

국토이슈리포트

제 11 호

2019년 12월 18일

| 발행처 | 국토연구원 www.krihs.re.kr | 발행인 | 강현수 | 주 소 | 세종특별자치시 국책연구원로 5

도시의 적(敵) 미세먼지, 줄일 수 없을까?

* 우리나라는 '미세먼지'의 공식명칭으로 '부유먼지', '호흡성 먼지' 등 다양한 용어를 고려했으나, 2019년 2월 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」을 시행하면서 국민에게 익숙한 PM10(지름이 10 마이크로미터 이하 크기의 먼지)은 '미세먼지', PM2.5(지름이 2.5 마이크로미터 이하 크기의 먼지)는 '초미세먼지'로 정함.

요약

- 건강·일상생활에 치명적인 악영향을 주는 미세먼지로부터 위협받고 있는 도시에서는 배출원(排出源)·교통수요의 관리뿐만 아니라, 배출된 미세먼지를 저감할 방안에 대한 요구가 폭발적으로 증가

- 미세먼지 저감을 위한 생태적·화학적·물리적 기법 효과를 시범도시 대상으로 검증할 필요

- 미세먼지 배출 억제는 고농도 미세먼지가 발생하기 이전에 배출원을 사전에 관리하는 것으로, 차량 2부제, 도심 내 자동차 진입제한 정책 등이 해당

- 도시내 미세먼지 배출원을 조사해 집중적으로 감축해야 할 분야 선정
- 교통부문에서는 친환경 차량 이용, 배출가스 최대 저감 지역 설정 등 교통수요 관리

- 미세먼지 저감기술은 생태적·화학적·물리적 기법이 있으며, 도시 차원에서 이러한 기법을 어디에 적용할 것인가가 중요

- (생태적: 식물의 흡수·흡착 능력 활용) 런던의 녹색 벽, 멕시코의 수직정원, 국내에는 녹지조성 방안에 대한 연구가 해당됨
- (화학적: 칼슘 마그네슘 아세테이트[CMA], 광촉매 등 활용) CMA는 다른 물질보다 경제적이며, 광촉매 페인트·모듈 등이 시범 적용되고 있음
- (물리적: 여과, 전기집진, 원심력 집진기술 등 활용) 네덜란드의 스모그 프리 타워(Smog Free Tower) 등은 정전력을 이용, 시간당 3만m³의 공기를 여과하고 있음
- (바람길 활용) 바람길에 순응하는 도시계획은 미세먼지 저감에 효과적임

- 가칭 '스마트 미세먼지 대응 시스템'을 구축해 주민에게 고해상도 미세먼지 정보를 실시간 제공하고, 인공지능(AI) 기반 미세먼지 저감시설의 운영을 통해 비용을 절감하고 효과를 극대화할 필요가 있음

- 스마트기술로 미세먼지 저감대책을 능동적으로 관리하며, 정밀한 미세먼지 정보를 제공해 주민의 대응력을 향상시키고, 관련 행정부서 간 협력적 대응체계를 구축할 필요

박종순 연구위원
성선용 책임연구원
윤은주 책임연구원

1

미세먼지 대응 도시 정책에는 무엇이 있나

도시 차원에서 미세먼지에 대응하는 정책은 크게 ① 미세먼지 배출 억제, ② 발생된 미세먼지 저감, ③ 미세먼지 대응시스템 구축으로 구분 가능

- ① 미세먼지 배출 억제 정책은 고농도 미세먼지가 발생하기 이전에 배출원을 사전에 관리하는 것으로, 차량 2부제, 도심 내 자동차 진입 제한 정책 등이 해당
- ② 미세먼지 저감 정책은 생태적·물리적·화학적 기법을 활용해 도시 내 발생된 미세먼지를 줄이고, 도시공간에 이러한 기법을 적용하는 것
- ③ 미세먼지 대응시스템 구축은 스마트기술을 미세먼지 저감기술에 접목해 저감기술이 원활하게 작동되도록 하고, 미세먼지 공간 정보를 시민들에게 제공하는 것을 말함

2

미세먼지 발생 억제방안

미세먼지 직·간접 배출원 조사

미세먼지 대응 도시 정책의 출발점은 미세먼지 배출원을 확인하고, 집중적으로 미세먼지를 감축해야 하는 분야를 선정하는 것임

- ① 국내 미세먼지 직접 배출원은 에너지산업, 비산업, 제조업 연소, 생산공정, 도로이동오염원, 비도로이동오염원, 폐기물 처리, 비산먼지, 생물성 연소 등으로 구분할 수 있음(https://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mb/airemiss/subview.do?id=airemiss_020300000000, 2019년 12월 5일 검색)
 - 국가 대기오염물질 배출량 통계에서는 에너지 수송·저장, 유기용제 사용, 농업 부문에서는 미세먼지 직접 배출량이 집계되고 있지 않음
- ② 도시별로 미세먼지 배출량과 미세먼지를 배출하는 주요 배출원의 종류도 다르므로 도시별 상황을 고려한 대책 필요
 - 예를 들어, 2016년 세종시의 미세먼지(PM10) 배출의 가장 큰 비중을 차지하는 것은 비산먼지(76%)이며, 비도로(건설장비, 항공, 선박 등) 이용(8%), 생물성연소(7%), 도로 이동(6%)의 순이므로 효과적인 미세먼지 저감을 위해서는 비산먼지를 저감할 수 있는 대책을 우선적으로 수립하는 것이 적절
- ③ 미세먼지의 직접 배출원 외에도 대기 중 화학반응에 의해 간접배출에 기여할 수 있는 NOx(질소산화물), SOx(황산화물), VOC(휘발성유기화합물), NH3(암모니아) 등의 물질도 저감 노력 필요(환경부 2016)

교통부문의 미세먼지 발생 억제

우리나라 전체 자동차 운행에서 발생하는 미세먼지의 직접 배출량*은 PM10이 1만 596톤, PM2.5은 9,748톤으로 각각 전체 4.5%, 9.7%를 차지하나, 미세먼지의 전구물질로 알려진 NOx의 배출량은 36.3%로 가장 큰 비중을 차지

* 국립환경과학원에서 제시한 배출원별 대기오염물질 배출량 중 도로이동 오염원 기준으로 산정(2016년 기준)

- ④ 배출을 억제하기 위한 정책으로는 친환경 차량의 보급, 노후 경유차의 조기폐차, 연비의 개선 등을 들 수 있음 (박지영 2019)
- ④ 도시공간의 관점에서는 대중교통·자전거 이용 및 보행 장려, 차량 2부제 등을 통한 자동차 운행 제한, 통행료 부과 등을 통해 교통수요를 관리할 수 있음
- ④ 서울시 차량 2부제 시행 시 29%의 미세먼지 직접 배출량 저감효과가 있는 것으로 나타났으며, 미세먼지의 전구물질인 NOx, SOx, VOC, NH3는 각각 26%, 43%, 25%, 49%가 감소(주현수 외 2018, 119)
- ④ 영국 런던의 경우 도심지를 중심으로 초저배출지역(Ultra Low Emission Zone)을 설정해 오염유발 차량 운행을 제한하고, 서울시도 녹색교통지역을 운영하여 노후경유차 운행 제한 정책 추진 중

3 미세먼지 저감기술과 도시공간 적용

생태적 혹은 생물학적 기법을 활용한 미세먼지 저감

식물이 미세먼지를 ‘흡착’ 또는 ‘흡수’하고 가지와 줄기가 미세먼지를 ‘차단’하며, 숲 내부에서는 기온·습도 조절 효과로 미세먼지를 ‘침강’하는 역할 수행(산림청 2018)

- ④ (흡착·흡수) 식물은 기공에 의해 잎 내부로 미세먼지를 흡수하거나, 줄기·가지·나뭇잎 등 미세한 나노구조에 의해 미세먼지를 부착함
- ④ (침강) 숲 내부의 낮은 온도와 높은 습도로 인하여 미세먼지가 수직으로 가라앉게 됨
- ④ 도시숲이 도심의 부유먼지(PM10)를 25.6%, 미세먼지(PM2.5)를 40.9% 저감한 것으로 나타났으며, 잎사귀가 많고 오랫동안 붙어 있는 침엽수는 그루당 일년에 44g, 활엽수는 22g의 미세먼지를 흡수함(산림청 2017)

도시 내 지역별로 적절한 식재방법을 적용하여 미세먼지를 저감시킬 수 있음

- ④ 미세먼지 저감을 위해서는 미세먼지를 차단할 수 있는 숲(차단숲)과 미세먼지를 저감할 수 있는 숲(저감숲), 그리고 양질의 바람을 공급하는 숲(바람길숲)으로 나누어서 식재밀도 제시(산림청 2018)
- ④ 미세먼지 저감에 효과를 나타내는 식재기법은 ‘계단식’과 ‘복합’ 배치 방식이 있으며, 미세먼지 차단이 필요한 지역에는 계단식 배치, 배출이 필요한 지역은 복합 배치 적용이 적절(김원주 외 2018)

〈그림 1〉 도로녹지 조성방법 예시(안)



출처: 김원주 외 2018, 17(Qiu. Q. L., Y. Z. Zhang and Y. L. 2011의 자료 재인용).

- 📍 영국 버밍엄의 경우 협곡 형태의 도로 양쪽 벽면을 이끼류와 담쟁이덩굴로 녹화해 대기 중 질소산화물의 40%가 제거(Birmingham Live 2018)
- 📍 멕시코시티는 일반도로와 고가도로가 만나는 콘크리트 기둥 벽에 수직정원을 조성해 대기오염 수준 저감 (Cheyenne 2018)
- 📍 우리나라에서도 물순환 건전성 확보를 위해 옥상 녹화, 투수성 포장(透水性鋪裝)*, 식생수로 등의 저영향 개발(Low-impact Development: LID)**을 통해 물순환의 건전성을 확보하고 있으며(환경부 2017), 녹지 자체의 대기오염 저감과 확보된 우수를 활용한 대기오염 저감 가능

* 빗물이 땅속에 침투할 수 있도록 간격을 두고 하는 포장

** 빗물의 순환을 자연상태와 유사하게 땅으로 침투·여과·저류하도록 하는 친환경 분산식 빗물관리 기법

〈그림 2〉 버밍엄 애스턴 고속도로(Aston expressway) 녹색 벽 설치 전 · 후



출처: <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-5385375/Green-walls-absorb-pollution-UK-commuter-routes.html> (2019년 12월 10일 검색).

〈그림 3〉 멕시코시티의 수직정원 전 · 후 비교



출처: <https://mudatudo.com.br/mexico-transforma-mil-colunas-de-concreto-em-jardins-verticais/via-verde-mexico2/> (2019년 12월 9일 검색).

〈그림 4〉 국내 저영향 개발과 수목을 활용한 미세먼지 안전공간 조성 사례



출처: 환경부 2019, 6; 박종순 외 2019, 70(내부자료).

화학적 기법을 활용한 미세먼지 저감

칼슘 마그네슘 아세테이트(CMA), 광촉매(TiO₂, 이산화티타늄) 등 미세먼지 흡착 및 오염물질을 분해 시켜주는 반도체 물질을 활용하여 미세먼지 저감

- 📍 CMA는 미세먼지를 흡착하는 물질로 다른 화학물질보다 경제적이며, 도로 결빙 방지에 효과적으로 활용 가능 (김정곤 외 2018, 92-93)
- 📍 멕시코의 경우 병원에 TiO₂가 특수코팅된 벌집모양의 특수타일 광촉매 벽체를 모듈 형태로 설치해 미세먼지 저감에 활용(<https://elegantembellishments.tumblr.com/page/2>, 2019년 12월 9일 검색)
- 📍 도시 공동체가 보유한 국토 자산을 이용해 기후정의를 실천할 수 있는 공간 활용 포트폴리오를 제공해야 함

〈그림 5〉 광촉매 원리와 멕시코 병원의 광촉매 벽체 설치



출처: (좌)http://news.khan.co.kr/kh_news/khan_art_view.html?artid=201810301414001&code=940100 (2019년 12월 9일 검색),
(우)<https://elegantembellishments.tumblr.com/page/2> (2019년 12월 9일 검색).

물리적 기법을 활용한 미세먼지 저감

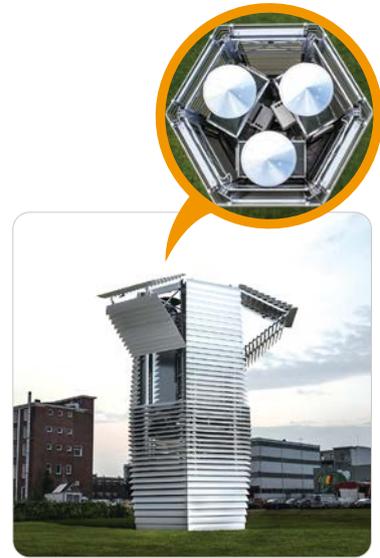
물리적 기법에는 여과, 전기집진*, 원심력 집진기술 등이 미세먼지 저감에 효과적

* 기체나 액체 속에 들어 있는 고체나 미립자를 전기적으로 채집하고 제거

② 섬유 필터는 200nm인 나노섬유를 사용하여 먼지 오염물질을 포집하고, 미세먼지의 80% 이상을 여과시키며(<https://www.donaldson.com/en-us/industrial-dust-fume-mist/technical-articles/top-5-reasons-nanofiber-performance-layer-filter-is-worth-it/>, 2019년 12월 9일 검색), 전기집진은 정전력을 이용하여 미세먼지를 집진전극으로 이동시켜 포집

② 네덜란드 스모그 프리 타워(Smog Free Tower)는 약 7m 높이의 타워가 양이온 이온화 기술을 사용하여 시간당 3만㎡ 공기를 여과시키며, 대기 중의 미세먼지 농도의 50%를 저감시킴(<https://www.ens-cleanair.com/en/projects/smog-free-tower/>, 2019년 12월 9일 검색)

〈그림 5〉 스모그 프리 타워



출처: <https://www.ens-cleanair.com/en/projects/smog-free-tower/> (2019년 12월 9일 검색).

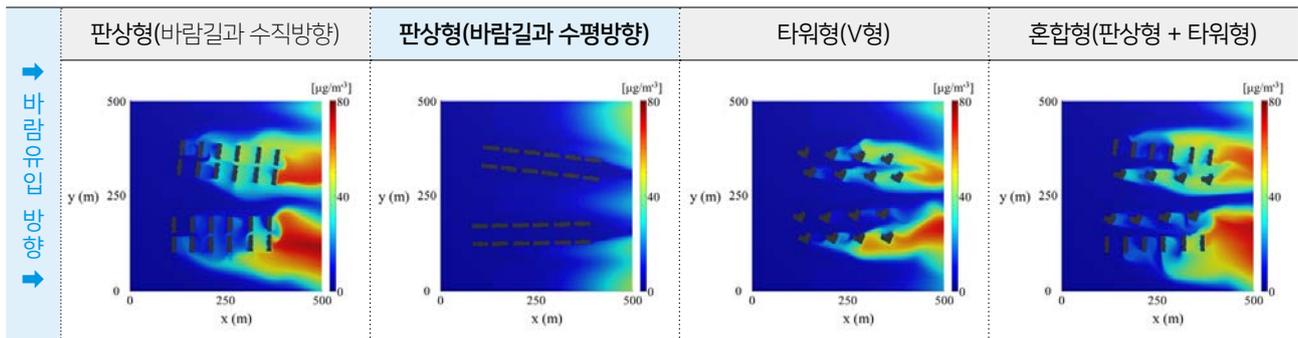
미세먼지 저감기술의 도시 내 적용과 바람길

도시 바람길(Urban ventilation corridor)은 산이나 바다로부터 신선한 공기가 도시로 유입될 수 있도록 하는 녹지와 물, 오픈 스페이스 네트워크를 뜻함(김수봉 외 2007, 130)

② 넓은 의미의 바람길은 신선한 공기를 생성하고(숲, 녹지, 미세먼지 저감시설 등 이용), 이를 원활히 이동시키는 데 기여할 수 있는 공간(하천, 도로, 오픈 스페이스 등)으로 정의 가능

② 신도시 개발은 풍향은 복잡하게, 풍속은 약하게 만들기 때문에 미세먼지가 저감되는 데 불리한 조건이 되므로 바람길에 순응하는 토지이용계획과 지구단위계획 수립 필요(바람길과 수평방향인 판상형을 제안)

〈그림 6〉 아파트 유형별 바람길과 미세먼지 농도장 분석 결과(예시)



출처: 박종순 외 2019, 121.

4 미세먼지 대응시스템 구축

스마트한 모니터링체계 구축

생활공간에 간이센서·사물인터넷(IoT) 등을 설치해 미세먼지 농도, 기상여건 등에 대한 정보를 실시간 수집·가공, 주민에게 제공하는 시스템 도입

- ④ 학교, 주민센터 등의 공공시설에 간이센서*를 우선 설치하고 단계적 확대 필요
 - * 환경부의 2019년 8월 이후 시행된 '미세먼지 간이측정기 성능인증제'
- ④ 공단, 발전소, 건설현장 등의 고정배출원은 지능형 CCTV와 사물인터넷(IoT), 이동배출원은 버스 등 대중교통에 간이센서·사물인터넷(IoT)을 활용해 측정
- ④ 모니터링체계가 확보된 후 시설별·지점별 미세먼지 농도, 대응 행동수칙, 미세먼지 안전공간 등의 정보를 실시간 제공하는 애플리케이션 개발, 기존의 전광판·리빙랩 시설과 연계
- ④ 수집된 미세먼지 빅데이터는 저장·관리해 객관적·과학적 대응체계에 활용

신속한 대응체계 마련

미세먼지는 위치별·시간대별로 변화하므로 실시간 맞춤형 대응체계 필요

- ④ 스마트한 모니터링체계를 통해 수집된 빅데이터를 활용해 스모그 프리 타워(Smog Free Tower), 포그·분수 시스템, CMA 살포 등의 저감조치를 능동적으로 작동·중단하는 스마트제어시스템 도입
- ④ 충분한 데이터가 축적되면 추가 도입하는 미세먼지 저감대책의 종류와 위치에 대한 객관적·과학적 의사결정 지원
 - 국가 대기오염 저감비용 대비 효과를 최대화하는 광촉매 시공 스케줄링, 미세먼지 안전쉘터, 벽면 녹화 우선 적용지역 등 선정
- ④ 미세먼지 배출원과 해결 조치가 여러 행정 부서에 걸쳐 있으므로 신속하고 원활한 대처를 위해 부서 간 대응체계 구축, 미세먼지 대응 매뉴얼 작성

5 미세먼지 대응 도시 정책방향

- ④ (단일 정책보다는 여러 대안 모색) 배출원·교통수요 관리뿐만 아니라 배출된 미세먼지를 저감시키기 위해 물리적·화학적·생태적 기법을 도시 공간상에서 적절하게 구현할 필요가 있음
- ④ (미세먼지 저감기술 시범도시에 적극 도입) 미세먼지 저감을 위한 물리적·화학적·생태적 기법의 비용 대비 효과에 대해서 도시 차원에서 검증된 사례는 드물며, 시범도시를 선정하고 그 효과를 면밀하게 따져볼 필요가 있음
- ④ (친환경 녹색도시 조성) 도시 환경정책의 당면 과제는 미세먼지 저감이지만, 궁극적으로 친환경 녹색도시를 조성하고, 이를 통해 도시민의 삶의 질 개선을 궁극적으로 추구해야 함

☑ 참고문헌

- 경향신문. 2018. SH공사, 광촉매 기술 적용된‘공기정화 아파트’첫 선. 10월 30일, http://news.khan.co.kr/kh_news/khan_art_view.html?artid=201810301414001&code=940100 (2019년 12월 9일 검색).
- 국립환경과학원. 국가 대기오염물질 배출량 서비스. 배출원 분류체계. https://airemiss.nier.go.kr/mbshome/mbs/airemiss/subview.do?id=airemiss_020300000000 (2019년 12월 5일 검색).
- 김수봉·정응호·이춘우. 2007. 바람길 조성을 위한 법제도 검토 및 활용방안. *환경과학논집* 12권, 1호: 127-143.
- 김원주·우수영·윤초롱·곽명자 외. 2018. 그린인프라의 미세먼지 저감효과 분석과 확대방안. 서울: 서울연구원.
- 김정곤·경대승·이성희. 2018. 미세먼지 저감 도시 조성기법 및 사례연구. 대전: 토지주택연구원.
- 박종순 외. 2019. 미세먼지 저감을 위한 국토·환경계획 연계방안 연구: 바람길 적용을 중심으로.(국토연구원 기본과제 평가본, 내부자료).
- 박지영. 2019. 미세먼지 저감을 위한 친환경 교통정책. *Energy Focus* 16권, 1호: 23-26.
- 산림청. 2018. 미세먼지 저감효과 큰 나무 심어 도시민 숨통 틔운다! 11월 26일. 보도자료.
- _____. 2017. 도시숲은 미세먼지 잡아먹는 하마(보도자료), (2017년 5월 30일)
- 주현수·신동원·최기철·김오석·최지원·김채윤·공성용·김유미·이현철·박선환·김수환·김운수·김정민. 2018. 미세먼지 통합관리 전략 수립연구. 세종: 한국환경·정책평가연구원 .
- 허희영·김진오. 2017. 미세먼지 저감을 위한 식재기법 및 도시 녹지계획 방향. *한국조경학회지* 45권, 5호: 40-49.
- 환경부. 2019. 강우유출량·수질오염 저감-저영향개발기법 효과 확인, 5월 31일. 보도자료.
- _____. 2017. 행복도시, 기후변화에 강한 물환경 생태 도시로 조성. <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=content&searchValue=LID&menuId=284&orgCd=&boardId=770080&boardMasterId=108&boardCategoryId=&decorator=> (2019년 12월 9일 검색).
- _____. 2016. 바로 알면 보인다. 미세먼지, 도대체 뭘까? 세종: 환경부.
- Birmingham Live. 2018. How the Aston Expressway could look under new anti-pollution plan. February 8, <https://www.birminghammail.co.uk/news/midlands-news/how-aston-expressway-could-look-14260043> (2019년 12월 9일 검색).
- Cheyenne, K. 2018. The Bloom of Vertical Gardens. <https://cleantechrising.com/the-bloom-of-vertical-gardens/> (2019년 12월 9일 검색).
- Donaldson. Top 5 Reasons a Nanofiber Performance Layer Filter is Worth It. <https://www.donaldson.com/en-us/industrial-dust-fume-mist/technical-articles/top-5-reasons-nanofiber-performance-layer-filter-is-worth-it/> (2019년 12월 9일 검색).
- Elegant Embellishments. <https://elegantembellishments.tumblr.com/page/2> (2019년 12월 9일 검색).
- ENS. Smog Free Tower. <https://www.ens-cleanair.com/en/projects/smog-free-tower/> (2019년 12월 9일 검색).
- Harry, P. 2018. ‘Living green walls’ lined with trees and bushes could help reduce toxic pollution by absorbing carbon dioxide on major commuter routes. *MailOnline*, February 13, <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-5385375/Green-walls-absorb-pollution-UK-commuter-routes.html> (2019년 12월 10일 검색).
- Mudatudo. 2016. Via Verde Mexico. <https://mudatudo.com.br/mexico-transforma-mil-colunas-de-concreto-em-jardins-verticais/via-verde-mexico2/> (2019년 12월 9일 검색).
- Qiu. Q. L., Y. Z. Zhang and Y. Li. 2011. *Urban Road Greening: Planning and Design*. Beijing: Chemical Industry Press.

박종순 국토연구원 국토환경·자원연구본부 연구위원(jspark@krihs.re.kr, 044-960-0233)

성선용 국토연구원 국토환경·자원연구본부 책임연구원(sysung@krihs.re.kr, 044-960-0225)

윤은주 국토연구원 국토환경·자원연구본부 책임연구원(yoonej@krihs.re.kr, 044-960-0219)