이슈페이퍼 2017-02

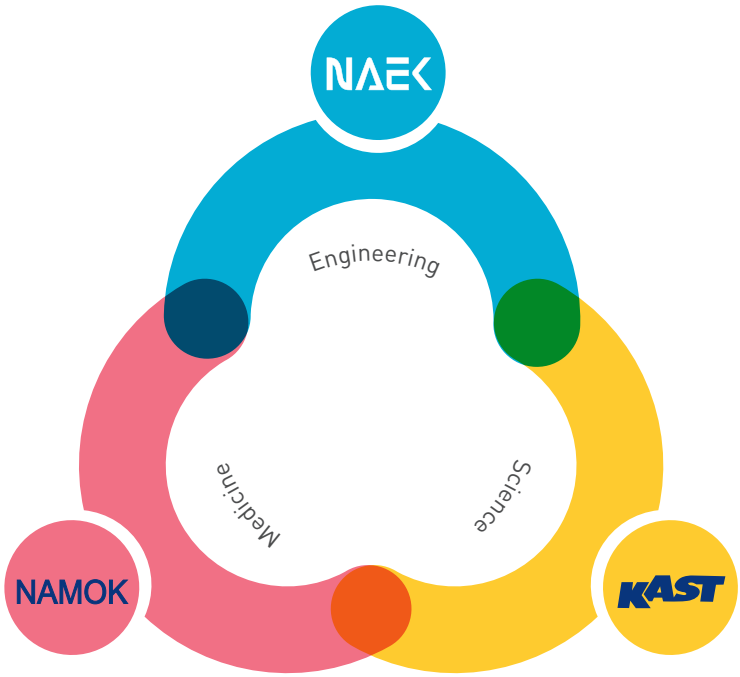
한국공학한림원·한국과학기술한림원·대한민국의학한림원

석학 정책제안

미세먼지 문제의 본질과 해결 방안

① 미세먼지, 무엇이 문제인가?

2017. 11

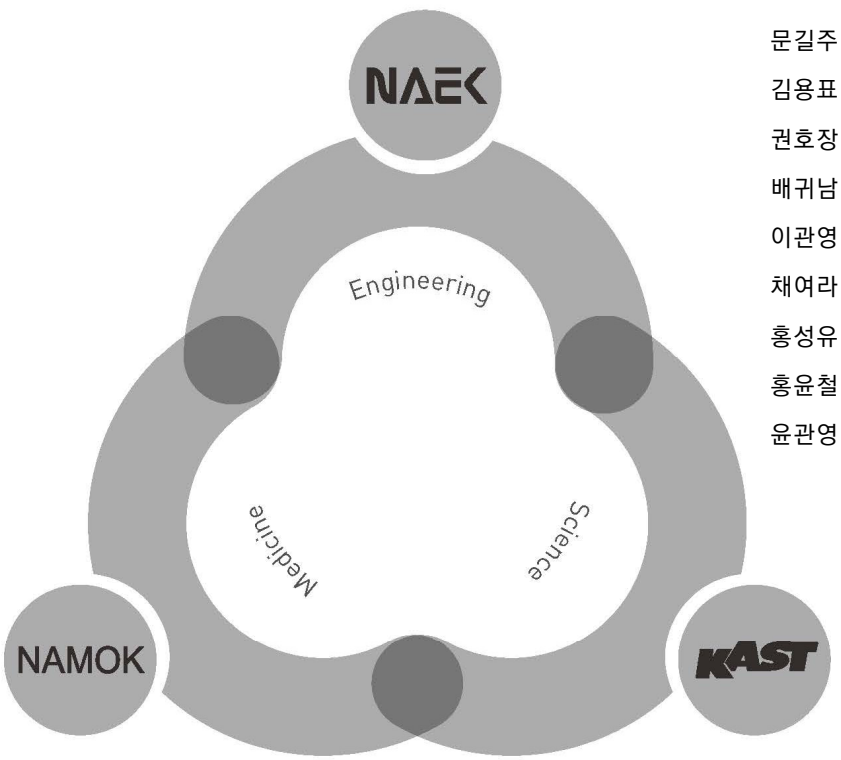


NAEK 한국공학한림원 The National Academy of Engineering of Korea
KAST 한국과학기술한림원 The Korean Academy of Science and Technology
대한민국의학한림원 National Academy of Medicine of Korea

이슈페이퍼 2017-02

미세먼지 문제의 본질과 해결 방안

① 미세먼지, 무엇이 문제인가?



미세먼지정책위원회

문길주	과학기술연합대학원대학교 총장	위원장
김용표	이화여자대학교 환경공학과 교수	부위원장
권호장	단국대학교 의과대학 교수	위원
배귀남	미세먼지사업단 단장	위원
이관영	고려대학교 연구부총장	위원
채여라	한국환경정책평가연구원 기후융합연구실장	위원
홍성유	한국형수치예보모델개발사업단 단장	위원
홍윤철	서울대학교 의과대학 교수	위원
윤관영	한국공학한림원 선임연구원	간사

본 연구는 과학기술정보통신부의 과학기술종합조정지원사업 예산 지원을 받아 진행되었습니다.

미세먼지 문제의 본질과 해결 방안

① 미세먼지, 무엇이 문제인가?

CONTENTS

제1장 한국 미세먼지는 얼마나 위험한가? 1

Ⅰ. 한국 미세먼지 농도는 선진국에 비해 높다. 1

Ⅱ. 한국은 고소득 국가 가운데 가장 많은 인구가 대기오염에 노출되어 있다. 2

Ⅲ. 미세먼지에 의한 피해는 크며, 고령화로 인해 더욱 커질 전망이다. 3

제2장 높은 미세먼지 농도 원인은 무엇인가? 6

Ⅰ. 미세먼지 농도는 여러 과정을 거쳐 결정된다. 6

Ⅱ. 한국은 경제 수준이 높아지면 미세먼지 농도가 낮아지는 일반적인 추이와 다른 경로를 보이고 있다. 8

Ⅲ. 중국 경제 성장에 따른 에너지 사용 증가는 우리나라 미세먼지 농도에 큰 영향을 미칠 수 있다. 9

Ⅳ. 북한은 수도권 미세먼지 농도에 영향을 미치고 있다. 11

CONTENTS

제3장 미세먼지 저감 정책은 제대로 이루어지고 있는가? 12

Ⅰ. 국민 불안은 커지고 있다. 12

Ⅱ. 국민불안을 미세먼지 농도 탓으로만 돌릴 수 없다. 13

Ⅲ. 미세먼지에 대한 정부 관리와 소통 체계가 국민 신뢰를 얻지 못했다. 14

Ⅳ. 전문가 역할 미흡 15

Ⅴ. 언론 역할 미흡 16

Ⅵ. 사회적 협의 체계 미비 16

제4장 미세먼지로 인한 국민 불안을 해소할 있을까? 17

Ⅰ. 미세먼지 문제는 해결할 수 있다. 17

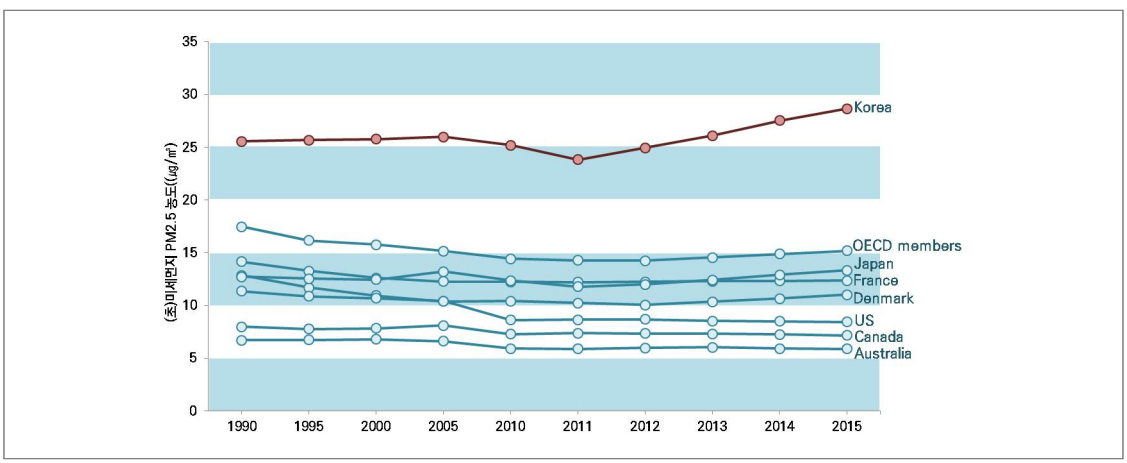
Ⅱ. 사회 전반적인 정책 수립과 시행 체계 변화가 필요하다. 18

제1장 한국 미세먼지는 얼마나 위험한가?

Ⅰ 한국 미세먼지 농도는 선진국에 비해 높다.

한국은 〈그림 1〉이 보여주듯이 경제협력개발기구(OECD) 회원국 가운데 미세먼지와 초미세먼지 농도가 높은 국가에 해당한다.[1] 초미세먼지 농도가 선진국 여러 나라에 비해 평균 2배 정도 높고, 농도가 낮은 일부 국가와 비교하면 4배 이상 높다. 인구밀집도가 높고 미세먼지로 인한 건강피해가 심각한 대도시에 국한해 비교하더라도, 서울 미세먼지와 초미세먼지 농도는 뉴욕 , 로스엔젤레스. 파리 등 선진국 주요 도시에 비해 높게 나타난다. 1980년대까지 대기오염으로 악명 높았던 로스엔젤레스 대기오염도, 특히 초미세먼지 농도조차 현재 서울에 비하면 매우 낮은 수준이다.

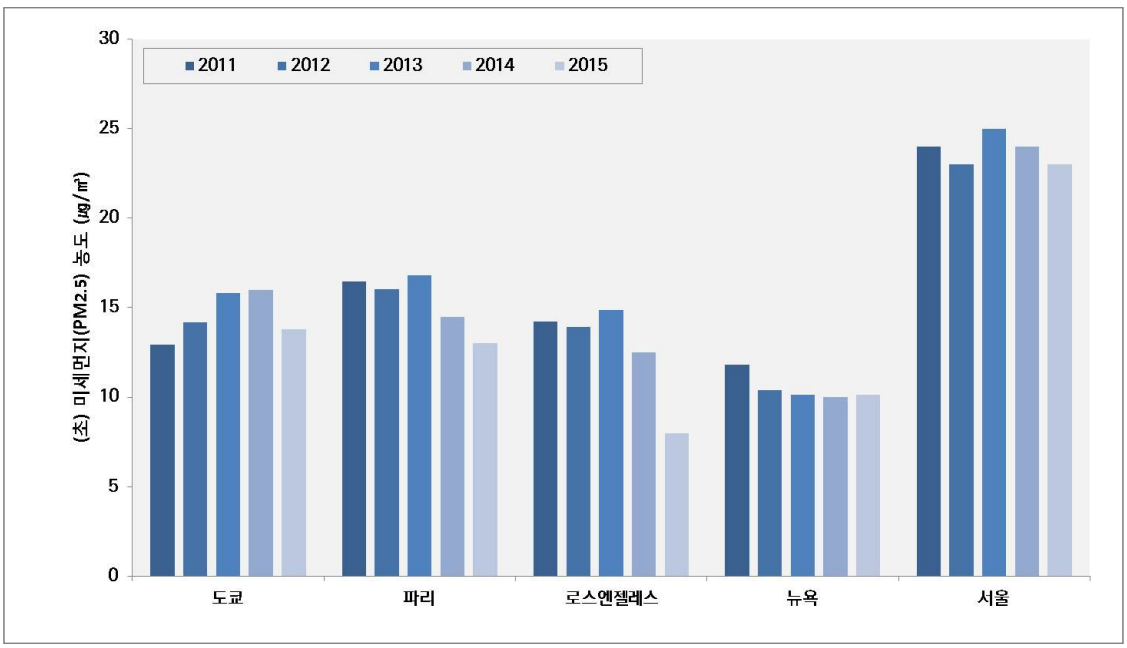
[그림 1] 우리나라와 경제협력개발기구(OECD) 국가의 1990년부터 초미세먼지 농도 추이



* 자료, OECD, http::/stats.oecd.org/

1) 미세먼지와 초미세먼지는 각각 크기가 10㎛와 2.5㎛보다 작은 대기에 떠있는 먼지를 말한다.

[그림 2] 서울과 외국 대도시 초미세먼지 농도 비교



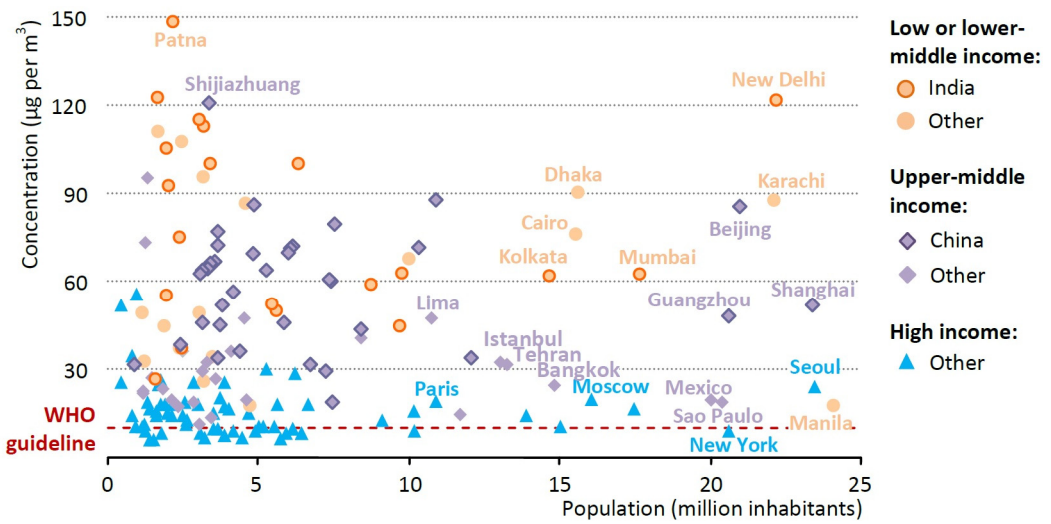
* 자료, OECD, http::/stats.oecd.org/

Ⅱ 한국은 고소득 국가 가운데 가장 많은 인구가 대기오염에 노출되어 있다.

현재 전 세계 많은 지역이 세계보건기구(WHO) 권고기준(연평균 10 ㎍/㎥) 이상의 대기오염에 노출되고 있다. 특히 서울/수도권은 〈그림 3〉이 보여주듯이 이천만 명 이상 인구가 세계보건기구 권고기준치를 초과한 초미세먼지 농도에 노출되고 있다[2]. 이는 분류 기준 고소득 국가 중 가장 많은 노출 인구에 해당한다[3]. 같은 대기오염도라도 대도시에 거주하는 인구 비율이 높은 한국 국민이 받은 영향이 상대적으로 더 클 수 있다는 얘기다.

2) IEA. 2015
3) World Bank, 2015

[그림 3] 전 세계 도시 소득 수준별 평균 미세먼지 농도와 노출 인구



Sources: WHO (2016) Global Urban Ambient Air Pollution Database; Demographia (2015) for population; country groups per income based on World Bank (2016).

Ⅲ 미세먼지에 의한 피해는 크며, 고령화로 인해 더욱 커질 전망이다.

(1) 미세먼지 건강피해 가운데 가장 심각한 것은 사망위험을 높인다는 점이다.

미세먼지로 인한 조기사망[4] 원인은 성인의 경우 심장질환, 뇌졸중, 만성폐쇄성 폐질환, 폐암 등이며 소아에서는 급성하기도 감염 등이다. 미세먼지는 당뇨병 등 다른 질환에도 영향을 미칠 가능성이 높다.

4) 조기사망이란 미세먼지가 없었더라면 더 살 수도 있었던 사람이 미세먼지 때문에 짧게는 몇 개월에서 길게는 몇 년 정도 일찍 죽는 것을 의미함.

(2) 한국은 미세먼지로 인한 조기사망자가 선진국 대비 높은 국가다.

세계보건기구가 발표한 2012년 한국의 대기 미세먼지로 인한 조기사망자는 11,500여명이다. 미국 건강영향연구소[5]에서 발표한 2015년 우리나라 미세먼지 조기사망자는 18,200여명에 이른다. 건강영향연구소에 의하면 인구 10만 명당 조기 사망자 수가 한국은 26명으로 일본 13명, 프랑스 12명, 미국의 8명 보다 2~3배 큰 것으로 나타났다.

(3) 고령화는 미세먼지로 인한 조기사망자 증가에 큰 영향을 미칠 전망이다.

한국의 미세먼지에 의한 조기사망자는 2060년에는 2010년 대비 3배 이상 증가할 것으로 예상된다. 이는 대기오염 악화와 함께, 급속한 인구구조 변화에 따른 것이다[6]. 〈그림 4〉에서 보듯이 고령화 국가(2015년 기준 65세 이상 인구의 비율이 14%를 넘는 나라)의 경우 미세먼지 농도가 같더라도 사망률이 증가한다는 점을 알 수 있다. 한국은 출산율 저하, 기대수명 증가 등으로 고령인구 비율이 급속히 증가하고 있다. 이에 따라 대기오염에 취약한 심뇌혈관질환이나 폐암 등에 의한 사망률이 높아져 대기오염으로 인한 조기사망자 수도 함께 증가할 것으로 예상된다.

(4) 미세먼지는 직접적 건강영향 이외에 사회경제적 피해도 야기한다.

건강 영향으로 인한 의료비용 증가 이외에 미세먼지 영향을 줄이기 위한 공기청정기[7], 마스크 등의 회피 비용이 증가하고, 관광, 생태, 농업 등 각종 경제 활동이 위축[8]되는 등 사회경제적 피해가 증가하고 있다.

---

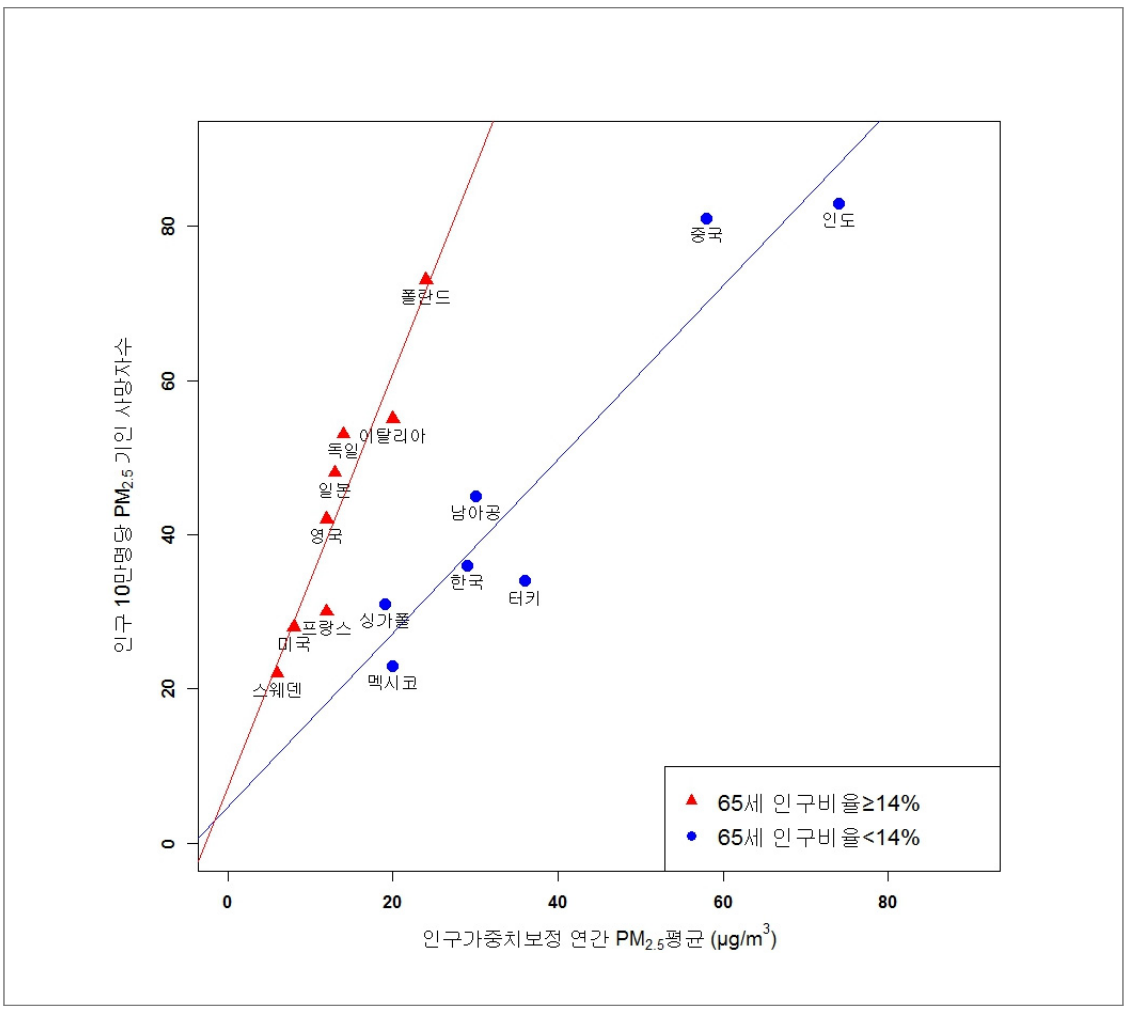
5) Health Effects Institute, HEI, 2017

6) OECD, 2016

7) 공기청정기 시장은 2013년에 비해 3000억에서 2016년 1조 시장으로 성장하였다.

8) 미세먼지 고농도 예보일이나 황사예보일에는 신용카드 결제건수가 평일에 비해 0.3% 감소하였다(신한카드)

[그림 4] 인구구조에 따른 미세먼지와 사망률 관련성



* 자료: 미세먼지 농도 및 사망자 수 (HEI, 2015); 인구통계(세계은행, 2015)

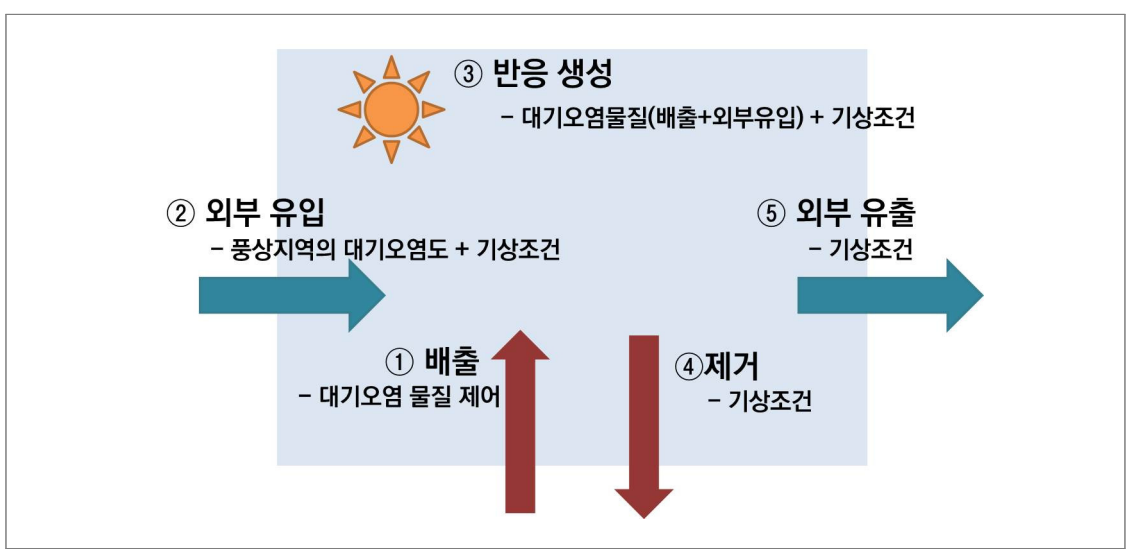
제2장 높은 미세먼지 농도 원인은 무엇인가?

Ⅰ 미세먼지 농도는 여러 과정을 거쳐 결정된다.

(1) 한국 미세먼지는 여러 변수들이 영향을 미치는 등 복잡한 과정에 의해 결정된다.

〈그림 5〉가 보여주듯이 ①배출은 한국에서 발생하는 여러 대기오염물질을 제어함으로써 결정된다. ②외부 유입은 한국 풍상지역(중국, 북한, 몽골)의 대기오염도와 기상조건에 따라 결정된다. ③반응 생성은 배출과 외부 유입에 의한 대기오염물질 농도와 기상 조건에 따라 결정된다. ④제거와 ⑤외부 유출되는 정도는 기상조건에 따라 결정된다.

[그림 5] 한국 대기 미세먼지 농도를 결정하는 과정들



⑵ 효과적인 미세먼지 저감을 위해서는 각 과정에 대한 과학적 이해가 필요하다.

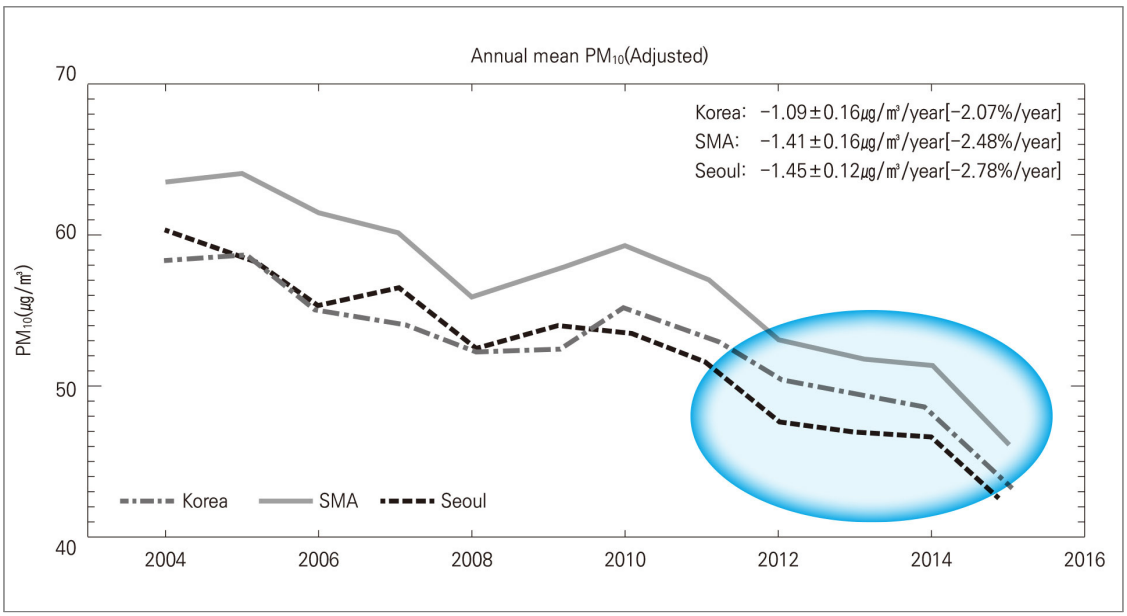
복잡한 여러 과정에 의해 미세먼지 농도가 결정되므로, 미세먼지 농도를 줄이기 위해서는 이들 과정에 대한 과학적이고 정량적인 이해가 요구된다. 과학적인 이해에 바탕을 두지 않은 단편적인 배출원 관리만으로는 미세먼지 농도를 줄이기 힘들며, 줄이더라도 비효율적일 수밖에 없다*.

* 예 1) 반응 생성: 대기화학반응의 비선형성으로 인해, 현재 수도권 대기 조건에서 다른 대기오염물질 배출을 같이 줄이지 않고 질소산화물 위주로 저감할 경우 미세먼지와 오존 생성은 증가할 가능성이 높다[9].

* 예 2) 기상/기후: 2013년부터 동아시아 미세먼지 발생현상 증가원인을 분석한 연구들에 따르면 동아시아 기상현상 변화에 따른 대기 중 확산현상의 감소가 주된 원인으로 꼽히고 있다. 최근 서울을 비롯한 한반도 미세먼지 농도 증가 또한 국내 및 중국 대기오염물질 배출량 증가라기보다 전지구적 지구온난화에 따른 한반도 기상현상 변화에 기인한다고 주장하는 연구결과가 보고되었다. 따라서 미세먼지 이동과 제거에 중요한 기상/기후 과정에 대한 보다 과학적인 이해 없이는 미세먼지 농도 추이에 대한 설명은 미흡할 수밖에 없다. 〈그림 6〉은 기상조건이 일정하다면 서울시, 수도권, 전국의 연평균 미세먼지는 배출량 감소로 인해 농도가 떨어졌어야 함을 보여주고 있다.

9) 김순태 등, 2017; KORUS-AQ 예비종합보고서, 2017

[그림 6] 기상조건이 일정하다고 가정하고, 대기오염물질 배출량 변화만을 고려하였을 경우 미세먼지 농도 예측치 추이

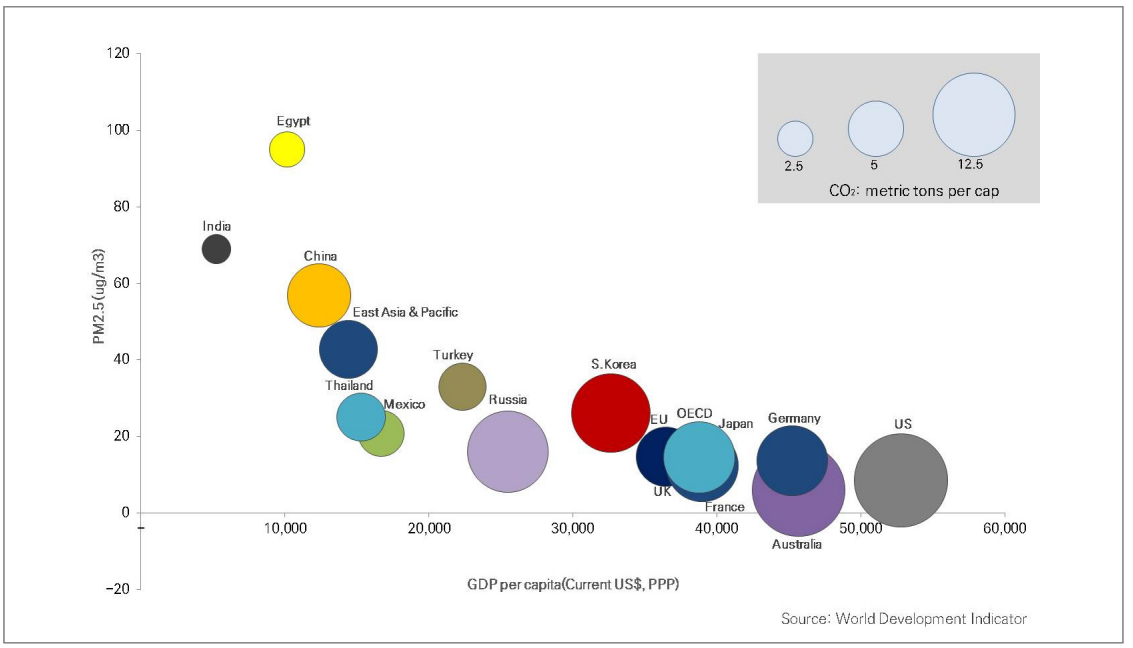


* 자료: Kim 등, 2017.

Ⅱ 한국은 경제 수준이 높아지면 미세먼지 농도가 낮아지는 일반적인 추이와 다른 경로를 보이고 있다.

경제 개발 초기 악화되는 대기오염도는, 경제 수준이 높아지면서 국민의 쾌적하고 안전한 삶에 대한 요구가 증대함에 따라 지속적으로 개선되는 경향을 보인다. 〈그림 7〉에서 보듯이 독일과 일본은 효율적인 산업구조로 인해 초미세먼지 농도가 낮고, 경제 수준에 비해 이산화탄소 배출량도 낮다. 그러나 한국은 경제 수준에 비해 높은 초미세먼지 농도와 온실가스 배출량을 보이고 있다. 이는 제조업 중심 경제, 선진국 대비 높은 석탄 사용량 등에 따른 대기오염물질 배출에 기인하는 것으로, 향후 미세먼지 문제는 미세먼지 관리 정책 뿐 아니라 사회경제 구조의 변환 등에 의해 좌우될 수 있음을 의미한다. 또한 지형적으로 우리나라의 미세먼지 농도가 외부유입에 의해 큰 영향을 받는다는 점도 빼놓을 수 없는 원인이다.

[그림 7] 국가별 초미세먼지(PM2.5) 농도 및 일인당 이산화탄소(CO2) 배출량과 일인당 국내총생산(GDP)의 상관관계

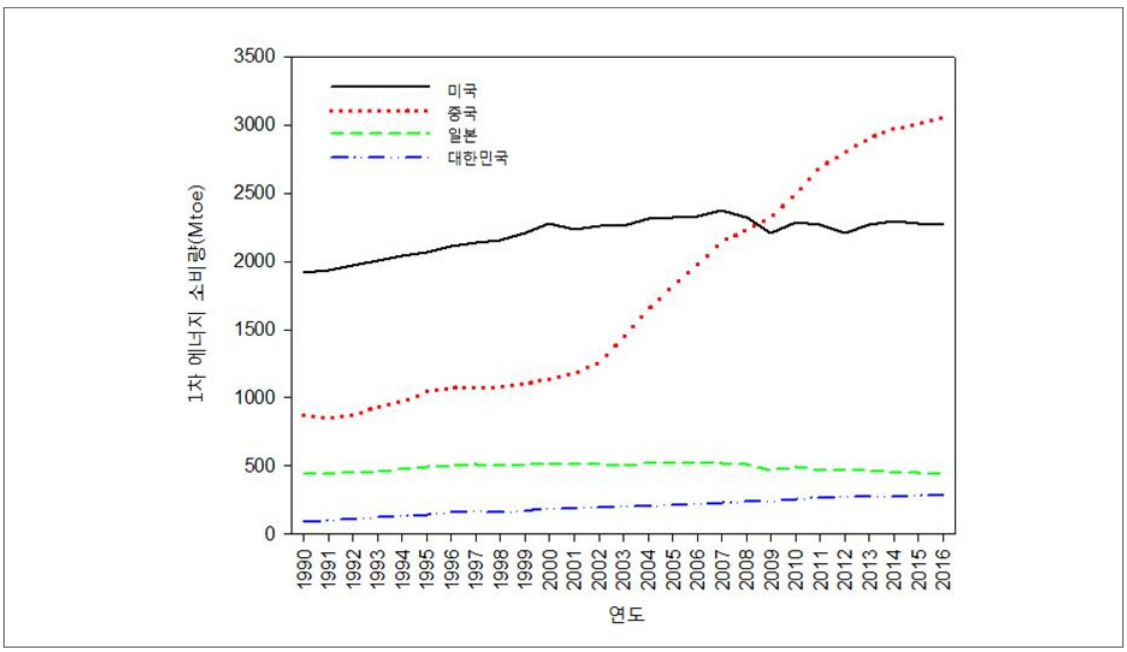


Ⅲ 중국 경제 성장에 따른 에너지 사용 증가는 우리나라 미세먼지 농도에 큰 영향을 미칠 수 있다.

(1) 중국 에너지 사용량은 현재 전 세계 1위이다.

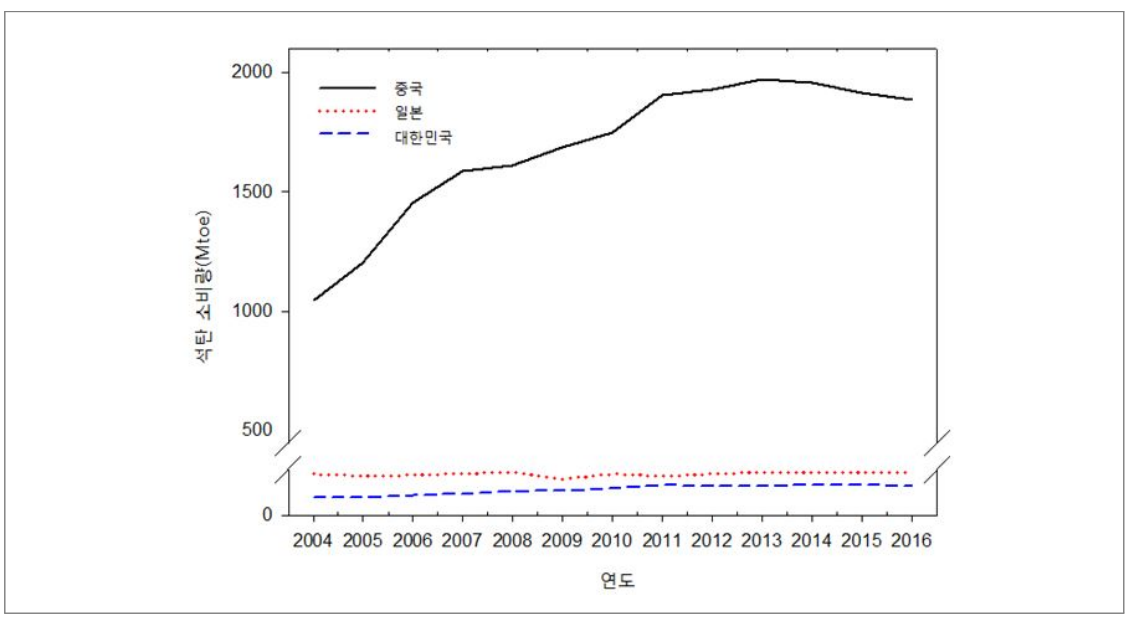
중국은 경제 발전에 필요한 에너지 공급을 위해 에너지 사용을 2000년대부터 급격히 확대하였다. 그 결과 2009년부터는 미국을 추월하여 에너지 사용량 세계 1위를 기록하고 있다. 특히 가격이 저렴하지만 대기오염물질 배출량이 많은 석탄 사용량은 전 세계 사용량의 50%를 넘어서면서 이에 따른 대기오염물질 배출량이 막대하다.

[그림 8] 동북아시아 국가와 미국의 1차 에너지 사용량 추이



* 자료, BP, 2017.

[그림 9] 동북아시아 국가의 석탄사용량



* 자료, BP, 2017.

(2) 중국 정부의 노력에도 불구하고 심각한 대기오염은 상당기간 지속될 가능성이 높다.

중국 정부는 대기오염도 개선을 위해 대기오염물질 배출량 저감에 역점을 두고 있다. 특히 베이징, 상하이, 광주 등의 대도시 지역 대기오염도 개선을 위해 법적, 행정적으로 많은 노력을 하고 있다[10]. 그러나 광대한 지역의 대기관리 어려움으로 인해 상당 기간 높은 대기오염도가 유지될 전망이다.

Ⅳ 북한은 수도권 미세먼지 농도에 영향을 미치고 있다.

북한은 에너지 사용상의 특성[11]으로 인해 대기오염물질에 의한 사망률이 세계 1위를 달린다[12]. 북한은 대기오염물질 배출량 자체는 많지 않지만 지리적 위치, 북한의 에너지 사용상의 특성 등으로, 남한 수도권의 미세먼지 농도에 상당한 영향을 끼치는 것으로 평가된다[13].

10) 2015년 발효된 신환경보호법에 의해 1) 환경당국에 법집행 권한 부여, 2) 벌칙의 강화, 3) '공익소송'제도 도입 등 강력한 대기오염 정책이 시행되고 있다. 또한 대도시의 대기환경 개선을 위해 도시로부터 멀리 떨어진 곳으로의 발전설비 및 공장 이전, 석탄 대신 청정에너지로의 교체 및 차량 배기규제 강화 등 다각적인 대책을 이행하고 있다.

11) 북한 가정의 취사와 난방은 생체소각과 석탄에 주로 의존하며 (UNEP, 2012), 연료 특성과 연소기기 비효율성으로 다환방향족탄화수소(PAHs) 같은 인체 위해성이 큰 미세먼지 배출이 많다.

12) 10만 명당 북한은 238명, 중국은 161명, 우리나라는 23명 사망. 세계보건기구(2017))

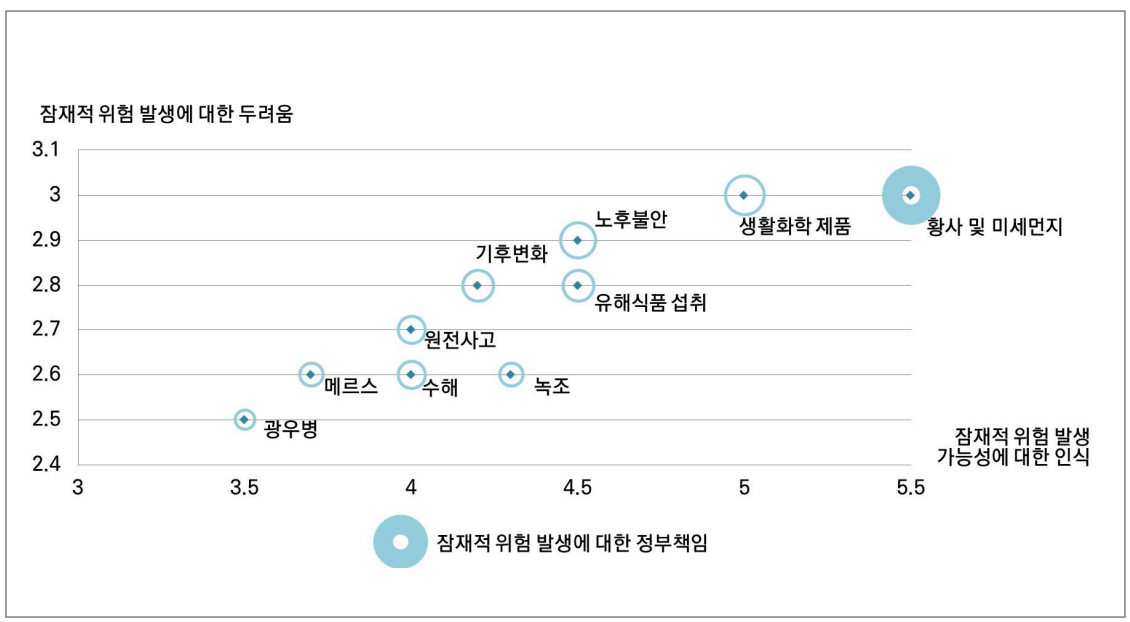
13) 2015-2016년 서울 지역 초미세먼지 농도에 미치는 북한의 인위적인 활동에 따른 영향도는 7%로 평가되었다 (서울특별시, 2016). 북한이 2002-2003년 서울시 PAHs 농도의 20% 이상 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Kim 등, 2013).

제3장 미세먼지 저감 정책은 제대로 이루어지고 있는가?

Ⅰ 국민 불안은 커지고 있다.

국민은 〈그림 10〉이 보여주듯이 미세먼지에 대해 그 위험성을 인식하고 있으며 두려워하고 있다. 그리고 정부가 미세먼지 위험성에 대해 책임지고 관리해 주기를 바라고 있다. 그러나 2013년부터 확대된 미세먼지 문제와 국민 불안에 따른 정부 대응은 성공적이지 않았다[14].

[그림 10] 위험 요인의 두려움 및 정부 책임에 대한 국민 인식



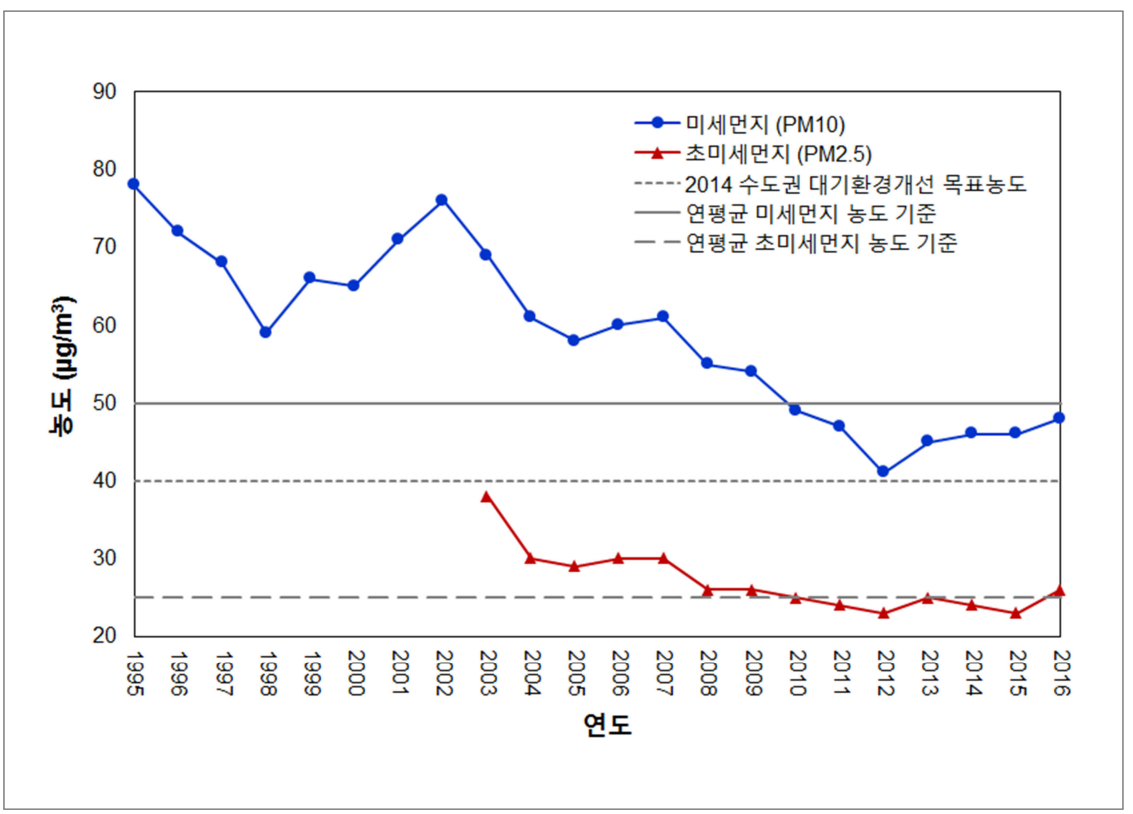
* 자료: 한혜진(2016) 재구성.

14) 국민의 75%가 정부의 미세먼지 대책에 불만족을 표시하였다(국회뉴스, 2016.06.02.).

Ⅱ 국민불안을 미세먼지 농도 탓으로만 돌릴 수 없다.

전국적으로 보면 2000년대 초반부터 미세먼지 농도는 전반적으로 감소하고 있다. 서울의 경우 〈그림 11〉에서 보듯이 1990년대 중반부터 미세먼지, 2000년대 중반부터는 초미세먼지 연평균 농도가 각각 감소하고 있다. 일반 국민이 대기오염 지표로 인식하는 가시거리도 서울의 경우 지난 30년간, 전국적으로는 2000년대 중반부터 조금씩 증가하는 추세다. 국민 불안을 미세먼지 농도 탓으로만 돌릴 수 없다는 얘기다.

[그림 11] 서울시 연평균 미세먼지와 초미세먼지 농도 변화



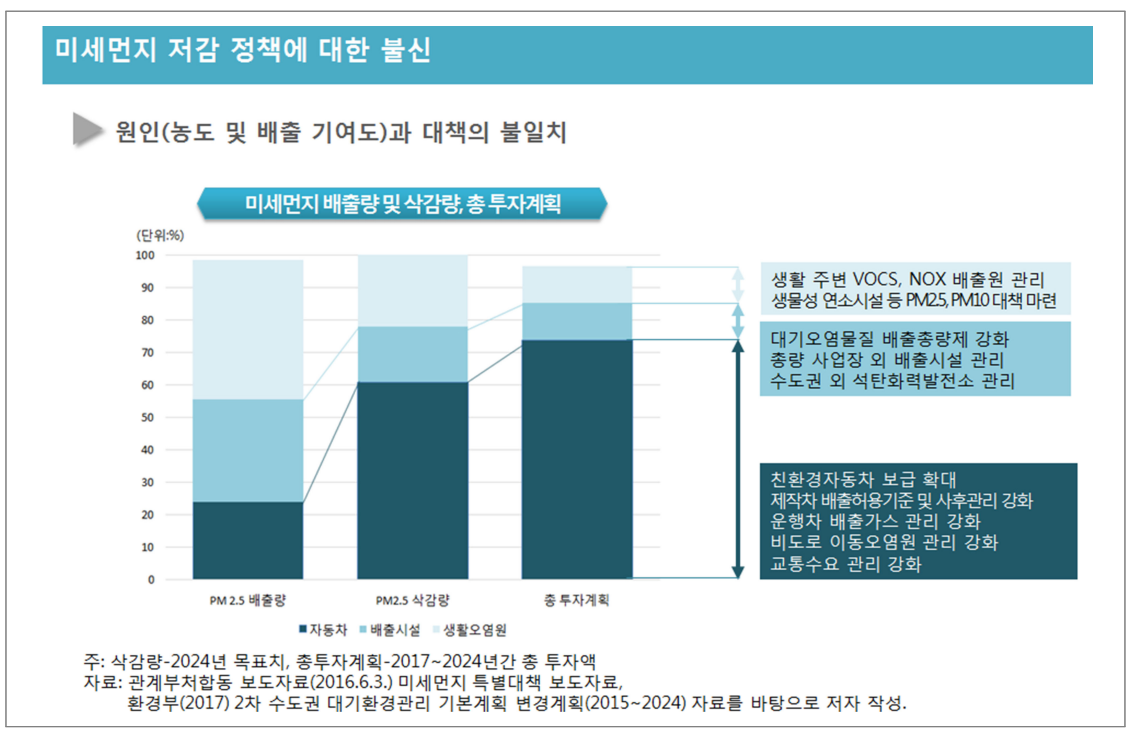
* 자료: 서울연구원

Ⅲ 미세먼지에 대한 정부 관리와 소통 체계가 국민 신뢰를 얻지 못했다.

(1) 정책 근거 제시 미흡

미세먼지 저감 정책과 배출 기여도 사이의 불일치에 대한 과학적 근거 제시도, 이에 따른 효과 제시도 미흡했다. 이러니 국민과 이해당사자의 수용성이 높아질 수 없다[15]. 또한 과학적 근거의 취약성으로 인해 수도권 대기질 개선 특별 대책의 효과 분석 또한 통계적으로 유의한 결과를 보여주지 못했다[16].

[그림 12] 수도권 대기질 개선 특별 대책배출원별 배출량 및 투자계획



주: 삭감량-2024년 목표치, 총투자계획-2017~2024년간 총 투자액
자료: 관계부처합동 보도자료(2016.6.3.) 미세먼지 특별대책 보도자료,
환경부(2017) 2차 수도권 대기환경관리 기본계획 변경계획(2015~2024) 자료를 바탕으로 저자 작성.

15) 정부의 대표적 대기질 관리 대책인 수도권 대기질 개선 특별대책만 보더라도 미세먼지의 배출시설과 생활오염원이 배출원의 70% 이상을 차지하고 있으나 정부 대책의 70% 이상은 이동오염원 관리에 집중되어 있다 〈그림 12〉

16) 한혁 등, 2017

(2) 소통 실패

미세먼지 문제에 대처하는 정부 소통은 국민 수용성을 제대로 고려하지 않은 일방적인 정보 전달에 그치면서, 오히려 국민의 불안을 증대시켰다.'고등어 구이'등으로 대표되는 해프닝은 국민 인식과 일치하지 않는 정보를 적절하지 않은 시기에, 적절하지 않은 방법으로 제시함으로써 오히려 역효과만 낳은 대표 사례다.

Ⅳ 전문가 역할 미흡

전문가가 미세먼지에 관한 전문적인 지식을 일반 국민이 알기 쉬운 형태로 제공하도록 노력하였는지도 의문이다. 미세먼지 문제는 복합적인 측면을 갖고 있음에도 전문가들이 자기 분야 관점만으로 정보와 해결책을 제시하는 경우가 허다했다. 그 결과 각 분야 전문가들이 상충되는 정보를 제공하게 되어 국민들에게 오히려 혼동을 주어 불안감을 키우는 경우가 적지 않았다. 전문가 신뢰가 저하되고, 정확한 정보 제공이 이루어지지 않은 것은 당연한 결과다.

Ⅴ 언론 역할 미흡

언론은 일반 국민이 미세먼지를 중요하게 이슈로 생각하도록 의제설정을 하는데 큰 기여를 했다. 그러나 균형 잡힌 보도보다 국민을 불안하게 하는 선정적 기사 위주는 적지 않은 문제점도 낳았다. 일부 언론의 경우 중국을 민세먼지 발생원인으로 지목해 놓고는 개인적 대응을 강조하는 등 원인과 결과 사이에 괴리도 심각했다.[17]. 심지어 미세먼지에 대한 대중의 관심을 이용하여 위험 마케팅을 하는 보도도 상당했다[18].

Ⅵ 사회적 협의 체계 미비

미세먼지는 오염원 관리만으로 해결할 수 있는 문제가 아니다. 복합적인 사회적 처방이 요구되는 만큼, 환경부 등 단일 부처 업무에서 벗어나 여러 부처가 관여하고, 정부뿐만 아니라 기업과 일반 국민이 함께 노력해야 미세먼저 문제를 풀어갈 수 있다. 또한 단기간에 쉽게 해결할 수 있는 성격이 아니므로 장기적이고 체계적인 대응 또한 중요하다. 미세먼지의 발생, 화학적 조성, 독성 문제 등이 복잡한데다, 미세먼지 이슈의 내재적인 양면성으로 이해당사자의 논의를 통해 합의를 이끌어내는 과정이 반드시 필요하다. 하지만 실제적으로는 단편적이고 즉흥적인 대응으로 일관하는 경우가 대부분이다. 이는 결국 전체적인 국민 불안 증가로 이어졌다. 단적인 사례가 많은 논란을 초래한 학교 미세먼지 대응이다. 미세먼지 간이측정기 설치, 공기정화장치 지원 등 단편적인 처방이 난무하는 가운데 정작 당사자인 교사와 학생은 오히려 소외되었다.

---

17) 김영욱 등, 2015a
18) 김영욱 등, 2015b

제4장 미세먼지로 인한 국민 불안을 해소할 있을까?

Ⅰ 미세먼지 문제는 해결할 수 있다.

미국 로스엔젤레스 지역은 광화학 스모그로 1940-1980년대에 악명이 높았던 곳이다. 하지만 현재 그 지역 오존이나 초미세먼지 농도는 서울보다 낮은 수준이다[19]. 도쿄는 19060년대부터 1970년대 초까지 대기오염이 심하여 산소를 자판기에서 판매하는 수준이었다. 그러나 현재는 초미세먼지 농도가 서울의 1/2 수준이다[20]. 미국이나 일본의 미세먼지 농도 저감 사례에서 보듯이 한국도 미세먼지 농도를 저감하고 국민 불안을 해소할 수 있다고 본다.

19) SCAQMD, http://www.aqmd.gov/

20) Bureau of Environment, Tokyo Metropolitan Government, http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/en/pollution/

Ⅱ 사회 전반적인 정책 수립과 시행 체계 변화가 필요하다.

미세먼지를 해결하기 위해서는 무엇보다 문제를 과학적으로 이해하고 사회의 모든 이해당사자(과학계, 정부, 지자체, 기업, 산업체, 언론계 및 시민사회)가 협의를 통해 해결 방안을 합의해 나가는 자세가 요구된다.

3개 한림원은 2017년 12월 발간 예정인 이슈페이퍼 2편
'미세먼지 문제의 본질과 해결 방안 ②미세먼지 문제, 어떻게 해결할 것인가?'에서
구체적인 해결 방향을 제시할 것이다.

이슈페이퍼 2017-02

한국공학한림원·한국과학기술한림원·대한민국의학한림원
석학 정책제안

미세먼지 문제의 본질과 해결 방안

① 미세먼지, 무엇이 문제인가?

발행일 2017년 11월

발행처 한국공학한림원·한국과학기술한림원·대한민국의학한림원

발행인 권오경, 이명철, 정남식

전화 • 02-6009-4000~9

팩스 • 02-6009-4010

홈페이지 • www.naek.or.kr

SNS • www.facebook.com/naek1995

E-Mail • naek@naek.or.kr

편 집 경성문화사

인 쇄 경성문화사

※ 이 책의 저작권은 한국공학한림원·한국과학기술한림원·대한민국의학한림원에 있습니다.

본 연구는 과학기술정보통신부의 과학기술종합조정지원사업 예산 지원을 받아 진행되었습니다.

한국공학한림원 The National Academy of Engineering of Korea
한국과학기술한림원 The Korean Academy of Science and Technology
대한민국의학한림원 National Academy of Medicine of Korea

본 연구는 과학기술정보통신부의 과학기술종합조정지원사업 예산 지원을 받아 진행되었습니다.