

미세먼지 저감 기술 동향

Technology Trend for Particle Matter Reduction

이재호 (J.H. Lee, jaeholee@etri.re.kr)

임성호 (S.H. Im, shim@etri.re.kr)

김진호 (J.H. Kim, jhokim@etri.re.kr)

송호영 (H.Y. Song, hsong@etri.re.kr)

미래기술연구본부 책임연구원

미래기술연구본부 책임연구원

미래기술연구본부 책임연구원

미래기술연구본부 책임연구원/본부장

2019
Electronics and
Telecommunications
Trends

- I. 서론
- II. 미세먼지 개요
- III. 미세먼지 저감 사례
- IV. 미세먼지 저감 기술
- V. 결론

In this article, we introduce examples and technologies relating to particulate matter (PM) reduction technology, for the purpose of reducing PM that harms health and affects the entire industry such as dust-sensitive semiconductor industry. First, the definition of PM and how it is generated is explained, including its effects on the human body. In addition, various methods for measuring PM are described, including examples of the restrictions on the operation of polluting vehicles and emission reduction devices. Finally, we describe techniques relating to the reduction and forecasting of PM.

* DOI: 10.22648/ETRI.2019.J.340209

* 본 고는 2018년도 ETRI 내부사업의 연구비 지원으로 수행되었음[4차 산업혁명을 대비한 가치 창출형 ICT 기술발굴 및 기획 연구].



본 저작물은 공공누리 제4유형
출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

I. 서론

최근 들어 봄과 겨울철에 가시거리가 현저히 떨어지는 날들이 증가하고 있다. 여러 가지 원인 중 유력한 원인은 바로 미세먼지로 몇 년 전부터 고농도의 미세먼지 때문에 ‘미세먼지 나쁨’ 주의보 발령일이 증가하고 있다.

미세먼지가 인체에 미치는 영향은 1948년 10월 27일부터 10월 31일에 발생한 미국 펜실베이니아주 도노라(Donora) 스모그(Smog) 사건을 계기로 연구되었다. 이 스모그로 인해 20여 명이 사망했으며 6,000여 명이 호흡기 질환으로 입원 치료를 받았다. 안개가 많고 공기 이동이 거의 없는 날이 5일 동안 계속되었고 유독한 가스화 매연 등이 안개와 함께 섞이면서 스모그가 발생하여 대기오염을 가속시켰다.

이러한 원인을 분석하기 위해 역학조사를 실시하였다. 사망과 질병의 원인은 10 μ m(마이크로미터) 이하의 미세먼지였으며, 미세먼지는 건강한 사람들에게도 좋지 않은 영향을 미칠 확률이 높다는 연구결과가 발표되었다. 이후 미국 정부는 대기오염대책과 함께 미세먼지에 대한 대기오염 기준도 마련하기 시작하였다.

도노라 스모그 사건 이후, 4년 뒤인 1952년에 영국 런던에서 스모그 사건이 발생하였다. 1952년 12월 5일부터 12월 10일까지 대기가 안정되면서 런던은 차가운 안개와 난방에 사용한 석탄으로 인한 석탄 그을음과 디젤 엔진에서 배출되는 황산가스 등으로 인해 최악의 스모그가 발생하였으며, 총 12,000명이 사망하였다. 이로 인해 영국 의회는 1956년에 청정대기법(Clean Air Act)을 제정하였다.

앞서 수많은 인명피해를 발생시킨 두 사례로 전 세계에서 미세먼지와 초미세먼지에 대해 관심이 증가하면서 세계보건기구(WHO)는 1987년에 미세

먼지와 초미세먼지에 대한 대기질 가이드라인을 제정하였다. 우리나라의 환경부도 미세먼지를 대기오염물질로 규정하고 규제하고 있다.

본 고에서는 인류에 악영향을 미치는 미세먼지와 정부의 대책, 미세먼지의 저감 방법에 대하여 알아보려고 한다. 미세먼지 개요에서는 미세먼지에 대해서 설명하고, 미세먼지의 발생원인과 우리 몸에 미치는 영향은 무엇인지 살펴보았다. 미세먼지 저감 사례에서는 대기오염 문제에 대한 정부의 대책을 중심으로 사례를 정리하였다. 2005년부터 2014년까지의 수도권 대기 환경 1차 기본계획 및 2015년부터 2019년까지의 2차 기본계획과 함께 2016년 6월에 발표된 미세먼지 특별 대책의 내용과 한계가 무엇인지를 정리하였다. 미세먼지 저감 기술에서는 다양한 방법의 미세먼지 저감 방안 기술에 대하여 살펴보았다. 마지막으로, 결론에서는 지금까지 미세먼지 저감 기술 및 사례에 대하여 요약 및 정리하였다.

II. 미세먼지 개요

이 절에서는 미세먼지의 정의와 발생원인 등에 대해서 개략적인 범위에서 최대한 자세히 살펴본다.

1. 미세먼지 정의

「대기환경보전법」 제2조(정의) 제6호에 따르면, ‘먼지’는 ‘대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상물질’을 의미한다. 여기서 ‘입자상물질’이란 「대기환경보전법」 제2조(정의) 제5호에 의해 물질이 파쇄·선별·퇴적·이적(移積)될 때, 그 밖에 기계적으로 처리되거나 연소·합성·분해될 때에 발생하는 고체상(固體狀) 또는 액체상(液體狀)의 미세한 물질’을 뜻한다.

〈표 1〉 미세먼지와 초미세먼지 크기

| | |
|---------------------------|----------------------------|
| 미세먼지(PM ₁₀) | 지름이 10 μ m 이하의 입자성 물질 |
| 초미세먼지(PM _{2.5}) | 지름이 2.5 μ m 이하의 입자성 물질 |

*PM: Particulate Matter

미세먼지나 초미세먼지의 정도는 농도, 즉 세제곱미터(m³)당 질량(μ g, 마이크로그램)으로 나타내며, 미세먼지와 초미세먼지의 구분은 〈표 1〉과 같다. 이해를 돕기 위해 비교하면 머리카락의 지름은 대략 50~70 μ g이며, 꽃가루 알레르기를 일으키는 꽃가루의 지름은 약 15~75 μ g이다.

〈표 2〉는 미세먼지가 어떤 물질로 구성되어 있는지를 나타낸다. 검댕은 「대기환경보전법」상 지름이 1 μ m 이상의 입자상물질(PM)을 말하며, 연소할 때에 생기는 유리(遊離) 탄소가 응집한 것이다[1].

2017년 3월에 환경부에서는 외국과 용어를 통일함으로써 국제적으로 협업을 용이하게 하기 위해 용어를 변경하였다. 즉 미세먼지(PM₁₀)를 부유먼지로 정의하였으며, 초미세먼지(PM_{2.5})를 미세먼지로 용어를 변경하였다. 본 고에서는 용어가 변경되기 이전의 정의를 사용하였다.

2. 미세먼지 발생원인

미세먼지는 다양한 원인에 의해 발생한다. 주로

〈표 2〉 미세먼지 구성 성분

| | 미세먼지(PM ₁₀) |
|------------|-------------------------|
| 황산염, 질산염 등 | 58.3% |
| 탄소류와 검댕 | 16.8% |
| 광물 | 6.3% |
| 기타 | 18.6% |
| 계 | 100% |

[출처] 환경부, “바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?”, 2016.

물체들 사이의 마찰로 인해 발생하며 자동차가 주행할 때 타이어와 도로의 마찰에 의해 생겨나기도 한다.

초미세먼지는 물리적인 마찰보다는 고압과 고열의 환경에서 무언가를 태우거나 화학적 반응으로 발생한다. 예를 들면, 자동차의 내연기관은 높은 온도와 높은 압력하에서 휘발유 혹은 경유를 연소시킨다. 그 과정에서 질소산화물(NOx)이나 황산화물(SOx)과 함께 유기 탄소(OC: Organic Carbon)나 원소 탄소(EC: Elemental Carbon) 등이 발생한다. 이렇게 발생한 질소산화물이나 황산화물 중 일부는 수증기와 오존과 같은 물질과 화학반응을 하여 초미세먼지(PM_{2.5})가 발생하며, 수도권 경우 전체의 2/3에 이를 정도로 높다.

〈표 3〉은 미세먼지 발생원에 따라 2015년 12월에 국립환경과학원에서 발표한 ‘2013 국가 대기오염물질 배출량’이다[2]. 〈표 3〉에서 에너지산업연소는 석탄발전소와 같은 발전소에서 발생하는 미세먼지이며 제조업연소와 생산공정은 제조업 공장 등에서 연료를 태우거나, 작업과정 중에서 발생하는 미세먼지를 뜻한다.

〈표 3〉 PM_{2.5}와 PM₁₀의 배출원과 배출량

| | PM ₁₀ | | PM _{2.5} | |
|----------|------------------|-------|-------------------|-------|
| | 배출량(톤) | 비율(%) | 배출량(톤) | 비율(%) |
| 에너지산업 연소 | 4,524 | 3.7 | 3,573 | 4.7 |
| 비산업 연소 | 1,955 | 1.6 | 1,226 | 1.6 |
| 제조업 연소 | 81,014 | 66.6 | 41,606 | 54.2 |
| 생산공정 | 6,249 | 5.1 | 4,829 | 6.3 |
| 도로이동오염원 | 12,103 | 10.0 | 11,135 | 14.5 |
| 비도로이동오염원 | 15,167 | 12.5 | 13,953 | 18.2 |
| 폐기물처리 | 243 | 0.2 | 202 | 0.3 |
| 기타 먼오염원 | 310 | 0.3 | 279 | 0.4 |
| 합계 | 121,563 | 100 | 76,802 | 100 |

[출처] 국립환경과학원, “2013 국가 대기오염물질 배출량” 2015. 12. 공공누리 제 1유형.

도로이동오염원은 도로 위로 이동함으로써 발생하는 오염원으로, 휘발유, 경유, 가스 승용차나 버스 등의 내연기관을 가진 자동차에 의해 발생하는 미세먼지를 의미한다. 비도로이동오염원은 도로가 아닌 곳에서 이동하는 오염원으로서 자동차는 아니지만 내연기관이 달린 것으로, 철도·항공·선박·건설기계·농기계 등에서 발생하는 먼지를 의미한다. 폐기물처리하는 쓰레기를 연소하거나 하수도로 흘러들어온 폐수를 처리할 때 발행하는 배출을 포함하고 있다. 기타 오염원에는 산불이나 화재 그리고 가축사육시설에 의해 발생하는 미세먼지이다.

〈표 3〉에서 보면 제조업연소가 PM_{2.5}인 경우에는 54%, PM₁₀의 경우에는 66%를 차지함으로써 비중이 제일 크다. 두 번째로 큰 비중은 도로이동오염원과 비도로이동오염원이다. 이 두 배출원을 합하면 미세먼지(PM₁₀)의 경우 약 22%, 초미세먼지(PM_{2.5})는 약 33%의 비중을 차지하고 있다. 이 두 배출원은 제조업연소에 비해 작은 비중을 차지하고 있으나 앞서 설명한 바와 같이 차량 배기가스의 질소산화물(NO_x) 같은 가스 상태로 나온 물질이 초미세먼지를 발생시키며 수도권외의 경우 비중이 제일 높다.

에너지 산업 연소는 미세먼지와 초미세먼지 배출에 있어서 각각 3.7%와 4.7%로 비중이 작아 보이지만, 석탄 발전소는 황산화물이나 질소산화물을 많이 배출하며, 이러한 물질은 배기가스와 마찬가지로 초미세먼지를 만들어낸다.

3. 미세먼지가 인체에 미치는 영향

〈표 4〉와 같이 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)는 2013년 10월 17일에 미세먼지(PM)를 1군 발암물질에 포함하였다.

미세먼지가 우리 몸에 침투하면 면역세포가 이

〈표 4〉 국제암연구소의 발암물질

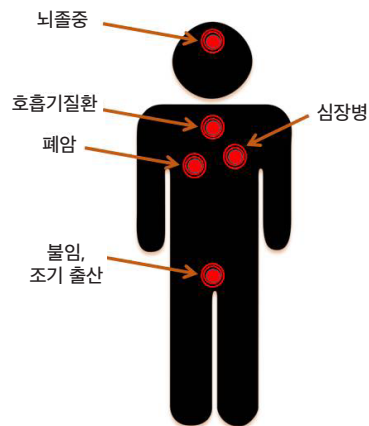
| 구분 | 주요 내용 | 예시 |
|---------------|---|----------------|
| 1군(Group 1) | 인간에게 발암성이 있는 것으로 확인된 물질 | 석면, 벤젠, 미세먼지 등 |
| 2A군(Group 2A) | 인간에게 발암성이 있을 가능성이 높은 물질 | DDT, 무기납화합물 등 |
| 2B군(Group 2B) | 인간에게 발암성이 있을 가능성이 있는 물질 | 가솔린, 코발트 등 |
| 3군(Group 3) | 발암성이 불확실하여 인간에게 발암성이 있는지 분류하는 것이 가능하지 않은 물질 | 페놀, 톨루엔 등 |
| 4군(Group 4) | 인간에게 발암성이 없을 가능성이 높은 물질 | 카프로락탐 등 |

〔출처〕 환경부, “바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?” 2016.

를 제거하는 기능을 하며, 이에 대한 부작용으로 염증반응이 발생한다. 즉 미세먼지가 신체에 들어오면 활성산소가 발생되며, 이 활성산소는 세포를 손상시키고 염증반응, 천식, 알레르기성 반응을 일으킨다는 것이다. 뇌와 심혈관 계통 등 우리 몸의 모든 조직에서 염증반응이 있으면 천식과 심혈관 계통 질환 등이 발생한다[3].

세계 각국에서 미세먼지에 대한 관심이 증가하면서 이에 따라 인체에 미치는 영향을 조사하고 있으며, 미세먼지에 의해 발생하는 병은 (그림 1)과 같다.

(그림 1)에서 보는 바와 같이, 홍콩 중문의대를 포함한 국제공동연구팀은 2017년 11월 미세먼지로



(그림 1) 미세먼지의 인체 영향

인해 정자에 영향을 미쳐 불임을 유발할 가능성이 있다는 연구 결과를 발표했으며, 2017년 미국 콜로라도주립대 등 국제연구팀은 183개국을 조사하여 미세먼지로 인해 조기 출산이 영향을 받는 것으로 밝혔다.

2013년 덴마크 암학회는 미세먼지가 $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가할 경우 폐암이 발생할 위험이 15% 증가한다고 발표하였다.

장안수의 논문의 미국 사례를 보면 미세먼지, 심장병과 사망률과의 상관관계에 의하면 미세먼지 및 초미세먼지 농도가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 감소하면 매년 1천 5백 건의 허혈성 심장질환으로 입원하는 사례를 감소시킨다는 결과를 인용하였다[3].

정성환의 논문에 의하면 초미세먼지의 농도가 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 증가하는 환경에서 장기간(30일 이상에서 1년간) 노출되면 혈압이 5~10mmHg 상승할 수 있다고 한다. 따라서 장기간에 걸친 초미세먼지의 노출은 고혈압 환자들의 뇌졸중 발생비율을 증가시킬 수 있는 동인이 될 수 있다[4].

2015년에 발표된 미국 캘리포니아의 대기위해성평가 보고서(MATES-IV)에서도 디젤엔진에서 발생하는 배기가스가 매우 위험하다고 평가하였다. 한국의 경우 경유차 비율이 휘발유차보다 높기 때문에 우려할 만하다.

국제암연구소의 2010년도 자료에 의하면 대기오염 때문에 전 세계적으로 223,000명이 한 해 사망한 것으로 집계되었다. 세계보건기구도 2014년 발표 자료에 의하면 대기오염으로 인해 사망자가 연간 700만 명에 이른다.

III. 미세먼지 저감 사례

1. 공해차량 운행제한지역(LEZ)

해외의 경우, <표 5>와 같이 공해차량 운행제한

<표 5> 외국의 LEZ 사례

| 구분 | 규제물질 | 대상 차량 | 단속 조치 | 시행 효과 |
|------|---|--------------------------------|--------------|--|
| 동경 | 미세먼지 (PM ₁₀) | 7년 초과된 2.5톤 이상 경유 화물·버스·특수차 | 운행금지 명령 | 질소산화물 환경기준 달성률 증가 |
| 스톡홀름 | 미세먼지 (PM ₁₀) 질소산화물 (NOx) | 8년 초과된 3.5톤 이상 대형 경유차 | 벌금 20만원 | PM ₁₀ 40% 감소, NOx 10% 감소 |
| 런던 | 미세먼지 (PM ₁₀) | 7년 초과된 3.5톤 이상 대형 화물차, 관광·시외버스 | 최고 벌금 172만 원 | PM ₁₀ 6% 감소 |

[출처] 환경부의 수도권대기환경청, “2차 수도권 대기환경관리 기본계획,” 2013.12.

지역(LEZ: Low Emission Zone) 제도를 도입하여 시행하고 있다[5].

우리나라의 경우 2008년부터 여러 차례 공청회 및 연구용역을 통하여 미세먼지 저감에 효과적이라는 결론을 얻었다. 이를 바탕으로 2005년 이전에 생산된 경유차 중 배출가스 검사가 부적합 차량으로 판명되거나, 저공해 조치를 취하지 않은 차량은 수도권에서 운행을 제한하는 동시에 적발이 될 경우에는 과태료를 부과하고 있다. 하지만 수도권에 등록된 차량만을 기준으로 단속하고 있기 때문에 수도권으로 유입되는 노후화된 경유차를 단속하지는 못하는 약점이 있다.

2. 배출가스 저감장치(DPF)

배출가스 저감장치(DPF: Diesel Particle Filter Trap)는 (그림 2)와 같이 자동차 배기가스 중에서 입자상물질을 줄이는 장치이며, 필터가 입자상물질을 여과한 후 이를 산화시켜 이산화탄소(CO₂)와 수증기(H₂O)를 배출함으로써 배출가스 중의 입자상물질을 저감시키는 역할을 한다.

미세먼지 저감장치는 입자상물질을 저감하는 양에 따라 제1종과 제2종으로 구분한다. 제1종의 경우에는 입자상물질을 90% 이상 제거하고 제2종의 경우에는 50% 이상 제거 가능하며, partial DPF



(그림 2) 미세먼지 저감장치

[출처] Michael KR, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DPF_Sensoren_Oxikat_039.JPG, CC BY-SA-4.0

라고 불린다. 하지만 저감장치를 장착한 후 연비가 수% 이내에서 감소할 수 있기 때문에 저감장치를 붙이는 것을 경유차 소유주들은 환영하지 않는다.

3. 교통수단 개선

미세먼지를 줄이기 위해 기존의 자동차 중심의 접근 방식은 배기가스를 줄이거나 노후차량을 폐기하거나 디젤차량을 LPG차량으로 교체하는 방식이었다. 그러나 이러한 방식은 지속적으로 미세먼지가 발생하는 문제가 있어서 자전거 친화적인 도시로 바꾸는 추세이다.

대만 남부에 위치한 Kaohsiung은 현재 159개 역사에 자전거 대여소를 설치하였으며, 자동차 배기가스를 줄이기 위해 자전거도로도 75km를 완성하였다.

네덜란드 Groningen은 가구당 자전거 보유대수를 약 3대, 자동차가 도심에 진입하는 것을 철저히 제한하고 있으며 자전거 친화적 도시 정책을 지속하고 있다[6].

이와 같이 세계적으로 자전거 친화적 도시들은 자전거를 레저뿐만 아니라 핵심 운송 및 교통수단 등의 실용자전거로 인식하고 있으며, 자전거 인프

라 구축에 상당한 투자를 하고 있음을 알 수 있다. 또한 최신 통신기술과 GPS, IoT(사물인터넷) 등을 자전거에 접목한 스마트 자전거(SEMS: Smart E-Bike Monitoring Service)도 개발되어 보급이 확산 중에 있다. 중국의 바이두에서 개발한 스마트 자전거는 GPS가 내장되어 있어 위치 추적이 가능하고 자가발전 방식을 사용하여 전력을 생산하고, 스마트폰과 연동하여 실시간으로 속도 등을 알려준다[7].

IV. 미세먼지 저감 기술

1. 미세먼지 예보제

미세먼지 예보제는 일기예보와 같이 대기질의 오염 정도를 대중매체 등을 통해 국민에게 알림으로써 국민의 건강과 각 산업활동에 따른 미세먼지의 영향을 최소화하기 위해 하루평균 기준으로 2014년 2월 이후 전국적으로 시행하고 있으며, 초미세먼지 예보제는 2015년 1월부터 시행하고 있다. 그리고 실시간으로 시간당 평균을 기준으로 미세먼지 경보제는 각 지자체별로 시행 중이다. <표 6>은 미세먼지의 세계보건기구(WHO) 권고기준이다.

<표 6>을 기준으로 미세먼지 예보를 하기 위해서는 먼저 실시간으로 국내외 대기를 측정할 데이터를 이용하여 대기오염 정도를 측정하고 흐름을 파악하는 관측 단계, 다양한 기상환경에서 오염물질 배출량을 농도로 변화하는 모델 단계, 관측 데

<표 6> 미세먼지의 세계보건기구(WHO) 권고기준

| 구분 | PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | | PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | |
|------|--|-----|---|-----|
| | 연평균 | 일평균 | 연평균 | 일평균 |
| 권고기준 | 10 | 25 | 20 | 50 |

[출처] 국립환경 과학원, “알기 쉬운 미세먼지,” 2014, 공공누리 제 1유형.

이터와 모델 결과를 바탕으로 예보관의 전문가적 지식과 노하우 등을 종합적으로 판단하여 예보 결과를 생성하는 예보 단계, 마지막으로 예보 결과를 대중매체나 한국환경공단(에어코리아, <http://www.airkorea.or.kr>), 모바일 앱(우리동네 대기질) 등을 통해 발표한다. 따라서, 미세먼지 저감 기술을 관측 단계와 예보 단계 그리고 미세먼지 제거 및 저감 기술에 대해서 각각 살펴본다.

2. 관측 단계 기술

미세먼지(PM_{10})와 초미세먼지($PM_{2.5}$)를 관측하는 두 가지 관측 기술은 <표 7>과 같다[8].

먼저 미세먼지(PM_{10})를 측정하는 기술은 (그림 3)과 같이 베타선 흡수법(β -ray Absorption Method)을 사용한다. 베타선 흡수법은 방사선의 한 종류인 베타선의 물리적 특성을 이용하여 미세먼지를 간접적으로 측정하는 방법이다.

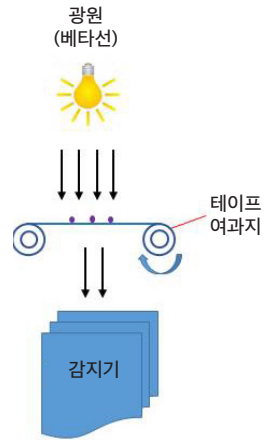
베타선은 방사선의 한 종류이며 어떤 물질을 통과할 때 그 물질의 질량이 클수록 더 많이 흡수되는 성질을 가진다. 이러한 성질을 이용하여 미세먼지를 채취한 테이프 여과지에 베타선을 쬐이고 감지기에서는 줄어든 베타선의 차이를 측정한 후 그 측정된 값을 바탕으로 미세먼지 농도를 구하는 방법이다.

초미세먼지($PM_{2.5}$)를 측정하는 방법으로는 (그림 4)와 같이 미세먼지의 질량을 직접적으로 측정하

<표 7> 미세먼지의 측정 기술

| 분류 | 측정 기술 |
|--------------------|---|
| 미세먼지(PM_{10}) | 베타선흡수법(β -Ray Absorption Method) |
| 미세먼지($PM_{2.5}$) | 중량농도법 또는 이에 준하는 자동측정법 |

[출처] 대기오염도실시간공개시스템 <http://www.airkorea.or.kr>, 공공누리 제 1유형.



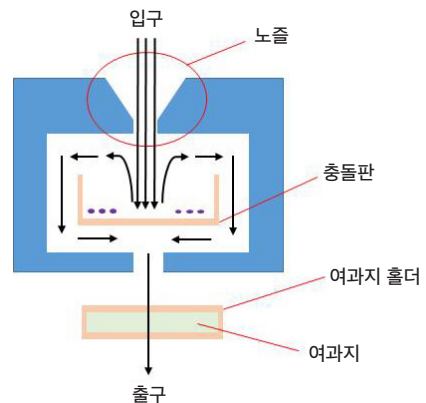
(그림 3) 베타선 흡수법(β -ray Absorption Method)

는 방식인 중량농도법을 사용한다.

(그림 4)의 중량농도법은 충돌판에서 일정한 크기 이상의 미세먼지를 제거한 후 초미세먼지($PM_{2.5}$)를 하루 동안 여과지에 채취한 후 직접 질량을 측정하는 방식이다.

3. 예보 단계

우리나라의 환경부에서는 배출량의 모델링 및 대기질 개선 효과를 분석하기 위해 미국 환경보호청(EPA: Environmental Protection Agency)에



(그림 4) 중량농도법

서 개발한 SMOKE를 활용하고 있다. 그리고 미세먼지의 국내외 영향을 계산할 때 이용하고 있는 화학수송 모델인 CMAQ(Community Multi-scale Air Quality)도 미국 환경보호청에서 개발하였다. 미세먼지는 기상 모델과 밀접한 관련이 있으며 우리나라에서 사용 중인 기상 모델로는 미국국립기상연구소(NCAR: National Center for Atmospheric Research)와 미국 기상연구대학연합(UCAR: University Corporation for Atmospheric Research)이 공동 개발한 기상 모델인 WRF(Weather Research and Forecasting)을 사용하고 있으며, 미국도 2005년부터 미국 해양대기청(NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration) 소속의 국립환경센터(NCEP: National Centers for Environmental Prediction)에서 사용 중인 모델이다.

미세먼지의 예보 정확도를 높이기 위해 IBM의 인공지능 시스템인 '왓슨(Watson)'을 활용하는 방안도 검토 중이다. 왓슨은 2015년에 미국 최대 민간기상회사인 웨더 컴퍼니(The Weather Company)를 인수하여 그 회사의 기상 데이터를 바탕으로 기상정보를 예측하는 인공지능과 결합된 예보시스템을 구축하고 있다.

유럽에서는 미세먼지의 정확한 예보를 위해 기상예보모델로 Integrated Forecast System을 사용 중이며, 미국은 Global Forecast System을 일본은 Global Spectral Model, 독일은 Global Meteorological Model, 중국은 Global and Regional Assimilation and Prediction System을 사용하고 있다.

4. 국내외 미세먼지 저감 기술

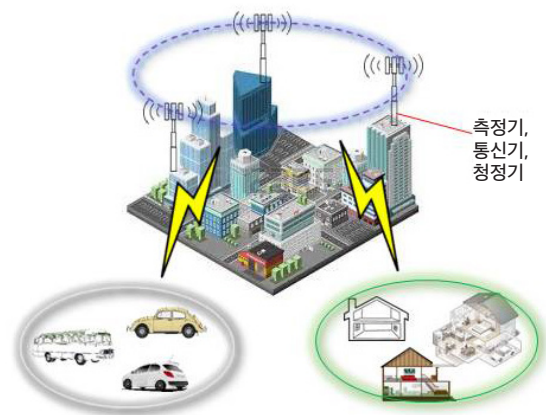
미세먼지를 줄이기 위한 각국의 사례를 살펴본다.

먼저 중국은 2015년 중국과학원 지구환경연구소가 공기정화탑을 산시성 시안에 세워 미세먼지를 제거하는 데 효과가 입증되었다고 발표하였다 [9]. 또한 2016년에는 베이징이나 톈진에도 이와 비슷한 공기정화탑을 설치하였으나, 이러한 방법은 도시 전체의 미세먼지를 제거하기에는 매우 제한적이다.

인도 뉴델리에서는 미세먼지를 제거하기 위해 물탱크에 물을 가득 싣고서 '물안개 대포'를 차에 장착하여 도로 위에 뿌리는 방법도 사용하였다. 그렇지만 실제 극심한 미세먼지를 줄이는 데는 효과가 미미하였다.

우리나라 서울에서는 2017년 여과지가 장착된 수백 대의 드론을 공중에 띄워 미세먼지를 제거하는 방법을 검토하기도 하였다.

(그림 5)는 미세먼지를 줄이기 위한 아이디어 수준의 개념도를 나타내었다. 점선 타원으로 된 연결 부분은 실외 미세먼지를 측정하는 측정기, 측정된 데이터를 공유하는 통신기 그리고 실외 미세먼지를 줄이기 위한 실외용 공기청정기로 구성되어 있다. 즉, 실시간으로 미세먼지를 측정하고 측정된 데이터를 공유하고 허용치 이상 미세먼지 농도가 증가할 경우 실외용 공기청정기를 가동한다. 또한



(그림 5) 개념도

실외 미세먼지 데이터를 각 가정과 근처에 있는 차량에 알려준다. 각 가정과 차량에서는 수신된 실외 미세먼지가 실내 및 차량 내부에서 측정된 실내 미세먼지보다 농도가 높을 경우 실외에서 유입되는 공기를 차단하고 실내용 미세먼지 제거기를 가동시킨다. 반대의 경우에는 실외 공기를 유입시켜 실내 미세먼지 농도를 줄이는 방향으로 동작한다.

V. 결론

전 세계에서 미세먼지를 줄이기 위한 많은 시도를 하고 있지만 아직까지 지구상에 존재하는 미세먼지를 효과적으로 제거하거나 줄이는 획기적인 방법은 없는 상황이므로, 최소한 미세먼지를 덜 배출하는 방법을 정책을 시행할 필요가 있다.

이와 동시에 본 고에서 소개된 방법 이외에 신소재를 이용하여 미세먼지를 줄이는 방법, ICT 기술을 활용하여 미세먼지를 줄이는 방법 등도 병행하여 실시하면 좋은 결과가 있을 것으로 기대된다.

용어해설

공해차량 운행제한지역(LEZ) 공해차량 운행제한지역(LEZ: Low Emission Zone)제도

배출가스 저감장치(DPF) 배출가스 저감장치(DPF: Diesel Particle Filter Trap)는 자동차 배기가스 중에서 입자상물질(PM)을 줄이는 장치이며, 필터가 입자상물질(PM)을 여과한 후 이를 산화시켜 이산화탄소와 수증기를 배출함으로써 배출가스 중의 입자상물질을 저감시키는 역할

약어정리

CMAQ Community Multi-scale Air Quality

| | |
|------|---|
| DPF | Diesel Particle Filter Trap |
| EC | Elemental Carbon |
| EPA | Environmental Protection Agency |
| LEZ | Low Emission Zone |
| NCAR | National Center for Atmospheric Research |
| NCEP | National Centers for Environmental Prediction |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| OC | Organic Carbon |
| PM | Particulate Matter |
| SEMS | Smart E-Bike Monitoring Service |
| UCAR | University Corporation for Atmospheric Research |
| WRF | Weather Research and Forecasting |

참고문헌

- [1] 환경부, “바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까?” 2016.
- [2] 국립환경과학원, “2013 국가 대기오염물질 배출량,” 2015.12.
- [3] 장안수, “미세먼지가 건강에 미치는 영향,” J. Korean Medical Association, vol. 57, no. 9, Sept. 2015, pp. 763–768.
- [4] 정성환, “미세먼지의 건강 영향,” 가천대학교 의과대학, 2016.
- [5] 환경부의 수도권대기환경청, “2차 수도권 대기환경관리 기본계획,” 2013.12.
- [6] 최재연, “적정기술을 이용한 미세먼지 저감방안 연구,” 최종보고서, 경기도, 2017.2.
- [7] ZDNet Korea, “중 바이두가 개발한 ‘스마트 자전거,’” 2014.12.03.
- [8] 대기오염도실시간공개시스템, <http://www.airkorea.or.kr>.
- [9] 중앙일보, “[이슈 속으로] 정화탑·제트바람·안개대포·드론 … 지구촌 미세먼지와 전쟁,” 2018.1.27.