농도 미세먼지 대응 업무 종합체계도	48
[그림 2-7] 질병관리청 조직도 현황	56
[그림 2-8] 제5차 국민건강증진종합계획(HP2030) 기본 틀	58
[그림 3-1] CDC 조직도	67
[그림 3-2] CDC에서 제공하는 미세먼지 배출원 교육자료의 일부	68
[그림 3-3] CDC에서 제공하는 천식환자 교육 프로그램의 일부	69
[그림 3-4] EPA에서 사용하는 오존 및 미세먼지용 AQI 차트	71
[그림 3-5] AQI를 기반으로 한 EPA 미세먼지 가이드라인 예시	73
[그림 3-6] Air Quality Flag Program에 참여한 학교의 예시	75
[그림 3-7] EPA의 대기오염·미세먼지 교육 그림책 “Why is Coco Red?”(일부)	76
[그림 3-8] 캐나다 환경청에서 제공하는 AQHI - 캘거리 지역 대기질 및 취약도에 따른 행동양식	81
[그림 3-9] 캐나다 보건부에서 제공하는 초미세먼지 교육자료	83





Abstract

A Study of Recent Policy to Improve Health from Particulate Matter in Korea

Project Head: Jiyoung Shin

The concentration of particulate matter in Korea has decreased compared to a few years ago. However, the level of particulate matter in Korea still exceeds the WHO guideline. In order to reduce the health impacts from particulate matter exposure, it is necessary to continuously advance the related air pollution policies. This study recommends plans for advancing particulate matter policies in Korea by comparing domestic and foreign policies and investigating effective strategies to improve health from particulate matter exposure.

Firstly, the association between particulate matter exposure and mortality risk was evaluated using the latest particulate matter and mortality data provided by the Korean government. Next, policies and programs related to air pollution and particulate matter in Korea, U.S., and Canada were reviewed.

The results showed that short-term exposure to low levels of particulate matter increases the risk of mortality. This association became stronger when estimated for sensitive groups such as older adults and blue-collar workers.

CDC, EPA, and Health Canada have established several air pollution programs. Especially, including particulate matter,

Co-Researchers: Hee-Chung Kang · Hyeyun Kim · Kyeezu Kim

2 미세먼지의 건강 영향 개선을 위한 최신 정책 동향 연구

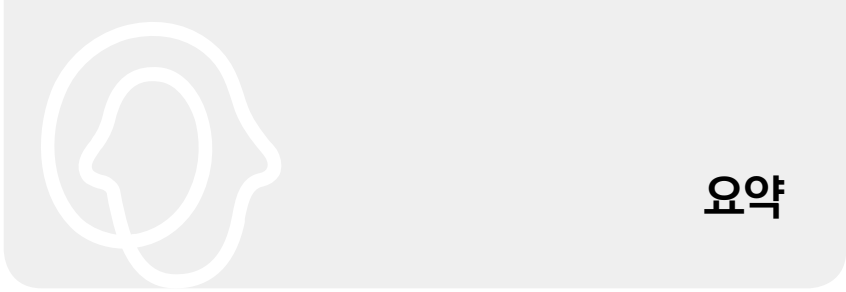
they have provided the action plans to reduce the exposure from various air pollutants such as ozone, nitrogen dioxide, and carbon monoxide, which have become an issue lately. They also developed educational materials and programs targeting specific sensitive groups, such as school teachers, infants and asthma patients.

As a result, we suggest that it is necessary to continue conducting the risk assessment research of low particulate matter exposure and developing related policies to protect health based on the research results. It is crucial to monitor fine particulate matter levels nationally, assess the current particulate matter response system's ability to operate effectively in a timely manner, and identify any issues in each state of implementation. In addition, in order to deliver the previously developed guidelines and programs effectively, selecting effective media for delivering information for each sensitive groups is needed. For specific sensitive groups such as infants and the elderly, it is important to provide air pollution education and programs to their caregivers or relevant institutions effectively. Regular indoor air quality checks should also be conducted at kindergartens and nursing homes. Finally, the decrease in particulate matter concentration since the COVID-19 pandemic has led to an increase in the problem of ozone and related air pollutants. Therefore, along with the guideline for particulate matter, it is necessary to develop and promote common action

plans that can be helpful to reduce the exposure to other air pollutants.

Keyword : particulate matter, air pollution, adaptation policy, sensitive group





1. 연구의 배경 및 목적

국내외의 노력으로 인하여 최근 국내 미세먼지 농도는 몇 년 전에 비하여 감소하는 추세에 있다. 그러나 여전히 WHO의 가이드라인 기준 이하는 국내 미세먼지의 오염 수준이 개선되지 않았고, 코로나19로부터 회복되는 과정에서 국내외 대기오염 물질 배출량이 다시 변동될 가능성이 있기 때문에, 변화하는 정세에 맞추어 미세먼지 노출로 인한 건강 영향을 개선하기 위하여 관련 대응 정책을 지속적으로 보완할 필요가 있다.

미세먼지의 건강 영향을 개선하기 위한 직접적 대응으로는 미세먼지 발생 원인의 제거, 배출량 통제와 같은 저감 관련 방안을 마련하는 방법이 있으나, 간접적 대응으로써 대기오염에 대한 적응 역량을 키우고 건강 위험을 최소화하기 위한 보건의로 정책 방안을 마련하는 방법이 있다. 해당 연구에서는 국내외의 미세먼지 적응 정책과 관련된 사례를 비교하고 효과적인 국외 미세먼지 대응 사례를 조사함으로써 국내 미세먼지 대응 체계에 대한 보건의로 정책 개선방안을 부분적으로 제시하는데 초점을 맞추고자 하였다.

2. 주요 연구결과

이 연구에서는 국가에서 제공하고 있는 최신 미세먼지 농도 및 사망 통계 자료를 통해서 미세먼지 노출이 사망 위험에 미치는 연관성을 평가하였다. 이후 국내외 정부기관을 위주로 현재 시행하고 있는 대기오염·미세먼지와 관련된 정책 및 사업을 조사하고 비교함으로써 정책적 시사점을 도출하고자 하였다.

먼저 서울 지역의 미세먼지와 사망데이터를 기초로 한 분석을 통해 최

근 몇 년간 미세먼지 농도가 감소하는 추세에 있음에도 불구하고 저농도의 단기 미세먼지 노출이 사망 위험 증가와 연관성이 있음을 확인하였다. 또한 분석결과를 통해 민감계층과 특히 고령층에서 미세먼지 노출 영향이 더욱 크게 나타나는 것을 확인하였다.

미국의 경우 질병통제예방센터와 환경보호국에서 모두 미세먼지 대응 방안과 사업을 다양하게 마련하였으며, 특히 미세먼지뿐 아니라 최근 이슈가 되고 있는 오존 및 이산화질소, 일산화탄소와 같은 다양한 대기오염 물질에 대한 자료를 함께 제공하고 있는 점을 확인할 수 있었다. 캐나다 역시 대기질 건강지표 프로그램에서 초미세먼지, 오존, 이산화질소의 세 종류 물질을 동시에 고려하여 위험 지표를 산출하였다. 또한 국외에서는 고농도 미세먼지가 발생했을 시의 행동지침을 다양한 민감계층(학교, 영유아, 천식 환자)에 맞게 세분화하여 교육자료와 프로그램을 제작하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

3. 결론 및 시사점

국내 미세먼지의 농도는 2019년 이후로 점차 감소하는 추세를 보였으나, 여전히 그 수준은 국외의 기준과 비교했을 때 높은 편이다. 따라서 향후에도 국내 미세먼지 수준이 건강에 영향을 미치는지에 대한 최신 위해성 평가 연구를 계속해서 수행할 필요가 있으며, 연구 결과를 기반으로 하여 미세먼지로부터 건강을 보호하기 위한 다양한 대응 정책을 마련할 필요가 있다. 또한 향후 코로나 상황이 완화되면서 미세먼지가 다시 증가할 가능성도 있기 때문에 미세먼지 농도를 국가 차원에서 계속해서 모니터링하고, 고농도 미세먼지 발생 시 기존에 마련되어 있는 국가, 기관, 개

인의 대응체계가 단시간 내에 적절하게 작동할 수 있는지를 사전에 점검하고, 각 단계별로 이행에 문제가 없는지 확인할 필요가 있다.

또한 미세먼지 정보 전달 대상자에게 기존에 만들어진 가이드라인들을 효과적으로 활용하기 위하여 향후 TV, SNS, 대중교통 광고 등 다양한 매체를 활용하여 정보 전달에 효과가 있는 매체를 선별할 필요가 있다. 특히 영아·노년층과 같은 특정 민감군의 경우 인터넷 활용이 쉽지 않기 때문에 보호자와 기관을 대상으로 하여 대기오염 관련 교육을 정기적으로 진행하되 요양병원 및 노인문화센터 등 다중이용시설들을 대상으로 지속적인 실내 공기질 점검을 지속할 필요가 있을 것이다.

마지막으로 코로나 팬데믹 이후 미세먼지 농도가 감소하면서, 최근에는 미세먼지 이외의 오존 및 관련 대기오염 물질에 대한 대응 문제 또한 중요하게 대두되고 있다. 따라서 미세먼지에 대한 가이드라인과 함께 다른 대기오염물질 노출에 대응할 수 있는 공통적인 행동방침들을 같이 제시하여 홍보 및 교육을 진행할 필요가 있을 것이다.

주요 용어 : 미세먼지, 대기오염, 적응정책, 민감계층



사람을
생각하는
사람들



KOREA INSTITUTE FOR HEALTH AND SOCIAL AFFAIRS



제 1 장

서론

제1절 연구의 필요성 및 목적

제2절 연구의 내용 및 방법



제 1 장 서론

제1절 연구의 필요성 및 목적

국내외의 많은 선행연구들을 통해서 미세먼지 노출로 인해 심혈관계 질환, 호흡기계 질환 등 다양한 건강 영향이 발생할 수 있음이 알려져 왔다. 2016년 WHO에서 수행된 연구에서는 미세먼지 등 실외 대기오염으로 인해 매년 420만 명의 조기사망이 일어난다고 평가하였으며(WHO, 2021a), 대기오염과 연관된 조기사망의 58%는 허혈성 심장질환과 뇌졸중으로 인한 것이라고 평가하였다. 또한 2019년 기준으로 전 세계 99%의 인구가 WHO의 대기질 가이드라인을 만족하지 못하는 지역에서 살고 있다고 언급하였다.

우리나라에서도 여러 역학 연구들을 통해서 미세먼지 노출로 인한 건강위해성을 확인한 바 있다. 2020년에는 대한의학회와 질병관리본부에서 미세먼지 영역별 근거 보고서를 발표하며 미세먼지 노출이 호흡기·알레르기 질환, 심혈관질환 및 사망 위험 등 미세먼지와 다양한 질병부담 지표 간의 연관성을 조사한 국내 선행 연구 결과들을 정리하여 보고한 바 있다(질병관리본부, 대한의학회, 2020).

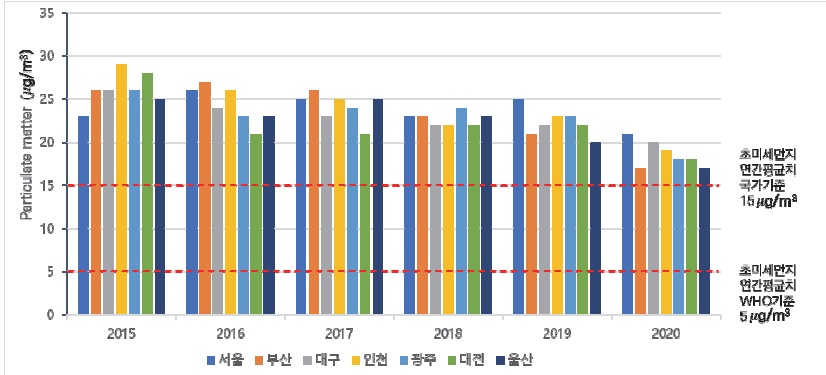
국내의 미세먼지 오염 수준은 다른 국가와 비교했을 때 상대적으로 높은 편이다. 인구가 밀집되어 있고, 교통이 혼잡하며, 중국에서 유입되는 미세먼지와 같이 여러 가지 요인이 작용하고 있기 때문이다. 스위스의 대기오염 모니터링 기관 IQAir의 2019년 대기질 보고서에 따르면, 2019년 한국 주요 도시(서울, 부산, 인천, 대구, 대전, 울산)의 초미세먼지 수준이 모두 2019년 WHO의 연간 가이드라인 기준($10\mu\text{g}/\text{m}^3$) 이상이었으

며, 한국의 평균 초미세먼지 농도가 OECD 국가 중 가장 높은 것으로 확인되었다(IQAir, 2020).

이에 따라 국내에서는 2019년 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법을 시행하였고, 이후로도 고농도의 미세먼지 노출을 줄여 건강 영향을 최소화하기 위한 여러 대응책이 제시되었다. 정부에서는 미세먼지 관리 종합계획을 수립하여 2020~2024년간의 미세먼지 저감 및 관리 정책 방향과 추진과제를 제시하고자 하였으며(관계부처 합동, 2019), 어린이집, 학생 등 취약계층을 대상으로는 ‘고농도 미세먼지 대응 매뉴얼’을 보급하여 건강 취약계층의 피해를 최소화하고자 하였다(환경부, 2019a).

국내외의 노력으로 인하여 최근 국내 미세먼지 농도는 몇 년 전에 비하여 감소하는 추세에 있다. 올해 2022년 3~5월의 서울 미세먼지 농도는 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 관측 아래 최저치를 기록했으며, 올해 봄에는 비상저감조치가 단 하루도 발령되지 않아 최근 몇 년 전보다 훨씬 개선된 미세먼지 수준을 보여주었다(동아일보, 2022). 그러나 여전히 WHO의 가이드라인 기준 이하로는 국내 미세먼지의 오염 수준이 개선되지 않았고, 코로나19로부터 회복되는 과정에서 국내외 대기오염 물질 배출량이 다시 증가할 가능성이 있기 때문에, 변화하는 국내외 정세에 맞추어 미세먼지 노출로 인한 건강 영향을 개선하기 위한 대응 정책을 지속적으로 보완, 수정할 필요가 있다.

[그림 1-1] 주요 도시 연평균 초미세먼지(PM2.5) 농도



자료: 통계청. (2021). 국가지표체계 미세먼지(PM_{2.5}) 농도 내용을 재구성함.

미세먼지의 건강 영향을 개선하기 위한 직접적 대응으로는 미세먼지 발생 원인의 제거, 배출량 통제와 같은 저감 관련 방안을 마련하는 방법이 있으나, 간접적 대응으로써 대기오염에 대한 적응 역량을 키우고 건강 위험을 최소화하기 위한 보건의료정책 방안을 마련하는 방법이 있다. 해당 연구에서는 저감 정책보다는 국내외의 미세먼지 적응 정책과 관련된 사례를 비교하고 효과적인 국외 미세먼지 대응 사례를 조사함으로써 국내 미세먼지 대응 체계에 대한 보건의료 정책 개선방안을 부분적으로 제시하는데 초점을 맞추고자 하였다. 먼저 국내에서 제공하는 국가 데이터를 이용하여 최근 미세먼지 노출에 따른 건강 영향 간(사망 위험)의 연관성을 고찰하고, 국내외의 미세먼지 대응 체계와 건강 영향 개선을 위한 최신 정책 현황을 검토하여, 국내의 향후 미세먼지 노출로 인한 건강 위험을 최소화하여 삶의 질을 향상시킬 수 있는 보건의료 정책의 대안점을 제시하고자 하였다.

제2절 연구의 내용 및 방법

이 보고서의 구성은 다음과 같다. 먼저 국가에서 제공하고 있는 최신 미세먼지 농도 및 사망 통계 자료를 이용하여 미세먼지 노출이 사망 위험에 미치는 연관성을 평가하고자 하였다. 또한 성별, 연령, 직업군과 같은 다양한 사회경제적 특성에 따라서 미세먼지 노출에 대한 위험 수준이 달라지는지를 확인하고자 하였다.

다음으로는 최근 5년 간 시행되었거나 현재까지 시행되고 있는 국내의 미세먼지 대응 정책을 살펴보고자 하였다. 국내의 경우 정부 보고서와 뉴스, 공공기관 웹사이트들을 통해서 국가와 지방자치단체에서 지금까지 시행되었던 미세먼지 적응 정책과 현재까지도 시행되고 있는 미세먼지 관련 제도들을 살펴보았다. 국외의 경우 대기오염방지법(Clean Air Act)을 1963년에 제정하고(Heinzerling, 2001) 이후에도 대기질지표(Air Quality Index, AQI)를 사용하여 대기오염의 노출에 대한 대응을 선제적으로 시작해 왔던 미국과 2008년부터 대기질 건강지수(Air Quality Health Index, AQHI)를 개발하여 국민에게 대기질 정보와 국민 행동 전략에 대해서 정보를 제공하고자 한 캐나다를 주요 대상으로 하여 미세먼지 노출로 인한 건강영향을 개선하기 위해 어떠한 전략을 시행하였는지를 확인하였다. 미국 사례는 특히 미세먼지 대응과 밀접한 관련이 있는 기관인 질병통제예방센터(CDC; Center for Disease Control and Prevention)와 환경보호국(EPA; U.S. Environmental Protection Agency)의 관련 정책을 중점적으로 살펴보았다. 마지막으로 국내의 미세먼지 정책과 국외의 미세먼지 정책 간의 공통점과 차이점을 파악하고, 향후 미세먼지 대응에 관한 국내 보건의료 정책 발전 방안을 제시하고자 하였다.



제2장

국내의 미세먼지 대응 보건의료 정책 동향

제1절 미세먼지 노출에 따른 건강 영향

제2절 국내의 대기오염·미세먼지 보건의료 정책 현황

제3절 국내 대응 정책의 성과와 한계



제 2 장

국내의 미세먼지 대응 보건의료 정책 동향

제1절 미세먼지 노출에 따른 건강 영향

1. 연구 내용

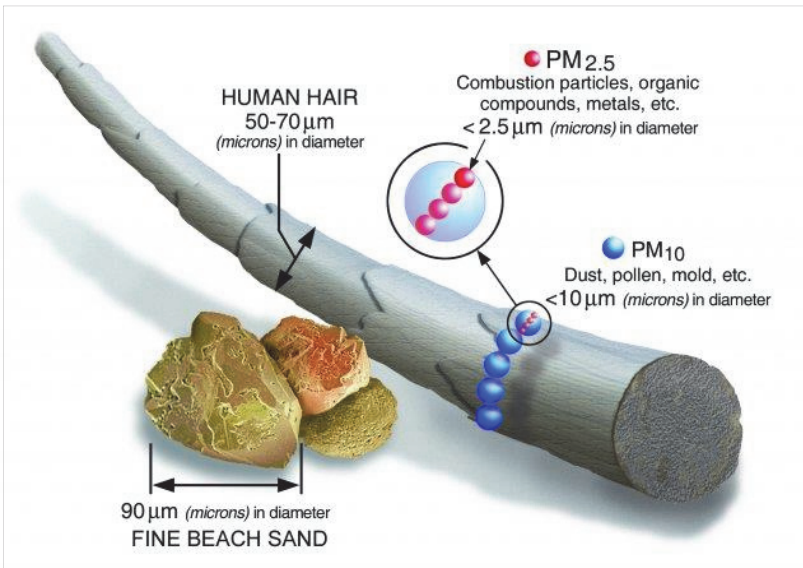
미세먼지 노출과 건강영향 간의 연관성을 확인하는 연구는 이전부터 다양하게 진행되어왔으며, 코호트 연구, 환자-대조군 연구 등 많은 유해성 평가 연구를 통해 미세먼지 노출로 인한 사망률의 증가, 심혈관계 질환, 호흡기계 질환 등 다양한 질환 간의 연관성이 밝혀진 바 있다(신동천, 2007).

미세먼지(Particulate Matter)라는 단어는 PM₁₀과 PM_{2.5}를 포함하여 사용되는 경우가 많지만, 더욱 상세하게 미세먼지의 기준을 나누면 지름이 10 μ m 이하인 미세먼지(PM₁₀)와 지름이 2.5 μ m 이하인 초미세먼지(PM_{2.5})로 나뉜다(그림2-1). 호흡기로 들어온 미세먼지는 폐포벽을 손상시켜 폐 기능을 저하시키며 PM_{2.5}는 PM₁₀보다 크기가 더 작기 때문에 폐 깊숙히 침투하기가 쉽고 PM₁₀에 비해 심혈관계 질환, 호흡기계 질환 및 사망률과 더욱 연관되어 있는 것으로 알려져 있다(Xing et al., 2016).

기존에 미세먼지 노출로 인한 건강 영향을 평가하는 연구가 많이 수행되었지만, 노인 인구 또는 호흡기계 질환 관련 연구 등 특정 집단 및 질환을 대상으로 진행한 연구가 많고, 국가에서 제공하는 최신의 데이터를 활용한 영향 평가가 부족하다. 또한 최근의 미세먼지 농도는 시간이 지남에 따라 감소하는 추세를 띄고 있기에, 이전보다 낮은 미세먼지 노출 수준이 건강에 어느 정도로 영향을 미치는지 확인해 볼 필요성이 있다. 따라서

이 절에서는 국가 데이터를 활용하여 서울의 미세먼지와 초미세먼지 노출로 인한 일별 사망 간의 연관성을 확인해보고, 성별, 연령, 교육수준 등 다양한 사회경제적 특성에 따라 미세먼지의 위험 수준에 차이가 있는지를 확인하고자 하였다.

[그림 2-1] 미세먼지(Particulate matter) 입자의 크기 비교



자료: EPA. (n.d.). Size comparisons for PM particles.
<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>에서
2022.08.05. 인출.

2. 연구 자료

가. 대기오염 자료

대기오염 자료원으로는 국립환경과학원에서 제공하는 에어코리아

(airkorea.co.kr) 웹페이지를 통해 일자별 미세먼지(PM₁₀)와 초미세먼지(PM_{2.5}) 농도를 확인하였다. 에어코리아에서는 전국의 대기측정망에서 아황산가스, 일산화탄소, 이산화질소, 오존, 미세먼지를 관측하여 대기정보 자료를 수집, 관리하고 있다(에어코리아, n.d.). 또한 대기오염 측정망에도 여러 가지 종류가 존재하여 측정하고자 하는 대기오염 실태, 변화추이, 환경기준 달성여부에 따라 도시대기 측정망, 국가배경농도 측정망, 교외대기 측정망, 도로변대기 측정망, 항만대기 측정망으로 나누어져 있다. 본 연구에서는 에어코리아의 최종확정 측정자료를 통해 서울의 미세먼지와 초미세먼지 자료를 확보하였으며, 도시지역의 평균 대기질 농도를 파악하기 위한 도시대기 측정망 자료를 활용하였다. 도시대기 측정망은 대기질 개선 및 환경 시책에 활용할 목적으로 인구밀집 지역의 대기오염도를 확인하고자 구축한 측정망이다(서울정책아카이브, 2015).

나. 기상 자료

미세먼지 노출과 사망 간의 연관성을 분석할 때의 모델 보정변수로 활용하기 위하여 기상청의 종관기상관측(Automated Synoptic Observing System, ASOS) 자료를 확보하였다. 종관관측이란, 모든 관측소에서 동일한 시각에 실시하여 대기 상태를 파악하기 위한 지상관측을 일컫는다(기상자료개방포털, n.d.). 기온, 강수, 바람, 습도, 기압과 관련된 정보를 확인할 수 있으며 기상청의 기상자료개방포털에서 해당 자료를 사용할 수 있다. 전체 자료 중 서울 지점의 관측 값을 활용하였으며, 시도별 평균 기온, 평균 이슬점 온도, 평균 상대습도의 일자별 값이 기록되어있는 변수를 확보하였다.

다. 사망 자료

일자별 사망 수를 구하기 위하여 통계청의 인구동향조사 자료를 활용하였다. 통계청에서는 대한민국의 인구 규모를 변동시키는 기본적 요인인 출생, 사망, 혼인, 이혼에 대한 현황을 파악하고자 인구동향조사를 수행하고 있으며, 통계청 마이크로데이터 통합서비스의 사망연간자료를 통해 서울 지역의 일자별 사망 수를 확인하였다. 또한 해당 자료에서 사망자의 성별, 연령, 교육수준, 발병(사고)시 직업 변수 및 사망원인 코드를 확보하였다.

3. 분석 방법

최종 분석 시기는 2016년부터 2020년까지의 데이터를 활용하였다. 초미세먼지의 측정이 2015년부터 이루어졌으나 초기데이터였기 때문에 일부 결측값이 있고, 사망 연간자료 데이터는 2020년까지 이용이 가능했으므로, 최종 분석으로는 2020년 기준으로 최근 5개년도를 대상으로 하였다. 서울의 미세먼지와 초미세먼지 농도 값을 사용하였고, 서울 내 일자별 사망 발생자 수를 결과 변수로 고려하였으며 전체, 성별, 연령, 교육수준, 발병(사고) 당시 직업, 사망원인별 건수 자료로 구분하였다. 그리고 일별 건수 자료와 대기오염 노출 자료, 기상자료를 연계하여 최종 분석자료를 구축하였다.

일별 사망 건수 자료는 0 이상의 정수 자료이며 포아송 분포(Poisson distribution)를 따르는 것으로 알려져 있다. 포아송 분포는 평균과 분산이 동일하지만, 사망자료의 경우 분산이 평균보다 큰 과산포를 띄고 있다. 이러한 과산포를 해결하기 위한 방법 중 하나로 준-포아송 분포

(Quasi-poisson distribution)를 가정하였다. 미세먼지를 비롯한 대기 오염 노출과 건강영향 관련성에 대한 시계열 회귀분석 고려시 교란요인으로서 측정된 요인(예: 기상요인)과 측정되지 않은 요인(예: 시간 추세, 요일) 등이 고려될 수 있다. 본 연구에서는 보정변수로 날짜, 일자별 평균 기온, 일자별 평균 이슬점 온도, 평균 상대습도와 요일(day of week) 변수를 이용하였다. 날짜, 평균 기온, 평균 이슬점 기온, 상대습도와 사망과의 관련성은 이전 연구들을 통해 비선형적인 관련성을 띄는 것으로 알려져 있으며, 이를 유연하게 통제하기 위해 스플라인 기법을 적용하고자 일반화 부가 모형(Generalized Additive Model, GAM)을 적용하였다 (Imai, C, 2015).

$$\text{Log}[E(Y_i)] = \text{intercept} + \beta \times PM + s(\text{date}) + s(\text{Temperature}) + s(\text{Dew point temperature}) + s(\text{Relative humidity}) + \text{day of week}$$

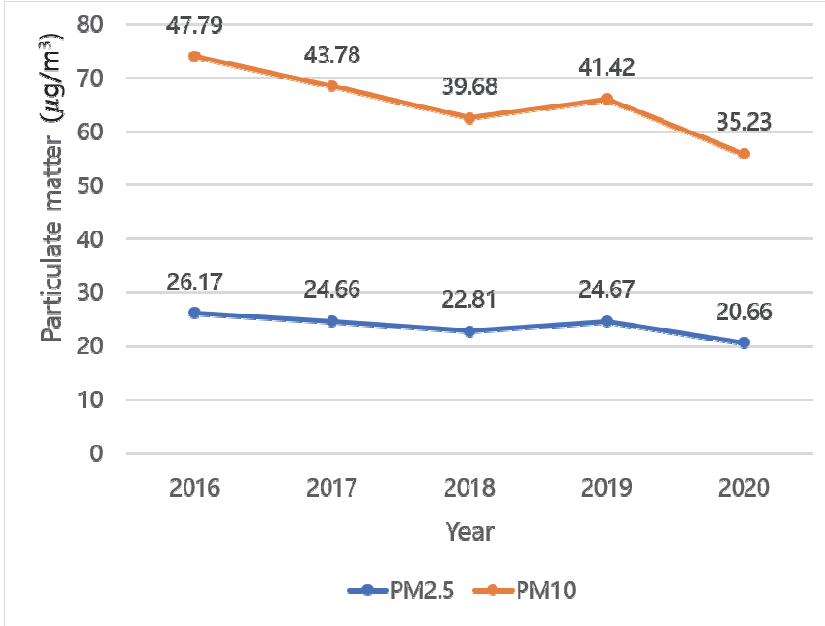
$E(Y)$ 는 종속변수에 대한 기댓값이며, s 는 각 변수에 대한 평활함수이다. 요일 변수는 가변수로 처리하였다. 미세먼지와 초미세먼지가 사분위수 범위(Interquartile range, IQR) 단위로 증가할 때의 상대위험도를 추정하고자 하였으며, 해당 분석에서 미세먼지의 IQR 값은 각각 PM_{10} 은 $26.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $PM_{2.5}$ 는 $16.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 포아송 회귀분석의 결과를 해석하기 위해서 회귀계수에 Exponential을 취하여 상대위험도와 95% 신뢰구간을 추정하였다.

또한 본 연구에서는 당일 노출뿐만 아니라 일정 시간이 지난 후 미세먼지 노출의 효과가 나타나는 것을 고려하기 위한 지연효과(Lag effect)를 추정하고자 하였으며 기존에 미세먼지 노출로 인한 사망이 단기적으로 나타나는 것을 고려했을 때(Zeka et al., 2005) 당일부터(Lag 0)부터 4일 전까지의(Lag 4) 단기 영향을 평가하고자 하였다.

4. 분석 결과

연구기간(2016-2020년) 동안의 서울권 미세먼지 농도 수준은 [그림 2-2]과 <표 2-1>과 같다. 2016년 이후로 서울 지역의 PM₁₀과 PM_{2.5} 농도는 지속적으로 감소하는 추세를 보였으며, 2019년에는 2018년 연평균 수치보다는 다소 증가하였지만 2020년에는 다시 미세먼지 농도가 최근 5년 중 가장 낮은 수치를 기록하였다. PM₁₀의 5년간 평균 농도는 41.58 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었으며, PM_{2.5}의 평균농도는 23.79 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 WHO의 현재 미세먼지 연간 평균 농도 권고 수준인 PM₁₀ 기준 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM_{2.5} 기준 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 높은 수준을 기록하였다. <표 2-2>는 전체 서울 지역의 사망자 수를 기준으로 미세먼지 노출로 인한 사망의 상대위험도(Relative risk, RR)를 평가하였다. 분석 결과 미세먼지 노출이 사분위 범위 증가할 때 당일효과와 지연효과 모두 유의한 위험을 보이지는 않았다. 그러나 Lag 0(당일효과)의 효과가 다른 지연효과보다 크게 나타났으며, PM_{2.5} 노출로 인한 위험 수준은 PM₁₀의 노출로 인한 위험 수준보다 크게 나타났다.

[그림 2-2] 서울 지역 미세먼지 농도 연평균(2016-2020년)



〈표 2-1〉 서울 지역 미세먼지 농도 특성(2016-2020년)

변수	Percentiles					Mean	SD	IQR
	Min	25%	Median	75%	Max			
PM ₁₀ (µg/m ³)	5.14	25.99	32.97	52.36	198.29	41.58	22.78	26.37
PM _{2.5} (µg/m ³)	1.86	13.99	21.40	30.14	135.28	23.79	14.42	16.16

24 미세먼지의 건강 영향 개선을 위한 최신 정책 동향 연구

〈표 2-2〉 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과

Lag	PM ₁₀			PM _{2.5}		
	RR	95% CI	P value	RR	95% CI	P value
Lag 0	1.004	0.997-1.010	0.253	1.005	0.999-1.011	0.098
Lag 1	1.001	0.995-1.007	0.783	1.002	0.996-1.007	0.606
Lag 2	0.998	0.992-1.004	0.522	0.999	0.993-1.005	0.699
Lag 3	1.000	0.994-1.006	0.967	1.001	0.995-1.006	0.772
Lag 4	1.001	0.994-1.007	0.876	1.000	0.995-1.006	0.982

주: 1) 미세먼지 노출이 사분위범위(IQR) 증가함에 따른 결과임

2) 독립변수로 대기오염 물질(PM₁₀ 또는 PM_{2.5})과 날짜(date), 일자별 평균 기온, 평균 이슬점 온도, 평균 상대습도와 요일(day of week)을 이용하였음.

〈표 2-3〉은 성별에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 분석 결과이며 기존 〈표 2-2〉에서 미세먼지 노출로 인한 유의성을 찾을 수 없었던 반면 해당 결과에서는 여성이 남성보다 미세먼지 위험에 취약함을 확인할 수 있었다. 남성에서도 미세먼지의 Lag 0, Lag 1 노출은 양의 상대위험도를 보였으나 연관성이 유의하지는 않았고, 여성에서는 PM_{2.5}의 Lag 0부터 Lag 3의 농도 증가가 사망의 상대위험도와 모두 유의한 양의 연관성을 보였으며, 특히 Lag 0의 노출이 다른 시기보다 연관성이 가장 강하게 나타났다. PM₁₀의 경우 Lag 0, Lag 1, Lag 3의 노출이 사망과 유의한 양의 연관성을 보였다.

〈표 2-4〉는 연령에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 분석 결과이다. 연령군은 0-19세, 20-34세, 35-64세와 노인연령 기준을 고려한 65세 이상으로 나누어 분석하였다. 분석 결과 35-64세, 65세 이상 그룹에서의 미세먼지 노출로 인한 위험성이 연령대가 더 낮은 그룹에서 보다 대체로 높게 나타났다. 0-19세와 20-34세 그룹에서는 미세먼지 노출로 인한 사망 위험의 유의한 연관성을 찾을 수 없었으며, 35-64세 그룹에서는 Lag 1의 PM_{2.5}과 양의 연관성을 보였으나 유의한 수준은 아니

었다(RR = 1.010, 95% CI : 0.999-1.020, P = 0.07). 65세 이상 그룹에서는 PM_{2.5}의 당일 노출과 사망간의 유의한 연관성을 보여주었으며(RR = 1.008, CI : 1.001-1.015, P = 0.035), 이전의 결과에서와 유사하게 당일 또는 Lag 1의 효과가 강한 것을 확인할 수 있었다.

〈표 2-3〉 성별에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과

성별	Lag	PM ₁₀			PM _{2.5}		
		RR	95% CI	P value	RR	95% CI	P value
남성	Lag 0	1.004	0.996-1.012	0.299	1.005	0.998-1.012	0.195
	Lag 1	1.003	0.996-1.011	0.436	1.001	0.994-1.008	0.719
	Lag 2	0.999	0.992-1.007	0.814	0.999	0.992-1.006	0.789
	Lag 3	0.999	0.992-1.007	0.863	1.001	0.995-1.008	0.694
	Lag 4	1.005	0.998-1.013	0.169	1.004	0.997-1.010	0.326
여성	Lag 0	1.020	1.012-1.029	<0.001	1.015	1.006-1.024	<0.001
	Lag 1	1.014	1.005-1.023	0.002	1.009	1.001-1.018	0.032
	Lag 2	1.003	0.994-1.012	0.496	1.010	1.002-1.018	0.019
	Lag 3	1.012	1.003-1.020	0.009	1.008	1.000-1.016	0.046
	Lag 4	1.003	0.995-1.012	0.462	1.003	0.995-1.011	0.471

주: 1) 미세먼지 노출이 사분위범위(IQR) 증가함에 따른 결과임

2) 독립변수로 대기오염 물질(PM₁₀ 또는 PM_{2.5})과 날짜(date), 일자별 평균 기온, 평균 이슬점 온도, 평균 상대습도와 요일(day of week)을 이용하였음.

26 미세먼지의 건강 영향 개선을 위한 최신 정책 동향 연구

〈표 2-4〉 연령에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과

연령 (세)	Lag	PM ₁₀			PM _{2.5}		
		RR	95% CI	P value	RR	95% CI	P value
0-19	Lag 0	0.997	0.937-1.060	0.914	1.006	0.949-1.067	0.833
	Lag 1	0.997	0.936-1.061	0.920	0.987	0.930-1.047	0.663
	Lag 2	1.003	0.942-1.067	0.938	0.998	0.941-1.059	0.950
20-34	Lag 0	1.007	0.968-1.048	0.740	1.004	0.967-1.042	0.830
	Lag 1	0.990	0.951-1.030	0.613	0.993	0.957-1.031	0.720
	Lag 2	1.012	0.973-1.052	0.565	1.005	0.968-1.042	0.812
35-64	Lag 0	1.010	0.999-1.022	0.074	1.009	0.998-1.019	0.108
	Lag 1	1.009	0.998-1.021	0.110	1.010	0.999-1.020	0.070
	Lag 2	1.009	0.997-1.020	0.132	1.007	0.997-1.018	0.185
+65	Lag 0	1.006	0.998-1.013	0.129	1.008	1.001-1.015	0.035
	Lag 1	1.002	0.995-1.010	0.537	1.002	0.995-1.009	0.537
	Lag 2	0.997	0.990-1.005	0.467	0.998	0.992-1.005	0.636

주: 1) 미세먼지 노출이 사분위범위(IQR) 증가함에 따른 결과임
 2) 독립변수로 대기오염 물질(PM₁₀ 또는 PM_{2.5})과 날짜(date), 일자별 평균 기온, 평균 이슬점 온도, 평균 상대습도와 요일(day of week)을 이용하였음.

〈표 2-5〉는 교육 수준에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 분석결과이며, 최종학력을 기준으로 중학교 이하, 고등학교, 대학교, 대학원 이상의 그룹으로 나누었을 때 고등학교와 대학교 졸업 그룹에서 미세먼지가 증가할수록 사망의 위험이 유의하게 증가하였다. 고등학교 그룹에서는 Lag 0의 영향이 가장 강하게 나타났으며(RR = 1.012, CI: 1.001-1.023 for PM₁₀, RR = 1.012, CI: 1.002-1.023 for PM_{2.5}), 대학원 이상의 그룹에서는 미세먼지와 사망간의 유의한 연관성이 나타나지 않았다.

〈표 2-5〉 교육 수준에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과

최종 학력	Lag	PM ₁₀			PM _{2.5}		
		RR	95% CI	P value	RR	95% CI	P value
중학교 이하	Lag 0	1.007	0.999-1.016	0.092	1.008	0.999-1.016	0.073
	Lag 1	1.001	0.992-1.009	0.883	1.001	0.994-1.009	0.731
	Lag 2	0.998	0.990-1.007	0.710	0.998	0.990-1.005	0.535
고등학교	Lag 0	1.012	1.001-1.023	0.037	1.012	1.002-1.023	0.022
	Lag 1	1.007	0.996-1.018	0.194	1.006	0.996-1.017	0.218
	Lag 2	1.002	0.991-1.013	0.696	1.005	0.995-1.015	0.351
대학교	Lag 0	1.012	0.998-1.025	0.097	1.015	1.003-1.028	0.018
	Lag 1	1.020	1.006-1.034	0.005	1.018	1.005-1.030	0.006
	Lag 2	1.018	1.004-1.032	0.010	1.015	1.003-1.028	0.017
대학원 이상	Lag 0	0.994	0.964-1.025	0.702	1.001	0.973-1.029	0.974
	Lag 1	1.004	0.974-1.036	0.787	1.000	0.972-1.028	0.973
	Lag 2	1.002	0.972-1.034	0.878	1.000	0.972-1.030	0.976

주: 1) 미세먼지 노출이 사분위범위(IQR) 증가함에 따른 결과임

2) 독립변수로 대기오염 물질(PM₁₀ 또는 PM_{2.5})과 날짜(date), 일자별 평균 기온, 평균 이슬점 온도, 평균 상대습도와 요일(day of week)을 이용하였음.

〈표 2-6〉은 직업에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 분석 결과이다. 사망자 직업분류코드를 이용하여 관리자, 전문가 및 관련 종사자, 사무 종사자, 서비스 및 판매 종사자, 농림어업 종사자, 장치·기계조작 및 조립 종사자, 단순노무 종사자, 학생·가사·무직으로 나누었으며 분석 결과 단순노무 종사자와 학생·가사·무직 그룹에서 PM_{2.5}의 노출과 사망 위험 간 유의한 양의 연관성이 확인되었다. 또한 PM₁₀의 위험보다는 대체로 PM_{2.5} 노출의 위험이 높게 나타났다. 단순노무종사자 그룹에서는 PM_{2.5}의 Lag 1 노출이 사망 위험과 유의한 연관성을 보였으며(RR = 1.025, CI: 1.002-1.048) 학생·가사·무직 그룹에서는 PM_{2.5}의 Lag 0 노출이 사망 위험과 유의한 연관성을 보였다(RR = 1.008, CI: 1.000

-1.015). 관리자 그룹에서는 오히려 미세먼지의 Lag 1 노출이 사망 위험과 음의 연관성을 보였다.

〈표 2-7〉은 혼인상태에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 분석결과이다. 사망자료의 혼인상태 변수에 기초하여 미혼, 배우자 있음, 이혼, 사별 그룹으로 나누었으며 미혼 그룹에서 Lag 0의 미세먼지 노출과 사망의 위험간 유의한 양의 연관성이 관찰되었다(RR = 1.024, CI: 1.006-1.043 for PM₁₀, RR = 1.021, CI: 1.004-1.038 for PM_{2.5}). 또한 사별 그룹에서 Lag 0, Lag 1의 미세먼지 노출과 사망 간의 유의한 연관성이 관찰되었다. 해당 분석에 포함된 사망자 중에서 미혼 그룹의 평균 연령대는 45-49세였으며 사별 그룹은 평균 연령대가 80-84세였기 때문에 사별 그룹의 경우 연령이 높은 특성으로 인해 미세먼지의 연관성이 유의하게 나타났을 가능성이 있다.

(표 2-6) 직업에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과

직업	Lag	PM ₁₀			PM _{2.5}		
		RR	95% CI	P value	RR	95% CI	P value
관리자	Lag 0	0.979	0.938-1.022	0.339	0.912	0.932-1.014	0.183
	Lag 1	0.936	0.894-0.979	0.004	0.940	0.991-0.982	0.005
	Lag 2	0.972	0.931-1.016	0.212	0.961	0.921-1.003	0.069
전문가 및 관련 종사자	Lag 0	1.006	0.973-1.039	0.743	0.990	0.959-1.021	0.517
	Lag 1	1.008	0.976-1.042	0.621	0.999	0.969-1.031	0.970
	Lag 2	1.001	0.969-1.035	0.939	0.995	0.964-1.026	0.742
사무 종사자	Lag 0	0.989	0.957-1.022	0.506	0.986	0.957-1.017	0.371
	Lag 1	1.000	0.969-1.033	0.985	0.985	0.956-1.015	0.329
	Lag 2	1.005	0.973-1.037	0.781	0.995	0.966-1.025	0.725
서비스· 판매 종사자	Lag 0	1.007	0.982-1.033	0.565	0.997	0.974-1.021	0.816
	Lag 1	1.004	0.979-1.029	0.770	0.999	0.976-1.023	0.957
	Lag 2	1.018	0.993-1.043	0.155	1.012	0.989-1.036	0.301
농·어업 종사자	Lag 0	1.015	0.933-1.104	0.731	1.035	0.956-1.120	0.400
	Lag 1	0.972	0.891-1.060	0.522	0.967	0.890-1.050	0.420
	Lag 2	0.966	0.886-1.054	0.441	0.958	0.882-1.041	0.315
장치, 기계조작 종사자	Lag 0	1.022	0.945-1.072	0.371	1.014	0.971-1.059	0.524
	Lag 1	1.028	0.981-1.078	0.246	1.029	0.986-1.073	0.185
	Lag 2	1.012	0.965-1.061	0.630	1.005	0.963-1.049	0.818
단순노무 종사자	Lag 0	1.014	0.988-1.041	0.288	1.020	0.996-1.044	0.098
	Lag 1	1.022	0.996-1.048	0.095	1.025	1.002-1.048	0.035
	Lag 2	1.000	0.975-1.025	0.990	1.014	0.991-1.037	0.235
학생, 가사, 무직	Lag 0	1.009	1.002-1.016	0.009	1.008	1.000-1.015	0.041
	Lag 1	1.004	0.997-1.011	0.299	1.004	0.997-1.012	0.284
	Lag 2	1.001	0.994-1.008	0.844	1.002	0.995-1.009	0.581

주: 1) 미세먼지 노출이 사분위범위(IQR) 증가함에 따른 결과임

2) 독립변수로 대기오염 물질(PM₁₀ 또는 PM_{2.5})과 날짜(date), 일자별 평균 기온, 평균 이슬점 온도, 평균 상대습도와 요일(day of week)을 이용하였음.

30 미세먼지의 건강 영향 개선을 위한 최신 정책 동향 연구

〈표 2-7〉 혼인상태에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과

혼인상태	Lag	PM ₁₀			PM _{2.5}		
		RR	95% CI	P value	RR	95% CI	P value
미혼	Lag 0	1.024	1.006-1.043	0.011	1.021	1.004-1.038	0.016
	Lag 1	1.003	0.985-1.022	0.732	1.001	0.984-1.018	0.942
	Lag 2	1.006	0.988-1.024	0.525	1.000	0.983-1.016	0.939
배우자 있음	Lag 0	1.001	0.993-1.009	0.833	1.004	0.996-1.012	0.308
	Lag 1	1.004	0.995-1.012	0.402	1.004	0.997-1.012	0.297
	Lag 2	1.003	0.995-1.011	0.419	1.004	0.997-1.012	0.254
이혼	Lag 0	1.001	0.983-1.019	0.953	1.008	0.992-1.025	0.337
	Lag 1	1.008	0.990-1.026	0.369	1.012	0.995-1.028	0.165
	Lag 2	1.006	0.988-1.023	0.542	1.006	0.989-1.022	0.504
사별	Lag 0	1.018	1.008-1.029	0.001	1.015	1.005-1.025	0.004
	Lag 1	1.016	1.006-1.026	0.002	1.006	0.997-1.016	0.206
	Lag 2	1.005	0.995-1.014	0.359	0.997	0.987-1.006	0.479

주: 1) 미세먼지 노출이 사분위범위(IQR) 증가함에 따른 결과임
 2) 독립변수로 대기오염 물질(PM₁₀ 또는 PM_{2.5})과 날짜(date), 일자별 평균 기온, 평균 이슬점 온도, 평균 상대습도와 요일(day of week)을 이용하였음.

〈표 2-8〉는 사망원인에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 분석결과이다. 사망원인에 따라 비사고사망(KCD 코드 A00-R99), 심뇌혈관 질환(KCD 코드 I00-I99), 허혈성 심질환(KCD 코드 I20-I25) 군으로 나누었으며, 심뇌혈관 질환의 경우 비사고사망에 비해서 미세먼지 노출의 위험성이 크게 나타났지만 전체적으로 유의한 결과는 나타나지 않았다. 추후 각 질환군에서도 인구통계학적 특성에 따라 연관성이 다르게 나타나는지 비교분석할 필요가 있으며 향후 전국 및 미세먼지 노출이 높은 지역 등을 중점으로 한 추가 연구 역시 필요할 것이다.

〈표 2-8〉 사망원인에 따른 미세먼지 노출과 사망의 연관성에 대한 포아송 회귀분석 결과

혼인상태	Lag	PM ₁₀			PM _{2.5}		
		RR	95% CI	P value	RR	95% CI	P value
비사고 사망	Lag 0	1.003	0.997-1.010	0.352	1.005	0.999-1.012	0.098
	Lag 1	1.002	0.996-1.009	0.534	1.002	0.996-1.008	0.502
	Lag 2	0.999	0.992-1.005	0.648	0.999	0.993-1.005	0.707
심뇌혈관 질환	Lag 0	1.006	0.993-1.018	0.395	1.009	0.997-1.021	0.145
	Lag 1	1.008	0.995-1.020	0.236	1.003	0.991-1.015	0.613
	Lag 2	0.994	0.981-1.006	0.325	0.995	0.984-1.007	0.406
허혈성 심질환	Lag 0	0.981	0.956-1.006	0.133	0.992	0.969-1.016	0.527
	Lag 1	1.003	0.978-1.028	0.833	1.002	0.979-1.025	0.883
	Lag 2	1.003	0.978-1.028	0.837	1.002	0.980-1.025	0.847

주: 1) 미세먼지 노출이 사분위범위 (IQR) 증가함에 따른 결과임

2) 독립변수로 대기오염 물질(PM₁₀ 또는 PM_{2.5})과 날짜 (date), 일자별 평균 기온, 평균 이슬점 온도, 평균 상대습도와 요일 (day of week)을 이용하였음.

5. 소결

서울 지역의 미세먼지 데이터와 사망 데이터를 기초로 한 분석을 통해 다음과 같은 특성을 확인할 수 있었다.

첫 번째로는 저농도의 미세먼지 노출과 사망 위험 간의 연관성을 확인했다는 점이다. 해당 연구에서는 당일 노출인 Lag 0부터 Lag 4까지의 지연효과를 평가하였는데, 전체를 대상으로 한 분석에서는 유의한 결과가 나타나지 않았다. 이는 해당 연구가 상대적으로 연구 기간이 짧고 최근 미세먼지 농도가 감소하는 추세를 고려했을 때 이전의 미세먼지 노출 수준보다 상대적으로 저농도의 미세먼지 데이터를 분석했기 때문일 수 있다. 그러나 층화 분석 결과에서는 Lag 0와 Lag 1의 미세먼지 노출이 대체로 사망 위험과 가장 유의한 연관성을 보였으며, Lag 3 또는 Lag 4의 미세먼지 노출은 대체로 유의한 연관성을 보이지 않았다.

이러한 결과를 통해 최근 몇 년간 미세먼지 농도가 감소했음에도 불구하고 저농도의 미세먼지 노출 역시 건강에 영향을 미칠 수 있음을 확인하였으며, 최근 미국이나 유럽에서 수행된 연구 역시 저농도의 미세먼지 노출이 건강에 미치는 영향에 대한 연구를 지속적으로 발표하고 있다(Liu et al., 2021; Wyatt et al., 2020). 최근 2021년 WHO에서는 더욱 엄격한 미세먼지 농도 기준을 제시하였고 (PM_{2.5}: 연평균 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM₁₀: 연평균 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$) (WHO, 2021b) 한국의 미세먼지 농도는 여전히 이 기준보다는 높은 것을 고려하였을 때 미세먼지 완화 정책과 관련 적응 정책은 계속해서 필요할 것이다.

두 번째로는 미세먼지 노출과 사망 위험간의 급성적인 연관성을 확인했다는 점이다. 기존의 연구에서도 이러한 급성적인 연관성을 보고한 바 있으며 (Bae, 2014; Achilleos et al., 2017; Pothirat et al., 2019), 특히 lag 0, lag 1, lag 2의 미세먼지 단기 노출과 사망위험간의 연관성이 보고되었다. 중국에서 진행한 연구에서도 미세먼지의 단기 노출과 심혈관계 질환으로 인한 사망간의 연관성을 확인한 바 있다 (Zhou et al., 2021; Yang et al., 2020). 본 분석에서도 미세먼지에 노출된 당일과 사망 간의 연관성이 나타났기 때문에, 미세먼지의 농도를 보다 신속하게 확인하고 농도가 기준치를 초과하거나 일정 수준 이상이 되었을 경우 빠르게 사람들에게 알림을 제공하는 등 신속한 미세먼지 노출 대응 체계가 마련될 필요가 있을 것이다. 또한 PM_{2.5}가 PM₁₀보다 5년간의 미세먼지 평균 농도는 낮지만, 입자의 크기 차이로 인해 PM_{2.5}의 위해성은 PM₁₀보다 큰 것으로 알려져 있으며, 이번 분석에서도 기존의 분석과 마찬가지로 PM_{2.5}의 위해성이 더 크게 나타났다. 따라서 향후 PM_{2.5}에 대한 모니터링을 계속해서 강화하되 PM_{2.5} 고농도 노출의 대응을 위한 지속적인 홍보 전략이 필요할 것이다.

마지막으로는 특정 민감군에서 미세먼지 노출의 건강 영향이 두드러지게 나타났다는 점이다. 해당 분석은 서울 지역만을 대상으로 하였고 실외 미세먼지에 실제 개개인이 얼마나 노출되었는지를 추산하기 어렵기 때문에 대기질 자료를 활용하여 지역의 미세먼지 노출 수준을 개인의 노출 수준으로 간주하였다는 제한점이 있지만, 해당 분석을 통해 특정 그룹에서 실외 미세먼지의 노출 영향이 보다 강하게 나타난다는 것을 확인할 수 있었다. 특히 남성보다 여성에서 미세먼지 노출 위험이 높은 것으로 나타났으며, 젊은 층에 비해서 고령층(65세) 이상의 그룹이 미세먼지 노출에 더욱 취약한 것으로 나타났다. 한국 사회가 고령화 사회에 빠르게 진입하고 있는 것을 고려할 때 앞으로 미세먼지 노출에 취약한 인구 집단이 계속해서 증가할 수 있으며, 이러한 위험을 대비하여 중장년층 및 고령층을 대상으로 한 미세먼지 대응 전략을 계속해서 보완해 나갈 필요가 있을 것으로 보인다. 또한 대학원 이상의 교육 수준을 가진 그룹에서는 미세먼지의 노출 영향이 나타나지 않았으며, 단순노무 종사자 그룹에서의 미세먼지 노출 영향이 다른 그룹에 비해서 강하게 나타났다. 단순노무 종사자가 수행하는 업무는 한국표준직업분류의 설명에 따르면 '주로 수공구의 사용과 단순하고 일상적이며, 상당한 육체적 노력이 가능하고, 거의 제한된 창의와 판단만을 필요로 하는 업무'이며 건설, 운송, 제조계의 단순노무직을 포함하고 있다(고용노동부, 2018). 따라서 다른 직종에 비해 실외에서의 활동이 많고 실외 대기오염 노출에 가장 큰 영향을 받아온 그룹일 가능성이 있다. 이러한 결과는 단순노무 종사자 또는 기타 실외에서의 활동이 많은 집단을 위한 미세먼지 대응책을 별도로 고려해야 할 필요성이 있음을 시사한다.

해당 분석은 서울 지역의 미세먼지 노출과 사망 위험간의 연관성을 확인하였으나, 추후 전국 단위로 분석을 진행하거나 또는 미세먼지 노출원

및 노출 양상이 다른 지역의 건강영향과 관련 된 추가 분석을 진행할 필요가 있을 것이다. 또한 미세먼지 노출로 인해 영향을 받을 수 있는 대표적인 질환이 호흡기 질환이기 때문에 잘 정의된 호흡기 질환 발생 및 이로 인한 사망 자료를 이용하여 미세먼지 노출과 호흡기 건강 영향간 연관성을 살펴볼 필요가 있을 것이다.

제2절 국내의 대기오염·미세먼지 보건의료 정책 현황

국내에서는 미세먼지 문제를 해결하기 위해 다양한 방안을 마련하고 있으며, 이러한 대책은 크게 미세먼지 배출원 자체를 규제하여 미세먼지 발생을 줄이는 저감 정책과 미세먼지 고농도 알람이나 행동 가이드라인 마련 등 미세먼지 노출에 대한 대응 관련 보건의료 정책으로 나눌 수 있다. 해당 절에서는 미세먼지에 대한 관심이 높아지고 미세먼지 관리 종합 대책이 발표되었던 2017년 이후에 시행된 미세먼지 대응 관련 보건의료 정책을 소개하고자 하며, 특히 이전 절에서의 분석 결과 미세먼지 급성 노출 및 특정 민감 계층에서의 미세먼지 노출에 대한 관리가 필요한 점을 고려하였을 때 이러한 측면을 반영하고 있는 사업이나 정책에 대해서 확인하고자 하였다.

1. 미세먼지 관리 종합대책 · 종합계획

2017년 9월 정부는 미세먼지 문제를 근본적으로 해결하기 위해 관계 부처(국무조정실, 기획재정부, 교육부, 과학기술정보통신부, 외교부, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 보건복지부, 환경부, 국토교통부, 해양수

산부, 산림청) 합동으로 ‘미세먼지 관리 종합대책’을 발표하였다. 특히 대책의 시급성과 우선순위를 고려하여 ‘단기대책’과 ‘중장기대책’으로 나누어 발표하였으며, 단기대책은 2018년 상반기까지 추진하고, 중장기대책은 2022년까지 추진하는 것을 목표로 제시하였다(관계부처 합동, 2017). 대책의 중점분야로는 국내 배출 감축, 국제협력, 민감 계층 보호, 정책 기반 관련 분야가 있으며 국제협력, 민감 계층 보호 및 정책 기반 분야에 대한 주요한 중점 추진과제는 다음과 같다.

〈표 2-9〉 2017년 미세먼지 관리 종합대책 중점 추진과제(일부)

분야		중점 추진과제
국제협력	한·중 동아시아 미세먼지 협력	- 한중 정상회의를 통한 공동선언문 발표 추진 - 동아시아 미세먼지 저감 협약 체결 검토
민감계층 보호	민감계층 보호 인프라 및 서비스	- 아이들을 위한 실내기준 마련 - 어린이집, 학교 주변 미세먼지 측정망 우선 설치 - 학교 실내 체육시설 확대 - 민감계층 대상 찾아가는 케어서비스
정책 기반	과학적 관리 기반	- 환경위성 등 활용한 측정 및 예경보시스템 강화 - 미세먼지 국가전략 프로젝트(R&D) 추진

자료: 관계부처 합동. (2017). 미세먼지 관리 종합대책에서 인용

이후 정부는 미세먼지 관리 종합대책에 대한 평가와 함께 다시 2019년 11월 향후 5년간(2020년~2024년)의 미세먼지 저감 및 관리 정책 방향과 추진과제를 제시하기 위해 ‘미세먼지 관리 종합계획’을 발표하였다(관계부처합동, 2019). 특히 종전대책에서 사업장 관리와 국민건강 보호의 현장 이행력이 부족했던 점을 지적하였는데, 특히 미세먼지 관리 대상이 증가하고 불법 행위가 여전히 만연한 점을 고려하여 향후 개선 방향으로써 지역 단위 맞춤형 대책 수립 및 이행, 대책 실행력 제고(현장 점검·관리 강화), 국민건강 보호 강화를 제시하였다.

미세먼지 관리 종합계획의 궁극적 목표는 ‘2016년 대비 초미세먼지 연평균 농도 35% 이상 저감’이기 때문에 추진과제의 주요 부분이 국내배출 감축과 관련된 부분이지만, 민감·취약계층 건강보호 기반 강화 및 국민참여·소통 증진과 관련된 추진과제 역시 중점 분야로써 포함되어 있다 (표 2-10).

〈표 2-10〉 미세먼지 관리 종합계획 15대 중점 추진과제

분야		중점 추진과제
국내배출 감축	산업부문	1. 배출총량제 전국 확대 2. 사업장 점검 및 단속 강화
	수송부문	3. 노후경유차 감축 강화 및 저공해차 보급 확대 4. 선박 및 항만 관리기준 강화 5. 노후건설기계 관리 강화
	발전부문	6. 석탄발전 미세먼지 저감 7. 친환경에너지 전환 (중장기)
	농업·생활부문	8. 축산 환경 관리 강화 9. 저독스 보일러 보급 확대
국민건강	국민건강 보호	10. 미세먼지 고농도 계절관리제 도입 11. 실내공기질 관리 강화
국제협력	동아시아 대기협력	12. 동아시아 미세먼지 저감 협약 추진[중장기] 13. 실체적 협력사업 확대
기반·소통	-과학적 접근·실천 -국민참여·소통	14. 미세먼지 해결 다부처 기술개발 사업 15. 참여와 숙의를 통한 사회적 합의 도출

자료: 관계부처 합동. (2019). 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)에서 인용

이중 미세먼지 적응 정책 및 국제적 소통 측면과 관련된 국민건강 분야, 국제협력 분야, 기반·소통 분야의 추진과제에서 어떠한 세부 지침을 제시하고 있는지 보다 자세히 확인하고자 한다.

가. 국민건강 보호를 위한 미세먼지 재난대응체계 정비

국민건강 분야에서의 중점 추진과제는 크게 두 가지로 나뉘는데, 첫 번째로는 고농도 미세먼지 발생 시 재난대응 연계 비상저감조치 강화, 고농도 발생 억제를 위한 계절관리제 시행을 추진하고자 하였으며, 두 번째로는 상시 국민 건강 보호를 위한 인프라 확대, 실내 공기질 관리 개선 및 홍보·교육을 실시하고 철저한 이행점검으로 국민의 안심을 도모하고자 하였다.

특히 국가는 지난 2019년 3월부터 미세먼지를 사회재난으로 지정하였으며, 이에 따른 미세먼지 재난 대응체계를 정비하고자 하였다(환경부, 2021). 미세먼지 관리 종합계획에서 재난대응 연계 비상저감조치 강화와 관련 된 항목을 살펴보면, 먼저 초미세먼지 재난 대응체계를 구축하기 위하여 위기 경보를 관심-주의-경계-심각 단계로 나누고 각 부문별로 조치사항을 이행하도록 국가적 대응체계를 마련하였다(그림 2-3). 특히 ‘주의’ 경보가 발령되었을 때에는 공공부문의 조치를 강화하여 관용·공용 차량 운행에 전면 제한하거나, 공공 사업장 가동시간을 추가 단축하고, 취약계층 이용시설에 마스크 지급을 추진하도록 되어 있다. 또한 ‘경계’나 ‘심각’ 경보가 발령되었을 경우에는 상황의 위중함을 고려한 후 가용 수단과 자원을 총동원하여 재난 대응에 들어가는데, 예시로 민간부문 차량운행과 관련하여 ‘경계’ 경보에서는 자율 2부제를 실시하고 ‘심각’ 경보 단계에서는 강제 2부제를 시행하도록 하였다. 또한 ‘심각’ 단계가 되었을 경우에는 학교나 어린이집의 휴업·휴원 명령과 임시 공휴일 지정까지 검토하도록 계획하였다.

[그림 2-3] 초미세먼지 위기경보 기준

< 초미세먼지 위기경보 기준 >			
단계	발령기준 * 하나의 요건만 충족되면 발령		
관심	비상저감조치 발령기준		
주의	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속+다음날 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과 예보	'관심' 단계	2일 연속 + 1일 지속 예상
경계	200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속+다음날 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과 예보	'주의' 단계	2일 연속 + 1일 지속 예상
심각	400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 지속+다음날 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과 예보	'경계' 단계	2일 연속 + 1일 지속 예상

자료: 환경부. (2019a). 고농도 미세먼지 위기관리 표준매뉴얼 제정에서 인용

나. 민감·취약계층 건강보호 기반 및 현장 점검 강화

국민건강 분야에서의 중점 계획으로써 강조한 또 다른 주제는 민감·취약계층 건강 보호 기반 강화이다. 특히 영유아 및 학생을 위하여 유치원 및 각급학교에 공기정화설비를 설치하고 민감계층(영유아·노인·장애인)을 위한 생활, 이용시설 대상 설비 지원을 확대할 것을 강조하고 있다. 또한 미세먼지 등 실내 공기질을 학교나 유치원에서 점검할 시 학부모 참관을 허용하고 결과를 학교 인터넷 누리집 등에 공개할 것을 언급하였으며, 어린이집과 학교 인근의 도시대기 측정망을 확충하고 이동측정 차량을 운영함으로써 미세먼지 측정에 관한 인프라를 확대할 것을 계획하였다.

추가로 미세먼지 노출을 예방하기 위한 마스크의 사용과 관련 된 계획도 언급하였는데, 저소득층 및 취약계층(기초생활수급자, 차상위계층, 사회복지시설 거주자)을 대상으로 한 마스크 지원과 보건용 마스크의 효과 및 건강보험 재정 현황을 검토한 뒤 보건용 마스크의 건강보험 적용 여부를 검토하는 방안도 제시하였다. 그리고 2019년 미세먼지 종합계획 발표 이후 2020년부터 국내에 코로나가 급격히 확산되면서 마스크 품절 현상이 일어났고, 코로나 감염 예방과 미세먼지로 인한 건강영향 측면을 모두 고려하여 마스크 건강보험 급여화 문제가 다시 대두되었다. 그러나 실제로 보건용 마스크를 건강보험 적용하는 해외사례가 없다는 점, 마스크 착

용시 미세먼지로 인한 건강위험이 완화된다는 구체적인 효과에 대한 연구가 부족한 점 등을 이유로 현재까지 보건용 마스크 건보적용은 되어있지 않은 상황이다(데일리팜, 2021).

미세먼지 관리 종합계획에서는 민감계층의 건강 보호를 위하여 민감군이 직접 활동하는 현장에 대한 이행점검을 강화할 것 또한 촉구하였다. 먼저 고농도의 미세먼지가 주로 발생하는 12~3월에는 민감·취약계층을 대상으로 한 미세먼지 대응요령을 집중 홍보하고 교육할 것을 강조하고 있으며, 이러한 홍보와 교육 매체는 누리집, SNS, 전광판 등 국민이 쉽게 접할 수 있는 매체를 이용할 것을 언급하였다.

어린이집, 노인요양시설 등 민감계층이 자주 이용하는 장소에는 실내 공기질을 진단하고 개선하기 위한 컨설팅을 지원하고 공기질을 집중 점검할 것을 강조하고 있으며, 미세먼지 고농도 시기(12~3월)와 비상저감조치가 발령되었을 때에는 민감계층에 대한 현장 보호조치를 강화하고 보호조치에 대한 지도·점검을 강화할 것을 계획하였다. 그리고 이러한 점검은 교육부, 시도 교육청, 유역 환경청, 복지부, 지자체에서 관여할 것을 언급하였다.

특히 민감·취약계층의 대상을 나누어서 민감군별 조치사항을 별도로 마련해 두었는데, 학생, 영유아, 노인, 취약사업장(옥외근로자), 항만 근로자, 어업인, 농업인, 질환자별로 대응 가이드라인을 마련하거나, 비상저감조치 시 학교의 경우 임시휴업 및 대체 프로그램을 제공하는 등 민감군의 특성에 맞추어서 보호조치를 조금씩 다르게 할 수 있도록 하였다.

40 미세먼지의 건강 영향 개선을 위한 최신 정책 동향 연구

〈표 2-11〉 민감군별 미세먼지 노출에 대한 보호조치사항

구분(대상)	조치 내용
학생	- 비상저감조치 발령 후 단축수업, 실외수업 조정 등 학사일정 조정 시 학부모에 미리 알리고, 등·하교 조정 또는 임시휴업 시 돌봄교실, 대체 프로그램 등 제공 - 비상저감조치 시 학교 현장 이행점검(시도 교육청 주관)
영유아, 노인	- 영유아·노인 이용 시설 비상저감조치 대응 매뉴얼 마련, 시행 및 고농도 미세먼지 지속 시 지자체 합동점검 실시
취약사업장(옥외근로자)	- 건설현장 등 취약사업장에 옥외근로자 보호를 위한 '미세먼지 가이드' 이행 지도·점검
항만 근로자	- 마스크 비치, 휴게실 공기청정기 운영, 고령 근로자 건강관리 강화 등 보호조치 시행
어업인	- 비상저감조치 발령 시 어촌계 마을방송, 무선통신 및 문자발송 등을 통해 조치사항(작업 자제 권고 등) 안내
농업인	- 비상저감조치 시 미세먼지상황실(농식품부) 및 합동현장점검단 운영을 통해 행동요령 신속전파 및 이행상황 점검
질환자	- 의료인, 질환자 등을 위한 건강보호 가이드라인 마련 * 기저질환자(심뇌혈관질환, 호흡기·알레르기 질환 등), 임신부, 어린이, 노인 등 미세먼지 취약계층별 상세 건강수칙 제작

자료: 관계부처 합동. (2019). 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)에서 인용

다. 실내공기질 관리 강화

국민건강 분야에서 마지막으로 다룬 주제는 실내공기질 관리 강화로, 환기설비 의무설치 시설범위를 연면적 1,000 m^2 이상인 노인요양시설, 소규모 영화관 및 30세대 이상 신축 공동주택까지 확대할 계획임을 언급하였다. 실제로 2020년 '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙'을 통해서 환기설비를 의무적으로 설치해야 하는 기준이 강화되었다. 또한 지하 역사의 노후환기설비를 교체하고 공기청정기를 설치하며, 초미세먼지 측정 결과를 실시간으로 공유함으로써 대중교통의 이용환경을 개선하고자 하였다.

그 외에도 학원, 대규모 점포 등 실내 공기질 관리가 우수한 시설을 대상으로 인증을 부여하거나 다양한 인센티브를 제공함으로써 시설 측에서 자율적으로 공기질 관리를 해나갈 수 있도록 계획하였다.

라. 국제 공동대응 강화

국내 오염원으로부터 기인하는 미세먼지 오염 관리도 중요하지만, 그만큼 중요한 것은 국외로부터 유입하는 미세먼지를 관리하는 것이다. 국외의 오염원은 국내에서 직접 관리·통제할 수 없는 특성 때문에, 국가 간의 공동대응을 강화하는 방식으로 접근해야 하며, 미세먼지 관리 종합계획에서는 대기오염물질 월경 이동에 대한 국가 간 공동연구를 수행함으로써 오염원의 원인을 규명하고, 미세먼지 공동대응에 대한 인식을 확산하는 등 국가 간 협력을 강화해 나갈 수 있도록 국제적인 공조 여건을 조성할 필요가 있음을 언급하였다. 특히 한중일간의 공동연구를 활성화하여 대기오염물질 배출원에 대한 과학적인 원인 규명을 할 수 있도록 노력하고 연구 결과를 정책 기반의 근거로써 활용하거나, 한·중 고위급 협력을 강화하고 정상회담의 의제로 미세먼지 공동대응과 관련하여 지속적으로 논의하는 등 양국 간 협력을 보다 구체화하고 제도화할 필요가 있음을 언급하고 있다.

한·중 양국은 2019년부터 미세먼지 대응을 위해 ‘맑은 하늘(晴天) 프로젝트’를 진행하였으며, 이 프로젝트는 양국 간의 정보·기술 교류 협력, 공동연구 확대, 실증사업 확대, 박람회 개최 등 미세먼지의 개선을 위한 주요 내용을 담고 있다. 미세먼지 관리 종합계획에서는 이러한 기존 한·중 공동조사 연구사업의 심화 발전과 함께 향후 신규사업 발굴 확대, 한·중 미세먼지 대기질 예보정보 공유 시스템의 구축, 지방정부 간의 협력을 확대해 나갈 것을 강조하였다.

또한 2018년에는 동북아청정대기파트너십(NEASPEC, 한·중·일·북·몽·러)이 출범하였고, 2019년에는 세계보건기구 아시아·태평양 환경보건센터가 유치되었기 때문에 이러한 파트너십을 통해 각국 간의 대기오

염 물질에 대한 과학적 정보 공유 및 기술·정책 대응 방안을 도출할 수 있는 세계적인 공조 노력을 강화하고 미세먼지 개선에 실질적인 성과를 거둘 수 있는 플랫폼으로써 활용할 것을 언급하고 있다.

현재 대기오염 및 미세먼지와 관련된 다양한 국제 협력 플랫폼은 존재하지만 계속해서 국가 간 공조를 지속해 나가기 어려울 수 있고 협력 내용에 대한 구체적인 계획이 도출되기 어려울 수 있기 때문에, 향후 파트너십에 참여한 국가들 간 세부적인 이행계획을 계속해서 조율해 나갈 필요가 있을 것이다.

마. 미세먼지 관련 정책기반 강화

미세먼지 관리 종합계획에서는 미세먼지 관련 정책과 관련하여, 과학적 근거에 기반한 미세먼지 원인 파악을 통해 합리적 정책 수립을 지원하고, 정책 신뢰도 향상을 위한 측정·예보 고도화 등 지속적인 미세먼지 대응 R&D를 강화할 것을 계획하였다. 측정·예보 고도화에 관련된 계획을 살펴보면, 먼저 고농도 미세먼지에 선제적으로 대응하고 국민의 건강 보호를 위하여 미세먼지 단기 예보를 주간 예보(일 1회 전국에 대한 주간 7일 예보)로 확대할 것을 언급하였다. 또한 미세먼지 농도뿐 아니라 탄소, 중금속, 이온 등에 대한 미세먼지 성분 측정 결과의 실시간 공개도 확대할 계획임을 밝혔다.

미세먼지 대응력 제고를 위한 R&D 강화 항목에서는 중장기 미세먼지 R&D 5대 중점분야를 제시하고 있는데, 이중 4번째 분야인 정보 통합분석에서는 클라우드 기반 미세먼지 통합 플랫폼을 개발하거나 일상 속 개인 맞춤형 미세먼지 소통 기술을 개발하는 것을 계획하였다. 5번째 분야인 건강 영향 (환경성질환 상관성 규명, 환경보건감시체계 구축 및 맞춤

형 서비스 제공 등을 위한 환경성질환 예측·평가 기술개발) 항목과 관련하여서는 보건복지부에서 현재 미세먼지 기인 질병대응 연구사업(19~'23년 진행)을 진행하고 있는 것을 예시로 제시하며 향후 미세먼지 노출에 따른 영유아, 노인 등 취약계층이나 호흡기, 심혈관질환 환자 등 기저질환자를 대상으로 미세먼지 건강 영향 및 질병 예방·중재연구를 계속하고 건강 측면에서의 맞춤형 대응 기술개발을 지속할 것을 언급하였다.

바. 미세먼지 관련 소통·홍보 강화

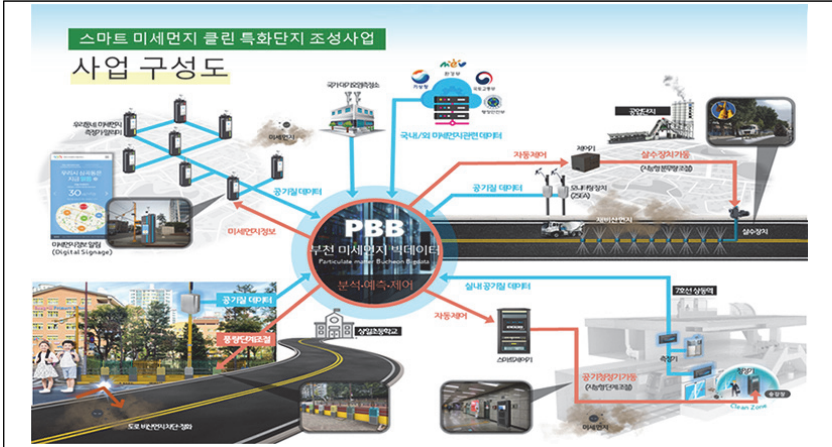
미세먼지 관리 종합계획에서는 미세먼지 관련 소통·홍보를 강화하기 위하여 다양한 계획안을 제시하였다. 특히 학교를 대상으로 학교 교원 직무연수에 미세먼지 교육을 포함하고 미세먼지 주제를 중심으로 한 교사 연수 프로그램을 개발·보급할 것을 계획하였다. 또한 학부모 커뮤니티, 주요 맘카페 등을 통해 미세먼지 홍보 콘텐츠를 제공하고 관련 정보공유를 통해 올바른 지식을 제공하고 미세먼지 문제에 대한 홍보를 진행할 것을 계획하였다.

중앙·지방 공무원을 대상으로도 미세먼지 교육 확대를 통해 미세먼지 대응 교육을 확대하고 대응 역량을 강화시키는 한편, 일반 국민들을 대상으로는 국민 실생활과 밀접해 있는 매체를 활용하여 (온라인 포털·방송, 언론 등 광고, KTX·엘리베이터 내 모니터) 생활 속 미세먼지 대처요령, 대책을 소개하는 콘텐츠를 제작하여 집중적으로 홍보할 수 있도록 계획하였다. 특히 미세먼지가 심해지는 10월에 앞서 미세먼지 대책 안내 동영상·전광판 광고, SNS를 활용한 온라인 캠페인의 방식을 이용하여 미세먼지 발생 현황, 위해성, 미세먼지 대처요령 등을 집중적으로 홍보하고 국민들의 미세먼지 노출을 최소화하고자 하였다.

마지막으로 미세먼지 노출 개선에 대한 참여 의지가 높은 국민들을 대상으로 다양한 참여·체험 프로그램을 시행할 것을 계획하였는데, 직접 제작하는 홍보 콘텐츠를 대상으로 한 온라인 경진대회를 개최하거나, 미세먼지 현상·피해·대응·보호 등 전 과정에 대한 국민의 인식을 증진 시킬 수 있는 체계화된 교육콘텐츠를 개발하여 보급하는 ‘미세먼지 리빙랩(Living Lab)’을 운영할 것을 언급하고 있다. 리빙랩이란 개인이 직접 나서 살고 있는 삶의 현장 곳곳을 실험실로 삼아 다양한 지역사회 문제들에 대한 해법을 찾아보는 시도이다.

실제로 2019년 부천에서는 ‘스마트 미세먼지 클린 특화단지’라는 스마트시티 운영과 관련된 리빙랩을 운영한 바 있으며, 실시간으로 미세먼지 농도를 모니터링하고 저감장치를 가동하여 이를 데이터로 공개하고, 주민들은 지역 곳곳에 설치된 미세먼지 정보 측정기를 통하여 동네별 미세먼지 정보와 예보 서비스를 쉽게 확인할 수 있도록 하였다(그림 2-4)(사이언스타임즈, 2021). 또한 온라인을 통해 ‘미세먼지 시민 소통 온라인 플랫폼’을 구성하여 온택트 방식을 활용한 시민 모니터링단을 구성하여 비대면 리빙랩을 진행하였다(그림 2-5).

[그림 2-4] 부천시 스마트 미세먼지 클린 특화단지 조성사업



자료: 부천시청. 미세먼지클린특화단지조성.
<https://www.bucheon.go.kr/site/homepage/menu/viewMenu?menuid=148006007009>에서 2022.10.18. 인출.

[그림 2-5] 부천시 미세먼지 온라인 시민소통 플랫폼



자료: 부천시청. 미세먼지클린특화단지조성.
<https://www.bucheon.go.kr/site/homepage/menu/viewMenu?menuid=148006007009>에서 2022.10.18. 인출.

2. 민감계층 대상 미세먼지 대응 매뉴얼

정부에서는 미세먼지 노출에 취약한 민감 계층을 대상으로 미세먼지 노출로 인한 피해를 최소화하기 위해 관련 매뉴얼을 제작한 바 있으며, 특히 영유아·학생·어르신을 위한 미세먼지 대응매뉴얼과 옥외작업자를 위한 미세먼지 대응 건강보호 가이드라인을 별도로 마련하여 어린이집, 학교, 노인복지시설, 사업장 종사자에게 미세먼지 세부대응요령을 제공하고자 하였다.

가. 영유아·학생·어르신을 위한 미세먼지 대응매뉴얼¹⁾

환경부에서는 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’ 제18조(고농도 미세먼지 비상저감조치) 및 제23조(취약계층의 보호), ‘대기환경보전법’을 근거로(표 2-12) ‘영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼’을 제작하여 고농도 미세먼지 발생 시 어린이 등 취약계층 보호를 위해 법정부적 대응, 업무수행 체계와 협조 관계 등을 규정하였다(환경부, 2019b).

이 매뉴얼의 적용 대상으로는 주관기관인 환경부와 유관기관인 교육부, 보건복지부, 기상청 등이 포함되며, 보건복지부의 기관별 조치사항의 경우 어린이집과 노인요양시설을 위주로 시설별 미세먼지 담당자 지정, 예·경보 상시 확인 요청, 고농도 미세먼지 예·경보 상황 관련 대책 마련, 경보 조치 결과 및 담당자 지정 현황을 3월과 9월에 환경부에 보고하는 것을 포함하고 있다(그림 2-6).

1) 환경부. (2019b). 영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼 개정의 내용을 바탕으로 정리함

〈표 2-12〉 ‘영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼’
법적근거 일부

법	세부 내용
‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’ 제18조 제1항 (고농도 미세먼지 저감조치)	<ul style="list-style-type: none"> - 시·도지사는 환경부장관이 정하는 기간 동안 초미세먼지 예측 농도가 환경부령으로 정하는 기준에 해당하는 경우 미세먼지를 줄이기 위한 다음 각 호의 비상저감조치를 시행할 수 있음. - 다만, 환경부장관은 2개 이상의 시·도에 광역적으로 비상저감조치가 필요한 경우에는 해당 시·도지사에게 비상저감조치 시행을 요청할 수 있고, 요청받은 시·도지사는 정당한 사유가 없으면 이에 따라야 함
‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’ 제18조 제2항 (고농도 미세먼지 저감조치)	<ul style="list-style-type: none"> - 시·도지사는 제1항에 따른 비상저감조치를 시행할 때 관련 기관의 장 또는 사업자에게 대통령령으로 정하는 바에 따라 휴업, 탄력적 근무제도 등을 권고할 수 있음
‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’ 제23조 (취약계층의 보호)	<ul style="list-style-type: none"> - 정부는 어린이, 노인 등 미세먼지로부터 취약한 계층의 건강을 보호하기 위하여 일정 농도 이상 시 야외 단체활동 제한, 취약계층 활동공간 종사자에 대한 교육 등 취약계층 보호대책 마련
‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’ 시행령 제14조 (취약계층의 범위)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 어린이·영유아·노인·임산부·호흡기질환자·심장질환자 등 미세먼지 노출에 민감한 계층 2. 옥외 작업자, 교통시설 관리자 등 미세먼지 노출 가능성이 높은 계층

해당 매뉴얼에서는 고농도 미세먼지가 발생했을 경우 학교와 어린이 집, 노인요양시설에서는 실외수업과 실외활동을 자제하고, 등·하교(원) 시간을 조정하며, 임시휴업을 실시할 것을 언급하였다. 또한 실내 미세먼지 유지기준을 준수할 것을 강조하였으며 이때 학교와 어린이집, 노인요양시설의 준수 기준을 각각 달리하였다. 예시로 연면적 $430m^2$ 이상의 어린이집의 실내 미세먼지 유지기준은 6시간 평균 PM_{10} 은 $75\mu g/m^3$, $PM_{2.5}$ 는 $35\mu g/m^3$ 으로 최근 그 기준이 강화되었다(실내공기질 관리법 시행령, 2021; 실내공기질 관리법 시행규칙, 2021).

[그림 2-6] 고농도 미세먼지 대응 업무 종합체계도



자료: 환경부. (2019b). 영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼에서 인용

매뉴얼에서는 고농도 미세먼지 대응단계를 ‘사전대비·대응’, ‘고농도 예보’, ‘고농도 발생’, ‘주의보 발령’, ‘경보 발령’, ‘발령해제’, ‘조치결과 등 보고’의 7단계로 나누어서 각 단계별 조치사항을 별도로 마련하였다. 이중 1단계에 해당하는 사전대비·대응 단계에서 각 학교, 어린이집, 노인 요양시설에 공통적으로 강조하는 부분은 행동요령 교육과 홍보로, 고농도 미세먼지가 발생했을 경우에 외출을 자제하거나 마스크 쓰기, 손씻기와 같은 행동요령을 사전에 미리 익혀두도록 교육할 것을 강조하고 있다.

또한 미세먼지에 특히 취약한 기저질환을 가지고 있는 사람이 있는지 사전에 파악해둘 것을 언급하고 있는데, 천식, 아토피, 알레르기, 호흡기 질환, 심혈관질환에 대한 의사의 진단서 등을 사전제출해 두고 고농도 미세먼지 발생 시 민감군의 건강을 체크할 것을 강조하였다. 또한 추가적인 상비약 (인공눈물, 소양감 감소를 위한 냉찜질등의 위생용품, 보건용 마스크)을 구비해 놓을 것을 언급하였다. 미세먼지의 특성상 비상저감조치는 당일이나 전날에 발령이 되어 그에 따른 대비가 빠르게 이루어져야 하기 때문에, 조치가 발령되기 전의 사전대비·대응 절차를 보다 구체화하고 체계적으로 실행해야 할 필요가 있을 것이다.

추가적으로 학교와 어린이집을 대상으로 고농도 미세먼지 상황을 대비하여 실외수업 대체를 위한 사전계획을 마련할 것을 언급하고 있으며, 대체수업 전환 기준 및 대체안 (실내 체육, 단축수업, 일정 연기 등)을 준비해둘 것을 강조하였다. 그러나 대체 수업안은 어린이집마다 다를 수 있고, 비상저감조치가 발령되어 실내 수업 대신 휴업과 단축수업을 하게 될 경우 맞벌이 부부나 아이를 돌보기 어려운 부모의 경우 갑작스럽게 추가적인 도움이 필요할 수 있으므로 이를 대비한 대책이 필요할 것이다. 실제로 고농도의 미세먼지가 며칠동안 지속될 경우 수업 일정을 계속해서 연기하거나 휴교를 하기에는 현실적으로 어려울 수 있기 때문에 등교·등

원한 아이들은 실내활동 위주로 진행하되 실내 미세먼지 농도 관리에 집중할 필요가 있을 것이다.

마지막으로 해당 매뉴얼의 적용 범위가 영유아, 학생, 어르신이기 때문에 미세먼지 취약계층 중 의학적 관리가 필요한 호흡기 질환자나 심혈관계 질환자, 임산부에 대해서는 별도로 매뉴얼에서 따로 규정하지 않았으며 해당 매뉴얼의 준용이 필요하다고 언급하였다. 매뉴얼의 많은 부분이 다양한 집단에 공통적으로 적용할 수 있는 행동수칙을 제공하고 있긴 하지만 의학적인 측면에서 호흡기·심혈관질환 환자 및 의료진들에게 도움이 될 수 있도록 미세먼지 노출로 인한 기저질환 악화와 관련된 정보 및 진료 시 활용가능한 행동 수칙 가이드라인을 추가적으로 제공 및 홍보할 필요가 있을 것이다.

나. 옥외작업자를 위한 미세먼지 대응 건강보호 가이드

고용노동부에서도 미세먼지에 장기간 노출될 수밖에 없는 옥외작업자의 건강보호를 위해 사업주가 조치하여야 할 사항을 규정하고 이를 권고하기 위하여 ‘옥외작업자를 위한 미세먼지 대응 가이드라인’을 별도로 마련하였다(고용노동부, 2019). 이때의 옥외작업자는 주로 실외 공간에서 일하는 노동자를 말하지만, 건설·조선노동자, 항공·항만 하역운송 노동자, 도로정비 노동자, 환경미화원, 우편배달부, 전기통신 노동자 등 다양한 직종을 포함할 수 있으며, 실내에서 일하는 근로자이더라도 창문을 계속해서 열어놓아야 하는 등 사실상 실외와 동일한 환경에서 작업하는 노동자 역시 그 대상으로 포함하였다.

건강보호가이드 기준은 사전준비 단계에서의 조치사항과 미세먼지 주의·경보 발령이 되었을 경우의 조치사항으로 나누어져 있다(표 2-13).

사전준비 단계에서는 미세먼지 농도를 수시로 확인할 것과 미세먼지 단계별 조치사항을 확인해 둘 것을 언급하였으며, 이후 미세먼지 주의보와 경보가 발령되었을 경우에는 옥외작업자들에게 발령사실과 조치사항들에 대한 정보를 제공할 것을 언급하였다. 또한 경보 발령 시 추가적으로 민감군에 대해 중작업을 단축하거나 휴식시간을 추가 배정할 것을 권고하였다. 옥외작업자를 위한 가이드라인에서는 영유아·학생들을 위한 미세먼지 가이드라인과 마찬가지로 미세먼지 노출에 취약한 폐질환(천식 등)이나 심장질환이 있는 사람, 고령자, 임산부가 있는지를 사전에 파악할 것을 강조하였다. 옥외사업자들의 연령대가 영유아·학생에 비하여 높기 때문에 기저질환의 유병률도 높은 것을 고려하였을 때 사업장 내에서 기저질환이 있는 민감군의 기록을 확보하고 관리하는 것은 더욱 중요할 것이다. 또한 기존 어린이집과 학교를 위한 가이드라인과 마찬가지로 옥외작업자를 위해서도 직장내 마스크를 항상 비치해 둘 것을 언급하였다. 산업안전보건기준에 관한 규칙 제617조에 따라 사업주는 미세먼지 경보 발령 지역에서의 옥외작업 시 호흡용 보호구의 지급의무가 있기 때문에, 이에 근거하여 식약처 인증(KF80 이상) 마스크뿐만 아니라 옥외근로의 특성을 고려하여 안전보건공단 인증(2급 이상) 방진마스크도 수시로 교체할 수 있도록 충분히 비치해 두어야 할 것이다.

〈표 2-13〉 옥외작업 건강보호가이드 기준(요약본)

	사전준비	주의보	경보
기준	-	PM _{2.5} 75 µg/m ³ 이상 또는 PM ₁₀ 150 µg/m ³ 이상	PM _{2.5} 150 µg/m ³ 이상 또는 PM ₁₀ 300 µg/m ³ 이상
예보 기준	~나쁨	매우나쁨	
조치 사항	<ul style="list-style-type: none"> ■ 민감군 사전확인 * 폐질환자나 심장질환자, 고령자, 임산부 등 ■ 비상연락망 구축 ■ 유해성 주지 및 마스크 착용 교육·훈련 ■ 미세먼지 농도 수시 확인 * TV, 라디오, 인터넷 * 모바일앱(우리동네 대기정보) ■ 마스크 비치 (자율착용) (※예보기준 '나쁨' 단계 이상) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미세먼지 농도 정보 제공 ■ 마스크 지급 및 착용 ■ 민감군에 대해 중작업(重作業) 단축 또는 휴식시간 추가 배정 	<ul style="list-style-type: none"> ■ 미세먼지 농도 정보 제공 ■ 마스크 지급 및 착용 ■ 적절한 휴식 * 휴식하면서 깨끗한 음료섭취 ■ 중작업(重作業) 일정 조정 또는 단축 ■ 민감군 작업단축 또는 휴식시간 추가 부여
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 이상 징후자에 대해서는 스스로 작업을 중단하고 휴식하거나 의사의 진료를 받도록 조치 		

미세먼지 경보가 발령되었을 경우에는 중작업 일정을 조정하거나 단축 하여야 한다고 언급하였는데, 매뉴얼에서의 중작업 정의는 중량물 옮기기, 해머질, 톱질이나 도끼작업, 중량물이 담긴 손수레를 밀거나 당기는 작업 등 에너지 소모가 많은 작업을 말한다. 그러나 중작업의 범위가 광범위하고 명확하게 정의 내리기 어려울 수 있기 때문에, 사업장에서는 업무 중 중작업에 해당하는 업무를 분류해두고 미세먼지 경보가 발령되었을 경우 민감군의 작업일정 계획 등을 사전에 마련해 둘 필요가 있을 것이다.

3. 미세먼지 적응 정책 관련 정부 조직 및 사업현황

미세먼지에 대응하기 위한 정부 조직은 대부분 그 관련 주무부서가 환경부에 마련되어 있다. 환경부 본부 내 조직뿐 아니라 환경부 소속기관과 공공기관에는 국립환경과학원, 수도권대기환경청, 국가미세먼지정보센터, 한국환경공단 등이 포함되어 있으며, 해당 기관에서는 미세먼지 배출량 저감 및 대기환경 개선을 위한 다양한 업무를 진행하고 있다.

〈표 2-14〉 환경부 외청/소속기관/산하공공기관 명단

조직	기관 명단
외청	기상청
소속기관	국립환경과학원, 국립환경인재개발원, 화학물질안전원, 한강유역환경청, 낙동강유역환경청, 금강유역환경청, 영산강유역환경청, 원주지방환경청, 대구지방환경청, 전북지방환경청, 수도권대기환경청, 국립야생동물질병관리원, 중앙환경분쟁조정위원회, 국립생물자원관, 온실가스종합정보센터, 한강홍수통제소, 낙동강홍수통제소, 금강홍수통제소, 영산강홍수통제소, 국가미세먼지정보센터
산하공공기관	한국수자원공사, 한국환경공단, 국립공원공단, 수도권매립지관리공사, 한국환경산업기술원, 국립생태원, 국립낙동강생물자원관, 국립호남권생물자원관, 한국상하수도협회, 환경보건협회, 수자원환경산업진흥원, 한국수자원조사기술원

그러나 대기오염 노출로 인한 건강영향을 개선하기 위한 적응 정책과 관련된 업무는 환경부뿐 아니라 보건복지부와 질병관리청 및 지방자치단체 차원에서도 일부 진행하고 있다. 이 항목에서는 미세먼지 노출로 인한 건강영향을 개선하고 적응 방안을 마련할 수 있는 조직체계가 해당 기관에서는 어떠한 형태로 마련되어 있는지를 구체적으로 확인하고 기관에서 진행되는 미세먼지 적응과 관련된 사업을 중점적으로 확인하려고 한다.

가. 질병관리청

질병관리청의 만성질환관리국 미래질병대비과에서는 질병관리청 웹사이트 건강위해정보 메뉴에 미세먼지 항목을 만들어 미세먼지건강영향, 건강수칙가이드, 홍보자료 및 미세먼지 영역별 근거보고서를 게재하여 미세먼지 노출로 인한 건강영향 및 대응방법 등 다양한 정보를 제공하고 있다. 또한 질병관리청에서는 현재 기후보건영향평가를 진행하고 있는데, 기후보건영향평가는 보건의료기본법 제37조 2에 근거하여 기후변화에 따른 질병의 유형, 특성, 추이 등 국민건강에 미치는 영향을 매 5년마다 평가하기 위하여 실시되었다(보건의료기본법, 2017). 기후보건영향평가에서는 폭염, 한파 등 극한기온이 건강에 미치는 영향뿐만 아니라, 미세먼지와 오존과 같은 대기질 요인 노출로 인한 유해성 평가를 포함시켜서, 다양한 기후 요인들이 건강에 미치는 영향에 대해서 평가하였다.

〈보건의료기본법〉

제37조의2(기후변화에 따른 국민건강영향평가 등)

- ① 질병관리청장은 국민의 건강을 보호·증진하기 위하여 지구온난화 등 기후변화가 국민건강에 미치는 영향을 5년마다 조사·평가(이하 “기후보건영향평가”라 한다)하여 그 결과를 공표하고 정책수립의 기초자료로 활용하여야 한다.
- ② 질병관리청장은 기후보건영향평가에 필요한 기초자료 확보 및 통계의 작성을 위하여 실태조사를 실시할 수 있다.
- ③ 질병관리청장은 관계 중앙행정기관의 장, 지방자치단체의 장 및 보건의료 관련 기관이나 단체의 장에게 기후보건영향평가에 필요한 자료의 제공 또는 제2항에 따른 실태조사의 협조를 요청할 수 있다. 이 경우 자료제공 또는 실태조사 협조를 요청받은 관계 중앙행정기관의 장 등은 정당한 사유가 없으면 이에 따라야 한다.
- ④ 기후보건영향평가와 실태조사의 구체적인 내용 및 방법 등에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

미세먼지 농도가 최근 개선되면서 오존과 VOC 등 다른 대기오염 물질 역시 심각한 문제로 부상하는 점, 그리고 폭염 문제 역시 최근 그 심각성이 커지는 점을 고려하였을 때 미세먼지와 오존을 포함하여 대기질 및 폭염 요인 노출에 대한 유해성 평가를 앞으로도 지속적으로 진행할 필요가 있으며 대기오염물질 및 기후변화에 통합적으로 대응하기 위한 조직 체계를 유지할 필요가 있을 것이다.

추가적으로 질병관리청 홈페이지에서는 카드뉴스, 홍보지, 영상자료, 라디오 음원 및 교육자료 등을 통해 ‘미세먼지 건강보호 수칙’이나 ‘미세먼지 기저질환자 건강수칙’ 등 미세먼지 대응방법에 대해서 다양한 자료를 제작하여 배포하고 있다. 해당 자료들은 공식 홈페이지 내에 존재하기 때문에 직접 평소에 미세먼지에 관심을 갖고 홈페이지에 방문하지 않는 경우 자료에 대한 접근성이 떨어질 수 있으며 향후 이러한 미세먼지 및 대기오염 정보에 대한 일반인들의 접근성을 향상시킬 수 있는 대책 마련이 필요하다.

마지막으로 질병관리청 소속기관인 국립보건연구원에서는 미세먼지와 관련된 내부 연구 및 학술용역과제를 주로 수행하고 있으며, 미세먼지 노출로 인한 심혈관질환, 호흡기질환, 유전체 역학 관련 건강영향 분석 연구 등을 진행하고 있다. 현재 저농도의 미세먼지가 지속되는 경향을 고려하였을 때, 향후 이러한 저농도의 미세먼지 노출로 인한 건강 영향 연구 및 미세먼지와 연관되어있는 다른 대기오염 물질에 대한 유해성 평가 연구들도 지속적으로 진행할 필요가 있을 것이다.

[그림 2-7] 질병관리청 조직도 현황



자료: 질병관리청. (2022). 조직도.

<https://kdca.go.kr/contents.es?mid=a20813010000>에서 2022.10.06. 인출.

나. 보건복지부

보건복지부와 그 소속기관 직제 시행규칙 제11조에 따르면 보건복지부 보건 의료정책실에서 ‘기후변화 및 환경 관련 국민 건강대책의 수립 및 조정’과 관련된 업무를 분장할 것으로 되어 있으며, 현재 보건복지부 조직도 질병정책과 업무내용의 일부로서 기후변화 및 환경 관련 국민건강 정책 수립 및 조정이 포함되어 있다(보건복지부와 그 소속기관 직제 시행규칙, 2017).

2021년 1월에는 보건복지부에서 향후 10년의 건강정책 방향과 과제를 담은 제5차 국민건강증진종합계획을 발표했다. 국민건강증진종합계획의 수립배경은 국민건강증진법(제4조)에 따라 질병 사전예방 및 건강증진을 위한 중장기 정책방향을 제시하기 위함이며, 건강수명 연장과 건강형평성 제고를 계획의 목표로 하였다. 사업분야는 총 6분과로 포함되어 ① 건강생활 실천 ② 정신건강 관리 ③ 비감염성 질환 예방 관리 ④ 감염 및 기후변화성 질환 예방 관리 ⑤ 인구집단별 건강관리 ⑥ 건강친화적 환경 구축으로 이루어져 있으며, 미세먼지와 관련된 과제는 ④ 감염 및 기후변화성 질환 예방 관리 분과에 서술되어 있다. 기존 제4차 국민건강증진종합계획(HP2020)에서는 기후변화성 질환에 대한 분과는 따로 없고 감염질환 관리 분과만 존재했다. 따라서 이러한 변화는 최근 미세먼지 및 폭염 등에 대한 관심이 증가하고 해당 요인 노출의 위해성을 고려하여 미세먼지, 폭염, 한파로 인한 건강영향을 기후변화 관련 질환으로 정의하고 건강을 위해 우선적으로 달성해야 하는 정책목표가 되었다는 것을 보여 준다.

[그림 2-8] 제5차 국민건강증진종합계획(HP2030) 기본 틀



자료: 한국건강증진개발원. (2021). 제5차 국민건강증진종합계획(HP2030).

4분과의 감염 및 기후변화성 질환 예방관리에서는 ‘감염병에 대한 예방 및 관리 강화’, ‘감염병 위기 대비·대응’, ‘기후변화 관련 질환의 건강영향 감시, 평가체계 구축·운영’을 소주제로 제시하고 있으며, 그 중 ‘기후변화 관련 질환의 건강영향 감시, 평가체계 구축·운영’ 소주제의 세부 내용은 다음과 같다²⁾.

1) 기후변화성 질환 모니터링 체계 구축·운영

해당 항목에서는 기후변화성 질환의 체계적인 모니터링을 위하여 기후보건영향평가를 계속해서 추진하고, 5년마다 그 평가 결과를 공표할 것을 언급하였다. 또한 폭염, 한파로 인한 온열질환자와 한랭질환자 발생 추이를 모니터링하기 위해 감시체계의 운영을 지속할 것을 계획하였다. 기존 기후보건영향평가의 항목으로 미세먼지와 오존을 포함한 대기질 노출 위해성 평가가 포함되어 있지만 앞에서 언급한 것처럼 향후 감시지표 및 건강영향 지표에 대한 재검토 및 논의가 지속적으로 필요할 것이다.

2) 기후변화성 질환 예방수칙 홍보

일반국민과 취약계층의 인식개선을 목적으로 폭염, 한파, 미세먼지 등의 건강영향과 건강보호를 위한 예방수칙을 마련하고 홍보할 것을 언급하고 있으며, 동영상을 활용한 온라인 홍보 방식을 도입하고, 대상자별 제공 방법과 매체를 다양화할 것을 계획하였다.

2) 제5차 국민건강증진종합계획(Health Plan 2030, 2021~2030) 내용의 일부를 요약정리함.

3) 기후보건 교육 체계 구축

폭염, 한파, 미세먼지로 인한 건강영향을 최소화하기 위하여 의료진, 지자체 담당자, 감시체계 담당자를 대상으로 교육 프로그램을 개발하고 확산할 것을 언급하였다. 그 방법의 예시로서, 교육 운영의 효율성과 지속성을 위해 관련 학회나 협회의 보수교육 과정에 교육 프로그램을 포함하거나 전문교육 기관에 기후보건과 관련된 온·오프라인 교육과정 개설을 추진할 것을 계획하였다.

4) 기후변화성 질환 정보 공유 플랫폼 구축

해당 항목을 통해 기후보건영향평가를 위한 기초자료, 분석자료, 교육·홍보 자료 등 기후변화성 질환과 관련된 정보를 확보하고 얻은 정보를 공유할 수 있는 플랫폼을 구축·운영할 것을 언급하였으나, 향후 어떠한 플랫폼을 통해서 관련 정보를 전달할 것인지에 대한 구체적인 방안 마련이 필요할 것이다.

제3절 국내 대응 정책의 성과와 한계

2017년 미세먼지 관리 종합대책이 발표된 이후 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법, 대기환경보전법 등 미세먼지 관련 법들이 제정되면서 국내에서 미세먼지 노출에 대응하기 위한 법적 기반이 어느 정도 확립되었다. 또한 보건의료기본법에 의해서 기후보건영향평가가 시행되었고, 대기질로 인한 건강 위해성 평가 역시 국가적으로 시행된 바 있다. 그러나 법적 근거상 일정 기간마다 시행해야 하는 미세먼지 종합계획이나 기후보건영향평가와 달리 일부 미세먼지 관리 및 연구에 대해서는 강제성이 없고 권고 수준에 그치고 있다. 이는 아직까지 어느 수준의 미세먼지 노출이 건강에 영향을 미치는가에 대한 명확한 연구 근거의 부족이 원인일 수 있다. 기후보건영향평가의 경우 정책수립의 기초자료로 활용하기 위하여 미세먼지 및 오존의 위해성 평가를 조사 항목으로 담았지만, 실제 연구결과를 기반으로 한 정책 형성이 구체적으로 이루어지지 않았다. 따라서 향후에도 미세먼지 노출과 건강영향에 대한 연구를 지속적으로 장려하되, 해외의 연구 사례도 체계적으로 수집함으로써, 건강에 영향을 미칠 수 있는 미세먼지 수준을 더욱 명확하게 파악한 후 미세먼지 농도 관리 수준을 정의하는 것이 중요할 것이다. 특히 현재 국내의 미세먼지 기준은 국외 및 WHO의 사례만큼 강화되어 있지 않기 때문에 향후 우리나라의 미세먼지 기준을 해외 수준으로 낮출 필요가 있는지를 연구 결과에 기반하여 검토할 필요가 있을 것이다.

미세먼지 관련 행동 가이드라인의 경우 최근 기관, 전체 국민, 민감계층 등 여러 타겟집단을 대상으로 하여 국가차원에서 ‘미세먼지 건강보호수칙’이나 ‘미세먼지 기저질환자 건강수칙’ 등 많은 홍보자료를 마련하였고, 카드뉴스, 영상자료등 다양한 형태의 가이드라인이 제작되었다. 그러

나 해당 정보가 주로 정부 웹사이트에 게재가 되어 있어서 타겟집단이 직접 관심을 갖고 사이트를 방문하거나 정보를 찾으려는 노력을 하지 않는다면 해당 정보에 접근하기가 어려워서 활용에 제한이 있을 것으로 보인다. 따라서 향후 기존에 마련된 미세먼지 및 대기오염 정보에 대한 접근성을 향상시키기 위해 관련 예산을 확보하여 정보와 가이드라인을 다양한 매체를 통해 홍보하고 타겟 집단별로 효과를 보이는 매체를 선별할 필요가 있을 것이다.

민감계층을 위한 미세먼지 대응 정책의 경우 크게 영유아, 노인, 기저질환자로 구분하고 있으나, 기저질환자 중 천식과 만성 폐쇄성 폐질환 등의 중증 환자의 경우에는 미세먼지 노출에 더욱 취약하기 때문에(장안수, 2015) 이러한 환자들을 위해서는 특별히 미세먼지 대응 수칙을 국가 및 병원 차원에서 적극적으로 홍보하고, 고농도 미세먼지 발생 시의 행동 가이드라인을 효과적으로 전달할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다.

마지막으로 미세먼지에 대한 대응책을 수립할 때에는 사회취약계층의 측면에서도 정책 방향성을 고려할 필요가 있을 것이다. 특히 코로나19 사태에서도 보았듯이 노숙자, 외국인, 노동자, 장애인 등과 같은 사회 취약계층은 재난 상황에 따른 그 대응능력이 취약하다. 따라서 향후 미세먼지 대응 정책 역시 사회취약계층이 거주하고 있는 지역 사회에 대한 미세먼지 교육이나 정보 제공 체계를 확장하는 방향으로 나아갈 필요가 있으며, 고농도의 미세먼지가 발생했을 경우 취약계층이 대피할 수 있는 시설이나 필요시 이용할 수 있는 의료 이용 체계에 대해서도 충분히 고려할 필요가 있을 것이다.



제3장

국외의 미세먼지 대응 보건의료 정책 동향

제1절 국외의 대기오염·미세먼지 보건의료 정책 현황

제2절 국외 대응 정책의 효과 및 고찰



제 3 장 국외의 미세먼지 대응 보건의료 정책 동향

제1절 국외의 대기오염·미세먼지 보건의료 정책 현황

국외 정책을 조사하기 위하여 대기오염방지법(Clean Air Act)을 1963년에 처음 제정하고(Heinzerling, 2001) 이를 기반으로 국가대기 질기준치(National Ambient Air Quality Standard, NAAQS)와 대기 질지표(Air Quality Index, AQI)를 사용하여 대기오염 노출에 대한 대응을 선제적으로 시작해 왔던 미국과 2008년부터 대기질 건강지수(Air Quality Health Index, AQHI)를 개발하여 국민에게 대기질 정보와 행동 전략에 대해서 정보를 제공하고자 한 캐나다를 조사 대상으로 하였다. 또한 두 국가는 1991년 미-캐나다 대기질 협약을 체결하여 양국 간 장거리 이동 대기오염물질을 관리하고자 한 바 있다 (EPA, 2003). 양국에서 미세먼지 노출로 인한 건강영향을 개선하기 위해 어떠한 전략을 시행하였는지를 확인하였으며, 미국의 사례에서는 미세먼지 대응과 밀접한 관련이 있는 기관인 질병통제예방센터(CDC; Center for Disease Control and Prevention)와 환경보호국(EPA; U.S. Environmental Protection Agency)의 관련 정책을 위주로 살펴보았다.

1. 미국

미국의 질병통제예방센터(CDC)와 환경보호국(EPA), 그리고 주요 지

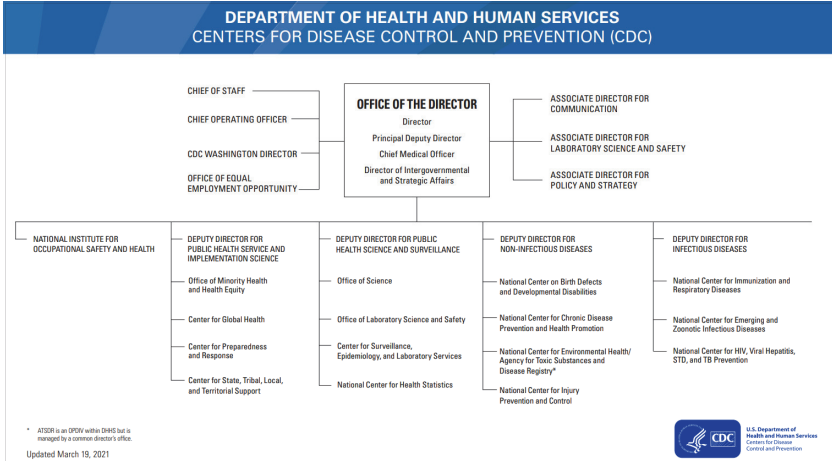
방자치단체에서는 대기오염 및 미세먼지와 관련한 주요 보건의료 정책으로써 건강 및 환경 정보에 대한 교육자료 및 지침을 국민에게 제공하여, 대기질이 건강에 위해를 미칠 수 있는 수위에 다다를 시에 국민이 스스로의 건강을 보호하기 위하여 취할 수 있는 행동들에 대한 구체적 사항들을 안내하고 있다.

가. 미국 질병통제예방센터의 교육 및 권고

미국 질병통제예방센터에서는 기관 홈페이지를 통해 대기오염 및 미세먼지로부터 건강을 관리하는 방법에 대한 온라인 교육자료를 배포하고 있다. 센터 내의 부서 중에는 비감염성 질병 담당 부국장(Deputy Director for Non-infectious Diseases)과 여러 비감염성 관련 센터가 함께 묶여 비감염성 질환과 관련된 업무를 담당하는데, 이 센터에는 국립 환경건강센터(National Center for Environmental Health)가 포함되어 있으며, 대기오염(Air Quality) 및 미세먼지와 관련된 자료들은 주로 해당 부서에서 기원하였다(그림 3-1).

질병통제예방센터의 대기오염·미세먼지 교육자료는 크게 세 부분으로 이루어져 있는데, 이는 1) 미세먼지에 대한 개념 정립 및 미세먼지의 주요 배출원에 대한 교육, 2) 미세먼지가 건강에 미치는 영향 및 미세먼지의 건강 위해성, 3) 미세먼지 수준이 높은 날 실행할 수 있는 구체적 지침에 대한 안내 등을 포함한다.

[그림 3-1] CDC 조직도



자료: CDC. (2021). Center For Disease and Prevention Organizational Chart. <https://www.cdc.gov/about/pdf/organization/cdc-org-chart.pdf>에서 2022.10.12. 인출.

<표 3-1> 미국 질병통제예방센터 미세먼지 관련 교육자료의 내용 및 목표

교육 내용	교육 목표
1. 미세먼지의 개념 정립, 미세먼지의 주요 배출원 안내	국민 스스로 미세먼지 노출을 회피하거나 감소시킬 수 있는 능력의 제고
2. 미세먼지가 건강에 미치는 영향	미세먼지의 건강위해성에 가장 영향을 많이 받는 민감/취약계층에 대한 안내를 통한 경각심 제고
3. 미세먼지 수준이 높은 시기에 시행할 수 있는 지침 안내	구체적 지침 안내를 통한 미세먼지 노출 최소화

자료: CDC. (2019). Air Quality: Particle Pollution. https://www.cdc.gov/air/particulate_matter.html에서 2022.08.12. 인출.

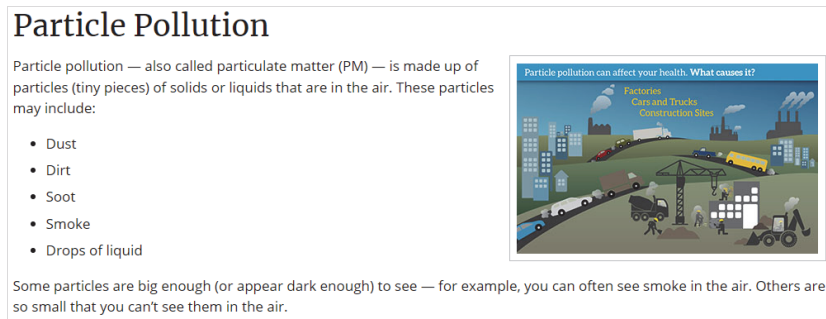
1) 미세먼지의 개념 및 주요 배출원에 대한 인식 제고

미세먼지의 개념 정립 및 주요 배출원에 대한 안내 교육은 가장 먼저 미세먼지에 포함되는 오염물질 및 그 형태에 대한 정보 제공으로 시작한다. 흔히 눈에 보이는 고체 형태라고 생각하기 쉬운 미세먼지가 사실은

매연, 액상을 포함하여 눈에 보이지 않을 정도의 작은 입자로 이루어져 있을 수 있다는 것에 대한 개념을 정립하는 데에 도움을 주고 있다. 이어서 주요 미세먼지 배출원에 대한 정보를 안내함으로써, 국민들이 회피가 가능한 미세먼지 배출원을 인지하여 미세먼지에 대한 노출을 줄일 수 있도록 하고 있다.

주목할 것은 미세먼지 배출원을 1차와 2차로 구분하여, 1차 배출원은 미세먼지의 자체 생산원(장작, 화로, 산불 등)으로, 2차 배출원은 증기·가스 배출을 통한 미세먼지 형성 요인(공장에서부터 배출되는 매연, 자동차 배기가스, 건설 현장 등)으로 각각 정의하고 있다는 점인데, 이는 일반적으로 미세먼지 배출원에 대한 인식이 주로 2차 배출원에 치중된 것을 고려할 때 국민들이 스스로 피하거나 주의를 기울일 수 있는 사항들을 안내한다는 점에서 시사점을 가진다고 볼 수 있다.

[그림 3-2] CDC에서 제공하는 미세먼지 배출원 교육자료의 일부



자료: CDC. (2019). Air Quality: Particle Pollution.

https://www.cdc.gov/air/particulate_matter.html에서 2022.08.12. 인출.

2) 미세먼지의 건강영향 및 취약집단에 대한 정보 제공을 통한 미세먼지 노출에 대한 경각심 제고

질병통제예방센터에서는 미세먼지에 대한 노출과 그에 따른 건강상의

위험이 특정 집단이나 계층에 한정되어 있지 않다는 점을 명시하면서도, 미세먼지 노출에 따른 위해성에 특히 취약한 집단이 존재하며 이에 따른 주의가 요구된다는 점 역시 강조하고 있다. 미세먼지의 건강위해성에 대한 취약집단으로는 심장질환 및 폐질환 보유자(천식 등), 고령자, 그리고 영유아를 명시하여 각각의 카테고리에 해당하는 개개인이 미세먼지 노출에 대한 경각심을 가질 수 있게 돕고 있다.

[그림 3-3] CDC에서 제공하는 천식환자 교육 프로그램의 일부

Know Your Asthma Triggers.

Learn how to avoid triggers to control your asthma.

Triggers are things that make your asthma symptoms worse. People with asthma do not all have the same triggers. Avoiding your triggers is one step you can take to help keep your asthma under control. Work with your healthcare provider to check whether any of these things make your asthma worse, then take the related steps below. Check CDC's webpage for other steps you can take: www.cdc.gov/asthma

Outdoor Triggers

<p>Weather</p> <p>Air Quality</p> <p>Pollen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Pay attention to radio, television, the internet, or newspaper reports about things that might trigger your asthma. These might include reports about weather, air quality, pollen count, or wildfire conditions. Plan outdoor activities for when the air quality is best. If pollen triggers your asthma, close windows and turn on air conditioning (if possible) when pollen levels are high. When there are wildfires, stay away from areas where there is smoke or vapors. Stay indoors, if possible, to avoid smoke or vapors. When it is cold, wear a scarf or face mask that covers your nose and mouth to keep airflow as warm as possible.
--	---

자료: CDC. (2022). Asthma: Asthma Action Plans.

<https://www.cdc.gov/asthma/actionplan.html>에서 2022.08.20. 인출.

특히, 천식환자 관리 프로그램에서 천식환자 자가행동 수칙 및 교육자료(Asthma Action Plans)에 대기오염에 관한 내용을 포함시킴으로써(그림 3-3), 대표적인 민감·취약계층인 천식환자군이 대기오염 상태에 대해 인지하고 활동 계획을 조절할 수 있도록 교육하고 있다.

3) 대기오염 및 미세먼지 수준이 높은 날에 대한 행동지침 안내

미국 질병통제예방센터의 미세먼지 교육자료는 미세먼지에 대한 노출을 줄이기 위해 개인 레벨에서 시행할 수 있는 지침에 대한 안내(Take Action)로 끝맺고 있는데, 그 내용은 다음과 같다.

- 신문·뉴스를 통해 대기 중 오염물질과 미세먼지 수준 확인하기
- 미세먼지 수준이 높은 날에는 실내 활동 위주로 계획하기
- 야외 활동 시 가벼운 활동 위주로 선택하기(달리기 대신 걷기를 함으로써 들이마시는 공기 중 미세먼지의 양을 감소시킬 수 있음)
- 미세먼지 노출을 증가시킬 수 있는 봄비는 길이나 고속도로 피하기

나. 미국 환경보호국의 건강증진 프로그램

미국 환경보호국에서는 질병통제예방센터보다 다양한 수준에서 대기오염 및 미세먼지에 대응하기 위한 국민건강관리 교육 및 권고가 이루어지고 있다. 환경보호국의 교육 및 권고자료는 각 지역의 대기오염·미세먼지 수준을 나타내는 대기질 지표(AQI; Air Quality Index)를 바탕으로 하고 있다(그림 3-4).

AQI는 미세먼지(PM₁₀), 초미세먼지(PM_{2.5}), 오존(O₃), 일산화탄소(CO), 이산화황(SO₂), 이산화질소(NO₂) 등 6개 대기오염물질 수치를 기반으로 하여 대기질 수준을 여섯 단계로 구분한 지표이다(표 3-2). 각각의 단계는 그 상태에 따른 색상으로 경계 수준을 나타내고 있다. 이를 기반으로, 국민 개개인이 각자의 지역에서 현 시각의 대기질을 실시간으로 알 수 있는 AirNow(www.airnow.gov) 사이트를 운영하고 있으며, 국민 행동지침 및 교육자료를 제작·배포하여 미세먼지에 대한 노출을 줄이

고 건강 영향을 최소화할 수 있도록 돕고 있다.

[그림 3-4] EPA에서 사용하는 오존 및 미세먼지용 AQI 차트

AQI Basics for Ozone and Particle Pollution			
Daily AQI Color	Levels of Concern	Values of Index	Description of Air Quality
Green	Good	0 to 50	Air quality is satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
Yellow	Moderate	51 to 100	Air quality is acceptable. However, there may be a risk for some people, particularly those who are unusually sensitive to air pollution.
Orange	Unhealthy for Sensitive Groups	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is less likely to be affected.
Red	Unhealthy	151 to 200	Some members of the general public may experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Purple	Very Unhealthy	201 to 300	Health alert: The risk of health effects is increased for everyone.
Maroon	Hazardous	301 and higher	Health warning of emergency conditions: everyone is more likely to be affected.

자료: EPA. (2022). Air Quality Index (AQI): AQI Basics for Ozone and Particle Pollution.

<https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/> 에서 2022.08.20. 인출.

1) AQI와 연동한 미세먼지 가이드라인

미국 환경보호국에서 제공하는 미세먼지 가이드라인은 AQI와 연동하여 각 단계별로 취약·민감계층 및 구체적 행동지침을 제공하여 국민들이 미세먼지 수준 및 스스로의 건강 상태에 맞게 활동을 계획할 수 있도록 도움을 주고 있다.

AQI 미세먼지 가이드라인은 대기 중 미세먼지 농도에 따라 6단계로 구분되어 있으며, 각각의 단계는 좋음(미세먼지 수치 0-50), 보통(51-100), 민감·취약계층에게 불건강(101-150), 불건강(150-200), 아주 불건강(201-300), 심한 해로움(301-500)으로 나누어진다(그림 3-5). 또한, 해당 미세먼지 가이드라인에서는 미세먼지 노출로부터 스스로를 보호하는 방법 역시 다음과 같이 제시하고 있다.

〈표 3-2〉 EPA의 AQI 도출 차트

오존 (ppm): 8시간	오존 (ppm), 1시간	초미세먼지 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 24시간	미세먼지 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 24시간	일산화탄소 (ppm), 8시간	이산화황 (ppb), 1시간	이산화질소 (ppb), 1시간	AQI	건강단계구분
0.000-0.054	-	0.0-12.0	0-54	0.0-4.4	0-35	0-53	0-50	좋음
0.055-0.070	-	12.1-35.4	55-154	4.5-9.4	36-75	54-100	51-100	보통
0.071-0.085	0.125-0.164	35.5-55.4	154-254	9.5-12.4	76-185	101-360	101-150	민감·취약계층에게 불건강
0.086-0.105	0.165-0.204	55.5-150.4	255-354	12.5-15.4	186-304	361-649	151-200	불건강
0.106-0.200	0.205-0.404	150.5-250.4	355-424	15.5-30.4	305-604	650-1249	201-300	매우 불건강
-	0.405-0.504	250.5-350.4	425-504	30.5-40.4	605-804	1250-1649	301-400	심한 해로움
-	0.505-0.604	350.5-500.4	505-604	40.5-50.4	805-1004	1650-2049	401-500	심한 해로움

자료: EPA. (2018). Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality - the Air Quality Index (AQI).
<https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf> 에서 2022.09.27. 인출.

- 야외활동을 계획할 때 AirNow를 통한 예보를 참조하기
- 대기오염 수준이 높은 날에는 야외활동을 하지 않거나, 야외활동 시간을 줄이고 가벼운 활동 위주로 하기
- 복잡한 길에서 보내는 시간 줄이기

[그림 3-5] AQI를 기반으로 한 EPA 미세먼지 가이드라인 예시

Air Quality Guide for Particle Pollution		
Harmful particle pollution is one of our nation's most common air pollutants. Use the chart below to help reduce your exposure and protect your health. For your local air quality forecast, visit www.airnow.gov		
Air Quality Index	Who Needs to be Concerned?	What Should I Do?
Good (0-50)		It's a great day to be active outside.
Moderate (51-100)	Some people who may be unusually sensitive to particle pollution.	<p>Unusually sensitive people: Consider reducing prolonged or heavy exertion. Watch for symptoms such as coughing or shortness of breath. These are signs to take it easier.</p> <p>Everyone else: It's a good day to be active outside.</p>
Unhealthy for Sensitive Groups (101-150)	Sensitive groups include people with heart or lung disease, older adults, children and teenagers.	<p>Sensitive groups: Reduce prolonged or heavy exertion. It's OK to be active outside, but take more breaks and do less intense activities. Watch for symptoms such as coughing or shortness of breath.</p> <p>People with asthma should follow their asthma action plans and keep quick relief medicine handy.</p> <p>If you have heart disease: Symptoms such as palpitations, shortness of breath, or unusual fatigue may indicate a serious problem. If you have any of these, contact your health care provider.</p>
Unhealthy (151-200)	Everyone	<p>Sensitive groups: Avoid prolonged or heavy exertion. Consider moving activities indoors or rescheduling.</p> <p>Everyone else: Reduce prolonged or heavy exertion. Take more breaks during outdoor activities.</p>
Very Unhealthy (201-300)	Everyone	<p>Sensitive groups: Avoid all physical activity outdoors. Move activities indoors or reschedule to a time when air quality is better.</p> <p>Everyone else: Avoid prolonged or heavy exertion. Consider moving activities indoors or rescheduling to a time when air quality is better.</p>
Hazardous (301-500)	Everyone	<p>Everyone: Avoid all physical activity outdoors.</p> <p>Sensitive groups: Remain indoors and keep activity levels low. Follow tips for keeping particle levels low indoors.</p>

자료: EPA. (2015a). Office of Air Quality and Radiation, https://www.airnow.gov/sites/default/files/2021-03/air-quality-guide_pm_2015_0.pdf 에서 2022.08.20. 인출

이에 덧붙여, 야외에서의 미세먼지 수준이 높은 날에는 실내 미세먼지 수준 역시 높게 나타날 수 있음을 강조하여 실내 미세먼지 노출을 줄이기 위한 다음과 같은 행동지침 역시 교육자료에 포함되어 있다.

- 실내 흡연하지 않기
- 장작을 이용한 스토브나 화로 등 실내 화기 사용 줄이기
- 미세먼지를 발생시키는 양초나 인센스 스틱 사용하지 않기
- 실내 미세먼지 농도를 낮출 수 있는 고효율입자필터(HEPA; high efficiency particulate air filter)와 공기청정기 사용하기

2) Air Quality Flag Program 시행

미국 환경보호국의 Air Quality Flag Program은 AQI를 기반으로 미세먼지 노출 및 건강 영향에 대한 인식 제고에 기여하고자 개발된 4단계 프로그램이다(표 3-3).

〈표 3-3〉 Air Quality Flag Program의 4단계 행동요령

단계	구체적 행동요령
깃발 구입하기 (Get the Flags)	<ul style="list-style-type: none"> ● 온라인 또는 지역 구매처에서 깃발 구매
공동체에서 공유하기 (Share with Your Community)	<ul style="list-style-type: none"> ● 뉴스레터, 이메일, 전단지, 또는 소셜미디어를 통해 프로그램 참여 홍보 ● 구성원들에게 대기오염·미세먼지의 건강영향 및 대기 질 수준별 깃발색상에 대한 설명 공유하기
깃발 계양하기 (Fly the Flag)	<ul style="list-style-type: none"> ● www.airnow.gov/flag/whichflag 사이트에서 매일의 지역별 대기오염·미세먼지 수준 알아보기 ● 지역별 수준에 따라 해당하는 색상의 깃발을 미리 공유된 계양처에 계양하기
행동 취하기 (Take Action)	<ul style="list-style-type: none"> ● 매일의 깃발 색상에 따라 고강도의 야외활동 줄이기, 더 많은 휴식 취하기, 실내활동 하기 등의 행동 취하기

자료: EPA. (2015b). Air Quality Flag Program: Four Steps to Starting a Program. <https://www.airnow.gov/four-steps-to-starting-an-air-quality-flag-program/>에서 2022.09.05. 인출.

해당 프로그램은 기관, 학교, 지역 공동체 등의 단위에서 AQI 기반의 대기질 수준별 색상(그림 3-6)의 깃발을 계양함으로써 구성원들에게 미세먼지 및 대기오염 상태에 관한 정보를 보다 알기 쉽게 제공하고 있다. 또한, 정부나 공공기관이 아닌 각 단위를 행위 주체로 참여시킴으로써 보다 자발적이고 효율적인 정보 제공과 국민 건강증진을 꾀하고 있다.

[그림 3-6] Air Quality Flag Program에 참여한 학교의 예시



자료: EPA. (2015c). Air Now: Air Quality Flag Program: For Schools.
<https://www.airnow.gov/air-quality-flag-program/>에서 2022.08.27. 인출.

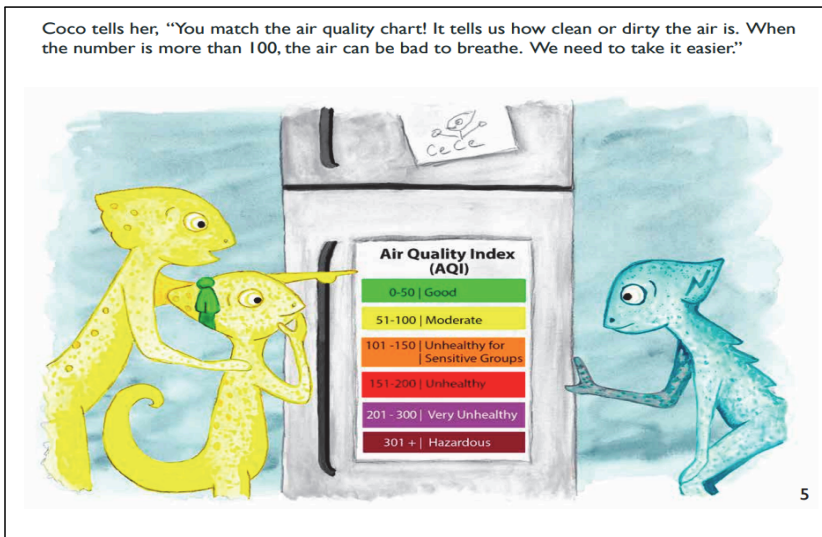
3) 아동·청소년을 대상으로 한 그림책 발간

미국 환경보호국에서 발간한 그림책 “Why is Coco Red?”는 아동·청소년, 특히 천식 등 호흡기 관련 기저질환을 보유한 어린이와 그 보호자들이 대기질이 건강에 미치는 영향을 보다 쉽게 인지할 수 있도록 만들어졌다(그림 3-7). 해당 그림책은 애니메이션으로도 제작되어 유튜브 동영상으로도 볼 수 있게 되어 있다.

“Why is Coco Red?”에서는 주변 대기질에 따라 색을 바꾸는 특성을 가진 카멜레온이 등장한다. 이 그림책은 색이 변하는 동물들을 등장시킴

으로써 어린이들에게 호기심을 유발하고, 주인공들의 색 변화를 AQI에서 제공하는 대기질 지표 AQI에 상응하게 설정함으로써 어린이들이 AQI에 따른 대기오염·미세먼지 상태 및 대기질의 각 단계에 따라 특히 주의해야 할 사항들에 친숙해질 수 있게 돕고 있다. 특히, 내용 중 주인공 카멜레온이 붉은색으로 변하는 날(AQI 기준 4단계; 모든 사람에게 건강하지 못한 대기 상태)에는 주인공과 친구들이 실내에서 놀이활동 하기, 실내 공기청정기 가동하기 등 대기오염·미세먼지에의 노출을 최소화할 수 있는 행동양식을 따르는 것을 보여주어 대표적인 민감·취약계층인 어린이들을 대상으로 한 교육 효과를 도모하고 있다.

[그림 3-7] EPA의 대기오염·미세먼지 교육 그림책 “Why is Coco Red?”(일부)



자료: EPA. (2022). The Office of Air Quality Planning and Standards. Why is Coco Red? Coco and his friend learn about wildfire smoke and air quality.

4) 미세먼지 수준이 극심한 날을 대비한 행동요령 배포

AQI를 기반으로 한 미세먼지 농도 구분단계는 최고 6단계까지 이루어져 있으며, AQI 지수가 500을 초과하는 날 (24시간 미세먼지 기준 $604\mu\text{g}/\text{m}^3$, 초미세먼지 기준 $500.4\mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과)에 대한 안내는 따로 포함되어 있지 않다. 환경보호국의 AirNow 프로그램에서는 이러한 미세먼지 수준이 극심한 날 (“Beyond the AQI”)을 대비한 행동요령을 AirNow 웹사이트를 통해 배포하고 있으며, 해당 행동요령은 다음과 같은 항목으로 이루어져 있다.

- 대기오염·미세먼지 노출에 따른 건강위해성 민감도: 기본적으로 “극심” 수준에서의 미세먼지 농도의 영향은 기저질환자나 고령자, 영유아에 국한되지 않고 모든 사람들에게 영향을 미침을 명시하고 있다. 덧붙여, 본인이 고위험군에 속할 경우 “민감·취약계층에게 불건강 (101-150)” 수준의 농도에서 이미 노출에 따른 건강영향이 있으므로, AQI 지수가 “심한 해로움(AQI 301-500)”에 도달할 때까지 기다리지 말고 즉시 노출을 줄이기 위한 행동을 취할 것을 권고하고 있다.
- 미세먼지 농도가 극심한 날 노출을 줄이기 위한 행동요령: 미세먼지 농도가 아주 높은 날에는 실내에까지 미세먼지가 침투할 수 있으므로, 공기 정화시설이 갖추어진 실내에 머무를 것을 권고하고 있다. 또한, 실내에서도 숨을 빠르고 깊게 들이 내쉬어야 하는 활동은 피할 것을 권고한다. 이에 더하여, 집 전체에 작동하는 공기청정기 등의 정화시설을 갖추 수 없다면, 침실만이라도 공기청정기를 작동시켜 수면 공간을 미세먼지로부터 보호하고, 그 외 마른걸레 대신 젖은 걸레 사용, 중앙 에어컨디셔너 사용, 오존을 발생시키는 공기청정기는 사용

하지 않기, 가스나 양초 사용 자제, 흡연 자제 등 실내 미세먼지 농도 및 노출을 감소시킬 수 있는 방법을 제시하고 있다.

- 야외활동 시 마스크 착용에 대한 안내: 해당 자료에서는 미세먼지 농도가 극심한 날 실외 마스크 착용에 대한 가이드라인 역시 제공하고 있다. 단순 종이재질 마스크, 천 스카프나 반다나 등은 큰 입자의 먼지를 거를 수는 있지만, 미세먼지에는 도움이 안 된다는 사실을 적시하고, 미세먼지로부터 스스로를 보호하기 위해서는 N95 또는 P100 등의 인증마크가 겉면에 표기된 마스크를 사용해야 한다는 것을 알리고 있다. 또한, 해당 마스크들의 착용법과 구입장소에 대한 안내 등을 통해 마스크의 적절한 착용에 도움을 주고 있다.

다. 지역자치단위별 프로그램

1) 캘리포니아 주: 실내 공기청정기 및 필터 선택 가이드라인 제공

미국 캘리포니아 주에는 미국 전역을 통틀어 미세먼지 및 오존에 의한 대기오염이 가장 심각한 것으로 꼽히는 로스앤젤레스, 프레즈노, 베이커스필드 등의 도시들이 위치하고 있다(American Lung Association, 2022). 캘리포니아의 대기자원위원회(CARB; California Air Resources Board)에서는 미세먼지 및 대기오염의 노출로 인한 건강 악영향을 줄이기 위한 노력의 일환으로 캘리포니아 내에서 온라인 및 오프라인으로 판매되는 모든 실내 공기청정기에 CARB의 인증을 받도록 하고 있으며, 적절한 공기청정기와 필터 사용에 대한 가이드라인(Guide to Air Cleaners in the Home)을 제시하고 있다. 해당 가이드라인에서는 CARB가 인증한 제품들에 대한 브랜드 및 모델명을 고시함으로써 소비자

들이 미세먼지 노출을 줄이는 데 적절한 기능을 갖춘 공기청정기 및 필터를 선택할 수 있도록 도움을 주고 있다(California Air Resources Board, 2022).

2) 뉴욕시: 응급지원시스템에 대기질 알림 서비스 결합

뉴욕 시에서는 미세먼지 및 오존 노출로 인한 건강 위험을 줄이기 위해, 연방정부 차원의 AirNow 프로그램을 적극적으로 사용하는 것을 권장함과 동시에 뉴욕 주 자체의 긴급지원프로그램인 Notify NYC에서 대기질에 대한 알림 서비스를 결합하여 제공하고 있다. Notify NYC는 어플리케이션을 스마트폰에 다운받아 계정을 생성하면 긴급 및 재난상황에 대한 알림을 받을 수 있는 서비스이다. 뉴욕 시에서는 긴급상황에 높은 미세먼지 및 오존 농도를 포함시켜, 대기질 수준이 건강에 위해를 끼칠 수 있는 날에는 해당 어플리케이션에서 알림을 받음으로써 시민들이 외출 자제 등 미세먼지의 노출을 줄일 수 있는 행동을 자율적으로 취할 수 있도록 돕고 있다.

3) 포틀랜드시: 재난 수준의 미세먼지 노출에 따른 노숙자 보호소 마련

포틀랜드시가 속해있는 오리건주는 지난 2020년 9월 대형 산불의 피해를 겪었고, 이에 따른 대기질이 급격히 악화되었다. 그리고 산불로 인하여 초미세먼지 수치가 급증하게 되었고, 대기질 수치인 AQI가 미세먼지 수준이 극심한 날을 의미하는 500을 초과하게 되었다. 이로 인한 미세먼지 노출을 예방하기 위해 포틀랜드시에서는 공공으로 사용하는 커뮤니티 센터를 임시 보호소로 지정하여 대기오염 노출을 피하기 위한 임시 보

호소가 필요한 사람들에게 식사 및 침대를 제공하였고, 노숙자들을 위해서 KN95 마스크를 배부하였다. 또한 오리건주의 멀티노마(Multnomah county) 카운티의 노숙자 서비스 합동 사무소(Joint Office of Homeless Services)에서도 파트너 기관, 자원봉사 기관과 연계하여 추가적으로 보호소를 마련하였다.

2. 캐나다

캐나다의 대기오염·미세먼지 건강정책은 캐나다 기후환경청(ECC; Environment and Climate Change Canada)과 보건부(Health Canada)를 주축으로 한다. 캐나다의 관련 정책은 기본적으로 국민에게 관련 지식과 정보를 제공하고 국민 스스로 노출을 줄일 수 있는 행동양식을 유도한다는 점에서 미국의 정책과 그 궤를 같이하고 있다.

가. 캐나다 기후환경청(Environment and Climate Change Canada)

1) 대기질 건강지표 (Air Quality Health Index) 프로그램

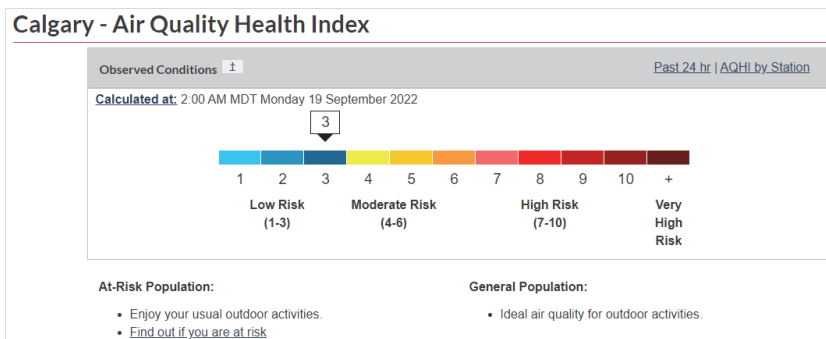
캐나다 환경청에서 제공하는 대기질 건강지표(AQHI; Air Quality Health Index)는 오존(O₃), 초미세먼지(PM_{2.5}), 이산화질소(NO₂)의 세 종류 물질로 인한 대기오염수준이 초과사망률에 미치는 영향에 대한 시계열 분석 결과를 1에서 10까지의 숫자로 재조정된 지표이다(Stieb et al., 2018). AQHI에서는 캐나다 각 지역별 대기오염 수준을 낮은 위험도(Low Risk; 1-3), 중간 위험도(Moderate Risk; 4-6), 높은 위험도(High Risk; 7-10), 마지막으로 매우 높은 위험도(Very High Risk; 10

이상)로 나누어 색상표와 함께 안내하고 있다. 이에 더하여 민감·취약계층(at-risk population)과 일반 대중(general population)의 행동요령을 분리하여, 영유아, 기저질환자 및 고령자 등 대기오염·미세먼지에 취약한 계층이 현재 AQHI 지수가 나타내는 대기 상태에서 노출을 줄이기 위해 취해야 할 행동을 보다 명확하게 제시하고 있다(그림 3-8).

또한, 향후 이틀간 주·야간 시간대의 대기질 지표 최대수치(Forecast Maximums)를 제공하는 한편, 각 수치에 따른 건강 메시지(Health Message)를 첨부하여 국민들이 미리 야외 및 실내활동을 계획할 수 있도록 돕고 있다.

AQHI 수치에 따른 건강 메시지 역시 대기오염에 대한 민감·취약계층과 일반 대중을 위한 메시지를 구분하여 명시함으로써, 각 본인의 민감도 및 취약도에 따라 AQHI 단계별로 노출을 줄일 수 있는 행동을 취할 수 있도록 안내하고 있다(표 3-4).

[그림 3-8] 캐나다 환경청에서 제공하는 AQHI - 캘거리 지역 대기질 및 취약도에 따른 행동양식



자료: Environment and Climate Change Canada. (2022a). Air Quality Health Index. https://weather.gc.ca/airquality/pages/index_e.html에서 2022.09.11. 인출.

〈표 3-4〉 캐나다의 AQHI 단계별 건강 메시지

건강 위험도	AQHI 지수	건강 메시지	
		민감·취약계층	일반 대중
낮은 위험도	1-3	통상적인 야외활동을 즐길 수 있는 수준.	야외활동에 이상적인 대기질.
중간 위험도	4-6	불편한 증상이 있을 시에는 격렬한 야외활동을 줄이거나 다른 날로 조정할 것을 고려하기.	특별한 이상이 없다면 일상적 야외활동을 조정할 필요 없음.
높은 위험도	7-10	격렬한 야외활동을 줄이거나 일정을 조정하기. 어린이나 노약자는 휴식을 취하기.	불편한 증상이 있을 시에는 격렬한 야외활동을 줄이거나 다른 날로 조정할 것을 고려하기.
매우 높은 위험도	10 이상	격렬한 야외활동 피하기. 어린이나 노약자는 야외 신체활동 하지 않기.	격렬한 야외활동을 줄이거나 일정을 조정하기. 기침이나 목의 불편감 등 증상이 있을 시에는 특히 유의하기.

자료: Environment and Climate Change Canada. (2022b). Air Quality Health Index Messages.
https://weather.gc.ca/airquality/healthmessage_e.html 에서 2022.09.11. 인출.

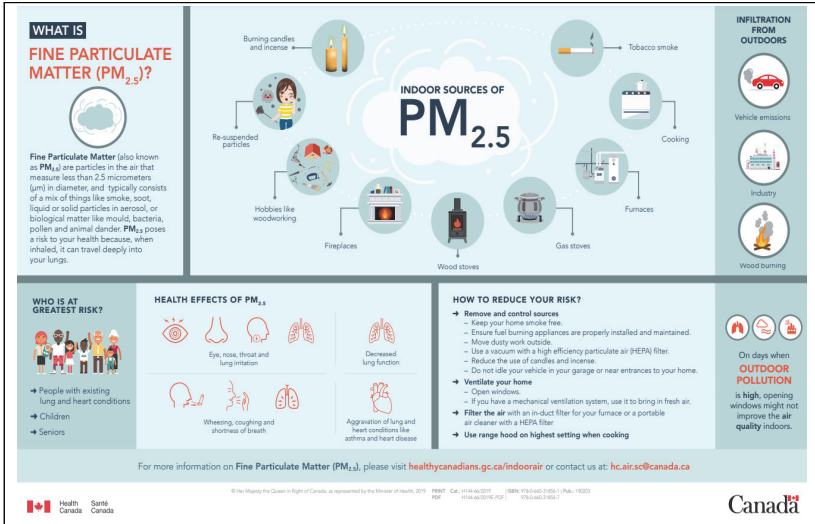
나. 캐나다 보건부 (Health Canada)

캐나다 보건부 역시 대기오염·미세먼지 관련 정보를 국민들에게 제공함으로써 국민들이 대기오염으로 인한 건강 영향을 인지하도록 돕는 데 그 정책의 초점을 맞추고 있다.

1) 초미세먼지 발생원 및 가정 내 활동에 대한 교육자료

캐나다 보건부에서는 특히 실내 초미세먼지(PM 2.5)에 관련한 정보를 더욱 자세히 제공하여 국민들이 초미세먼지 노출을 스스로 회피 또는 감소시킬 수 있도록 유도하고 있다(그림 3-9).

[그림 3-9] 캐나다 보건부에서 제공하는 초미세먼지 교육자료



자료: Health Canada. (2019). Air Quality Health Index Messages. Publications: Healthy Living. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/infographic-improve-indoor-air-quality.html> 에서 2022.09.11. 인출.

캐나다 보건부의 국민교육자료에서는 실내에서 미세먼지 및 초미세먼지를 발생시킬 수 있는 배출원에 대한 안내를 통해 개인 수준에서 초미세먼지 발생을 줄이고 동시에 노출을 회피·감소시킬 수 있는 방법을 실행하도록 유도하고 있다. 해당 자료에서 제시하고 있는 실내 미세먼지 배출원으로는 곰팡이, 벽난로 등 나무를 이용한 난방기구, 히터 등이 있으며, 미세먼지를 발생시킬 수 있는 가정 내 활동으로 흡연, 나무세공과 같은 취미활동, 양초나 인센스 피우기, 요리(튀김, 구이, 토스트, 볶음요리) 등이 포함되어 있다.

실내 미세먼지로 인한 건강영향을 최소화하기 위한 방안으로써 가정 내 미세먼지 노출 줄이기를 가장 큰 효과를 가진 행동 요령으로 꼽고 있는데, 이에 포함된 사항들은 다음과 같다.

- 실내 청소시 젖은 걸레 또는 HEPA 필터가 달린 청소기 사용하기.
- 가정 내 흡연하지 않기.
- 가정 내 양초와 인센스 사용 줄이기. 양초를 끌 때 불어서 끄기보다 스너퍼 등 도구를 사용하기.
- 먼지를 발생시키는 활동은 야외에서 진행하기.
- 나무를 이용하여 때는 스토브나 벽난로가 적절히 설치되고 작동하는지 확인하기.
- 요리할 때 환기 팬 또는 후드 시설 사용하기.
- 곰팡이 번식을 막기 위해 습도를 적절히 유지하기.

또한, 적절한 환기의 중요성과 환기 시 환경청에서 제공하는 AQHI 정보를 활용할 것을 안내하고 있으며, 공기청정기의 사용으로 실내 미세먼지 농도를 낮출 수 있다는 정보 역시 전달하고 있다.

2) 환경보건 팟캐스트 (podcast)

캐나다 보건부에서는 보건 및 환경 전문가들로 구성된 패널들이 대기 오염·미세먼지와 그 건강영향, 그리고 건강의 사회적 결정요인과 더불어 환경적 결정요인에 대해 논의하는 팟캐스트 파일 및 대본을 웹사이트를 통해 제공하고 있다. 해당 팟캐스트에서는 대기오염·미세먼지가 초래하는 건강 악영향의 위험을 줄이기 위해 국민 스스로가 할 수 있는 행동 역시 소개하고 있다(Health Canada. n.d.).

제2절 국외 대응 정책의 효과 및 고찰

위에서 살펴본 미국과 캐나다를 대표로 한 국외 미세먼지 대응 건강정책의 핵심은 다음과 같다.

- 미세먼지 및 오존, 이산화질소 등 관련 대기오염 물질 노출이 초래하는 건강상의 악영향 및 민감·취약계층에 대한 정보 제공.
- 실외 미세먼지 노출 회피 및 감소를 위해 대기오염·미세먼지 농도가 높은 날에는 야외 활동을 줄이도록 권고.
- 실내 미세먼지 배출원 및 저감 생활습관에 대한 정보를 제공함으로써 가정 내 미세먼지 노출 감소 및 회피 방안 제시.
- 그림책, 팟캐스트, 스마트폰 어플리케이션 등을 통한 정보 제공 소스의 다각화.
- 실외 미세먼지 노출을 줄이기 위한 마스크 착용, 실내에서는 공기청정기 등의 사용을 권장하면서, 성능에 대한 구체적 설명과 브랜드·모델명을 직접 제시함으로써 적절한 제품을 선택할 수 있도록 도움.

위에 언급된 개인 수준에서의 행동을 통한 대기오염·미세먼지 노출 감소의 효과는 몇몇 경험적 연구에서 제시된 바 있다. 77개의 개별 분석을 종합한 한 리뷰 연구에서는 4,000개 이상의 가정을 대상으로 분석한 결과 실외:실내 PM 2.5 비율은 1.0으로 거의 비슷한 농도를 보였다. 그러나 공기청정기, 필터 등이 적절히 사용된 실내 환경에서는 실내:실외 PM 2.5 비율을 약 0.55로 추산하였는데, 이는 실내에서의 미세먼지 발생을 최소화하는 노력이 병행할 경우 실외 대기오염 농도가 높은 날 실내에 머무를 것을 권고하는 정책이 효과적임을 시사한다(Chen & Zhao, 2011).

또한, HEPA 등 적절한 필터가 부착된 공기청정기를 사용할 경우 실내 PM 2.5 농도가 20%에서 많게는 70%까지 감소하는 것을 여러 연구에서 보고하였다(Cui et al., 2018; Kajbafzadeh et al., 2015; Karotki et al., 2013; Morishita et al., 2018; Park et al., 2017; Shao et al., 2017). 마스크 착용과 관련해서는, 미국의 N95, 중국의 KN95, 유럽의 FFP2와 같은 인증된 마스크를 안내에 따라 적절히 착용했을 경우 0.3 마이크로 입자까지 95% 이상 차단한다는 것이 밝혀져 있다(Laumbach et al., 2022). 고농도의 대기오염에 단기간 노출된 집단에서 마스크를 적절히 착용했을 경우 심혈관질환에 긍정적인 효과를 보였다는 몇몇 연구들 역시 존재한다(Guan et al., 2018; Langrish et al., 2012; Morishita et al., 2019; Shi et al., 2017; Yang et al., 2018).

그러나 다른 한편으로는, 대기오염 노출 감소를 위한 개인적 차원에서의 중재가 단기간의 방안으로써는 효율적임을 인정하면서도, 개인 수준에서의 노력은 의도하지 않은 부작용과 부담, 그리고 건강 보호의 책임을 개인에게 전가하게 된다는 점을 들어 그 장기적 효용에 대해서는 회의적인 시각을 갖는 견해들도 존재한다(Laumbach et al., 2022). 이러한 시각을 반영하여, 2018년에 열린 미국 흉부학회(ATS; American Thoracic Society)의 개인 수준에서의 실외 대기오염 노출 감소 중재를 위한 워크숍에서 다음과 같은 7개의 결의 및 권고안을 제시하였다(American Thoracic Society, 2021).

- 1) 오염물질 및 미세먼지 배출 저감이 실외 대기오염으로 인한 건강부담을 줄이기 위한 가장 중요한 정책이 되어야 하며, 개인 수준에서의 중재는 어디까지나 이차적 방안임을 강조.
- 2) 실외 대기오염 노출 및 이로 인한 건강 악영향을 줄이기 위한 다양

한 개인적 수준에서의 증재 방법이 있음을 제시.

- 3) 북미 및 유럽 등 선진국에서 권고의 기준으로 사용되는 대기질 지표(AQI)의 한계점 지적 및 대안 지표의 개발 촉구.
- 4) 신체활동 지속의 중요성 및 대기오염 수준이 높은 날 대안적 방안 마련 강조.
- 5) 마스크 등의 개인 호흡기 보호장구가 모든 대기오염 물질을 막을 수 없음을 강조함과 동시에 기저질환자의 마스크 착용이 초래할 수 있는 부작용에 대한 강조.
- 6) 실내 공기청정기 사용이 실내 공기 오염도를 낮춤을 인지함과 동시에 공기청정기 사용이 건강에 미치는 영향에 대해서는 경험적 연구가 부족함을 명시.
- 7) 개인 수준에서의 증재에서 환경적 정의(environmental justice) 및 사회 형평성에 대한 고려가 반드시 이루어져야 함을 강조.

위에서 제시된 ATS의 공식 결의문을 비롯하여, 대기오염·미세먼지와 관련한 국민 건강 보호에 있어 개인 수준에서의 노출 회피 및 감소를 위한 노력의 요구는 어디까지나 오염원 자체에 대한 규제를 통한 미세먼지 저감을 위한 정책 및 규제, 경제적 압박 등과 병행한 이차적 수단일 뿐, 그 대안이 될 수는 없다는 것이 국외 미세먼지 관련 건강 정책을 바라보는 많은 전문가들의 견해이다(Carlsten et al., 2020; Laumbach et al., 2015; WHO, 2020).

실외 활동 자제와 보호장구 착용, 공기청정기 사용 등의 개인 수준에서의 증재 방법이 내포한 한계 역시 명확히 인지해야 할 것이다. 신체활동의 중요성은 여러 연구에서 보고된 바 있다. 대기오염 수준이 높은 날에는 실내 활동을 할 것을 권고하되, 실내에서 할 수 있는 활동의 수준 및 중

류, 방법에 대한 보다 구체적인 정보 제공이 필요할 것으로 보여진다. 마스크 등의 보호장구 착용은 미세먼지로부터 호흡기를 보호하는 효과는 있으나 이것이 증기류를 비롯한 모든 종류의 오염원을 막아주는 것은 아니라는 것 역시 안내되어야 한다는 견해가 대두되고 있다(Laumbach et al., 2022). 마스크의 착용이 두통, 피부질환, 심리적 불편감 및 고립감 등을 초래한다는 연구 결과들 역시 개인 수준에서의 중재 방안으로서의 마스크 착용 권고 시 반드시 고려되어야 할 것이다(Bakhit et al., 2021; Bharatendu et al., 2020; Chaiyabutr et al., 2021). 나아가, 장기간의 실내 신체활동과 마스크 등 호흡기 보호장구 착용이 호흡기 및 심혈관 질환에 미치는 영향에 대한 경험적 연구 역시 부족함이 지적되고 있다(Laumbach et al., 2022). 따라서, 위에 언급된 개인 수준에서의 중재를 위한 방안들이 신체적·정신적 건강에 미치는 영향에 대한 다각도의 연구가 필요할 것이다.

여러 선진국에서 대기오염·미세먼지 관련 건강 영향에 대한 개인적 수준에서의 중재에서 권고의 기반이 되는 대기질 수준은 대부분의 경우 대기질 지표(AQI; air quality index)를 기준으로 하고 있다. 유의할 점은, AQI는 대기질 수준의 건강 영향성을 기반으로 만들어진 지표가 아닌 개별 오염원의 배출 규제 수준을 반영하는 지표에 더 가깝다는 것이다(Laumbach et al., 2015; Laumbach et al., 2022). AQI와 건강 위험 사이에 양의 연관성이 관찰되더라도, AQI가 개인적 수준에서의 노출을 나타내는 지표가 아니기 때문에 해석에 주의를 기울여야 한다는 지적이 대두되며, 대안적 지표의 필요성이 강조되고 있다.

마지막으로, 개인적 수준에서의 중재 방안에 대한 의사 결정 및 권고 과정에서 사회경제적 및 건강 약자 계층에 대한 형평성 고려가 반드시 이루어져야 함이 강조되고 있다. ATS의 결의문에서도 밝히고 있듯이 개인

적 수준의 노출 차단은 미세먼지 배출원 자체에 대한 규제보다 비용-효율성이 떨어질 뿐 아니라, 호흡기 보호장구의 착용, 신체활동 제한 등의 행동으로 인한 잠재적인 건강 부작용과 같은 문제를 초래할 수 있음을 정부와 의사 결정권자들이 반드시 인지해야 한다는 것이다(Laumbach et al., 2015). 나아가 개인적 수준에서 대기오염·미세먼지 노출을 감소시키기 위한 노력에는 여러 장벽들이 작용하는데, 그 예로는 연령 및 교육 수준, 사회경제적 지위에 따른 정보 접근성, 정보 및 행동 양식 권고에 대한 현실적 수용 가능성, 개개인의 가치관 등이 있다. 예를 들어, 스마트폰 어플리케이션 및 팟캐스트 등의 디지털 미디어의 활용을 통한 정보 제공의 소스 다각화는 보다 다양한 방법으로 대기오염 관련 건강 정보를 전달할 수 있는 장점이 있음과 동시에, 이러한 정보에 접근하기 어려운 사각지대에 있는 소외계층을 생성할 수 있을 것이다. 이처럼, 개인적 차원에서의 행동 변화 및 조절에 대한 강조는 개개인에 따라 그 실행 능력과 효과가 다를 수 있다는 점이 충분히 고려되어야 한다.

대기오염과 그 건강 영향과 관련해서 국가 및 정부 단위에서의 규제와 개입을 역설한 Laumbach 외(2022)는 개인 수준에서의 노력은 의도하지 않은 부작용과 부담, 그리고 건강 보호의 책임을 개인에게 전가하게 된다는 점을 짚고 있다. 그럼에도 불구하고 해당 연구는 개인적 수준에서의 노출 감소를 위한 중재를 고려해야 할 필요성에 대해서도 강조하고 있는데, 그 이유는 이러한 중재 방안들이 반복적이지 않고 단기간으로 일어나는 이벤트(예: 산불로 인한 대기질 저하, 먼지폭풍 등)에서 효율적으로 작동할 수 있으며, 규제수준 미만의 대기오염·미세먼지 농도 하에서도 건강에 영향을 받을 수 있는 민감·취약계층에게는 개인적 수준에서의 중재가 효과적일 수 있다는 것이다. 미세먼지에 대한 국민 관심도가 높고 국민건강에 대한 국가의 역할에 대한 논의가 더욱 커져가고 있는 오늘날의

국내 상황에서, 국외의 대기오염·미세먼지 건강 정책 및 기조와 이와 관련된 논의들은 시사하는 바가 크다고 하겠다.



제4장

결론 및 제언

제1절 주요 연구 결과 및 국내외 정책 비교 시사점

제2절 정책 제언



제4장 결론 및 제언

제1절 주요 연구 결과 및 국내외 정책 비교 시사점

이 연구에서는 국가에서 제공하는 최신 미세먼지 농도 및 사망 통계 자료를 통해서 미세먼지 노출이 사망 위험에 미치는 연관성을 평가하였다. 이후 국내외 정부 기관을 위주로 현재 시행하고 있는 대기오염·미세먼지 관련 정책과 사업을 조사하고 해당 사업들이 어떤 방식으로 진행되고 있는지를 검토하였다.

먼저 서울 지역의 미세먼지와 사망데이터를 기초로 한 분석을 통해 최근 몇 년간 미세먼지 농도가 감소하는 추세에 있음에도 불구하고 저농도의 단기 미세먼지 노출이 건강 영향과 연관성이 있음을 확인하였다. 미국이나 유럽에서도 저농도의 미세먼지 노출과 건강영향에 대한 연구를 지속적으로 발표하였으며(Liu et al., 2021; Wyatt et al., 2020), 국내의 미세먼지 수준이 최근 2021년 새롭게 업데이트된 WHO의 미세먼지 농도 권고 수준($PM_{2.5}$: 연평균 $5\mu g/m^3$, PM_{10} : 연평균 $15\mu g/m^3$) 보다는 여전히 높다는 점을 고려하였을 때 향후 국내의 미세먼지 노출과 건강영향에 대한 추가적인 위해성 평가 연구를 기반으로 미세먼지 관련 보건의료 정책을 계속해서 보완해 나갈 필요가 있을 것이다. 또한 미세먼지의 단기 노출로 인한 영향을 고려하였을 때, 미세먼지의 농도를 실시간으로 확인하고 농도가 기준치를 초과하였을 경우 즉각적으로 사람들에게 알림을 제공할 수 있는 신속한 미세먼지 대응체계 마련이 필요할 것이다. 마지막으로 분석결과를 통해 민감계층과 특히 고령층에서 미세먼지 노출 영향이 더욱 크게 나타나는 것을 확인하였다. 현재 국내에서 65세 이상

인구 비율이 20%를 넘는 초고령 사회에 빠르게 진입하고 있고, 고령층이 미세먼지 민감계층으로 포함되어 있는 점을 고려하였을 때 고령화 문제는 향후 미세먼지 대응 정책 형성 시 주요 논점이 될 수 있으며(배현주, 2014), 향후 인구 고령화 비율에 따라 미세먼지 대응 정책의 중요도를 고려할 필요도 있을 것이다.

미국의 경우 질병통제예방센터와 환경보호국 모두 미세먼지 대응 방안과 사업을 다양하게 마련하였으며, 특히 미세먼지뿐 아니라 최근 이슈가 되고 있는 오존 및 이산화질소, 일산화탄소와 같은 다양한 대기오염물질에 대한 자료를 함께 제공하고 있는 점을 확인할 수 있었다. 캐나다 역시 대기질 건강지표 프로그램에서 초미세먼지, 오존, 이산화질소의 세 종류 물질을 동시에 고려하여 위험 지표를 산출하였다.

또한 국외에서는 교육자료 및 고농도 미세먼지가 발생했을 시의 행동지침을 독자의 구분(학교, 영유아, 천식 환자)에 맞게 세분화하여 다양한 교육자료와 프로그램을 제작하여 배포하는 것을 확인할 수 있었다. 마지막으로 미국의 각 주 단위로도 대기오염이 심각한 도시에서 자체적으로 공기청정기 가이드라인을 보급하거나 대기질 알림 서비스를 지원하는 등 미세먼지 대응을 위한 지방자치단체 차원의 노력을 지속하고 있음을 알 수 있었다.

국내의 경우 미세먼지 관리 종합대책과 미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법, 실내공기질 관리법 등 미세먼지 관리를 위한 기초 계획과 법적 기반은 다양하게 마련되어 있다. 민감계층을 위한 행동지침 역시 영유아·학생·어르신을 위한 미세먼지 대응매뉴얼 및 옥외작업자를 위한 미세먼지 대응 건강보호 가이드 등 관련 가이드라인이 국가차원에서 마련이 되어 있으나 만성폐쇄성폐질환, 천식 등 호흡기 질환자를 위한 미세먼지·대기오염 대응 가이드라인은 상대적으로 부족한 것으로 보인다. 또한 고농

도 미세먼지 발생 시 기준에 마련되어 있는 대응체계가 잘 작동하고 있는지에 대한 점검절차를 강화하고 미세먼지 관련 정보를 접할 수 있는 다양한 홍보 경로를 확보할 필요가 있을 것이다.

제2절 정책 제언

미세먼지에 대한 국내의 관심이 높아짐에 따라 정부에서는 일반인과 민감계층, 관리자 등을 대상으로 다양한 미세먼지 대응 정책을 마련하였다. 미세먼지의 농도는 2019년 이후로 점차 감소하는 추세를 보였으나, 국내외 정책 효과 및 코로나19 팬데믹 사태 등 다양한 사건의 발생은 하나의 특정한 정책 효과가 미세먼지 감소에 기여했는지를 판단하기 어렵게 하였다. 또한 최근 국내 미세먼지 농도가 감소하였어도 여전히 그 수준은 타 국가 및 WHO의 기준과 비교했을 때 높은 편이다. 따라서 향후에도 국내 미세먼지 노출이 건강에 영향을 미치는지에 대한 최신 위해성 평가 연구를 계속해서 수행할 필요가 있으며, 연구 결과를 근거로 하여 미세먼지로부터 건강을 보호하기 위한 다양한 대응 정책을 마련할 필요가 있다. 또한 향후 코로나 팬데믹 상황이 완화되면 미세먼지가 다시 증가할 가능성도 있기 때문에(최우철, 정규수, 2021), 이를 고려하여 미세먼지 농도를 국가 차원에서 적극적으로 모니터링하고 고농도 미세먼지 발생 시 기준에 마련되어 있는 국가, 기관, 개인의 대응체계가 적절하게 작동할 수 있는지를 사전에 점검하고, 각 단계별로 이행에 문제가 없는지를 확인하기 위한 노력이 필요하다.

현재 미세먼지 노출에 대한 행동 방침들을 담은 가이드라인 및 홍보자료는 다양하게 개발되어있으나, 실제로 이러한 자료가 공식 홈페이지나

미세먼지 관련 웹사이트를 위주로 게시되어있기 때문에 자료를 접하고 미세먼지 노출을 줄이기 위한 행동으로 옮기기 위해서는 홈페이지에 직접 접속하여 정보를 찾아보는 등 개개인이 적극적으로 관심을 갖지 않는 이상 필요한 정보에 접근할 수 있는 계기가 많지 않은 것으로 보인다. 따라서 정보 전달 대상자에게 이러한 가이드라인들을 효과적으로 전달하기 위하여 향후 TV, SNS, 대중교통 광고 등 다양한 매체를 활용하고 정보 전달에 효과가 있는 매체를 선별할 필요가 있으며, 이와 관련된 예산 확보가 필요할 것이다. 또한 영아·노년층과 같은 특정 민감군과 노숙자·장애인과 같은 사회취약계층의 경우 인터넷 활용이 쉽지 않기 때문에 보호자와 기관을 대상으로 하여 대기오염 관련 교육을 정기적으로 진행하되 요양병원 및 노인문화센터 등 다중이용시설들을 대상으로는 지속적인 실내 공기질 점검을 진행할 필요가 있을 것이다.

마지막으로 최근 코로나 팬데믹 이후 미세먼지 농도가 감소하면서, 미세먼지 이외의 오존 및 관련 대기오염 물질인 VOCs에 대한 관리와 그로 인한 건강영향 또한 중요하게 대두되고 있다(심창섭 외, 2020; Li et al., 2021). 따라서 미세먼지에 대한 가이드라인과 함께 다른 대기오염물질 노출에 대응할 수 있는 공통적인 행동방침들을 같이 제시하여 홍보 및 교육을 진행할 필요가 있을 것이다.



〈국내 문헌〉

- 고용노동부. (2018). 단순노무 종사자 한국표준직업분류. 고용노동부 근로기준 정책과.
- 고용노동부. (2019). 옥외작업자를 위한 미세먼지 대응 건강보호 가이드.
- 관계부처 합동. (2017). 미세먼지 관리 종합대책.
- 관계부처 합동. (2019). 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024).
- 배현주. (2014). 서울시 미세먼지 (PM10) 와 초미세먼지 (PM2.5) 의 단기노출로 인한 사망영향. 한국환경보건학회지, 40(5), 346-354.
- 신동천. (2007). 미세먼지의 건강영향. 대한의사협회지, 50(2), 175-182.
- 심창섭, 한진석, 이승민, 정은혜, 나건수, 정예민. (2020). 인체 위해성 기반의 미세먼지 관리 전략 수립을 위한 기획연구. 한국환경연구원.
- 장안수. (2015). 미세 먼지와 천식. 대한내과학회지, 88(2), 150-155.
- 질병관리본부, 대한의학회. (2020). 미세먼지 영역별 근거보고서.
- 최우철, 정규수. (2021). 코로나 19 전후 미세먼지 농도에 영향을 미치는 요인 비교분석. 2. 한국방재학회 논문집, 21, 395-402.
- 한국건강증진개발원. (2021). 제5차 국민건강증진종합계획(HP2030).
- 환경부. (2019a). 고농도 미세먼지 위기관리 표준매뉴얼 제정.
- 환경부. (2019b). 영유아·학생·어르신 등 취약계층 보호를 위한 고농도 미세먼지 대응매뉴얼.

〈국외 문헌〉

- Achilleos, S., Kioumourtzoglou, M.A., Wu, C.D., Schwartz, J.D., Koutrakis, P., & Papatheodorou, S.I. (2017). Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. Environment international, 109,

89-100.

- American Thoracic Society. (2021). Personal interventions for reducing exposure and risk for outdoor air pollution: An official American Thoracic Society Workshop Report. *Annals of the American Thoracic Society*, 18(9), 1435-1443.
- Bae, H.J. (2014). Effects of Short-term Exposure to PM 10 and PM 2.5 on Mortality in Seoul. *Journal of Environmental Health Sciences*, 40(5), 346-354.
- Bakhit, M., Krzyzaniak, N., Scott, A.M., Clark, J., Glasziou, P., del Mar, C. (2021). Downsides of face masks and possible mitigation strategies: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*, 11, e:044364.
- Bharatendu, C., Ong, J.J.Y., Goh, Y., Tan, B.Y.Q., Chan, A.C.Y., ... Sharma, V.K. (2020). Powered air purifying respirator (PAPR) restores the N95 face mask induced cerebral hemodynamic alterations among healthcare workers during COVID-19 outbreak. *Journal of Neurological Science*, 417, e117078.
- Carlsten, C., Salvi, S., Wong, G.W.K., Chung, K.F. (2020). Personal strategies to minimise effects of air pollution on respiratory health: advice for providers, patients and the public. *European Respiratory Journal*, 55, e1902056.
- Chaiyabutr, C., Sukakul, T., Pruksaeakanan, C., Thumrongtharadol, J., & Boonchai, W. (2021). Adverse skin reactions following different types of mask usage during the COVID-19 pandemic. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 35, e176-178.
- Chen, C., & Zhao, B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and

- penetration factor. *Atmospheric Environment*, 45, 275-288.
- Cui, X., Li, F., Xiang, J., Fang, L., Chung, M.K. (2018). Cardiopulmonary effects of overnight indoor air filtration in healthy non-smoking adults: a double-blind randomized crossover study. *Environment International*, 114, 27-36.
- EPA. (2003). *Cleaner Air through Cooperation*.
- EPA. (2022). The Office of Air Quality Planning and Standards. Why is Coco Red: Coco and his friend learn about wildfire smoke and air quality.
- Guan, T., Hu, S., Han, Y., Wang, R., Zhu, Q., ... Zhu, T. (2018). The effects of facemasks on airway inflammation and endothelial dysfunction in healthy young adults: a double-blind, randomized, controlled crossover study. *Particulate and Fibre Toxicology*, 15-30.
- Heinzerling, L. (2001). The Clean Air Act and the Constitution. *Louis U. Pub. L. Rev.*, 20, 121.
- IQAir. (2020). *2019 World Air Quality Report*.
- Kajbafzadeh, M., Brauer, M., Karlen, B., Carlsten, C., van Eeden, S., Allen, R.W. (2015). The impacts of traffic-related and woodsmoke particulate matter on measures of cardiovascular health: a HEPA filter intervention study. *Occupational and Environmental Medicine*, 72, 394-400.
- Karottki, D.G., Spilak, M., Frederiksen, M., Gunnarsen, L., Brauner, E.V., ... Loft, S. (2013). An indoor air filtration study in homes of elderly: cardiovascular and respiratory effects of exposure to particulate matter. *Environmental Health*, 12, e116.
- Langrish, J.P., Li, X., Wang, S., Lee, M.M.Y., Barnes, G.D., ... Jiang, L. (2012). Reducing personal exposure to particulate air pollution

- improves cardiovascular health in patients with coronary heart disease. *Environmental Health Perspectives*, 120, 367-372.
- Laumbach, R., Meng, Q., & Kipen, H. (2015). What can individuals do to reduce personal health risks from air pollution? *Journal of Thoracic Disease*, 7, 97-107.
- Laumbach, R., & Cromar, K. (2022). Personal interventions to reduce exposure to outdoor air pollution. *Annals Review of Public Health*, 43, 293-309.
- Li, A., Zhou, Q., & Xu, Q. (2021). Prospects for ozone pollution control in China: An epidemiological perspective. *Environmental Pollution*, 285, 117670.
- Liu, S., Jørgensen, J.T., Ljungman, P., Pershagen, G., Bellander, T., Leander, K., Magnusson, P. K., ... Raaschou-Nielsen, O. (2021). Long-term exposure to low-level air pollution and incidence of asthma: the ELAPSE project. *European Respiratory Journal*, 57(6), 2003099.
- Morishita M, Adar SD, D'Souza J, Ziemba RA, Bard RL, ... Brook RD. (2018). Effect of portable air filtration systems on personal exposure to fine particulate matter and blood pressure among residents in a low-income senior facility a randomized clinical trial. *JAMA Internal Medicine*, 178, 1350-1357.
- Morishita, M., Wang, L., Speth, K., Zhou, N., Bard, R.L., ... Brook, R.D. (2019). Acute blood pressure and cardiovascular effects of near-roadway exposures with and without N95 respirators. *American Journal of Hypertension*, 32, 1054-1065.
- Park, H.K., Cheng, K.C., Tetteh, A.O., Hildemann, L.M., Nadeau, K.C. (2017). Effectiveness of air purifier on health outcomes and indoor particles in homes of children with allergic diseases in

- Fresno, California: a pilot study. *Journal of Asthma*, 54, 341-346.
- Pothirat, C., Chaiwong, W., Liwsrisakun, C., Bumroongkit, C., Deesomchok, A., Theerakittikul, T., Limsukon, A., Tajarernmuang, P., & Phetsuk, N. (2019). Acute effects of air pollutants on daily mortality and hospitalizations due to cardiovascular and respiratory diseases. *Journal of thoracic disease*, 11(7), 3070.
- Shao, D., Du, Y., Liu, S., Brunekreef, B., Meliefste, K., ... Huang, W. (2017). Cardiorespiratory responses of air filtration: a randomized crossover intervention trial in seniors living in Beijing: Beijing Indoor Air Purifier Study, BIAPSY. *Science of the Total Environment*, 603-604, 541-549.
- Shi, J., Lin, Z., Chen, R., Wang, C., Yang, C., ... Kan, H. (2017). Cardiovascular benefits of wearing particulate-filtering respirators: a randomized crossover trial. *Environmental Health Perspectives*, 125, 175-180.
- WHO. (2021b). WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide.
- Wyatt, L.H., Devlin, R.B., Rappold, A.G., Case, M.W., & Diaz-Sanchez, D. (2020). Low levels of fine particulate matter increase vascular damage and reduce pulmonary function in young healthy adults. *Particle and fibre toxicology*, 17(1), 1-12.
- Xing, Y.F., Xu, Y.H., Shi, M.H., & Lian, Y.X. (2016). The impact of PM_{2.5} on the human respiratory system. *Journal of thoracic disease*, 8(1), E69.
- Yang, J., Zhou, M., Li, M., Yin, P., Hu, J., Zhang, C., ... & Wang, B. (2020). Fine particulate matter constituents and cause-specific

- mortality in China: a nationwide modelling study. *Environment International*, 143, 105927.
- Yang, X., Jia, X., Dong, W., Wu, S., Miller, M.R., ... Guo, X. (2018). Cardiovascular benefits of reducing personal exposure to traffic-related noise and particulate air pollution: a randomized crossover study in the Beijing subway system. *Indoor Air*, 28, 777-786.
- Zeka, A., Zanobetti, A., & Schwartz, J. (2005). Short term effects of particulate matter on cause specific mortality: effects of lags and modification by city characteristics. *Occupational and environmental medicine*, 62(10), 718-725.
- Zhou, H., Geng, H., Dong, C., & Bai, T. (2021). The short-term harvesting effects of ambient particulate matter on mortality in Taiyuan elderly residents: A time-series analysis with a generalized additive distributed lag model. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 207, 111235.

〈신문기사〉

- 데일리팜. (2021). 보건용 마스크 건보적용 불발...급여화 연구도 비관적.
<http://www.dailypharm.com/Users/News/NewsView.html?ID=282455>에서 2022.11.19. 인출.
- 동아일보. (2022). 올봄 서울 공기 14년만에 가장 깨끗했다.
<https://www.donga.com/news/article/all/20220613/113917354/1>에서 2022.10.17. 인출.
- 사이언스타임즈. (2021). 미세먼지 문제 해결에 도전하는 '리빙랩'.
<https://www.sciencetimes.co.kr/news/%EB%AF%B8%EC%84%B8%EB%A8%BC%EC%A7%80-%EB%AC%B8%EC%A0%9C-%ED%95%B4%EA%B2%B0%EC%97%90-%EB%8F%84%EC%A0%84%ED%95%98>

%EB%8A%94-%EB%A6%AC%EB%B9%99%EB%9E%A9/에서
2022.10.18. 인출.

아시아경제. (2022). 3~5월 서울시 '초미세먼지 농도' $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 역대 최저.
<https://view.asiae.co.kr/article/2022061307141770922>에서
2022.09.26. 인출.

〈법률〉

보건복지부 및 소속기관 직제 시행규칙 제11조(보건의료정책실). (2017).
보건의료기본법 제37조의2(기후변화에 따른 국민건강영향평가 등). (2017).
실내공기질 관리법 시행규칙 제3조(실내공기질 유지기준). (2021).
실내공기질 관리법 시행령 제2조(적용대상). (2021).

〈웹페이지〉

기상자료개방포털. (n.d.). 종관기상관측자료.
<https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36>에서 2022.09.05. 인출.

서울정책아카이브. (2015). 대기오염 측정망 관리: 실시간 대기질 측정 시스템.
서울정책실.
<https://seoulsolution.kr/ko/node/3515>에서 2022.09.22. 인출.

부천시청. 미세먼지클린특화단지조성.
<https://www.bucheon.go.kr/site/homepage/menu/viewMenu?menuid=148006007009>에서 2022.10.18. 인출.

에어코리아. (n.d.). 에어코리아 소개.
https://www.airkorea.or.kr/web/contents/contentView/?pMENU_NO=91&cntnts_no=1에서 2021.11.20. 인출.

질병관리청. (2022). 조직도.
<https://kdca.go.kr/contents.es?mid=a20813010000>에서
2022.10.06. 인출.

- 통계청. (2021). 국가지표체계 미세먼지(PM2.5) 농도.
<http://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=4275>에서
2022.09.26. 인출.
- 환경부. (2021). 미세먼지 재난대응 안전한국훈련 실시.
<http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?boardMasterId=1&boardId=1487740&menuId=10525>에서 2022.11.14. 인출.
- American Lung Association. (2022). Most Polluted Cities.
<https://www.lung.org/research/sota/city-rankings/most-polluted-cities> 에서 2022.09.10. 인출.
- California Air Resources Board. (2022). List of CARB-Certified Air Cleaning Devices.
<https://ww2.arb.ca.gov/list-carb-certified-air-cleaning-devices> 에서 2022.09.12. 인출.
- CDC. (2019). Air Quality: Particle Pollution.
https://www.cdc.gov/air/particulate_matter.html에서
2022.08.12. 인출.
- CDC. (2021). Center For Disease and Prevention Organizational Chart.
<https://www.cdc.gov/about/pdf/organization/cdc-org-chart.pdf>
에서 2022.10.12. 인출.
- CDC. (2022). Asthma: Asthma Action Plans.
<https://www.cdc.gov/asthma/actionplan.html>에서 2022.08.20. 인출.
- Environment and Climate Change Canada. (2022a). Air Quality Health Index.
https://weather.gc.ca/airquality/pages/index_e.html에서
2022.09.11. 인출.
- Environment and Climate Change Canada. (2022b). Air Quality Health Index Messages.
https://weather.gc.ca/airquality/healthmessage_e.html에서

- 2022.09.11. 인출.
- EPA. (2015a). Office of Air Quality and Radiation.
https://www.airnow.gov/sites/default/files/2021-03/air-quality-guide_pm_2015_0.pdf에서 2022.08.20. 인출
- EPA. (2015b). Air Quality Flag Program: Four Steps to Starting a Program.
<https://www.airnow.gov/four-steps-to-starting-an-air-quality-flag-program/>에서 2022.09.05. 인출.
- EPA. (2015c). Air Now: Air Quality Flag Program: For Schools.
<https://www.airnow.gov/air-quality-flag-program/>에서 2022.08.27. 인출.
- EPA. (2018). Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI).
<https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf>에서 2022.09.27. 인출.
- EPA. (2022). Air Quality Index (AQI): AQI Basics for Ozone and Particle Pollution.
<https://www.airnow.gov/aqi/aqi-basics/>에서 2022.08.20. 인출.
- EPA. (n.d.). Size comparisons for PM particles.
<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>에서 2022.08.05. 인출.
- Health Canada. (2019). Air Quality Health Index Messages. Publications: Healthy Living.
<https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/infographic-improve-indoor-air-quality.html> 에서 2022.09.11. 인출.
- Health Canada. (n.d.) Healthy Living – Health and environment: Environmental health potcast.

<https://www.canada.ca/en/health-canada/services/air-quality/podcast.html> 에서 2022.09.11. 인출.

WHO. (2020). Personal interventions and risk communication on air pollution. Meet.Rep., WHO, Geneva.

<https://www.who.int/publications/i/item/9789240000278>에서 2022.09.17. 인출.

WHO. (2021a). Ambient (outdoor) air pollution.

[https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)에서 2022.09.15. 인출.