

# 지속가능한 도로 날림먼지 자동포집 시설

Technical Report [3부-1권 별책3]

스마트시티  
혁신성장동력 프로젝트

[2-4세부과제]  
주관연구기관-(재)대구테크노파크

과제명	리빙랩 기반의 지속가능한 도로 날림먼지 자동포집 시스템 개발	연구기간	'19.10.22~'21.04.30(1년 7개월)
		예산	총 4.5억 원 (정출금 : 2.5억 원)

### 개념도 (서비스 시나리오)



### 과제 개요

- (배경) 대도시에서 초미세먼지 배출 기여도 1위인 도로 날림먼지는 시민건강을 위협하고 있어 대책 마련이 시급하며, 대구 도시문제발굴단은 도로, 교통망에서 발생하는 되는 미세먼지를 도시문제로 제시
- (목적) 시민참여기반의 리빙랩을 운영하여 에너지를 사용하지 않고, 유지 및 관리비용이 발생하지 않는 도로 날림먼지 배출 저감을 위한 실효기술 개발 및 실증

### 주요 연구내용

- 대구 도심을 관통하는 큰 도로 주변의 실증지역 조사
- 도시문제발굴단을 포함한 대구광역시민 모집 및 리빙랩 운영
- 도로, 교통망에서 발생하는 미세먼지 문제해결을 위한 날림먼지 배출 저감 시스템 개발 및 실증
- 확대 보급방안 마련

### 기술적 차별성

- 도로 날림먼지를 차량풍과 자연풍을 이용하여 자동포집하고, 포집된 먼지는 빗물을 이용하여 하수관을 통해 하천이나 바다로 자동 배출하는 지속가능한 시스템
- ① 전기를 사용하지 않고, ② 소모품이 없으며, ③ 기계장치를 사용하지 않아 고장이 없고, ④ 포집된 먼지를 자동으로 배출하여 수거 인력이 필요 없어 유지, 관리 비용 불필요
- 국내 도로 규정 및 지침에 따라 설계되었으며, 보행자 및 차량의 통행을 방해하지 않는 한국형 도로인프라 기반 시스템
- 도로 날림먼지 제거, 도로경계 및 차량방호, 침수방지, 하수관 막힘 방지, 하천오염 방지 기능을 가지는 융복합 기술

### 기대효과

- 비용 없이 상시 도로 날림먼지를 포집하고 도로청소 효율을 극대화할 수 있어 도로청소 담당기관의 부담을 절감
- 비상저감 조치에 따른 차량운행 제한 등 규제로 인해 도시 생산 활동이 제한되어 발생하는 사회적 손실을 절감하고 정부의 미세먼지와 연관된 규제, 정책 시행을 용이하게 함
- 국민들이 미세먼지에 가장 많이 노출되는 도로변 미세먼지 배출 저감을 통해 국민 건강과 삶의 질을 향상

### 참여기관

[주관]



[공동]



## 실증경과 및 결과

- ① 하루 도로 날림먼지 제거량
  - 하루 자동포집 시설 1m에서 미세먼지 289mg/m, 초미세먼지 88mg/m을 에너지 없이 포집하였으며, 이는 분진흡입차 5.6회를 운행한 효과와 같음
  - 도로 날림먼지 자동포집 시스템을 차도와 인도 사이에 설치하면 70m 너비의 나무숲을 조성한 효과를 볼 수 있음
- ② 도로 날림먼지 배출량 저감률
  - 설치 전과 후의 도로 날림먼지 배출량은 37.5% 감소하였으며, 대구광역시 전 지역에 확대보급할 경우 연간 미세먼지 배출량 641톤(17.3%), 초미세먼지 배출량 155톤(12.2%)의 배출 저감이 가능

## 실증 대상지



## 단위서비스 및 요소기술

### 도로 날림먼지 배출 저감

- 상시 도로 날림먼지를 제거하여 30km 속도제한 도로에서는 30% 이상, 60km 속도 제한도로에서는 60% 이상 도로 날림먼지 배출량 감소



### 하수관 막힘 방지

- 담배꽂초보다 작은 사이즈의 그레이팅으로 인해 담배꽂초, 낙엽, 쓰레기 등의 하수관 유입을 차단



### 하천오염 방지

- 평상시 도로 오염원을 지속적으로 소량 배출하여 강우 시 초기 집중 유출에 의한 하천오염 방지



### 도로 침수 방지

- 선형배수 방식으로 기존 점배수 방식보다 지체시간 없이 신속하게 도로 배수가 가능



### 도로경계 및 차량 방호

- 도로와 차도 사이 길어깨에 설치하여 기존 경계석 기능을 동시 수행하도록 내구 설계



### 보행자 사고 예방

- 빗물받이 그레이팅에 하이힐 구두, 유모차, 휠체어 바퀴 등이 빠지는 사고, 미끄러지는 사고 등



## 실증을 통한 시사점

- 리빙랩 운영을 통한 지역 문제 해결의 성공사례로, 도로 날림먼지라는 지역 사회 문제를 연구자가 연구실 안에서만 진행하는 연구가 아니라 수요자(시민, 지자체 공무원 등)가 주체가 되고 직접 참여하여 지역의 상황을 고려하며 솔루션을 개발함으로써, 이를 통해 시행착오를 최소화하고 완성도 높은 도로 날림먼지 저감 솔루션 개발이 가능하였다.

## 타 지자체 확산방안

- 환경 분야 산업은 자체 수급보다는 환경정책과 규제 등의 시장 외적 요소에 의해 수요가 창출되는 특징이 있으므로 미세먼지 정책 반영 방안을 마련한다.
- 혁신제품, 신제품 인증 등 강행성을 가지고 있는 구매 제도를 이용하여 정부 및 지자체 등 공공기관을 대상으로 시스템 확산하고, 이후 민간 건설업체 등으로 시장을 확대한다.



연구책임자

(주)넥스트이앤엠

최기운 대표

kchoi@nextenm.com

• 목차 •

**제1장**    **개요**

- 1. 배경 및 필요성 ..... 156
- 2. 도로 날림먼지 자동포집 시스템 특징 ..... 162
- 3. 기대효과 ..... 164
- 4. KPI 설정 ..... 165

**제2장**    **연구 개발 성과**

- 1. 시스템 구성 ..... 167
- 2. 시스템 성능 ..... 171
- 3. 요소기술 ..... 174

**제3장**    **실증 경과**

- 1. 실증 체계 ..... 177
- 2. 실증 대상 ..... 178
- 3. 실증 경과 ..... 179
- 4. 실증 결과 ..... 183

**제4장**    **확산 방안**

- 1. 운영 및 활용방안 ..... 187
- 2. 성공모델 창출 계획 ..... 188

**제5장**    **Lesson Learned**

•  용어 정리 •

용어	정의
건식침강, 습식침강	미세먼지는 장거리를 이동하며, 중력에 의한 건식침강, 강수와 혼합된 습식침강 과정 등을 거쳐 지표에 퇴적
그레이팅	하수구의 뚜껑에 사용되는 철제 판
도로 날림먼지 자동 포집 시스템	스스로(Self) 도로 날림먼지를 저감하는 시스템으로, 외부전원 및 인력을 사용하지 않고 도로에서 발생하는 먼지를 자동포집하고, 포집된 먼지를 자동으로 배출하는 도로 기반시설(Self Dust Collector)
도로 날림먼지 (혹은 재비산먼지)	자동차 배기가스, 타이어 마모, 브레이크 패드 마모 등에 의해 도로 위에 침적된 먼지가 차량의 이동에 의해 대기 중으로 재비산되는 입자상 물질
리빙랩	생활 공간 속의 실험실이라는 뜻으로 시민들의 참여로 사회문제를 해결하는 개방형 실험실
미세먼지, PM10	대기 중에 떠다니는 지름 10 $\mu$ m 이하의 입자상 부유물질
선배수	도로종단을 따라 도로 노면 수를 연속적으로 배제하는 시설로 지체 시간 없이 배수구로 즉시 배제토록 하여 효율이 높음
점배수	기존의 집수정을 활용하는 배수 방법으로 길 어깨를 따라 흐르는 빗물을 집수정으로 유도하여 배수
초미세먼지(PM2.5)	대기 중에 떠다니는 지름 2.5 $\mu$ m 이하의 입자상 부유물질

• 표 목차 •

〈표 1-1〉 전 세계 주요 도시의 2011년, 2017년 대기오염 현황	159
〈표 1-2〉 기존 도로 날림먼지 제거 상용기술과 비교	163
〈표 1-3〉 도로 날림먼지 자동포집 시스템의 기대효과	164
〈표 1-4〉 KPI 설정 및 달성도	165
〈표 1-5〉 지표 산식	165
〈표 2-1〉 개발 시스템 제원	167
〈표 2-2〉 개발 시스템 품질 기준	167
〈표 2-3〉 모델 별 주요 부품 및 소재 정보	169
〈표 2-4〉 도로 날림먼지 자동포집 시스템의 시공 순서도와 완공도	170
〈표 2-5〉 자동포집 시설의 도로 날림먼지 배출량 저감률	172
〈표 2-6〉 기존 도로 배수시설과 도로 날림먼지 자동포집 시스템 비교	173
〈표 2-7〉 특허 제10-2389667호, “차량풍을 이용한 도로의 비산먼지 집진장치”	175
〈표 3-1〉 리빙랩에서 도출 된 아이디어 및 반영사항	183

## · 그림 목차 ·

〈그림 1-1〉 전국과 수도권에서 a) 미세먼지와 b) 초미세먼지 배출원별 기여율	157
〈그림 1-2〉 2013년 독일 연방 환경청이 예상한 미세먼지 기여 전망	159
〈그림 1-3〉 연도별 비산먼지 관리 정부 정책 추진 체계	161
〈그림 2-1〉 연도별 비산먼지 관리 정부 정책 추진 체계	168
〈그림 2-2〉 도로 날림먼지 자동포집 시스템 주요 부품	168
〈그림 2-3〉 기존 배수시설의 안전사고 예	174
〈그림 3-1〉 실증 운영 체계	177
〈그림 3-2〉 도로 날림먼지 포집 시스템 실증 규모	178
〈그림 3-3〉 도로 날림먼지 자동포집 시스템 시공 현장	180
〈그림 3-4〉 도로 날림먼지 자동포집 시스템 설치 전과 후 사진	181
〈그림 3-5〉 도로 날림먼지 저감률 성능평가 현장	181
〈그림 3-6〉 1차 워크숍 진행	182
〈그림 3-7〉 2차 워크숍 진행	182
〈그림 3-8〉 도로 날림먼지 배출 저감 성능 평가 결과	184
〈그림 3-9〉 리빙랩 운영으로 인한 시민의견 반영 및 보완	185
〈그림 4-1〉 성공모델 창출 및 국내외 확산 로드맵	188

## 1 | 배경 및 필요성

### 1-1 개발 배경

- 먼지는 대기 중에 떠다니거나 흩날려 내려오는 입자상 물질을 말하며, 일정한 배출구 없이 대기 중에 직접 배출되는 경우를 날림먼지라고 한다. 날림먼지는 주로 도로, 건설업, 시멘트·석탄·골재 공장 등에서 발생하며, 입자 크기에 따라  $50\mu\text{m}$  이하인 총 먼지,  $10\mu\text{m}$  이하인 미세먼지,  $2.5\mu\text{m}$  이하인 초미세먼지 및  $1\mu\text{m}$  이하인 극초미세먼지를 배출한다. 비산먼지와 관련된 환경문제로는 먼지 돔 효과(Dust Dome Effect), 가시악화, 진폐증 등의 호흡기 질환 유발과 설비의 열화 등이 있다.
- 미세먼지(PM10) 농도  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가 시 뇌혈관질환 사망률 10% 증가, 천식 악화 증상 29% 증가 등 미세먼지의 농도가 증가할수록 인체에 악영향을 미친다. 세계보건기구(WHO)는 1987년부터 미세먼지에 대한 가이드라인을 제시해 왔으며, WHO 산하의 국제암연구소(IARC)는 2013년에 미세먼지를 1군 발암물질로 분류하였다. 국내 미세먼지로 인한 한 해 조기 사망자는 1만924명으로 사회적 피해가 증가함에 따라 「재난 및 안전관리기본법」에 미세먼지가 사회재난으로 포함되었으며, 정부는 해결책 마련에 고심하고 있다.
- 환경부는 미세먼지 발생원 중에서 국외 영향(중국)이 30~50%이고, 나머지 국내 배출의 경우 수도권 기준 경유차가 29%, 전국적으로는 공장 등 사업장이 41%를 차지하는 것으로 분석하고 있다. 특히, 수도권과 같은 교통·산업·건설 활동이 많은 대도시의 미세먼지 농도는 도로변 미세먼지 농도가 도시 대기 측정 농도와 비교하면  $4\sim 11\mu\text{g}/\text{m}^3$  높은 것으로 나타났다. 그리고 이는 자동차 배출가스에 의한 영향과 도로 날림먼지에 의한 영향인 것으로 분석되었다.



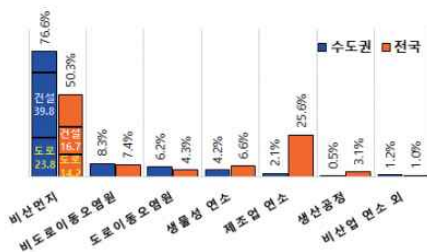
- 국립환경과학원 「국가 대기오염물질 배출량」에서는 2015년 이후 비산먼지를 대기 오염물질로 정의하고 배출량을 제시해 왔다. 최근 자료인 [그림 1]의 2017년 미세먼지(PM10) 배출량 현황을 살펴보면, 도로 및 건설공사 날림먼지에 의한 배출량이 가장 많이 차지함을 알 수 있다. 또 인체에 더욱 유해한 초미세먼지(PM2.5)의 경우 도로 날림먼지가 가장 큰 원인인 것을 알 수 있다.
- 본 테크니컬 리포트에서는 스마트시티 리빙랩 기반으로 개발된 도로 날림먼지 배출 저감을 위한 자동포집 시스템에 대해 상세 내용을 기술한다.

## 1-2 도로 날림먼지 자동포집 시스템 필요성

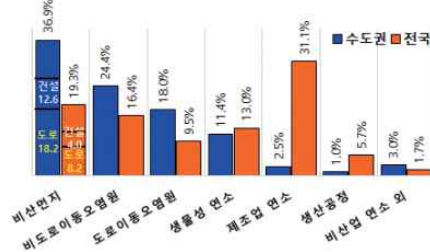
### 1) 국내 도로 날림먼지 배출 현황

- 국립환경과학원 「국가 대기오염물질 배출량」에 따르면 2017년 전국에서 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5)가 218,475톤 배출되었다.
- 총 미세먼지 배출량 218,475톤 중 ① 제조업 연소-기타(24.7%), ② 건설현장 날림(16.7%), ③ 도로 날림먼지(14.2%) 순으로 기여하였으며, 초미세먼지 배출량 91,731톤 중 ① 제조업 연소-기타(29.86%), ② 도로 날림먼지(8.2%) 순으로 기여하였다. 수도권에서 미세먼지 배출량 50,777톤 중 ① 건설현장 비산(39.8%), ② 도로 날림먼지(23.8%) 순으로 기여하였으며, 초미세먼지 배출량 16,055톤 중 ① 도로 날림먼지(18.2%), ② 건설현장 날림(12.6%) 순으로 기여하였다.
- 인구가 집중되어 교통·산업·건설 활동이 많은 대도시에서 도로 날림먼지가 많이 발생하였으며, 미세먼지 농도 개선을 위해서 도로 날림먼지는 우선적으로 배출 저감이 필요한 배출원으로 파악되었다. 따라서 배출 저감을 위한 기술을 검토하여 실증 후 현장에 적용·확대가 필요하다.

a) 배출원 대분류별 PM10 기여도



b) 배출원 대분류별 PM2.5 기여도



<그림 1-1> 전국과 수도권에서 a) 미세먼지와 b) 초미세먼지 배출원별 기여율

- 전 세계적으로 내연기관 자동차에 대한 배출가스 규제가 강화되면서 도로 배기 분야 미세먼지 발생 비중은 작아지고 있지만, 뚜렷한 저감기술이 없는 비 배기 분야(도로 날림먼지)가 미세먼지 유발에 미치는 영향이 점점 커지는 추세이다.
- 독일연방환경청에 따르면 수송 부문 도로 날림먼지 배출 비율은 2005년 기준 PM10이 58%, PM2.5가 24%였다가 2030년에는 각각 93%와 74%로 늘어나는 것으로 전망하였다. 영국 교통부에서 2018년 발표한 “영국 교통부 관점에서의 비 배기 미세먼지 배출” 자료에 따르면 도로 교통 분야가 자국 내 초미세먼지 배출의 12%를 차지하고 있는데, 이 중 7%를 비 배기 분야(도로 날림먼지)가 차지하고 있으며, 꾸준히 증가하는 추세라고 보고하였다. 도로 날림먼지가 배기 미세먼지를 넘어선 것으로 분석되면서 영국 정부는 2030년까지 도로 날림먼지는 10%, 배기 미세먼지는 1% 감축으로 목표를 설정하는 등 도로 교통 부문 규제가 배기 미세먼지에서 도로 날림먼지에 대한 기준 강화로 옮겨갈 필요성이 높아지고 있다.
- 국내에서도 초미세먼지 중 전국, 수도권외의 도로 날림먼지 배출 비율은 2016년 8.0%, 17.6%에서 2017년 8.2%, 18.2%로 0.2%, 0.6% 증가하였다. 에너지경제연구원(김재경, 2017)이 발표한 “자동차의 전력화 확산에 대비한 수송용 에너지 가격 및 세제 개편 방향”에 따르면 미래 전기차 역시 주행 과정에서 브레이크 패드나 타이어 마모 같은 비산먼지를 발생시키고 있어 관련 저감기술 개발의 필요성을 경고하였다.
- 이에 따라 환경부 친환경자동차기술개발사업단에서 미세먼지와 이산화탄소를 저감하기 위한 저마모 저탄소 타이어 개발 사업을 진행하는 등 도로 날림먼지 저감에 속도를 내고 있다. 하지만 배기 미세먼지보다 더 심각해지는 도로 날림먼지 배출 저감에 보다 적극적으로 대응해야 한다는 지적이 커지고 있다.



〈그림 1-2〉 2013년 독일 연방 환경청이 예상한 미세먼지 기여 전망

## 1 국내 미세먼지 심각성

- 세계 주요 도시 대기오염 현황을 보면 초미세먼지(PM2.5) 및 NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> 등의 대기 오염물질 농도가 꾸준히 증가하고 있으며, 서울, LA, 도쿄, 파리, 런던의 연도별 PM2.5 농도 현황을 보면 2011년에 9.63µg/m<sup>3</sup>에서 6년 뒤인 2017년에는 15.52µg/m<sup>3</sup>로 약 1.61배 증가하였다.
- 경제협력개발기구는 우리나라 대기질이 OECD 가입국 중 최하위이며, 40년 뒤 대기오염으로 인한 조기사망률이 OECD 국가 중 1위를 차지할 것으로 예측하였다. 따라서 관련 대책 마련이 매우 시급하다.

〈표 1-1〉 전 세계 주요 도시의 2011년, 2017년 대기오염 현황

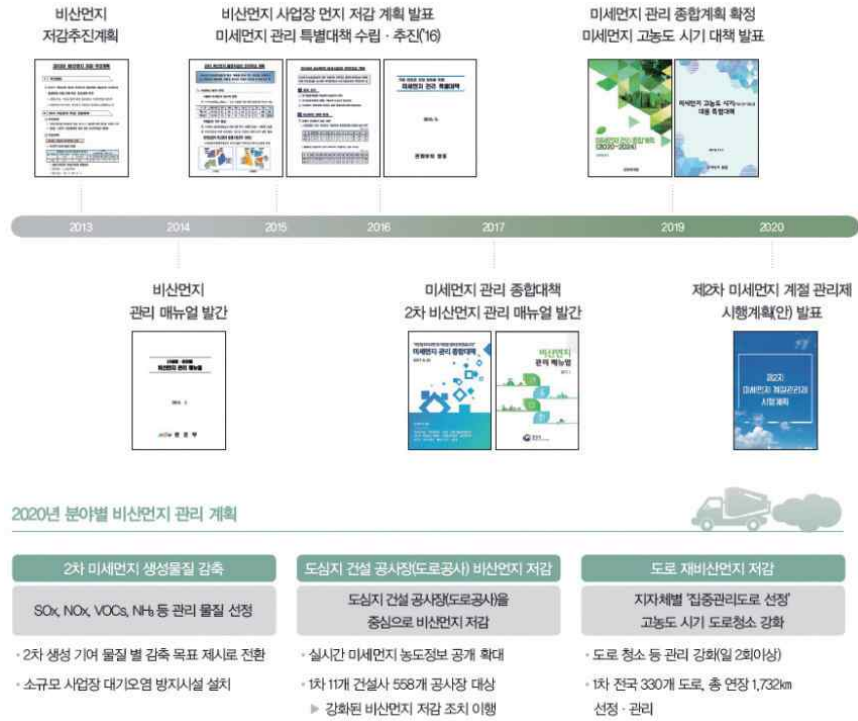
연도	지역	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)	연도	지역	PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	PM2.5 (µg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>2</sub> (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppm)
2011	서울	47	—	0.033	0.005	2017	서울	44	26	0.030	0.005
	LA	29	13.3	0.038	0.002		LA	33	14.8	0.025	0.001
	도쿄	21	15.7	0.019	0.002		도쿄	17	12.8	0.016	0.001
	파리	27	—	0.021	0.004		파리	21	14	0.020	—
	런던	23	17	0.026	0.001		런던	17	11	0.020	0.111
	평균	29.03	9.63	0.03	0.00		평균	26.40	15.52	0.02	0.02

## **D** 도로 날림먼지의 위해성

- 2012년 국립환경과학원 자료에 따르면 도로변 미세먼지 농도는 주변 농도 대비 약 1.6~1.9배 이상, 초미세먼지는 1.5배 이상 높아 보도를 이용하는 보행자의 건강을 위협하는 것으로 나타났다.
- 연구 결과에 따르면 도로변 미세먼지 농도는 지면에서 1.8m 높이 대비 0.7m 높이에서 5~6배 이상, 1.1 m 높이에서는 3~4배 이상 높은 것으로 확인되었다(C. J. Horwell et al., 2003).
- 따라서 지면에 가까울수록 농도가 높아지므로 유아, 어린이, 노인 등 미세먼지 취약계층에 더욱 심각하였다. 도로 날림먼지는 Cd, Pb, Cr 등 성분을 포함하여 일반 먼지에 비해 더욱 유해하며, 입자가 미세하여 폐, 뇌까지 직접 침투해 천식과 폐암 등의 호흡기 질환을 유발한다.

## **D** 기존 도로 날림먼지 관리의 한계점

- 정부는 2013년부터 비산먼지에 대한 정책과 매뉴얼 등을 통해 비산먼지 관리를 시행 중이며 지속적으로 강화하고 있다. 특히, 지난 2019년부터 겨울철을 미세먼지 고농도 기간으로 지정하여 집중적으로 비산먼지 관리를 시행하고 있다.
- 도로 날림먼지 관리를 위하여 진공청소차, 살수차 등 도로청소를 강화하여 실시하고 있으나 1) 청소할 때만 한시적으로 효과가 있을 뿐 침적된 미세먼지는 지속적으로 날리며, 2) 도로 전체를 관리하기에 턱없이 청소 인프라가 부족하며, 3) 교통체증 유발 및 4) 불법 주정차량으로 사각지대 발생, 5) 살수차 청소 후 물이 증발하면 도로에 남아있는 먼지가 다시 날리는 문제를 가지고 있다. 특히 도로 청소에 의한 날림먼지 배출 저감 효과는 미비하여 '보여주기식 행정'이라는 여론의 비난을 받고 있다.



〈그림 1-3〉 연도별 비산먼지 관리 정부 정책 추진 체계

## 1 도로인프라 기반의 날림먼지 자동포집 시스템의 필요성

- 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획의 추진 방향 구체화를 위하여 일반 국민 1,000명, 연구자 589명, 정책입안자 131명에게 설문조사를 실시한 결과, '인프라, 주거 분야'에서 도시·주거공간의 편의 및 안전을 위해 미세먼지 자동포집 시설물이 필요하다고 응답하였다. 또 '교통·물류 분야'에서는 안전하고 편리한 교통 환경을 위해 미세먼지 자동흡착 제거 시설물이 시급히 도입되어야 한다고 응답하였다.
- 도로 날림먼지 자동포집 시스템은 한국판 뉴딜 정책, 그린 뉴딜의 핵심과제인 '④ 녹색 기술개발'의 '⑥ 미세먼지 대응'에 부합하며, 성공적인 뉴딜사업 진행을 위하여 혁신구매가 요구된다.
- 대기관리권역법에 따라 수도권, 대도시에서 초미세먼지 배출 기여 1위인 도로 날림먼지는 우선적으로 저감이 필요한 배출원으로, 권역별 미세먼지 농도 목표 달성을 위해서는 시급히 자동포집 시스템 도입이 필요하다.

## 2 | 도로 날림먼지 자동포집 시스템 특징

### 2-1 시스템 특징

- (도로 날림먼지 배출 저감) 도로에서 발생하는 날림먼지를 차량풍과 자연풍을 이용하여 자동으로 포집하고 빗물을 이용하여 공공 하수관(오수/우수관)을 통해 하천이나 바다로 배출하는 지속가능한 도로인프라 기반의 시스템이다. 이 시스템을 도로의 갓길에 설치하여 상시 도로 날림먼지를 제거하여 30km 속도제한 도로에서는 30% 이상, 60km 속도 제한도로에서는 60% 이상 효과가 있었다.
- (에너지 제로, 최소한의 유지 관리) 도로 날림먼지 자동포집 시스템은 ① 전기를 사용하지 않고, 필터와 같은 ② 소모품이 없으며, ③ 기계장치를 사용하지 않아 고장이 없고, 포집된 먼지를 자동으로 배출하여 ④ 별도의 수거 인력이 필요 없는 장점이 있어 설치 후 유지 및 관리 비용이 거의 발생하지 않는다.
- (도로인프라 기반의 한국형 미세먼지 저감 시스템) 국내 도로안전시설 및 배수시설에 대한 규정 및 지침을 준수하여 설계되었으며, 특히 도로 건축한계를 고려하여 기존 도로 인프라인 연석 혹은 보행자 펜스를 대체하여 설치하므로 추가적인 도로 공간 확보가 필요 없고 보행자 및 차량의 통행을 방해하지 않는다.
- (다양한 기능의 융복합 기술) ① 상시 도로 날림먼지 배출 저감 기능 외에 ② 도로 경계 및 차량 방호, ③ 신속배수를 통한 도로 침수 방지, ④ 하수관로 막힘 방지, ⑤ 하천 오염 방지, ⑥ 기존 빗물받이에 의한 보행자 안전사고 방지 등 다양한 기능을 가지는 융복합 기술이다.
- (우수성이 검증된 국내 원천특허기술) 국내 연구진에 의해 세계 최초로 개발된 도로 날림먼지를 자동포집기술(등록특허 제10-2389667호, 차량풍을 이용한 도로의 비산먼지 집진장치)로 2019년 환경부 주최 미세먼지 저감기술 분야 경진대회에서 대상을 수상하였다. 또한 한국건설생활환경시험연구원으로부터 날림먼지 배출저감 효과에 대한 성적서를 받아 기술의 우수성이 검증되었다.

## 2-2 기술 차별성

- 기존 기술 대비 설치비용이 매우 적고, 유지보수비용은 발생하지 않으면서도, 가장 효과적으로 도로 미세먼지를 저감하는 실효기술로 경계석을 대체하여 설치되므로 구도심에서도 제한 없이 설치 가능하며 차량과 보행자의 통행을 방해하지 않는다.

〈표 1-2〉 기존 도로 날림먼지 제거 상용기술과 비교

기술	Fine Dust Eater	Clean Road	Road Sweeper	City Tree	Self Dust collector
가격	1m당 1,000천 원	1m당 900천 원	1대당 120,000천 원	1개당 52,000천 원	1m당 420천 원
실효성 10~0	에너지 : 10 Filter : 사용 MRO : 10	에너지 : 5 Filter : 없음 MRO : 4	에너지 : 8 Filter : 사용 MRO : 6	에너지 : 2 Filter : 없음 MRO : 3	Energy : 0 Filter : 없음 MRO : 0
성능	PM2.5 18% 저감 (반경 15m 범위)	PM10 22% 저감(비공인 정보)	PM10 포집: 51.4mg/m	공인된 정보 없음	PM10 포집: 289mg/m, PM2.5 포집: 88mg/m
특징	도로 공기청정기계	도로 위 스프링클러	살수차, 분진흡입차	이끼 형태 조형물	실효성, 가성비
장/단점	-많은 에너지 사용 -고가의 필터 비용 -보행자 통행 방해 -넓은 공간 필요	-겨울철 도로 결빙 -많은 물 필요 -물 증발 시 재비산 -차량오염 민원 발생	-부족한 청소 인프라 -교통체증 유발 -한시적 효과 -불법 주정차로 청소 사각지대 발생	-겨울철 효과 없음 -가격대비 저감 효과 미비 -보행자 통행 방해 -넓은공간 필요	-공간 확보 불필요 -항시 자동포집 -다양한 기능 -높은 저감률 -에너지, 필터 프리

### 3 | 기대효과

〈표 1-3〉 기존 도로 날림먼지 제거 상용기술과 비교

(As-is)		(To-Be)
1) 전 세계적으로 도로 날림먼지에 대한 뚜렷한 대책이 없어 이에 따른 미세먼지 발생 기여율은 꾸준히 증가하고 있다.	→	1) 도로 날림먼지 자동포집 시스템은 차도와 인도 사이에 165m 너비의 나무숲을 조성한 만큼 미세먼지를 제거할 수 있어 도로 날림먼지를 효율적으로 저감시키며 사회적 손실비용을 절감할 수 있다.
2) 미세먼지 비상조치 시 각 지자체별로 도로를 청소할 인프라 및 운영비가 부족한 상황으로 효과적인 대처가 불가능한 상황이다.	→	2) 설치 후 비용 없이 상시 도로 날림먼지를 포집하며 도로 청소 효율을 극대화할 수 있어 도로 청소 담당 기관의 부담을 줄일 수 있다.
3) 저감조치 발령 시 차량운행 제한 등 규제로 인한 도시 생산 활동 제약되고 있으며 시민들의 피해로 이어지고 있다.	→	3) 비상저감 조치에 따른 차량운행 제한 등 규제로 인해 도시 생산 활동이 제한되어 발생하는 손실을 절감할 수 있으며, 정부의 미세먼지와 연관된 규제, 정책 시행을 용이하게 한다.
4) 도로 내 PM10은 1.6~1.9배, PM2.5는 1.5배 이상 주변 농도보다 높아 보행자 건강을 위협한다.	→	4) 국민들이 미세먼지에 가장 많이 노출되는 도로변 미세먼지 배출 저감을 통해 국민 건강과 삶의 질을 향상시킨다.

- (경제적 효과) 전 세계적으로 미세먼지 저감과 관련된 대기 분야 시장 규모는 528억 달러 규모로 현재 급속도로 성장하고 있으며, 도로 날림먼지 자동포집 기술을 통해 미세먼지 저감 기술을 선도하고 해외시장 선점을 통해 많은 일자리 창출이 기대된다.



## 4 | KPI 설정

- 시민참여 기반의 리빙랩을 운영하여 도로, 교통망에서 발생하는 미세먼지 문제해결을 목표로 하고 있으며, 이에 따른 정량적 목표는 <표 1-4>와 같다.

<표 1-4> KPI 설정 및 달성도

평가 항목		개발 목표치	달성치	평가기관
도로 날림먼지 중 미세먼지 배출 저감율	30km/hr 도로	12%	37.5%	한국건설생활환경 시험연구원
	60km/hr 도로	30%	92.0%	
도로 날림먼지 중 초미세먼지 배출 저감율	30km/hr 도로	12%	37.5%	
	60km/hr 도로	30%	92.0%	
소모전력		10W	0W	한국산업기술시험원

- (도로 날림먼지 저감을 측정 방법) 한국건설생활환경시험연구원에서 「대기환경보전법 제17조 대기오염물질 배출원 및 배출량 조사」 ‘대기오염공정시험기준 ES01318.1a 도로 재비산먼지 측정방법’에 따라 설치 전과 후의 도로 날림먼지 배출량을 산출하여 저감률을 계산하였다.

<표 1-5> 지표 산식

구분	내용
도로 날림먼지 배출량 저감율 (%)	$\frac{E_{before} - E_{after}}{E_{before}} \times 100 = \frac{EF_{before} - EF_{after}}{EF_{before}} \times 100 = \frac{(sL_{before})^{0.91} - (sL_{after})^{0.91}}{(sL_{before})^{0.91}} \times 100$ <ul style="list-style-type: none"> <li>•배출량(E)은 주행거리에 따른 요인(VKT)이 동일할 때 먼지배출계수(EF)에 비례</li> <li>•먼지배출계수(EF)는 k 및 평균차중(W) 요인이 동일할 때 미사부하량 요인((sL)<sup>0.91</sup>)에 비례</li> </ul>

<p>도로 날림먼지 배출량</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; text-align: center;"> <math display="block">E = VKT \times EF/1000</math> <p>E : 배출량(kg/yr)  VKT : 주행거리(km/yr)  EF : 먼지배출계수(g/km)  1000 : 단위 환산계수</p> </div> <p>* 출처 : US EPA(1995) AP-42, Paved Road</p> <p>(출처 : 대기오염물질 배출량 산정방법 편람-국립환경과학원(2013))</p>
<p>배출 계수</p>	$EF = k(sL)^{0.91} (W)^{1.02}$ (US EPA AP-42 13.2.1 Paved road(2006)) <p>k : 0.62 for PM10, 0.15 for PM2.5  sL: 도로표면 미사부하량(g/m<sup>2</sup>)  W: 평균차중(ton)</p> <p>(출처 : 대기오염물질 배출량 산정 방법 편람-국립환경과학원(2013))</p>
<p>미사 부하량 (sL) 측정법</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 미국 EPA AP-42의 Appendix C.1과 C.2를 참고</li> <li>2) 일정하게 구획한 주행도로에 쌓여 있는 먼지를 수동식으로 전량 채취하여 체 분석(sieve analysis)하고 기하학적 직경이 75<math>\mu</math>m 이하인 미사의 질량을 측정</li> <li>3) 단위 표기는 도로면적당 미사(silt) 질량인 도로의 미사 부하량, g/m<sup>2</sup></li> </ol> <p>(출처 : 대기오염공정시험기준 ES 01318.1a)</p>

## 1 | 시스템 구성

## 1-1 시스템 규격

## 1.1 제원 및 품질기준

- 제품은 품질기준을 포함, 규격서에 기재한 모든 사항을 만족하며 이외의 사항에 대해서는 보유한 모든 품질인증의 시험기준을 만족해야 한다.

〈표 2-1〉 개발 시스템 제원

구분	모델명	치수(mm)	용도
1	ADC-250	2,000×300×650 (바디부: 995×190×320, 2ea / 침강부: 2,000×300×300, 1ea)	- 도로 날림먼지 제거 - 도로 경계, 차량 방호 - 도로 신속배수
2	ADC-450	2,000×300×850 (바디부: 995×190×520, 2ea / 침강부: 2,000× 300×300, 1ea)	- 하수관로 막힘 방지 - 하천 오염 방지 - 보행자 안전사고 방지

〈표 2-2〉 개발 시스템 품질기준

적용자재	시험항목	품질기준	시험방법
상부마감재 (화강석)	등급	2등급 이상	KS F 2530
	압축강도 (MPa)	80 이상	KS F 2519
	흡수율 (%), 비중	5 이하, 2.7~2.5	KS F 2518
바디부	압축강도 (MPa)	24 이상	회사 자체 기준
침강부	압축강도 (MPa)	24 이상	회사 자체 기준

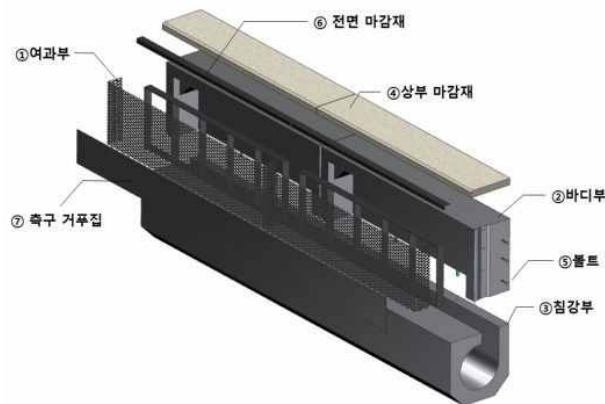
## 1 적용된 특허 기술

- 특허 제10-2389667호, 차량풍을 이용한 도로의 비산먼지 집진장치: 차량풍을 이용한 도로의 비산먼지 집진장치에 관한 것으로, 자연풍 및 차량풍에 의해 도로의 경계로 이동되는 비산먼지를 저감장치 내부로 유도 및 선회류를 형성하여 포집한 후, 장치 내부에 배수로를 통해 하수구로 배출함으로써 도로 날림먼지를 획기적으로 저감시키는 집진장치에 관한 것이다.
- **포집 원리:** ① 차량풍과 자연풍에 의해 차도에서 인도 방향으로 날림먼지 발생(차도에서 높이 10cm 이내에 48.5%, 50cm 이내에 76.4%가 날림) → ② 자동포집 시스템의 여과부로 날림먼지는 유입되고 바디부를 통해 침강부로 이동 → ③ 선회류와 중력에 의해 침강부의 배수관에 날림먼지는 침강되어 포집됨 ④ 포집된 먼지는 빗물 혹은 살수차 청소소에 의해 배수부로 유입된 우수에 의해 하수관으로 이동하고 하천으로 배출



<그림 2-1> 연도별 비산먼지 관리 정부 정책 추진 체계

## 1-2 시스템 구성 및 재료

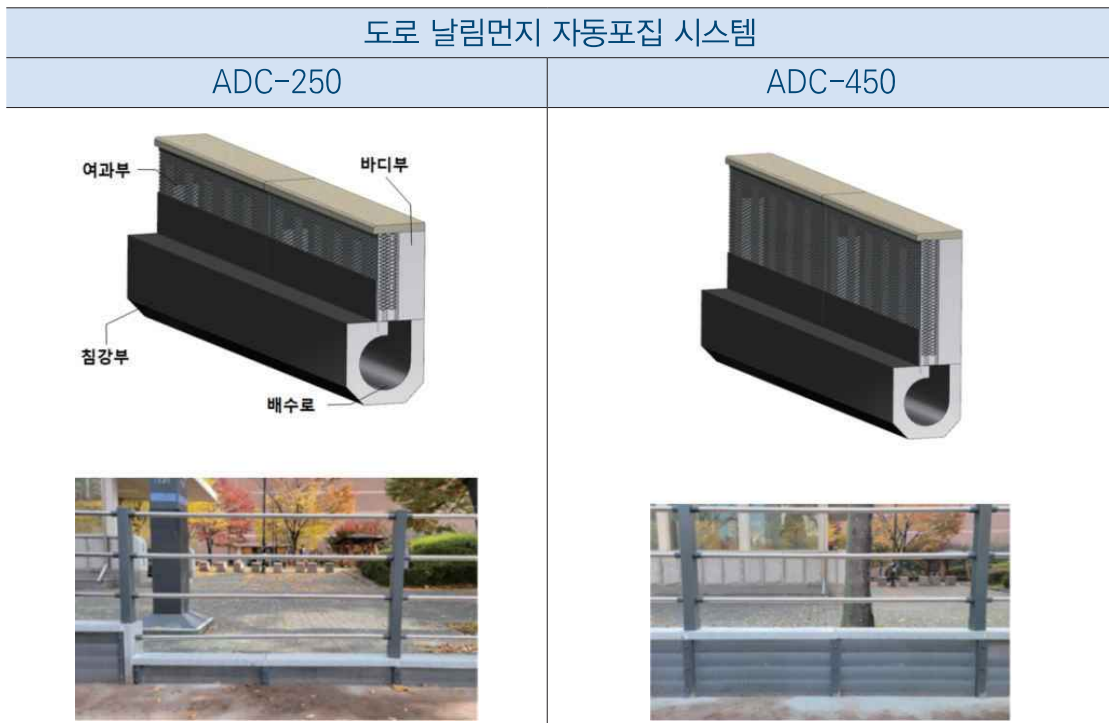


<그림 2-2> 도로 날림먼지 자동포집 시스템 주요 부품

〈표 2-3〉 모델별 주요 부품 및 소재 정보

모델명	자재 구성	주요 소재	치수, 수량 (2m당)	원산지
ADC-250	① 여과부	익스펜디드 메탈 (STS304)	990×80×260, 2ea	한국
	② 바디부	철근콘크리트 2차 제품	995×190×320, 2ea	
	③ 침강부	철근콘크리트 2차 제품	2,000×300×300, 1ea	
	④ 상부 마감재	화강석 2등급 이상	995×200×30, 2ea	
	⑤ 볼트	육각볼트 (STS304)	M6x20, 12ea	
	⑥ 전면 마감재	판재 절곡 (STS304)	994x20x20, 1T, 2ea	
	⑦ 측구 거푸집	판재 (아연도금강판)	998x150, 2,3T, 2ea	
ADC-450	① 여과부	익스펜디드 메탈 (STS304)	990×80×460, 2ea	한국
	② 선회류 유도부	철근콘크리트 2차 제품	995×190×520, 2ea	
	③ 포집부	철근콘크리트 2차 제품	2,000×300×300, 1ea	
	④ 상부 마감재	화강석 2등급 이상	995×200×30, 2ea	
	⑤ 볼트	육각볼트 (STS304)	M6x20, 12ea	
	⑥ 전면 마감재	판재 절곡 (STS304)	994x20x20, 1T, 2ea	
	⑦ 측구 거푸집	판재 (아연도금강판)	998x150, 2,3T, 2ea	

### 1-3 형태



## 1-4 시스템 설치

〈표 2-4〉 도로 날림먼지 자동포집 시스템의 시공 순서도와 완공도



○ 시공 전 아래 사항을 검토한다.

- 1) 대상 현장의 설치 위치, 지반 상태, 지하 매설물, 주변 구조물과의 이격거리, 과재 하중 및 용출수 여부 등을 조사한다.
- 2) 공사용 차량(운반차량, 시공장비 등)의 진입로를 확인한다.
- 3) 설계도서에 의거하여 시공이 부적절하다고 판단될 경우에는 즉시 보강대책을 강구하고 보강이 필요한 부분에는 감리자 또는 감독관과 협의하여 적절한 보강조치를

취하도록 한다.

○ 시공은 아래 사항을 주의한다.

- 1) 여과부와 바디부 사이에는 날림먼지가 지나가는 데 방해가 될 수 있는 턱이 생기지 않도록 측구를 시공해야 한다.
- 2) 여과부는 날림먼지를 제외한 담배꽂초 낙엽 등은 통과할 수 없도록 하여야 한다.
- 3) 침강부의 배수로의 절단면은 선회류가 배수로의 하단을 향할 수 있도록 관경의 중심보다 길게 하여야 한다.
- 4) 겉모양은 비틀림, 사용상 해로운 흠, 균열 등이 없어야 한다.
- 5) 시공 후 인체에 상해를 입힐 만한 날카로운 부분이 외부로 노출되지 않을 수 있도록 해야 한다.
- 6) 도로의 가장자리에 설치되어 도로의 날림먼지를 자동으로 포집하면서 선배수로 기능할 수 있도록 시공되어야 한다.
- 자세한 사항은 '도로 날림먼지 자동포집 시스템' 시방서(주)넥스트이앤엠를 따른다.

## 2 | 시스템 성능

### 2-1 도로 날림먼지 배출 저감



○ 하루 도로 날림먼지 포집량

- 한국건설생활환경시험연구원에서 시험한 결과 하루에 자동포집 시설 1m에서 미세먼지는 350mg/m, 초미세먼지는 88mg/m을 포집하는 것으로 나타났다.
- 분진흡입차가 운행 중 1m에서 미세먼지 포집량은 51.4mg으로 도로 날림먼지 자동포집 시스템을 도로에 설치하면 하루에 분진흡입차를 6.8회 운행한 효과를 볼 수 있다.
- 산림청에서 발표한 나무 한 그루의 하루 미세먼지 흡수량은 97.8mg으로 도로 날림먼지 자동포집 시스템을 설치하면 차도와 인도 사이에 165m 너비의 나무숲을 조성한 것과 같은 효과를 볼 수 있다.

○ 도로 날림먼지 배출량 저감률

- 한국건설생활환경시험연구원에서 「대기환경보전법 제17조 대기오염물질 배출원 및 배출량 조사」 '대기오염공정시험기준 ES01318.1a 도로 재비산먼지 측정방법'에 따라 설치 전과 후의 도로 날림먼지 배출량을 산출하여 비교하였으며, 아래 <표 2-5>에 나타냈다.
- 도로 날림먼지 자동포집 시스템은 전기를 사용하지 않고 차량풍과 자연풍만을 이용하여 자기 스스로 도로 먼지를 포집하기 때문에 주변 환경 변화에 포집량이 변하게 된다. 따라서 어린이 보호구역과 같이 차량속도가 느린 지역보다 산업도로와 같이 차량속도가 빠른 지역에서 더욱 많은 양의 미세먼지를 포집하였다.
- 살수차 청소를 병행할 경우 도로 위에 미사 대부분은 침강부로 흘러들어오기 때문에 날림먼지 배출량을 90% 이상 저감할 수 있다.

<표 2-5> 자동포집 시설의 도로 날림먼지 배출량 저감률

구분	제한속도 30km/hr 도로 (어린이 보호구역, 대구 동일초교 앞)	제한속도 60km/hr 도로 (산업도로, 인천 경원대로)
설치 사진		
미세먼지 저감률	37.5%	92.0%
초미세먼지 저감률	37.5%	92.0%
시험성적서	CT21-032230K, 도로 재비산먼지 저감률 (한국건설생활환경시험연구원)	CT22-007108K, 도로 재비산먼지 저감률 (한국건설생활환경시험연구원)

## 2-2 도로 침수 및 하수관 막힘 방지

- 기존의 집수정을 이용한 점배수 형태의 도로 배수방법은 길어깨를 따라 흐르는 빗물을 집수정으로 유도하여 배수하나, 도로 날림먼지 자동포집 시스템과 같은 선배수 방법은 이러한 지체시간 없이 배수로로 즉시 빗물을 배제토록 하여 효율이 높아



도로 침수를 방지할 수 있다.

- 기존 배수 시스템은 빗물받이의 그레이팅이 작으면 강우 시 이물질로 빗물받이가 막혀 도로 침수가 발생하고, 그레이팅이 크면 이물질이 빗물받이를 통과해 하수관이 막히거나 하천으로 흘러가 오염을 발생시키는 문제점이 있었다. 하지만, 도로 날림먼지 자동포집 시스템은 측면에 그레이팅이 설치된 배수 방식으로 빗물받이의 그레이팅이 작아도 강우 시 이물질로 막히지 않기 때문에 담배꽂초보다도 작은 개구 사이즈의 그레이팅으로 제작되었다. 그러므로 쓰레기, 낙엽, 담배꽂초와 같은 도로 오염원의 시스템의 배수관으로 유입을 원천 차단하여 하수관이 막혀 역류하는 문제를 방지할 수 있다.

〈표 2-6〉 기존 도로 배수시설과 도로 날림먼지 자동포집 시스템 비교

기존 도로 배수시설	Self Dust Collector
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 빗물받이의 그레이팅이 작으면 강우 시 이물질로 막혀 침수 유발</li> <li>• 빗물받이의 그레이팅이 크면 이물질이 하수/우수관거로 유입되어 막히거나 하천으로 흘러가 오염 발생</li> </ul> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 선형배수: 지체시간 없이 신속히 배수 가능</li> <li>• 측면배수: 그레이팅이 작아도 이물질에 막히지 않고 도로침수 방지</li> </ul> 

### 2-3 하천 오염 방지

- 기존 배수시설은 살수차 운행으로 하루 평균 1km에서 미세먼지 31g을 포함한 약 2,000g의 도로 오염원을 하천으로 배출하지만, 도로 날림먼지 자동포집 시설은 살수차 운행을 하지 않아도 하루 평균 1km에서 미세먼지 259g 포함한 1,570g/km의 도로 오염원을 하천으로 배출한다.
- 도로 내 오염원 배출량은 기존 배수시설 대비 75% 수준으로 적은 반면, 미세먼지는 약 8.4배 많이 배출한다. 평상시 소량의 도로 오염물질을 하수구를 통해 상시 배출함으로써 강우 시 초기에 도로에서 하천으로 다량 유출되는 불특정 오염물질(비점오

염원)을 저감시킬 수 있고, 초기 강우에 의한 하천오염을 방지할 수 있다.

- 담배꽂초보다도 작은 개구 사이즈의 여과부(그레이팅)로 제작되어 하천 미세플라스틱의 주요 발생원인인 담배꽂초의 하천 유입을 원천적으로 차단한다.
- 측면에 설치된 여과부(그레이팅)는 인도 보행자에게는 보이지 않아 흡연자들이 그레이팅에 습관적으로 담배꽂초를 무단투기하는 것을 방지할 수 있다.

## 2-4 보행자 사고예방

- 측면에 그레이팅을 설치함으로써 기존의 빗물받이가 가지고 있었던 1) 하이힐 구두, 유모차, 전동킥보드, 휠체어 바퀴 등이 빠지는 사고, 2) 비가 오면 미끄러지는 사고, 3) 보행자나 차량에 의한 파손 등의 보행자 사고를 미연에 방지할 수 있다.




〈그림 2-3〉 기존 배수시설의 안전사고 예

## 3 | 요소기술

- 도로에서 발생하는 날림먼지를 차량풍과 자연풍을 이용하여 자동으로 포집하고, 포집된 미세먼지는 빗물을 이용하여 공공 하수관(오수/우수관)을 통해 하천으로 배출하여 제거하도록 설계하여, 에너지 (전기)를 전혀 사용하지 않으면서 상시 도로 날림먼지를 자동으로 저감한다.
- 침강부의 배수로는 하수관과 연결되어 있어 배수로의 바닥면에 포집된 미세먼지를 우천 시 우수에 의해 하수관을 통해 하천으로 자동 배출함으로써 포집된 미세먼지를 수거할 인력이 필요 없다.

- 침강부의 배수로는 상시 소량의 물이 고여 있도록 설계되어, 바닥면에 포집된 미세 먼지는 젖어있어 외부로 재비산되지 않는다.
- 침강부의 배수로로 유입된 미세먼지는 도로의 종 방향을 따라 길게 설치된 배수로로 따라 이동하기 때문에 침강(Dry deposition)될 시간이 길어 효과적인 포집이 가능하다.

〈표 2-7〉 특허 제10-2389667호, “차량풍을 이용한 도로의 비산먼지 집진장치”

기술요약	대표도
<p>차량풍을 이용한 도로의 비산먼지 집진장치는 차도와 인도 사이 또는 차도와 차도 사이에 설치되고, 내부에 하방을 향해 개방된 공간이 형성됨과 함께 상기 공간의 한쪽이 차도 방향을 향하여 개방된 측구를 구비하는 바디부; 상기 바디부의 측구에 구비되어 차도에서 비산되는 오염 물질 중 먼지를 통과시키는 여과부; 상기 바디부의 하부가 지중 매립된 상태로 내부에 상방을 향해 개방된 배수로가 형성됨과 함께 상기 배수로의 개방된 상단이 바디부의 공간과 연통됨으로써 차량풍에 의해 여과부를 통해 측구로 유입된 먼지가 상기 배수로를 통해 배출되도록 하는 침강부; 및 상기 침강부의 배수로 내측에 둥글게 만곡 형성되어 배수로로 유입된 먼지를 포함한 기류의 선회를 유도하여 먼지를 중력에 의해 배수로 바닥면으로 침강시킴과 함께 배수로의 차도 쪽 개방된 상단의 하중 지지력을 보강하는 유도 보강면을 포함하는 것을 특징으로 한다.</p>	

- 침강부의 배수로로 먼지 외의 낙엽, 쓰레기, 담배꽂초 등의 유입에 의해 배수로와 하수구가 막히는 것을 방지하기 위하여 바디부의 측면에 개구 크기가 작은 여과부를 설치하였다.
- 본체는 도로 경계 및 차량 방호가 가능하도록 철근콘크리트 2차 제품으로 설계되었으며, 바디부의 높이를 인도 높이와 같게 설계하면 도로경계석의 역할을 하고, 인도 높이보다 높게 설계하면 분리대의 역할을 할 수 있어 아래와 같은 효과가 있다.
  - 1) 별도의 경계석 또는 분리대의 설치를 요하지 않아 시공비를 절감할 수 있다.
  - 2) 제품을 설치할 공간이 필요하지 않아 도로 공간을 효율적으로 사용할 수 있으며, 도로 공간이 부족한 구도심에도 설치가 가능하다.
  - 3) 기존 도로 인프라를 대체하여 보행자 및 차량의 통행을 방해하지 않는다.
- 도로경계석 기능을 하는 바디부의 바닥기초를 10cm 이상으로 적용하여, 보도 굴착

이나 차량 진입에 따른 침하나 이탈을 방지하였다.

- 도로 배수가 가능하도록 선배수 방식으로 설계되었으며, 기존의 집수정을 활용하는 점배수 방식보다 신속하게 배수가 가능하여 도로 침수를 방지할 수 있다.
- 차도 방향 측면에 설치된 여과부는 우천 시 기존 바닥면에 설치된 빗물받이의 그레이팅과 같은 역할을 하도록 설계되었으며 아래와 같은 효과가 있다.
  - 1) 측면에 설치된 여과부는 우천 시 낙엽, 쓰레기 등에 의해 막히지 않고 원활히 배수가 가능하여 도로 침수를 방지할 수 있다.
  - 2) 작은 개구 크기의 여과부는 우천 시 낙엽, 쓰레기 등의 하수구로 유입을 차단하여 하수구의 막힘을 예방할 수 있으며, 수질오염의 주요 발생 원인인 미세플라스틱과 담배꽂초의 하천 유입을 차단한다.
  - 3) 측면에 여과부를 설치함으로써 기존 바닥면에 설치되었던 빗물받이의 그레이팅에 의한 보행자 안전사고 및 그레이팅의 파손을 예방할 수 있다.
  - 4) 측면에 설치된 여과부는 인도 보행자에게는 보이지 않아 흡연자들이 그레이팅에 습관적으로 담배꽂초를 무단투기하는 것을 방지할 수 있다.

# 제3장

# 실증 경과

## 1 | 실증 체계

○ 디자인, 시제품 제작, 현장 설치, 현장 실증평가, 수정 보완 실시, 확대보급 방안 연구를 진행하였다.

목적	실증준비	실증추진 및 의견수렴	확대 보급방안 마련
리빙랩을 운영하여 도로 날림먼지 자동포집 시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 실증장소 선정</li> <li>- 시제품 설계 및 제작</li> <li>- 설치 관련 수성구청과 협의 진행</li> <li>- 도시디자인과 협의</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 자동포집 시스템 시공</li> <li>- 미세먼지 저감 성능 현장 평가</li> <li>- 시민 설문을 통한 개선의견 수렴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 개선방안 모색</li> <li>- 시민의견을 반영하여 보완</li> <li>- 보급 확산을 위한 고도화 방향 모색</li> </ul>



〈그림 3-1〉 실증 운영 체계

## 2 | 실증 대상

### 2-1 도로 날림먼지 자동포집 시스템 실증 대상

- (실증 대상지) 동일초등학교 앞 대로
- (주소지) 대구광역시 수성구 들안로 311
- (학생 현황) 총 817명 (남: 425명, 여: 392명)
- (교원 수) 55명 (남: 12명, 여: 43명)
- (현황) 학교 정문이 왕복 6차로 대로에 위치하고 있으며, 주변 농도 대비 약 2배 이상 미세먼지 농도가 높아 도로 날림먼지 저감이 시급한 상황이다. 학교 주변으로 아파트단지가 형성되어 있어 입주민들을 대상으로 리빙랩 운영에 대한 시민참여의 폭이 넓을 것으로 예상된다.
- (실증 규모) 동일초등학교 앞 대로와 인도 사이 150m 구간 중 정문에서 전기 및 수도 방향으로 60m 구간에 약 30개의 도로에 날림먼지 자동포집 시스템 설치하여 운영하였다. 또한 설치되지 않은 구역은 도로 날림먼지 저감 성능 시험에서 비교군으로 사용하였다.



〈그림 3-2〉 도로 날림먼지 포집 시스템 실증 규모

## 2-2 리빙랩 운영대상

- 리빙랩 운영 지역 : 동일초등학교 인근
- 시민참여 대상 : 동일초등학교 교사, 학부모 및 도시문제 발굴단, 관련 지자체 공무원
- 코로나 상황 극복을 위해 애플리케이션을 이용한 비대면 리빙랩을 동시에 운영하였으며, 설문 참여자에게 문화상품권을 이용한 리워드를 지급하였다.
- 시민 활동 범위
  - 1) 도로 날림먼지 자동포집 시스템 설치 전후의 미세먼지 체감 현황을 조사한다.
  - 2) 미세먼지 상황전파 시스템 구축 전과 후의 미세먼지 체감 현황을 파악한다.
  - 3) 도로 날림먼지 저감장치 보안사항을 검토 후 개선의견을 수렴한다.
  - 4) 만족도를 조사하고 확산 방안을 모색한다.
    - 초등학교 교사 및 도시문제 발굴단을 주축으로 한 워크숍을 실시하였으며, 의견을 반영하여 도로 날림먼지 자동포집 시스템을 수정, 보완하였다.

## 3 | 실증 경과

### 3-1 도로 날림먼지 자동포집 시스템 구축

#### 1 실증지 선정

- 대구광역시는 도심을 관통하는 달구벌대로, 동대구로 등을 중심으로 공원, 아파트단지, 학교, 운동경기장 등이 위치하고 있어 도로 날림먼지에 직접적인 피해가 있었다.
- 실증지역은 달구벌대로와 동대구로 주변의 미세먼지 취약계층이 밀집한 초등학교 주변 도로로 한정하였고, 도로 주변의 빅데이터 기반으로 교통량, 날씨 등 외부요인에 따른 미세먼지 농도 변화를 조사하였다. 이를 바탕으로 다른 지역보다 도로 미세먼지 농도가 높은 동일초등학교와 고산초등학교 2곳을 후보지로 선정하였다.
- 후보지 2곳에 대하여 현장조사를 실시하였고, 도로 날림먼지 현황과 자동포집 시스템 시공 적합성을 고려하여 최종후보지를 선정하였다.

## 1 관계자 협의 진행

- (~2020.02) 대구광역시 수성구청장 협의 → 공공디자인 심의 요청
- (~2020.07) 대구광역시 공공디자인 심의 (도시디자인과)
- (~2020.08) 대구광역시 수성구청 일자리경제과 설치 협의 및 시공업체 선정
- (~2020.09) 수성구청 건설과, 하수과, 안전총괄과 등 협의
- (~2020.10) 동일초등학교 도로공사 협의, 굴착공사 심사 및 수도, 가스 등 공사 협의
- (~2020.11) 한국전력공사 전기공사 협의

## 1 도로 날림먼지 자동포집 시스템 시공

- (2020.10.02) 기존 보행자 펜스 철거
- (2020.11.03) 굴착공사 심의 (설치 지연)
- (2020.11.08) 굴착공사 및 침강부/수로 공사/경계석 설치
- (2020.11.09) 도로 날림먼지 자동포집 시스템 외관 설치 공사
- (2020.11.15) 전기공사 및 한전 검수, 상수도 공사
- (2020.11.20) 구조검토서 발행 (인하공업전문대학교 토목공학과)
- (2020.11.22) 미세먼지 측정/상황전파 시스템 설치



〈그림 3-3〉 도로 날림먼지 자동포집 시스템 시공 현장



보행자펜스 (설치 전)



Self Dust Collector (설치 후)



〈그림 3-4〉 도로 날림먼지 자동포집 시스템 설치 전과 후 사진

### 1 도로 날림먼지 자동포집 시스템 성능평가

- 한국건설생활환경시험연구원에서 「대기환경보전법 제17조 대기오염물질 배출원 및 배출량 조사」 ‘대기오염공정시험기준 ES01318.1a 도로 재비산먼지 측정방법’에 따라 설치 전과 후의 도로 날림먼지 배출량을 산출하여 비교하였다.

		
시험 준비-퇴적물 제거(실험군 측구)	시험 준비-퇴적물 제거(실험군 배수로)	시험 준비-퇴적물 제거(대조군 측구)
		
시료 채취-실험군 측구	시료 채취-실험군 배수로(1)	시료 채취-실험군 배수로(2)
		
시료 채취-대조군 측구(1)	시료 채취-대조군 측구(2)	채취 시료

〈그림 3-5〉 도로 날림먼지 저감률 성능평가 현장

## 3-2 리빙랩 운영 경과

### 1차 워크숍

- (일시/장소) 2020.06.04.(화) 14:00~17:30, 대구경북디자인센터
- (대상) 시민, 공무원, KAIA, 자유과제 공동연구기관, 도시문제 발굴단
- (내용) 미세먼지 저감 솔루션 진행 방향에 관한 소개, 미세먼지 저감 솔루션에 대한 아이디어 회의 및 의견 공유, 리빙랩 운영 방향에 관한 전반적인 논의



〈그림 3-6〉 1차 워크숍 진행

### 2차 워크숍

- (일시/장소) 2021.04.08.(목) 16:30~18:30, 대구벤처센터
- (대상) 도시문제 발굴단, 시민, 넥스트이앤엠
- (내용) 현재까지 도로 날림먼지 자동포집 시스템을 이용한 미세먼지 저감 솔루션의 평가



〈그림 3-7〉 2차 워크숍 진행

〈표 3-1〉 리빙랩에서 도출된 아이디어 및 반영사항

시민 및 관계자 아이디어	반영 사항
1) 원목 색상에서 짙은 회색으로 조정하여 간결하게 디자인(참고: 대구광역시 공공디자인 가이드라인) 2) 높이, 두께를 조정하여 개방감 확보 3) 차도에서 운전자가 인도에 지나가는 보행자를 볼 수 있도록 시인성 확보 4) 상황전파 등의 색상이 녹색과 적색은 신호등의 색상과 동일하여 혼동을 줄 수도 있기 때문에 색상 변경 필요 5) 안전바의 사이가 넓어 초등학생들이 넘어갈 위험이 있어 추가적인 조치가 필요	1) 공공디자인 가이드라인을 참조하여 DEC-200, DEC-197로 색상변경 2) 두께를 150에서 100으로 조정 3) 시인성 확보를 위하여 높이 조정 (기존 105cm→ 50cm, 인도 기준) 4) 기존 녹색, 적색에서 주황색, 청색으로 변경(신호등과 혼동 방지) 5) 안전바 추가설치로 사람이 통과하지 못하게 보완하여 안전사고 예방하고, 모서리 등 각진 부분을 원형으로 변경

## 4 | 실증결과

### 4-1 도로 날림먼지 자동포집 시스템 성능평가 결과

#### 하루 도로 날림먼지 제거량

- 한국건설생활환경시험연구원에서 시험한 결과 하루에 자동포집 시설 1m에서 미세먼지는 289mg/m, 초미세먼지는 88mg/m을 포집하는 것으로 나타났다.
- 분진흡입차가 운행 중 1m에서 미세먼지 포집량은 51.4mg으로 도로 날림먼지 자동포집 시스템을 도로에 설치하면 하루에 분진흡입차를 5.6회 운행한 효과를 볼 수 있다.
- 산림청에서 발표한 나무 한 그루의 하루 미세먼지 흡수량은 97.8mg으로 도로 날림먼지 자동포집 시스템을 설치하면 차도와 인도 사이에 70m 너비의 나무숲을 조성한 효과를 볼 수 있다.



〈그림 3-8〉 도로 날림먼지 배출 저감 성능 평가 결과

## D 도로 날림먼지 배출량 저감률

- 한국건설생활환경시험연구원에서 「대기환경보전법 제17조 대기오염물질 배출원 및 배출량 조사」 ‘대기오염공정시험기준 ES01318.1a 도로 재비산먼지 측정방법’에 따라 설치 전과 후의 도로 날림먼지 배출량을 산출하여 비교하였으며, 37.5%의 도로 날림먼지 저감효과가 나타났다.
- 대구광역시 전 지역에 확대 보급할 경우 연간 미세먼지 배출량 641톤(17.3%)의 저감 효과를 볼 수 있으며, 초미세먼지 배출량 155톤(12.2%)을 저감할 수 있다.

## 4-2 리빙랩 운영 결과

- 대구광역시 도시문제 발굴단과 교사, 시민, 지자체 공무원을 대상으로 리빙랩을 운영을 통한 다양한 의견을 반영하여 시스템을 보완하였으며 성공적으로 보급 확산을 시스템 개발이 가능하였다.


**리빙랩 운영을 통한 의견 반영 시스템 업그레이드**


시민, 지자체 및 관계자 의견 수렴

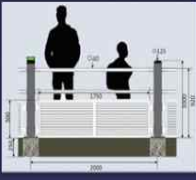
- 어린이 안전을 위한 시인성 확보
- 대구시 공공디자인 가이드라인 참조
- 저렴한 유지보수 비용
- 제진벽에 개방감 부여
- 에너지 절로
- 오존프리, 필터프리
- 최소한의 유지보수 관리
- 시민 편의성 및 만족도 고려

**의견 반영하여 수정 보완 사항**

- 중력집진, 선회류 원리 도입 → 경계석 대응으로 설치
- 침강실로 배수로 활용 → 유지보수 최소화
- 디자인 변경 → 공공디자인 가이드라인, 시인성 확보







〈그림 3-9〉 리빙랩 운영으로 인한 시민의견 반영 및 보완

## 4-3 시민 설문조사 결과

- 실증지역 도로를 이용하는 동일초등학교 학부모, 재직 교사, 도시문제 발굴단 총 66명을 대상으로 도로 날림먼지 자동포집 시스템에 대한 설문조사를 실시하였다.
- 설문조사에 참여한 시민들의 92.3%의 인원이 어린이 보호구역 내 미세먼지 저감의 필요성을 느끼고 있으며, 이들 중 95%의 인원이 본 리빙랩 운영을 통하여 개발된 도로 날림먼지 자동포집 시스템이 미세먼지 저감에 도움이 된다고 답변했다.
- 어린이 보호구역 내 미세먼지 저감의 필요성을 느낀다고 답변한 시민 중에 91.5%의 인원이 기존 보행자 펜스를 도로 날림먼지 자동포집 시스템으로 교체하는 것을 추천한다고 답변했다.

- 설문에 참여한 시민들의 77.3%의 인원이 도로 날림먼지 자동포집 시스템을 어린이 보호구역 외 다른 장소(공사장, 아파트 방음벽, 고속도로 등 고농도의 미세먼지 발생지역 및 주거단지)에도 설치할 필요가 있다고 답변했다.
- 시민들의 설문조사를 통하여 도로 날림먼지 자동포집 시스템 만족도는 83.3%로 시민들이 솔루션에 만족하는 것으로 확인되었다.

## 1 | 운영 및 활용방안

## 1-1 개발 성과: 도로 날림먼지 자동포집 시스템 상용제품

- 도로 날림먼지에 대한 대응 향상 및 이로 인한 환경 피해를 최소화한다.
- 대기환경사업의 핵심기술 영역인 도로 날림먼지 저감 기술로 해외시장을 선점한다.
- 국토교통연구개발사업의 교통물류연구사업 중 '공해 없는 청정교통'에 부합한다.
- 정부 목표 달성을 위한 기술 지원, 국민 삶의 질 향상에 기여한다.
- 기술 개발을 통한 국내 기술의 수출이 가능할 것으로 예측된다.
- 온실가스 규제에 따른 대기 유해 물질 제어용 기술 보급 활성화가 가능하다.

## 1-2 활용방안

- (청정 도로) 도로 중앙분리대, 보행자 펜스, 버스 정류장, 방음벽 등 날림먼지 다량 발생 지역 및 보행자 밀집 지역, 도로 청소 사각지대 등에 활용
- (미세먼지 프리존) 학교, 병원, 노인 복지시설, 요양원 앞에 활용
- (건설현장, 공장) 건설현장 및 산업도로 등 날림먼지 대량 배출 현장에 활용
- (아파트, 어린이 놀이터) 아파트 담 및 노후 방음벽 교체 대체물로 활용
- (지하철, 지하터널) 지하철 및 터널 등 비산먼지 위험 지역에서 활용

## 2 | 성공모델 창출 계획

### 2-1 보급 방안

- 외부 전문가 바우처를 활용하여 비용을 절감하고 실용적인 디자인을 구현한다.
- 부족한 자본을 해결하기 위하여 초기에는 주문생산 방식으로 생산하며, 부족한 생산 능력을 보완하기 시스템 조달을 위한 최소한의 생산 여건을 구축하고 대부분의 부품은 위탁 생산을 실시한다.

### 2-2 확산 계획

- 미세먼지를 포함한 환경 분야 산업은 자체 수급보다는 환경정책과 규제 등의 시장 외적 요소에 의해 수요가 창출되는 특징이 있으므로 우선적으로 제품인증을 통해 강행성을 가지고 있는 정부 및 지자체 등 공공기관을 대상으로 제품 판매 후 민간 건설업체 등으로 시장 진출을 확대한다.
- 2022년 6월 현재 정부 조달을 위한 혁신제품 인증을 진행중에 있으며, 추후 환경공단 등의 '동반성장 프로그램'을 통하여 성능을 검증하고, 미세먼지 정책 반영 및 확대 보급방안을 마련할 계획이다.



〈그림 4-1〉 성공모델 창출 및 국내외 확산 로드맵



- 대구지역에서 도출된 도로 날림먼지라는 지역 사회 문제를 연구자가 연구실 안에서만 진행하는 연구가 아니라 수요자(시민, 지자체 공무원 등)가 주체가 되고 직접 참여하여 지역의 상황을 고려한 솔루션을 개발한다. 이를 통해 시행착오를 최소화하고 완성도 높은 도로 날림먼지 저감 솔루션을 창출하는 동시에 지역 문제 해결을 위한 리빙랩 운영의 성공사례가 될 수 있다.
- 차도와 인도 사이에 도로 날림먼지 자동포집 시스템을 설치하면 165m 너비의 나무 숲을 조성한 만큼 미세먼지를 포집할 수 있어 국민 건강을 위협하는 도로 날림먼지를 효율적으로 저감해 삶의 질을 향상시킬 수 있다.
- 미세먼지 비상저감 조치에 따른 차량 운행 제한 등 규제로 인해 도시 생산 활동이 제한되어 발생하는 사회적 손실을 절감할 수 있으며, 실효성 있는 미세먼지 관리기술의 도입은 정부의 미세먼지와 연관된 규제, 정책 시행을 용이하게 한다.
- 각 도로 관리청은 도로 청소에 대한 부담이 경감되고, 도로 청소 인프라 및 운영비 부족에 대한 문제를 상당 부분 해소할 수 있다.
- 전 세계적으로 미세먼지 저감과 관련된 대기 분야 시장 규모는 528억 달러 규모로, 현재 급속도로 성장하고 있으며, 도로 날림먼지 자동포집 기술을 통해 미세먼지 저감 기술을 선도하고 해외시장 선점을 통해 많은 일자리 창출이 기대된다.

## 참고문헌

---

- 환경부 (2017), 비산먼지 관리 매뉴얼 보고서
- 도로 경계측구 트렌치블록 선배수로 시방서
- 「대기환경보전법 제17조 대기오염물질 배출원 및 배출량 조사」의 ‘대기오염공정시험기준 ES01318.1a (도로 재비산먼지 측정방법)’
- 제10-2389667호, 차량풍을 이용한 도로의 비산먼지 집진장치, 특허청
- 도로안전시설 설치 및 관리 지침\_국토교통부 예규 제266호
- 도로배수시설 설계 지침 안전시설편람 (2022), 국토교통부



스마트시티  
혁신성장동력  
프로젝트



SMART CITY