

# 요약문

## I. 연구제목

도로변 미세먼지 제거를 위한 청정도로시스템 구축 기획연구

## II. 연구목적

도심지 도로인프라 전생애주기에 대한 도로먼지 모니터링, 저감, 제거 및 관리기술 개발을 통하여 도로건설(생산 및 시공포함) 및 운영(자동차 배기가스 및 포장/비포장도로의 비산먼지) 발생량 비중을 현재 대비 50% 감축하여 청정 도로 환경 구현을 목적으로 함

## III. 연구의 필요성

현재 우리나라 대기 질이 OECD 가입국 중 최하위로 미세먼지 문제는 국민 삶의 질을 심각하게 저하시키는 사회문제로 대두됨. 도로미세먼지는 국내 연간 배출 미세먼지의 약 10~20%를 차지하며 차량주행에 따른 요인으로 조사됨. 도로이동원에 의해 발생하는 미세먼지 저감을 위해서는 도로건설에서 운영까지 각 단계별 도로먼지 발생현황을 과학적으로 파악하고 이를 바탕으로 체계적인 제거 및 관리 기술이 필요함

## IV. 연구의 내용 및 범위

주요 연구내용 및 범위는 다음과 같음

- ① 도심지 도로변 미세먼지 모니터링 및 운영·관리 시스템 구축
- ② 기능성 건설소재 활용 도로 미세먼지 제거 기술 개발
- ③ 도로변 시설물 기반 미세먼지 저감 및 제거 기술 개발
- ④ 도로 건설공사 단계별 맞춤형 미세먼지 저감 기술

# Summary

---

## I. TITLE

Development of clean road system for reduction of fine dust on urban road area

## II. OBJECTIVES

This study aims to achieve a clean road environment by reducing 50% of the proportion of fine dust generated from road construction (including production and construction) and operation (automobile exhaust gas and fugitive dust on paved/unpaved roads) through the development of road dust monitoring, abatement, elimination and management technology for the whole life cycle of urban road infrastructure.

## III. NECESSITY

Air quality in Korea is the lowest among the OECD countries, and the fine dust problem has emerged as a social problem that seriously degrades the quality of life of the people. The road dust particles accounted for 10 ~ 20% of the annual dust particles in Korea and were investigated as a factor of driving the vehicles. Therefore, in order to reduce the fine dust on the road, it is necessary to develop a technology to scientifically identify and to systematically remove and manage the road dust at each stage from road construction to operation.

## IV. CONTENTS AND SCOPES

The main research contents and scope are as below:

- ① Establishment of monitoring, operation and management system of fine

dust on roads

- ② Development of road fine dust removal technology utilizing functional construction materials
- ③ Development of technology to reduce and remove fine dust based on roadside facilities
- ④ Customized fine dust reduction technology for each stage of road construction



# 목 차

제1장 서론	1
1.1 연구개발의 필요성	1
1.2 주요사업 지원 필요성	4
1.2.1. 연구원 증장기계획 및 성과지표 부합	4
1.2.2. 정부정책의 부합성	6
1.2.3. 연구개발을 통한 정부 정책 실현	7
제2장 연구동향 및 환경분석	9
2.1 국내외 시장현황 및 전망	9
2.1.1 환경산업 분류 및 대기관리산업	9
2.1.2 국내 도로인프라 미세먼지 제거 시장 현황 및 전망	10
2.1.3 해외 도로인프라 미세먼지 제거 시장 현황 및 전망	13
2.1.4 미세먼지 관련 주요 제품 및 소재 시장 현황	14
2.1.5 소  결	19
2.2 국내외 기술동향 분석	20
2.2.1 도심지 도로변 미세먼지 발생 유형분석	20
2.2.2 국내 미세먼지 모니터링/제거/관리 기술 현황	22
2.2.3 국외 미세먼지 모니터링/제거/관리 기술 현황	33
2.2.4 국내외 미세먼지 모니터링/제거/관리 논문 현황	34
2.3 특허동향조사	40
2.3.1 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위/분석 방법	40
2.3.2 특허 정량분석에 따른 주요시장국 연도별 특허동향	42
2.3.3 미세먼지 관련 기술시장 성장 단계	44
2.3.4 기술별 특허동향 분석	44
2.3.5 시계열 OS 매트릭스(Matrix) 기반 핵심특허 분석	45
2.3.6 소  결	46
2.4 기술개발 투자의 시의성, 시급성	49

제3장 연구내용 및 추진전략 .....	51
3.1 주요 이슈 도출 .....	51
3.1.1 Issue Tree 분석 .....	51
3.1.2 SWOT 분석 .....	55
3.1.3 추진방향 정립 .....	62
3.2 비전 및 전략목표 .....	65
3.3 주요 연구 내용 .....	67
3.3.1 주요 기술별 연구목표 및 세부연구내용 .....	67
3.3.2 주요 성과지표 .....	70
3.4 핵심기술의 창의성, 도전성 및 우수성 .....	72
3.5 연구 추진전략 및 추진체계 .....	73
3.5.1 연구추진 전략 .....	73
3.5.2 소요연구비 및 인력투입계획 .....	74
제4장 예상성과 및 기대효과 .....	75
4.1 주요 예상성과의 기대 및 파급효과의 우수성 .....	75
4.1.1 시장동향 및 규모 .....	75
4.1.2 활용방안 .....	77
4.2 연구성과 활용방안(계획)의 구체성 .....	78
참고문헌 .....	79
부록 1 .....	82
부록 2 .....	84

# 표 목차

표 1.1 도로부문 발생 원인별 PM <sub>10</sub> 배출량 .....	2
표 1.2 주요사업 투자집중 4대 핵심분야 .....	6
표 2.1 OECD의 환경산업 분류 .....	9
표 2.2 우리나라의 환경산업 분류 .....	10
표 2.3 국내 환경시장 부문별 매출액 규모 .....	11
표 2.4 국내 대기관리시장 부문별 매출액 규모 .....	12
표 2.5 세계 활성탄소 수출·입 현황(2006) .....	15
표 2.6 글로벌 광촉매 시장 현황 및 전망(단위 : 억 원) .....	16
표 2.7 국내 광촉매 시장 현황 및 전망(단위 : 억 원) .....	16
표 2.8 RSD 원격측정기 구성 및 측정원리 .....	24
표 2.9 주요 국가별 미세먼지 제거 기술 .....	34
표 2.10 국내·외 도로변 미세먼지 발생원 관련 논문 .....	36
표 2.11 국내·외 도로변 미세먼지 모니터링 관련 논문 .....	37
표 2.12 국내·외 도로변 미세먼지 제거 관련 논문 .....	38
표 2.13 국내·외 도로변 미세먼지 관리·정책 관련 논문 .....	39
표 2.14 검색 DB 및 검색범위 .....	40
표 2.15 분석대상 기술 분류 .....	41
표 2.16 기술분류체계에 따른 Raw Data 건수 .....	41
표 2.17 시계열 매트릭스 기반 핵심특허 분석 .....	48
표 3.1 SWOT 분석 주요내용 .....	55
표 3.2 KICT와 출연(연)의 특허출원성과 비교(2008~2016) .....	58
표 3.3 단계별 연구목표 수립 .....	64
표 3.4 1세부 연구목표 및 주요내용(모니터링 및 운영·관리시스템 구축) .....	68
표 3.5 2세부 연구목표 및 주요내용(기능성 건설소재 기반 미세먼지 제거 기술 개발) .....	69
표 3.6 3세부 연구목표 및 주요내용(도로시설물 응용 기술) .....	69
표 3.7 4세부 연구목표 및 주요내용(건설공사 단계별 미세먼지 저감 기술) .....	70

표 3.8 각 기술별(세부별) 성과물 내용 및 성과지표 선정 .....	71
표 4.1 대기환경 시장규모 .....	76
표 4.2 파급효과 .....	77

# 그림목차

그림 1.1 (초)미세먼지 배출원/발생원 현황 .....	1
그림 1.2 서울의 PM <sub>10</sub> 및 NO <sub>x</sub> 의 대분류 배출원별 배출 기여도 .....	3
그림 1.3 서울시 전체측정소(도로변)에 대한 PM <sub>10</sub> 및 NO <sub>2</sub> 연평균 농도 추세(2001년~2010년) .....	3
그림 1.4 국외 탄소재료 흡착제 및 광촉매의 도로인프라 적용 기술 적용 (예) .....	4
그림 1.5 KICT 2020 중장기 발전 전략목표 및 연구분야 .....	5
그림 1.6 KICT 2013~2018 중장기 전략목표 .....	5
그림 2.1 국내 환경시장 부문별 매출액 현황(2014-2015)(억 원) .....	11
그림 2.2 국내 대기관리 시장 부문별 매출액 현황(2014-2015)(억 원) .....	12
그림 2.3 세계 환경산업 시장규모 및 전망(단위: 십억 달러) .....	13
그림 2.4 세계 대기오염 관리 시장규모(단위: 억 달러) .....	14
그림 2.5 국내 공기청정기 시장규모(단위: 억 원) .....	17
그림 2.6 미세먼지 관련 용품 수입액(단위: 억 달러) .....	18
그림 2.7 세계 대기환경 센서 시장규모(단위: 억 달러) .....	18
그림 2.8 2012년 국내 및 서울의 PM <sub>10</sub> 및 PM <sub>2.5</sub> 배출량 .....	20
그림 2.9 도로 재비산먼지 관리시스템 .....	22
그림 2.10 이동측정차량 구성도 .....	22
그림 2.11 RSD 수시점검 방식 .....	23
그림 2.12 대기오염측정자료 흐름도 .....	25
그림 2.13 금정구 진공청소차량 .....	26
그림 2.14 노원구 살수청소차량 .....	27
그림 2.15 건설공사장 굴삭기 장비 살수 부착 .....	28
그림 2.16 자동식+수조식 세륜시설 .....	28
그림 2.17 The City of Rome Jubilee Church Practices (Italcementi Group, 2007) ...	
30	
그림 2.18 Block Pavement for Japan Photocatalytic Concrete (Anne Beeldens et. al., 2006) .....	30

그림 2.19 대기오염물질 제거 기능을 구비한 다기능 도로시설물 .....	30
그림 2.20 도로 세척 기능을 갖는 광고 펜스 .....	31
그림 2.21 국내외 도로변 미세먼지 관련 주제별 기술 분류 (상: 국내, 하: 국외) ...	35
그림 2.22 주요 시장국 연도별 특허출원 동향 .....	43
그림 2.23 특허출원 건수 기반 관련 기술성장 단계 .....	44
그림 2.24 중분류 기술별 특허출원 분석 결과 .....	45
그림 2.25 세부기술별 특허출원 분석 결과 .....	45
그림 2.26 서울시 초미세먼지 배출원별 배출량 .....	49
그림 3.1 Issue Tree 분석 주요 내용 .....	52
그림 3.2 미세먼지 발생원인(2012년 PM <sub>2.5</sub> ) .....	53
그림 3.3 추진방향 도출 .....	63
그림 3.4 도로변 미세먼지 관련 주요 이슈 및 사업추진 방향 .....	66
그림 3.5 도심지 도로변 미세먼지 제거 청정도로시스템 구축 비전 및 전략 목표 · 66	
그림 3.6 도심지 도로변 미세먼지 제거 시스템 예상도 .....	68
그림 3.7 미세먼지 감축 기술의 차별성(As-Is vs. To-Be) .....	72
그림 3.8 연구추진 체계 및 추진 전략 .....	74
그림 3.9 총 소요연구비 및 예상투입인력 .....	74
그림 4.1 중점분야 별 최종성과물 및 수요처 .....	78

# 제1장

## 서론

### 1.1 연구개발의 필요성

경제협력개발기구(OECD)는 현재 우리나라 대기 질이 OECD 가입국 중 최하위이며, 40년 뒤 대기오염으로 인한 조기사망률이 OECD 국가 중 1위를 차지할 것이라고 예측하는 등 미세먼지 문제는 국민 삶의 질을 심각하게 저하시키는 사회문제로 대두되고 있다. [5, 6, 26] 특히 도로수송부문에서 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 직접 배출이 가장 높은 것으로 나타났으며, 서울시와 같은 도심지의 경우, 도로비산먼지 중 미세먼지는 약 62%, PM<sub>10</sub>은 48%, PM<sub>2.5</sub>는 12%를 차지하는 것으로 나타내고 있다. [24, 25]

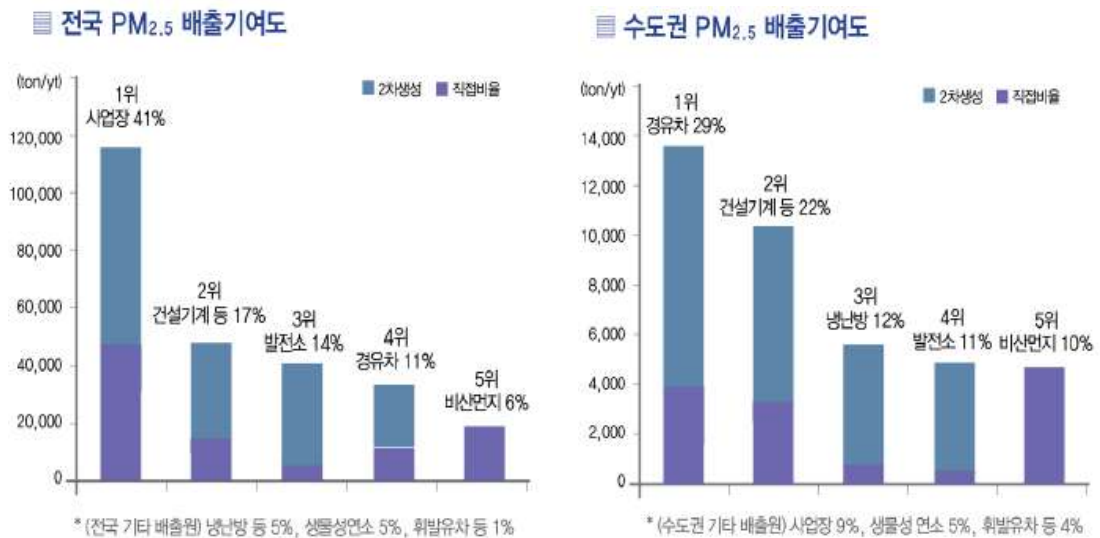


그림 1.1 (초)미세먼지 배출원/발생원 현황 [18]

도로미세먼지는 국내 연간 배출 미세먼지(PM<sub>10</sub>)와 초미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 대비 각각 25%와 33%로 차량주행에 따른 요인으로 조사되어, 도로부분 먼지발생원으로 큰 비중을 차지하는

것으로 파악되었다. [39, 40] 특히 PM<sub>2.5</sub> 배출기여도는 도로관련 미세먼지의 경우 경유차(11%), 비산먼지(6%)로 분석되었으며 비산먼지별 발생원은 도로분야(75%), 공사장 등(25%)이 차지하는 것으로 분석되었다. [16]

도로부문 비산먼지 원인별 비중(100%)은 도로재비산(87.8%), 타이어 마모(3.5%), 브레이크 마모(5.4%), 노면마모(3.3%)로 추정되며 [표 1.1]은 수도권을 기준으로 도로부문에 발생되고 있는 PM<sub>10</sub> 발생 원인별 연간 배출량을 나타낸다. [13]

표 1.1 도로부문 발생 원인별 PM<sub>10</sub> 배출량

비산먼지배출량	도로부문 PM <sub>10</sub> 배출량 (톤/년)			
	도로재비산	타이어 마모	브레이크 마모	도로표면 마모
서울, 인천, 경기	35,314(87.8%)	1,398.8(3.5%)	2,190.8(5.4%)	1,332.9(3.3%)

국가 대기 오염물질 배출자료에 의하면 서울에서 배출되는 PM<sub>10</sub>과 NO<sub>2</sub> 총 배출량 중 도로이동오염원의 기여도는 각각 65.0%(비산먼지 제외), 57.3%로 산정 도로이동오염원의 관리 중요성 점차 대두되고 있는 실정이다. [14]

자동차 배출가스로부터 배출되는 PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, VOC<sub>S</sub> 등의 오염물질은 광화학반응을 통해 오존 생성 및 시정거리 감소 등을 유발하며, 특히, '교통량 밀집지역'과 같이 자동차에서 배출되는 대기오염물질이 집중되어 고농도 상태를 유지하는 경우, 호흡기 질환 및 천식 악화, 생체면역 감소 등을 초래할 정도로 인체에 유해 심각한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 질병관리본부에 따르면, 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도가 10µg/m<sup>3</sup> 증가할 때마다 만성 폐쇄성 폐질환(COPD)으로 인한 입원율이 2.7% 증가되고, 사망률 1.1% 증가하는 것으로 나타났으며, 특히, 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 농도가 10µg/m<sup>3</sup> 증가할 때마다 폐암 발생률 9% 증가하는 것으로 나타난다. [33] [그림 1.2]는 서울특별시에서 발생하는 PM<sub>10</sub> 및 NO<sub>x</sub> 배출원 별 배출 기여도를 나타내고 있으며 도로이동원에 의한 발생량이 타 배출원에 비해 월등히 높은 것으로 나타났다. [24, 25]



그림 1.2 서울의 PM<sub>10</sub> 및 NO<sub>x</sub>의 대분류 배출원별 배출 기여도

국립환경과학원(2012)에서는 도로변대기측정소와 도시대기측정소 간(동일행정구역) 2001년~2010년까지 PM<sub>10</sub> 및 NO<sub>2</sub>를 측정된 결과, 도로변대기측정소에서 측정된 미세먼지 발생량이 도시대기 측정소에 비해 평균적으로 1.5배~2배 높은 것으로 나타나 도로변 미세먼지 발생농도 및 발생량이 높은 것으로 파악되었다. [15]

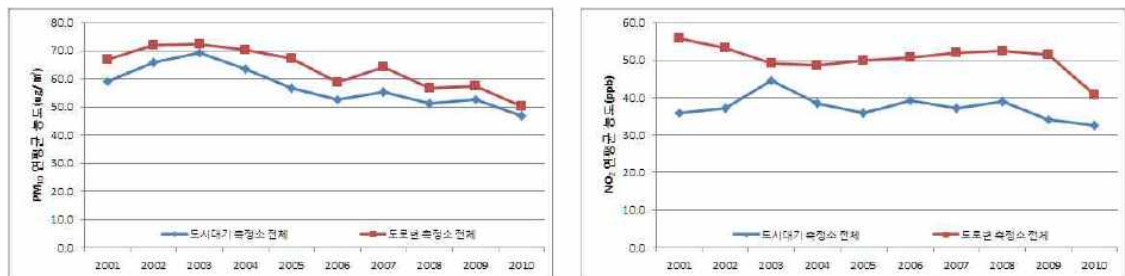


그림 1.3 서울시 전체측정소(도로변)에 대한 PM<sub>10</sub> 및 NO<sub>2</sub> 연평균 농도 추세(2001년~2010년)

유엔유럽경제위원회(UNECE)의 입자상물질측정프로그램(PMP)그룹에서 자동차규제 관련하여 '비배기가스(Non-exhaust)먼지'를 중요 이슈로 제기하였다. 비배기가스 먼지는 차량 타이어나 브레이크 패드, 도로의 분진 등을 포함한다. 또한 독일 환경청은 도로교통에서 PM<sub>10</sub> 이하 비배기가스 미세먼지가 차지하는 비중이 '05년 58%에서 '30년 93%까지 급증, PM<sub>2.5</sub> 이하 비배기가스 미세먼지 비중도 24%에서 74%까지 급증할 것으로 예상하였다. 향후 20년 이후 도로 비배기가스 미세먼지는 꾸준히 증가할 것으로 예측하였다. [7]

현재 국내에서는 도로 건설공사에 사용되는 골재 및 아스콘 등 포장재료 생산 시 발생하는 비산먼지와 도로포장 시공 및 노후도로 유지보수 시 발생하는 비산먼지의 발생량 등을

조사하거나 저감하는 대책은 전무한 것으로 파악되었으며, 도로변 미세먼지 저감을 위한 도로건설에서 운영까지 각 단계별 도로먼지 발생현황을 과학적으로 파악하고 이를 바탕으로 체계적인 평가 수행이 필요한 것으로 나타났다. 특히, 건설소재 기술개발을 통한 차세대 도로포장 신재료/신공법 및 먼지 제거 기술 개발 등이 시급하며, 또한 도로변 대기환경 개선 및 미세먼지 저감이 가능한 전주기 도로먼지 통합 관리 시스템(생산-시공-운영-제도) 필요할 것으로 판단된다.

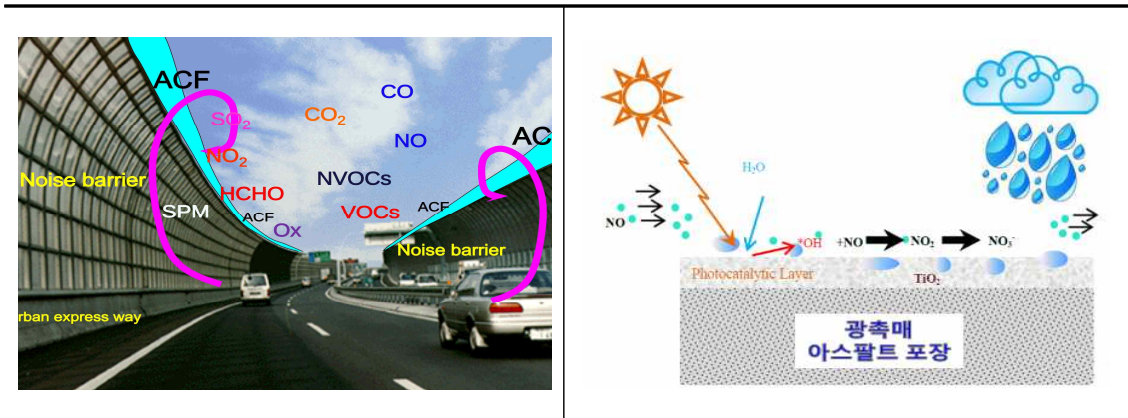


그림 1.4 국외 탄소재료 흡착제 및 광촉매의 도로인프라 적용 기술 적용 (예)

## 1.2 주요사업 지원 필요성

### 1.2.1. 연구원 중장기계획 및 성과지표 부합

본 기획연구는 「KICT 2020 중장기 발전 방향」에서 제시한 5대 전략목표에서 전략목표 1 “친환경 국토조성 기술개발”에 부합하며, 14대 전략연구 분야 중 “그린도로” 기술개발에 부합한 것으로 사회기반시설 중 큰 비중을 차지하는 도로의 건설 및 사용기간 중 신재생 에너지 창출, 온실가스 저감, 유해물질 흡수 분해 등의 실현을 통한 저탄소 녹색도로 기술개발을 하는데 주요 핵심기술로 연구원 중장기 발전 전략 방향에 적절한 것으로 파악된다.

5대 전략목표	14대 전략연구분야	7대 브랜드
전략목표 1 친환경 국토조성 기술 개발	저탄소 녹색도시 제로에너지 건물 그린 도로 하천 살리기	저탄소 녹색도시 그린 도로
전략목표 2 국가기반시설 성능 고도화 기술 개발	스마트 SOC 스마트 용수 관리 물 확보	스마트 SOC 고효율 물관리
전략목표 3 국토 재해 대응 기술 개발	홍수·지진 대응 화재·교통사고 대응	안전한 국토
전략목표 4 글로벌 건설시스템 기술 개발	글로벌 건설시스템 건설 표준 국토공간정보	글로벌 건설시스템
전략목표 5 신공간 창출 기술 개발	신국토 창출 입체도시	신국토 창출

그림 1.5 KICT 2020 중장기 발전 전략목표 및 연구분야

또한, 「KICT 2013~2018 발전전략」에서 제시한 5대 전략목표 중 전략목표 1 “국민과 소통하는 사회이슈 해결기술 개발”에 부합하며, 12개 중점분야 중 “쾌적한 삶”에 대한 공공기술 개발에 부합한 것으로 나타났다. 차량 주행 시 발생하는 소음과 분진으로 인한 인적·물적 피해가 가중됨에 따라 소음과 분진 저감 기술 필요하며, 특히 도로변에 발생하는 (초)미세먼지의 경우, 국민 건강을 악화시키는 호흡기 질환 및 천식 악화, 생체면역 감소 등을 초래할 정도로 인체에 유해한 심각한 영향을 나타내는 것으로 이러한 미세먼지 제거 및 감축 기술은 국민 건강 뿐만 아니라 사회적 해결 기술로서 반드시 필요한 연구로 판단된다.



그림 1.6 KICT 2013~2018 중장기 전략목표

주요사업 투자집중도 제고와 관련하여 본 기획과제는 기관의 4대 핵심분야 중 「이상기후 대응 건설자원 확보 기술」과 「스마트시티 인프라 건설기술」과 부합한 것으로 판단되며 기후변화 및 이상기후로 인해 발생 가능한 각종 수자원 · 환경 및 거주 문제 등에 대응하고 도시차원 및 건설부문에서의 적극적인 CO<sub>2</sub> 저감 대응기술 개발이 필요할 것으로 사료된다. 또한 기존 도시를 스마트시티로 변화하기 위한 도시 재생 프로젝트를 통하여 현재의 문제점 등을 파악하고 이에 대한 대응 기술 개발 필요하다. 도심지 (초)미세먼지 발생의 약 70%는 도로이동오염원에 의한 것으로 스마트시티의 중요 목적인 쾌적한 삶을 지향하기 위해 대응 기술 반드시 필요하다. 표 1.2는 본 연구개발에 부합되는 주요사업 투자집중 4대 핵심 분야를 나타내며, 4대 핵심 분야 중 이상기후 대비 건설자원 확보 기술과 스마트시티 인프라 건설기술에 본 기술이 해당되며 기타로 생활밀착형 사회문제 해결형 연구개발에 해당된다.

표 1.2 주요사업 투자집중 4대 핵심분야

주요사업 투자집중 분야	신공간 창출 극한건설 기술	· 극한건설 환경구현 인프라 및 TRL6 이상급 극한건설 핵심기술	
		· 차세대 초고속 이동체계 인프라 핵심기반 기술	
	재해재난 대응력 제고 인프라 건설기술	· 초고층복합시설 재해/재난 대응 기술	
		· 재해 대응 첨단 SOC 관리 및 노후 인프라 재생	
	이상기후 대비 건설자원 확보 기술	· 물부족 대응 기술	
		· CO2 저감 건설소재 혁신 기술	○
스마트시티 인프라 건설기술	· 건축 · SOC 대상 에너지 인프라 기술		
	· 스마트시티 인프라 건설 및 핵심 서비스	○	
	기타(생활밀착형 R&SD)		○

따라서, 본 기획연구는 연구원 고유기능 및 경영목표에 부합할 뿐만 아니라 생활밀착형 R&SD 특성까지 포함하고 있어 관련 분야에 대한 연구가 반드시 필요한 연구로 판단된다. 도심지 대기질은 국민 삶의 질 및 건강과 연관되어 있어, 공공부문에서 적극적인 대책 마련이 필요하며, 정부주도의 연구를 통한 국가경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

### 1.2.2. 정부정책의 부합성

미세먼지 제거와 관련된 본 기획 연구는 제2차 과학기술전략회의에서 관계부처 합동으로 발표된 「9대 국가전략 프로젝트」 중 하나로서 국민건강을 위협하는 (초)미세먼지 생성원

인을 근본적으로 규명하고, 발생원별 효과적인 집진·저감 등 체계적 기술개발을 통해 과학적·획기적으로 문제 해결 필요성 강조하였다. 정부는 2016년 6월 국무총리 주재로 관계부처 장관회의를 개최, “미세먼지 관리 특별대책”을 확정 발표하였으며, 최근 고농도 미세먼지가 빈발하여 국가적 차원의 특단의 대책에 대한 필요성이 대두됨에 따라 국무조정실을 중심으로 관계부처 차관회의를 거쳐 미세먼지 문제 해결을 위한 방안을 마련하였다. 우선 “제2차 수도권 대기환경기본계획”의 목표를 조기달성( $20\mu\text{g}/\text{m}^3$  달성 '24 → '21)하고 10년 내에 유럽 주요도시의 현재 수준(유럽 주요도시의 현재 수준('17년) : 파리 18, 도쿄 16, 런던  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  등)으로 미세먼지를 서울기준, '15년  $23\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 '26년  $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 감축시키고자 하였다.

미래의 환경변화에 대응하고 지속가능한 녹색성장을 위해 국토교통부는 「건설교통 R&D 중장기계획」 수립(2013~2017, 국토해양부)하고 있으며 미세먼지 제거 및 감소를 위한 도로인프라 소재개발 및 친환경·고성능 첨단건설재료를 개발하고자 하며, 도로수명 증대, 도로이동오염원으로부터의 대기오염감소 등 환경 친화적이며, 지속가능한 도로 기술 개발하고자 한다.

### 1.2.3. 연구개발을 통한 정부 정책 실현

본 기획연구를 통하여 '26년까지 미세먼지 평균농도를  $23\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서  $18\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 저감시키려는 정부 정책에 기여할 수 있으며 도로이동오염원으로부터 발생하는 미세먼지 원인 물질을 과학적 접근(D/B 기반)을 통한 제거/감소 기술 및 운영 프로세스 정립할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 도심지(교통량 밀집지역) 도로변 미세먼지 감축을 통한 국민 건강 및 삶의 질 향상시키고 미세먼지 관리 특별대책에 도로인프라를 이용한 미세먼지 대응기술 개발을 통한  $\text{PM}_{10}$  &  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{VOC}_s$  등 도로변 미세먼지 원인 물질 저감 및 제거 솔루션 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구개발을 통하여 도로인프라용 고성능 건설재료 개발 및 다양한 응용 소재 기술 개발을 통한 도로변 미세먼지 획기적인 감축 기술 개발하여 정부 정책을 실현하는데 일조할 것으로 판단된다.



## 제2장

### 연구동향 및 환경분석

#### 2.1 국내외 시장현황 및 전망

##### 2.1.1 환경산업 분류 및 대기관리산업

환경산업에 대한 규모와 범주는 각 기관과 국가마다 차이를 보이고 있으며 우리나라는 OECD의 환경산업 분류를 따르고 있다. OECD/Eurostat에 따르면 환경산업은 대기, 수질, 토양, 폐기물, 소음, 진동 등으로 환경산업을 분류하고 있다.

표 2.1 OECD의 환경산업 분류

대분류	세부분류
오염관리	대기오염통제
	폐수관리
	고형폐기물
	토양, 지표수, 지하수개선 및 정화기기
	소음 및 진동저감
청정기술 및 제품	환경감시, 분석 및 측정
	청정기술 및 공정
자원관리그룹	청정제품
	실내공기관리
	물공급
	자원재활용
	신재생 에너지 개발
	에너지 절약 및 회수
	지속가능한 농업 및 어업
	지속가능한 산림
자연재해 관리	
지속가능한 관광업	

(출처 : 대한상공회의소 지속가능경영원, 2009)

우리나라는 OECD의 분류에 따라 분류하고 있으며, 환경산업은 기후대기, 물, 환경복원·복구, 환경안전·보건, 자원순환, 지속가능 환경·자원, 환경지식·서비스 분야 등 환경보전 및 관리를 위한 환경시설 및 측정기기 등을 설계·제작·설치하거나 환경기술 등에 관한 서비스를 제공하는 산업활동으로 정의하고 있다. [38]

표 2.2 우리나라의 환경산업 분류

<b>오염관리그룹(Pollution Management Group) - 좁은 의미의 환경산업</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 오염배출을 감소시키기 위한 산업활동</li> <li>· 대기오염, 폐수, 폐기물, 토양, 소음 및 진동부문 등과 관련된 환경장비(설비) 및 원료 제조업</li> <li>· 대기오염, 폐수, 폐기물, 토양, 소음 및 진동부문, 환경컨설팅 등과 관련된 환경시설 건설업과 환경서비스업</li> </ul>
<b>청정기술 및 관련제품 그룹(Cleaner Technologies &amp; Product Group) - 넓은 의미의 환경산업</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 부정적인 환경영향을 감소·제거하는데 필요한 제품 및 서비스를 생산하는 산업활동</li> <li>· 청정 및 자원의 효율적인 사용을 위한 기술 및 제품</li> </ul>
<b>자원관리그룹(Resource Management Group) - 넓은 의미의 환경산업</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 에너지 절약 및 관리, 재생가능 에너지, 실내공기 오염조절 등과 같이 직접보다는 궁극적으로 환경보호와 관련 있는 산업활동</li> <li>· 재활용물질, 재생에너지플랜트, 열 및 에너지 절약(관리) 등</li> </ul>

(출처 : 환경부(2016), 2015년 기준 환경산업통계)

대기환경산업은 오염관리그룹에 의하면 대기오염 분야에 속하며, 청정기술 및 관련제품으로 확장한 넓은 의미에서는 대기관련 청정기술 및 관련 제품들로 범위를 확장하여 고려할 수 있다. 자동차 도로변 미세먼지는 대기오염분야와 직접적인 연관성을 가지지 때문에 대기오염(환경) 관련 하위시장으로 볼 수 있을 것이다. 대기오염산업은 환경부 통계상 대기관리 산업으로 명칭되어 있다.

### 2.1.2 국내 도로인프라 미세먼지 제거 시장 현황 및 전망

미세먼지 시장과 직접적인 연관을 가지는 대기관리시장은 전년 대비 -4.2%p 매출액 규모가 하락하면서 환경시장 전체에서 차지하는 비중도 소폭 감소하였다. 2014년 6조 1,811억 원 규모였던 총 매출액이 2015년 5조 9,232억 원으로 -2,579억 원 감소하면서 전체 시장에서 차지하는 비중도 2014년 6.3%에서 2015년 6.0%로 -0.3%p 감소하였다. 이에 반해 전체 환경시장은 2014년 대비 1.2% 소폭 성장하면서 2015년 99조 2,664억 원의 시장규모를 보이고 있다.

표 2.3 국내 환경시장 부문별 매출액 규모

(단위 : 억 원, %)

구분	2014년		2015년		증감률
	매출액	구성비	매출액	구성비	
계	980,825	100.0%	992,664	100.0%	1.2%
자원순환관리	305,998	31.2%	306,420	30.9%	0.1%
물관리	268,884	27.4%	243,708	24.6%	-9.4%
환경복원 및 복구	8,601	0.9%	9,662	1.0%	12.3%
기후대응	40,053	4.1%	31,590	3.2%	-21.1%
<b>대기관리</b>	<b>61,811</b>	<b>6.3%</b>	<b>59,232</b>	<b>6.0%</b>	<b>-4.2%</b>
환경안전·보건	76,322	7.8%	77,891	7.8%	2.1%
지속가능 환경·자원	173,567	17.7%	190,109	19.2%	9.5%
환경지식·정보·감시	45,589	4.6%	74,052	7.5%	62.4%

(출처 : 환경부(2016), 2015년 기준 환경산업통계)

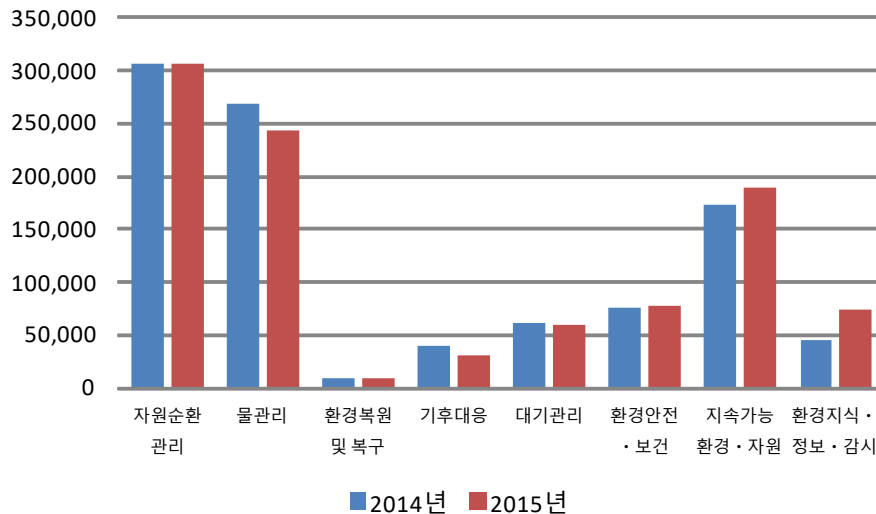


그림 2.1 국내 환경시장 부문별 매출액 현황(2014-2015)(억 원)

(출처 : 환경부(2016), 2015년 기준 환경산업통계를 재구성)

국내 대기관리시장 부문별 매출규모를 살펴보면 미세먼지와 직접적인 연관을 가지는 대기오염 통제기기 제조, 대기오염 통제관련 건설 산업은 전체 시장의 감소세에도 불구하고 성장을 보이고 있다. 특히 도로변 미세먼지 저감과 관련된 대기오염 통제관련 건설 시장은 2014년 대비 22.5%의 높은 성장을 보이며 전체 대기관리산업에서 차지하는 비중도 +2.2%p 커졌다. 대기오염 통제 관련 광업 부문은 전년대비 214.4% 대폭 증가했으나, 전체 매출액에서 차지하는 비중은 아직 미미한 수준이며, 대기오염 통제 관련 서비스는 전년대비 88.1%로 가장 큰 감소세를 보이고 있다.

국내 대기관리 산업은 미세먼지 등 대기환경에 대한 관심이 커지고 있는 사회 분위기와는 반대로 위축되는 경향을 보이고 있어 정부차원의 지원과 활성화를 위한 대책 마련이 필요하다. 특히 향후 에너지, 의료 등과 함께 신산업 분야로 주목받고 있는 환경산업의 성장 가능성과 국내 기업들의 경쟁력 확보 및 글로벌 시장 진출 등을 고려하면 정부 차원의 기술개발 주도 및 사업화 지원에 대한 대책 마련이 필요하다.

표 2.4 국내 대기관리시장 부문별 매출액 규모

(단위 : 억 원, %)

구분	2014년		2015년		증감률
	매출액	구성비	매출액	구성비	
계	61,811	100.0%	59,232	100.0%	-4.2%
대기오염 통제기기 제조	41,426	67.0%	43,155	72.9%	4.2%
대기오염 통제관련 광업	1,152	1.9%	3,621	6.1%	214.4%
대기오염 통제관련 건설	5,127	8.3%	6,282	10.6%	22.5%
대기오염 통제관련 서비스	6,731	10.9%	799	1.3%	-88.1%
실내공기질 통제기기 제조	4,403	7.1%	3,242	5.5%	-26.4%
실내공기질 통제 서비스	1,916	3.1%	1,114	1.9%	-41.9%
분석, 자료수집 및 평가 서비스	1,056	1.7%	1,019	1.7%	-3.5%

(출처 : 환경부(2016), 2015년 기준 환경산업통계)

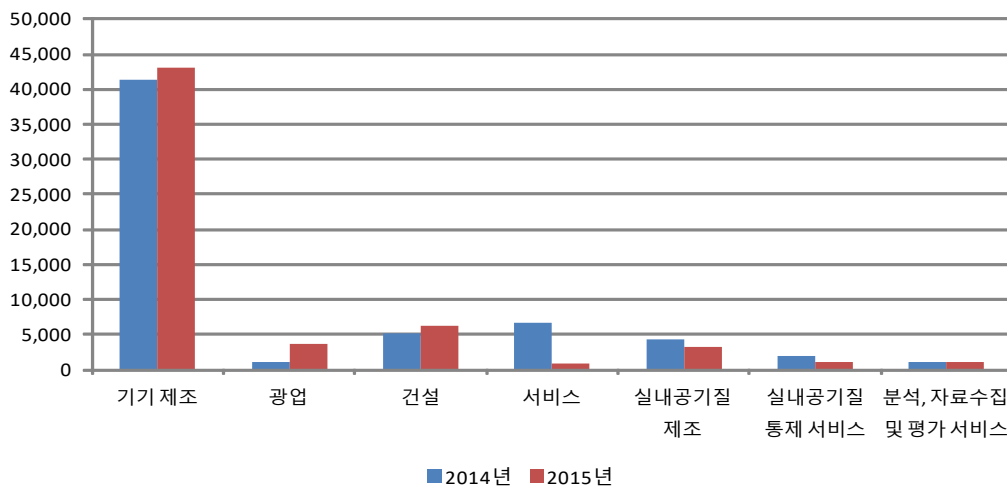


그림 2.2 국내 대기관리 시장 부문별 매출액 현황(2014-2015)(억 원)

(출처 : 환경부(2016), 2015년 기준 환경산업통계를 재구성)

### 2.1.3 해외 도로인프라 미세먼지 제거 시장 현황 및 전망

영국의 석유·가스 에너지 개발 및 마케팅 전문업체인 EBI에 따르면, 세계 환경산업의 시장규모는 2013년 기준 약 9,240억 달러로 매년 3%이상 성장했으며, 향후 연평균 2.5%의 성장률을 유지해 2020년에는 1조161억 달러까지 확대될 것으로 예측하고 있다. 특히 아시아와 중남미, 중동 등 신흥개도국의 경제발전이 가속화됨에 따라 환경산업에 대한 수요가 증가하고 있다. 중국의 경우는 대기와 수질 개선을 위해 2017년까지 미세먼지 저감 사업에 304조원, 도시와 농촌의 오수처리 등에 360조원을 투입할 예정이다. [2]

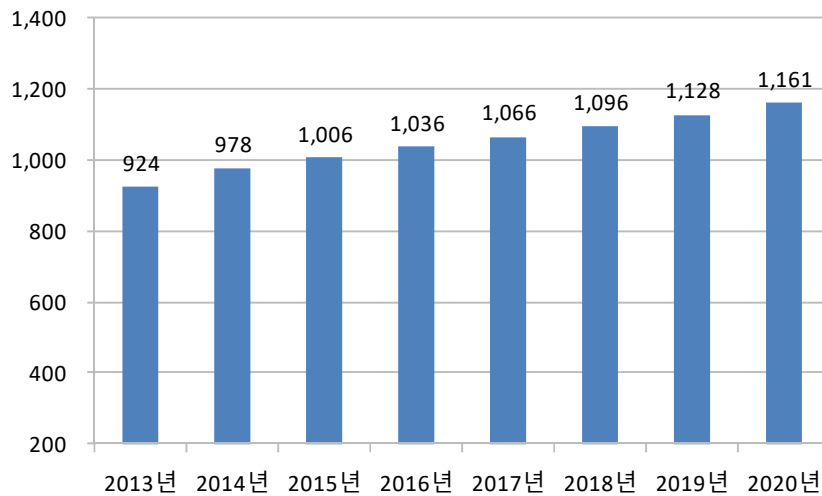


그림 2.3 세계 환경산업 시장규모 및 전망(단위: 십억 달러)

(출처 : EBI, 2015)

세계 대기오염 관리 시장은 2014년~2019년 기간 동안 5.2%의 성장률을 보일 것으로 전망되며, 주요 제품으로 탈황설비(FGD), 전기집진기, 섬유필터, 질소산화물, 스크러버와 흡착제 등이다.

그림 2.4와 같이 2014년 세계적으로 약 610억 달러규모의 대기오염 관리 시장을 형성하였으며, 2019년에는 784억 달러규모까지 성장할 것으로 전망된다. 특히 아시아태평양지역은 세계 대기오염 관리시장에서 가장 큰 시장을 형성하고 있으며, 2019년 전체에서 약58%의 비중을 차지할 것으로 전망된다.

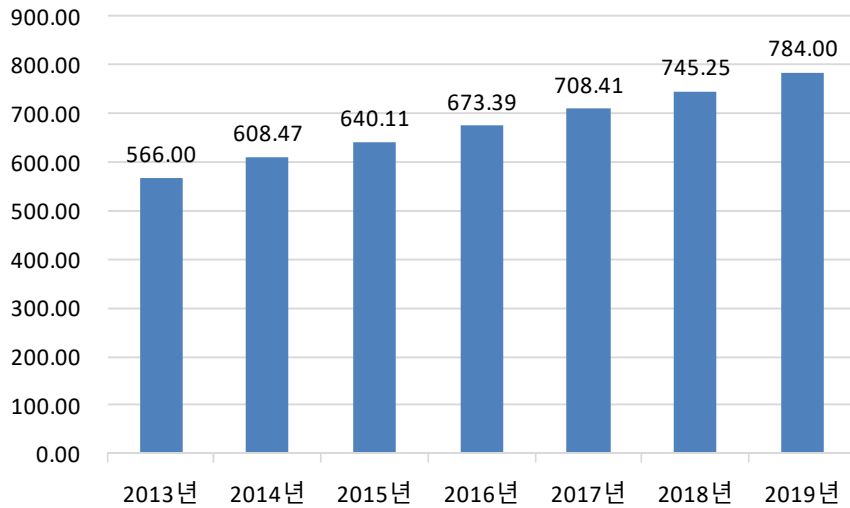


그림 2.4 세계 대기오염 관리 시장규모(단위: 억 달러)

(출처 : BCC Research, Air pollution control equipment, 2015)

#### 2.1.4 미세먼지 관련 주요 제품 및 소재 시장 현황

##### (1) 활성탄소 시장

활성탄(또는 활성탄소)은 유기물에 대한 고도의 흡착능력을 갖고 있으며, 세공이 발달되어 유효 표면적이 매우 넓고 물리적, 기계적 강도가 크며, 내구성이 우수하며 재생시 손실이 적고 화분이 적어 고도여과에 적합하여 미세먼지 여과를 위한 소재로 활용되고 있다.

활성탄소의 세계 생산량은 2000년 말 1백만 톤/년 이상으로 추정되며 최고 생산자는 미국과 유럽이지만 90년대 말 이후 중국의 성장세가 두드러지고 있다. 활성탄소 시장은 소수의 회사에 의해서 지배되고, Calgon 및 Norit가 세계 최대생산기업이며 Calgon은 2000년에 총 2십만 톤/년의 생산능력을 가졌고 Norit는 116,000 톤/년을 생산해내고 있다. 이 수치는 세계 생산능력의 32%를 차지하며 Mead Westvaco 는 5만 톤/년의 생산능력을 가졌고, CECA과 Sutcliffe-Speakman은 각각 2만 톤/년을 생산하며 아시아 지역에서는 일본의 Kurarey Chemical이 3만 5천 톤/년으로 가장 큰 생산능력을 가지고 있으며, 뒤를 이어 중국의 북경 태평양 활성탄소와 신화 활성탄소가 약3만 톤/년을 생산하고 있다. [3]

표 2.5 세계 활성탄소 수출·입 현황(2006)

순위	국가별	수입량(MT)	수출량(MT)	계(MT)
1	중국	7,595	242,368	249,963
2	미국	67,585	56,415	124,000
3	일본	87,320	9,337	96,657
4	네덜란드	27,594	32,175	59,769
5	프랑스	27,167	15,598	42,765
6	독일	29,160	12,665	41,825
7	이탈리아	34,207	6,964	41,175
8	영국	23,392	16,666	40,058
9	한국	38,300	217	38,517
10	필리핀	589	34,421	35,010
11	그 외 14개국	82,071	71,858	155,403
계	24개국	424,980	498,684	923,664

(출처 : Kim Ji-Il 외 4, 2010)

Freedonia Group의 “세계의 활성탄 시장” 보고서에 따르면, 2013년 150만 메트릭톤을 기록한 세계의 활성탄 수요는 향후 연평균 7.9%로 증가하여 2018년에는 220만 메트릭톤에 달할 것으로 예측된다. 시장 성장 촉진 요인은 가장 큰 시장인 미국과 중국 내 규제 기준 강화이다. 중국과 같은 개발도상국의 경우 급격한 산업화로 인한 대기 및 수질 오염을 해결하고자 규제가 강화되었지만 미국을 비롯한 선진국의 경우 수은 제거에 주력하고 있다. 수은 제거와 관련된 성장은 분말형 활성탄 수요를 촉진시켜 과립형 및 기타 활성탄 제품 수요 증가율을 증가할 것이다. 또한 분말형 활성탄은 낮은 비용과 수처리 등과 같은 용도에 사용이 용이해 개발도상국에서도 선호되고 있다. [4]

활성탄소 세계시장 규모는 지난 2015년 5조4,000억원에서 오는 2025년 약 15조원 이상의 성장이 예상되고 있다. 국내시장은 약 1조원 규모로 친환경 수요 확대 및 전기·전자·에너지 산업 발전과 맞물려 빠른 성장세(연 8%)에 있지만, 수처리용 제품은 중국에서, 대기환경 및 에너지 저장 제품은 일본과 미국에서 각각 수입하는 등 국내 시장의 80% 정도를 수입에 의존하고 있다. [23]

## (2) 광촉매 시장

오염물질의 여과에 활용되는 광촉매는 수질 및 대기 정화에 활용이 확산되고 있다. 광촉매 관련 시장은 향후 높은 성장세를 보일 것으로 예상되고 있으며, 일본이 시장에서 높은 점유율을 보이고 있다.

표 2.6 글로벌 광촉매 시장 현황 및 전망(단위 : 억 원)

구분		2000	2005	2010	2020
광촉매	세계시장	7,100	28,000	102,600	198,000
	일본시장	2,500	5,500	17,300	32,900

(출처 : 환경부, 환경기술 기술동향 보고서, 2011)

환경부(2011)에 의하면 우리나라 환경산업에서 광촉매시장이 차지하는 비율은 8%로 추정되고 있다. 또한 광촉매시장이 환경산업에서 차지하는 비중은 2000년 이후 꾸준히 커지고 있어 향후에도 지속적인 성장세를 보일 것으로 예상되고 있다. [36]

표 2.7 국내 광촉매 시장 현황 및 전망(단위 : 억 원)

구분	1999년	2005년	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년
환경시장	89,970	187,970	208,501	231,426	257,034	285,653	317,550
광촉매시장		3,759	6,417	9,592	13,286	18,956	25,000
점유율		2%	3%	4%	5%	6.5%	8%

(출처 : 환경부, 환경기술 기술동향 보고서, 2011)

광촉매 제품의 세계 시장은 2013년 14억 달러에서 2014년 약 15억 달러로 증가했으며 2015년에는 약 16억 달러에 달할 것으로 추산된다. 광촉매 제품 시장은 연평균 12.6% 성장률을 보이며, 2020년까지 29억 달러에 이를 것으로 전망된다. 그중 건설 분야는 2020년 25억 달러로 광촉매 전체 시장규모의 90%를 차지할 것으로 예상된다. 가정용 탈취제와 공기청정제를 생산하는 소비재 분야는 2020년 2억 2,030만 달러로 광촉매 전체 시장에서 9.8%를 차지할 것으로 예측된다.

## (3) 대기관리 관련 제품 시장

대기관리산업의 주요제품인 마스크, 공기청정기, 구강 위생용품 등의 공기청정기 시장규모는 2014년 3,000억 원에서 2015년 5,000억 원, 2016년 1조(추정)로 급격한 성장세를

보이고 있다. 이에 미세먼지를 물에 녹이는 ‘물필터’ 기능을 갖춘 기기는 2016년 50%의 판매 성장률을 기록 중이다. 이와 함께 밀폐된 주방에서 발생하는 미세먼지 흡수를 위해 다양한 아이디어 주방제품이 개발되고 있다.

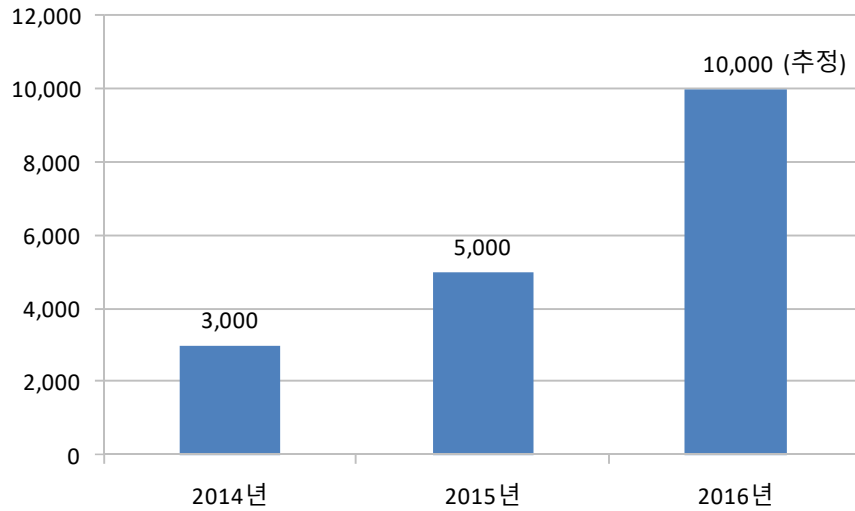


그림 2.5 국내 공기청정기 시장규모(단위: 억 원)

\* 공기청정기 관련 용품: 마스크, 공기청정기, 구강 위생용품 등

(출처 : 각 업체, 롯데하이마트, 관세청, EBI)

특히 미세먼지 관련 용품의 수입액은 2013년 1억 5,800만 달러에서 2015년 2억 9,200만 달러로 2배의 성장세를 보이고 있다. 포스코 ICT는 산업 현장에서 발생하는 미세먼지 제거용 전기집진기의 중국 수출에 주력하고 있다. 최근 중국 정부는 미세먼지 배출 기준을 낮추는 규제 강화를 추진하여 이에 관련 산업이 탄력을 받을 전망이다.

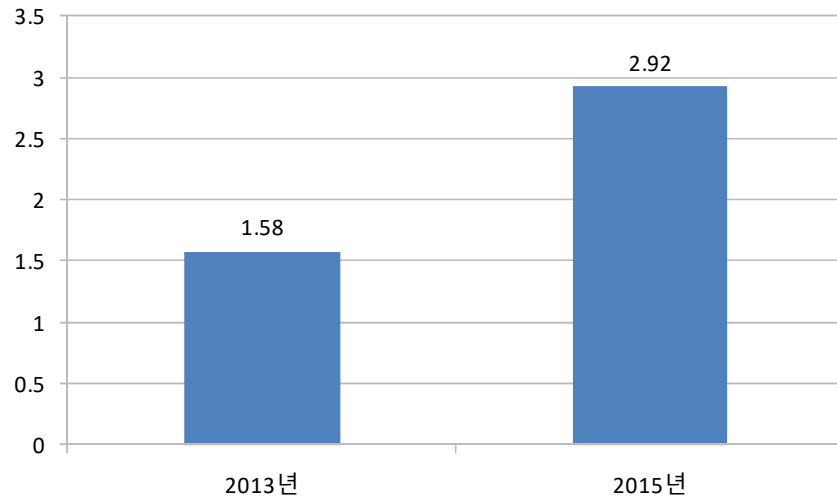


그림 2.6 미세먼지 관련 용품 수입액(단위: 억 달러)

\* 공기청정기 관련 용품: 마스크, 공기청정기, 구강 위생용품 등

(출처 : 각 업체, 롯데하이마트, 관세청, EBI)

미국 시장조사기업 BCC 리서치에 따르면, 환경·대기분야 센서 시장은 급성장세이다. 환경 센서 세계시장은 2014년 52억 4,000만 달러에서 2019년 66억 달러에 달할 것으로 예측되었다. 이중 대기환경 센서 시장은 16억 6,000만 달러(2014년 기준)로 전체 환경 센서 시장의 32%를 차지한다. 2019년에는 21억 1,200만 달러 규모로 성장할 것으로 예상된다. [1]

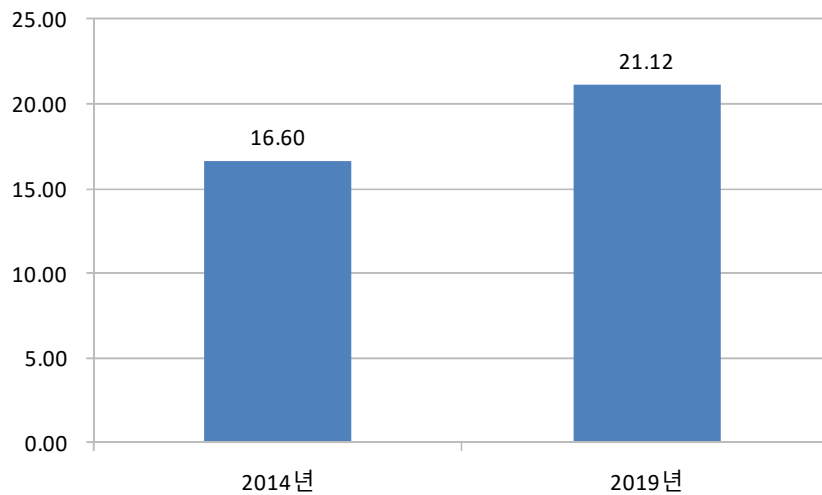


그림 2.7 세계 대기환경 센서 시장규모(단위: 억 달러)

(출처 : BCC Research, 2015)

### 2.1.5 소 결

국내 환경산업 및 대기관리산업, 미세먼지 저감(여과)를 위한 관련 소재, 제품 시장의 현황 및 전망에 대한 분석 결과 시장환경에서 다음과 같은 기회, 위협 요인을 도출하였다.

먼저 기회요인은 글로벌 대기환경 시장의 높은 성장 전망이다. 이런 성장세는 전체 대기 관리 시장 뿐 아니라 소재, 제품 시장에서도 성장세를 보이고 있어, 관련 시장의 높은 성장 가능성을 보여주고 있다. 특히 개도국의 환경관련 규제가 엄격해지고 관심이 높아질수록 관련 시장의 확장 및 성장도 가속화 될 것으로 예상된다. 이런 환경에서 국내 미세먼지 관련 기술 및 제품의 준비가 되어있다면 해외시장 진출, 신시장 개척의 기회가 커질 것으로 예상된다. 두 번째로 국내 대기오염 통제기기 제조, 대기오염 통제관련 건설 분야의 성장 추세로 볼 때 향후 미세먼지와 관련된 제조/건설 분야 시장은 확장될 것으로 예상되고 있다는 점이다. 특히 두 분야는 대기관리 시장에서 차지하는 비중도 크기 때문에 미세먼지 저감기술을 활용한 도심 인프라 구축 등이 활성화 될수록 시장이 성장세를 보일 것으로 예상된다

반면 위협요인으로서는 우선 국내 대기관리 시장의 감소세를 보이고 있는 점이다. 전반적인 환경관련 시장의 성장세에도 불구하고 대기관리 관련 분야는 소폭의 감소세를 보이며 시장 규모가 축소되었다. 특히 최근의 미세먼지 관련 이슈가 지속적으로 발생하고 사회적 관심이 증대되고 있는 기류를 고려할 때 시장의 위축은 높은 기업들의 투자여지 감소, 수익성에 대한 기대가 낮아짐에 따라 시장철수 등 나쁜 결과를 초래할 수 있기 때문에 정부차원의 시장 활성화를 위한 적극적인 지원이 필요하다. 두 번째로 미세먼지 저감과 관련된 핵심 소재 분야는 아직 글로벌 기업들이 선점하고 있는 상황이다. 우리나라는 소재 및 부품을 아직 수입에 의존하고 있어 기업들이 관련 제품 또는 기술 개발을 통한 사업화의 경우에도 높은 수익을 기대하기 힘들고, 해외 소재, 부품의 가격에 의존성이 높을 수 있기 때문에 기업들이 건강한 수익모델을 마련하기 어려울 수 있다.

## 2.2 국내외 기술동향 분석

### 2.2.1 도심지 도로변 미세먼지 발생 유형분석

도로 미세먼지는 국내 연간 배출 미세먼지의 25%(PM<sub>10</sub>) 및 33%(PM<sub>2.5</sub>)을 차지하며 서울시에서의 PM<sub>10</sub>와 PM<sub>2.5</sub>의 배출량 중 도로이동오염원이 가장 크게 산정되는 것으로 나타났다. [18, 25, 40]

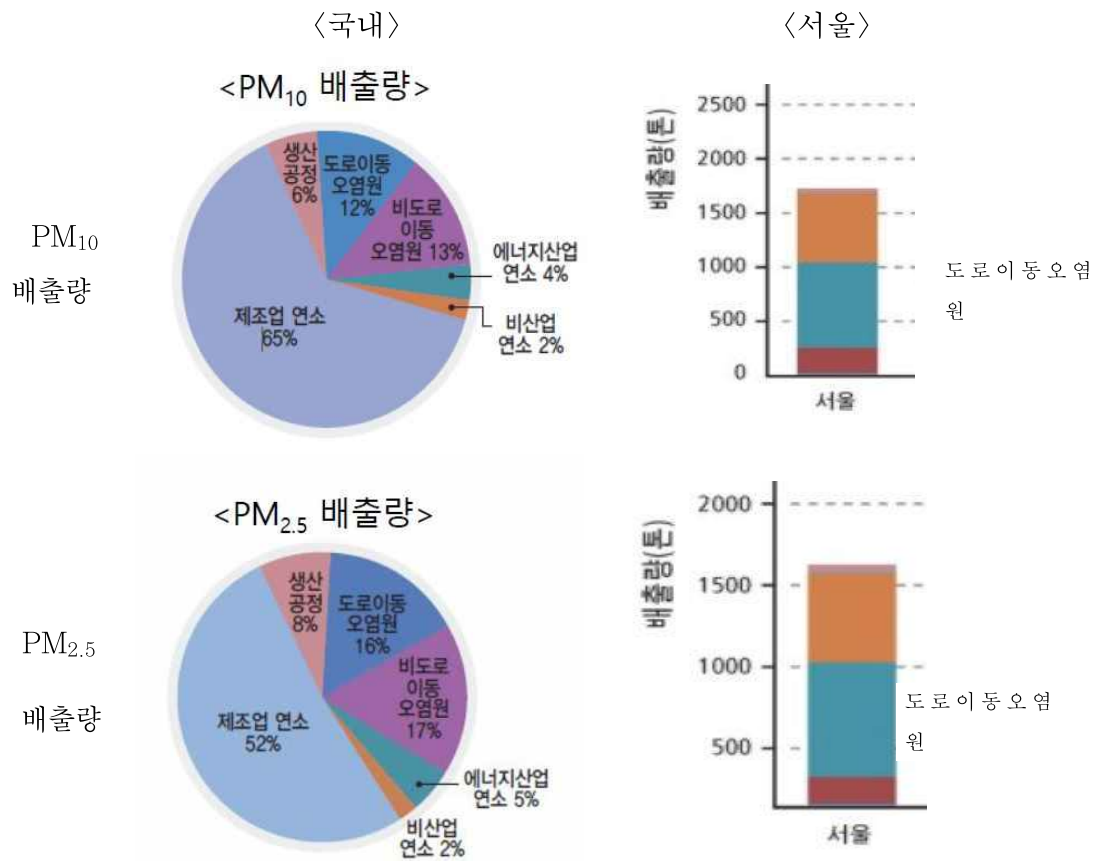


그림 2.8 2012년 국내 및 서울의 PM<sub>10</sub> 및 PM<sub>2.5</sub> 배출량

미세먼지 배출량 중 도로 미세먼지 발생량이 큰 비중을 차지하나 발생원 및 발생량에 대한 파악이 미비하여 발생 유형에 대하여 분석하였다.

### (1) 배기가스

도로 미세먼지의 가장 대표적인 원인으로 차량의 배기가스가 있음. 가스상태로 나온 물질이 공기중의 다른 물질과 화학반응을 일으켜 미세먼지가 되는 대표적인 2차 발생원으로 배기가스 내에는 일산화수소, 탄화수소, 질소산화물, 유기화합물 등이 포함되어 있다. 휘발성 유기화합물(VOCs)은 반응성이 가장 강한 물질(OH, O<sub>3</sub> 등)과 화학반응을 일으켜 2차 유기입자(Secondary Organic Particles)가 된다. 각종 연소과정에서 발생한 질소산화물(NO, NO<sub>2</sub>)은 대기 중 알칼리성 물질인 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 반응하여 질산암모늄(NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)이 되며, 아황산가스(SO<sub>2</sub>)는 수증기 등과 반응하여 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)이 되고, 이는 다시 암모니아 등과 반응하여 황산암모늄((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 등 미세먼지 입자가 생성된다. 이렇게 발생된 2차 발생원은 전체 미세먼지 발생량의 약 2/3를 차지하게 된다. [40]

### (2) 타이어 마모입자

차량 속도의 증가나 급가속, 급감속 시 미세먼지 발생이 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 이 중 황 함유량이 크게 증가하는데 타이어의 구성 성분으로 황을 사용하는 것으로 타이어의 마모에 의한 것이라고 볼 수 있다. 또한 차량 속도에 의해 도로 표면 위에 쌓여 있던 비산먼지와 브레이크 마모도 같이 동반되는 것으로 나타났다. [29]

### (3) 건설현장 및 건설기계

건설현장은 토지정리, 파괴, 굴삭, 운송 등 다단계의 공정이 특정기간동안 순차적으로 수행되며 그 과정에서 발생하는 비산먼지의 양은 각 공정의 규모와 기간에 따라 결정된다. 건설장비 연료의 소비량에 따라 미세먼지 배출량이 발생하며 그 외에도 장비의 이동, 토사의 상·하차 등에 의해서도 발생하는 것으로 나타난다. [32]

## 2.2.2 국내 미세먼지 모니터링/제거/관리 기술 현황

### (1) 모니터링 기술 : 이동먼지 측정 시스템

한국환경공단에서 운영하는 도로 재비산먼지 관리시스템은 이동측정차량과 자료전송·저장 시스템으로 구성되어 있는 측정관리시스템으로, 입경이 PM<sub>10</sub> 이하인 입자상 물질의 농도를 1초 주기로 신속·정확하게 측정하고 그 결과를 지자체와 공유함으로써 오염심화 도로의 빠른 파악 및 신속한 조치가 가능한 환경관리 시스템이다. 측정된 자료를 홈페이지를 통해 국민들에게 정보를 제공할 수 있으며 행정기관에 자료를 제공하여 효율적인 도로청소를 유도할 수 있다.

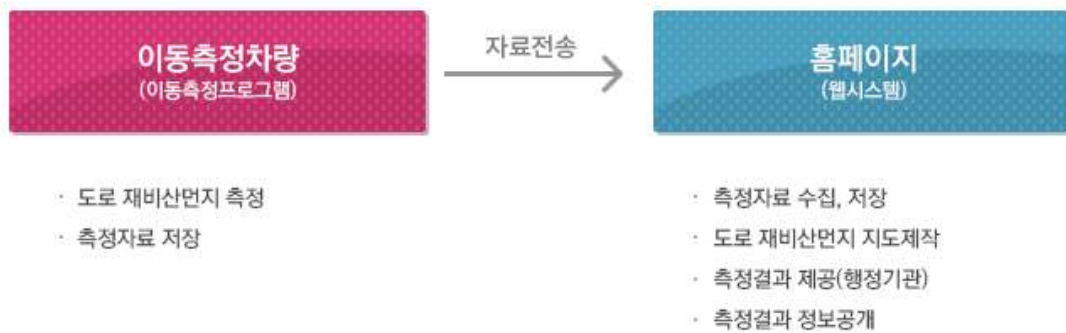


그림 2.9 도로 재비산먼지 관리시스템

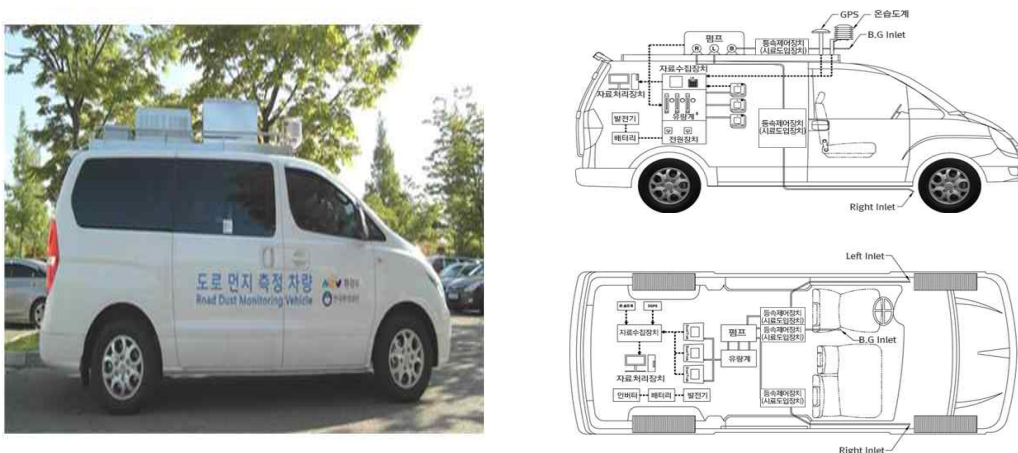


그림 2.10 이동측정차량 구성도

차량이 주행하면서 발생하는 입자상물질을 2단 등속흡인장치를 이용하여 실시간으로 측정 가능하며, 재비산되는 먼지를 양쪽 타이어 뒤에서 측정한 농도와 배경먼지농도의 차이로 먼지로 농도를 계산할 수 있다. [35]

$$\text{재비산먼지}(\Delta dust)\text{농도} = \{(\text{좌측}PM_{10}\text{농도} + \text{우측}PM_{10}\text{농도})/2\} - \text{배경먼지}PM_{10}\text{농도}$$

## (2) 모니터링 기술 : 운행차 배출가스 원격측정(RSD) 수시점검

강제정차식 수시점검으로 인한 교통체증 유발, 교통사고 위험 등 국민 불편을 해소하고자 주행 중인 차량의 배출가스를 측정하여 도심 대기질을 개선하고자 도입된 측정방법이다. 수도권 및 정밀검사지역에서 원격측정기를 이용하여 운행차의 배출가스를 측정하여 배출허용기준 초과차량을 선별할 수 있다. 과대배출차량의 점검 유도 및 관리를 통하여 운행차로 인한 미세먼지 등 대기오염물질 저감에 기여하며, 도로 양편에 적외선, 자외선을 투사하는 측정기 및 반사기를 설치하고 통과하는 차량의 배출가스에서 흡수된 빛 에너지를 분석하여 배출가스 농도를 측정하는 기술이다. [35]

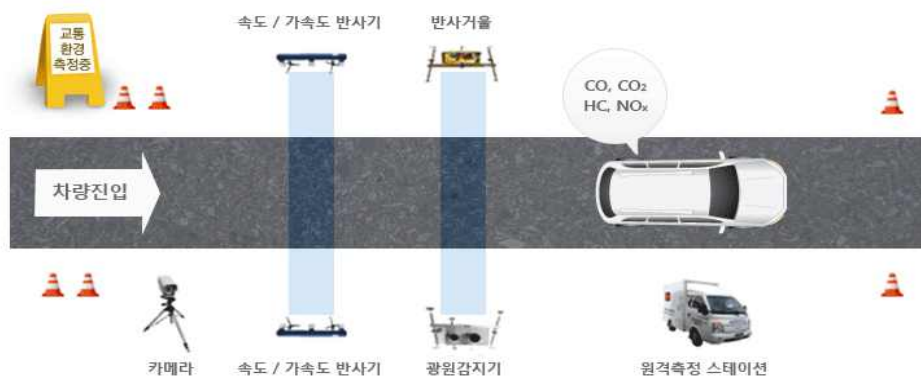


그림 2.11 RSD 수시점검 방식

표 2.8 RSD 원격측정기 구성 및 측정원리

기기명		측정원리 및 역할
광원검출기		배출가스 기둥에 적외선과 자외선을 방사하고 검사모듈은 반사거울에 의해 반사된 적외선과 자외선을 분석하여 배출가스 농도 측정
반사거울		광원에서 방사되어 배출가스를 통과한 적외선과 자외선을 180° 반사하여 광원검출 모듈로 보냄
속도/가속도 측정기		2개 이상의 센서사 부착된 두 개의 긴 바(bar)형으로 측정 대상 자동차의 속도 및 가속도를 레이저로 측정
번호판 촬영 카메라		측정대상 자동차의 번호판을 촬영, 자동차등록번호 식별

### (3) 모니터링 기술 : Air Korea

한국환경공단에서 운영하는 사이트로 대기 오염도를 실시간으로 공개시스템으로 국민적 요구에 부응하며, 대기오염도 자료를 수집·관리하는 국가대기오염정보관리시스템(NAMIS)을 구축하여 국가와 지방자치단체 등 행정기관에서 대기환경정책 자료로 활용할 수 있도록 정보를 제공한다. 대기환경기준물질인 아황산가스, 일산화탄소, 이산화질소, 미세먼지(PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>), 오존에 대한 대기 오염도를 대기오염 시계, 대기오염 달력 등의 표현 방식과 접목하여 시간대별, 일자별, 요일별로 제공하며, 인체 영향과 체감오염도를 반영한 통합대기환경지수의 적용을 통해 대기오염의 상황을 한 눈에 알기 쉽게 등급과 색상으로 표현하여 제공한다.

측정망은 크게 도시대기측정망, 교외대기측정망, 국가배경농도측정망, 도로변대기측정망으로 4가지로 나뉘며, 일부 대기환경기준물질을 선택하여 측정할 수 있도록 구분한다.



그림 2.12 대기오염측정자료 흐름도

#### (4) 모니터링 기술 : 광산란법

대기 중에 부유하고 있는 입자상 물질에 빛을 조사하면 입자상 물질에 의하여 빛이 산란하게 됨. 이 때, 물리적 성질이 동일한 입자상 물질에 빛을 조사하면 산란광의 양은 질량농도에 비례하게 되는데, 이러한 원리를 이용하여 산란광의 양을 측정하고 그 값으로부터 입자상 물질의 농도를 구하는 방법이다. 광산란법은 실시간 측정이 가능 및 휴대가 용이하며 한 개의 장치로 여러 입자 크기 별 측정이 동시에 가능하고, 짧은 측정주기를 가지는 특성을 통하여 주어진 공간에서 변화하는 미세먼지 농도를 짧은 시간간격으로 파악할 수 있다는 장점을 지니고 있다. 반면, 정밀한 계측이 가능한 검지기는 수입에 의존하고 있어 가성비가 좋지 않으며, 입자의 개수농도를 측정할 때, 이를 질량 농도로 전환하는 과정에서 오차가 발생할 수 있다는 단점을 가지고 있어 이 오차에 대한 보정 계수를 구하는 연구가 국내에서 진행되고 있다.

#### (5) 제거기술 : 청소차량

국내에서 주로 사용하는 청소차량은 진공청소차와 살수청소차로 구분할 수 있다. 진공청소차량은 차량 측면(양쪽 모두) 하부에 설치된 원형 브러쉬와 차량 중앙 하부를 가로지르는 중앙 브러쉬를 이용하여 도로 측구와 노면에 쌓여있는 토사 및 먼지 등을 제거하는데, 진공방식으로 흡입하여 차량의 호퍼에 적재됨. 청소과정에서 먼지가 대기 중으로 날리는 것을 억제하기 위해 원통 브러쉬 상단에 살수장치를 장착해 물을 소량 살수하기도 하며 진공청소를 이용하여 도로의 토사 및 먼지 등을 제거한 후 살수 차량을 이용한 물청소가 병행되기도 한다.



그림 2.13 금정구 진공청소차량

살수청소차는 살수 방식에 따라 살수차, 고압살수차, 진공흡입식 살수차, 브러쉬 장착 살수차 등이 있다. 도로청소에서는 보통 고압 살수차를 일반 살수차로 부르며, 물을 고압으로 분사하여 도로의 토사 및 먼지 등을 씻어내는 방식으로 도로먼지의 비산 억제기능과 도로먼지를 빗물받이로 유출시켜 제거하는 역할을 한다. 그러나 물 튀김 등 차량운전자 및 보행자에 의해 민원이 제기되기도 하고, 살수에 의해 도로먼지가 충분히 제거되지 않았을 경우 건조 후 잔류한 먼지가 다시 비산되는 문제점 등이 발생하기도 한다.

이를 보완하기 위해 진공흡입식 살수차, 브러쉬 장착 살수차가 최근에 개발되었다. 진공흡입식 살수차는 차량의 전면에 살수한 도로위의 물을 차량 중간에 설치된 진공흡입구를 통해 회수하는 방식으로 도로상 찌든 먼지나 요철부분에 끼어 있는 미세먼지 등의 제거가 어렵고, 물청소 이후 물 튀김 등으로 인한 민원사항을 개선한 차량이며 배수성 포장 청소에 효과적인 것으로 소개되고 있다.

브러쉬 장착 살수차는 고압살수차 후단에 브러쉬를 장착하여 차량 전면에서 살수된 물을 측구 측으로 쓸어내고, 찌든 때를 제거하는 기능을 하는데, 강수 시 브러쉬만의 작동으로 도로변의 묵은 때를 쉽게 제거할 수 있을 것으로 소개되고 있다.



그림 2.14 노원구 살수청소차량

#### (6) 제거기술 : 건설현장

건설현장에서는 단계의 공정이 특정기간동안 순차적으로 수행되는데 그 각각의 과정에서 발생하는 미세먼지를 저감시키기 위하여 다음과 같은 노력이 이루어지고 있다.

- 야적 시, 이동식 방진덮개, 페타이어/벽돌을 이용한 방진 덮개 고정, 방진망 추가 설치 등을 시행
  - 이동식 방진덮개 설치 시, 공사장 내 이동 및 유지관리가 편리
  - 페타이어/벽돌을 이용한 방진 덮개 고정 시, 비산먼지의 추가 발생 억제 가능
  - 방진망 추가 설치 시, 비산먼지의 추가 발생을 억제 및 방음벽 주변의 미관 향상

- 굴삭기 장비에 살수기를 부착하여 비산먼지의 발생을 억제



그림 2.15 건설공사장 굴삭기 장비 살수 부착

- 수송 시, 수조를 이용한 세륜시설을 사용하면, 수송차량에 의한 작업이 많을 경우 자동식 세륜시설 선단에 수조식 세륜시설 설치로 보완 가능



그림 2.16 자동식+수조식 세륜시설

- 채광·채취 시, 어스오거 장비 방진망 및 어스앵커 천공 작업시 부직포 설치
  - 어스오거 장비 방진망 사용 시, 소음과 비산먼지의 발생을 약 40% 저감 가능
  - 부직포 설치 시, 여과기능을 향상시키며 비산먼지를 저감시킴

## (7) 제거기술 : 광촉매

태양에너지와 반응하여 질소산화물(NOx), 유기염소화합물 등에 의한 대기 오염물질을 산화하여 제거하는 원리를 이용하는 것으로, 광화학반응을 촉진시키는 물질인 산화타이타늄(TiO<sub>2</sub>)를 사용하여 NOx의 정화 및 무해화 시킬 수 있다. 도로포장재료에 도입한다면 자동차에서 배출되는 유해가스를 직접적으로 흡수 및 제거함으로써 도시의 대기오염방지에 상당히 효과적일 것이며, 도로 시설물의 경우 부피에 대한 표면적의 비율이 타 시설물에 비해 높음으로 광촉매 효율을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

현재 국내에서 광촉매 콘크리트를 도로포장 및 도로 시설물 분야에 적용하는 연구가 진행되어, 적용방안 및 효용성의 검토가 수행되었으며, 적절한 광촉매 사용량이 유지되면 질소산화물 저감 효과가 일정 수준 이상으로 유지되는 것으로 나타났다.

광촉매 기술이 시행된다면 도로 뿐만 아니라 중앙분리대, 방호벽 등에도 적용 시킬 수 있을 거라 판단되며, 현재 국외에서는 광촉매를 도로나 구조물에 활발히 적용시켜 그 효과를 보고 있다. 이탈리아와 일본에서 가장 활발하게 연구되어오고 있는 것으로 파악되었다. 이탈리아의 경우, Bergamo시 Borgo Palazzo Street의 블록 포장에 적용하여 적용지역 대기오염이 30~40% 감소하였다는 자체 분석사례가 있으며, 로마 시에서는 콘크리트 외장에 TiO<sub>2</sub>계 광촉매 시멘트를 적용하기도 하였다. 일본의 경우에는 광촉매 콘크리트 블록 포장을 시공하여 질소산화물(NOx)의 15%를 분해하여 도로변 가로수보다 분해효과가 탁월한 것으로 보고하고 있다. 대도시지역의 모든 주도로와 인도 보도블럭, 건물외장재에 광촉매 기능을 부여할 경우 공기의 질이 80% 향상될 것으로 예측하고 있다.



그림 2.17 The City of Rome Jubilee Church Practices (Italcementi Group, 2007)



그림 2.18 Block Pavement for Japan Photocatalytic Concrete (Anne Beeldens et. al., 2006)

#### (8) 제거기술 : 도로시설물

방음벽, 가드레일, 낙석방지펜스, 옹벽 등 도로시설물에 미세먼지 등의 대기오염물질을 흡수, 세척 및 포집 등이 가능하도록 적용한 것으로 자동차 배기가스 중의 이산화탄소를 흡착하는 고효율성 탄소보드, 일산화탄소를 흡착하여 제거하는 촉매보드 및 미세먼지를 제거하는 필터 등이 사용되고 있다. 자동차 주행 시, 공해물질을 흡착하여 대기오염을 경감하며 이산화탄소를 흡착할 수 있는 기술이다.

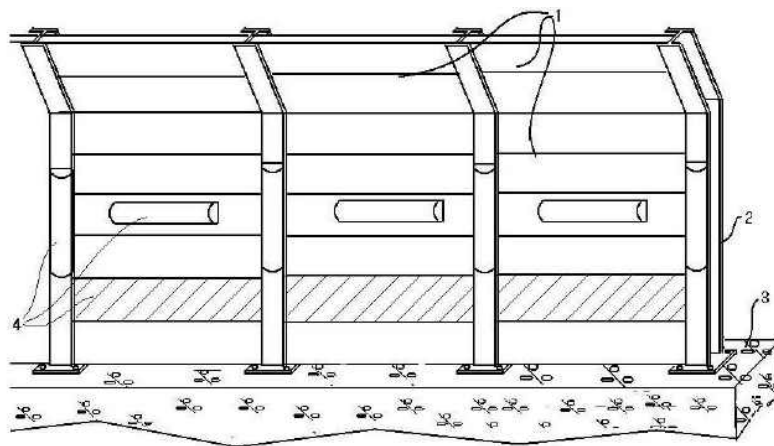


그림 2.19 대기오염물질제거 기능을 구비한 다기능 도로시설물

그림 2.19는 2011년도에 특허 등록된 다기능 도로시설물이며, 도로시설물의 기둥, 표면에 자동차 주행 시 발생하는 기체 상태의 대기오염물질 또는 미세먼지를 흡착하여 제거할 수 있는 대기오염물질 제거 패널을 부착하여, 당해 도로시설물 고유의 기능과 함께 대기오염물질을 제거할 수 있는 기능을 추가로 구비한 것이다.

위의 방음벽은 다기능 방음벽으로써, 다수의 방음판(1), 상기 방음판을 고정하는 지주(2), 도로 단의 지반에 형성되는 것으로서 상기 지주가 세워지는 기초(3), 그리고 상기 방음판 또는 지주에 부착하거나 일부나 전부의 방음판 대신 사용되는 대기오염물질 제거 패널(4)로 구성되어 있다.

다기능 도로시설물의 핵심 요소는 대기오염물질 제거 패널의 대기오염물질 제거 보드로서, 제거하고자 하는 대기오염물질의 종류에 따라 적절한 것을 선정할 수 있는 장점을 가진다.

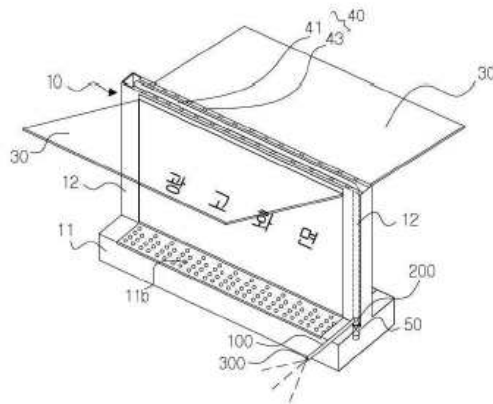


그림 2.20 도로 세척 기능을 갖는 광고 펜스

그림 2.20은 2017년도에 특허 등록된 다기능 도로시설물로서 도로나 공원 또는 공공시설물 등에 인접하게 설치된 광고 펜스에 부착된 먼지 등의 이물질뿐만 아니라 인접한 도로의 노면이나 주변 환경을 물로 깨끗하게 세척하여 도로의 노면 또는 시설물 및 바닥에 쌓여 있는 흙이나 꽃가루 또는 황사 등의 미세먼지와 같은 오염 물질을 제거 할 수 있는 도로 세척 기능을 갖는 광고 펜스이다.

위의 광고 펜스는 내부에 물을 저장하는 프레임(10), 프레임에 설치되는 광고 수단(20), 광고수단의 외면을 보호하도록 프레임(12)의 앞뒤로 각각 설치되는 한 쌍의 투명 보호판(30),

투명 보호판 외면으로 물을 분사하기 위한 분사 수단(40), 물을 분사 수단으로 공급하기 위한 펌프(50)로 구성되어 있다.

광고 펜스에 부착된 먼지와 같은 이물질은 물로 세척하여 제거함으로써 도심의 미세먼지 제거와 같은 효과를 얻을 수 있을뿐더러 주변 온도를 하강시켜 도심의 열섬현상을 개선할 수 있으며, 조명등을 구비하여 야간에도 광고 내용을 용이하게 파악할 수 있고, 주위를 밝게 하여 야간 범죄를 예방할 수 있는 물 분사 기능을 갖는 광고 펜스를 제공할 수 있다.

### (9) 제거 기술 : 식재구조에 따른 저감 효과

도로에서 발생한 초미세먼지가 보도, 녹지, 주거지로 이동하면서 어떤 농도의 변화를 보이는지, 완충녹지 조성 시 활용할 수 있는 영향요소 도출과 그 효과검증을 목적으로 한 연구가 진행되고 있다. 이 연구는 겨울과 봄의 (초)미세먼지 측정값을 기준으로 분석하였고, 그 결과 보도, 녹지, 주거지 모두 미세먼지가 저감되는 것으로 나타났으며, 그 중 완충녹지를 통과한 후의 주거지 농도 값이 가장 많이 저감되었다고 분석되었다.

연구 결과를 분석·정리 하였을 때, 봄이 겨울보다 초미세먼지의 농도가 낮게 측정되었으며, 이는 잎이 나는 봄철 수목의 잎으로 인한 저감 효과 때문인 것으로 보고되고 있다. 녹지 유형별로는 사면형 녹지가 봄이 되면서 저감 효과가 증가되는 것으로 나타났다. 겨울에는 평지형 녹지가 사면형 녹지보다 초미세먼지 농도 저감 효과가 높았으나 봄에는 사면형 녹지의 농도 저감 효과가 우수한 것으로 나타났지만 이는 평지형 녹지가 관목 녹량이 많아 잎이 없는 겨울철에 저감 효과가 높았던 것으로 보고되고 있다.

정량적 요소인 녹량의 요소들은 상호 복합적으로 연계되어있어 녹량별 특성에 따라 조사구를 5개의 그룹으로 구분하였다. 관목 풍부형, 녹량 균형형, 교목 부족형, 관목 부족형, 녹량 부족형 순으로 초미세먼지 농도 저감 효과가 낮았다. 또한, 다층의 관목구조를 만드는 것이 농도 저감에 효과적인 것으로 확인되었는데, 이는 도로로부터 확산되는 초미세먼지의 차단에 하층 관목의 영향이 큰 것으로 보고되고 있다.

위의 연구는 겨울과 봄, 두 계절의 데이터만으로 분석한 결과로 모든 계절별 특성을 대표하기에는 부족하므로, 사계절 반복 측정과 그 데이터를 바탕으로 경향과 상대비율을 분석하는 추가적인 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## (10) 제거기술 : Bag Filter를 이용한 도로터널 내 미세먼지 제거

전 세계적으로 장대터널 건설이 지속적으로 증가하고 있으며 차량정체에 따른 터널 내 운전자의 체재시간이 늘어남에 따라 오염물질에 의한 인체 건강이 미치는 영향이 클 것으로 보아 지속적인 대책 마련이 요구되고 있다. 이에 서울 시내의 도시 장대 터널에서의 미세먼지 (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>)와 벤젠(VOC)의 농도 분포에 대해 조사하고, Lab Scale의 실험과 실제 터널에서의 장기 모니터링을 통해 이에 대한 저감 효율을 평가하였다.

Lab Scale 규모의 모형 터널을 제작하여 저감 성능평사를 실시하였을 때, 성능평가 결과 미세먼지의 처리효율은 백필터 가동 시 97% 이상, VOC의 처리효율은 90% 이상 처리되는 것으로 나타났다. 실제 운영중인 장대 터널의 바이패스 구간에 처리장치를 설치하여 4개월간의 장기 모니터링을 실시하였으며 대부분의 미세먼지와 VOC를 처리하는 것으로 확인 되었으나, 터널 내부에서 발생하는 주행풍으로 인한 국소적인 저감과 장기 모니터링으로 인한 흡착재의 성능 저하로 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. [19]

### 2.2.3 국외 미세먼지 모니터링/제거/관리 기술 현황

미국에서의 도로먼지 측정 기술은 도로먼지 부하량(silt loading)값을 측정하는 AP-42 기법과 대기오염 및 기상 모니터링을 통해 도로먼지의 대기중 확산 정도를 측정하는 Flux Tower method, 차량이 도로를 주행하면서 실시간으로 도로먼지 농도를 측정하는 Mobile method가 있으며 현재 Mobile Method로 변화하고 있는 것으로 나타났다.

휘발성 유기화합물 제거 처리기술은 미국(188종), 일본(234종), 독일(174종) 등 이미 오래 전부터 특정 대기 유해 물질을 지정하고 있어 이에 대한 다양한 처리공정들이 개발되어 있는 것으로 나타났다. 또한 미국은 광촉매를 도로포장 및 구조물에 적용하여 자동차에서 배출되는 질소산화물 제거 및 셀프크리닝 기능 관련 연구 및 현장적용을 수행하였으며, 쓸어내기(Sweeping)과 쓸기와 세척(Sweeping/Washing)에 따른 PM<sub>10</sub> 감소를 위하여 도로청소에 의한 먼지저감 효과 관련 연구가 유럽, 대만, 미국 등을 중심으로 추진되었으며 현재도 지속적으로 미세먼지 제거를 위한 연구개발이 진행되고 있다.

표 2.9 주요 국가별 미세먼지 제거 기술

국가	내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로 재비산먼지 저감을 위해 화학 먼지 억제제 살포 기술 개발하여 실용화단계</li> <li>비배기가스 배출 먼지의 경우, 해외에서는 타이어 업체를 중심으로 마모입자의 조사를 위한 Working Group을 구성하여 연구를 추진하나 실질적 인체 유해성 평가는 현재로서는 미흡</li> </ul>
필란드	<ul style="list-style-type: none"> <li>메트로폴리아 대학에서 개발한 Sniffer Mobile Laboratory and Instrumentation</li> </ul>
스웨덴	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로상에서 발생하는 초미세먼지를 측정하고 이를 기반으로 전반적인 운영 현황을 평가 기술 및 환경을 구축함 (실험시설)</li> </ul>
영국	<ul style="list-style-type: none"> <li>British Road와 EPRI, Grimethorpe의 가압유동층 복합발전건설비용 집진기술은 세계적인 수준임</li> </ul>
중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>도시 내 도로의 기계화 흡식 청소율 90%이상 확보, 굴착복구 공사 최소화 및 밀폐시공, 슬래그 운반차량 밀폐 운행 등 도로 재비산먼지 저감 대책 강화</li> </ul>

#### 2.2.4 국내외 미세먼지 모니터링/제거/관리 논문 현황

국내 과학기술정보센터를 이용하여 국내·외에 발표된 미세먼지 관련 논문현황을 분석하였으며, ‘미세먼지’ 키워드로 검색한 결과 국내 논문 1,162건, 여기에 ‘도로’라는 키워드로 결과 내 재검색 결과 논문 77건이 검색되었다. 또한 ‘dust’ 키워드로 검색한 결과 국외 논문 97,323건, 여기에 ‘road’라는 키워드로 결과 내 재검색 결과 논문 2,184건이 검색되었다.

국내 논문 77건에 대하여 관련성 없는 것을 제거하고 총 27건의 논문을 분석하였으며, 국외 논문 2,184건에 대하여 관련성 없는 것을 제거하고 남은 논문 359건에 대하여 상세 분석을 실시하였다.

우선, 국내 논문 27건에 대하여 4가지 주제로 구분하여 분석한 결과, ‘모니터링 + 제거 + 관리·정책’에 대한 논문이 전체 논문의 44%를 차지하는 것으로 나타났다. 도로변 미세먼지 관련하여서 미세먼지 발생원 및 성분에 관한 연구가 다수를 차지하고 있으며, 구성 물질 성분비나 농도 분석·변화 등에 관한 연구가 활발한 것을 알 수 있었다. 도로변 미세먼지와 관련된 연구는 도로변에서 발생하는 미세먼지 발생원 및 성분 분석을 통한 세부적인 모니터링 방안이 필요하며, 미세먼지 제거 공법 외에도 제거 전, 후의 관리·정책에 관한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

도로변 미세먼지 관련 논문 중에서 관리·정책에 대한 연구가 상대적으로 적은 것으로 나타났

으며 특히, 도로에 관한 연구는 발생원 및 성분 추정에 집중되어 있으며, 모니터링과 관리에 관한 연구는 상당히 부족한 것으로 나타났다. 도로변 미세먼지의 효율적인 관리를 위한 발생원 및 성분 추정에 관한 연구는 많으나 직접적으로 관리·정책에 관한 연구는 이루어지지 않는 것으로 분석되었다. 도로변 미세먼지 발생원 및 성분 관련 논문이 전체 논문의 56%를 차지하는 것으로 나타났으나 여전히 도로변에 관련된 모니터링, 저감 방안 및 지속적인 관리·정책에 대한 연구가 부족한 것으로 나타났다.

국외 논문을 살펴본 결과, 총 2,184건 중 ‘monitoring + reduce + management’로 재검색하여 관련 논문 359건을 추출하였으며, 모니터링 관련 논문이 178건, 저감 관련 76건, 관리·정책 105건으로 국내와는 상반된 연구 현황을 보이는 것으로 파악되었다. 국내에서는 미세먼지의 저감 및 제거에 초점을 두었다면, 국외에서는 미세먼지의 분석과 전후 관리에 대한 관심이 높은 것으로 판단된다.

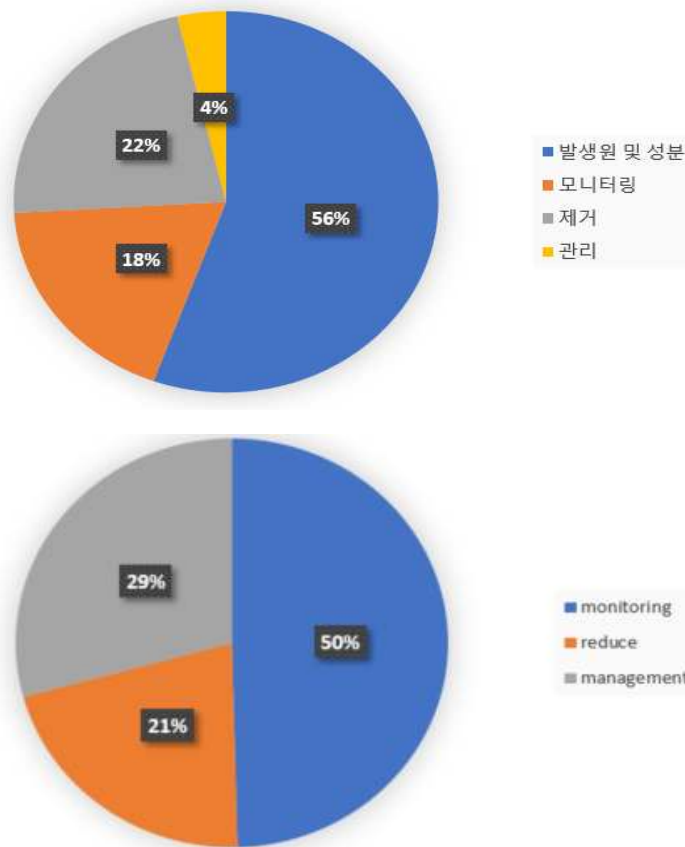


그림 2.21 국내외 도로변 미세먼지 관련 주제별 기술 분류  
(상: 국내, 하: 국외)

(1) 미세먼지 발생원 관련

표 2.10 국내·외 도로변 미세먼지 발생원 관련 논문

논문제목	출판정보	논문내용
대전지역 PM10 집중추정을 통한 화학적 특성 및 발생원 규명	김중구(2013), 한양대학교 학위논문, 108 p	본 연구의 목적은 대전지역의 PM10의 화학성분 농도를 집중측정 분석하여 대전지역의 주변환경과 화학적 특성을 비교하고, 입자 내 유해대기오염물질(이온, 중금속, PAHs, OC/EC)에 대한 발생원을 규명하여 향후 대전지역의 대기질 관리정책에 기초적 자료로 활용하고자함
서울지역 PM10과 PM2.5 중 미지성분의 추정과 오염원의 기여도 평가	이경빈(2015), 서울시립대학교 학위논문, 214 p	분진의 크기에 따라 화학적 성분이나 발생 메커니즘이 차이를 보이고 있으므로 PM10과 PM2.5의 화학적 구성성분을 구분하여 비교하는 것은 의미가 있고, 이들의 특성을 이해하는 것은 매우 중요함. 아직 해석이 되지 않은 오염원에 관한 지속적인 연구 수행을 통해 고유한 특성의 오염원 분류표의 확인이 요구됨
도로먼지 구성 성분 원소의 상세한 분석으로 도로먼지 오염원 분류표 작성	서영화 외 1인(2010), 한국환경관리학회, 제16권 통권1호 pp. 43-52	대기 중 미세먼지 오염 배출원의 경로가 불확실한 미세먼지의 체계적인 관리를 위하여 미세먼지 오염 배출원의 기여도를 정량적으로 산출하는 연구가 진행되고 있음. 오염원의 기여도를 정량적으로 산출하는 방법 중 Chemical Mass Balance(CMB) 모델을 이용하기 위해서는 각 오염원의 오염물질 분류표가 필요하며, 본 연구는 오염원 분류표 중 도로먼지의 분류표 작성을 위한 기초연구로 시행함.
서울시 미세입자 특성 및 CMB 모델을 이용한 배출원 기여도 산정	강충민 외 4인(2003), 한국대기환경학회 2003년도 춘계학술대회 논문집, pp. 57-58	본 연구에서는 서울시의 미세입자의 화학적 특성을 평가하고, 국내에 적합한 배출원 구성성분비 (source profile)를 개발함. 또한 이를 이용하여 수용모델인 CMB8 (chemical mass balance version)을 실행하여 서울시에서의 미세입자 배출원 기여도를 산정함
공업지역과 상업지역에서의 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5) 발생원 추정과 관한 연구	김용석(2013), 동아대학교 대학원 학위논문, 127 p	최근 대도시 등에서 대기환경에 영향을 주고 있는 미세먼지(PM10)와 초미세먼지(PM2.5)의 물리화학적인 성상과 발생원을 추정하고자 함. 그 결과 자동차 통행, 도로비산 먼지와 함께 상업지역에서의 다양한 발생원에 의한 영향이 큰 것을 알 수 있었음
미세먼지의 입경별 위해 분석 방법 비교 연구	김진용(2011), 연세대학교 대학원 학위논문, 86 p	미세먼지의 함유성분에 의한 위해성 추정법은 극미세입자의 특성적 영향을 반영하지 못하고 있음을 확인함. 이에 반해 역학적 방법론을 통한 접근법은 입경이 작은 미세입자의 독성영향이 크게 나타나 입경별 특성을 반영할 수 는 있었으나, 다양한 입경에 대한 기초 자료의 부족으로 인해 현실적으로 PM1.0 및 PM0.1 등의 극미세입자에 대한 평가는 어려운 제한점이 있었음.
Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities	Amato, F. 외 9인(2011), Atmospheric environment v.45 no.37 pp. 6777-6787	본 연구는 스페인 도시 2곳 (바르셀로나와 지로나)과 스위스 도시 (취리히)의 대조적인 3개의 유럽 도시 환경에서 배출원 (10 μm 이하의 도로 먼지 입자)의 강도에 대한 공간 및 화학적 특성을 조사함
Sampling and characterization of resuspended and respirable road dust	ancsek-Turoczi, B. 외 3인(2013), Journal of aerosol science v.65 pp. 69-76	수집 된 PM1 및 PM1-10 분획물을 다양한 분석 방법으로 분석하여 재사용 도로 먼지의 화학적 특성과 함께 크기 선택적 온라인 샘플 수집의 가능성을 보여줌. 샘플링 및 분석 방법의 적용은 도시 PM에서의 더 나은 자원 배분을 제한하는 것뿐만 아니라 도시에서의 재분배 된 도로 먼지 발생원의 평가를 용이하게 할 수 있음.
PM10 and PM2.5 chemical source profiles with optical attenuation and health risk indicators of paved	Samiksha, S. 외 4인(2017), Environmental pollution v.222 pp. 477-485	포장 및 비포장 도로 먼지 화학 약품 프로파일, 광 감쇠 및 이러한 오염원에 노출되었을 때 발생할 수 있는 잠재적인 건강 위험이 본 연구에서 보고되었음. Bhopal 및 그 주변에 위치한 9 개의 포장 도로 및 6개의 비포장 도로 사이트에서 총 45개의 샘플을 실험실에서 재개하여 필터 기질 위에 모으고 다양한 화학 분석을 받음.

논문제목	출판정보	논문내용
and unpaved road dust in Bhopal, India		
Use of physicochemical signatures to assess the sources of metals in urban road dust	Mummullage, S. 외 3인(2016), The Science of the total environment v.541 pp. 1303-1309	도로에 쌓인 먼지는 다양한 출처에서 파생된 오염 물질의 복잡한 혼합물임. 이러한 소스의 정확한 식별은 효과적인 소스 지향적 제어 수단에 대한 독창적임. 농축 인자 분석 (EF), 주성분 분석 (PCA) 및 계층적 클러스터 분석 (HCA)과 같은 다양한 기술을 사용하여 복잡한 혼합물의 출처를 식별 가능하였음
Environmental and traffic-related parameters affecting road dust composition: A multi-technique approach applied to Venice area (Italy)	Valotto, G. 외 7인(2015), Atmospheric environment v.122 pp. 596-608	도로 먼지는 재부유에 의한 대기 미립자의 비배출원임. 그것은 천연 자원 뿐만 아니라 타이어, 브레이크 및 아스팔트 마모와 같은 기타 비배기원으로부터 발생하는 입자들로 구성됨. 본 연구는 대기 미립자에서 도로 먼지 재부유원의 미래 식별에 유용한 정보를 제공하기위한 것임

## (2) 미세먼지 모니터링 관련

표 2.11 국내·외 도로변 미세먼지 모니터링 관련 논문

논문제목	출판정보	논문내용
교통기반 공공보건 정책수립을 위한 고속도로 차량배출가스 시공간 패턴분석	이철영 외 3인(2016), 대한교통학회논문집, 제34권 통권5호 pp. 377-393	본 연구는 차량의 배출가스 중 호흡기 질환에 특히 유해한 것으로 알려진 질소산화물(NOx)과 초미세먼지(PM2.5)를 대상으로 시공간적 배출량의 패턴을 분석하고 교통기반 공공보건 증진 방안을 제시함. 본 연구에서 제시한 차량배출가스 분석방향 및 전략은 공공보건 정책 마련에 기여할 것으로 판단됨
이동차량에서의 먼지 측정을 위한 동속흡인 방법에 관한 연구	박현(2016), 한국산업기술대학교 산업기술·경영대학원 학위논문	본 연구에서는 등속제어장치를 설계, 제작함. 운행속도가 빠른 도로나 차가 막히는 도심 한가운데에서도 정확한 먼지의 농도를 측정할 수 있으며 빠른 시간 내에 광범위한 지역의 먼지 농도를 안전하면서도 간편하게 측정할 수 있음.
터널구간을 포함한 자동차전용도로상 대기오염의 시간 및 구간별 변화	박보은(2013), 고려대학교·한국과학기술연구원 Green School 대학원 학위논문, 79 p.	본 연구에서는 이동형 대기오염 측정시스템(Mobile Lab, ML)을 이용하여 도로상 대기오염도의 시간 및 구간별 변화를 분석함. 이동형 대기오염 측정시스템을 국내의 다양한 도로 및 터널 내부 오염도를 조사하는데 적용한다면 도로상 대기오염도의 상세한 공간분포 자료를 확보함으로써 국소 고농도 오염지역을 효과적으로 관리할 수 있을 것으로 기대되며, 터널별 오염도 수준의 비교 뿐만 아니라 운전자의 노출 저감을 위한 적정 환기량 관리의 기초자료로 활용할 수 있을 것임.
차량속도 영향에 의한 도로 표면 먼지의 재비산에 관한 실험적 연구	원경호 외 2인(2003), 한국대기환경학회 2003년도 추계학술대회 논문집, pp. 378-379	국내 비산먼지에 대한 조사 및 연구가 거의 전무하고, 또한 차량 운행으로 발생하는 비산먼지량 산정시 비산먼지 잠재발생능력의 척도가 되는 silt loading의 국내 자료가 전혀 없는 관계로 이에 관한 실측자료가 시급히 요구됨. 본 연구에서는 이동측정차량의 측정원리를 이용하여 포장도로에서의 silt loading 값을 산정하는 방법론의 중간 과정으로 차량속도 영향에 의한 도로표면 먼지의 재비산을 실험적으로 연구함
The urban road dust monitoring system based on ZigBee	He, Hong 외 2인(2016) Chinese Control and Decision Conference(DDCD), pp. 1793 - 1796	아카라 G1 먼지농도 센서를 채택할 때, 메인 컨트롤 칩과 지그비 기술로서의 MSP430F149는 시스템을 모니터링하는 도시적 도로 먼지를 구성함. 이 시스템은 저비용이며 쉽게 유지가능하고, 도로의 양쪽에 분진 물질이 옆을 지나는 불필요한 손해를 감소시키기 위해 실시간으로 모니터링될 것으로 판단됨
A new monitoring-simulation-source	Cheng, S. 외 5인(2013),	이 연구에서 PM 2.5 오염에 대한 자동차 배기 가스의 영향을 조사하기 위해 환경 모니터링, 모델 시뮬레이션 및 배출원 배분

논문제목	출판정보	논문내용
apportionment approach for investigating the vehicular emission contribution to the PM2.5 pollution in Beijing, China	Atmospheric environment, v.79 pp. 308 - 316	방법을 결합한 새로운 접근법이 제안되었다.
Effects of Road Dust Suppressants on PM Levels in a Mediterranean Urban Area	Amato, Fulvio 외 9인(2014), Environmental science & technology v.48 no.14 pp. 8069-8077	개선 된 거리 청소 및 먼지 억제제 사용과 같은 완화 조치가 제안됨. 이 연구는 처음으로 지중해 성 도시에서 도로 먼지 배출을 줄이는 데 칼슘 - 마그네슘 아세테이트 (CMA)와 (MgCl) 2의 효과를 평가함. 통합된 결과는 PM 10 및 PM 2.5-10 수준에서 먼지 억제제의 통계적으로 유의미한 효과가 없음을 나타냄
Improving the modeling of road dust levels for Barcelona at urban scale and street level	Amato, F. 외 7인(2016), Atmospheric environment, v.125 pt.A, pp. 231-242	이 연구는 도로 먼지 배출에 대한 도시 규모의 분산 모델링을 시작하고 촉진하여 인구 조사와 건강 상태 결과의 더 강한 추정치를 고려할 것임. TNO URBIS (도시 정보 시스템) 모델은 시간 가변성을 기술하기 위해 도로 먼지 방출 인자류와 알고리즘의 새로운 실험 견적과 함께 가우시안 선 광원과 거리 협곡 확산 모델을 구현한 바르셀로나의 시에 적용됨

### (3) 미세먼지 제거 관련

표 2.12 국내·외 도로변 미세먼지 제거 관련 논문

논문제목	출판정보	논문내용
도로 미세먼지 저감을 위한 필터 모듈의 흡착 특성	이재엽 외 1인(2017), 대한환경공학회지 제39권 통권1호 pp. 19-25	본 연구에서는 도로환경에 적용 가능한 통기성 정전필터를 개발하여 흡착능을 평가함. 흡착특성은 ASHRAE 52.1, 52.2 등의 방법으로 입경별 제거율과 압력별 흡착량 등을 평가함
도로터널 내 공기질 측정과 Bag Filter를 이용한 미세먼지 제거 성능평가	김범석 외 4인(2015), 한국터널지하공간학회 논문집 제17권 통권5호 pp. 523-531	수도권에 있는 4개 도로터널을 선정해 오전 7시부터 오전 9시까지 미세먼지와 벤젠을 4개월 연속 측정 한 결과 PM10의 경우 30~400 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 330~400 $\mu$ g/m <sup>3</sup> 으로 나타났고 Bag filter를 이용한 PM10의 제거효율은 97% 이상으로 나타나 향후 터널 내 대기질 개선에 기여할 것으로 판단됨
도로변 완충녹지의 식재구조에 따른 초미세먼지(PM2.5)농도 저감효과 연구	황광일(2016), 서울시립대학교 도시과학대학원 학위논문, 98 p	본 연구의 목적은 도시계획시설로 조성되는 완충녹지가 PM2.5(초미세먼지) 저감에 효과가 있는지를 규명하고, 도로변 완충녹지의 구조, 녹량(녹지용적), 식재유형에 따른 초미세먼지 변화량을 분석하여 그 결과를 토대로 초미세먼지 저감을 위한 완충녹지 조성시 활용할 수 있는 요소들을 도출하는 것임.
경유차 입자상물질의 환경성 평가시 바이오디젤과 저감장치의 영향에 관한 연구	이종태(2016), 호서대학교 일반대학원 학위논문, 105 p	본 연구에서는 배출가스 저감장치 사용에 따른 효과와 바이오디젤 사용에 따른 오염물질 배출특성과 유전독성평가를 수행하기 위하여 연구를 수행함. 정확한 인체위해성을 평가하여 규제기준 설정 및 저감장치(DPF+DOC)효율, 타이어 마모 먼지, 도로재 비산 먼지 등에 대한 다양한 변수를 고려하여 종합적 평가가 이루어져야 할 것으로 판단됨
이동먼지측정시스템을 이용한 청소차량의 도로먼지 제거효율 평가	손영민 외 4인(2006), 한국대기환경학회 학술대회논문집, pp. 373-374	본 연구에서는 실제 시행상의 어려운 점을 감안하여 교통을 차단하지 않고도 도로 상의 쌓인 먼지의 양(silt loading)을 측정할 수 있는 이동먼지측정시스템(환경부, 2005)을 사용함. 청소차량의 미세먼지 제거 효율은 측정 대상도로의 청소 전·후의 silt loading의 변화를 측정하여 산정함
Studies of some measures to reduce road dust emissions from paved roads in	Norman, Michael 외 1인(2006), Atmospheric environment,	스톡홀름에서의 테스트를 기반으로 스칸디나비아 도시의 거리를 따라 PM10 수준을 줄이기 위한 다양한 조치에 대한 정량적 평가를 제시함. 타이어 사용의 영향은 모니터링 데이터를 사용하여 정량적으로 평가됨

Scandinavia	v.40 no.32, pp. 6154-6164	
Attenuation of road dust emissions caused by industrial vehicle traffic	Gerardin, F. 외 1인(2016) Atmospheric environment v.127, pp. 46-54	이 연구의 틀에서 수행 된 연구의 목적은 산업 상황에서 차량 교통에 의한 도로 먼지 배출 문제에 대한 대응 요소를 제공하는 것임. 이 연구에서 제안 된 도로 먼지 분산을 줄이기 위한 기술적 해법은 강제 대류에 의한 수집 입자를 기반으로 함.

#### (4) 미세먼지 관리·정책 관련

표 2.13 국내·외 도로변 미세먼지 관리·정책 관련 논문

논문제목	출판정보	논문내용
PAHs 농도비를 이용한 대기 중 PM2.5 오염원의 확인과 정량적 기여도 추정	김도균(2012), 경희대학교 학위논문, 119 p	high-volume air sampler를 이용하여 PM2.5에 대한 시료를 채취함. 채취된 분진은 해당 장비에 적합한 전처리를 수행한 후 화학원소 분석을 실시함. 분석된 PM2.5의 화학성분 자료를 이용하여 PMF 모델링을 수행하여 오염원을 확인하고, 그에 대한 기여도를 추정함.
수도권 대기질 개선에 관한 연구 : 도로발생 PM10과 PM2.5 중심으로	이희철(2016), 수원대학교 학위논문, 105 p	본 연구에서는 “2차 수도권 대기환경관리 기본계획”의 PM10 및 PM2.5 저감 정책을 살펴보고, 도로에서 발생하는 이들 미세먼지를 효과적으로 저감하기 위한 정책방안을 제안 함
초미세먼지 문제 해결을 위한 연구 및 정책 방향	김용표(2017), 한국대기환경학회지, 제33권 통권3호 pp. 191-204	과학적 이해에 바탕을 둔 모델도 현재 우리가 사용하는 모델들은 미국의 대기를 잘 예측하도록 개발된 모델들이어서 우리나라 사례를 얼마나 잘 모사하는지 잘 모르고 있음. 또한 국민의 불안을 해소하기 위해서는 초미세먼지의 발생부터 사람에게 미치는 영향까지를 과학적으로 이해하고 이를 저감하는 것을 대기환경 관리의 목표로 설정하는 것이 필수적임. 이를 수행하기 위해서는 보다 효과적인 대기관리 및 소통 체계 구축이 필요함.
Variation of PM2.5 concentrations in relation to street washing activities	Karanasiou,A. 외 9인(2012) Atmospheric environment v.54, pp. 465-469	거리 세정의 효과를 조사한 발표된 연구는 PM 10 사이즈 비율에 초점을 맞추었음. 기계적 마모 프로세스에서 발생하는 입자의 PM 2.5 질량 분율이 여전히 중요할 수 있으므로 미세 입자의 재부유 완화에 대한 도로 세척의 효과를 평가하기 위한 연구를 수행함. 그 결과 교통 흐름은 PM 2.5 시간 마다 농도를 제어하는 가장 중요 요소라고 판단하였으며 도로 세척 활동은 미립자 질량 수준에 영향을 미치지 않는 것으로 나타남
Fugitive dust emissions from paved road travel in the Lake Tahoe basin.	Zhu, Dongzi 외 5인(2009), Journal of the Air & Waste Management Association v.59 no.10, pp. 1219-1229	대기 침전은 미세한 퇴적물의 주요 원천임. 타호 호수의 맑은 물은 지난 40년 동안 상당히 감소하여 이에 대한 연구를 실시함. 호수 주변의 도로 먼지 배출에 대한 일년 내 모니터링 연구는 2007년 사막 연구 기관 (DRI)에서 개발 된 도로에서 재진입된 에어로졸 방사성 물질 방출 (TRAKER) 시스템을 사용하여 완료됨.
Modelling road dust emission abatement measures using the NORTRIP model: Vehicle speed and studded tyre reduction	Norman, M. 외 6인(2016), Atmospheric environment v.134, pp. 96-108	이 논문에서는 NORTRIP 도로 먼지 방출 모델을 사용하여 오슬로와 스톡홀름에서 실시 된 실제 저감 책을 시뮬레이션 함. NORTRIP 모델은 PM10 농도에 대한 교통 측정 및 기상학의 영향을 재현 할 수 있어 공기 품질 관리 응용 프로그램에 대한 측정의 영향을 예측할 수 있는 독특하고 가치있는 도구라 판단됨
Short-term variability of mineral dust, metals and carbon emission from road dust resuspension	Amato, F. 외 6인(2013), Atmospheric environment v.74, pp. 134-140	이 연구에서 재순환의 배출 강도가 도로먼지 구성 요소 / 배출원 사이에서 광범위하게 변하는 것을 실험적으로 보여줌. 도로 먼지의 출처 배분은 대기 질 관리에 유용한 정보를 제공함

## 2.3 특허동향조사

본 기획과제에서는 『도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축 기획 연구』 과제 기획단계에 있어 해당 기술 분야에 대한 현재 기술수준, 기술개발동향등 사전 특허·기술 동향을 파악함으로써 R&D 방향성 검토하고자 특허동향조사를 실시하였다. 본 특허동향조사에서는 앞서 국내외 연구동향을 기반으로 도로 미세먼지 발생원인 분석, 측정 및 모니터링 기술(AA), 도로 미세먼지 제거를 위한 기능성 건설소재 기술(AB), 도로 건설공사 시 발생 미세먼지 집진장치 및 제거 기술(AC) 에 대한 세 가지 분야로 분류하여 특허동향분석을 실시하였다.

본 특허기술동향조사는 2017년 11월까지 출원 공개 및 등록된 한국, 미국, 일본 및 유럽의 특허를 대상으로 분석하였으며, WIPS ON 검색 DB를 주요하게 사용하여 특허검색을 실시하고, 해당기술에 대해 유럽 내 특정 국가에서 원천 및 선두 기술을 보유하고 있는 것으로 판단되는 경우, 유럽 내 해당 국가 특허청 검색을 실시하였다.

### 2.3.1 분석대상 특허 검색 DB 및 검색범위/분석 방법

#### (1) 분석대상 특허

분석대상 특허는 출원일 기준으로 분석하였으며, 일반적으로 특허출원 후 18개월이 경과된 때에 출원 관련정보를 대중에게 공개하고 있다. 따라서, 아직 미공개 상태의 데이터가 존재하는 2016년부터 출원된 특허는 그 정량적 의미가 유효하지 않으므로 정량분석은 1996년도(1997.01.01.)~2015(2015.12.31.)년도 까지로 한정하였다. 표 2.14는 검색 DB 및 검색범위를 나타낸다.

표 2.14 검색 DB 및 검색범위

자료 구분	국 가	검색 DB	검색구간	검색범위
공개·등록특허 (공개·등록일 기준)	한국(KIPO)	WIPS ON	1996.01.01.~ 2017.11.30.	공개 및 등록특허 전체문서
	미국(USPTO)	WIPS ON		
	일본(JPO)	WIPS ON		
	유럽(EPO)	WIPS ON		

## (2) 분석대상 기술 및 검색식 도출

본 특허기술동향조사 분석에서는 연구자와의 논의를 거쳐 확정된 중분류 및 소분류 기술 체계를 기준으로 정량분석 및 지표분석을 실시하였으며 표 2.15는 분석대상 기술분류를 나타낸다. 각 기술 분류별 특허검색을 위한 핵심 키워드는 연구자와의 논의를 거쳐 도출하였으며, 도출한 키워드를 조합하여 각 소분류 기술별 검색식을 작성하였다. 최종 검색식을 검색DB에 적용하여 얻은 원본데이터(Raw Data)의 건수는 표 2.16과 같다.

표 2.15 분석대상 기술 분류

대분류	중분류 및 소분류		검색개요(기술범위)
도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축 (A)	도로 미세먼지 발생 원인 분석, 측정 및 모니터링 기술 (AA)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도로변 주변환경, 교통량, 측정시간 및 위치에 따른 미세먼지 모니터링 기술 기획</li> <li>- 도로변 미세먼지 종류에 따른 발생 원인 규명</li> <li>- 미세먼지 발생 원인별 심각도 평가 및 저감 방안 마련 기획</li> </ul>
	도로 미세먼지 제거를 위한 기능성 건설소재 기술 (AB)	탄소재료기반 흡착제 활용 도로변 인프라시설 개발 (ABA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도로 미세먼지 처리를 위한 기능성 건설소재(탄소재료기반 흡착제, 광촉매 등) 기술 기획</li> <li>- 탄소재료기반 흡착제 활용한 미세먼지 처리를 위한 도로변 인프라시설 기획</li> </ul>
		광촉매 활용 기능성 도로포장 재료 및 공법 개발 (ABB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 광촉매 활용 질소산화물 흡착 및 제거를 위한 기능성 도로포장 재료 및 공법 기획</li> <li>- 탄소소재 기반 흡착제 및 광촉매 성능 고도화 및 검증 체계 기획</li> </ul>
	도로 건설공사 시 발생 미세먼지 집진장치 및 제거 기술 (AC)		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 도로 건설공사 단계별 미세먼지 집진장치 기술 기획</li> <li>- 단계별/사업장별 미세먼지 발생 최소화를 위한 미세먼지 제거 기술 기획</li> </ul>

표 2.16 기술분류체계에 따른 Raw Data 건수

중분류 및 소분류		검색 건수(Raw Data)				
		한국 (KIPO)	미국 (USPTO)	일본 (JPO)	유럽 (EPO)	계
도로 미세먼지 발생 원인 분석, 측정 및 모니터링 기술 (AA)		196	248	385	76	905
도로 미세먼지 제거를 위한 기능성 건설소재 기술 (AB)	탄소재료기반 흡착제 활용 도로변 인프라시설 개발 (ABA)	103	31	331	11	476
	광촉매 활용 기능성 도로포장 재료 및 공법 개발 (ABB)	132	29	815	12	988
도로 건설공사 시 발생 미세먼지 집진장치 및 제거 기술 (AC)		670	1099	1157	367	3293
<b>총계</b>		<b>1101</b>	<b>1407</b>	<b>2688</b>	<b>466</b>	<b>5662</b>

앞서 도출된 키워드 및 검색식을 적용하여 얻은 원본데이터(Raw Data)에서 본 특허기술동향 조사의 대상이 되는 도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축과 무관한 내용의 특허는 분석에서 제외하고 이를 기준으로 각 소분류별 국가별 유효특허를 추출하였으며 이렇게 추출된 유효데이터를 대상으로 본 조사 정량분석을 실시하였다.

본 특허기술동향조사는 특허동향분석(정량분석) 및 지재권 중심의 핵심기술분석(정성분석)으로 나누어 분석을 수행함

특허동향 분석은 특허기술 Landscape와 주요 출원인 분석, 세부기술별 Landscape로 나누어 분석하였으며, 특허기술 Landscape에서는 조사대상국인 한국(KIPO), 미국(USPTO), 일본(JPO) 및 유럽(EPO) 등 주요 국가별 기술개발 활동현황, 내·외국인 특허출원 동향, 구간별 출원인수와 출원건수의 증감정도의 분석을 통한 특허 기술 성장 단계를 분석하였다. 주요 출원인 분석에서는 상위 다출원인을 도출하여 해당 출원인의 기술 확보력, 주력 기술분야, 특허출원 밀집도 등을 분석하였으며 세부기술별 Landscape에서는 세부기술별 국가별 특허점유율 및 증가율 등을 분석하여 각 기술별 특허출원 경향 및 기술 특성, 상대적인 유망함 정도를 파악하였다.

지재권 중심의 핵심기술분석은 OS-Matrix 분석과 핵심특허 시계열 매트릭스 분석으로 나누어 분석하였으며, OS-Matrix 분석은 특허 청구항에 기재된 기술의 해결목적(Objectives)과 해결수단(Solutions)을 추출하여, 특허데이터 기준의 기술 공백영역과 집중영역을 분석하였다. 핵심특허 시계열 매트릭스 분석은 해결목적과 해결수단을 축으로만 사용하지 않고 출원년도 축을 도입하여 출원년도에 따른 해결목적과 해결수단을 한 눈에 파악할 수 있고, 특허기술을 시계열적으로 펼쳐 주요 기술별 연구개발 흐름 및 변화추이를 파악할 수 있어, 과거부터 현재까지의 특허데이터 흐름을 도대로 우리 기술의 향후 연구개발 방향 결정하는데 참고자료로서 활용될 수 있다.

### 2.3.2 특허 정량분석에 따른 주요시장국 연도별 특허동향

도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 기술을 대상으로 한국, 미국, 일본, 유럽을 기준으로 정량분석(1996년~2017년 10월) 수행하였으며, 도로변 미세먼지와 관련된 기술 분야는 도로 미세먼지 발생원인 분석, 측정 및 모니터링 기술과 기능성 건설소재를 이용한 제거 기술(탄

소재료기반 흡착제 활용, 광촉매 활용 가능성 등), 도로 건설공사 시 발생하는 미세먼지 집진 장치 및 제거 기술 등을 분류하였다. 전반적인 출원현황과 주요 출원인의 특허기술 분석 및 결과를 바탕으로 특허기술의 분석 및 대응방안 수립하였다.

주요시장국 연도별 특허동향 분석 결과, 2014년부터 급격한 특허 출원 증가하는 것으로 파악되었다. 도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축 기술의 전체 특허 동향을 살펴보면, 분석구간인 1974년부터 최근 2015년까지 증감을 반복하며 증가하는 추세를 나타냈으며 특히, 최근에 특허 출원이 급격히 증가하는 추세를 나타내었는데 이는 한국이 2014년부터 특허 출원이 급증하여 영향을 준 것으로 파악되고 있다. 미세먼지 이슈에 관심 많은 한국의 특허 출원 활발하게 일어나고 있는 것은 명백한 사실이다.

도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축 기술에 대한 국가별 특허 점유 현황을 살펴보면, 한국(KIPO) 186건(46%), 미국(USPTO) 124건(30%), 일본(JPO) 49건(12%), 유럽(EPO) 47건(12%)의 특허가 출원되었으며 본 기술은 미세먼지 이슈에 관심이 많은 한국(KIPO)이 가장 많은 특허기술을 점유하고 있는 것으로 나타났다.

미세먼지와 관련된 기술특허 동향은 미국(초기)과 한국(최근)이 주도하는 것으로 나타났으며, 1974년인 분석구간 초기와 중기에는 미국이 주도하였고, 1996년부터 한국이 특허출원을 시작하면서 최근까지 한국의 흐름이 전체 동향 흐름을 주도하고 있어 전반적으로 한국과 미국의 증감에 따라 전체 동향 또한 증감하는 추세를 나타내고 있는 것으로 파악되었다.

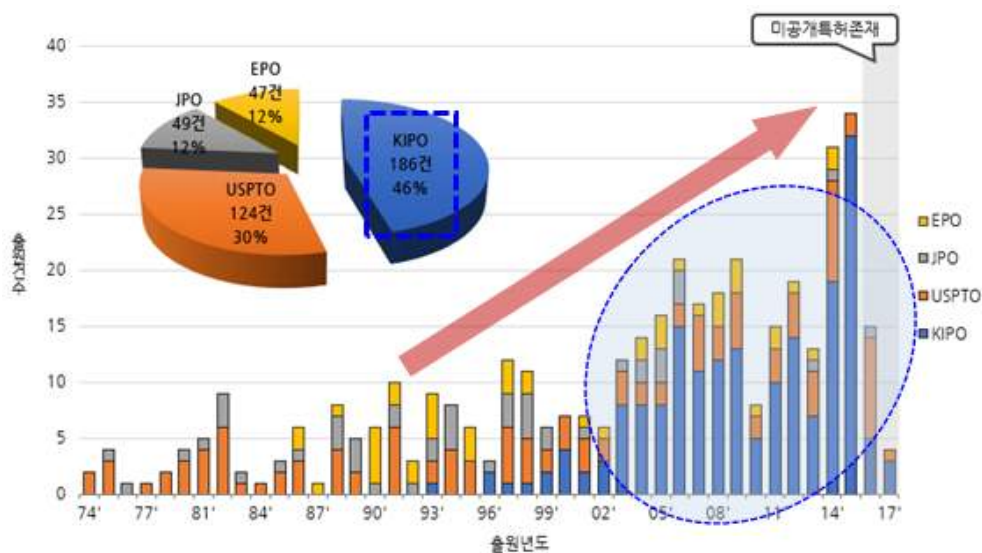


그림 2.22 주요 시장국 연도별 특허출원 동향

### 2.3.3 미세먼지 관련 기술시장 성장 단계

최근 출원인과 출원건수가 급격하게 증가하는 형태로, 본격적으로 해당 기술분야의 연구개발 활동이 이루어지고 있는 단계로 해석할 수 있으며, 3구간(2004년~2007년)에서 4구간(2008년~2011년)까지 출원인수와 출원건수가 주춤거리는 추세를 나타냈지만 전반적으로 분석 구간 초기구간인 1구간(1996년~1999년)부터 최근 구간인 5구간(2012년~2015년)까지 출원인과 출원건수가 지속적으로 증가하는 양상으로 성장기 단계의 형태가 나타나는 것을 알 수 있다. 한국과 미국은 성장기 단계에 있으며, 일본과 유럽은 쇠퇴기 단계이며, 2014년 이후 한국의 특허출원 증가에 따라 전체적인 성장단계는 성장단계로 분류할 수 있다.

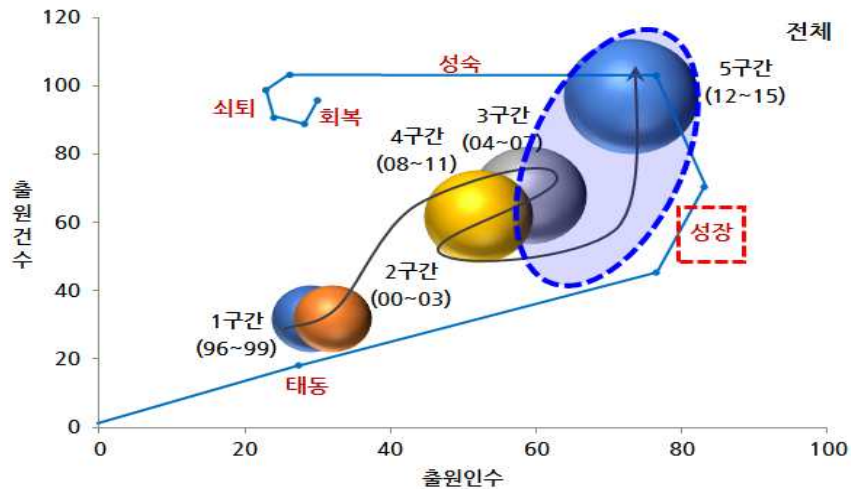


그림 2.23 특허출원 건수 기반 관련 기술성장 단계

### 2.3.4 기술별 특허동향 분석

중분류 기술별 특허동향을 분석한 결과, 발생원인 분석, 측정 및 모니터링 기술(AA)과 건설공사 집진장치 및 제거 기술(AC)의 높은 비중을 차지하는 것으로 나타났으며, 전체 세부기술 중 도로 미세먼지 발생 원인 분석, 측정 및 모니터링 기술과 관련된 특허의 비중이 가장 높은 것으로 나타났다. AA 기술 다음으로 도로 건설공사 시 발생 미세먼지 집진장치 및 제거 기술이 특허 비중이 높은 것으로 나타났다. 미세먼지 제거용 기능성 건설소재 기술(AB)와 관련된 기술은 AA 및 AC 기술에 비해 특허 출원이 저조한 것으로 분석되었다.

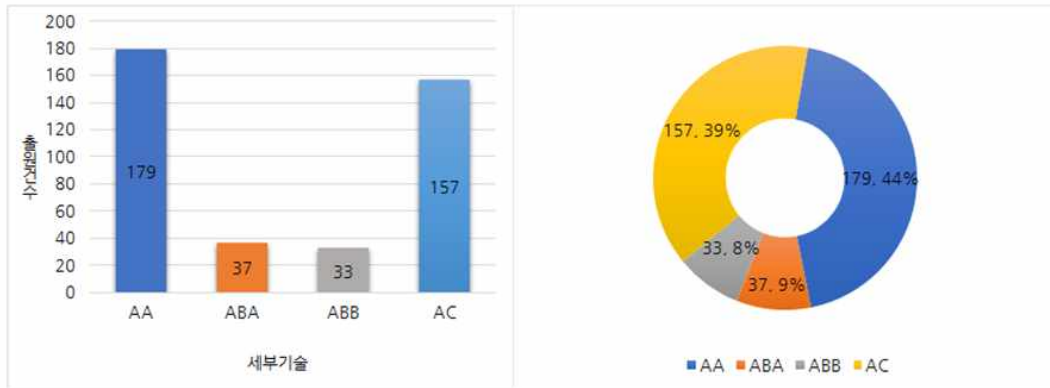


그림 2.24 중분류 기술별 특허출원 분석 결과

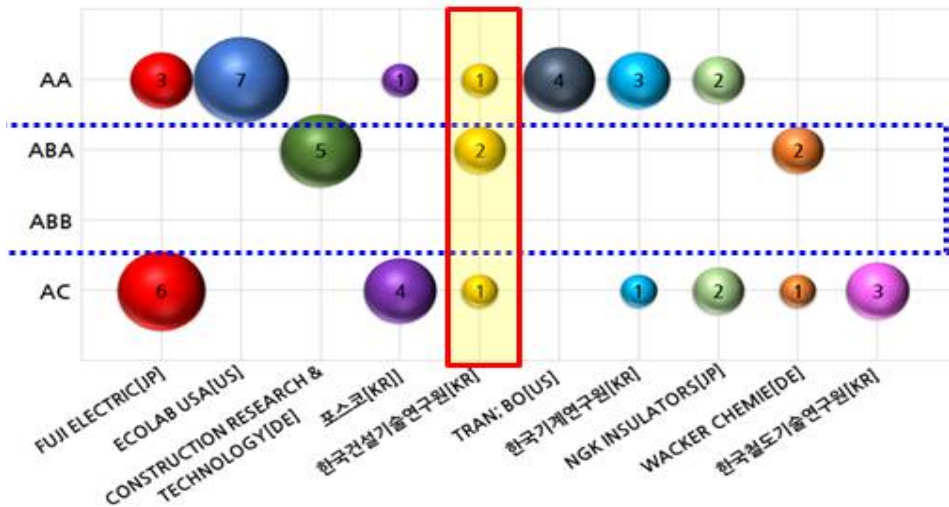


그림 2.25 세부기술별 특허출원 분석 결과

### 2.3.5 시계열 OS 매트릭스(Matrix) 기반 핵심특허 분석

기술별 특허 분석 결과를 기반으로 볼 때, 도로변 미세먼지 제거 및 감소 기술들은 도로변 미세먼지와 관련하여 발생원 및 모니터링 기술과 공사현장에서의 먼지제거 기술에 비해 상대적으로 낮은 특허출원을 가지는 것으로 본 핵심특허 분석에서는 도로변 미세먼지 제거 및 감소 기술을 중심으로 핵심특허 분석을 실시하였다. 본 기획과제에서는 핵심특허 시계열 매트릭스 분석을 도입하여 해결목적과 해결수단을 축으로만 사용하지 않고 출원년도 축을 도입하여 출원년도에 따른 해결목적과 해결수단을 한 눈에 파악할 수 있고, 특허기술을 시계열적으로 펼쳐 주요 기술별 연구개발 흐름 및 변화추이를 살펴봄으로써, 과거부터 현재까지의 특허데이터 흐

를을 토대로 우리 기술의 향후 연구개발 방향 결정하는데 참고하였다.

표 2.17은 시계열 매트릭스 기반 핵심특허 분석도로 미세먼지 제거를 위한 기능성 건설소재 기술 관련한 특허분석 결과, 1997년도부터 2016년 최근까지 꾸준히 특허가 출원되어 연구가 지속적으로 개발되고 있는 것으로 파악되었다. 도심지 미세먼지 저감을 위한 거시적 해결 과제 아래 세부목적으로 광촉매도로소재, 도로포장소재 및 먼지저감소재로 분류하였고, 각 목적 별 세부수단으로 크게 산화티탄, 미네랄, 고분자, 실리콘 및 탄화수소유체가 사용된 것으로 분석되었다. 공통수단으로 사용된 특허를 살펴보면, 산화티탄의 경우 광촉매도로소재의 해결 수단으로 집중되어 사용되었고 먼지저감소재의 해결수단으로 비산먼지 억제제의 조성물에 포함되어 또한 사용되었다. 미네랄의 경우 광촉매 산화티탄과 혼합하여 도로에 적용한 기술과 먼지저감을 위해 미네랄을 첨가한 기술이 개시되고 있었다. 고분자의 경우, 입자형 물질을 흡착할 수 있는 도로포장소재로 사용되며 철가루 또는 미세먼지와 결합할 수 있는 흡습제와 혼합된 분진저감제로 사용되는 것으로 파악되었다.

도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축기술 중 기능성 건설소재 기술에 관련된 유효특허 건수는 많지 않으며, 상기의 시계열 매트릭스 결과를 통해 최근까지 지속적으로 특허가 출원되는 동향을 통해 도로 미세먼지 제거를 위한 기능성 건설소재 기술 관련 특허는 계속 출원될 것으로 예상된다. 도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축기술의 지재권 확보전략으로 새로운 기능성 소재를 도출하거나 다양한 해결수단 방식을 활용하여 현저한 발명의 효과를 얻을 수 있는 방향으로 향후 연구를 진행하는 것이 바람직할 것으로 판단되며 또한 신규 IP 확보에 있어서도 유리한 방향이 될 것으로 분석된다.

### 2.3.6 소 결

도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축 기술의 전체 특허 동향을 살펴보면, 분석구간인 1974년부터 최근 2015년까지 증감을 반복하며 증가하는 추세를 나타내고 특히, 최근에 특허 출원이 급격히 증가하는 추세를 나타내었는데 이는 한국이 2014년부터 특허 출원이 급증하여 영향을 준 것으로 파악되었다.

도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축 기술의 주요출원국의 내·외국인 특허출원현황을 살펴보면, 한국, 미국, 일본 및 유럽 모두 내국인의 특허 출원 비중이 높은 것으로 나타났으며, 특히 한국, 미국 및 일본은 내국인의 특허 출원 비중이 매우 높은 것으로 나타났다. 특허기술을 기반으로 한 본 기술의 성장단계는 최근 출원인과 출원건수가 급격하게 증

가하는 형태로, 본격적으로 해당 기술분야의 연구개발 활동이 이루어지고 있는 단계로 해석할 수 있다.

도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축 기술(전체) 관련하여 전체 세부기술 중 도로 미세먼지 발생원인 분석, 측정 및 모니터링 기술(AA)과 관련된 특허의 비중이 가장 높은 것으로 나타났으며, AA 기술 다음으로 도로 건설공사 시 발생 미세먼지 집진장치 및 제거 기술(AC)이 특허 비중이 높은 것으로 나타났다. AB 기술인 도로 미세먼지 제거를 위한 기능성 건설소재 기술과 관련하여 AA 및 AC 기술에 비해 특허 출원이 저조한 것으로 분석되었다. 그림 2.25와 같이 미세먼지 제거를 위한 기능성 건설소재 기술(AB)은 상대적으로 특허출원 건수가 낮아 공백 기술로 판단되며 도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축 기술분야의 기술시장이 성장기에 있어 특허 공백 분야에 대해서는 신규성을 기반으로 하는 기술 선점과 특허 집중 분야에 대해서는 진보성을 기반으로 하는 차별화된 기술 개발을 위해 향후 지재권 확보 전략에 있어 연구 기획 시 주도면밀하게 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

표 2.17 시계열 매트릭스 기반 핵심특허 분석

해결목적	출원년도 해결수단	1997	1998	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2011	2013	2014	2015	2016	총합계
광촉매 도로소재	미네랄											1					1
	산화규소막							1									1
	산화티탄	1			1	2	1			1				3			9
	실리콘		1														1
도로먼지 감지	무선통신모듈															1	1
	분무기			1			1										2
	산란광														3		3
도로먼지 제거	노즐				1			1									2
	롤러										1						1
	균일화장치												1				1
	전기적 접촉					1											1
	침강실							1									1
	포집망															1	1
	필터															1	1
도로먼지 측정	농도측정기				1												1
	유효데이터												1				1
포장소재	고분자				1												1
먼지저감 소재	고분자													1			1
	미네랄															1	1
	산화티탄										1						1
	탄화수소유체														1		1
아스콘 설비집진	응축집진기						1										1
	필터								1		1						2
총합계		1	1	1	4	3	3	3	1	1	3	1	2	4	4	4	36

## 2.4 기술개발 투자의 시의성, 시급성

환경부는 미세먼지 발생원 중에서 국외영향이 30~50%(고농도시 60~80%)이고, 나머지 국내배출의 경우 수도권은 경유차가 29%, 전국적으로는 공장 등 사업장이 41%로 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 분석하였다. 대기오염물질 배출량 조사자료(CAPSS 산정자료)를 바탕으로 2024년 전망 배출량 대비 PM<sub>10</sub> 34%, PM<sub>2.5</sub> 45%, SO<sub>x</sub> 44%, NO<sub>x</sub> 55%, VOCs 56%를 삭감하는 것을 목표로 제시하였으며, 특히 NO<sub>x</sub> 10만 9,056톤, PM<sub>10</sub> 2,964톤, PM<sub>2.5</sub> 2,737톤 등은 수송 분야 대책을 통하여 달성하는 것으로 계획하였다. [39]

한편 서울시와 같은 도심지 미세먼지 농도는 도로변 미세먼지 농도가 도시대기 측정 농도에 비해 4~11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  높은 것으로 나타났으며, 이는 자동차 배출가스에 의한 영향과 도로 비산먼지에 의한 영향인 것으로 나타났다. [24] 서울시 초미세먼지 배출원별 배출량을 산정한 결과(비산먼지 비포함), 2010년 1,900톤, 2011년 1,668톤, 2012년 1,745톤, 2013년 1,845톤이 배출되었으며 이중 도로이동오염원의 배출량은 각각 54.2%, 47.2%, 44.9%, 40.0%의 비중을 차지하고 있는 것으로 나타나 서울시 초미세먼지의 주요 배출원은 도로이동오염원인 것으로 확인하였다. 또한 도시 전체의 오염도보다 자동차 운행이 밀집되거나 정체구간이 많은 지역에 평균농도보다 높은 현상을 나타내며, 도심 내에서도 자동차 운행 수준 또는 대기질에 따른 적정한 공기질 관리 기술 적용이 필요한 것으로 나타났다. [25]

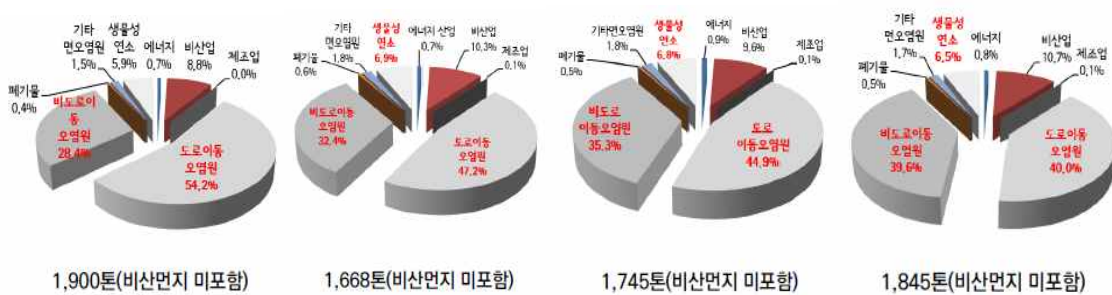


그림 2.26 서울시 초미세먼지 배출원별 배출량

정부에서는 (초)미세먼지의 발생의 원인이 되는 질소화합물(NO<sub>x</sub>) 및 PM<sub>10,2.5</sub> 제거를 위해 화물차를 비롯한 경유차에 대한 다양한 규제 및 정책을 추진하고 있으나 가시적인 개선 효과 등이 나타나지 않는 것으로 알려져 근본적인 대책이 필요한 상황하다.

최근 세계보건기구(WHO)는 경유차동차 배출 초미세먼지를 1급 발암물질로 지정하였으며, 입자가 매우 작아 인체에 흡수되어 기도, 폐, 심혈관, 뇌 등 우리 몸의 각 기관에 각종 질환을

유발하는 것으로 조사되었다. 특히 '교통량 밀집지역'과 같이 자동차에서 배출되는 대기오염물질이 집중되어 고농도 상태를 유지하는 경우에 호흡기 질환 및 천식 악화, 생체면역 감소 등을 초래할 정도로 인체에 유해한 심각한 영향을 끼치는 것으로 보도되었다. [15]

질병관리본부에 따르면, 미세먼지(PM<sub>10</sub>) 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가할 때마다 만성 폐쇄성 폐질환(COPD)으로 인한 입원율 2.7%, 사망률 1.1% 증가, 특히, 미세먼지(PM<sub>2.5</sub>) 농도가 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$  증가할 때마다 폐암 발생률 9% 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 도심지 (초)미세먼지는 자동차에서 발생하는 것으로 도심지 모든 활동은 도로와 밀접한 관계를 가지므로 근본적인 해결방안 필요하다. [33]

일반적으로 먼지와 같은 1차 오염물질은 배출원의 배출량 감소에 정비례하여 감소하므로 관리가 수월하지만 미세먼지, 이산화질소 등 2차 생성 물질들은 복잡하여 가능하면 발생지에서 집중적으로 저감시키는 것이 중요하며 효율적이다. 현재 1차 오염물질은 대부분 지자체별로 청소차(물청소)를 이용하여 자주 살포하여 오염물질은 제거하는 것으로 처리하고 있으나, 교통량이 많은 지역 등은 상시적으로 적용하기 어려우며 2차 생성물질을 제거하기에는 어려움이 있어 임시방편에 불과하다.

따라서 미세먼지 저감을 위한 기능성 소재 개발 및 이를 이용한 도로인프라 응용 기술 개발을 통한 도로이동오염원으로 인한 대기오염을 상시적/직접적으로 감소시킬 수 있는 기술 개발이 필요하다. 또한 환경산업 측면에서 기능성 소재 및 응용기술은 추후 전세계적으로 큰 부분을 차지하게 될 주요사업이며, 이러한 산업의 육성을 통한 경제 활성화와 국가 경쟁력 제고 가능할 것이다.

현재 전국적으로 도로변 대기 측정망은 37개소로 각 지자체별로 운영중에 있어 도심지 도로변 미세먼지 발생원 및 발생량 파악은 미비한 것으로 나타났다. 서울시의 경우, 도로변 대기 측정소는 8개소로 교통량이 극심한 구간에만 설치되어 운영되고 있으며 미세먼지에 대한 알림 표지판은 도심지 내 권역별 발생량을 나타내고 있어 도심지 내 가장 많은 미세먼지를 발생시키는 도로변 미세먼지 측정이 미비한 수준이다. 따라서 도심지 도로인프라(예: BIS, 통신망, 교통량 측정장치 등)를 이용하여 도로이동오염원의 배출원을 기준으로 도로 먼지지도 작성 및 대국민 중심의 서비스 운영이 필요한 시점이다.

## 제3장

---

### 연구내용 및 추진전략

#### 3.1 주요 이슈 도출

##### 3.1.1 Issue Tree 분석

내·외부 환경분석 결과 도출된 시사점을 바탕으로 이슈를 도출, 기술개발 추진을 위한 방향설정에 활용하고자 한다.

##### 가. 미세먼지 관련 수요의 증대와 시장 성장

국내외 환경관련 시장은 지속적인 성장세를 보이고 있으며, 특히 글로벌 대기오염관리시장은 2019년 까지 연평균 5.2%의 성장률을 보일 것으로 예상되고 있다. 시장은 지속적인 성장세를 보이고 있는 가운데 국내 대기관리 시장은 마이너스의 성장을 보이며 글로벌 시장과는 상반되는 움직임을 보이고 있었다. 하지만 최근 미세먼지에 대한 관심 증대, 공기청정기 등의 가전제품, 방진마스크 등 관련 제품에 대한 수요가 꾸준히 증가하는 추세를 보이고 있어 시장의 성장이 예상되고 있다. 이에 따라 미세먼지관련 시장에서 경쟁력을 확보하기 위한 방안이 필요할 것으로 보인다.

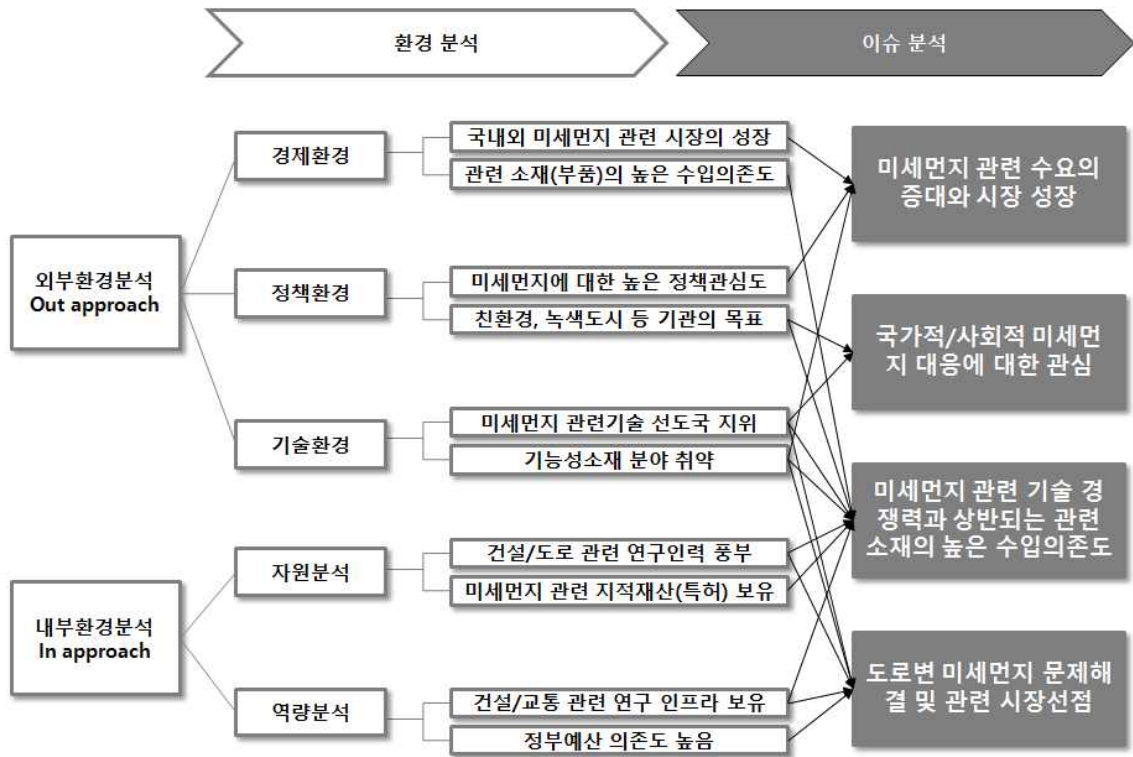


그림 3.1 Issue Tree 분석 주요 내용

#### 나. 국가적/사회적 미세먼지 대응에 대한 관심

최근 미세먼지에 대한 국가적/사회적 관심은 과거 대비 매우 높아진 상태이다. 미세먼지에 대한 관심 증대의 요인은 건강에 대한 관심 증대와, 중국발 미세먼지의 국내 유입으로 인한 대기질 저하 등이 가장 큰 요인으로 꼽히고 있다. 특히 환경부 차원에서도 미세먼지에 대한 국민들의 관심과 불안을 해소하기 위해 원인파악 및 대응방안을 강구하고 있다.

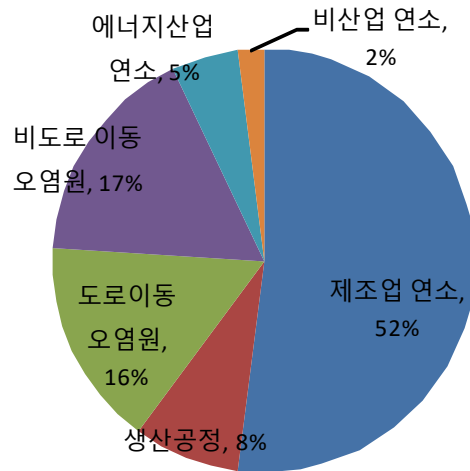


그림 3.2 미세먼지 발생원인(2012년 PM<sub>2.5</sub>)  
(출처 : 환경부, 미세먼지 도대체 뭘까?, 2016)

미세먼지의 증가는 기온의 변화, 가시거리의 장애, 건강상의 위협(특히 호흡기 질환 등) 등 다양한 문제를 유발시키기 때문에 사회적으로 관심이 커지고 있는 상황이다. 특히 봄/가을철 환절기 미세먼지 농도가 높아지는 시기에는 미세먼지에 대한 사회적인 민감도가 더욱 높아지며 사회적인 문제로 대두되고 있어, 미세먼지 문제에 대한 정부 차원의 대책에 대한 목소리도 점차 높아지고 있다. 이에 따라 정부도 “미세먼지 관리 특별대책” 등을 발표하며, 미세먼지 문제에 좀 더 적극적인 대응을 보이고 있다.

#### 다. 미세먼지 관련 기술경쟁력과 상반되는 관련소재의 높은 수입의존도

미세먼지에 대한 높아지는 관심과 시장성장에도 불구하고 국내의 미세먼지 관련 산업계의 상황은 밝지만은 않다. 한국건설기술연구원 등 국내 미세먼지 관련 출연연이 보유한 특허 및 기술을 바탕으로 본 국내 미세먼지 관련 경쟁력은 높은 수준이지만, 아직 핵심 소재에 대한 국산화가 이루어지지 않아 국내기업의 성장에 있어 위협 요인으로 작용하고 있다. 미세먼지 측정을 위한 이동식 측정기술, 미세먼지 처리/제거를 위한 도로포장관련 기술(친환경 고강성 포장시스템) 등 기술 측면에서 실용화 가능한 성과를 달성하고 있다.

하지만 활성탄소, 광촉매 등 미세먼지 저감을 위한 기능성소재 생산에 핵심이 되는 소재를 아직 수입에 의존하는 비중이 높은 상황이다. 최근 선진국을 중심으로 관심을 가지고 제품개발을 위한 연구가 추진 중인 미세먼지 관련 시장에서 핵심소재 공급의 약점을 극복하기

위해서는 기능성소재 제품화를 위한 기술개발이 필요할 것이다. 활성탄소가 포함된 수처리 및 대기환경 및 에너지 저장 제품은 중국, 미국 및 일본에서 국내 시장의 80%정도를 수입에 의존하고 있으며, 광촉매 시장 역시 수입의존도가 높은 상황이다. 활성탄소 생산에 있어 중소기업은 아직 기술적 한계를 극복하지 못하고 있는 상황이며, 대기업은 현재 시험생산 단계에 있어 시장을 선점한 중국, 미국, 일본 등과 격차를 좁히기 위한 방안이 필요하다.

#### 라. 도로변 미세먼지 문제해결 및 관련시장 선점

환경부의 미세먼지 발생원에 대한 분석에 따르면 국외영향이 30~50%로 가장 높으며, 나머지 국내배출의 경우 수도권은 경유차가 29%, 전국적으로는 공장 등 사업장이 41%로 가장 높은 비중으로 차지하고 있다. 국외영향 요인은 국제협력 및 공동 대응 등 다국적 대응전략의 모색이 필요하지만 국내 배출에 대해서는 자구책이 필요하다. 특히 수도권 인구 밀집비율이 높은 우리나라의 상황을 고려할 때 경유차(화물차, RV 등)와 배기가스, 도로변 발생먼지에 대해서는 대응이 필요하다. 원인자 측면에서 친환경자동차(전기, 수소자동차) 개발 및 운용이 점차 확대되고 있지만, 현재 상황 직면한 문제에 대한 직접적인 해결은 불가능하며, 배기가스 외의 도로변 비산먼지에 대해서는 해결책이 될 수 없기 때문에 차량 운행 간 발생하는 미세먼지 문제 해결을 위해서는 근본적인 해결방안이 필요하다.

도로변 비산 미세먼지 및 자동차 배출 미세먼지는 국내뿐 만 아니라 대부분 국가에서도 도심지역에서 발생하는 문제로 이에 대한 효율적인 대응방안 또는 기술(제품)의 경쟁력을 확보할 경우 신시장 선점이 가능할 것이다. 미국은 재비산먼지 저감을 위한 화학 먼지 억제제 살포 기술, 광촉매를 도로포장 및 구조물에 적용하여 자동차에서 배출되는 질소산화물 제거 및 셀프크리닝 기능 관련 연구 및 현장적용 수행 등 앞서나가는 행보를 보이고 있지만, 우리나라는 아직 광촉매 등을 활용한 기능성소재의 연구에 있어서도 걸음마 단계에 있다. 환경, 소재 관련 국내 기업들의 신성장 분야이며, 성장 가능성이 높은 도로변 미세먼지 저감 기술/소재 시장에 대해 정부차원의 주도적인 시장확산 전략이 필요할 것이다.

### 3.1.2 SWOT 분석

표 3.1 SWOT 분석 주요내용

	강점	약점
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 풍부한 건설/교통분야 연구인력 확보</li> <li>2. 정부출연기금의 지속적인 증액으로 신규사업 추진 동력 확보</li> <li>3. 미세먼지 R&amp;D를 위한 도로실험동, SOC 실증연구센터 등 연구인프라 확보</li> <li>4. 국외에 집중된 특허자산 보유로 글로벌 시장 진출에 유리</li> <li>5. 도로변 미세먼지 관련 세계에서 가장 많은 특허 보유(도로 건설공사 및 미세먼지 집진장치)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 예산의 정부 의존도가 높음</li> <li>2. 첨단 실험·실증 연구시설 부족</li> <li>3. 원내 환경관련 전문가가 많지 않아 관련기술 개발 어려움</li> </ol>
기회 요인	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 국내외 미세먼지 관련 시장의 지속적인 성장 전망</li> <li>2. 사회적/국가적인 미세먼지 이슈에 대한 높은 관심(9대 국가전략 프로젝트 중 하나로 미세먼지 저감 대책 선정)</li> <li>3. 최근(2014년부터) 세계적으로 도로변 미세먼지 저감 연구 및 상품개발 활발(특허출원 증가)</li> <li>4. 미세먼지의 주 요인 중 하나로 도로변 생성 미세먼지 주목</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정부의 중소기업 중심 핵심기술 개발 지원</li> <li>• 미세먼지 저감 분야 기관 특화 기술지원 서비스 제공</li> <li>• 미세먼지 저감 기능성소재 관련 인프라 확보 및 R&amp;D 지원</li> <li>• 도로변 미세먼지 관련 공공 및 민간의 수요 증대를 위한 홍보</li> </ul>
위협 요인	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 도로변 미세먼지 기능성소재를 통한 대기관리 시장 성장발판 마련</li> <li>• 산·학·연·관 협력을 통한 연구기반 구축(중소·벤처 육성 중심)</li> <li>• 미세먼지 저감 기능성소재 연구인력 확보 및 인재 양성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵심 소재(부품)의 국산화를 통한 경쟁력 확보</li> <li>• 기술이전 및 사업화를 통한 안정적인 연구재정 확보</li> <li>• 기능성소재 사업화 역량 강화를 위한 기술 및 경영관점의 지원</li> </ul>

<b>SO 전략</b>	SO1. 도로변 미세먼지 저감을 위한 기능성 신소재 개발 SO2. 기능성 소재 개발 후 빠른 시범사업 및 사업화 SO3. 글로벌 미세먼지 저감 기능성소재 시장 선점 SO4. 산업계의 수요를 고려한 기업관점의 수익모델 지원	<b>WO 전략</b>	WO1. 정부의 중소기업 중심 핵심기술 개발 지원 WO2. 미세먼지 저감 분야 국내외 전문가 및 기술 선도국과의 연계방안 구축 WO3. 도로변 미세먼지 제거를 위한 정보수집·체계화·연계·감소·제거 기술에 따른 개별목표 및 추진체계 수립 WO4. 도로변 미세먼지 관련 공공 및 민간의 수요증대를 위한 홍보
<b>ST 전략</b>	ST1. 도로변 미세먼지 기능성소재를 통한 대기관리 시장 성장발판 마련 ST2. 산·학·연·관 협력을 통한 연구기반 구축 ST3. IT/환경/건설 등 미세먼지 감축을 위한 국내 요소기술과 융복합 활용을 통한 청정도로시스템 구축 및 기술 개발	<b>WT 전략</b>	WT1. 핵심 소재(부품)의 국산화를 통한 경쟁력 확보 WT2. 시제품 및 테스트베드 구축 등 사전 검증 추진을 통한 실용성 및 상품성 확보 WT3. 기술이전 및 사업화를 통한 안정적인 연구재정 확보 WT4. 기능성소재 사업화 역량 강화를 위한 기술 및 경영관점의 지원

SWOT 분석을 통해 현재 미세먼지와 관련된 시장 및 한국건설기술연구원의 이슈를 파악, 미세먼지 문제에 대응할 수 있는 전략을 수립하였다. SWOT 분석으로 4가지 기회요인, 3가지 위협요인을 발굴하였으며, 5개의 강점과 3개의 약점을 도출하였다. 각 요인들을 고려하여 분야별로 3~4가지의 총 15개의 전략과제를 도출하여 제시하였다.

### 가. 기회요인(Opportunity)

먼저 현재 거시적 관점에서 기회요인은 다음과 같다. 첫째, 국내외 미세먼지 관련 시장은 지속적인 성장 전망을 보이고 있어 시장 측면에서 기업들의 수익 및 성장 가능성이 긍정적으로 예측되고 있다.

둘째, 사회적, 국가적인 미세먼지 이슈에 대한 높은 관심으로 미세먼지 관련 이슈는 저녁 메인뉴스에 소개될 정도로 사회적으로 높은 관심을 보이고 있으며, 정부에서도 미세먼지 문제 해결을 위한 대응전략을 발표하는 등 적극적인 자세를 보이고 있다.

셋째로, 이런 사회 및 시장의 흐름에 따라 최근 미세먼지 저감 관련 연구 및 상품 개발이 활발하게 나타나고 있다. 특히 2014년 이후 우리나라는 미세먼지 관련 특허 출원에 있어 세계 최고의 성과를 보이는 등 해당분야에서 경쟁력을 갖추고 있는 것으로 나타나고 있다.

마지막으로 미세먼지의 주요인 중 하나로 도로변 생성 미세먼지에 대한 관심이 이전보다 높아지고 있다. 과거 미세먼지는 중국에서 날아오는 나쁜 물질이라는 단순한 인식으로 인해 국내에서 발생하는 미세먼지에 대해서는 상대적으로 관심이 낮았던 반면 최근 다양한 미세먼지 발생원에 대한 연구가 활발해지면서 도로변 미세먼지에 대한 관심도 높아졌다.

이러한 국내외, 시장 및 사회적인 환경 변화를 종합해 보면 미세먼지 관련 시장은 높은 성장성을 보일 것으로 예상되고 있으며, 최근 선진국을 중심으로 관련 기술 및 제품 개발이 활발한 것으로 파악되며, 기술경쟁력 면에서 우리나라는 우위에 있어 전략적인 관점에서 시장선점에 유리한 위치에 있다고 할 수 있다.

### 나. 위협요인(Threat)

외부환경 분석에 따라 도출된 위협요인은 다음과 같다. 첫째, 국내 대기관리 시장의 마이너스 성장에 따른 시장위축 추세이다. 전체 환경관련 시장이 성장세를 보이고 있는데 반해 대기관리 시장은 마이너스 성장을 보이고 있다. 미세먼지 분야는 대기관리 시장에 포함되기 때문에 시장의 성장 가능성이나 수요 등을 고려할 때, 향후 성장 가능성이 높다고 볼 수 있다. 하지만 국내 시장의 위축으로 기업들의 경쟁력 약화 및 미세먼지 관련 신시장에 원활한 대응을 하지 못할 수도 있다.

둘째로, 도로변 미세먼지 저감을 위한 기능성 소재 등에 대한 개발이 아직 부진하다는 점이다. 도로변 미세먼지 발생원인 중 차량에서의 문제해결을 위한 전기/수소 연료 자동차 개발 및 제품화 등은 활발하게 이루어지는 반면, 도로변 비산먼지 저감을 위한 도로, 차단벽 등에 포함되는 미세먼지 흡수/여과 기능성 소재에 대해서는 아직 본격적인 기술개발 및 제품화가 이루어지고 있지 않은 상황이다.

마지막으로, 핵심 소재(부품) 시장을 미국, 일본, 중국 등이 주도하고 있으며, 우리나라는 수입의존도가 높다는 점이다. 도로변 미세먼지 문제에 대한 근본적인 해결방안은 발생하는 지역에서 정화가 가능한 환경을 구축하는 것이며, 이를 위해서는 미세먼지 흡수/분해를 촉진하는 기능성소재가 포함된 도로 건설소재에 대한 개발이 필요할 것이다. 하지만 우리나라는 아직 기능성소재의 핵심인 광촉매, 활성탄소 등에 있어 수입의존도가 높아 경쟁력 확보가 필요하다.

거시적 환경분석 결과 위협요인을 종합해 보면 국내 대기관리 시장의 마이너스 성장으로 인해 기업들의 투자 및 성장 여력이 부족할 수 있는 위험한 상황에 대한 대응이 필요하며, 기술적인 면에서도 도로변 미세먼지 저감을 위한 기능성소재 개발 및 관련 소재 경쟁력이 부족한 상황으로 경쟁력 확보가 필요한 상황이다.

#### 다. 강점요인(Strength)

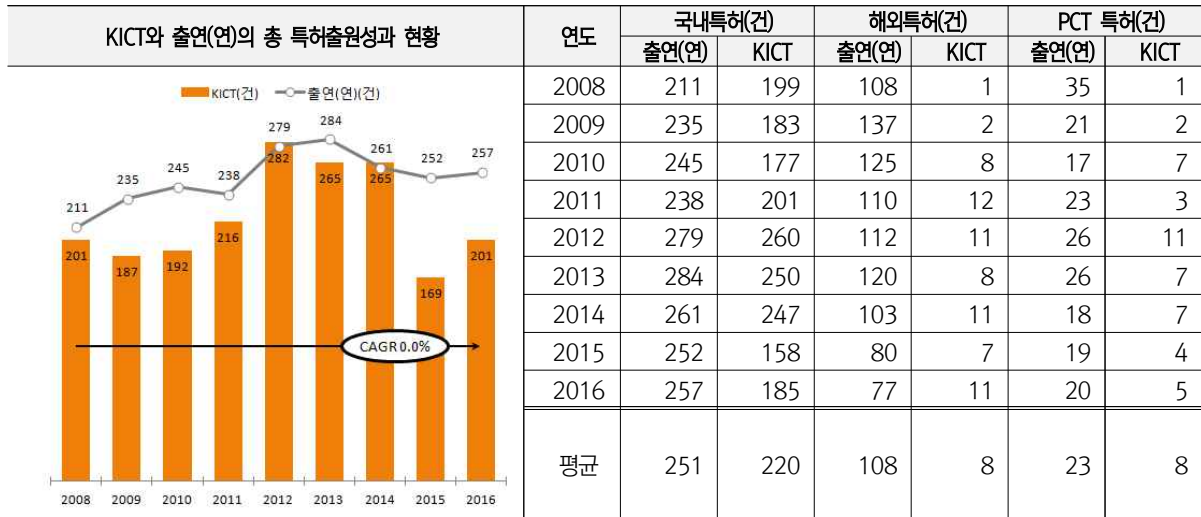
한국건설기술연구원 및 미세먼지 관련 내부역량 분석을 통해 도출된 도로변 미세먼지 분야 강점을 다음과 같다. 첫 번째 강점은 한국건설기술연구원이 보유한 건설/교통분야 연구인력이다. 한국건설기술연구원은 구성원이 대다수가 연구직으로 구성되어 있으며 전체 인력 중 박사학위 소지자가 59%(연구직 중에서는 79%)를 차지하여 건설/교통분야 연구에 있어 인적 인프라가 풍부하다.

둘째로, 정부출연기금의 지속적인 증액으로 신규사업 추진에 있어 안정적인 동력을 확보하고 있다는 점이다. 한국건설기술연구원의 예산은 연평균 5.0%씩 증가하고 있으며, 정부출연금이 차지하는 비중은 연평균 8.0%씩 증가하고 있어 예산 및 정부출연금의 안정적인 확보가 유지되고 있다. 따라서 R&D 등의 투자 활동에 있어 지속적이고 안정적으로 사업을 추진할 수 있는 동력을 보유하고 있다.

셋째로, 미세먼지 R&D를 위한 국내 최고의 연구인프라를 보유하고 있다는 점이다. 본관, 구조실험동, 도로실험동 등을 갖춘 본원과 화재안전연구센터, 하천실험센터, SOC 실증연구센터 등을 보유하고 있어, 건설교통 기술의 실험·실증 및 연구를 위한 최적의 연구환경을 제공할 수 있다.

넷째로, 국외에 집중된 특허자산 보유로 글로벌 시장 진출에 이점을 가지고 있다. 한국건설기술연구원은 2016년까지 년평균 220건의 특허를 출원하여 출원연 평균보다는 적은 특허등록 성과를 보이고 있지만 국외 일반특허와 PCT 특허출원 건수가 많아 선진국형 해외출원에 강점을 가지고 있다.

표 3.2 KICT와 출원(연)의 특허출원성과 비교(2008~2016)



(출처 : 공공데이터포털, 「국가과학기술연구회 소관 출원(연) 특허정보」(2016.12 기준))

마지막으로 도로변 미세먼지 관련 세계에서 가장 많은 특허를 보유하고 있다는 점이다. 도심지 도로변 미세먼지 저감을 위한 청정도로시스템 구축 기술에 대한 국가별 특허 점유 현황에서 한국은 186건으로 가장 많은 특허를 보유하고 있으며, 2위인 미국(124건)과도 큰 격차를 보일 정도로 지적재산권 경쟁력이 앞서고 있다. 이런 기술경쟁력을 바탕으로 유관 분야인 도로변 미세먼지 저감을 위한 기능성소재 개발에 있어서도 유리한 지적재산을 확보하고 있다.

내부역량 분석을 통한 강점요인을 정리하면 다음과 같다. 연구개발과 관련된 인적, 환경적인 인프라가 풍부하여 경쟁력이 우수하며, 이를 추진할 수 있는 안정적인 재정상황이 뒷받침 되어 주고 있다. 또한 도로변 미세먼지 저감 개발과 관련된 특허 자산이 많고, 국외에 집중되어 있어 글로벌 시장을 목표로 한 제품개발 및 시장진출에 유리한 조건을 갖추고 있다.

#### 라. 약점요인(Weakness)

내부역량 분석결과 도출된 약점요인은 총 세 가지이다. 첫째로 한국건설기술연구원 예산

의 정부의존도가 높다는 점이다. 출연연의 한계이지만 정부출연 연구자금에 대한 의존도가 높기 때문에 정부 부처의 예산상황 및 정책기조 변화에 영향을 크게 받으며, 급작스러운 정책환경 변화에 의해 연구개발의 추진이 중단될 수도 있는 약점을 가지고 있다.

둘째로, 첨단 실험·실증 연구시설이 부족하다는 점이다. 현재 활용중인 장비 및 프로그램 특성상 건축물 분야 외 수자원, 하천, 재난·재해 등 시뮬레이션이 필요한 타 분야에서의 활용이 어려워 다양한 건설분야 연구에 활용될 수 있도록 가상연구인프라는 부족한 상황이다.

마지막으로 원내 대기환경관련 전문가가 많지 않아 관련기술 개발에 어려움이 예상된다는 점이다. 도로변 미세먼지 저감을 위한 관측시스템 및 기능성 소재 등은 새로운 기술분야로 이를 전문적으로 수행하거나 해당분야 경력을 갖춘 전문인력은 현재 부족한 상황이다. 따라서 연구개발 추진에 어려움이 발생할 수 있는 약점이 있다.

내부역량 분석을 통해 도출된 약점요인을 정리하면 다음과 같다. 정부출연기금의 지속적인 증액으로 안정적 재원의 확보가 예상되지만 전체 예산에서 정부출연기금이 차지하는 비중이 높아 정부의 정책이나 부처의 예산상황 변화에 따라 재정적인 연속성이 위협받을 수 있으며, 신기술·소재 개발을 위한 실험·실증 시설과 전문가가 많지 않아 연구개발 과정에서 어려움이 발생할 수 있는 약점을 가지고 있다.

#### 마. SO 전략(Strength-Opportunity Strategy)

(도로변 미세먼지 저감을 위한 기능성 신소재 개발) 미세먼지 발생원인 중 국내에서 발생되는 문제이며, 원인자를 특정하기 어려운 도로변 미세먼지 발생 분야 문제 해결을 위해 기능성소재를 활용한 청정도로시스템 구축이 필요하다. 기능성소재를 적용한 도로, 차단벽 등의 시설 구축을 통해 도로에서 발생하는 미세먼지의 분해를 촉진시켜 해당문제에 대응이 가능하며, 미세먼지 분야 새로운 시장에 대응할 수 있을 것이다.

(기능성 소재 개발 후 빠른 시범사업 및 사업화) 도로변 미세먼지 관련 기술의 개발 후 관련 시장에 빠르게 안착하기 위해서는 실제 상품으로의 활용을 위해 빠른 제품화가 필요하다. 따라서 기술개발이 완료되는 시점에 빠른 시범적용을 추진하여 상품화를 추진하고, 효과 및 품질에 대한 검증을 통해 시장에 안착할 수 있도록 해야 할 것이다.

(글로벌 미세먼지 저감 기능성소재 시장 선점) 기능성소재의 빠른 제품화를 통해 글로벌 미세먼지 저감 기능성소재 시장을 선점해야 할 것이다. 신규시장이며 아직까지 강세를 보이는 기업 또는 국가가 없기 때문에 시장 선점을 통해 시장에서 우월적 지위를 확고히 하고, 타 국가의 시장진입을 견제할 수 있다면 향후 미세먼지 관련 시장에서 우리나라가 선도국의 지위를 유지할 수 있는 원동력이 될 것이다.

(산업계의 수요를 고려한 기업관점의 수익모델 지원) 단순히 기술의 개발 및 시범사업만을 추진하는 것이 아니라, 연구개발 및 사업화 단계에서 환경/소재 분야 중소기업들의 직접적인 참여와 수익성에 대한 검토를 병행해야 할 것이다. 기업들이 기능성소재 시장에서 안정적인 수익을 창출하면서 성장하고, 경쟁력을 키워 나갈 수 있도록 제품 생산, 시공 등의 과정에서 수익성(마진)에 대해 비즈니스적인 관점에서 같이 고민하며 수익모델을 구체화해야 할 것이다.

#### 바. ST 전략(Strength-Treat Strategy)

(도로변 미세먼지 기능성소재를 통한 대기관리 시장 성장발판 마련) 국내 대기관리 시장은 최근 위축되는 경향을 보이고 있는데 반해 글로벌 시장은 성장세가 유지되고 있다. 따라서 성장하는 글로벌 시장에 대응하며 경쟁력을 갖추기 위해서는 국내 시장의 활성화 및 성장이 필요하다. 도로변 미세먼지 관련 기능성소재 기술 및 제품을 통해 새로운 성장동력을 마련하여 국내 대기관리 시장의 침체를 극복할 수 있는 Turning Point를 마련한다.

(산·학·연·관 협력을 통한 연구기반 구축) 도로변 미세먼지 기능성소재 시장 선점을 위해서는 빠른 기술 및 제품의 개발이 필요할 것이다. 이를 위해서는 단순히 출연연 중심의 연구개발에서 벗어나 산업계와 학계 정부부처의 관심과 협력이 요구된다. 개발과정에서 전문성과 기술적 문제 대응을 위해 대학 등 전문가 집단을 활용하고, 비즈니스 관점에서 상품화를 위해 관련분야 기업들의 참여를 유도해야 하며, 정부차원의 지원사업 및 시범사업 추진을 통해 상품성과 품질을 검증하여 빠르게 시장에 안착할 수 있도록 해야 할 것이다.

(IT/환경/건설 등 미세먼지 감축을 위한 국내 요소기술과 융복합 활용을 통한 청정도로시스템 구축 및 개발) 기능성소재의 개발 및 상품화에 그치지 않고, 현재 한국건설기술연구원 등이 보유하고 있는 도로변 미세먼지 관련 기술과 기능성소재 기술을 활용, 통합 청정도로시스템을 구축하여 시장에서 경쟁력을 강화해 나간다면 글로벌 시장에서 경쟁력을 확고히 할 수 있을 것이다. 수요자 관점에서 볼 때 미세먼지 문제에 통합적으로 대응할 수 있는 패키지 형태의 서비스를 제공한다면 요소기술(또는 분야) 별 제품 대비 높은 구매유도가 가능할 것으로 예상된다. 또한 이런 통합된 서비스의 개발 과정에서 자연스럽게 대중소기업 간의 협력과 공동 개발 및 글로벌 시장 공동진출 등을 유도할 수도 있을 것이다.

#### 사. WO 전략(Weakness-Opportunity Strategy)

(정부의 중소기업 중심 핵심기술 개발 지원) 기능성소재 개발 및 사업화 과정에서 중소기업들을 중심으로 한 개발 지원을 통해 미세먼지 분야 중소기업의 먹거리 창출 및 성장을 지원

하도록 한다. 출연연 또는 대학 중심의 학술적인 기술개발이 아닌 실제 기업 관점에서 상품화 및 수익창출이 가능하도록 기술, 부품, 소재 등의 활용 등을 고려하여 기술 개발이 추진될 수 있도록 하고, 개발 과정에서도 중소기업의 적극적인 참여를 유도하여 사업화 시점에서 빠른 제품출시가 가능하도록 해야 할 것이다.

(미세먼지 저감 분야 국내외 전문가 및 기술 선도국과의 연계방안 구축) 미세먼지 저감 분야 관련 한국건설기술연구원의 부족한 인적자원 문제에 대응하기 위해 국내외 전문가와의 연계가 필요하다.

(도로변 미세먼지 제거를 위한 정보수집·체계화·연계·감소·제거 기술에 따른 개별목표 및 추진체계 수립) 도로변 미세먼지 문제에 전방위적으로 대응하고 관련 기술 개발 및 상품화를 추진하기 위해서는 체계적인 시스템 구축이 필요하다. 따라서 미세먼지 정보를 수집, 분류하기 위한 정보수집 단계에서의 기술과 미세먼지 감소·제거를 위한 기술 등이 다양한 관점에서 문제에 접근·대응할 수 있는 솔루션을 갖출 필요가 있다.

(도로변 미세먼지 관련 공공 및 민간의 수요증대를 위한 홍보) 미세먼지 관련 문제는 사회적으로 심각하게 인식하고 있음에도 불구하고 도로변 발생 미세먼지에 대해서는 아직 그 인식이 부족한 상황이다. 따라서 해당 문제에 대해 관심을 높이고 시장 수요를 창출하기 위해 도로변 발생 미세먼지 문제에 대한 인식을 제고하기 위한 홍보와 정부차원의 기술개발 상황 등을 홍보한다. 이를 통해 자연스러운 관심과 수요를 유도, 시장창출을 촉진하여 기업들의 안정적인 수익을 보장한다.

#### 아. WT 전략(Weakness-Treat Strategy)

(핵심소재의 국산화를 통한 경쟁력 확보) 탄소소재 및 광촉매 등 미세먼지 제거의 핵심인 소재를 국산화 할 필요성이 있다. 현재 해당소재는 수입 의존도가 높아 기능성소재의 개발 후에도 해외로 유출되는 생산비용이 높을 수 있다. 또한 기업들의 수익성에 문제가 발생할 수 있어 적절한 가격의 국산소재 개발을 통해 안정적인 수익구조를 보장하고, 동시에 관련 기업들의 새로운 시장을 창출 및 상생을 유도할 수 있을 것이다.

(시제품 및 테스트베드 구축 등 사전 검증 추진을 통한 실용성 및 상품성 확보) 신기술·소재 분야인 기능성소재 분야의 기술개발을 위해서는 이를 뒷받침 할 수 있는 연구인프라의 확보가 필요하지만 현재 연구인프라가 부족한 상황이다. 첨단 기술 개발을 지원할 수 있는 테스트베드의 구축을 통해 빠른 개발 및 검증이 가능하도록 지원하고, 품질과 상품성을 제고하여 경쟁력을 확보해야 해야 할 것이다.

(기술이전 및 사업화를 통한 안정적인 연구재정 확보) 도로변 미세먼지 관련 시장은 이제

성장단계에 접어들고 있어, 빠른 제품출시 및 시장선점을 통해 안정적인 수익 창출이 가능하다. 한국건설기술연구원은 기술에 대한 기술료 수익 등 안정적인 재정을 바탕으로 도로변 미세먼지 관련 분야의 고도화된 기술개발을 지속적으로 추진할 수 있을 것이며, 이를 통해 시장경쟁력 강화에 지속적으로 기여할 수 있을 것이다.

(기능성소재 사업화 역량 강화를 위한 기술 및 경영관점의 지원) 도로변 미세먼지 저감을 위한 기능성 소재의 개발에서 출발하지만, 기능성소재의 활용분야를 도로 및 차단벽 소재 등에서 다른 분야로 확장해 나아갈 수 있을 것이며, 이를 통해 도로 뿐만 아니라 건축, 농업, 생활 등 다양한 분야에 적용 가능한 상품의 개발이 가능할 것이다. 따라서 기능성 소재의 적용영역을 점차 확장해 나아가며 기업들이 경영활동 및 수익창출에 지속적인 지원을 해 나아갈 수 있을 것이다. 이러한 과정에서 기능성소재 관련 기술이 고도화 되고 기업들의 다양한 먹거리 창출 및 시장영역 확장을 유도해 나간다면, 미세먼지 저감 관련 시장에서의 경쟁력을 키워갈 수 있을 것이다.

### 3.1.3 추진방향 정립

SWOT 분석결과를 토대로 향후 도로변 미세먼지 저감을 위한 연구개발의 추진방향을 정립한다. 단순히 수요에 의한 기술개발에 머무는 것이 아니라 기업 관점에서 기술의 상품화 및 수익성을 고려하여 기술개발을 추진한다. 개발 단계에서부터 중소기업의 참여를 적극적으로 유도하여 기술개발이 완료되는 시점에 빠른 사업화 및 시장진출이 가능하도록 전략적으로 R&D 및 사업화를 진행해 나간다.

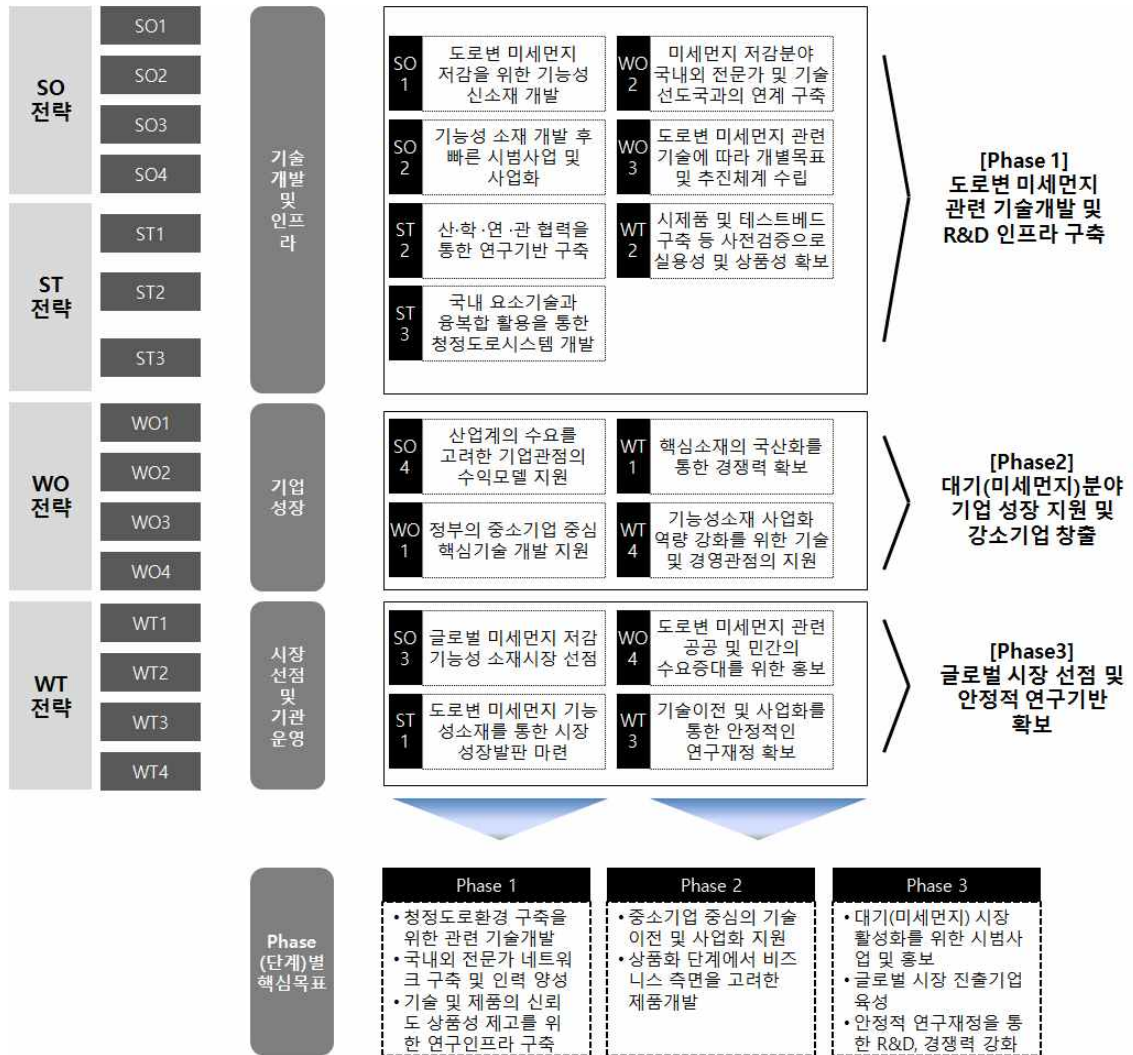


그림 3.3 추진방향 도출

### 가. [Phase 1] 도로변 미세먼지 관련 기술개발 및 인프라 구축

Phase1에서는 청정 도로환경 구축을 위한 기술개발 및 연구를 위한 인프라(인적, 자원적) 구축에 주력한다. 기술개발은 통합된 청정 도로환경 구축 서비스 솔루션이 제시 될 수 있도록 정보수집-분석-감소 및 제거 등 단계별 세부기술을 목표로 설정하고 개발을 수행한다. 이러한 단계별 세부기술 목표 설정을 통해 많은 중소기업의 참여를 유도할 수 있고, 솔루션화 된 통합 서비스의 개발 완료 시 참여기업들의 수익창출 활동에 직접적으로 참여 가능할 것이다.

표 3.3 단계별 연구목표 수립

대분류	중분류	세분류
정보수집 및 분석	도로변 미세먼지 발생원인 분석 및 모니터링 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 다양한 도로 시설물을 이용한 미세먼지 모니터링 최적화 기술 개발</li> <li>- 도로변 미세먼지 인벤토리 생성 및 기존 모니터링 시스템 연계기술 개발</li> <li>- 도로변 발생 미세먼지 심각도 평가 시스템 개발</li> </ul>
감소 및 제거	가능성 건설소재를 활용한 도로변 미세먼지 제거기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 아스팔트 도로포장용 광촉매 핵심 소재 기술 개발</li> <li>- 광촉매 적용 아스팔트 도로포장 핵심 기술 개발</li> <li>- 광촉매 아스팔트 포장 실내 공용성 평가 및 현장적용 기술 개발</li> <li>- 광촉매 아스팔트 포장 공법에 따른 현장 시험 시공 및 추적조사</li> </ul>
	도로인프라 기반 미세먼지 저감기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미세먼지 흡착 성능기반 탄소소재 핵심기술 개발</li> <li>- 도로인프라 종류별 적용 방안 마련 및 미세먼지 제거 성능 평가</li> <li>- 장기 성능 평가를 위한 시험시공 및 추적조사</li> </ul>
검증 및 환류	TEST BED 및 LIVING LAB 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 모니터링 시스템, 광촉매 아스팔트 포장공법, 도로인프라 탄소기반 흡착제 성능 평가 등</li> </ul>

연구개발 단계에서 중소기업의 참여 유도과 함께 대학 및 민간 전문가 네트워크 구축을 통해 원활한 연구개발이 이루어질 수 있도록 인적, 기술적 인프라를 조성한다.

#### 나. [Phase2] 대기(미세먼지) 분야 기업성장 지원 및 강소기업 창출

기술개발 및 시범적용 단계 이후인 Phase2에서는 중소기업을 중심으로 한 핵심 기술 및 소재의 사업화 및 수익모델을 본격적으로 강구한다. 해당 단계에서 대기분야 기술사업화 전문가 및 대기업 등의 참여를 유도하여 사업화(상품화) 및 수익성에 대해 전문적인 컨설팅을 지원하고, 시장수요를 고려한 진출전략을 모색한다. 또한 필요한 경우 청정 도로환경 관리 시스템의 통합된 솔루션을 서비스 할 수 있는 컨소시엄 형태의 비즈니스 모델 등에 대해서도 고려하여 상생·성장 할 수 있는 방안에 대해서도 모색한다. 이런 과정을 통해 국내 및 글로벌 시장에서 핵심적인 시장선도 역할을 수행할 역량있는 시장 선도기업(강소기업)을 자연스럽게 육성할 수 있게 될 것이다.

#### 다. [Phase3] 글로벌 시장 선점 및 안정적인 연구기반 확보

국내에서의 시범적용 등의 검증 절차와 상품화가 완료된 마지막 Phase3에서는 해당 제품(서비스)를 기반으로 한 글로벌 시장 선점을 추진한다. 국내에서 시범적용 및 공공부문 사업을 통해 쌓은 기술력과 레퍼런스를 바탕으로 해외시장 선점을 위한 본격적인 활동을 시작한다. 강소기업을 중심으로 아직 기술개발이 늦고 시장선점 가능성이 높은 동남아시아 등의 지역을 우선 타깃으로 하며, 필요한 경우 KOTRA 또는 현지 전문가 파견 등 구체적이고 실용성 있는 지원을 통해 실제 비즈니스가 성사될 수 있도록 지원한다.

글로벌 시장 진출이 추진되는 단계에서는 기업들의 안정적인 수익 기반이 마련되고 기술료 등의 수익도 기대 가능한 시점일 것이다. 한국건설기술연구원 등 출연연은 기술료 수익을 바탕으로 도로변 미세먼지 분야 연구개발을 지속적으로 추진하여 기술/상품 경쟁력 제고에 기여하며 글로벌 시장 확대 및 기술경쟁력 우위를 유지할 수 있도록 지원한다.

### 3.2 비전 및 전략목표

내·외부 환경, 시장, 기술 동향 등 다양한 분석 결과 및 시사점을 바탕으로 주요 이슈별 사업 추진 방향을 선정하였다. 그림 3.4는 도로변 미세먼지 제거 관련 주요 이슈와 이에 따른 사업추진 방향을 나타내며, 도로변 미세먼지 제거를 위한 청정도로시스템 구축을 위해 모니터링 측정 기술 선점, 선진국과의 기술격차 해소를 위한 Fast-Follow 전략 도입, 미세먼지 제거 핵심 소재 및 신재료 개발, 이를 이용한 도로인프라 응용 건설기술 개발 필요할 것으로 나타났다. 이러한 다양한 이슈에 따른 기술을 통하여 도로변 미세먼지 제거를 위한 정보수집·체계화·연계·제거·통합관리시스템 기술 개발, 도로 공사단계별 비산먼지 감소 프로세스 및 매뉴얼 개발이 시급한 것으로 나타났다. 따라서 사업의 추진 방향은 도로변 미세먼지 관리기술, 기능성 핵심소재 기술 개발, 건설공사 비산먼지 관리 및 제거 기술, 핵심소재/공법/응용 기술 검증 및 통합관리 시스템 구축 등을 주요 사업 방향으로 선정하였다.



그림 3.4 도로변 미세먼지 관련 주요 이슈 및 사업추진 방향

SWOT 분석 결과(내·외부 환경변화, 기술, 시장 등)와 그림 3.4와 같이 도로변 미세먼지 주요 이슈에서 도출된 사업추진 방향 등을 고려하여 본 기획과제의 최종 비전 및 전략 목표를 선정하였다. 우선, 4가지의 기본방향을 도출하였으며, 각 기본방향 별 세부연구목표를 그림 3.5와 같이 도출하였다.

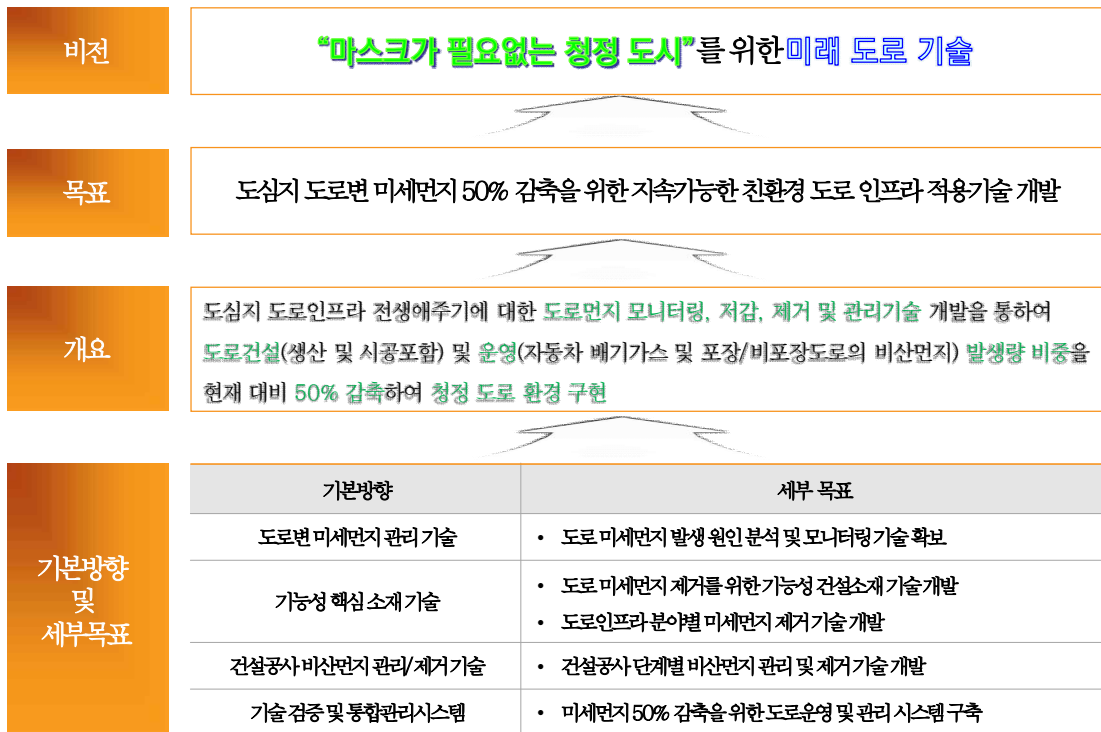


그림 3.5 도심지 도로변 미세먼지 제거 청정도로시스템 구축 비전 및 전략 목표

### 3.3 주요 연구 내용

#### 3.3.1 주요 기술별 연구목표 및 세부연구내용

본 기획연구에서는 SWOT 분석 및 주요 사업방향을 통해 도출된 기본방향을 기반으로 각 유형별 주요 연구 내용을 도출하였다. 먼저 도심지 도로변 미세먼지 모니터링 및 운영·관리 시스템 구축을 통하여 도로변 미세먼지 모니터링 및 조건별 발생량 분석 방법을 개발하고 도로시설물을 활용한 모니터링 시스템을 구축하고자 한다. 또한 도로 미세먼지 운영·관리 시스템 및 제도 개발 방안을 마련하여 도로변 미세먼지 모니터링 최적화 기술 및 관리 기준(안)을 마련하고자 한다. 또한 모니터링 및 발생량을 기반으로 도로변에서 발생하는 미세먼지 제거 기술을 개발하고자 한다. 특히 질소산화물과 같이 2차 발생 (초)미세먼지를 제거하기 위한 기능성 건설소재를 선정하고 이를 활용한 기능성 도로포장 공법 및 현장 적용 기술을 개발하고자 한다.

도로변 미세먼지를 제거하기 위해 기능성 소재를 이용하여 도로 포장에 직접적으로 적용하는 것이 미세먼지를 제거하는데 가장 효과적인 방법이지만 이외 도로시설물 즉, 교량, 중앙분리대, 인도, 방음벽 등을 이용하여 미세먼지를 제거하는 기술 역시 필요할 것으로 판단하여 도로시설물 기반 미세먼지 제거 및 저감 기술을 개발하고자 한다. 이러한 도로시설물을 이용한 미세먼지 제거 방법은 기능성 소재보다는 비산되는 미세먼지를 흡착하는 방식을 개발하고자 한다. 이를 위해 탄소소재 기반의 흡착 기술을 개발하고 다양한 도로시설물에 적용하는 응용기술을 개발하고자 한다. 마지막으로 도로포장 공사장 또는 공사 구간에서 발생될 수 있는 비산먼지 제거 기술을 개발하고자 하며 이를 단계별, 즉 생산부터 시공까지의 단계별 미세먼지 저감 기술을 개발하고자 한다. 특히, 미스트 분사 장치와 같이 먼지 비산을 초기에 방지할 수 있는 기술과 비산먼지 흡입 장치를 통하여 공사구간에서 직접적으로 발생량을 줄이는 기술 개발을 추진하고자 한다. 그림 3.6은 도심지 도로변 미세먼지 모니터링 및 제거 기술에 대한 조감도를 나타내며, 표 3.4~3.7은 본 기획연구에서 도출한 각 기술별 세부과제에 대한 과제명, 과제목표, 주요세부내용, 주요성과, 활용방안 등을 나타낸다.

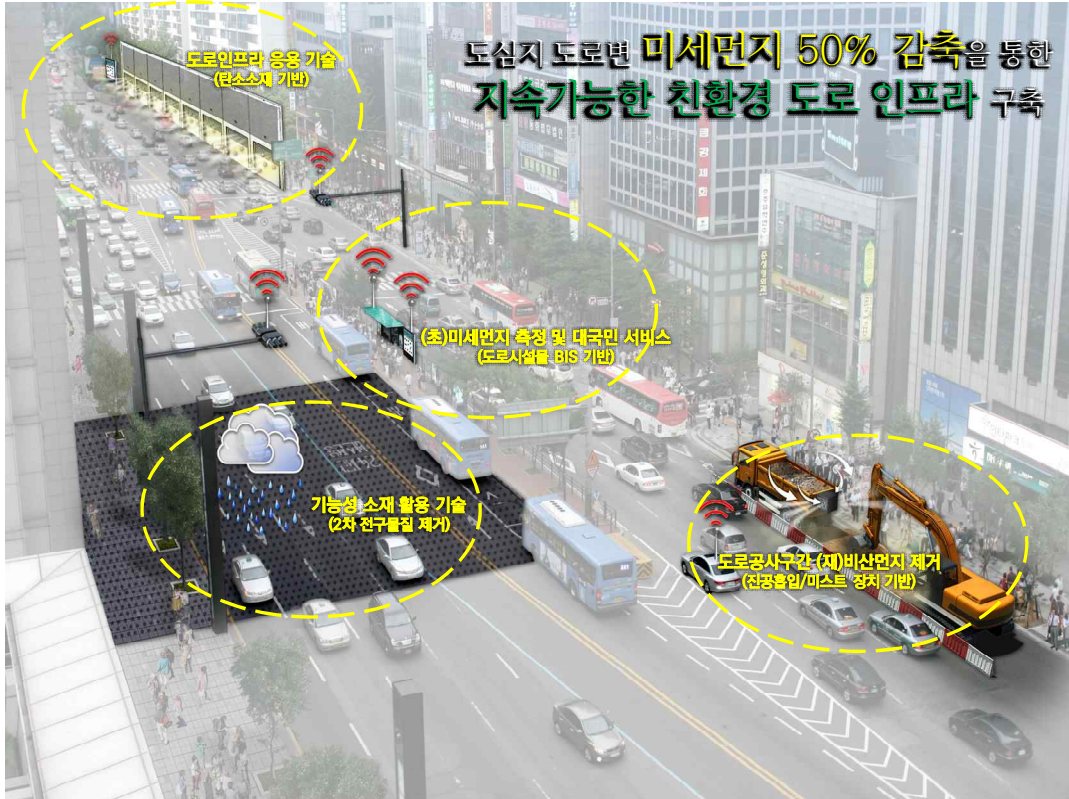


그림 3.6 도심지 도로변 미세먼지 제거 시스템 예상도

표 3.4 1세부 연구목표 및 주요내용(모니터링 및 운영·관리시스템 구축)

세부과제명	도심지 도로변 미세먼지 모니터링 및 운영·관리 시스템 구축
과제목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도심지 도로변 미세먼지 모니터링 및 조건별 발생량 분석</li> <li>■ 도시시설물 활용 미세먼지 모니터링 시스템 구축</li> <li>■ 도로 미세먼지 운영/관리 시스템 및 제도 개발 방안</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도로변 미세먼지 발생원인 및 종류 분석</li> <li>■ 도로 종류 및 교통량, 속도, 측정시간 및 위치 등 다양한 변수에 따른 미세먼지 발생량 분석</li> <li>■ 도로변에서 발생하는 미세먼지의 심각도 평가</li> <li>■ 다양한 도시시설물을 이용한 미세먼지 모니터링 최적화 기술 개발</li> <li>■ 도로변 미세먼지 인벤토리 생성 및 기존 모니터링 시스템 연계 기술 개발(BIS, 도시시설물, 통신망 등)</li> <li>■ 도로 비산먼지도 구축 및 활용 기술 개발</li> <li>■ 실규모 실증(Living Lab / TB)을 통한 도로 미세먼지 검증체계</li> <li>■ 지자체(서울시 등) 시범사업을 통한 개발 기술 검증</li> <li>■ 타 부처와의 유사시스템 연계 및 제도 개선 방안(규제 법/제도 마련)</li> </ul>
주요성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도로변 미세먼지 모니터링 최적화 기술</li> <li>■ 도로변 미세먼지 관리 기준(안)</li> </ul>
활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 다양한 조건별 도로 미세먼지 모니터링 분석결과를 기반으로 최적의 미세먼지 저감 방안 마련</li> <li>■ 도로변 미세먼지 인벤토리를 활용한 대국민 서비스 방안 마련</li> </ul>

표 3.5 2세부 연구목표 및 주요내용(기능성 건설소재 기반 미세먼지 제거 기술 개발)

세부과제명	기능성 건설소재 활용 도로변 미세먼지 제거 기술 개발
과제목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 질소산화물 흡착 및 제거를 위한 기능성 도로포장 재료 개발</li> <li>■ 기능성 도로포장 공법 및 현장 적용 기술 개발</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 미세먼지 흡착/배수가 가능한 기능성 도로포장 재료·공법 개발</li> <li>■ 미세먼지 흡착/배수 기반 (칼라)배수성 도로포장 핵심기술 개발</li> <li>■ 기능성 아스팔트 혼합물 배합설계 및 품질기준 정립</li> <li>■ 미세먼지 제거성능 및 도로포장 공용성능 평가</li> <li>■ 도로 비산먼지 발생억제를 위한 표면처리 기술 개발</li> <li>■ 도로노면과 타이어 마찰에 의한 분진 저감을 위한 표면처리 기술</li> <li>■ 도로 비산먼지의 재비산 억제를 위한 표면처리 기술</li> <li>■ 실대형 시험을 통한 장기공용성능 평가</li> <li>■ 개발기술의 시공 및 유지관리 기술 개발</li> <li>■ 실용화를 위한 현장적용 및 미세먼지 제거효과 검증</li> </ul>
주요성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 미세먼지 흡착/배수 기능성 아스팔트 포장 공법</li> <li>■ 비산먼지 발생억제 도로표면처리 공법</li> <li>■ 기능성 도로포장 공법 시방기준(안)</li> </ul>
활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 신설 도로포장 공사 및 덧씌우기 포장 공사에 기능성 도로포장 시공을 통한 도로 미세먼지 저감</li> <li>■ 기존 도로포장면에 비산먼지 발생억제 표면처리 공법 적용을 통한 도로 미세먼지 저감</li> </ul>

표 3.6 3세부 연구목표 및 주요내용(도로시설물 응용 기술)

세부과제명	도로시설물 기반 미세먼지 저감 및 제거 기술 개발
과제목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 탄소소재 기반 미세먼지 제거를 위한 흡착제 핵심기술 및 적용기술 개발</li> <li>■ 현장적용을 통한 성능 평가 및 유지관리 방안 정립</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 적용 가능한 도로인프라(방음벽, 중앙분리대, 가드레일 등) 선정 및 가능성 검토</li> <li>■ 미세먼지 흡착 성능 기반 탄소소재 요소기술 개발</li> <li>■ 도로인프라 종류별 적용방안 마련 및 탄소소재의 형태학적 변형 아이디어 도출</li> <li>■ 도로인프라 적용에 따른 미세먼지 제거 성능 평가</li> <li>■ 장기성능 평가를 위한 시험시공 및 추적조사</li> </ul>
주요성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 탄소소재 기반 미세먼지 제거용 흡착제</li> <li>■ 탄소소재 기반 흡착제의 도로시설물 적용 기술</li> <li>■ 미세먼지 저감 도로시설물 적용기술 시방기준 기준(안)</li> </ul>
활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 개발기술의 도로인프라(방음벽, 중앙분리대, 가드레일 등) 적용을 통한 미세먼지 취약지역(스쿨존, 버스정류장 등) 미세먼지 저감</li> <li>■ 개발기술의 적용범위 확대(터널 내부, 지하차도, 지하철 등)를 통한 기술 활성화</li> </ul>

표 3.7 4세부 연구목표 및 주요내용(건설공사 단계별 미세먼지 저감 기술)

세부과제명	도로 건설공사 단계별 맞춤형 미세먼지 저감 기술
과제목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도로 건설공사 단계별 미세먼지 발생량 모니터링을 통한 기술개발 방향 정립</li> <li>■ 플랜트/공사장 비산먼지 저감기술 개발 및 현장적용을 통한 효과 분석</li> <li>■ 도로 건설공사 비산먼지 감축 제도 마련</li> </ul>
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 고정오염원(자재 생산 플랜트) 및 도로 건설공사 발생 미세먼지 발생원 및 현황 분석</li> <li>■ 도로포장 공법별 재료 생산 및 시공시 발생하는 미세먼지 측정을 통한 저감방안 마련</li> <li>■ 건설공사장 미세먼지 저감용 미스트 분사장치 개발</li> <li>■ 미스트 분사용 노즐, 사용재료, 장비크기 등 미스트 분사장치 최적화 기술 개발</li> <li>■ 도로포장 파쇄용 건설장비 적용을 위한 먼지 흡입장치 개발</li> <li>■ 먼지 흡입장치의 효율 극대화를 위한 최적 설치위치 및 운영방안 정립</li> <li>■ 미스트 분사장치/먼지 흡입장치를 이용한 미세먼지 저감효과 평가 운영시스템 개발</li> <li>■ 건설공사장 및 먼지발생 사업장에 대한 미세먼지 저감 법/제도화 방안 마련</li> </ul>
주요성과	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 공사장 미스트 분사장치 및 최적화 기술</li> <li>■ 건설장비 비산먼지 흡입장치 및 최적화 기술</li> <li>■ 건설공사 단계별 미세먼지 저감을 위한 제도(안)</li> </ul>
활용방안	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 건설공사 단계별/사업장별 미세먼지 발생 최소화를 위한 최적화 기술 적용을 통해 도심지 공사로 인한 미세먼지 저감</li> </ul>

### 3.3.2 주요 성과지표

본 기획연구에서 도출된 도심지 도로변 미세먼지를 제거하기 위한 각 기술별 성과목표 및 지표는 표 3.8과 같으며, 공법·장치·정책·제도 등 총 4가지로 분류하여 성과지표를 마련하였다. 미세먼지 측정 및 모니터링, 공사장 미스트 분사 및 흡입과 관련된 기술은 장치 개발을 주요 성과지표를 마련하였으며, 이에 따른 최적화 기술 개발도 포함하였다. 기능성 소재 및 도로시설물 적용 기술은 공법 및 기법을 개발하고 이에 따른 표준화를 위해 지침·제도 개발을 주요 성과지표로 선정하였다.

표 3.8 각 기술별(세부별) 성과물 내용 및 성과지표 선정

성과물	성과물 내용	성과물 유형	성과지표
<b>세부과제 I : 도로변 미세먼지 모니터링 및 발생 원인 분석</b>			
도로변 미세먼지 모니터링 최적화 기술	다양한 도로시설물을 이용한 미세먼지 모니터링 최적화 기술	장치·장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로변 미세먼지 측정장치 시제품</li> <li>도로변 미세먼지 모니터링 시스템(안)</li> </ul>
도로변 미세먼지 관리 기준(안)	도로변 미세먼지를 적정 수준 이하로 유지·관리하기 위한 국가 기준(안)을 제시	정책·제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로변 미세먼지 관리기준(안)</li> </ul>
<b>세부과제 II : 기능성 건설소재 활용 도로변 미세먼지 제거 기술 개발</b>			
미세먼지 흡착/제거 기능성 아스팔트 포장 공법	미세먼지 흡착/제거 기능성 아스팔트 포장 재료 시제품 및 공법	공법·기법	<ul style="list-style-type: none"> <li>NO 제거 : 0.5 umol/50<math>\mu</math>m<sup>2</sup>·5h 이상(ISO 22197-1시험법)</li> <li>소요 자재 물성(KS 등) 만족</li> <li>특허, 시제품</li> </ul>
비산먼지 발생억제 도로표면처리 공법	비산먼지 발생억제 도로표면처리 재료 시제품 및 시공방법	공법·기법	<ul style="list-style-type: none"> <li>NO 제거 : 0.5 umol/50<math>\mu</math>m<sup>2</sup>·5h 이상(ISO 22197-1시험법)</li> <li>소요 자재 물성(KS 등) 만족</li> <li>특허, 시제품</li> </ul>
기능성 도로포장공법 시방기준(안)	미세먼지 저감을 위한 기능성 도로포장공법의 시공 품질관리 시방 기준 개발	정책·제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>기능성 도로포장공법 시공 품질관리 시방서(안)</li> </ul>
<b>세부과제 III : 도로시설물 기반 미세먼지 저감 및 제거 기술 개발</b>			
탄소소재 기반 미세먼지 제거용 흡착제	도로인프라 적용을 위한 탄소소재 기반 미세먼지 제거용 흡착제 개발 및 평가	공법·기법	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지 제거효율 80%</li> <li>특허, 시제품</li> </ul>
탄소소재 기반 흡착제의 도로시설물 적용 기술	미세먼지 제거용 탄소소재 기반 흡착제의 도로인프라 적용 기술 개발 및 효과 평가	공법·기법	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지 제거효율 80%</li> <li>특허, 시제품</li> </ul>
미세먼지 저감 도로시설물 적용기술 시방기준 기준(안)	미세먼지 저감을 위한 도로인프라 적용기술의 시공 및 유지관리를 위한 시방기준 개발	정책·제도	<ul style="list-style-type: none"> <li>미세먼지 저감 도로시설물 적용기술 품질관리 시방서(안)</li> </ul>
<b>세부과제 IV : 도로 건설공사 단계별 맞춤형 미세먼지 저감 기술</b>			
공사장 미스트 분사장치 최적화 기술	공사장 비산먼지 저감을 위한 미스트 분사장치 개발 및 운영 기법	장치·장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>공사장 비산먼지 발생량 50% 저감</li> <li>특허, 시제품</li> </ul>
건설장비 비산먼지 흡입장치 최적화 기술	공사장 비산먼지 저감을 위한 먼지 흡입장치 개발 및 운영 기법	장치·장비	<ul style="list-style-type: none"> <li>포장도로 파쇄시 비산먼지 발생량 80% 저감</li> <li>특허, 시제품</li> </ul>

### 3.4 핵심기술의 창의성, 도전성 및 우수성

본 기획연구를 통하여 연구개발 기술들은 일반 도로, 즉 도심지에서 사람들과 가장 밀접한 관계를 가지는 도로를 대상으로 미세먼지 발생 및 측정 기술을 개발하고 이에 따른 제거 기술을 적시적소(適時適所)에 적용할 수 있는 장점을 가진다. 본 과제를 통해 개발될 기술들은 도로먼지에 취약한 구간 또는 지점에서의 대기 질 정보 수집·체계화·연계·감소·제거 기술을 패키지화시킬 수 있어 기존 연구와 현저히 차별화 된다.

또한 기존 기술은 대부분 대기 질 환경과 관련된 연구에 집중되어 있다면 본 기획 연구는 도로먼지 즉, 도로변에서 발생하는 미세먼지를 대상으로 하기 때문에 차별화가 크며 기존 연구에서는 도로 또는 도로변을 대상으로 연구가 진행된 사례가 전무한 실정이다. 특히, 먼지의 발생원, 관리, 도로포장공법을 통한 먼지 발생 완화 등은 전무한 실정인 것으로 파악되고 있다. 본 기술개발을 기반으로 기존에 적용되고 있는 미세먼지 경보, 예보 등 다양한 정보전달 시스템과 연계하여 도로 먼지지도 제작(실측 측정 자료 적용, 기존 먼지지도는 배출계수에 따라 교통량으로 예측 자료 적용)할 수 있으며, 기존 인벤토리 구축 시스템과 연계가 가능할 것으로 판단된다. 그림 3.7은 현재 미세먼지 측정 또는 제거 기술과 본 기획과제를 통하여 개발되는 핵심기술들과의 차별성을 나타낸다.



그림 3.7 미세먼지 감축 기술의 차별성(As-Is vs. To-Be)

## 3.5 연구 추진전략 및 추진체계

### 3.5.1 연구추진 전략

본 기획연구는 도심지 도로변 미세먼지 제거 청정도로시스템 구축을 위하여 미세먼지 발생 모니터링 및 원인분석이 가능한 기관(환경공단, 환경부 등) 및 관련 공공기관, 산업체, 학교 및 학회 등을 중심으로 한 협의체 구성을 추진(관/산/학/연)하였다. 또한 원내에서 도로연구소 뿐만 아니라 ICT융합연구소, 지반연구소, 구조융합연구소, 환경플랜트연구소 등 각 연구소의 강점인 도로인프라·도로통합관리·기능성 소재·환경 분야 융복합 연구를 기반으로 미세먼지 관련 정부부처, 공공기관, 기업체 등과의 협업을 통한 도심지 도로변 미세먼지 통합 대응시스템 개발을 추진하고자 하였다. 다양한 기술 개발에 대한 시장 또는 현장 적용을 위하여 각 지자체별 도심지 미세먼지 저감 정책을 반영한 검증 체계 구축을 위한 다양한 협의를 진행하였다. 본 연구에서는 당해 연도에는 기획연구단계로서 TRM 기반 연구 목표를 설정하고 도로변에서 발생하는 미세먼지에 대한 문제해결 방안 수립을 추진하였다. 1차년도에서는 기초연구 및 진단단계로서 도로변 미세먼지 발생원인을 분석하고 심각도 평가 체계를 구축하는 단계로서 미세먼지 발생원에 따른 제거 및 감축 시나리오를 구축하고 모니터링을 통한 수집된 자료를 바탕으로 미세먼지 제거 방법론을 구축하는 단계로 결정하였다. 2차년도부터 4차년도까지는 도로변 미세먼지 제거를 위한 핵심기술 개발 단계로 앞서 언급한 기술을 개발하는 단계이며, 마지막 5차년도에서는 실용화 단계로서 실규모 실증을 위한 지자체 시범사업 및 현장적용을 통한 개발 기술 검증 단계이다. 이를 통하여 기존 시스템과의 연계 방안 및 각 기술별 시방서 및 지침, 제도 개선을 하는 단계로 구분하였다.

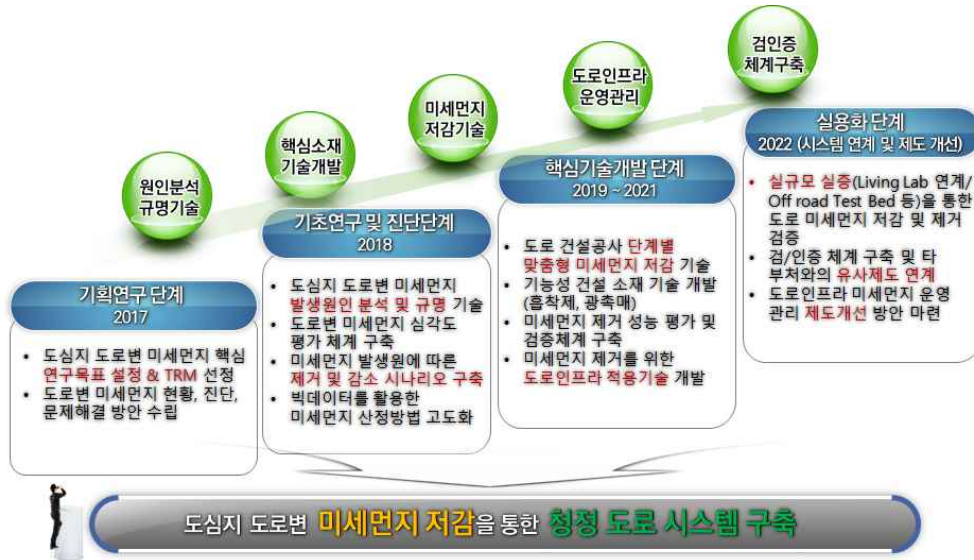


그림 3.8 연구추진 체계 및 추진 전략

### 3.5.2 소요연구비 및 인력투입계획

본 기획단계 이후 본 연구사업을 추진하기 위하여 총 150억(인건비 포함)의 연구비를 소요할 예정이며 2세부 및 3세부의 예산이 1세부 및 4세부에 비해 약 1.5배 높은 비율로 결정하였는데 이는 도로변에서 발생하는 미세먼지를 직접적으로 제거할 수 있는 핵심기술을 개발하고 이를 현장에 적용하는 단계까지 고려하여 결정한 결과이다. 또한 본 연구과제를 추진하기 위하여 수석연구원 기준 총 87명의 연구진으로 구성하였으며, 2세부와 3세부의 인력이 소요예산과 유사하게 약 1.5배 증가된 비율로 결정하였다. 그림 3.9는 본 연구를 진행하기 위한 총 소요연구비와 예상 투입인력을 나타낸다.

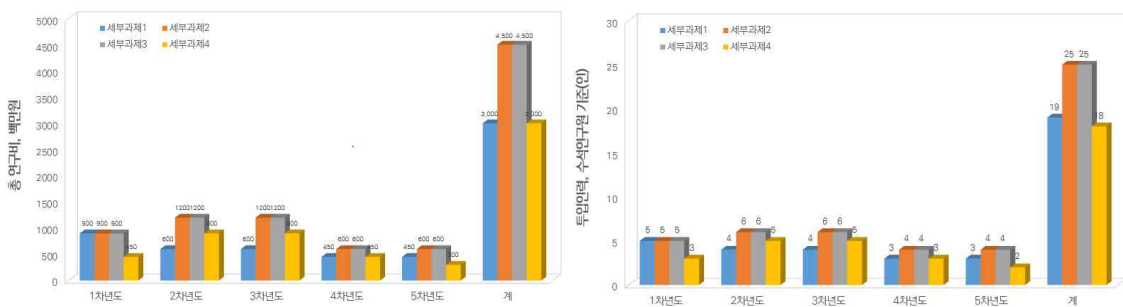


그림 3.9 총 소요연구비 및 예상투입인력

## 제4장

# 예상성과 및 기대효과

### 4.1 주요 예상성과의 기대 및 파급효과의 우수성

#### 4.1.1 시장동향 및 규모

##### 가. 시장동향 및 규모

국내 대기시장 규모는 지속적으로 성장하여 2020년에는 3조 7000억 원으로 전망되며 대기관리 분야의 매출액은 2013년 60,681억 원에서 2014년 61,811억 원 규모로 전년대비 1.9% 증가하였다. 대기오염 통제 기기제조 부문 67%, 대기오염 통제 관련 서비스 10.9% 등의 순으로 조사(환경부)되었으며, 특히 대기오염 통제 관련 서비스 부문은 2014년 기준 전년대비 630%로 대폭 증가하는 것으로 나타났다. [38]

또한 해외 대기환경산업은 경제성장을 요구하는 개발도상국의 관련시설 건설과 깨끗한 공기 속에서 살기 원하는 세계적인 규제 움직임 속에서 지속적으로 성장 중에 있으며, 세계 환경산업 규모는 2013년 기준 9,240억 달러에 달하며, 그 중 대기분야는 528억 달러로 전체의 5.7%를 차지하는 것으로 나타났다. 대기분야 시장은 2004년부터 2014년까지 연평균 16.6%의 높은 성장률을 보이며, 미국의 대기오염관리 시장 규모는 2014년 196억 달러를 기록하였다. 중국은 2003년 이후 대기오염에 대한 투자가 꾸준히 증가하였고, 2013년 이후 PM<sub>2.5</sub> 개선을 위해 투자액이 확대되어 2017년까지 총 1.7조 위안(314조원) 지원 예정이고, 대기환경시장은 각종 중국정부 지원 및 규제강화에 의해 지속적으로 시장이 확대될 전망이다. 2016년 주요시장 평가(Top Market Study, TMS)에서 중국이 1위를 차지하였으며, 특히 대기오염 관리 부분에서도 47.4점으로 1위로 분석되고 있다. [39]

탄소기반 재료인 활성탄소의 세계 생산량은 2,000년 말 1,000,000 톤/년 이상으로 추정되며 최고 생산자는 미국과 유럽이지만 90년대 말 이후 중국의 신장세가 두드러지고 있다. 활성탄소 시장은 소수 회사에 의해 지배되고, Calgon 및 Norit가 세계 최대 메이커이며

Calgon은 2,000년에 총 200,000 톤/년의 생산능력을 가졌고 Norit는 116,000 톤/년을 나타냈다. 아시아 지역에서는 일본의 Kuraray Chemicals이 35,000 톤/년으로 가장 큰 생산능력을 가지고 있으며, 중국의 북경 태평양 활성탄과 신화 활성탄이 30,000 톤/년을 생산하고 있다. 그러나 이 수치는 세계 여러 위치에 새 공장이 설치되고 있기 때문에 가까운 미래에는 변할 것이며, 대표적인 예로 네덜란드의 Norit와 일본의 Kuraray Chemicals 등은 중국이나 동남아시아 등으로 활발하게 진출하고 있고 에너지 및 전기전자산업으로의 응용이 이루어질 것으로 예상된다. [4]

## 나. 수출·입 효과

대기오염 등 도로비산먼지 관리 기술 및 인프라가 부족한 중국, 중동 등 개발대상국 시장이 1차, 대기질 관리가 잘 수행되고 있는 선진국 시장도 2차 대상이 될 것으로 예상된다. 개도국 중심으로 대기오염 관리 산업시장이 성장하고 있어서, 단순 제조 및 시공에 머무르고 있는 국내 대기산업체 중소기업(산업체 비중 91%)의 해외진출의 교두보 기술이 될 수 있을 것으로 예상되며 특히, 국내의 미세먼지와 상관성 및 영향이 높은 중국의 경우 중앙정부에서 지방정부까지 미세먼지 관리를 위한 기준, 법률, 계획 등 많은 정책이 입안되고 있어, 장비 및 소재를 포함한 본 연구과제의 중국진출 가능성은 매우 높은 상황이라 예상된다.

본 연구는 미세먼지와 관련된 장비·소재·도로포장 시공법까지를 포함한 연구개발 특성을 고려할 때 개별 기술의 해외시장 진출과 도로 등 건설업종과 연계된 패키지 사업 형태로 해외진출이 가능할 것으로 판단된다.

환경, 에너지 분야에서 대기 및 수처리 관련 산업과 온실가스 분리, 흡착 등에서 고기능성 활성탄소가 활용되고 있으며 이는 대부분 해외에서 전량 수입하고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 고기능 활성탄소의 국내 생산이 이루어지면 그 수요는 획기적으로 증대될 것으로 예상되며, 중간원료 산업도 안정적인 수요처를 확보할 것으로 예상된다.

표 4.1 대기환경 시장규모

시장 규모	연도	현재의 시장규모 (2014년)	3년후 시장규모 (2016년)	6년후 시장규모 (2020년)
	국내			
국외		\$542억 <sup>2)</sup>		
산출 근거	1) 환경부·한국환경공단, “환경산업통계조사보고서”, 2012 2) Environmental Business International, “EBI Report 3000”, 2013			

#### 4.1.2 활용 방안

- 도로비산먼지에 대한 도로분야의 능동적 대응 향상 및 이로 인한 환경 피해 최소화
- 세계적으로 급속히 진행되고 있는 대기환경사업의 핵심 기술영역인 도로비산먼지 저감 기술 및 해외시장 선점
- 국토교통연구개발사업의 교통물류연구사업 중 “공해 없는 청정교통”에 부합함
- 정부 목표 달성을 위한 기술 지원, 국민 삶의 질 향상에 기여함
- 기술 개발을 통한 국외 수입 대체에 따른 시장의 확산이 예측됨
- 세계적으로 온실 가스 규제에 따른 대기 유해 물질 제어용 소재 제품 보급 활성화 가능함
- 소재 시장 확대에 따른 국내 기업의 관심과 함께 소재의 국산화를 통한 시장 확대가 전망됨

#### 3.1.3 파급효과(기술적, 경제적, 사회적)

본 연구개발을 통해 도출된 성과의 기술적, 경제적, 사회적 파급효과는 표 4.2와 같다.

표 4.2 파급효과

	구분	기술적 효과	경제적 효과	사회적 효과
파급 효과	내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 체계적인 도로비산먼지 인벤토리 구축, 평가 및 관리 체계 확립을 통해 과학적·종합적으로 도로 대기질을 모니터링 및 관리를 함으로써 도로비산먼지 대응 정책의 실효성 확보</li> <li>■ 고령화 시대에 부합하는 도로 서비스 및 대기질 체계 개선을 통해 건강위해성 해소</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 전 세계적으로 급속히 진행되고 있는 대기환경 사업의 핵심 기술영역에 해당하는 미세먼지 저감·제거 기술 선도 및 해외시장 선점</li> <li>■ 세계 환경산업 규모는 9,240억 달러에 이르며, 그 중 대기분야는 528억 달러로 전체의 5.7%임</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 도로재비산에 의해 발생하는 미세먼지(PM2.5)는 전체 미세먼지(PM2.5)배출량의 7%에 해당</li> <li>■ 도로먼지 제거를 통해 배출량을 감소하고 국민 삶의 질 향상</li> </ul>
	근거	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 환경부, 도로재비산 먼지 저감 시범사업 타당성 조사 연구 (2008)</li> <li>■ 광주과학기술원, (초)미세먼지 피해저감을 위한 과학기술연구 (2016)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Environmental Business International, “EBI Report 3000” (2013)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 국립환경과학원, 대기오염배출량 (2011)</li> </ul>

## 4.2 연구성과 활용방안(계획)의 구체성

본 연구개발을 통하여 도로변 미세먼지 제거를 위한 핵심소재 및 공법 등을 활용한 시범사업 구간 선정을 통한 미세먼지 제거 및 저감 기술에 대한 검증 체계 구축하고자 하며, 교통량이 극심한 광역도시 이상급 지자체 중심으로 시범사업 구간 구축하여 도로변 미세먼지 통합관리시스템의 성능 및 효과 등을 Living-Lab 개념으로 지속적으로 관측하고자 한다. 도로변 미세먼지 모니터링을 통한 인벤토리 구축 및 기존 시스템과의 연계를 통하여 도로시설물(BIS, 교통정보 등)을 이용한 도로미세먼지 농도 알리미 시스템을 구축하여 도심지 도로중심 먼지지도 개발 및 대국민 서비스 제공하고자 한다. 기능성 소재 개발을 통하여 민간 중심의 중소기업 소재 시장 활성화와 도로포장 공법 및 다양한 응용기술 개발을 통하여 시장 선점하여 기술의 성과확산 및 중소기업 활성화 방안을 마련하고자 한다. 마지막으로 본 기술 개발을 통하여 잠정적으로 도로변 미세먼지 제거를 통하여 대국민 삶의 질 향상 및 건강유해요소를 제거하고자 한다. 그림 4.1은 중점분야 별 최종성과물 및 수요처, 이전·확산 유형을 나타낸다.

중점분야	최종성과물	성과유형	수요처	이전/확산
1. 도로비산먼지 관리 체계 개발	ITS 인프라 활용 도로변 미세먼지 모니터링 최적화 기술	장비/장치	장비업체	기술이전
	도로 미세먼지지도 구축 및 대국민 서비스 시스템	시스템	중앙정부/지자체	성과확산
	도로 미세먼지를 유지/관리하기 위한 국가기준(안)	정책/제도	중앙정부/지자체	성과확산
2. 기능성 건설소재 활용 도로변 미세먼지 제거 기술 개발	미세먼지 제거 기능성 도로포장 재료·공법	공법/기법	소재개발업체 포장전문업체	기술이전
	도로 비산먼지 발생억제 도로표면처리 기술	공법/기법	소재개발업체 포장전문업체	기술이전
	미세먼지 제거 기능성 도로포장공법의 품질관리 시방기준(안)	정책/제도	중앙정부/지자체	성과확산
3. 도로시설물 기반 미세먼지 저감 및 제거 기술 개발	탄소소재 기반 미세먼지 제거용 흡착제	공법/기법	소재개발업체	기술이전
	탄소소재 기반 흡착제의 도로인프라 적용 기술	공법/기법	소재개발업체 포장전문업체	기술이전
	미세먼지 저감을 위한 도로인프라 적용기술의 시공 및 유지관리 위한 시방기준(안)	정책/제도	중앙정부/지자체	성과확산
4. 도로 건설공사 단계별 맞춤형 미세먼지 저감 기술	건설공사 자재생산 및 시공 비산먼지 저감시스템	시스템	자재생산플랜트 도로건설업체	기술이전
	도로 시공장비 비산먼지 흡입/억제 부착장비	장치/장비	장비업체	기술이전
	도로 건설공사 비산먼지 감축 법·제도(안)	정책/제도	중앙정부/지자체	성과확산

그림 4.1 중점분야 별 최종성과물 및 수요처

## 참고문헌

---

- [1] BCC Research, 2015, "Air pollution control equipment"
- [2] EBI, 2015, "세계 환경산업 시장규모 및 전망"
- [3] Kim Ji-Il 외 4, 2010, "Carbon Letter, Necessity of Development on New Types of Activated Carbons for Advanced Drinking Water Purification Technology"
- [4] NewsWire, 2014.06.17, "세계 활성탄 수요, 2018년 220만 메트릭톤 전망"
- [5] OECD, 2016, "2016년 더 나은 삶의 질 지수(Better Life Index)"
- [6] OECD, 2016, "The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution"
- [7] UNECE, 2016, "73rd UNECE GRPE session: Particle Measurement Program"
- [8] 공공데이터포털, 2016.12, "국가과학기술연구회 소관 출연(연) 특허정보"
- [9] 국립환경과학원, 2007, "비산먼지 배출량 산정방법 개선 및 도로재비산 먼지 실시간 측정방법 개발(I)"
- [10] 국립환경과학원, 2007, "자동차 오염물질 배출계수 산정에 관한 연구(V)"
- [11] 국립환경과학원, 2009, "PM2.5 대기환경기준 설정을 위한 연구"
- [12] 국립환경과학원, 2009, "PM2.5 배출특성 및 기여도 추정 연구"
- [13] 국립환경과학원, 2010, "도시지역 PM2.5 생성과정에 관한 연구"
- [14] 국립환경과학원, 2011, "2009 국가대기오염물질 배출량 산정결과 보고서"
- [15] 국립환경과학원, 2012, "PM2.5 저감효과 분석 및 향후 관리정책 로드맵 수립"
- [16] 국립환경과학원, 2014, "PM2.5 배출계수 자료집-2011년 대기오염물질 배출량 기준"

- [17] 국립환경과학원, 2014, “생물성 연소에 의한 대기오염물질 배출량 산정방법 편람”
- [18] 국립환경과학원, 2016, “대기오염물질 배출량 2013”
- [19] 김범석 외 4인, 2015, “도로터널 내 공기질 측정과 Bag Filter를 이용한 미세먼지 제거 성능평가”, 한국터널지하공간학회논문집
- [20] 김용표, 2010, “수도권 대기 미세먼지 1999~2008년 추이 분석”, 한국환경영향평가학회
- [21] 김운수, 2004, “서울시 미세먼지 배출량 조사·분석 및 관리방안 연구”, 서울시정개발연구원
- [22] 김홍래, 홍민선, 2011, “대기오염물질제거 기능을 구비한 다기능 도로시설물”, (주)평화엔지니어링, KR101060513B1
- [23] 새만금일보, 2017.02.01, “도, 활성탄소기업 지원 본격 추진”
- [24] 서울연구원, 2011, “서울시 고농도 미세먼지 오염현상의 원인분석 및 지역별 맞춤형 관리대책”
- [25] 서울연구원, 2013, “서울에서 발생하는 초미세먼지, 얼마나 되나”, 인포그래픽스 제86호
- [26] 세계보건기구(WHO), 2016, “Global Health Observatory Map Gallery”
- [27] 손영민, 2007, “도로청소차량의 미세먼지 제거효율에 관한 연구”, 인하대학교
- [28] 수도권대기환경청, 2013, “2차 수도권 대기환경관리 기본계획”
- [29] 이석환, 2012, “차량 주행 과정에서 타이어와 도로의 마찰에 의해서 발생하는 도로입자의 특성연구”, 한국자동차공학회논문집, 제20권, 제6호
- [30] 이승민, 허창희, 2009, “최근 8년(2001~2008)간 서울지역의 미세먼지 고농도 사례 연구”, 2009년 한국기상학회
- [31] 이승우, 2013, “광축매 콘크리트 도로 구조물의 효율적 시공방법에 대한 실험적 연구”, 한국도로학회논문집, 제15권, 제6호
- [32] 이임학, 2014, “건설현장의 공사장비에 의한 미세먼지 배출계수 평가”, 한국대기환경

학회지, 제30권, 제4호

- [33] 질병관리본부, 2014, “미세먼지/황사 건강피해 예방 및 권고지침 개발연구(호흡기질 환)”
- [34] 한국건설환경협회, 2014, “비산먼지 관리 매뉴얼 해설”
- [35] 한국환경공단, “<http://www.keco.or.kr>”
- [36] 환경부, 2011, “환경기술 기술동향 보고서”
- [37] 환경부, 2013, “도시규모 미세먼지 예보시스템 개선 및 확대방안 연구(IV)”
- [38] 환경부, 2016, “2015년 기준 환경산업통계”
- [39] 환경부, 2016, “미세먼지 관리 특별대책”
- [40] 환경부, 2016, “미세먼지, 도대체 뭘까? : 바로 알면 보인다.”
- [41] 황광일, 2016, “도로변 완충녹지의 식재구조에 따른 초미세먼지(PM2.5)농도 저감효과 연구”, 서울시립대학교