



| 미세먼지 현황과 대기질 예보

송창근 울산과학기술원 부교수 / 전 국립환경과학원 대기질통합예보센터장 (cksong@unist.ac.kr)

1. 서론

세계경제포럼(World Economic Forum)의 'The Global Risks Report 2016'에서는 가장 가능성이 높고 파급 영향력이 큰 위협으로 미래 환경문제를 제시하고 있다. 우리나라는 1990년대 이후 정부의 강력한 대기배출 규제와 후진국형 대기오염 문제는 어느 정도 해결되었다. 그러나 국민소득 2만 불을 넘어 3만 불 시대에 접어들면서 미국, 유럽과 같은 선진국 수준의 대기환경과 기후변화 대응으로 대표되는 환경과 안전에 대한 정책적 요구와 연구 개발의 국민적 수요와 민감도가 급격히 높아지고 있다. 특히 2019년 현재 우리나라는 그동안 상대적으로 우선순위가 낮았던 미세먼지로 대표되는 대기환경 문제가 국가적 아젠다로 자리잡고 있는 이례적인 상황을 경험하고 있다. 한편, 1990년 중반 이래 수도권대기환경개선 특별대책 등의 대기오염 감축정책으로 과거 10년 전에 비해 미세먼지 농도는 30~40% 낮아지면서 대폭 개선되는 추세를 보이고 있다. 그러나 2013년 이래로 최근까지는 그 농도가 더 이상 내려가지 않고 있다. 특히 환경기준치 또는 미세먼지 예보에서 고농도로 정의되는 “나쁨” 이상의 빈도가 과거 대비 전혀 개선되지 않고 있다. 최근 2월 말에서 3월 초까지 서울을 비롯한 수도권에서는 고농도 비상

저감조치가 역사상 최장기간인 7일 동안 연속으로 발령되었던 최악의 미세먼지를 경험했다. 이에 국회 등 정치권은 서둘러 ‘미세먼지 특별법’, ‘대기환경보전법’의 제/개정과 더불어 ‘재난 및 안전관리 기본법’에 고농도 미세먼지를 사회적 재난으로 추가하는 개정안을 통과시켰다. 이를 통해 정부는 미세먼지 문제 해결에 재난에 준하는 비상상황으로 인식하고 사전피해 예방, 사후 피해확산 방지 등에 방재 예산을 투입할 수 있게 되었고, 미세먼지 재난 사태 선포, 피해 상황 조사·복구 계획 수립, 특별재난지역 선포 등의 법적 근거를 마련한 것이다. 그러나 정부 및 정치권에서 제시하는 대책 및 해결 노력 등에도 불구하고 일반 국민들은 오히려 앞으로도 오랫동안 미세먼지는 줄어들지 않을 것이라는 불신감이 증폭되고 있다. 본 칼럼에서는 과학적인 증거와 분석을 통해 과거로부터 현재까지 미세먼지 현황에 대한 정확한 진단을 내려 보고, 고농도 시 화력발전소 가동 조정 등 비상저감조치 여부를 결정하는 국가 대기질 예보를 소개하고자 한다.

2. 미세먼지 현황

2000년대 초부터 살펴보면 우리나라 미세먼지 농도

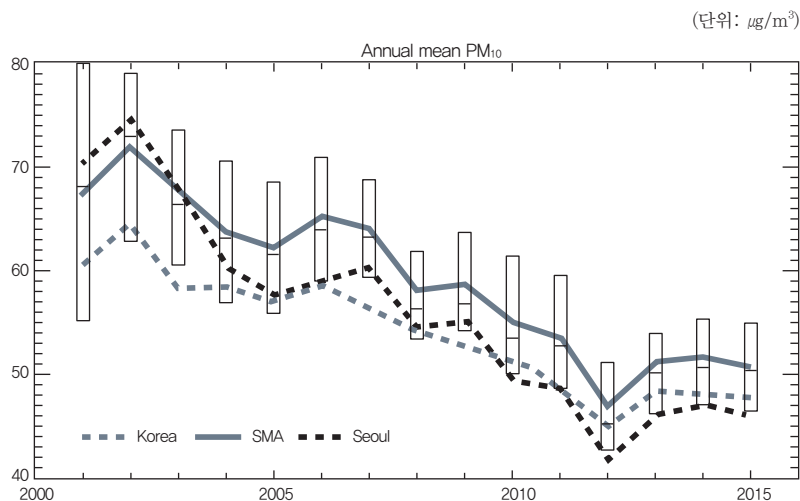


는 꾸준히 감소추세이다([그림1] 참조). 그간 정부의 친환경 경 연료정책, 자동차 저감장치 부착 등 대기환경 개선 대책이 실효를 본 결과이다. 그러나 최근 들어 그 감소추세가 멈추고 정체 또는 오히려 약간 증가하는 경향을 보이는데 전문가들은 대체적으로 3가지 과학적 원인을 제시하고 있다. 첫 번째, 중국을 비롯한 주변국에서부터의 대기 오염물질의 장거리 이동을 들 수 있다. 우리나라가 편서풍 지역에 위치함으로 1년 365일 한반도 서쪽에 위치한 중국과 대기를 공유하기 때문이다. 두 번째, 우리나라 자체에서 배출하는 대기오염물질이다. 특히, 미세먼지 자체로 배출되는 경우보다는 이른바 2차생성이라고 하는 대기화학과정에 의해 생성된다. 그 원료 물질은 자동차 배기가스, 화력발전소 등에서 나오는 황/질소 산화물, 페인트, 주유소 등에서 나오는 휘발성유기화합물, 농축산에서 나오는 암모니아를 들 수 있다. 그런데 우리나라는 황산화물을 제외하고는 여타 오염물질 저감 대책에 한계를 노출하고 있다. 2차 생성으로 인한 미세먼지는 일반적으로

공장 굴뚝 등에서 직접 배출되는 미세먼지보다 그 크기가 매우 작아 인체 건강에 미치는 영향은 더욱 유해하다. 세 번째는 기후변화에 따른 빈번한 대기 정체 영향이다. 기후변화에 의한 지구의 온도 증가는 극지방이 열대지방보다 더욱 증가폭이 크다. 따라서 기후변화가 일어나면 극지방과 열대지방의 온도 차이가 점점 줄어들게 되고 이에 따라 지구대기의 움직임이 약해진다. 따라서 정체현상 등이 자주 발생하고 연속해서 배출된 대기오염물질의 확산 및 이동이 늦어져서 축적이 되어 고농도 현상이 발생하는 것이다.

위에서 살펴본 세 가지 원인 중에 첫 번째는 주변국, 특히 중국과의 환경외교를 통해 관리해야 한다. 최근 중국의 대기오염 물질 및 주요 영향인자의 추이와 최근 미세먼지 농도([그림2] 참조)를 살펴보면 중국의 '대기오염방지 행동계획(2013~2017)'이 강력하게 추진되었던 2013년 이후 경제성장은 유지하지만 오염물질의 배출은 줄어드는, 이른바 GDP와 대기오염 배출량의 '탈 동조화(de-

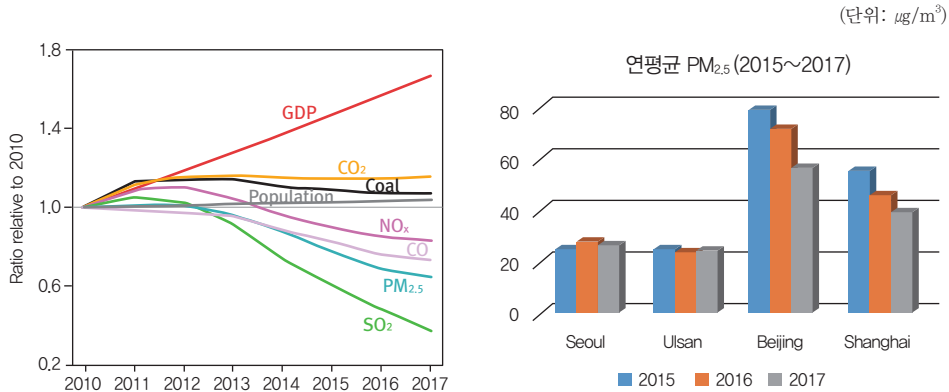
[그림 1] 남한/수도권/서울 연평균 미세먼지(PM₁₀) 농도 추이(2000~2015)



자료: H. Kim et al., 2017 / Scientific Report

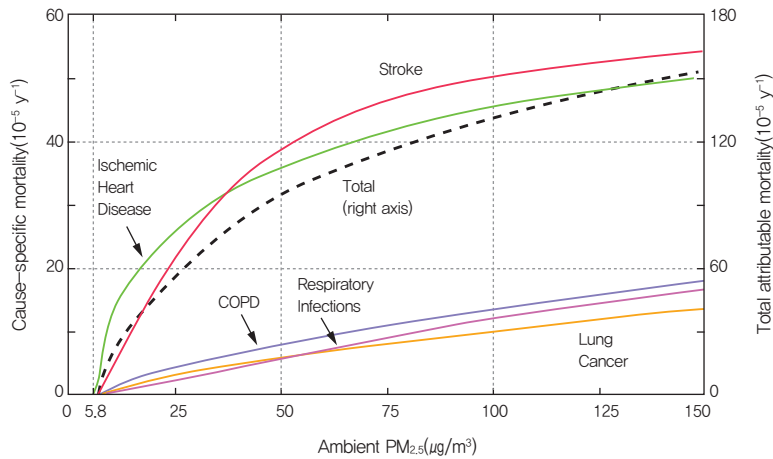


[그림 2] 중국 대기오염 배출량(PM 등)과 주요 영향인자(GDP, 연료 등)의 2010년 대비 변화량 추이(左) 및 최근 3년간 미세먼지(PM_{2.5}) 연평균 농도(右)



자료: Zheng et al., 2018 / Atmospheric Chemistry and Physics

[그림 3] 미세먼지 노출 농도에 따른 초과사망을 변화



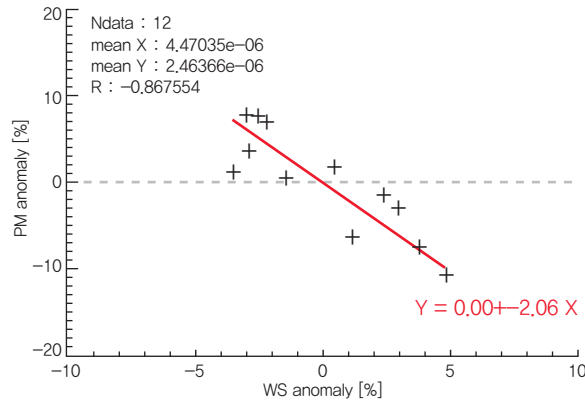
자료: Apte et al., 2015 / Environmental Science and Technology

coupling)’ 현상이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 2017년 북경의 미세먼지(PM_{2.5}) 농도는 우리나라 서울에 비해 여전히 2~3배 정도 높지만 ‘대기오염방지 행동계획(2013~2017)’의 정책목표인 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하를 달성

하였다. 다만, 최근 미-중 무역 갈등에 따른 경제성장을 둔화, 지속적인 단속에 이은 대규모 공장 폐쇄로 실업자 양산, 연료전환 정책에 기인한 아시아 지역의 천연가스 가격 상승 등 사회, 경제적 갈등 요소가 부각되면서 과연



[그림 4] 최근 10년간 연평균 풍속과 미세먼지 농도와의 상관도



자료: H. Kim et al., 2017 / Scientific Report

이러한 방지 대책이 지속가능한가에 대한 회의적 의견이 대두되고 있다.

다음으로 우리나라 국내 요인으로 2차생성의 원인 물질 배출을 줄여야 해결될 수 있는데, 이해당사자가 많아 강력한 정책을 수립하더라도 설득과 양보를 이끌어 내기가 어렵고 환경-경제 논쟁에 항상 마주치게 된다. 우리나라의 미세먼지 연평균 농도 수준을 세계보건기구(WHO) 권고기준인 세제곱미터 당 $10\mu\text{g}$ 까지 줄이기 위해서는 현재의 농도보다 50~60%를 더 낮춰야 한다. 국내에서 배출되는 미세먼지의 3/4이 2차 생성에 기인한다고 하는 기존 연구결과를 감안하면, 국내 배출분을 줄이기 위해서는 산업장/발전소/산업공정에서의 2차생성의 원인물질인 가스상 황산화물, 질소산화물, 자동차에서 배출되는 질소산화물 관리가 얼마나 중요한지 알 수 있다. 특히 미세먼지 농도와 각종 질환에 의한 초과사망률과의 관계를 살펴보면([그림3] 참조), 현재 우리나라 미세먼지($\text{PM}_{2.5}$) 연평균 농도 수준인 $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ 근처에서 미세먼지 농도에 따른 초과사망률 민감도(곡선의 기울기)가 가장 높은 것으로 나타나 국내 2차 생성으로 인한 미세먼지 농도를 줄이는 양만큼

그대로 국민 건강 편익으로 돌아오는 것을 알 수 있다.

마지막으로 기후변화에 따른 대기정체 일수 증가 문제를 살펴보면, 원래 지구 대기는 파동형태로 움직이면서 남/북의 대기를 서로 잘 섞어 극지방과 적도지방의 온도 차이를 줄이는데, 기후변화로 인해 극지방-적도 간 온도 차이가 작아지면 전반적인 지구 대기의 풍속이 약화되어 미세먼지 농도가 높아지는 것이다. 실제 최근 10년간 서울지역의 연평균 풍속과 미세먼지 농도를 비교([그림4] 참조)하면 풍속이 10% 감소하였을 경우 미세먼지 농도는 20% 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 미세먼지 대책을 수립할 때, 이러한 기후변화에 따른 미세먼지 농도 증가 요인을 고려해 더 강력한 배출저감 대책이 필요하다는 뜻이다.

3. 대기질 예보

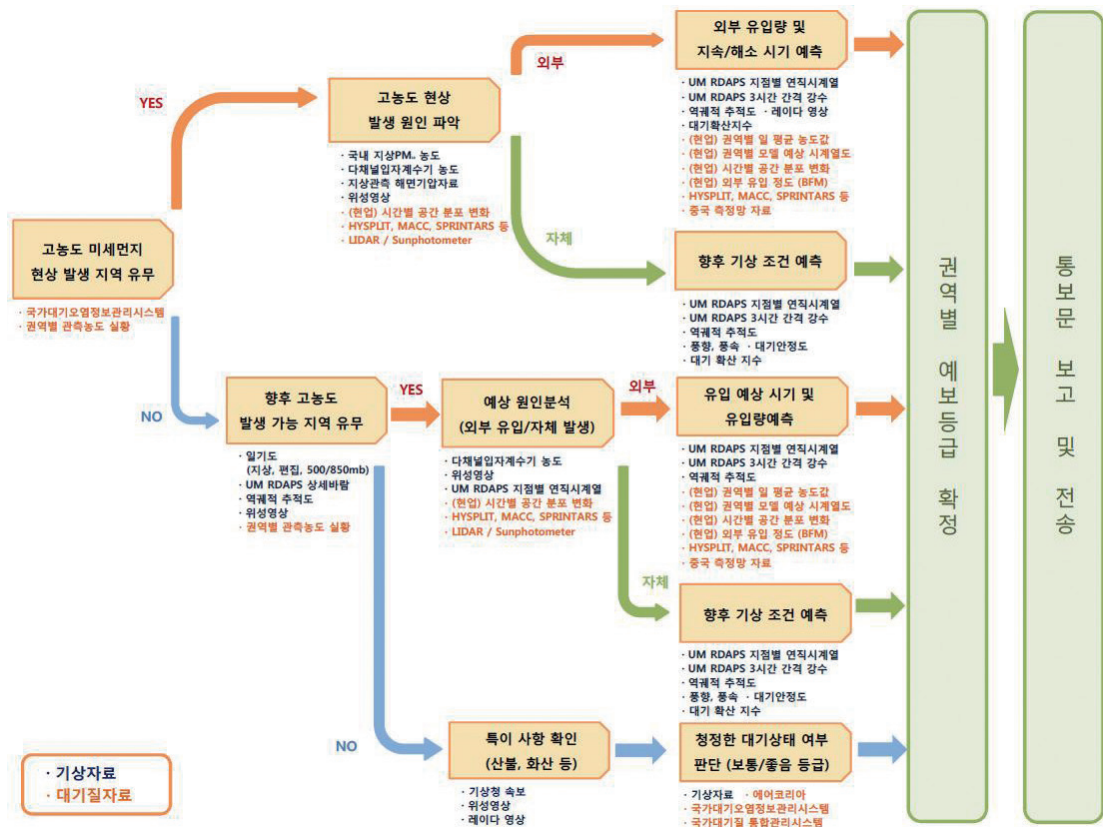
미세먼지 문제에 대응하는 것은 원인물질을 근본적으로 제거하거나 고농도 노출위험으로부터 효과적으로 회



피하는 행동을 하는 것이다. 특히 고농도 현상이 나타날 것을 미리 예측하여 전 방위적인 비상저감 조치를 취하고 어린이, 노약자 등 취약계층에 대해서는 그 위험으로부터 안전한 보호 조치를 취해야 한다. 이를 위해서 고농도 미세먼지 현상에 대한 예측이 선행되어야 하는데 우리나라는 2013년부터 ‘국가 대기질 예보제’를 법정업무로 수행하고 있다. 19개 광역 시/도를 대상으로 미세먼지 2종(PM_{10} & $PM_{2.5}$)과 오존을 4등급(좋음/보통/나쁨/매우나쁨)으로 나누어 예측결과를 6시간 간격으로 하루 4번 발

표하고 있다. 예보는 관측-모델-예측-전달의 4개 요소로 이루어진다. 관측 자료는 기상과 대기질의 감시 및 추세 파악에 활용되며, 국내 기상 관측망과 국내·외 대기 측정망의 실시간 자료가 활용된다. 수치 모델은 다양한 기상 조건하에서 배출량을 농도로 변환시켜 주는 역할을 하며 기상, 배출처리, 대기화학수송 등 3개 모델을 매일 매일 구동한다. 이러한 관측 자료와 수치 모델 결과를 활용하여 대기질 예보관은 자신의 지식, 경험 및 노하우를 더하여 미래의 대기질 예보를 생산하여 각종 보도 매체에

[그림 5] 예보관의 예보등급 설정을 위한 의사 결정 단계



자료: 국립환경과학원, 2016, 미세먼지 예보업무 가이드라인



전달하게 된다([그림5] 참조).

올해 2월 15일부터 시행된 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’에 따르면 미세먼지 예보 결과에 따라 고농도 시 (예, ① 당일 초미세먼지($PM_{2.5}$) 평균농도가 $50\mu g/m^3$ 초과+다음날 24시간 평균 $50\mu g/m^3$ 초과 예상 ② 당일 주의보 또는 경보 발령+내일 24시간 평균 $50\mu g/m^3$ 초과 예상 ③ 내일 24시간 평균 $75\mu g/m^3$ 초과 예상 일 경우) 지방자치단체는 관할지역에 비상저감조치를 발령할 수 있게 되었다. 비상저감조치가 발령되면 시도지사는 석탄화력 발전소, 제철공장, 석유화학 및 정제공장, 시멘트제조공장 등 미세먼지를 많이 배출하는 시설을 대상으로 가동시간 변경, 가동을 조정 또는 효율개선 등의 조치를 내린다. 이에 더해, 시·도 조례 제정을 통해 자동차 운행 제한도 단계적으로 시행된다. 예를 들어, 서울시는 배출가스 등급제를 기반으로 한 5등급 차량을 대상으로 비상저감조치가 발령되면 다음날 오전 6시부터 오후 9시까지 운행을 제한하고, 이를 위반하는 경우 10만 원의 과태료를 부과한다. 또한 시도지사는 필요한 경우 교육청 등 관련기관이나 사업자에게 학교·유치원·어린이집의 휴업·휴원, 수업·보육시간 단축과 탄력적 근무 조치를 권고할 수 있다. 이러한 비상저감조치의 적시 발령을 위해서는 신속/정확한 예보가 필수적이다.

4. 결론

최근 우리나라에서 미세먼지는 보이지 않는 공포이다. 향간에 ‘삼한사미’라는 신조어가 나오고 정부의 미세먼지 대책은 국민을 안심시키기에는 턱없이 부족하다. 그러나 과학적인 자료를 살펴보면 미세먼지 농도는 감소 추세인 것은 확실하다. 다만 최근 들어 감소폭이 현격히 줄어드는 상황과 예보 등을 통해 매일 매일 미세먼지 정보를 접

하는 등 국민들의 미세먼지에 대한 높은 감수성이 맞물려 미세먼지라는 공포와 위험의 대상이 나타난 것이다. 그러나 1인당 국민소득 3만 불에 달하는 국가 경제 수준을 감안하면 국민/시민은 이제 삶의 질, 특히 환경/안전/재난에 대한 더 포괄적이고 적극적인 정부의 역할을 요구할 만하다. 과연 정부는 약속대로 3~5년 내 30%에 이르는 감축목표 달성 성과를 이뤄낼 수 있을까? 일단, 외부요인인 중국의 영향과 기후변화에 따른 가중 효과를 해결하는 데는 꽤 많은 시간이 필요할 것으로 보인다. 물론 앞서 본문에 밝혔지만 중국도 ‘대기오염과의 전쟁’을 선포하는 등 자국 대기질 개선 노력을 하고 있지만, 적어도 현재 우리나라 수준으로 대기질이 개선된다면 향후 10년은 족히 소요될 것으로 보인다. 기후변화에 대한 국제적인 협력, 행동도 더딘 편이다. 따라서 주변국, 국제사회와의 공동의 협력/노력과 별도로 우리 자체 배출원을 줄이는 노력이 반드시 병행되어야 단기간에 미세먼지 농도 감소가 가능할 것으로 보인다. 경유차로부터 블랙카본, 질소산화물 배출을 줄이는 노력, 노후 석탄발전소를 퇴출하고 에너지 효율과 신/재생에너지를 확대하는 등의 노력이 필수적이다. 또한, 미세먼지 예보에 대한 국민의 관심과 비판이 고조되고 예보 등급에 따라 개인, 학교, 지자체 등의 대응업무까지 결정되는 등 책임과 영향이 커짐에 따라 예보 정확도를 획기적으로 높이는 노력도 미세먼지 대응의 시작이 될 수 있다.