

# 기후변화에 따른 대기오염물질 농도 변화 및 미세먼지 노출에 의한 건강 영향



Changes in Air Pollutant Concentrations Due  
to Climate Change and the Health Effect  
of Exposure to Particulate Matter

양원호 | 대구가톨릭대학교 교수

최근 미세먼지에 대한 국민적 관심은 날씨와 온도보다 미세먼지 농도를 우선 확인할 만큼 높다. 그뿐만 아니라 경유 노후 차량 폐기, 화력발전소 중지, 학교 교실의 공기청정기 설치 등에 찬성할 정도다. 지난 수년간 대기 중 미세먼지 농도는 미약하게 감소 경향을 나타내고 있다. 하지만 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 중 건강 위해가 더 높은 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)의 비중은 높아지고 있는 실정이다. 국민들이 체감하는 미세먼지에 대한 불안감은 더욱 높아지고 있다. 이것은 국민들이 미세먼지 노출에 따른 건강 영향을 실감하고 있으며, 미세먼지 노출 정보를 적절히 제공받지 못하는 위해 소통의 부재 때문이라고 생각한다. 미세먼지 노출은 조기 사망을 포함해 다양한 건강 영향을 야기하는 것으로 보고되고 있다. 기후변화는 대기 중 미세먼지 농도 수준에 영향을 줄 수 있기 때문에 함께 관리해야 한다. 미세먼지 발생원 관리, 산업장 집진 기술 개발, 노출 저감, 대기환경기준 강화 등 다양한 대응 방안을 제시할 수 있지만, 근원적으로 미세먼지 저배출의 친환경 사회구조(green society)가 되어야 한다.

## 1. 들어가며

최근의 미세먼지에 대한 국민적 관심은 아침에 일어나 날씨와 온도보다 미세먼지 농도를 먼저 알아볼 정도로 높다. 특히 겨울과 봄철 미세먼지 농도의 증가 원인은 화석연료를 주로 사용하

는 중국의 미세먼지와 황사가 북서풍을 따라 국내로 유입되기 때문이라는 분석이 일반적이다. 하지만 우리나라에서 발생하는 미세먼지의 양도 무시할 수 없는 실정이다.

우리는 그동안 주로 중국과 몽골에서 유입되는 황사로 봄철 미세먼지에 관심이 많았지만, 현

재는 계절에 관계없이 매일의 일상생활에서 미세먼지 노출에 따른 건강 위험을 염려하는 상황이 되었다. 미세먼지의 대부분이 중국 등 외부에서 유입된 것인지, 국내 차량, 난방, 발전소, 산업체 등에서 주로 발생한 것인지에 대한 의문부터 주택, 식당 등의 실내환경에서 삼겹살과 고등어 등의 조리 시 발생하는 미세먼지에는 어떻게 대처해야 하는지 등 다양한 논란과 혼돈 속에 국민들은 일상 속에서 미세먼지에 대한 불안감을 지속적으로 갖고 있다(통계청, 2018).

공기 중에 부유되어 있는 고체나 액체의 입자(particle)들을 총칭하여 입자상 물질(PM: Particulate Mater) 또는 에어로졸(aerosol)이라고 한다. 대기환경에서 입자 직경(공기역학적 직경) 크기는 대부분 0.001~100 $\mu\text{m}$ 의 범위이다. 이 정도의 입자 크기를 가진 입자상 물질은 대부분 사람의 호흡기를 통해 공기와 함께 흡입되어 노출될 수 있기 때문에 건강 영향 측면에서 매우 중요하다. 미세먼지는 일반적으로 입자 직경 크기에 따라 미세먼지(PM<sub>10</sub>), 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>)로 구분된다. 미세먼지는 입자 직경이 10 $\mu\text{m}$ 보다 작은 크기의 먼지로 상기도나 기관지에 주로 침적된다. 초미세먼지는 입자 직경이 2.5 $\mu\text{m}$  이하인 물질로 미세먼지보다 상대적으로 입자 직경이 작다. 따라서 폐포에 침적하여 호흡기에 미치는 영향이 미세먼지보다 더 크다(Atkinson, Mills, Walton, & Anderson, 2015).

한편 미세먼지 노출에 따른 건강 위험과 별도로 지구 온난화로 대표되는 기후변화는 그동안 남극의 얼음을 녹임으로써 발생하는 해수

면 상승과 생태계의 변화로 인식되었다. 하지만 기후변화가 대기 중 공기오염물질 농도 증가에 기여한다는 보고는 기후변화가 대기 중 미세먼지 농도 수준에 영향을 줄 수 있음을 나타낸다(Doherty, Heal, & O'Connor, 2017). 따라서 넓은 범위에서 최근의 미세먼지 노출에 따른 건강 위험은 기후변화와 함께 고려되어야 함을 의미한다(Dean & Green, 2018). 세계보건기구(WHO)는 기후변화로 인한 대표적인 건강 위험 요인으로 오존층 감소와 폭염뿐만 아니라 미세먼지 등의 대기오염을 제시하였다(World Health Organization[WHO], 2004).

이 글에서는 최근의 국민적 관심사인 미세먼지 노출에 따른 건강 영향에 초점을 두고 기존 자료를 고찰하였다. 기후변화에 따른 미세먼지 농도의 증가 영향과 미세먼지 노출을 감소시키는 방안을 제시하고자 하였다.

## 2. 기후변화와 미세먼지

기후변화는 대기 온도의 상승, 강우량의 변화, 폭우와 가뭄 같은 날씨 변동으로 인한 환경의 변화를 초래하고 사람들의 건강에도 큰 영향을 미칠 수 있다. 기후변화 보고서에 따르면 1880~2012년 평균기온 대비 2003~2012년의 평균기온은 약 0.78 $^{\circ}\text{C}$  상승하였다. 전 세계 온실가스의 배출은 2035년까지 0.3~0.7 $^{\circ}\text{C}$ 의 온도를 상승시킬 것으로 예측하였다(World Meteorological Organization[WMO], 2015).

기후변화는 지표면의 온도 상승과 함께 대기

질에 영향을 줄 가능성이 있다고 보고되고 있다(Dias, Tchepel, Carvalho, Miranda, & Borrego, 2012). Ebi & McGregor(2008)의 보고에 따르면 기후변화는 대기오염물질 중 특히 오존(O<sub>3</sub>)과 미세먼지의 농도 수준을 증가시키며, 노출되는 사람들의 사망률과 유병률에 영향을 줄 수 있다고 하였다. 특히 선진국의 주요 도시가 이런 현상과 관련 있는 것으로 보고하였다.

공기 중 미세먼지는 다양한 자연적(화산 폭발, 자연 화재), 인공적(난방, 차량, 산업체 등) 원인으로 발생한 혼합물질로, 액상 또는 고체상의 다른 입자로 구성되어 있다. 기후변화가 대기 중 온도 상승으로 오존의 농도를 증가시키는 것은 비교적 명확하지만, 미세먼지의 농도 증가는 다소 불확실성이 높은 것으로 보고되고 있다(Tainio et al., 2013). 하지만 Jacob & Winner(2009)는 기후변화로 인한 온도 상승은 대기의 상하 혼합을 감소시키기 때문에 대기 중 미세먼지 농도를 증가시킬 수 있으며, 자연적 화재의 증가도 미세먼지 농도를 높일 수 있다고 보고하였다. 반면 기후변화는 지구물리학 및 기상학적 변수에 영향을 주기 때문에 오히려 미세먼지 농도가 감소할 수 있다고 보고되기도 하였다(Tainio et al., 2013). 이것은 전 지구적 범위에서 어떤 지역 미세먼지의 연평균 농도 증가가 다른 지역의 감소를 나타내기 때문이다(Racherla & Adams, 2006).

한편 국내 연구에서 기후변화에 따른 대기 중 오존의 농도 증가는 양(+)의 상관성을 나타냈지만, 미세먼지는 상관성이 매우 낮으며 강수가 관

측된 날들을 제외한 분석과 황사 관측일을 제외한 분석에서는 상관성이 거의 없는 것으로 보고되었다(배현주, 2011). 이 보고서에서는 기후변화가 지속되는 상황에서도 미세먼지는 기상에 의한 영향보다 인구 및 차량의 증가와 같은 사회 경제적 상황에 따른 영향이 더 클 것이라고 주장하였다.

그동안의 기후변화와 미세먼지의 관련성에 대한 연구 결과를 고찰할 때, 기후변화는 지상 대기의 오존 농도 상승을 야기하지만, 미세먼지의 농도 증가는 불확실한 것으로 판단할 수 있다. 하지만 기후변화는 온도 상승과 습도 변화를 야기한다. 이런 변화는 대기오염물질 거동(확산과 이동)에 영향을 주기 때문에 미세먼지 농도 변화와 관련성이 있을 것으로 생각한다. 특히 오존 농도의 증가는 대기 중 광화학스모그 때문이며 그 원인 물질이 질소산화물(NO<sub>x</sub>)과 휘발성유기화합물(VOCs)임을 고려할 때, 가스 상태의 물질이 입자상 물질로 변화하는 기전을 통해 알 수 있는 것은 기후변화가 대기 중 미세먼지 농도에 영향을 줄 수 있다는 점이다(Fuzzi et al., 2015). Tai, Mickley, & Jacob(2010)의 연구에서는 대기의 기상 변수(온도, 습도, 강수, 순환)가 초미세먼지 농도 변이의 50%까지 설명될 수 있으며, 정체된 대기는 순환되는 대기에 비해 평균적으로 초미세먼지 농도가 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  높다고 하였다. 앞으로 더 많은 연구가 필요하겠지만, 기후변화는 대기 중 미세먼지를 포함한 대기오염물질 농도 수준 그리고 이에 따른 국민 건강에 영향을 줄 것으로 판단한다(박혜경, 2018).

### 3. 미세먼지 노출에 따른 건강 영향

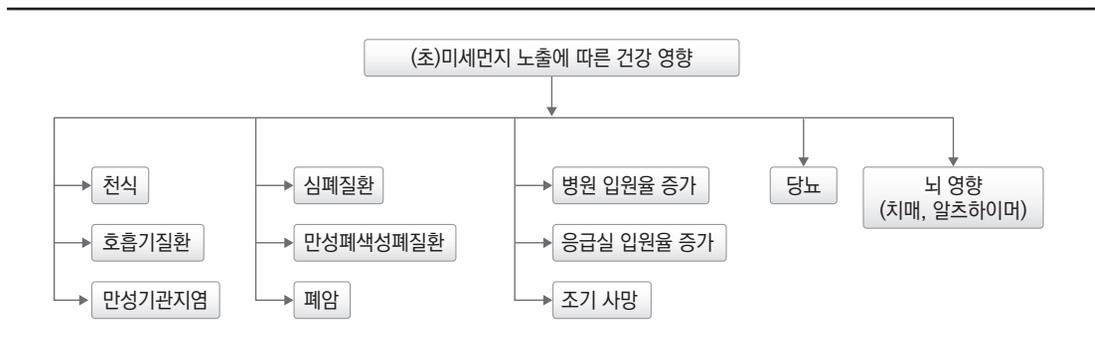
미세먼지의 노출은 일반적으로 호흡기 자극 및 질환의 증가, 폐기능의 감소, 천식의 악화, 만성기관지염의 악화, 심박수의 악화, 심장질환, 심근경색, 폐암 등을 야기할 수 있다(장안수, 2014). 세계보건기구(WHO)에서는 2013년 미세먼지를 발암물질로 규정하였다(WHO, 2013). 그동안 미세먼지 노출에 따른 건강 영향에 대해서는 수많은 논문과 보고서가 발표되었다. 이 가운데 전 세계적으로 가장 많이 인용되는 것은 Pope 외(2002)가 보고한 것으로, 미세먼지 농도가  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가할 때마다 모든 질병, 심폐질환, 폐암의 사망률이 각각 유의하게 4%, 6%, 8% 증가한다는 것이다.

미세먼지의 노출에 대한 건강 영향으로는 입원율 증가, 응급실 입원 증가, 호흡기 자극 증상, 만성 호흡기 및 심혈관계질환의 심화, 감소된 폐기능과 조기 사망률의 증가가 확인되었다(Kim, E.

Kabir, Kabir, 2015; 명준표, 2016). 연구자들은 미세먼지의 고농도 노출은 저체중 영아 및 영유아 사망과 연관성이 있으며, 호흡곤란, 가슴 찢임과 고통, 기침, 감기도 발생시키는 것으로 보고하였다(Guaita, Pichiule, Mate, Linares, & Diaz, 2011). 또한 미세먼지의 노출은 당뇨와 연관성을 나타내기도 하였다(Pearson, Bachireddy, Shyamprasad, Goldfine, & Brownstein, 2010). <그림 1>은 (초)미세먼지 노출에 따른 건강 영향을 개략적으로 나타낸 것이다.

인구 집단 중 어린이와 노인은 다른 인구 집단에 비해 미세먼지 노출에 따른 건강 영향이 더 클 수 있다. 어린이의 만성적 미세먼지 노출은 폐와 폐기능 성장에 영향을 주는 것으로 나타났다(Sacks et al., 2011; Brauer et al., 2012; 유희중 외, 2017). 미세먼지의 만성적 노출은 천식과 만성폐색성폐질환(COPD)을 야기할 수 있다. 천식 질환자는  $\text{PM}_{10\sim 2.5}$ ( $10\sim 2.5\mu\text{m}$ )의 농도가  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가할 때마다 병원 입원율이 18% 증가

그림 1. 미세먼지 노출에 따른 건강 영향 개요



자료: 국내외에서 보고된 다수의 자료를 참고하여 구성함.

하는 것으로 나타났다(Tecer, Alagha, Karaca, Tuncel, & Eldes, 2008; Wyzga & Rohr, 2015). 이것은 호흡기 관련 질환자가 일반인보다 미세먼지 노출에 더 큰 건강 영향이 있음을 나타낸다.

미세먼지는 질량농도( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 의존한 건강 영향만을 언급할 수는 없다. 이것은 미세먼지의 구성 성분이 같은 질량농도이더라도 다를 수 있기 때문이다. 미세먼지가 탄소 성분(black carbon, 유기탄소, 생물체), 이온 성분(염소, 질산, 황산, 암모늄, 나트륨 등), 금속 성분(납, 비소, 카드뮴, 수은 등), 다환방향족탄화수소 등 다양한 성분을 포함하고 있기 때문이다. 먼지의 표면적, 개수, 물리적 성상에 따라 건강에 미치는 영향이 다르기 때문이기도 하다(Dominici et

al., 2015).

최근 미세먼지 노출은 두뇌에도 영향을 주는 것으로 보고되었다(Underwood, 2017). 다소 논쟁의 여지가 있지만, 이 연구에 따르면 미세먼지의 노출은 두뇌에 영향을 주며 인지 노화(cognitive aging)를 가속화한다고 하였다. 또한 알츠하이머와 치매의 증가된 위험을 나타내었다. 이 결과에서는 미국 환경청(EPA)의 초미세먼지( $\text{PM}_{2.5}$ ) 기준인  $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 여성 노인의 치매가 약 2배 증가한다고도 보고되었다.

미세먼지 노출에 따른 건강 영향을 고려하여 국내에서는 대기환경의 미세먼지와 초미세먼지에 대한 농도 기준을 강화하고 있다. 실내환경에서는 현재 미세먼지에 대한 유지 기준만 있다. 초미세먼지에 대해서는 권고 기준만 있으나, 2019

표 1. 국내외 미세먼지의 대기환경기준

구분		기준
대한민국	PM <sub>10</sub>	• 연간 평균치 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$
		• 24시간 평균치 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$
	PM <sub>2.5</sub>	• 연간 평균치 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$
		• 24시간 평균치 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$
미국	PM <sub>10</sub>	• 24시간 평균치 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$
	PM <sub>2.5</sub>	• 1차 연간 평균치 $12\mu\text{g}/\text{m}^3$
		• 2차 연간 평균치 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$
		• 24시간 평균치 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$
세계보건기구	PM <sub>10</sub>	• 연간 평균치 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$
		• 24시간 평균치 $50\mu\text{g}/\text{m}^3$
	PM <sub>2.5</sub>	• 연간 평균치 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$
		• 24시간 평균치 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$

자료: 대한민국 환경부, 미국 환경청, 세계보건기구. (2019). 대기환경기준.

표 2. 국내 미세먼지 실내환경기준

구분	실내 공기질 유지 기준(현황)		실내 공기질 유지 기준(개정, 2019년 7월)	
	다중이용시설	의료기관 등	다중이용시설	의료기관 등
PM <sub>10</sub>	150 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	100 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	100 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	75 $\mu$ g/m <sup>3</sup>
PM <sub>2.5</sub>	-	-	50 $\mu$ g/m <sup>3</sup>	35 $\mu$ g/m <sup>3</sup>

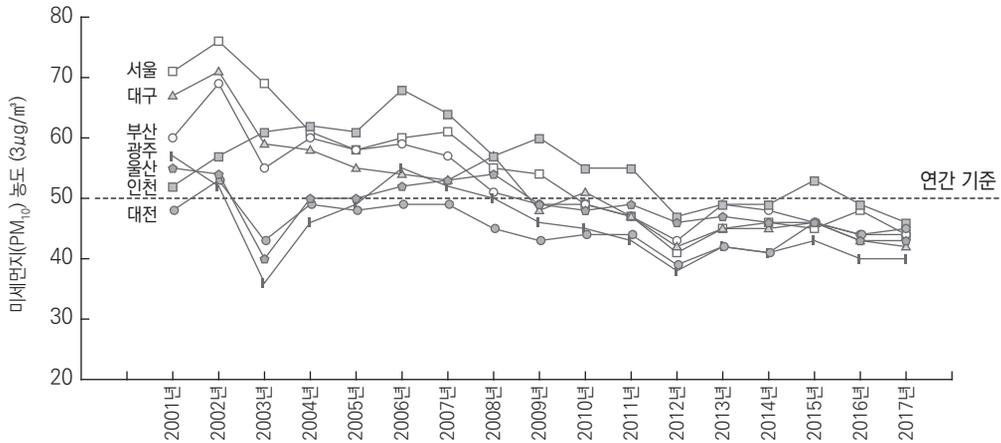
자료: 대한민국 환경부. (2019). 실내환경기준.

년 7월부터 초미세먼지에 대한 유지 기준이 신설된다. 실내환경기준은 전 세계적으로 우리나라를 포함한 일부 국가(대만, 싱가포르)만 제시하고 있다. 이것은 사람들이 생활하는 환경이 대부분 실외 대기보다 주택 등 실내환경이고, 미세먼지의 노출은 대부분 실내환경에서 이루어지기 때문이다(Yang et al., 2011). 특히 실내환경에서 조리 시 발생하는 미세먼지는 가스레인지 연소, 조리용 기름, 어육의 가열에 의한 것으로, 재실자에게 고농도 노출을 야기할 수 있음이 보고되었다(김성미, 이임학, 이경빈, 김진식, 권명희, 2017). 국내외 대기환경의 미세먼지 기준과 국내 실내환경기준을 <표 1>과 <표 2>에 나타내었다. 세계보건기구에서는 대기환경기준을 실내환경기준과 동일하게 적용하고 있다(WHO, 2010).

지난 17년 동안 국내의 대기 중 미세먼지 연평균 농도를 대도시 중심으로 <그림 2>에 나타내었다(국립환경과학원, 2018). 그동안 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도는 감소하는 경향을 나타냈지만, 2012년 이후부터는 비슷한 수준을 보이고 있다.

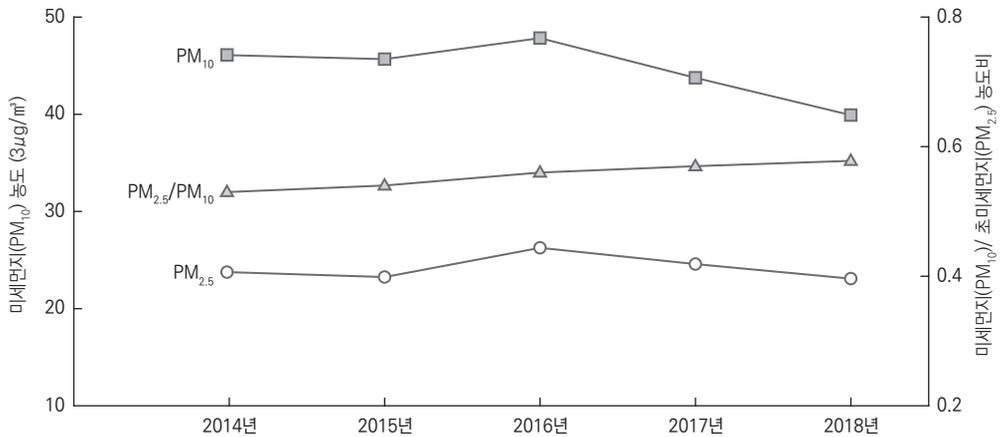
수도권이 타 도시에 비해 다소 높은 농도값을 나타낸다. 세계보건기구에 따르면 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비(PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> concentration ratio)는 일반적으로 0.5(범위 0.4~0.8)를 나타내기 때문에 PM<sub>10</sub>의 농도를 이용하여 PM<sub>2.5</sub>를 추정하며, 대기환경기준도 PM<sub>2.5</sub>가 PM<sub>10</sub>의 2분의 1 값을 나타내고 있다(WHO, 2014). 비교적 최근에 측정되는 초미세먼지에 대해 서울시 대기환경 정보를 이용하여 2014년부터 2018년까지의 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도, 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 농도, PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비를 <그림 3>에 나타내었다(서울특별시 대기환경 정보, 2019). <그림 3>에서 미세먼지 농도는 감소 경향을 보이지만, 초미세먼지는 비슷한 수준을 나타내고 있다. 따라서 PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 농도비는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 초미세먼지 노출에 따른 건강 위해가 미세먼지보다 높은 것을 고려하면 초미세먼지 노출에 따른 건강 영향이 커질 가능성을 나타낸다고 할 수 있다.

그림 2. 국내 주요 도시의 미세먼지(PM10) 연도별 농도 변화



자료: 국립환경과학원. (2018). 대기환경연보 2017. 원자료를 이용해 분석함.

그림 3. 서울시의 연도별 (초)미세먼지 농도 및 PM2.5/PM10 농도비 변화



자료: 서울특별시 대기환경정보. (2019). 원자료를 이용해 분석함.

#### 4. 미세먼지 노출 감소 방안

미세먼지에 대해 국민들이 느끼는 불안감은

높아지고 있다. 2018년 통계청 사회조사에 따르면 환경문제 중 미세먼지에 대한 불안이 82.5%로 가장 높았다(통계청, 2018). 이렇게 된 데는

미세먼지 농도의 개선이 부족한 면이 있다. 이에 더해 공기 중 미세먼지 농도에 대한 노출 정보의 부족함을 나타내는 것으로도 보인다. 현재 환경부에서 인터넷과 모바일로 제공하는 미세먼지 농도는 보통 지역에서 가장 가까운 대기 고정 측정망 농도값이다. 이 농도값이 실제 개인이 호흡하는 미세먼지 농도값이 아니라 지역을 대표하는 농도값이기 때문이다. 이런 대기 고정 측정망의 노출 정보 한계점을 극복하기 위하여 최근 국내외에서는 4차 산업혁명 기술인 센서, 사물인터넷(IoT: Internet of Things), 정보통신 기술(ICT: Information and Communication Technology), 인공지능 기술을 활용하여 개인 노출 정보를 제공하는 연구를 진행하고 있다 (Nyarku et al., 2018).

우리나라의 미세먼지 농도는 국내 발생량과 함께 대기의 거동을 통해 중국 등 주변 국가로부터 유입된 양에 의해 결정된다. 또한 강우, 강설에 따른 토양의 침적도 영향을 준다. 특히 우리나라의 미세먼지는 중국에서 유입되는 미세먼지가 50% 정도 수준이다. 최근 언론 보도(1월 최악 미세먼지, 75%가 중국 탓)와 같이 심할 경우 70% 이상이 될 수도 있다.

미세먼지 노출에 따른 건강 영향을 줄이기 위한 방안은 크게 두 가지로 제안할 수 있다. 첫째 발생원 관리 대책이며, 둘째 노출 관리 대책이다. 발생원 관리 대책은 정부 차원에서 수행할 수 있는 경유차 등 차량 운행 관리, 불법 소각 금지, 산업장 배출 관리, 건설업 배출 관리 등이다. 국외의 미세먼지 유입 관리는 주변국과의 환경 협

력이 필수적이다. 또한 비점오염원(non-point sources) 관리와 광화학스모그 시 가스상 물질이 입자상으로 변화하는 것을 고려하여 질소산화물과 휘발성유기화합물의 발생도 함께 관리해야 한다. 화력발전소, 산업장 등은 집진시설을 통해 실외 대기로 배출되는 미세먼지의 양을 최대한 감소시켜야 하며, 국민 개인은 개인 차량보다는 공공 운송 수단을 이용해야 한다. 무엇보다도 국가 정책을 저에너지 사용과 오염물질 저배출 사회(low emission society)로 바꿔 나가는 근원적 체계 전환이 필요하다(Korsnes & Sorensen, 2017).

노출 감소 방안은 정부 및 개인적 차원에서 수행될 수 있으며, 실외 대기환경과 실내환경 측면에서 생각할 수 있다(Laumbach, Meng, & Kipen, 2015). 정부 차원에서는 공공시설 등 다중이 이용하는 실내환경 시설에 미세먼지 제어가 가능한 환기장치, 공기청정기를 설치하는 것 등이 필요하다. 최근 학교 교실의 환기장치와 공기청정기 설치를 예로 들 수 있다. 개인적 차원에서는 차량의 미세먼지 노출을 줄이기 위해 차량 혼잡시간에는 이동을 줄여야 한다. 특히 대기의 미세먼지 농도가 높거나 높을 것으로 예상된다면 실외 운동 등 실외 활동을 자제해야 한다. 대기의 미세먼지 농도가 높을 경우 실내로 유입되는 것을 방지하기 위해 실내의 환기량을 감소시켜야 하며, 환기할 경우에는 필터에서 미세먼지가 제어된 후 유입되도록 한다. 실내 공기질은 대부분의 사람들이 실내에서 생활하기 때문에 미세먼지 노출 측면에서 중요하다. 실내에서 미세

먼지가 발생하지 않도록 하기 위해서는 실내 흡연을 금지하고, 조리 시 발생한 미세먼지가 국소 환기(local ventilation) 장치를 통해 밖으로 배출되도록 해야 한다. 실내에서 초와 향의 연소는 제한하는 것이 좋으며, 방향제, 세정제 등 생활 화학제품의 사용도 가급적 줄이는 것이 필요하다. HEPA(high-efficiency particulate air) 필터를 내장한 공기청정기 사용도 미세먼지의 농도를 줄일 수 있다.

## 5. 나가며

지난 수년간 대기 중 미세먼지 농도는 감소하는 경향을 나타냈지만, 2012년 이후부터는 비슷한 수준을 나타내고 있다. 건강 위해가 더 높은 초미세먼지는 미세먼지에서 차지하는 비율이 높아지고 있다. 미세먼지 노출에 따른 건강 영향 때문에 국민들의 미세먼지에 대한 불안감은 더욱 높아지고 있다. 미세먼지 노출에 따른 건강 영향은 입원율 증가, 응급실 입원 증가, 호흡기 증상, 만성호흡기 및 심혈관계질환의 심화, 폐기능 감소, 조기 사망률의 증가를 가져온다. 그뿐만 아니라 두뇌에도 영향을 주기 때문에 치매, 알츠하이머 질환자 증가에 영향을 미칠 수 있다. 이에 따라 정부는 국민의 건강증진을 위하여 대기 중 미세먼지를 줄이려고 다양한 방법으로 접근하고 있다. 근원적으로 해결하려면 저에너지 사용, 녹색도시 등 미세먼지 저배출의 총체적 친환경 시스템으로 변화되어야 한다. 개인적인 측면에서도 미세먼지 발생의 원인자가 되지 않도록 노력

해야 한다. 미세먼지 농도 수준은 기후변화와 밀접히 연관되어 있기 때문에 단순히 미세먼지 발생 감소와 노출 저감만을 고려하는 것보다는 종합적인 공기오염물질 관리를 추진해야 할 것이다. 국민 개인에게 미세먼지 노출 정보를 적절히 제공할 수 있는 시스템도 필요하다. ■

## 참고문헌

- 국립환경과학원. (2018). 대기환경연보 2017. 인천: 국립환경과학원 대기환경과.
- 김성미, 이임학, 이경빈, 김진식, 권명희. (2017). 고등어 조리 시 발생하는 미세먼지의 입경 분석. 한국대기환경학회지, 33, 361-369.
- 명준표. (2016). 미세먼지와 건강 장애. 대한내과학회지, 91, 106-113.
- 박혜경. (2018). 대기오염과 기후변화: 천식에 미치는 영향. Allergy Asthma Respir Dis., 6, 79-84.
- 배현주. (2011). 기후변화에 의한 대기오염 및 건강영향 연구. 인천: 국립환경과학원.
- 서울특별시 대기환경정보. (2019). <http://cleanair.seoul.go.kr/main.htm>. 2019년 2월 23일 인출.
- 유희중, 김정곤, 신재원, 김영주, 민성은, 제갈대성, ...방기인. (2017). 인천지역 기후변화에 따른 미세먼지의 건강 취약성 평가. 한국환경보건학회지, 43, 240-246.

- 장안수. (2014). 미세먼지가 건강에 미치는 영향. *J.Korean Med.Assoc.*, 57, 763-768.
- 환경부. (2019). 대기환경기준. <http://www.me.go.kr/mamo/web/index.do?menuId=586>. 2019년 2월 23일 인출
- 환경부. (2019). 실내환경기준. 실내공기질 관리법 시행규칙.
- 통계청. (2018). 2018년 사회조사 결과(가족, 교육, 보건, 안전, 환경).
- Atkinson, R. W., Mills, I. C., Walton, H. A., & Anderson, H. R. (2015). Fine particle components and health – a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 25, 208-214.
- Brauer, M., Amann, M., Burnett, R. T., Cohen, A., Dentener, F., Ezzati, M., et al. (2012). Exposure assessment for estimation of the global burden of disease attributable to outdoor air pollution. *Environmental Science Technology*, 46, 652-660.
- Dean, A. & Green, D. (2018). Climate change, air pollution and human health in Sydney, Australia: A review of the literature. *Environmental Research Letters*, 13, 1-15.
- Dias, D., Tchepel, O., Carvalho, A., Miranda, A. I., & Borrego, C. (2012). Particulate matter and health risk under a changing climate: assessment for Portugal. *The Scientific World Journal*, 1-10.
- Doherty, R. M., Heal, M. R., & O'Connor, F. M. (2017). Climate change impacts on human health over Europe through its effect on air quality. *Environmental Health*, 16(Suppl 1), 33-44.
- Dominici, F., Wang, Y., Correia, A. W., Ezzati, M., Pope, A., & Dockery, D. W. (2015). Chemical composition of fine particulate matter and life expectancy: in 95 US counties between 2002 and 2007. *Epidemiology*, 26, 556-564.
- Ebi, K. L., & McGregor, G. (2008). Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. *Environmental Health Perspectives*, 116, 1449-1455.
- Guaita, R., Pichiule, M., Mate, T., Linares, C., & Diaz, J. (2011). Short-term impact of particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) on respiratory mortality in Madrid. *Int.J. Environ. Health Res.*, 21, 260-74.
- Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. *Atmospheric Environment*, 43, 51-63.

- Fuzzi, S., Baltensperger, U., Carslaw, K., Decesari, S., Gon, D., Facchini, M. C., et al. (2015). Particulate matter, air quality and climate: lessons learned and future needs. *Atmos.Chem.Phys.*, 15, 8217-8299.
- Kim, K., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136-143.
- Korsnes, M., & Sorensen, K. H. (2017). Striving for a Norwegian low emission society post 2050. *CenSES*.
- Laumbach, R., Meng, Q., & Kipen, H. (2015). What can individuals do to reduce personal health risks from air pollution. *Journal of Thoracic Disease*, 7, 96-107.
- Nyarku, M., Mazaheri, M., Jayaratne, R., Dunbabin, M., Rahman, M. M., Uhde, E., et al. (2018). Mobile phones as monitors of personal exposure to air pollution: is this the future? *PLOS One*. 1-18.
- Pearson, J. F., Bachireddy, C., Shyamprasad, S., Goldfine, A. B., & Brownstein, J. S. (2010). Association between fine particulate matter and diabetes prevalence in the U.S. *Diabetes Care*, 33, 2196-2201.
- Pope, C. A., Burnett, R. T., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., Ito, K., & Thurston, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 287, 1132-1141.
- Racherla, P. N., & Adams, P. J. (2006). Sensitivity of global tropospheric ozone and fine particulate matter concentrations to climate change. *Journal of Geophysical Research*, 111, 1-11.
- Sacks, J. D., Stanek, L. W., Luben, T. J., Johns, D. O., Buckley, B. J., Brown, J. S., & Ross, M. (2011). Particulate matter - induced health effects: who is susceptible?. *Environmental Health Perspective*, 119, 446-454.
- Tai, A. P., Mickley, L. J., & Jacob, D. J. (2010). Correlations between fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>) and meteorological variables in the United States: Implications for the sensitivity of PM<sub>2.5</sub> to climate change. *Atmospheric Environment*, 44, 3976-3984.
- Tainio, M., Juda-Rezler, K., Reizer, M., Warchalowski, A., Trapp, W., & Skotak, K. (2013). Future climate and adverse health effects caused by fine particulate matter air pollution: case study for Poland. *Reg. Environ. Change*, 13, 705-

- 715.
- Tecer, L. H., Alagha, O., Karaca, F., Tuncel, G., & Eldes, N. (2008). Particulate matter (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10-2.5</sub>, and PM<sub>10</sub>) and children's hospital admissions for asthma and respiratory diseases: a bidirectional case-crossover study. *J. Toxicol. Environ. Health A*, 71, 512-20.
- Underwood, E. (2017). The polluted brain. *Science*, 355, 342-345.
- World Health Organization(WHO). (2004). Using climate to predict infectious disease outbreak: a review.
- World Health Organization(WHO). (2010). WHO guidelines for indoor air quality - selected pollutants.
- World Health Organization(WHO). (2013). IARC: outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths.
- World Health Organization(WHO). (2014). WHO's ambient air pollution database - update 2014.
- World Meteorological Organization(WMO). (2015). Climate change 2014: synthesis report.
- Wyzga, R. E., & Rohr, A. C. (2015). Long-term particulate matter exposure: attributing health effects to individual PM components. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 65, 523-543.
- Yang, W., Lee, K., Yoon, C., Yu, S., Park, K., & Choi, W. (2011). Determinants of residential indoor and transportation activity times in Korea. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 21, 310-316.