



# 미세먼지의 주요원인과 대응 전략

심창섭 한국환경정책·평가연구원 연구위원 (cshim@kei.re.kr)

## 1. 서론

미세먼지는 현재 국가적으로 중요한 사회 이슈가 되었다. 또한 지난 겨울철 국내 초미세먼지(PM2.5 (크기가 2.5 $\mu$ m 이하 입자))의 서울 일평균 농도가 160 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 을 훌쩍 넘어 국제 보건기구 (WHO) 기준<sup>1)</sup>의 6배를 상회하는 심각한 고농도 사례를 기록하기도 하였다. 또한 고농도 사례가 금년 2월 말~3월 초까지 약 2주간 지속되면서 국민들의 야외활동에 큰 제약을 받은 것은 물론, 연일 계속되는 미세먼지 “매우나쁨” 예보로 인한 사회적 스트레스도 상당했을 것으로 사료된다. 이 글을 통해 현재 우리나라의 미세먼지의 현황과 요인, 그리고 미세먼지 저감에 대해 무엇이 시급히 필요한 것인지에 대해 논의하고자 한다.

이미 국제적으로 일급 발암물질로 지정된 미세먼지, 그 중 혈관침투가 가능한 초미세먼지(PM2.5)의 측정은 우리나라가 중국보다도 늦은 2015년부터 공식적으로 관측과 관리가 시작되었다. 때문에 초미세먼지의 장기적 농도 변화를 확인하는 데에 한계가 있다. 그러나 입자크기가 10 $\mu$ m 이하인 미세먼지(PM10)은 국내에서 비교적 오랫동안 측정해서 그 농도추이를 알 수 있다.

2000년대 초 약 연평균 약 70 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 수준이었던 서울 지역의 미세먼지 농도는 2017년 현재 약 45 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 수준이다.<sup>2)</sup> 초미세먼지 농도도 연구결과를 종합하여 보면 서울지역에서 2000년대 초 약 40 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 을 상회하던 농도가 현재 약 25 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 수준으로 크게 개선되었다.<sup>3)</sup> 그러나 국제 보건기구의 권장 연평균 농도가 10 $\mu$ g/m<sup>3</sup> 인 것을 감안하면 아직 우리나라는 상대적으로 미세먼지 오염이 심각한 수준의 국가임을 알 수 있다(OECD 국가 중 최하위권<sup>4)</sup>).

## 2. 우리나라의 미세먼지 현황과 국내 요인

장기적으로는 국내 미세먼지는 개선되었으나 문제는

1) WHO 24시간평균 기준치 25 $\mu$ g/m<sup>3</sup>

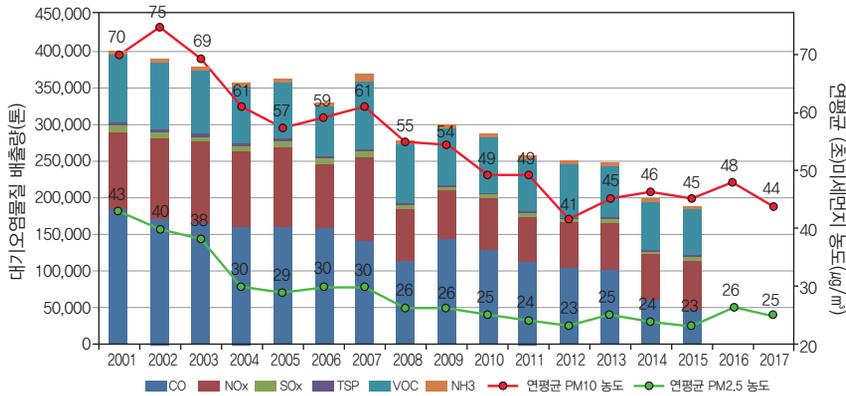
2) 한국환경공단 AirKorea 자료에 근거

3) 한국환경공단 AirKorea 자료에 근거

4) OECD (2019), <https://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=72722>



[그림 1] 서울지역 대기오염물질 배출량과 미세먼지 농도의 장기간 변화 추이



출처: 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량 서비스 자료, 한국환경공단 AirKorea 자료 및 서울시 대기오염 농도 출처: 기후변화에 따른 대기오염예측 및 중장기 대기관리정책 수립 연구(이승민, 최기철 외, KEI 2019)

2012년도 이후이다. 2012년 이후 현재까지 미세먼지 농도는 개선이 이뤄지고 있지 않다. 2013년부터 2016년까지는 오히려 소폭 증가하는 경향을 보이고 있으며, 최근 연평균 농도가 소폭 감소하고 있을 뿐이다.<sup>5)</sup>

1980~90년대 이후 미세먼지는 꾸준히 개선되어 왔다. 이는 대형 사업장의 관리감독강화와 교통부문을 포함한 화석연료의 질 개선 등을 통해 눈에 띄는 성과를 가져왔다. 그러나 현재 초미세먼지 농도는 연평균 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 좀처럼 개선이 이뤄지고 있지 않다[그림 1]. 이것은 배출원 저감에 한계요인이 있거나 국외 요인 등에 의한 대기오염 개선에 한계를 보여주고 있다고 추정할 수 있다. 실제로 국립환경과학원의 대기오염 배출량 자료(CAPSS)를

보더라도 2000년 이후 일산화탄소나 황산화물 등 일부 오염물질을 제외하고는 배출량이 크게 줄지 않았고 일부 소폭 증가현상을 보이고 있다.<sup>6)</sup>

게다가 미세먼지의 영향을 주는 기상요인, 즉 풍속 및 강우일수도 영향을 주고 있다. 2012년 이후 국내 평균 풍속은 소폭 감소세를 보인 것으로 밝혀져 이런 요인이 미세먼지가 바람에 희석되지 않고 정체되어 고농도 현상과 평균 농도를 상승시키는 요인으로 밝혀졌다.<sup>7)</sup> 또한 겨울철 강우일수도 최근 7년간 소폭 감소했는데<sup>8)</sup> 이 역시 미세먼지가 비/눈 등에 의해 제거되는 현상이 감소해 미세먼지 농도가 악화되는 데에 기여한 것으로 알 수 있다.

우리나라 미세먼지의 배경농도에 가장 큰 영향을 주

5) 이승민, 최기철 외 (2019), 기후변화에 따른 대기오염 예측 및 중장기 대기관리정책 수립연구

6) 국립환경과학원(2018), 국가 대기오염물질 배출량 서비스 자료

7) Kim et al (2017), Recent increase of surface particulate matter concentrations in the Seoul Metropolitan Area, Korea, Scientific Reports, 7, 4710-4714: DOI:10.1038/s41598-017-05092-8

8) 기상청 기상자료 개방 포털자료 참조



는 중국의 농도는 어느 정도일까? 중국은 2010년대 이후 탈질 탈황 정책 등이 일부 성과를 보여 미세먼지 농도가 2013년 정점을 찍은 후 2017년까지 약 30% 이상 감소한 것으로 알려져 있다.<sup>9)</sup> 지역간 차이는 있으나 이는 중국정부의 공식적 정책의 성과가 일부 반영된 것으로 보인다. 그러나 현재에도 중국의 연평균 미세먼지 농도는 약 35~70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준으로 국내 연평균 농도의 약 2~3 배 수준이기 때문에 기상조건에 따라 여전히 중국의 영향이 클 것으로 추정된다.

지금까지 중국의 미세먼지 영향에 대한 연구는 학계에서 오랫동안 꾸준히 진행되어 왔다. 환경부의 발표에 의해서도 연간 약 40~50% 수준인 것으로 알려지고 있으며 평시와 고농도 사례의 차이도 큰 것으로 알려져 있다. 그러나 중국의 영향이 과연 얼마나 큰 것인가에 대한 숫자적 논란보다는 이미 약 절반수준에 이르는 국내 미세먼지의 “순수 국내요인”에 대해 우선적으로 논의할 필요가 있다. 연평균으로 보았을 때 약 12~13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  수준의 순수 국내 요인은 부정하기 어렵다. 이는 중국 한국 등 국외영향을 포함한 실제 일본의 연평균 초미세먼지 농도 (약 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )에 맞먹는 것이다. 통계적으로 일본보다 월등히 높은 우리나라의 국내요인에 대해 심각하게 받아들이고 우리나라에서 해결할 수 있는 방안을 찾아야 된다는 의미이다.

교토 프로토콜 (1997) 이후 총 국가 에너지 소비가 줄고 있는 일본에 비해 우리나라는 지속적으로 에너지 소비가 계속 늘고 있는 점도 미세먼지 저감의 어려운 점 중 하나이다. 특히, 우리나라의 일인당 에너지 소비가 최근에도 크게 상승하여(5.7toe/인) 일본을(3.39toe/인) 훨씬 상회하고 최대 에너지 소비국인 미국(6.56toe/인)에 근접하는 우리의 에너지 과소비 현실을 직시할 필요가 있다.

### 3. 국내 미세먼지 저감에 필요한 것들

최근 환경부와 학계의 연구 결과에 의하면 우리나라 초미세먼지, 특히 고농도 발생시의 주된 성분은 질산암모늄인 것으로 알려졌다. 질산암모늄은 일반적으로 화석연료의 연소로부터 발생하는 질산화물( $\text{NO}_x$ )의 영향과 또한 농업, 축산, 공업 등으로부터 배출되는 암모니아( $\text{NH}_3$ )의 주된 영향을 받는다고 할 수 있다. 황산화물( $\text{SO}_x$ )이 주로 중국의 기원을 가리키는 지표물질이기 질산암모늄과 같은 질소계열의 미세먼지는 국내영향을 의미하기 때문에 고농도시에도 국내 배출의 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, 이 때문에 평소의 국내 질소계열의 오염물질 감소에 정책 우선순위를 두어야 한다.

우리나라 전국 배출 사업장(공장)의 수는 약 5만 8천개에 이르고 있으나 자동 굴뚝측정망으로 실시간 감시가 되는 대형 사업장의 수는 전체 사업장의 10% 이하이다. 대다수를 차지하고 있는 중소기업장의 배출량은 대형 사업장에 미치지 못하나 문제는 날로 늘어가고 있는 중소기업장의 숫자이다. 이는 배출물질과 배출량의 파악을 갈수록 어렵게 하여 배출원 관리 문제와 미세먼지 증가를 유발할 수 있다는 점에서 이에 대한 철저한 관리 감독이 가능하도록 국가적 역량을 집중할 필요가 있다.

2000년대 이후 국내 경유차량의 수가 크게 증가한 것도 미세먼지 관리가 어려운 이유 중 하나이다. 특히 육상 차량 중 초미세먼지 배출의 약 70%를 차지하고 있는 경유 화물차는 2009~2018년 사이 약 17%가 증가하여 현재 약 330만대를 상회하고 있다.<sup>10)</sup> 이 중 약 1/4를 차지하고 있는 경유차가 Euro3 수준인데, 이러한 미세먼지와 질산화물을 과다배출하고 있는 노후 경유차에 대한 조기

9) 최민욱(2019). 중국정부 공식 통계자료 분석에 의한 개인적 의견 교환  
10) 국토교통 통계누리(2019) (<http://stat.molit.go.kr/portal/main/portalMain.do>)



폐차 유도, 친환경차 전환 지원, 저감장치 보급과 관리감독이 여전히 시급한 상황이다.

암모니아(NH<sub>3</sub>)는 현재 국내 가장 중요한 국내 미세먼지 발생 원인으로 받아들여지고 있다. 암모니아의 가장 중요한 배출원은 농업과 축산분야인데 주로 비료사용과 가축 분뇨 등에 의해 대기 중에 배출되는 특성을 보이고 있으며, 비료사용이 시작되는 이른 봄과 따뜻한 온도의 영향을 주로 받는다.<sup>11)</sup>

우리나라는 2000년 이후 암모니아의 농도가 정체 혹은 소폭 증가하고 있는 경향을 보이고 있다.<sup>12)</sup> 또한 2010년 이후 암모니아 배출에 영향을 주고 있는 가축분뇨 발생량과 농약 및 화학비료 사용량도 줄지 않고 있는 정체 현상을 보이고 있다.<sup>13)</sup> 암모니아 배출량은 바람과 온습도, 강우 등 기상조건의 영향을 받는데 국내의 암모니아 배출량 산정은 이러한 물리적 조건을 반영하지 않고 있어 매우 불확실하다. 따라서 비료 및 가축분뇨 등이 미세먼지의 주요 원료인 만큼 환경부 뿐 아니라 농림수산식품부 차원의 적극적인 관리 정책이 시급하다고 할 수 있다.

미세먼지는 총량적 관점의 무게농도 측정뿐 아니라 그 기원을 파악할 수 있는 미세먼지 화학조성을 측정하는 것이 매우 중요하다. 현재 우리나라에서는 단 6개의 집중 측정소에서 화학조성을 측정하고 있으며, 여기에 대한 자료의 공개가 제한적이다. 또한 초미세먼지의 측정이 2015년부터 공식 측정된 만큼 현재 누적된 자료의 값도 매우 제한적이다. 국내 내륙에서의 암모니아 대기 측정 장소는 한 곳에 불과하다. 따라서 기본적 미세먼지의 실태와 기원을 밝히기 위해 국가관리의 집중 측정소의 확충과 관리가 매우 시급하다고 할 수 있다. 또한 지자체 차

원의 미세먼지의 양상이 다소 상이한 만큼 지자체 미세먼지 대응을 위해서도 전국단위의 집중측정소의 확충과 관리가 필수적이다.

마지막으로 실내 공기질 개선을 위한 국가적 노력의 추가적으로 요구된다. 현재 초미세먼지 고농도 발생시 경보 발령 등으로 일반 국민들은 외부활동을 자제하고 실내에서 대부분의 시간을 거주하게 된다. 이때에 실내 공기질이 오염된다면 이차적 건강피해를 겪을 가능성이 있다. 따라서 실내 미세먼지 오염 등을 예방할 수 있도록 거주 공간의 공기 청정기 기술 개발과 보급이 필요하다. 특히 사람들이 많이 모이는 역사나 대형 건물 등에 적용될 수 있는 필터 및 효율적 청정 기술이 보급, 개발된다면 고농도 사례에서 실내 공기질을 관리할 수 있을 것이다. 이를 위한 미세먼지 국민 대응을 위한 정부의 노력과 함께 정부차원의 관리와 연구개발 투자도 고려할 만하다.

#### 4. 결론

이미 미국, 영국 등 선진국에서는 미세먼지 등 대기오염 극복의 역사가 있다. 이 과정은 대기오염의 원인규명과 배출원 관리, 저감, 관련 기술과 정책지원과 이행에 필요한 오랜 시간이 소요되었다. 현재 우리나라의 초미세먼지 농도 수준은 1990년대의 미국 로스엔젤레스와 유사한 상황이다. 2019년 현재 로스엔젤레스의 초미세먼지 농도는 미국의 환경기준 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 만족시키며 사실상 목표를 달성하였다. 그 과정에는 정부차원의 입체적 대기오염 관측과 배출량 분석과 조사 등 꾸준한 연구가 있었으며, 발

11) Zhu et al.(2013), Constraining US ammonia emissions using TES remote sensing observations and the GEOS-Chem adjoint model.

12) 한지현 외(2018), 관측자료 분석을 통한 국내 암모니아 농도와 특성(국제 미세먼지 예보모델 심포지엄 발표)

13) 농림축산식품부 농기재정계획팀, 한국작물보호협회, 한국 비료협회 자료



허진 배출원에 대해 다양한 정책적 지원과 기술보급 정책 등을 통해 점진적 배출량 감소가 가능했다. 특히 주 배출 원인 교통과 항만, 사업장 등 당사자들과 정부 당국과의 끊임없는 소통으로 20여년에 걸친 대기질 개선의 과정은 우리나라에 좋은 선례가 될 것이다. 즉, 인공강우와 실외 청정기 등 이미 배출된 오염물질을 제거하는 것은 비용대비 매우 제한적이다. 결국 미세먼지의 배출원을 정밀하게 밝히고 정책을 추진하며 이해당사자가 적극 참여할 수 있도록 제도적 지원과 정책수단을 마련하는 것이 유일한 대책이 될 것이다. 우리나라도 여전히 불확실한 배출원과 배출량을 관측과 조사를 통해 먼저 파악하여 시급히 대책을 세우고 이를 가능한 시간 내에 실천하는 방향으로 정부의 역량이 집중되어야 할 것이다.