

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중앙행정기관명	국토교통부				사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업			
전문기관명	국토교통과학기술진흥원					내역사업명		국토교통기술혁신연구 (사회이슈해결 유형)			
공고번호	공고-제2호				연구개발과제번호						
국가과학기술 표준분류	미세먼지오염 개선기술 (EH0102)		55%	소음/진동 방지/저감기술 (EH0502)		45%					
연구주제	(대분류)지속가능활력사회			(중분류)건설/교통 환경			(소분류)미세먼지				
연구개발과제명	국문	철도 승강장 내 오염원 근접형 소음/마모입자 동시제거 액티브시스템 개발									
	영문	Development of an active system for removing noise and wear particles from nearby sources in the railway platform									
주관연구개발기관	기관명	한국철도기술연구원				사업자등록번호		138-82-02013			
	주소	(우)13503 경기도 의왕시 철도박물관로 176				법인등록번호		135221-0000076			
주관연구책임자	성명	홍지영									
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 9개월)									
	1년차	2019. 04. 19 - 2019. 12. 31(9개월)									
	2년차	2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(1년)									
	3년차	2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(1년)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그외기관 등의 지원금 지방자치단체 기타()				합계			연구개발비 외 지원금
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	600,000	11,550	103,950	-	-	-	-	611,550	103,950	715,500	-
1년차	134,000			-	-	-	-	134,000		134,000	-
2년차	120,000			-	-	-	-	120,000		120,000	-
3년차	346,000	11,550	103,950	-	-	-	-	357,550	103,950	461,500	-
공동연구개발기관 등	기관명	책임								비고	
		박상좌								역할	기관유형
공동연구개발기관	(주)리트코									공동	중소기업
위탁연구개발기관											
연구개발기관 외 기관											
연구개발담당자 실무담당자	성명	홍지영									

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022 년 3 월 18 일

연구책임자 :

홍지영

주관연구개발기관의 장 :

한국철도기술연구원

공동연구개발기관의 장 :

(주)리트코

정종경

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업			총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명					연구개발과제번호		21CTAP-C152265-03	
국가과학기술 표준분류		미세먼지오염 개선기술(EH0102)	55%	소음/진동 방지/저감 기술(EH0502)		45%		
총괄연구개발명		-						
연구개발과제명		철도 승강장 내 오염원 근접형 소음/마모입자 동시제거 액티브시스템 개발						
전체 연구개발기간		2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(2년 9개월)						
총 연구개발비		총 715,500천원 (정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 115,500천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준(TRL4) 종료시점 목표(TRL8)	
연구개발과제 유형		지정공모 [☒] 자유공모 []						
연구개발과제 특성		실용화						
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		○ 흡음률(NRC) 0.7 이상, 마모입자를 포함한 미세먼지 제거 효율 50% 이상의 철도 승강장 내 오염원 근접형 소음/마모입자 동시제거 액티브시스템 개발					
	전체 내용		○ 주행 철도차량 근접 공간에서의 소음/마모입자 발생 특성 분석 - 개발기술 적용대상 선정 연구 (플랫폼 라이저, 터널 공동구, 근접방음벽 등) - 휠-레일 마모입자를 포함한 미세먼지 발생특성 분석 - 발생 소음의 특성 및 전달경로 분석 ○ 미세먼지 저감장치가 내장된 방음벽체 구조 개발 - 철도 운영환경에 적합한 흡음/흡진 소재 및 사양 설계 - 미세먼지 저감장치가 내장된 방음벽체 구조 설계 - 소음/미세먼지 복합저감 효율 향상 설계 ○ 소음/마모입자를 포함한 미세먼지 저감 효과 예측 및 성능 분석 - 소음/마모입자를 포함한 미세먼지 저감 효과 시뮬레이션 - 시제품 및 시제품의 시험실 성능시험을 통한 복합 저감 효율 분석 ○ TEST BED 현장 적용성 연구 - 소음/미세먼지 동시제거 액티브 시스템 시제품 제작 - 현장 적용성 검증을 위한 모듈 단위 시제품의 TEST BED 시험부설 - 소음/미세먼지를 포함한 미세먼지 저감 성능에 대한 공인시험성적서 획득					
	1년차	목표	○ 미세먼지 저감장치 내장 방음벽체의 소재 및 사양 설계 ○ 오염원 근접 소음/마모입자를 포함한 미세먼지 발생 현황 분석					
		내용	- 복합 기능 방음벽체 문헌조사 및 개발기술의 현장적용성 검토 - 철도 운영환경에 적합한 흡음/흡진 소재 및 사양 설계 - 승강장 소음/마모입자 포함 미세먼지 측정 및 분석 - 마모입자 포함 미세먼지 특성 분석 및 발생 소음 전달경로 분석 연구					
	2년차	목표	○ 미세먼지 저감장치 내장 방음벽체 시제품 설계 및 TEST BED 저감효과 예측					
		내용	- 미세먼지 저감장치 내장 방음벽체 시제품 설계안 도출 - 시제품의 시험실 성능시험 - 미세먼지 저감장치 내장 방음벽체 시제품 제작 - TEST BED 저감효과 예측 시뮬레이션 결과 도출					
	3년차	목표	○ 오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 설계 및 현장시험 ○ 오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 현장적용성 검증					
		내용	- 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 최종설계 및 제작 - 오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 공인시험 - 오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 현장부설 - 현장시공 시방서 제작 및 상용제품 인증화 추진전략 수립					
	연구개발성과		○ 소 저감형 팬리스 집진장치 (소음/마모입자 동시제거 액티브시스템) 개발 - 특 3건 출원 및 등록 - 흡 룰 및 미세먼지 제거 효율 공인인증					

	- 시제품 제작(3기) 완료 및 철도 운영선 현장 시험 부설 - 2개월 이상 현장적용성 검증 및 집진효율 검증											
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	○ 팬리스이면서 동시에 액티브 방식의 강제 흡배기 공기 정화 기술로 기존 기술의 한계를 넘은 혁신적인 기술 개발이며, 철도 분야의 환경 문제 중 승객 및 작업자의 건강에 직접적인 영향을 주는 소음과 미세먼지를 동시에 저감할 수 있는 기술로 철도 환경 개선에 기여 ○ 개발 기술의 중소기업 기술 이전 및 후속 사업화 계획 수립을 통해 성과 확산 노력 ○ 선로변 소음/미세먼지 발생을 저감하기 위해 운영기관 및 지자체의 민원구간에 소음저감형 팬리스 집진장치 설치하여 효율적인 선로 환경 관리 ○ 전력 소비가 매우 낮은 기술로, 향후 태양광 방음벽 기술과 결합 시 무전원으로 소음과 미세먼지를 저감 ○ 철도 운영기관의 활용도를 높이기 위한 실용화 전략 수립 ○ 소음/미세먼지 저감을 위한 각각의 장치를 적용하는 것에 비해 비용 절감 효과가 크고, 효율적임 ○ 교통분야 공공시설물 적용 확대로 교통 소음 저감과 실외 미세먼지 등 공기질 개선에 기여 ○ 건설 공사장 등 소음/미세먼지 오염이 있는 산업 분야에 적용 확대											
연구개발성과의 비공개여부및사유	해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	2	3										
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호	
국문핵심어 (5개 이내)	미세먼지			마모입자		전동소음		흡 음		흡 진		
영문핵심어 (5개 이내)	Particulate matter			Wear particle		Rolling noise		Noise absorption		Dust absorption		

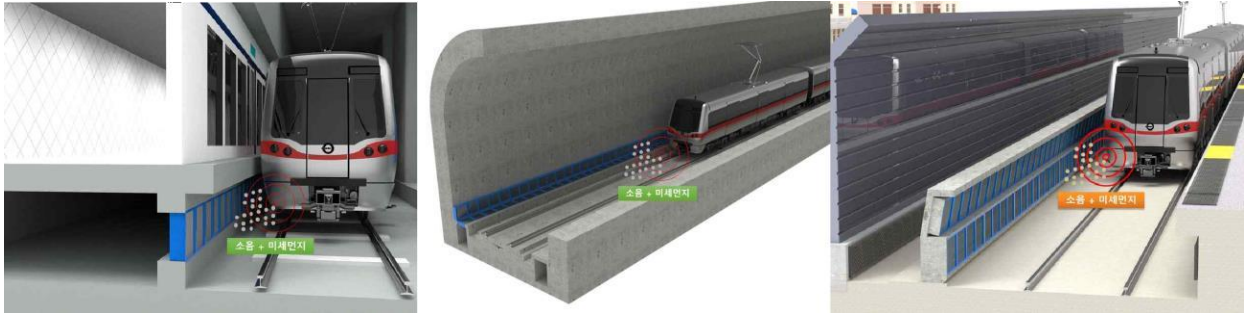
< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	3
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	106
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	118
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	119
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	120
별첨자료(참고문헌 등)	121

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 흡음률(NRC) 0.7 이상, 마모입자를 포함한 미세먼지 제거 효율 50% 이상의 철도 승강장 내 오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 개발

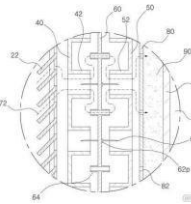
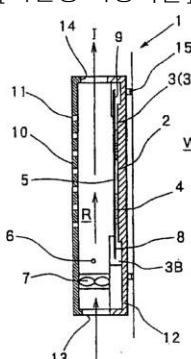


- ① 두께 100±20mm 기준, 흡음률(NRC) 0.7 이상에 대한 공인시험성적서 획득
 - 근거: 상용화된 두께 220mm 슬라브 도상용 흡음블록 성능(NRC 0.85)의 80% 이상 확보
- ② 두께 100±20mm 기준, 초미세먼지(PM2.5) 제거 효율(계수법) 50% 이상에 대한 공인시험성적서 획득
 - 근거: 상용화된 두께 400mm 이상 전기집진기 성능(0.25-2.5μm 집진률 95% 이상)의 50% 이상 확보
- ③ 소음/미세먼지 복합저감 효율을 최적화한 시제품 설계 및 제작
- ④ TEST BED 시험부설을 통한 현장적용성 검증(모듈 단위)
 - 소음 및 미세먼지 저감 효과는 공인시험으로 검증
- ⑤ 특허 등 지식재산권
- ⑥ 기술이전 및 실용화 전략 보고서

2) 연구개발과제의 년차별 목표

- 1년차
 - (주관:철도연) 소음/미세먼지 발생현황 분석을 통한 오염원 근접 시스템 적용 흡음/흡진 소재 및 사양 설계
- 2년차
 - (주관:철도연) 미세먼지 저감장치 내장 방음벽체 시제품 설계 및 효과 예측 시뮬레이션 결과 도출
- 3년차
 - (주관:철도연) 오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 설계 및 제작
 - (공동:리트코) 오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 시방 및 인증화 추진전략 수립

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	미세먼지 저감장치 내장 방음벽체의 소재 및 사양 설계	개발기술의 현장적용 성 검토 결과	흡음성을 가 지면서 송풍팬 없이 강제흡배기 를 하는 집진장 치가 결합되어 흡음과 집진 각 각 높은 효율을 갖는 기술은 국 내 최초임	현장적용성 분석 보고서	현장 설치를 위 한 운영기관 검 토 필요	20
		흡음/흡진 소재 및 구 조 사양서		기능별 3가지 이상 소재 단위성능 분석결과	목표 성능 달성 을 위한 다양한 소재 성능 분석 필요	30
	오염원 근접 소음/ 마모입자를 포함한 미세먼지 발생 현 황 분석	승강장 소음/마모입자 포함 미세먼지 측정 및 분석		2개소 이상 측정/분석 결과	현황 분석을 위 한 2개소 이상 측정 필요	25
		미세먼지 특성 분석		분석결과	장치 사양 도출	25

		및 발생소음 전달경로 분석			위한 미세먼지 특성 분석 및 소음 전달경로 분석 필요	
2년차 (2020)	미세먼지 저감장치 내장 방음벽체 시제품 설계	미세먼지 저감장치 내장 방음벽체 시제품 설계서 도출	자연풍을 이용하여 집진하는 패시브방식이 소개된 바 있고, 국외(일본) 기술 중 흡음과 집진을 동시에 구현하는 방식이 있으나, 송풍팬을 이용하여 한계가 있음	설계서 및 특허출원 2건	새로운 장치에 대한 설계서와 특허출원	30
		시제품 시험실 성능시험		흡음률(NRC) 0.7 이상, 미세먼지(계수법) 50% 이상 저감	-상용화된 두께 220mm 슬라브 도상용 흡음블럭 성능(NRC 0.85)의 80% 이상 확보 - 상용화된 두께 400mm 이상 전기집진기 성능(0.25-2.5 μ m 집진률 95% 이상)의 50% 이상 확보	20
	시제품 제작 및 TEST BED 저감효과 예측	미세먼지 저감장치 내장 방음벽체 시제품 제작	[자연풍 이용기술] 	미세먼지 저감장치 내장 방음벽체 시제품	성능시험용 시제품 제작	25
		TEST BED 저감효과 예측 시뮬레이션		TEST BED 저감효과 예측 시뮬레이션 결과 도출	터널 적용시 소음 저감효과 예측	25
3년차 (2021)	오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 설계 및 현장시험	소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 최종설계 및 제작	[자연풍 이용기술] 	소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 설계서 및 시제품 실물	현장 부설 및 현장 성능평가용 시제품 제작 완료	30
		오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 공인시험		시제품 모듈단위의 흡음률(NRC) 0.7, 마모입자 포함 미세먼지(계수법) 50% 저감	시제품의 공인시험을 통한 성능신뢰성 확보 필요	30
	오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 현장적용성 검증	오염원 근접형 소음/미세먼지 동시제거 액티브시스템 시제품 현장부설	[송풍팬 이용기술]	모듈단위 시제품 현장부설	현장적용성 검증을 위한 철도 현장부설 필요	20
		현장시공 시방서 제작 및 상용제품 인증화 추진전략 수립		현장시공 시방서 도출	현장시공 및 유지관리를 위한 시방서 필요	20

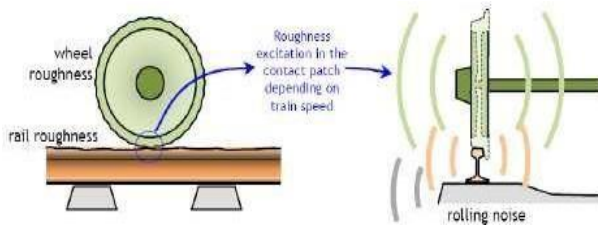
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발의 배경 및 필요성

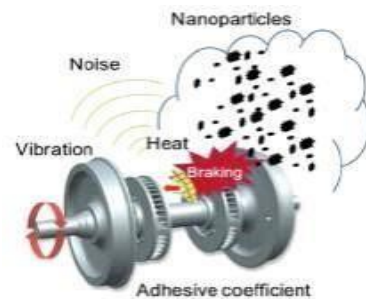
- 다중이용시설인 철도 승강장 내 발생하는 소음/미세먼지는 철도 이용객의 쾌적성을 침해하고, 철도 서비스의 품질을 하락시키는 주요 원인



- 철도 차량 운행으로 인해 발생하는 소음/마모입자는 휠-레일 접촉으로 인한 전동소음과 휠-레일 마모로 인한 중금속 입자가 주 오염원
 - 최근 도시철도 미세먼지 발생량 예측을 위한 연구결과에 따르면 마모에 의한 미세먼지의 1일 평균 발생량은 1개 노선에서 1,827g 이상으로 산정됨
- 지하철 운행 시 브레이크, 휠-레일, 전차선 마모 등의 요인에 의해 배출되는 중금속 입자가 터널, 승강장 등 지하역사에 많이 분포되어 있고, 누적된 중금속 입자의 비산으로 인한 2차 오염 발생



[휠-레일 전동소음 발생 개요도]



[디스크-패드간 마모입자 발생 개요도]

- 각 도시철도 운영기관에서는 공기질 개선을 위해 환기시설 개선, 자갈 도상의 콘크리트 도상으로의 개량, PSD 설치, 살수차 및 분진 흡입차 운영 등 다양한 방안이 시도되고 있으나, 많은 비용이 소요되는 데 반해 개선효과가 크지 않음
- 그 중 승강장 스크린 도어 설치의 역사 유입 미세먼지의 양을 감소하는 데는 크게 기여하였으나, 터널 내부 미세먼지 농도는 지속적으로 증가하여 터널 내부 운행 중 외기를 이용해 공조를 하는 도시철도 차량 내부 오염과 터널 내 철도 작업자의 보건환경 측면에서는 상황이 더욱 심각함
- 지자체 및 철도 운영기관에서 철도 소음/미세먼지를 저감하는 새로운 기술 적용에 대한 필요성이 절실한 상황임
 - 역사 주변 주거지의 철도 소음 민원은 지속적으로 제기되고 있으며, 방음벽/방음터널 설치, 역사 및 선로의 지하화 등 지역의 환경개선을 위한 주민 요구사항을 수용하기에는 막대한 예산이 소요되는 사업이 대부분임
- 환경부는 '지하역사 공기질 개선 5개년 대책' 실시를 통해 지하철 실내 공기질 개선을 위한 목표를 수립
 - 2018년 3월 '제3차 지하역사 공기질 개선대책'에서 지하철 미세먼지 오염도를 13.5% 저감($69.4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \rightarrow 60 \mu\text{g}/\text{m}^3$)하여 숨 쉬기 편안한 지하철 환경을 조성하는 것을 목표로 함

<환경정책기본법 미세먼지(PM2.5) 환경기준>

구 분 [μg/m3]	한 국		주요 선진국		기 타		
	현행	개정	미국	일본	WHO	EU	중국
연평균	25	15	15	15	10	25	35
일평균	50	35	35	35	25	(없음)	75

- 오염원에 근접하여 소음/마모입자를 효율적이고 효과적으로 저감하기 위한 기술 개발이 필요하며, 이 때 차량 운행 안전성 확보 및 유지보수 용이성을 고려한 소재/구조가 적용되어야 함
- 승강장과 같이 오염원에 근접한 협소한 장소에서 소음/마모입자를 동시에 제거하기 위해서는 복합저감 효율을 최적화하는 설계가 요구됨
- 복합저감 효율을 높이기 위해서는 발생 소음 전달경로 및 마모입자의 발생 특성 분석이 필요하고, 이를 장치 구조 설계에 반영할 수 있는 연구 역량이 요구됨
- 철도 소음 및 미세먼지를 개별적으로 저감하기 위한 기술 개발은 다양하게 시도된 바 있으나, 이를 동시에 제거하는 시스템의 상용화 실적이 전무함
- 동시제거 액티브시스템은 소요 비용 절감 및 저감 효과 측면에서 우수하고 철도 이용객의 쾌적성을 향상하여 고부가가치 서비스를 제공하는 데 기여할 것으로 기대

2) 연구개발 대상의 국내외 기술 현황 및 개발기술의 현장적용성 검토

가) 국내외 기술 동향

(1) 국내 기술 동향

- 입자상 물질 제거장치, 집진 필터에 있어서 개발이 필요한 일부 요소기술들은 확보하였으나 고온가스 중 입자상 물질을 제거하는 기술은 기초단계 수준임
- 새로운 배출 저감 기술개발보다는 기존 공장설비에 설치 가능하고 공간을 최소화하면서 미세먼지 배출을 획기적으로 줄일 수 있는 집진장치에 대한 기술개발이 이루어지고 있음
- 가스상 오염물질과 입자상 오염물질을 동시에 제거하는 기술이 개발되고 있음. SOx 및 NOx뿐 아니라 중금속, 다이옥신과 같은 유해물질 동시 제거 기술, 가스상 오염물질의 전처리 과정을 거쳐 미세입자의 형태로 변환시킨 후 제거하는 기술을 개발하는 추세임
- (전기집진기) 화력발전소, 대형보일러 사용시설 등을 주요 대기오염 방지시설로 채택하고 있음. 최근 건식 전기집진 기술과 비교하여 미세먼지 및 SOx, 암모니아 등 대기오염물질 제거효율이 높은 습식 집진기술에 대한 수요가 높아지고 있음
 - 집진기 방전부 구조설계, 소형화 설계, 자동세정 기능 등에 대한 연구가 지속하여 이루어지고 있음
- (습식세정장치) 고압, 전하 조건에서 미세액적 분수가 가능한 노즐부 설계에 관한 연구가 이루어지고 있음
- (하이브리드 장치) 전기집진 후 여과 집진이 이루어지는 구조로 미세먼지 제거효율이 높음. 관련 기술이 국내 적용은 물론 해외 수출되어 상용화되어 있음

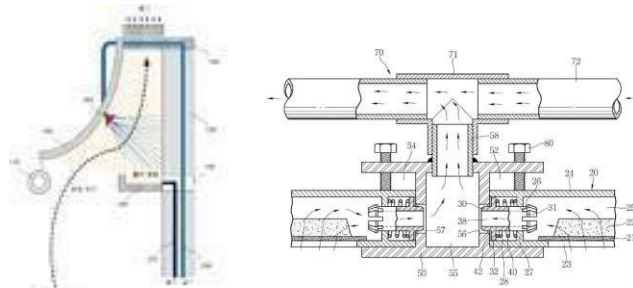
(2) 해외 기술 동향

- (미국) 전기 집진장치의 역전리 현상 해결을 위한 연구가 진행되고 있음
 - Denver Research Institute 에서는 Cold-pipe precharger를 개발했으며 이는 기존 Wire-pipe형 2단식 전기집진기의 하전부에서 바깥 파이프 부분에 차가운 물을 순환시키는 기술이 핵심임. 먼지층의 비저항을 감소시켜 결과적으로 매우 짧은 유동 거리에서 높은 수준의 입자 하전 효과를 얻을 수 있음
 - Electric Power Research Institute 에서는 기존 전기집진장치의 효율 저하 문제를 개선하기 위해 전기집진장치와 여과집진장치를 직렬로 연결한 형태의 직렬형 전기 여과 집진장치를 개발함
- (일본) 전기집진장치의 역전리 현상 해결을 위한 연구가 진행되고 있음
 - Sumimoto Metal Mining Engineering 사에서는 배기가스 발생원 정보에 따라 전압을 가변제어하는 기술 및 구리 방전선을 납 피복 스테인리스 방전선으로 대체하는 기술을 개발함
 - Hitachi 사에서는 가스 흐름에 따른 방전극의 진동을 막기 위한 외틀 및 방전극 배치 방법 등을 개발함
- (중국) 습식 전기집진장치 구성 및 각 요소기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있음
 - Yixing Ideal Technology 사에서는 양극판 내부에 수로를 형성하여 각각의 양극판 상단에서 물을 흘러보낼 수 있는 수직 습식 전기집진기를 개발함
 - Shenhua Tianjin Coal Terminal 사에서는 배기 효율을 높이기 위해 공기 흡입부에 회전 패널을 설치한 습식 전기집진기를 개발함
 - 다수 기업에서 집진판 형태를 나선형, 지그재그 등 모양으로 변형시킨 습식 전기집진기 개발이 이루어지고 있음

나) 복합 기능 방음벽체 관련 문헌조사, 적용사례 조사를 통해 개발기술의 차별화 전략 수립

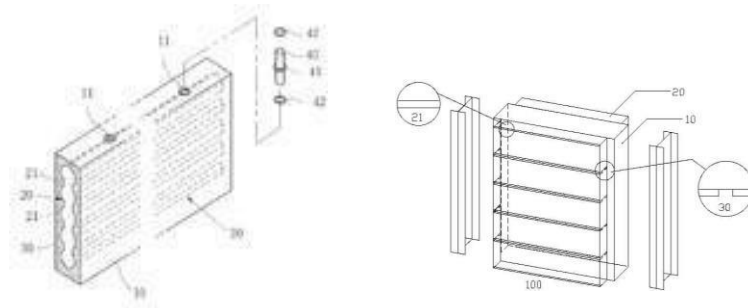
(1) 복합 기능 방음벽체 문헌조사

- ① 방음벽에 미세먼지 저감장치를 설치해, 기류 유도 방식으로 미세먼지를 흡기

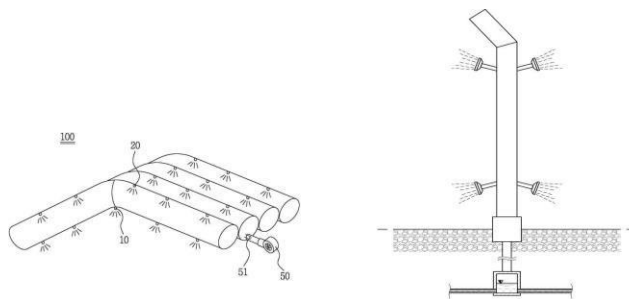


<물분사 정화(좌), 공기흡입팬(우) 적용 특허>

- ② 식생 적용한 방음벽으로 방음벽 내부에 물탱크를 내장하고 외부 타공판 사이에 식생토를 적용하여 생육조건을 제공, 식생매트를 활용해 방음벽의 일부를 구성하는 방식



- ③ 물분사를 이용해 미세먼지를 제거하는 방음벽



<물분사 에어튜브(좌), 물분사 방음벽(우)>

(2) 복합 기능 방음벽체 적용사례 조사

- ① 식생 적용 방음벽 사례

: 실내외 방음벽, 터널 벽체 등에 이끼와 같은 식재를 적용하는 사례로, 미세먼지 부착에 의한 공기정화 효과와 흡음효과를 기대할 수 있으나, 식생 관리에 어려움이 있고, 관리가 부적절할 시 미관을 해치는 부정적 결과를 초래할 수 있음



② 광촉매를 적용한 방음벽 사례

: 휘발성 유기화합물을 분해하는 광촉매 등을 방음벽에 도포해, 소음저감효과 외 공기정화효과를 유도하는 기술이나, 지하구간 및 터널에서는 광원이 없어 광촉매 반응이 일어나지 않아 인공광원이 요구되

며, 미세먼지를 직접적으로 저감하는 원리는 아님



③ 먼지저감 필터 혹은 장치가 삽입된 방음벽 사례

: EU 프로젝트 LIFE (이산화티탄 통한 이산화질소 분해기능, 광물소재 활용한 미세먼지 필터 부착 방음벽 등)



(3) 유사 기술의 철도 적용 사례

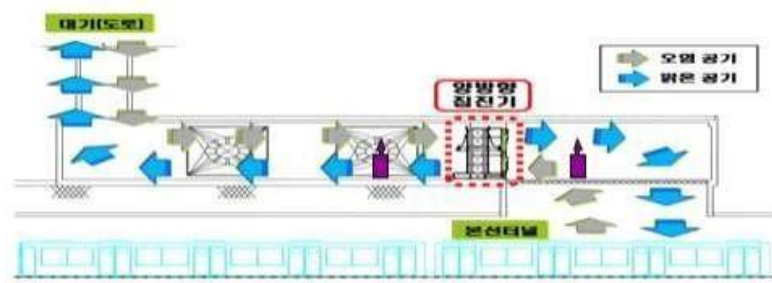
① 열차풍을 이용한 전기집진기 설치 사례

: 철도 승강장 부근 터널에 열차풍을 이용한 패시브 방식의 전기집진기를 설치한 사례가 있으나, 강제 흡배기가 되지 않아 집진효율이 낮은 것으로 평가됨



② 터널 환기구 전기집진기 설치 사례

: 터널 본선 환기구에 양방향 집진기를 설치하여 급·배기 시 이동 공기를 정화하는 양방향 집진 시스템이 적용된 바 있음



③ 터널 벽체 흡음재 설치 사례

: 열차 실내소음 저감 목적으로 터널 벽체 흡음재 및 궤도 흡음블럭 설치



ㄴ 개발기술의 차별화 전략

(적용위치)

: 철도의 차륜과 레일이 접촉하여 소음과 마모입자를 포함한 미세먼지 등이 발생하는 발생원의 근접영역에서 저감하는 전략 수립

(융합연구)

: 저감효과 최적화와 실효성을 고려, 단순한 두 가지 기능의 융합보다는 효율적인 융합기능 연구 필요

다) 개발기술 적용대상 선정을 위한 지자체, 운영기관 협조/자문

- 설치 공간, 전력 사용, 유지보수 및 관리 등 고려한 설계사양 도출 및 개발 전략 수립

(1) 지자체 및 운영기관 자문

① 부천시(코레일 중동역) 현장조사 및 테스트베드 협의 : 2019년 5월~11월



② 서울교통공사(5호선 양평역 구간 터널) 현장조사 및 테스트베드 협의 : 2019년 8월~10월



③ 인천교통공사 테스트베드 협의 : 2019년 7월

④ 서울교통공사 테스트베드 현장조사 및 테스트베드 협의, 미세먼지 관리현황 및 개발기술에 대한 현장적용성 관련 자문 : 2021년 4월 ~ 12월

◎ 운영기관 자문의견서 종합 1차

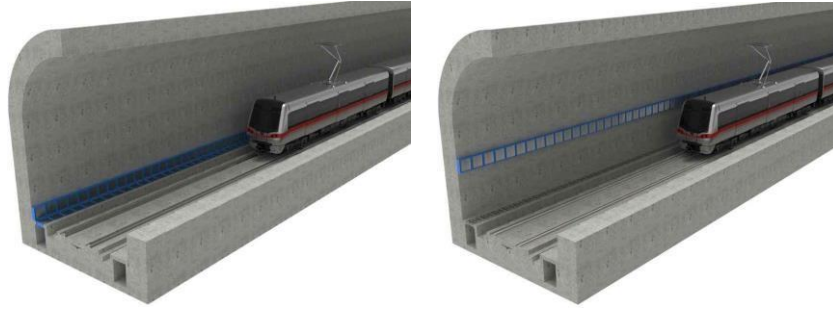
현장적용성
• 내구성/불연성 등 철도시설물에 요구되는 성능기준 확보 필요 • 기존에 설치되어 있는 흡음재 등을 대체할 경우 개발품 적용 가능 • 대피로, 대피공간 등 기존시설물 간섭 최소화 필요
유지관리용이성
• 교체가 필요한 필터방식은 현실적으로 유지관리 어려움 • 물청소 등으로 시스템 유지관리 가능한 소재 및 구조 적용 필요 • 저전력으로 작동 가능한 시스템 필요하며 설치와 철거가 용이해야 함
저감효과
• 터널 급곡선 구간 적용 시 실내소음 저감으로 승객 쾌적성 향상 기대 • PSD 설치 역사 구간의 경우 소음 및 미세먼지 저감 효과 체감 어려움 • 터널 내 미세먼지 저감은 작업자 보건환경 측면에서도 중요함

(2) 승강장/터널/선로 등 개발기술 현장적용안

① 승강장 플랫폼 하부공간, 승강장 벽/바닥, 기존 방음벽 적용안



② 터널구간의 공동구/벽체 적용안



③ 선로근접 저상 방음장치 및 기존 방음벽에 흡음형 분진제거장치 적용안



설계사양 및 개발전략 수립

(설치기준)

- : 두께 100 ± 20 (mm), 모듈형
- : 건축한계 및 차량한계 허용범위에 설치
- : 대피로 및 대피공간 확보
- : 기존 구조물에 설치 시 시방서 필요
- : 시뮬레이션을 통한 최적 위치 선정 필요

(성능기준)

구분		목표치
단위시스템 (흡음재 + 집진장치)	흡음률	NRC 0.7이상
	미세먼지 처리 효율 (시험실 성능시험)	50%이상
흡음재 단독	불연성	준불연기준 적합
	동결융해저항성	압축강도비 70%이상
	압축/휨/인장강도	12/1.5/1.2 MPa이상

*고속철도용 흡음블럭 등의 성능기준 참고

(유지관리기준)

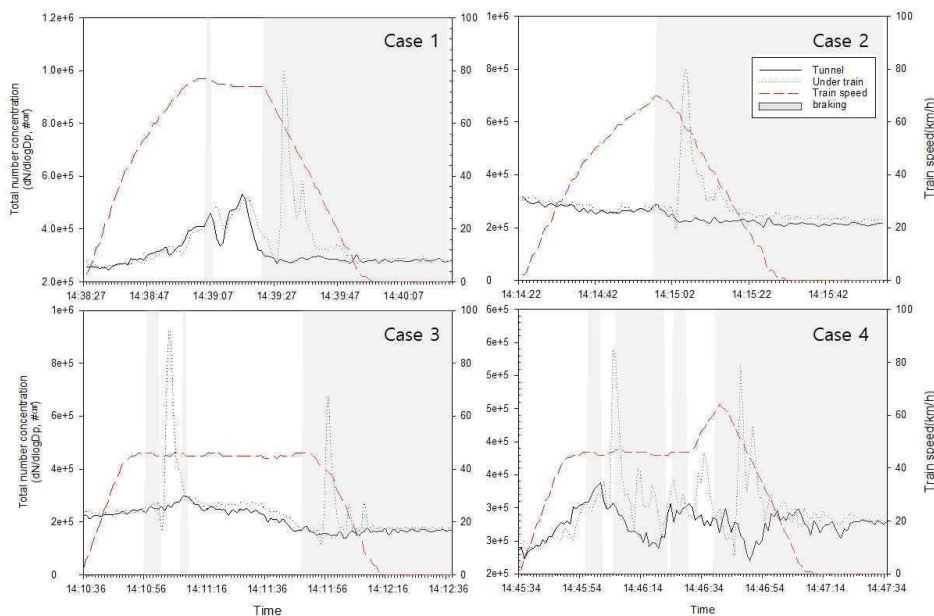
- : 교체 필요없고, 물청소 가능한 소재 및 구조
- : 저전력으로 운용가능한 시스템

3) 철도 운행선 소음/미세먼지 발생 현황 분석

가) 철도에서 발생하는 마모입자 포함 미세먼지 특성 분석(문헌조사)

(1) 휠-레일 마모입자

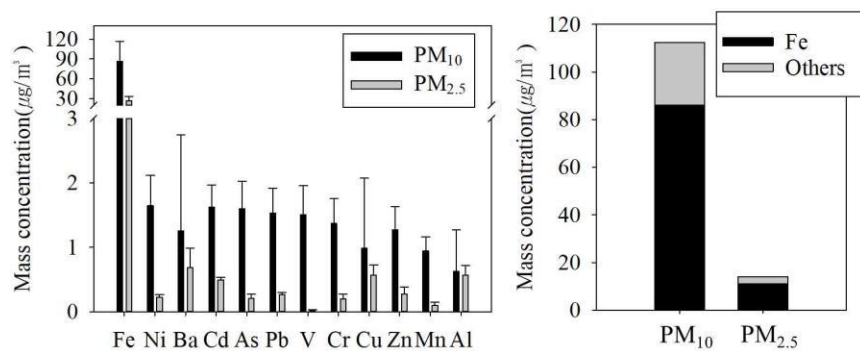
: 철도에서 미세먼지를 발생시키는 주요염원은 대표적으로 제동 시스템(braking system)과 휠-레일 접촉(wheel-rail contact)인데, 기계제동이 최소화된 점을 고려하면, 대부분의 미세마모 입자는 휠-레일 접촉에서 발생



<제동 시 휠-레일에서 발생하는 미세마모입자>

(2) 미세먼지 중금속 성분 분석

(참고문헌:Y. Lee et al. Source and characteristics of particulate matter in subway tunnels in Seoul, Korea, IJERPH, 2018)



<서울지하철 터널의 미세먼지 중 중금속 질량 농도 분석 결과>

<중금속 각 성분의 입자크기별 백분율>

구분	Fe	Ni	Ba	Pb	V	Cr	Cu	Zn	Mn	Al
PM10	88.5	1.7	1.3	1.6	1.5	1.4	1.0	1.3	1.0	0.6
PM2.5	90.0	0.8	2.3	0.9	0.1	0.7	2.0	0.9	0.3	1.9

나) 철도 운행선 소음/미세먼지 발생 현황

(1) 지하철 역사 및 터널(서울 주요 지하철 구간) 미세먼지 발생 현황

-역사 플랫폼, 대합실, 터널 내 미세먼지 측정값 비교 결과:시간에 따라 미세먼지 농도의 변화가 있으나, 터널>플랫폼>대합실 순으로 나타나는 경향은 유사함



(2) 역사 승강장(부천, 중동역)

: 급행열차 통과 및 개방역사 구조로 인해 주변 고층아파트의 소음 민원이 발생하며, PSD의 소음저감효과는 제한적임

-소음 : 열차 주행이 없을 때의 배경소음 62dB(A)에 비해 열차 통과소음레벨은 플랫폼 하부에서 평균 100.9dB(A), 플랫폼 상부에서는 평균 93.8dB(A)로 상당히 높은 수준임 => 주변 민원지의 소음 노출 수준이 상당히 높을 것으로 예상됨

- 미세먼지 : 소음 이벤트 기준으로 열차 통과 시 미세먼지 입경별 수농도 분석을 수행하였으나, 열차가 없을 때의 미세먼지 농도와 비교 시 유의미한 차이를 발견할 수 없었고, 이는 개방된 역사의 특성에 기인한 것으로 판단됨, 수nm ~ 100nm 크기의 미세먼지가 대부분

또한, MiniVoITM TAS를 이용하여 약 45분간 포집한 미세먼지의 성분 분석을 위하여 포집한 필터를 Scanning Electron Microscope(SEM) 및 Energy Dispersed X-ray(EDX) 측정을 수행하였으며, 결과적으로 중동역에서 측정한 입자에는 철 성분이 미검출되어 개방역사의 한계 확인함

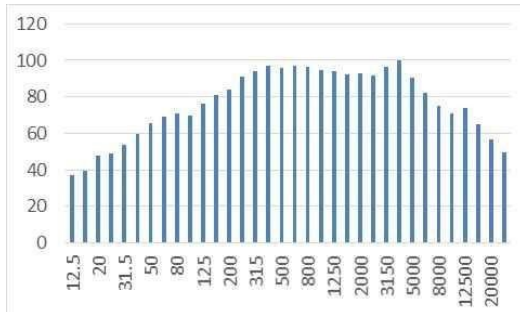
<플랫폼 하부>



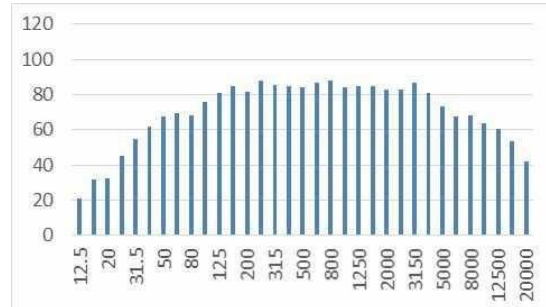
<플랫폼 상부>

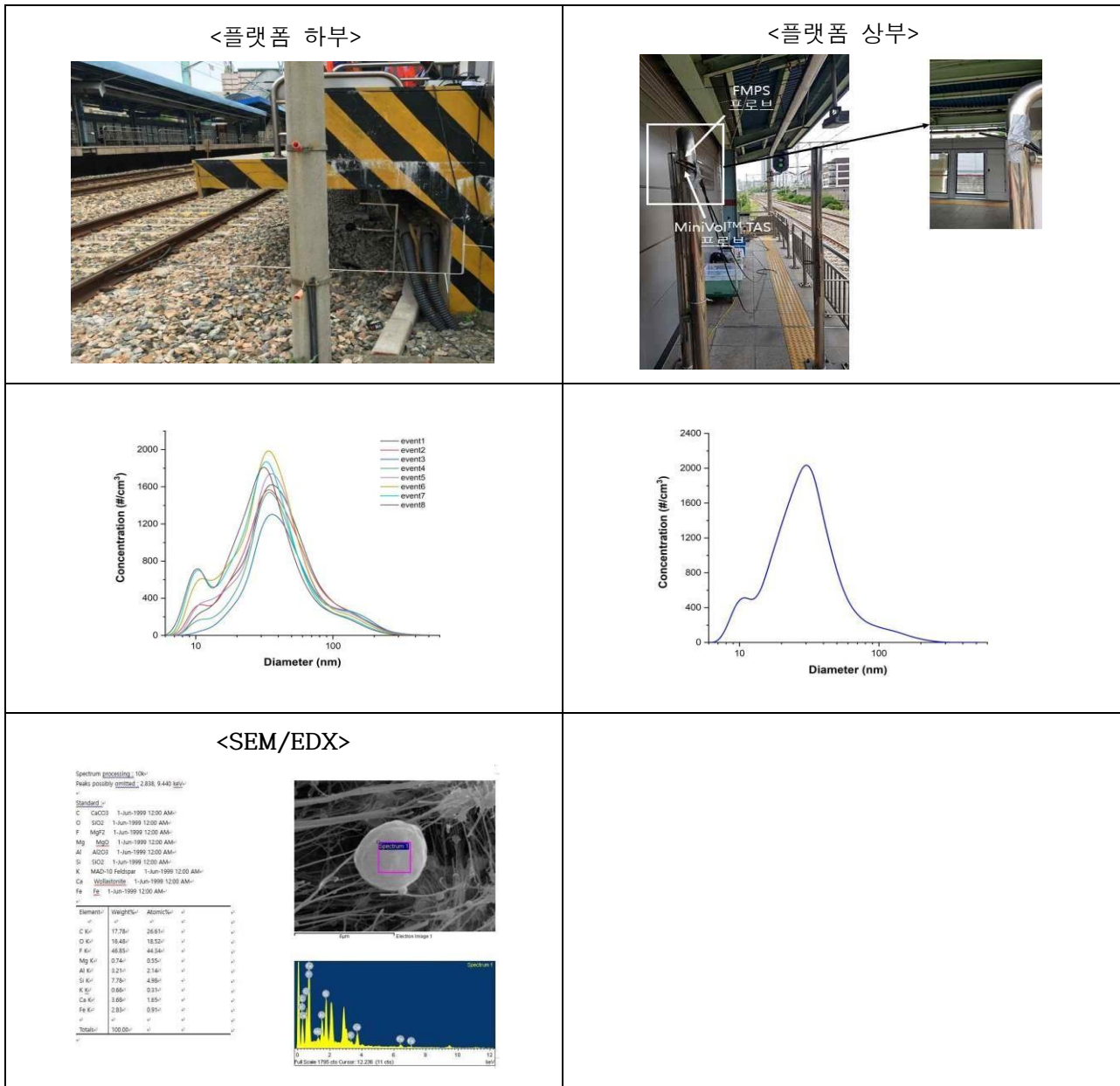


- 20회 열차 통과 평균
통과소음레벨은 100.9dB(A),
최고소음레벨은 104.3dB(A)
- 주파수분석 결과 200Hz이상 4000~5000Hz 대역
에서 높은 수준을 나타냄



- 16회 열차 통과 평균
통과소음레벨은 93.8dB(A),
최고소음레벨은 95.5dB(A)
- 주파수분석 결과 플랫폼 하부에 비해 전반적으로
감소되었으며, 특히, 4000~5000Hz 대역에서
유의미한 감소 있음





- ▶ 열차소음의 주소음원은 휠-레일 접촉부로, 승강장 하부 등에 소음저감장치 적용 시 저감효과가 클 것으로 기대되며, 소음 감쇠 특성 및 청감특성을 고려하여 500~2000Hz 대역을 타겟으로 설계 목표 수립
- ▶ 미세먼지 역시 휠-레일 마모가 주발생원이나, 개방역사에서는 기류의 변화가 커 실제 발생 특성을 확인하기 어렵고, 터널 내 측정의 경우에는 야간 단전 시간 시험으로 바닥에 가라앉은 입자의 측정이 어려운 한계

테스트베드 선정 및 저감목표 수립

(테스트베드)

- : 폐쇄형 역사 및 지하 터널 등이 개발품을 적용할 테스트베드로 적합
- : 서울 지하철 5호선 터널 구간 벽면에 설치하는 방향으로 협의 진행

(저감목표)

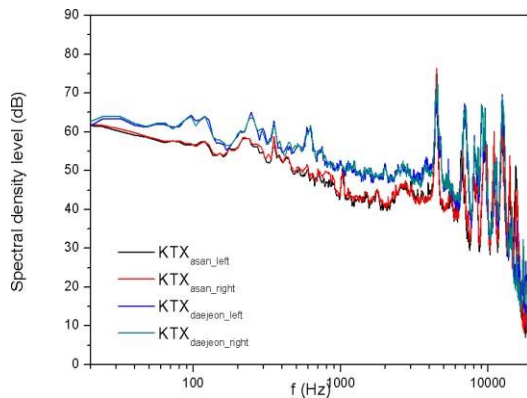
- : 소음은 500~2000Hz 대역을 중심으로 소음의 크기 변화를 체감할 수 있는 최소 수준인 3dB 이상 저감될 수 있도록 개발품의 흡음률(NRC)은 0.7 이상을 목표로 설정

: 미세먼지는 인체 유해성이 우려되는 PM2.5 이하의 초미세먼지 저감을 목표로, 시험실 성능시험시 PM2.5 이하 입자의 처리효율 50% 이상을 목표로 설정

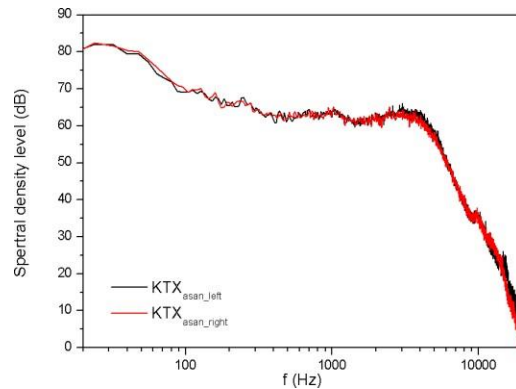
다) 철도 승강장/터널 소음의 전달경로 특성 분석

(1) 승강장/터널 주행 시 소음의 특성

: 승강장에서는 제동, 통과, 출발에 따라 소음의 특성이 달라지며, 차종과 통과속도에 따라서도 다른 특성을 나타냄 (참고문헌 : 철도 소음진동 저감기술 개발, 국토부 R&D)



<승강장 제동소음>



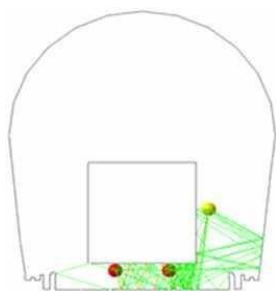
<승강장 통과 소음>

: 역사 내 차량의 정차를 위한 제동 운전 시 4k ~ 10k Hz 대역에서 다른 대역에 비해 큰 tonal component를 나타내며, 스킨 소음의 전체 소음에 대한 기여도가 상당히 큼.

: 역사 내 통과 소음의 경우 개활지에서의 통과 소음과 유사한 스펙트럼 형상을 보이지만 10 kHz에서의 고주파 성분 및 전체적인 소음도는 역사 내 구조물 및 선로 옆 방음벽에 의해 감소

(2) 승강장/터널의 소음전달경로 분석

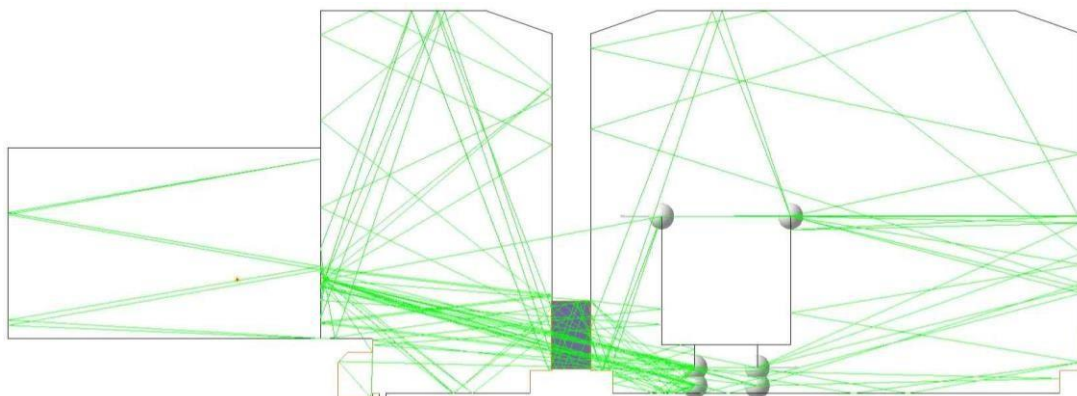
: 터널 내부 음장 해석을 위해 LMS Virtual.Lab Ray acoustic(SIEMENS)을 이용하여 시뮬레이션을 수행



Echogram

: 음원이 방사되어 회절 및 반사되는 경로를 기록

: 터널 내 1kHz 순음의 Echogram(좌)과 지하구간 승강장의 Echogram(하)



- ▶ 터널 및 승강장 구조물의 벽체와 차체 표면에서 음의 다중 반사 현상이 일어나고, 제한된 공간에서 음 에너지 밀도가 높아지며, 따라서 개활지에 비해 음압레벨이 상당히 증가하게 됨.
- ▶ 열차의 휠-레일 전동소음이 주 소음원으로, 주로 하부에서 발생한 소음은 선로 바닥면 및 터널/승강장의 벽체 하부에서 반사가 집중되고, 따라서 하부에 흡음재를 적용 시 효과적일 것으로 판단

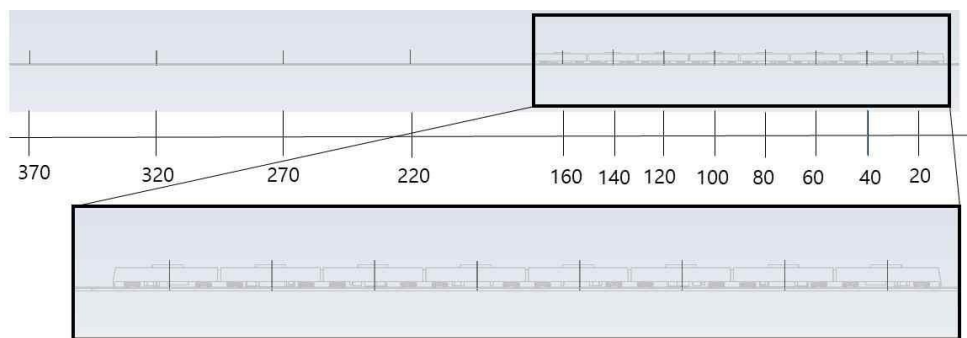
라) 철도 터널 미세먼지의 분포 특성

: 터널 바닥 먼지의 재비산/확산 특성 분석

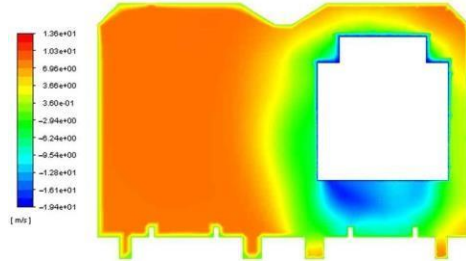
(1) 터널 단면에서의 기류 유동속도 분포

: 비산먼지의 이동을 해석하기 위해 유동속도 해석 수행

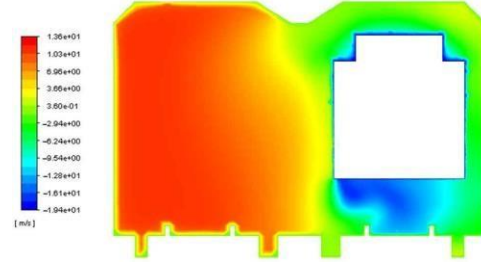
(8량 1편성 전동차 대상, 주행속도 70km/h)



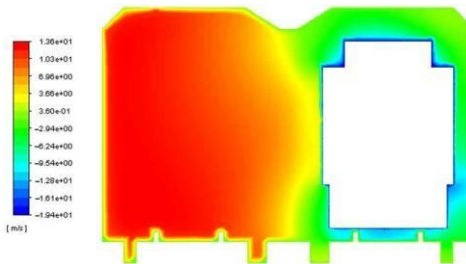
<유동속도 - 구간별 위치>



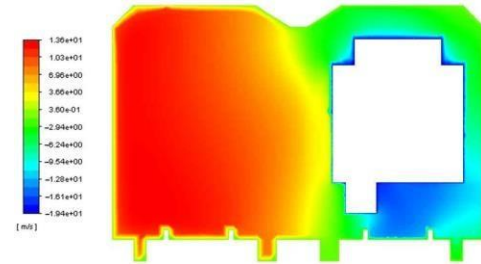
속도 contour - 20m



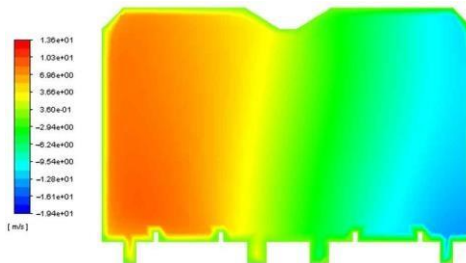
속도 contour - 80m



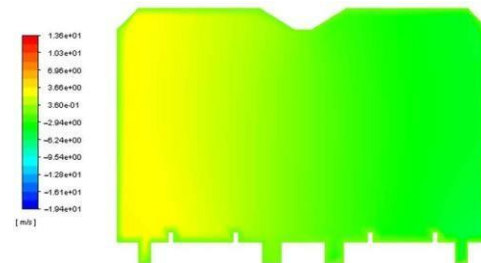
속도 contour - 140m



속도 contour - 160m



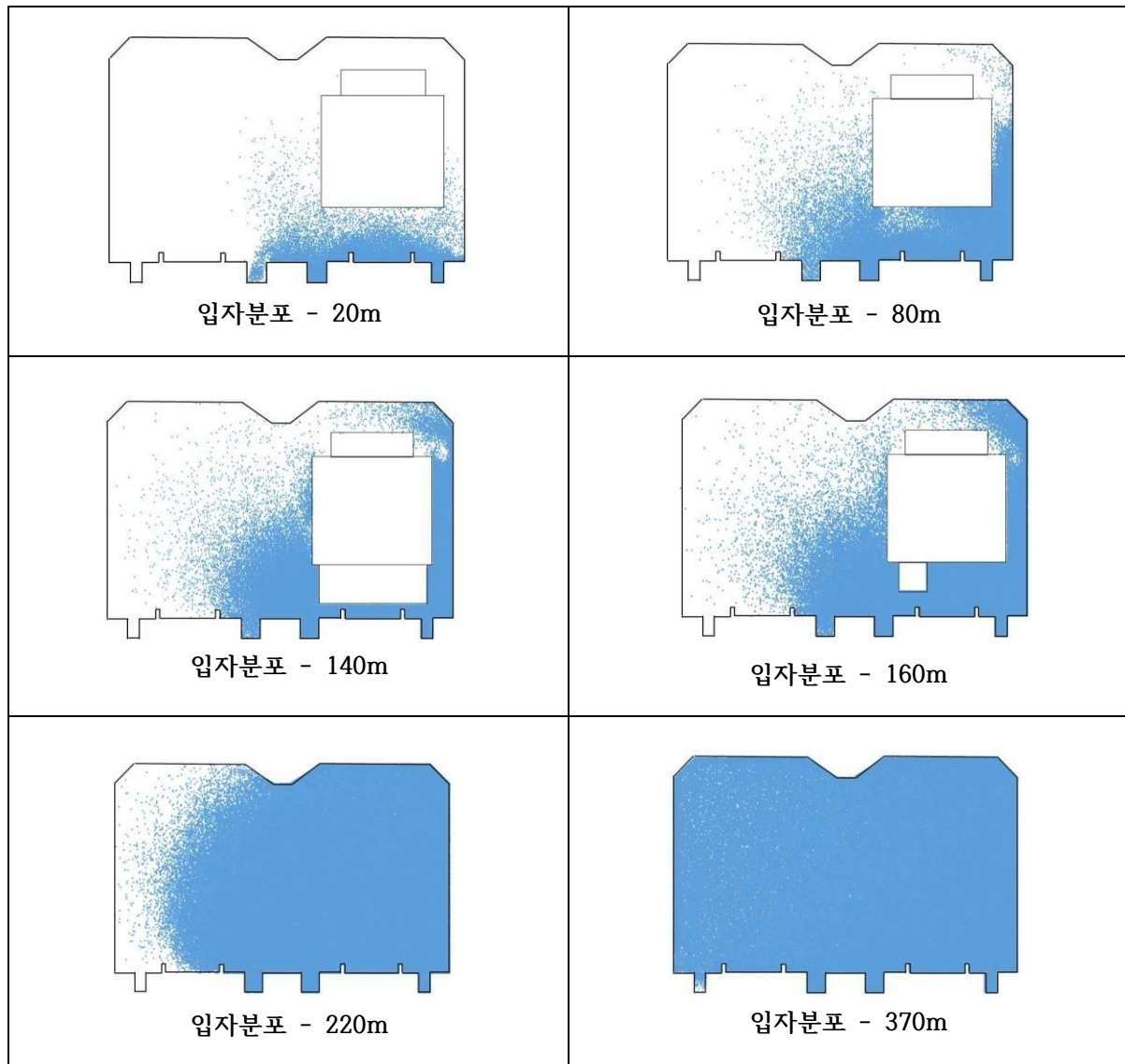
속도 contour - 220m



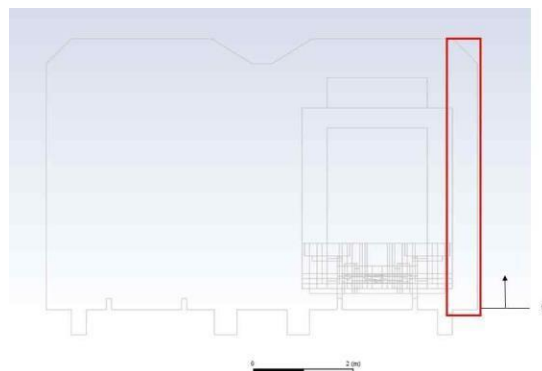
속도 contour - 370m

(2) 터널 내에서의 비산 입자 분포

: 지하철 전동차의 주행에 따른 터널 내 입자 거동은 미세먼지 저감 장치의 위치를 선정하는데 중요한 요소



- 터널 벽면으로부터 0.5m 구간 내 높이별 입자 분포 분석 결과



<높이별 입자 개수/백분율>

4.4~4.8	0	3	15	36	69	160	533	1008	1626	1863	2211	2239
4.0~4.4	0	2	24	39	96	197	553	1122	1499	1753	2064	2158
3.6~4.0	0	4	7	20	95	160	679	573	1517	1737	2002	2204
3.2~3.6	0	10	31	52	79	409	2835	1126	1595	1849	2102	2221
2.8~3.2	0	75	74	333	302	1464	2889	1296	1445	1831	2205	2268
2.4~2.8	2	55	189	703	793	2002	3577	2389	1651	1949	2208	2298
2.0~2.4	7	121	407	1229	1211	2832	4351	3279	1775	2121	2254	2481
1.6~2.0	22	354	603	1784	1618	2895	4906	3566	2008	2356	2536	2540
1.2~1.6	24	609	791	1659	2391	3634	3877	3747	2267	2572	2807	2772
0.8~1.2	45	601	1482	2078	2832	3574	4508	4280	2630	2931	3080	3160
0.4~0.8	77	554	1593	2251	3026	3487	5813	4513	3036	3399	3652	3633
0.0~0.4	110	881	2520	3302	3375	4789	6833	7408	3704	4183	4417	4499
	20m	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m	220m	270m	320m	370m
4.4~4.8	0.00%	0.09%	0.19%	0.27%	0.43%	0.62%	1.29%	2.94%	6.57%	6.53%	7.01%	6.89%
4.0~4.4	0.00%	0.06%	0.31%	0.29%	0.60%	0.77%	1.34%	3.27%	6.06%	6.14%	6.54%	6.65%
3.6~4.0	0.00%	0.12%	0.09%	0.15%	0.60%	0.62%	1.64%	1.67%	6.13%	6.09%	6.35%	6.79%
3.2~3.6	0.00%	0.31%	0.40%	0.39%	0.50%	1.60%	6.86%	3.28%	6.44%	6.48%	6.66%	6.84%
2.8~3.2	0.00%	2.29%	0.96%	2.47%	1.90%	5.72%	6.99%	3.78%	5.84%	6.41%	6.99%	6.98%
2.4~2.8	0.70%	1.68%	2.44%	5.21%	4.99%	7.82%	8.65%	6.96%	6.67%	6.83%	7.00%	7.08%
2.0~2.4	2.44%	3.70%	5.26%	9.11%	7.62%	11.06%	10.52%	9.56%	7.17%	7.43%	7.15%	7.64%
1.6~2.0	7.67%	10.83%	7.79%	13.23%	10.18%	11.31%	11.86%	10.39%	8.11%	8.25%	8.04%	7.82%
1.2~1.6	8.36%	18.63%	10.22%	12.30%	15.05%	14.19%	9.38%	10.92%	9.16%	9.01%	8.90%	8.54%
0.8~1.2	15.68%	18.38%	19.16%	15.41%	17.83%	13.96%	10.90%	12.48%	10.62%	10.27%	9.77%	9.73%
0.4~0.8	26.83%	16.95%	20.59%	16.69%	19.05%	13.62%	14.06%	13.15%	12.27%	11.91%	11.58%	11.19%
0.0~0.4	38.33%	26.95%	32.57%	24.48%	21.24%	18.70%	16.52%	21.59%	14.96%	14.65%	14.01%	13.85%
	20m	40m	60m	80m	100m	120m	140m	160m	220m	270m	320m	370m

- ▶ 휠-레일 마찰에 의해 발생하는 먼지 및 바닥으로부터 재비산 되는 먼지의 거동을 해석한 결과, 터널의 바닥면 근방에서 입자의 농도가 가장 높은 것으로 예측
- ▶ 터널 벽면 근방의 공간(벽면으로부터 0.5m 이내)에 존재하는 먼지 중 약 60% 이상의 먼지가 터널 바닥면으로부터 높이 2.0 m 이내의 공간에 존재하고, 약 50% 이상의 먼지가 높이 1.6 m 이내의 공간에 존재하며, 약 40% 이상의 먼지가 높이 1.2 m 이내의 공간에 존재하는 것으로 예측됨

개발품 적용위치 제안

(적용위치)

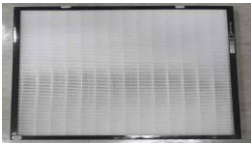
- : 터널/승강장의 **바닥면 또는 벽체 하부**가 효율적으로 소음을 저감할 수 있을 것으로 기대
- : 다만, 차량 실내소음의 경우 소음투과율이 높은 창문 높이에 적용하는 것도 효과적일 수 있음
- : 미세먼지는 열차풍의 영향으로 기류의 변화가 크나, 터널의 경우 **바닥면에 가까울수록 입자 농도가 커**, 개발품의 적용위치도 바닥면에 가까울수록 효율적일 것으로 기대

4) 철도 운영환경에 적합한 흡음/흡진 소재 및 사양 설계

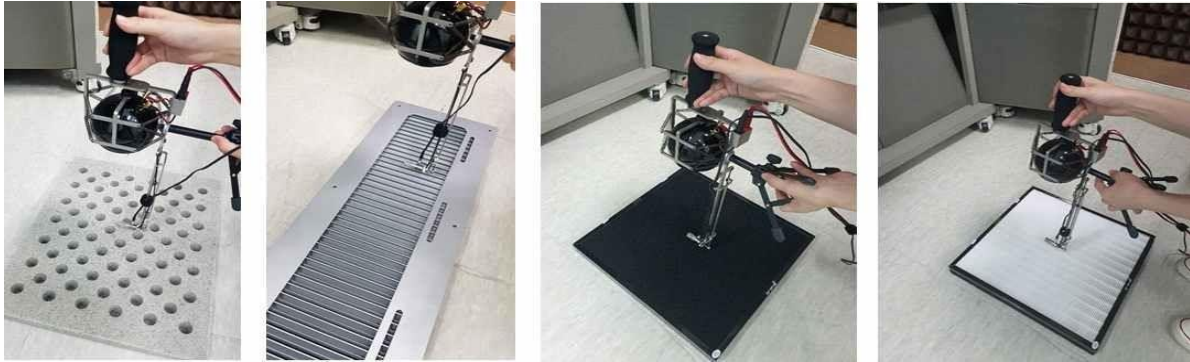
가) 적용 가능한 흡음/흡진 소재 성능 분석

(1) 음향성능시험

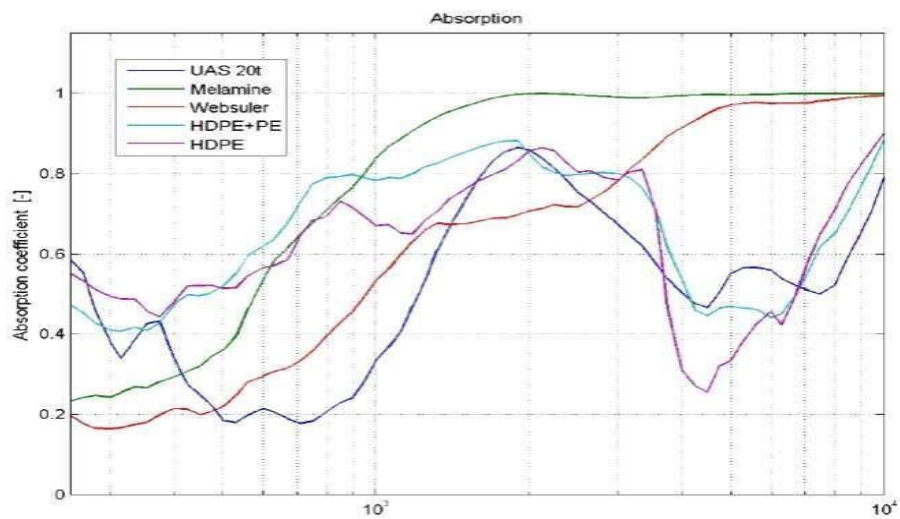
① 다양한 소재의 흡음재 및 에어필터

	<u>pre-filter</u> 소재 : 폴리에스테르		<u>웹슬러(초극세사 흡음재)</u> 소재 : 폴리프로필렌 (PP) 혹은 폴리에스테르 (PET) 섬유를 특수 공법으로 극세사 가공
	<u>HEPA filter</u> 소재 : 폴리에스테르, 폴리프로필렌, PET		<u>멜라민폼</u> 소재 : Melamine resin
	<u>Carbon filter</u> 소재 : 활성탄, 폴리에스테르 등		<u>HDPE</u> 소재 : 고강도 플라스틱
	<u>Electrostatic Air Filter A</u> 소재 : Quad-Layer Aluminum Frame-폴리우레탄폼		<u>HDPE+PE</u> 소재 : 고강도 플라스틱 + 폴리에스테르
	<u>Electrostatic Air Filter B</u> 소재 : Quad-Layer Aluminum Frame-폴리우레탄폼		<u>고강도골재흡음재</u> 소재 : 골재, 액상 폴리우레탄 바인더

② 흡음을 측정 결과 : PU센서를 이용해 시편단위의 흡음을 측정(500~2000Hz 주파수대역에서 비교적 신뢰할 수 있는 결과 제시)

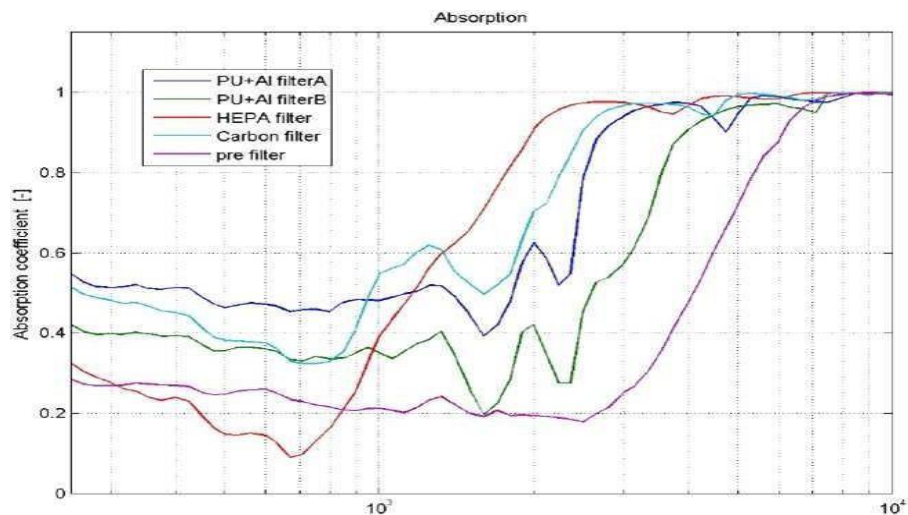


- 흡음재간 흡음률 비교 결과



: PU센서를 이용한 시편 단위 흡음률 시험 결과로, 두께가 두꺼운 HDPE+PE(95t)와 멜라민폼(50t)의 성능이 우수하며, 흡음재가 없는 간섭 구조의 HDPE나 비교적 얇은 UAS(20t), 웹슬러(5t이내)도 우수한 성능

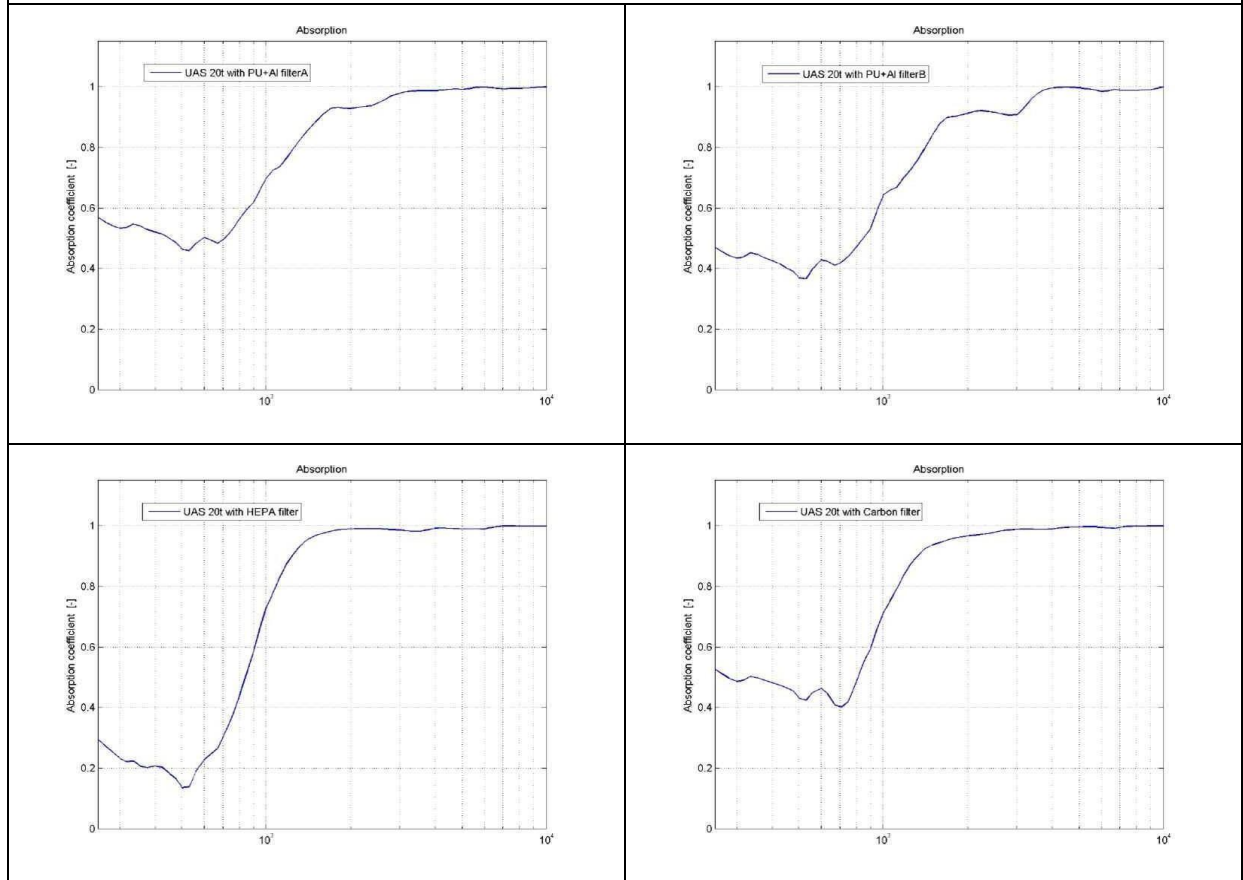
- 에어필터간 비교 결과



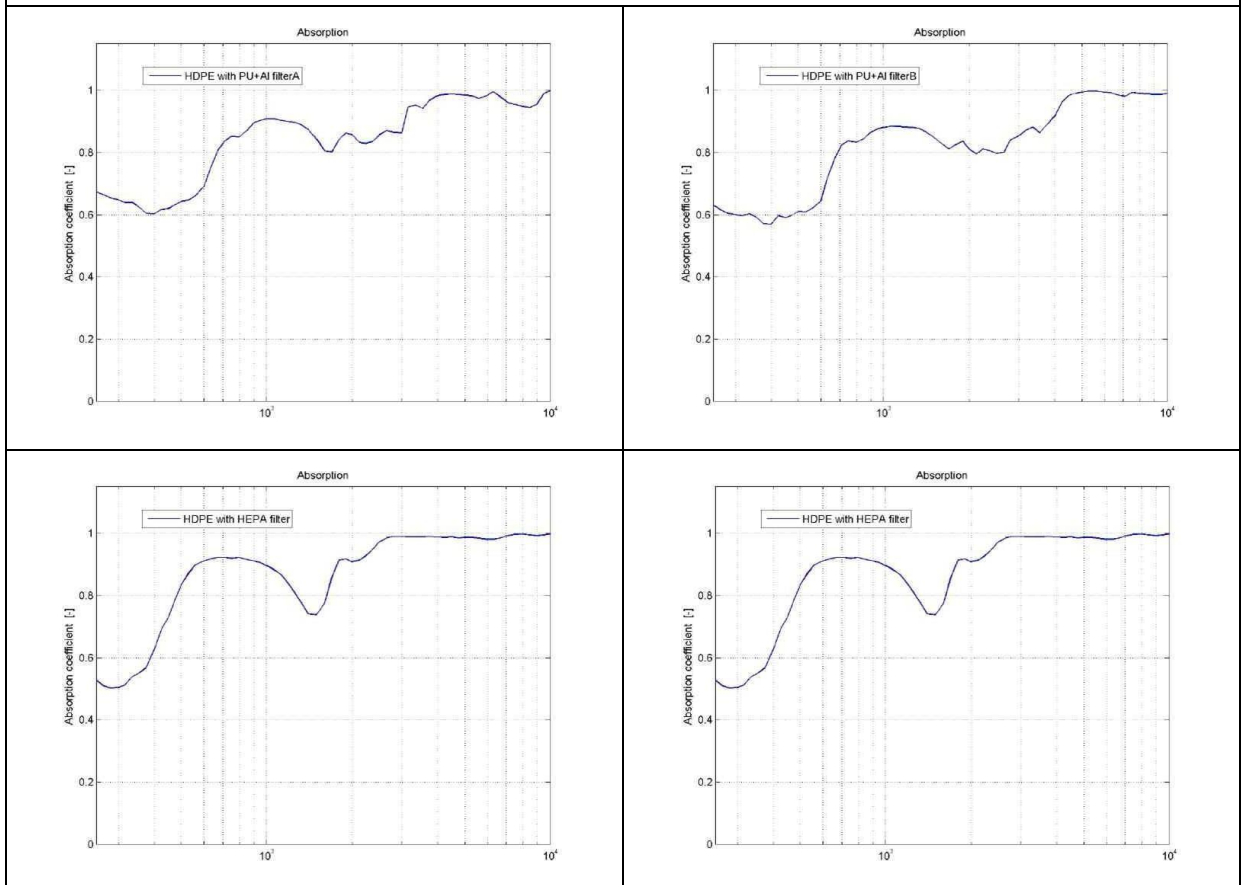
: 에어필터도 소재나 구조의 특성상 고주파 영역에서 우수한 흡음성능을 갖는데, 특히, 다층의 복합구조를 갖고 있는 HEPA 필터의 성능이 우수함

- 흡음재 + 에어필터 복합 구조의 흡음률

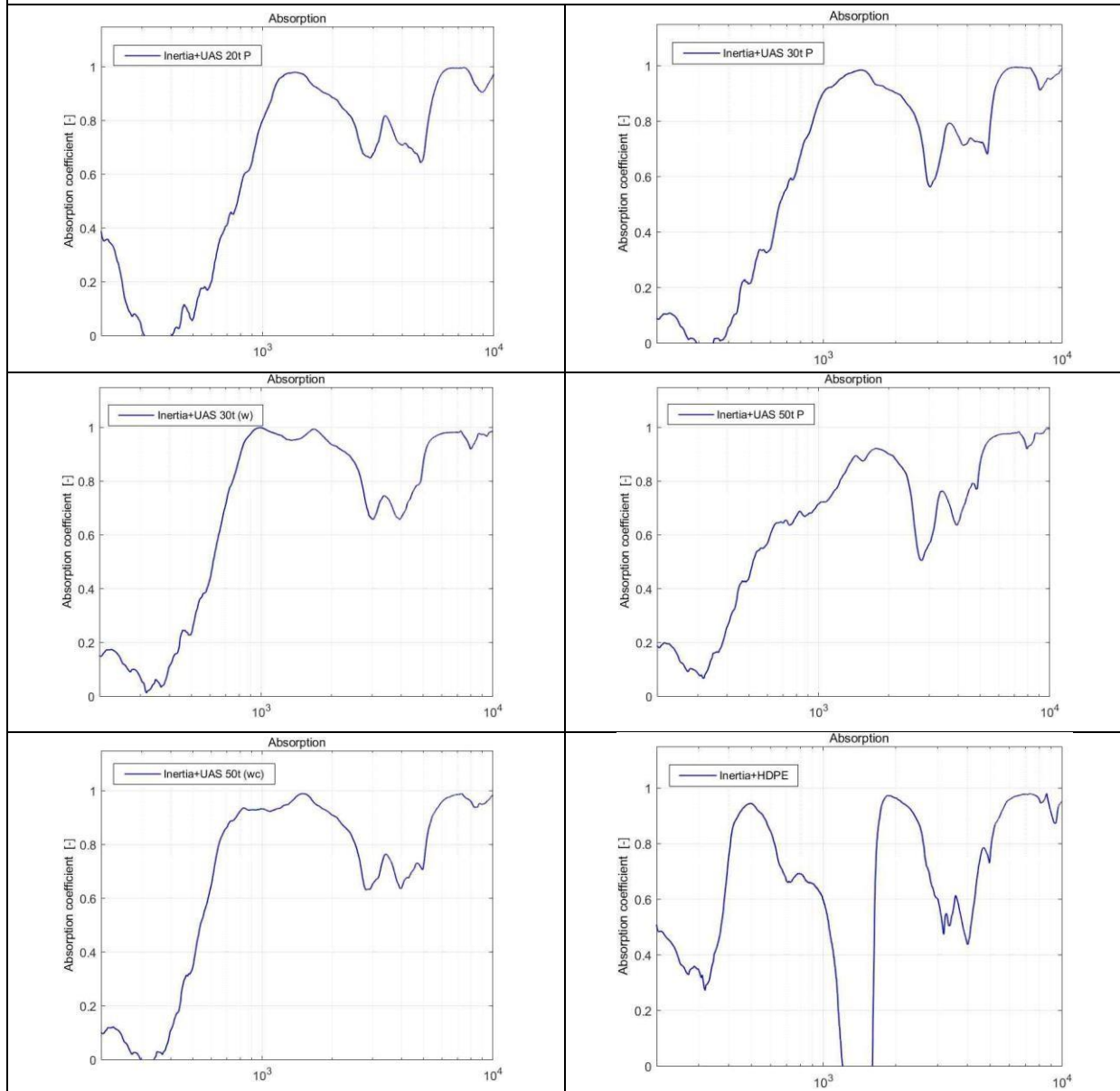
<고강도골재흡음재 + 에어필터 4종>



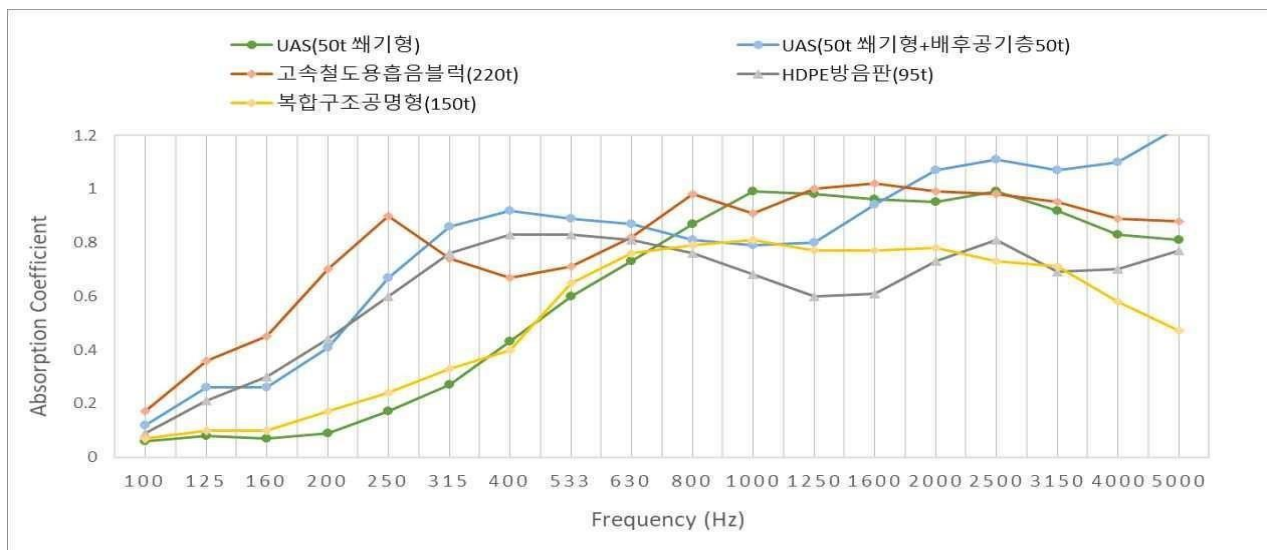
<HDPE + 에어필터 4종>



<관성필터 + UAS/HDPE 6종>



- 기존 흡음재의 흡음을 공인시험 결과 비교



: 내구성이 우수한 흡음재 5종의 공인성적서 상 흡음률 비교 결과로, 대체로 높은 흡음률을 나타내는데, UAS고강도골재흡음재가 상대적으로 얇은 두께에 비해 우수한 성능을 나타내며, 두께가 두껍거나 공명구조일 때는 저주파 영역에서 흡음률이 높아지는 것을 확인할 수 있음

[UAS고강도골재흡음재 성능(공인)]

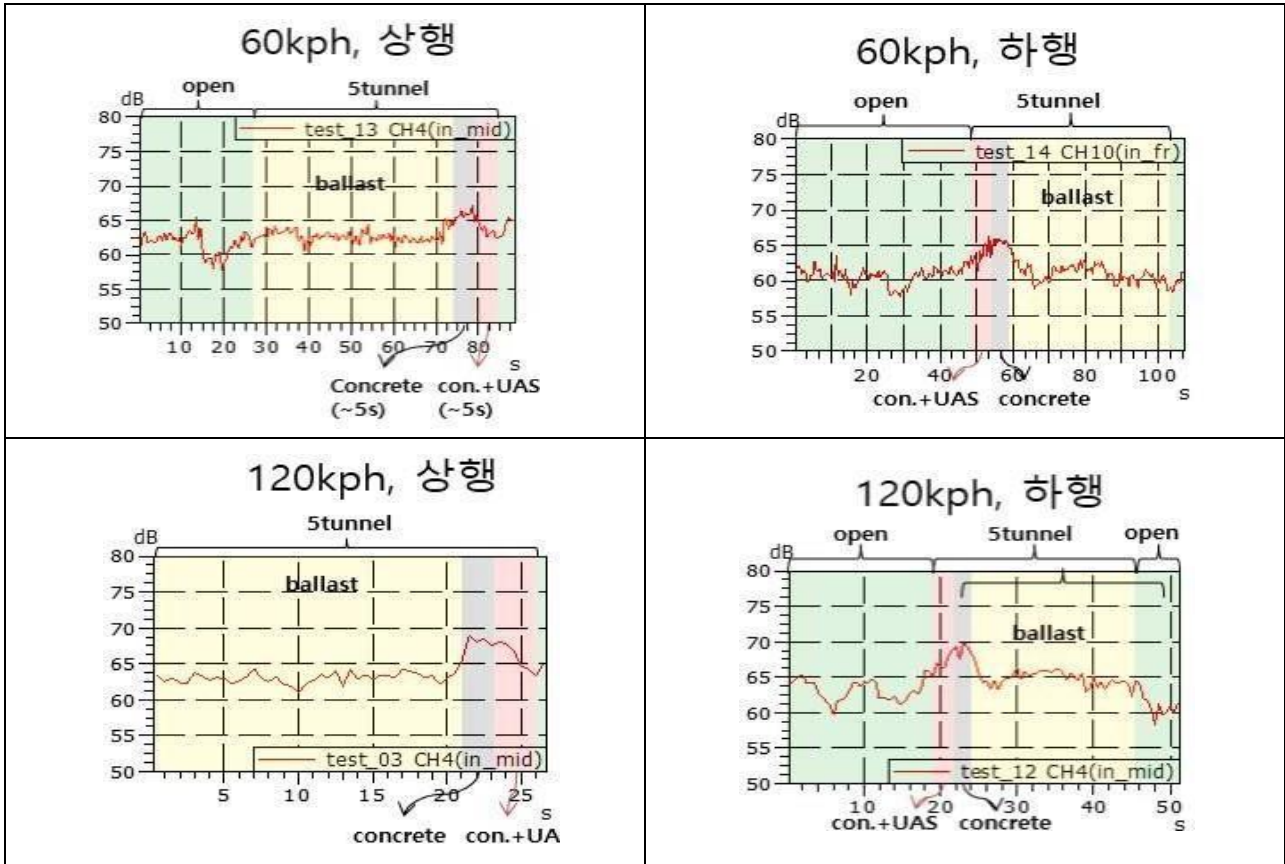
구분	목표치 *고속철도용 흡음블럭 성능기준	달성치
흡음률	NRC 0.70이상	NRC 0.85(웨이타입 기준)
불연성	준불연기준 적합	준불연/불연기준 적합
동결융해저항성	압축강도비 70%이상	94%
압축/휨/인장강도	12/1.5/1.2 MPa이상	13.7/1.7/4.1 Mpa

- ▶ 흡음재의 경우 시편 두께의 차이가 있으나, 대부분 흡음률이 높고, 에어필터의 경우에도 고주파 대역에서는 양호한 흡음률을 나타냄
- ▶ 흡음재와 에어필터의 조합에서는 흡음률이 높은 흡음재의 영향이 커 에어필터의 종류는 큰 의미를 갖지 않지만, 흡음재만 적용했을 때에 비해 복합구조에서 에어필터의 두께 및 간섭효과 등의 영향으로 대부분 저주파 대역에서 효과가 증폭되는 것을 확인
- ▶ 관성필터와 흡음재의 조합에서도 흡음재의 흡음률 기여도가 큰 편이나, 관성필터가 음향성능 향상에는 큰 기여를 하지 못하고, 시험에 사용된 관성필터의 소재가 Steel로 반사에 의해 고주파 대역에서 흡음률이 매우 저하되는 현상이 발생해, 실제 적용에서는 이를 보완할 수 있는 설계 필요

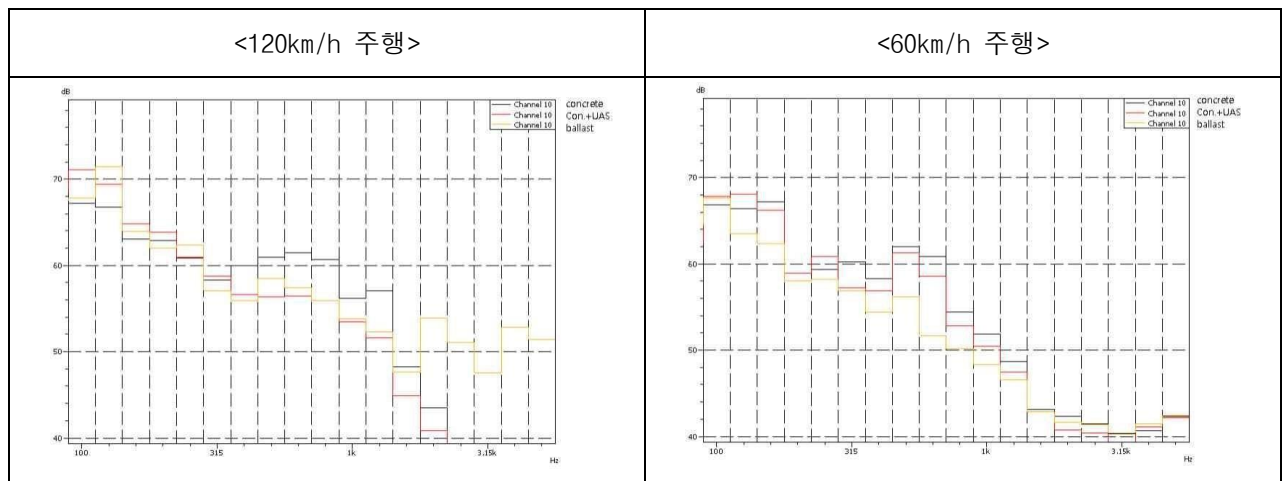
③ 시험터널에서 고강도골재흡음재의 소음저감효과 : 시험터널에서 실차 주행 시 터널 내 설치된 고강도골재흡음재에 의한 열차 실내 소음저감효과 분석



- 60kph/120kph 정속 주행시 구간별 객실 내 소음(LeqA,0.5s) 분석 결과



- 60kph/120kph 정속 주행시 구간별 객실 내 소음의 주파수 분석 결과



- ▶ 콘크리트 궤도에서 전반적으로 주파수대역별 소음 수준이 높은 것으로 나타났으며, 고강도골재흡음재 적용구간 > 자갈궤도 구간 순서로, 500~2kHz 대역에서 그 차이가 비교적 명확하게 확인됨.
- ▶ 특히, 전동소음의 기여도가 큰 120km/h 주행 시 하부에서 발생하는 전동소음이 고강도골재흡음재에 의해 흡음되어 소음도가 낮아지는 것을 확인

소재 및 구조 설계사양

(소재)

: 흡음재의 성능이 일정 수준 이상 (0.7 이상)이면 에어필터 등 집진부의 소재는 흡음보다는 유지관리 등 운영환경 적합성 여부로 선택

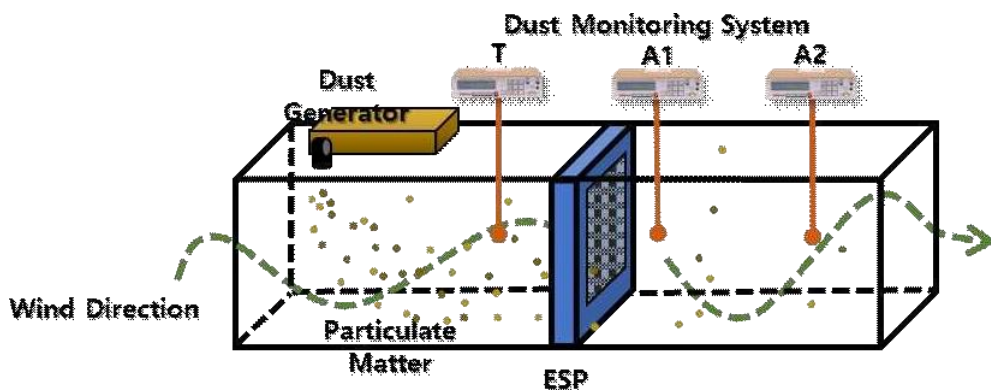
: 내구성, 불연성, 유지관리 용이성 등을 갖춘 **고강도골재흡음재**를 개발품의 주요 흡음재로 적용 검토
 : 다만 철도 시설물 외 방음벽에 적용시에는 무게가 가벼운 HDPE 등을 활용할 수 있어, 적용대상에 따라 다양한 복합구조 적용 가능

(구조)

: 흡음재와 에어필터 복합구조는 특히, 저주파 대역에서 성능 향상을 기대할 수 있으며, 다양한 구조 설계를 기반으로 음향 시뮬레이션 필요
 : 흡음재의 기여도가 크나, 관성필터 및 전기집진기의 소재와 구조에 따라서도 음향성능이 달라질 수 있어, 설계 시 고려할 필요

(2) 미세먼지 저감 성능시험

① 전기집진기의 근접장에서의 저감 효율 시험 : 철도 운영환경을 고려, 미세먼지 저감은 교환식 필터보다는 전기집진기 적용을 우선 검토하되, 제품 두께가 10cm 내외로 얇아야 하는 조건을 고려하여 집진부가 없는 방전부만 적용하여 입자의 조대화에 의한 저감 효과를 기대하였음. 또한, 근접장에서의 저감 효율을 분석하도록 시험 계획



<미세먼지 저감 성능 공동시험 챔버 구성도>

- 미세먼지 소스 : A1 더스트
- 측정지점 (괄호 안은 2차년도 테스트 위치 마크)

전기집진기 통과전 10cm 위치 : T1(T)

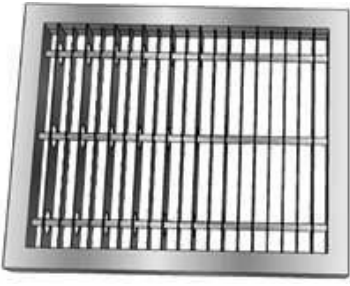
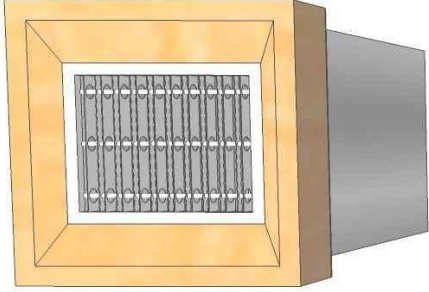
전기집진기 통과후 10cm 위치 : T2(A1)

전기집진기 통과후 20cm 위치 : T3(A2)

- 측정조건

유속 : 0.5/1/2 (m/s)

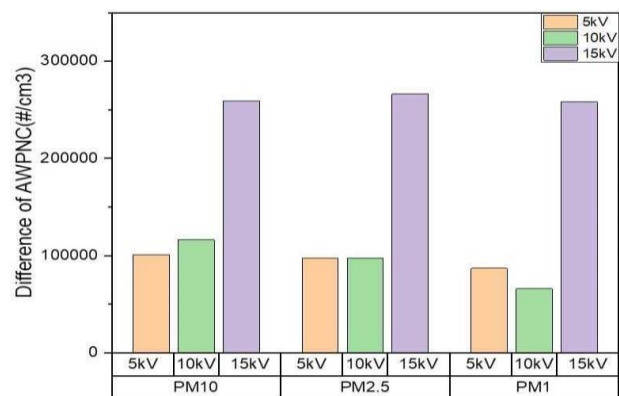
인가전압 : 5/10/15 (kV)

전기집진기 구조	풍동시험용 시편지그
	

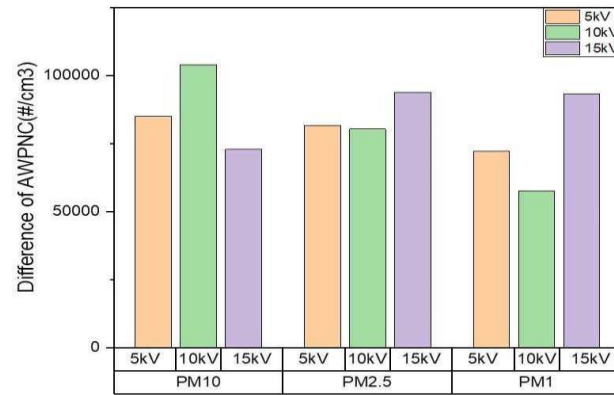


② 입자 크기별 저감량(수농도)

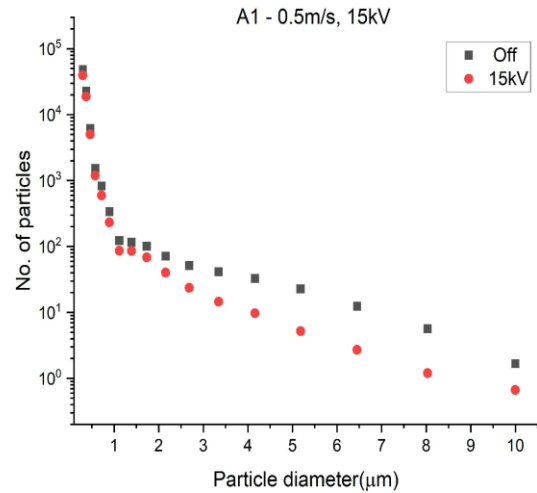
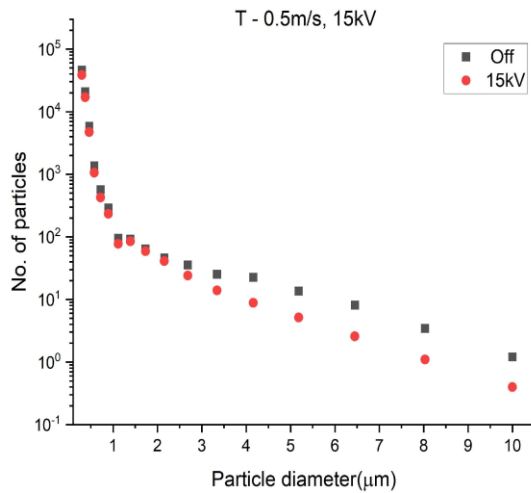
- T2, 0.5m/s



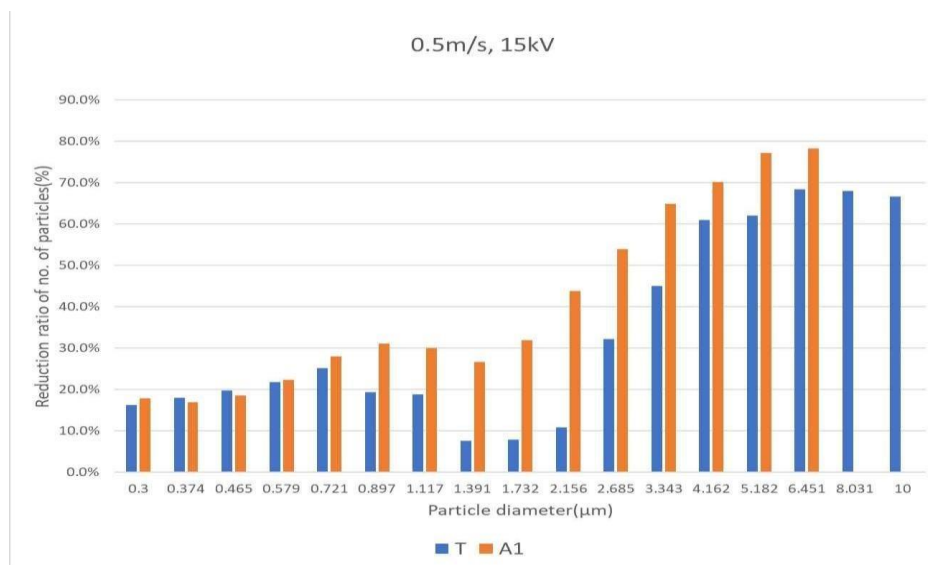
- T2, 1m/s



- (2차연도 시험결과) 0.5m/s, 15kV

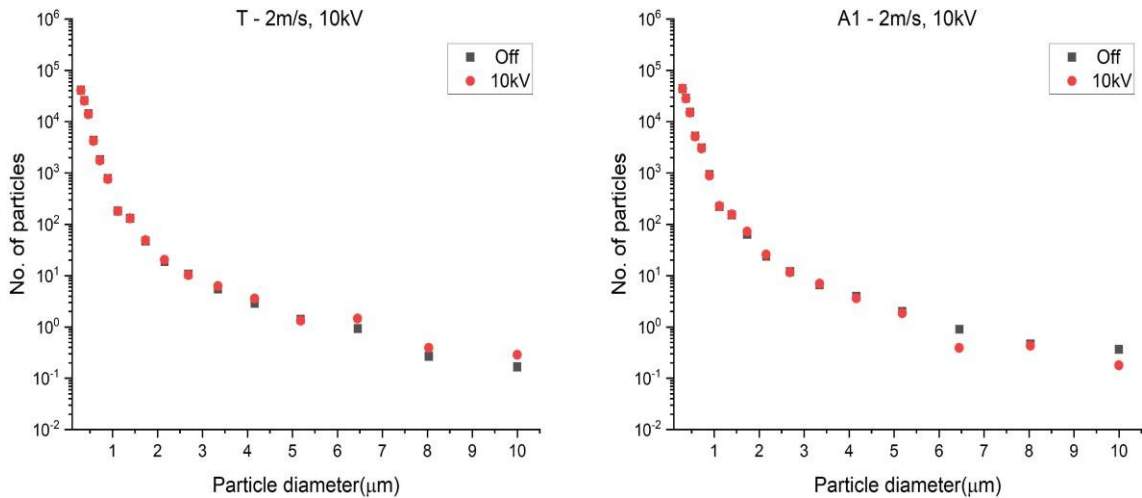


<전압 인가 전후 저감율>



: 유속이 저속인 경우, 입경에 따라 차이가 있으나 약 8~78% 저감율 확인

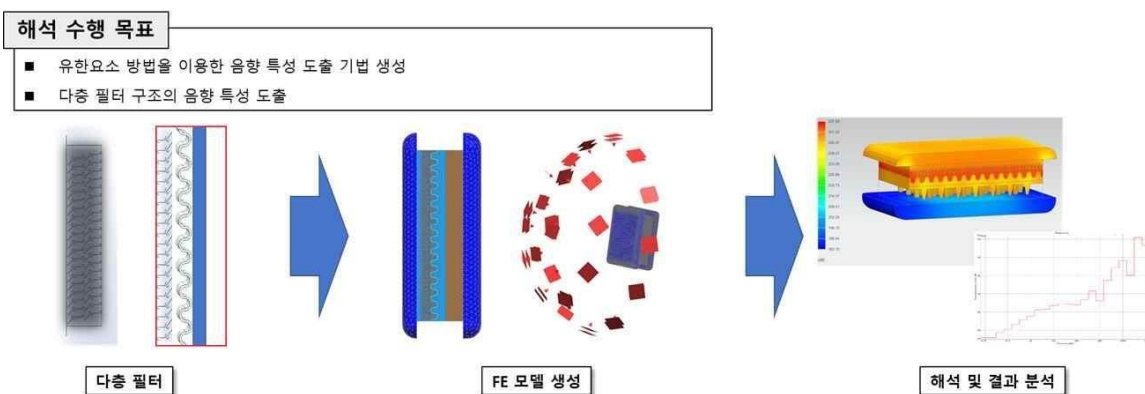
- (2차연도 시험결과) 2m/s, 10kV



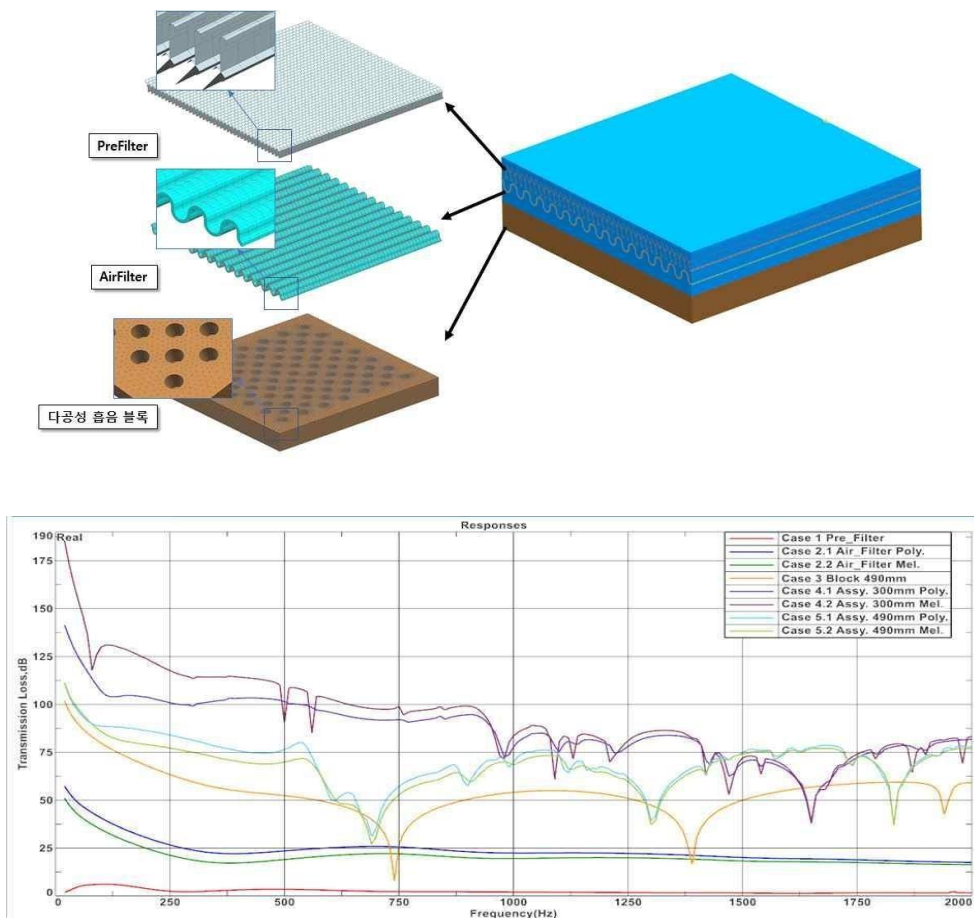
: 유속이 증가할수록 계수농도의 증감을 확인하기 어려움

- ▶ 풍동시험 결과, $3\mu\text{m}$ 이하의 미세입자에서 전기집진기의 저감효과가 있는 것으로 확인됨 - 전기집진기의 원리가 미세입자를 하전시켜 응집, 조대화시키거나, 반대 극성의 집진판에 집진되도록 하는 것으로 10cm의 근접장에서도 효과 확인
- ▶ 풍동시험에서 전기집진기를 통과하기 전 위치(T1)에서도 발생된 전하의 자유로운 이동으로 미세먼지 저감효과가 나타남
- ▶ 1차년도 시작품은 저속에서 저감 효과가 있음을 확인하였으나, 입경별 성능 차이가 크고 유속이 증가하면 급격히 성능이 저하되며, 유속, 거리, 전압, 외기 농도에 의해서도 결과 차이가 커 안정적인 성능 확보 어려움

(3) 복합구조 음향해석



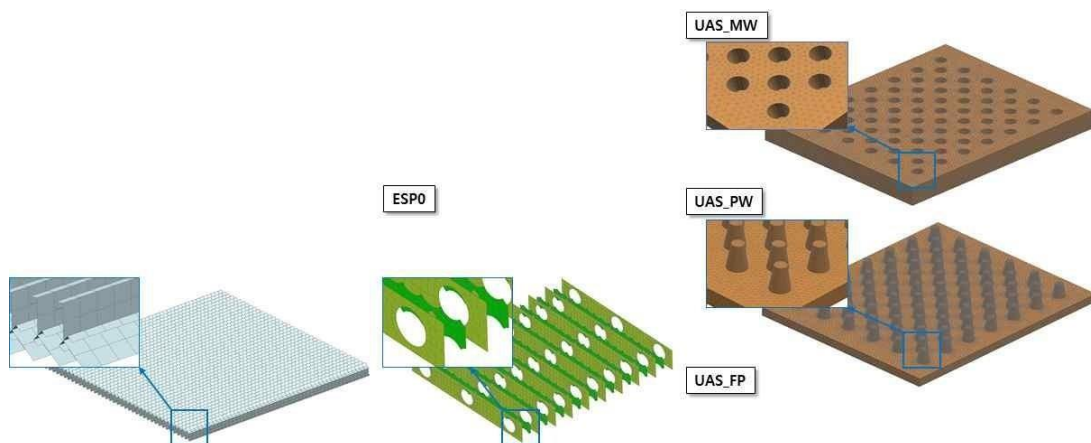
- TypeA : 프리필터(관성필터)+에어필터(폴리우레탄등)+고강도골재흡음재의 복합구조

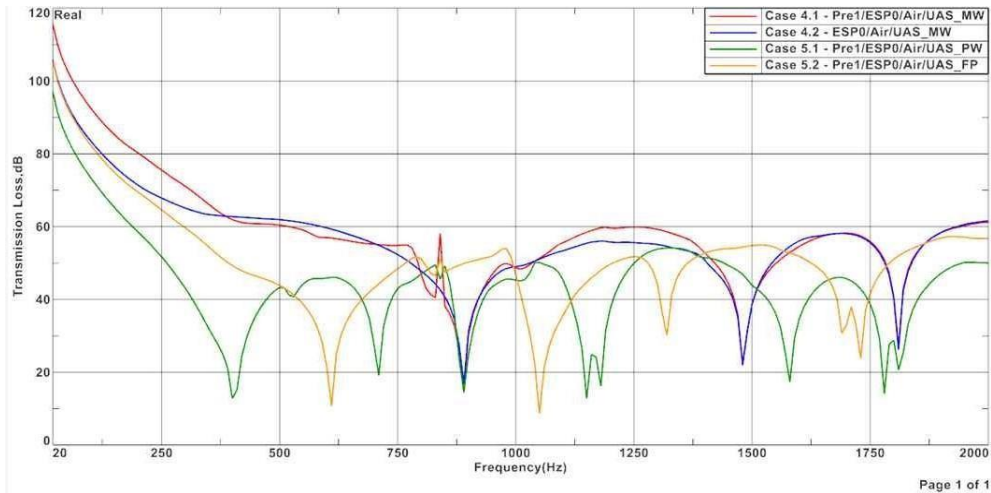


▶ 단품의 성능비교 : 고강도골재흡음재 > 에어필터 > 프리필터

▶ 복합구조의 성능비교 : 단일 성능의 합과 유사한 결과이나, 고강도골재흡음재의 공진주파수 연성효과 관찰됨

- Type B : 프리필터(관성필터) + 전기집진기 + 고강도골재흡음재의 복합구조





▶ 관성필터 및 전기집진기는 저주파에서 유의미한 성능이 있으나, 중고주파 이상에서는 흡음재의 성능이 결정적임

▶ 전기집진기 방전패널의 각도를 조절해 음향성능을 비교한 결과, 패널의 각도를 음파 진행방향의 $45^{\circ} \pm 10^{\circ}$ 로 기울일 경우, 소음저감효과도 향상하면서 열차풍이 유입되는 가이드 베인으로서 역할도 할 수 있어 미세먼지를 포함한 공기의 유입도 원활할 것으로 기대

설계 전략

(흡음)

: 고강도흡음재 적용으로 목표 수준의 흡음률을 달성할 수 있으며, 집진 모듈과의 최적 조합 설계를 통해 흡음률을 향상시킬 수 있을 것으로 예상

(집진)

: 기존 전기집진기를 그대로 적용 시에는 부피가 커지고 두꺼워지며, 유지관리도 어려움이 있을 것으로 예상되며, 두께를 줄이기 위해 기존집진기의 방전부만 적용한 입자의 조대화에 의한 저감 방식은 집진 성능이 안정적으로 확보되지 않은 문제점이 있음

: 이를 해결하기 위하여 집진 모듈 개발에 새로운 기술 적용이 요구되며, 2018년 공개된 미국 MIT의 이온풍을 추진력으로 사용한 무엔진 항공기 시험 성공 사례에서 착안하여 소음저감형 팬리스 집진장치를 개발하게 됨

5) 소음/마모입자 동시제거 액티브 시스템 설계 및 시험실 성능시험

가) 1차연도 : 소음/미세먼지 동시제거 시스템 기초설계안 도출

: 프리필터+전기집진부+고강도골재 흡음재(또는 발포다공성금속재) 구성

- 철도 운영환경에 적합한 흡음/흡진 소재 성능 분석 및 운영기관의 현장적용성 자문의견을 토대로 설계안 도출
- 흡음재는 내구성이 우수하고 불연 성능을 만족하는 고강도흡음재를 적용
- 미세먼지 저감을 위한 프리필터와 집진모듈은 금속재로 내구성을 확보하고, 집진모듈은 전기집진기(ESP)의 방전부만 적용하여 미세먼지 입자의 조대화를 통한 저감 효과를 목표로 함



▶ 특허등록(제10-2212450호) : 소음 미세먼지 동시 저감 장치

(1차연도 설계안 한계)

: 흡음성능은 목표(흡음률 0.7이상)를 만족하나, 전기집진기의 방전부와 프리필터만으로 집진성능 목표(50%이상 저감)를 만족하기 어려운 수준으로 혁신적인 기술 개발이 요구됨

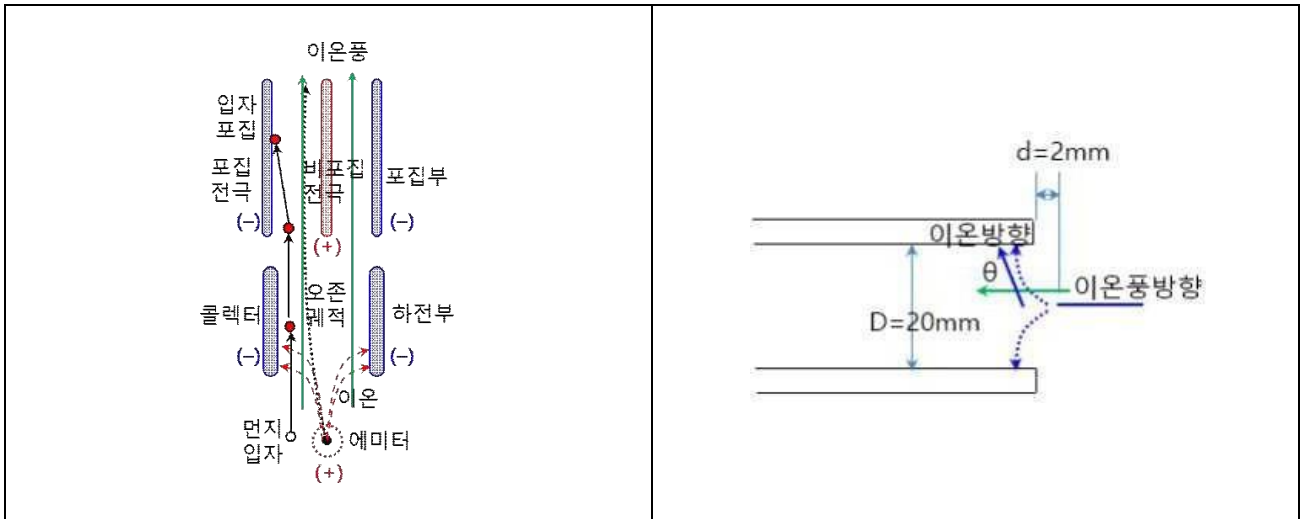
(기술적 난제)

- : 1차년도 중간모니터링 점검의견을 반영하여 두께 $100\pm 20\text{mm}$ 기준을 만족하는 장치 개발 목표 상향
- : 철도 현장 적용 시 필터 교환 뿐 아니라 송풍팬 관리도 현실적으로 어려움
- : 구조의 단순화와 유지관리 용이성이 필수 요건이며, 동시에 소음·미세먼지 저감 목표 성능 만족해야함

나) 2차연도 : 이온풍을 적용한 팬리스 집진장치 개발

: 송풍팬이 없고, 물세척 가능하며, 강제흡배기 가능한 액티브 방식의 소음/미세먼지 동시저감장치 개발

(이온풍 발생 팬리스 집진장치 원리)

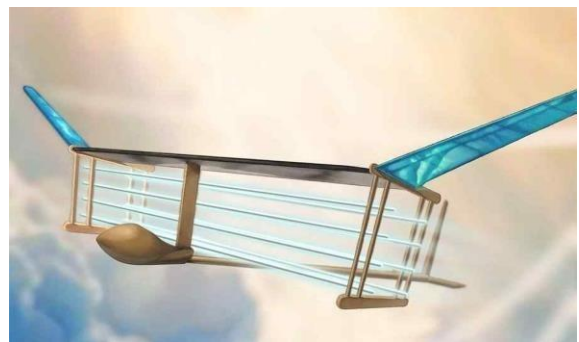
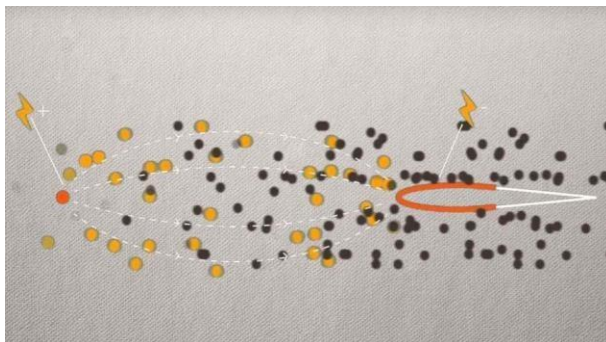


<세부 동작원리>

에미터(Emitter, 금속재 와이어 또는 핀)와 콜렉터(Collector, 금속재 판) 사이에 12kV 정도의 고전압이 인가되면 에미터 주변의 Plasma영역(빨간 점선 원의 내부)에서 양이온이 발생하여 콜렉터로 이동하는 코로나방전이 발생함. 이동하는 이온이 중성 공기분자와 연속충돌하여 위로 향하는 이온풍을 생성하고 이에 따라 먼지입자가 아래에서 유입되어 위로 이동함.

* 이 때 이온이 먼지입자에 충돌하여 표면에 부착되므로 먼지입자는 양전하가 되어 전기장이 인가된 포집부에 들어가면 쿨롱의힘(비포집전극과의 척력 및 포집전극과의 인력)에 의하여 (-)전극으로 이동하여 포집됨. 또한, 플라즈마 영역에서 생성된 오존은 전기적 극성이 없기 때문에 이온풍의 유선을 따라 공기정화기 밖으로 배출

※ 이온풍을 추진력으로 사용한 무엔진 항공기

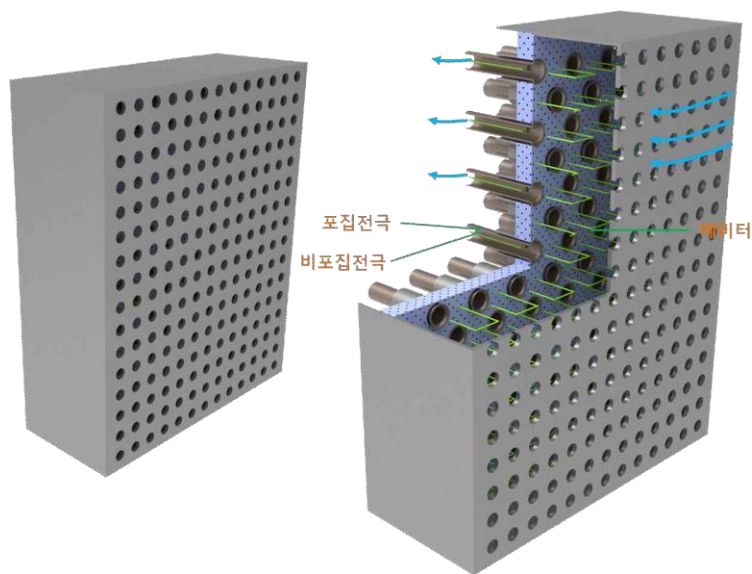


(출처: <https://news.mit.edu/2018/first-ionic-wind-plane-no-moving-parts-1121>)

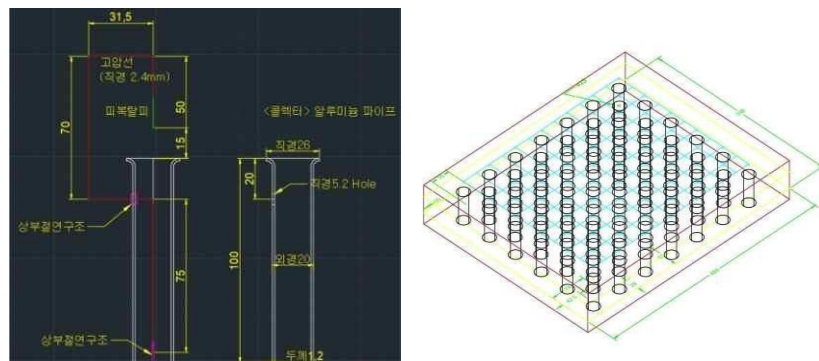
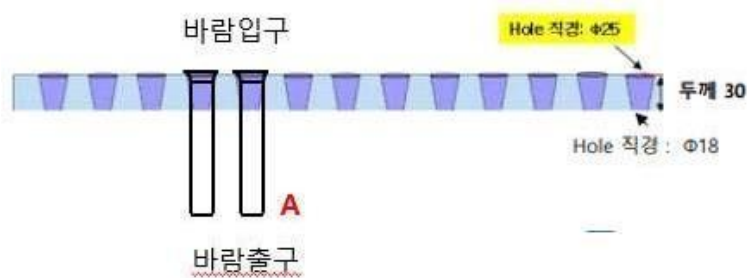
(1) 시작품 설계안 도출 및 제작

① 관통형 팬리스 집진장치 내장 방음벽체

- 고강도의 우레탄 접착 규사(UAS) 흡음재에 저주파 소음 저감 성능을 향상하기 위해 일정한 크기의 홀을 뚫은 형태인 관통형 방음벽체를 그대로 활용
- 관통되는 홀을 활용하여 홀의 전면에 방전부 핀을 설치하고 홀 내부 표면은 금속재로 코팅하거나 금속재 원통을 부착하여 포집부로 활용
- 전면부로 공기가 유입되어 홀을 통과하면서 미세먼지 입자가 하전되어 원통형 금속재 포집부에 부착되고, 정화된 공기는 후면으로 배출
- 승강장 하부 및 터널 개구부/바닥 수로 덮개 등으로 활용 가능



[관통형 팬리스 집진장치 내장 방음벽체 최종설계안]



[관통형 팬리스 집진장치 세부설계안]

(장점)

- 관통형 흡음재의 구조를 그대로 활용하면서 먼지 입자를 저감하는 형태로, 적용 위치에 따라서는 최소한의 공간만 요구됨

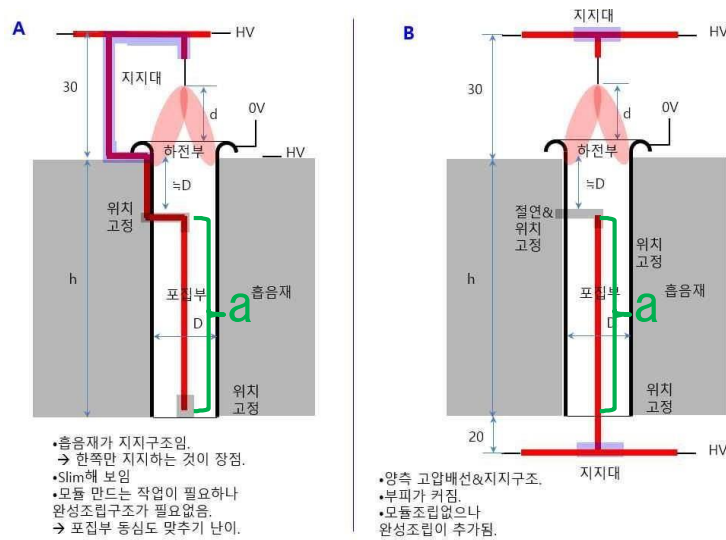
(단점)

- 집진기를 홀마다 삽입하는 형태로 제작 난이도가 높아 경제성 측면에서 불리하며, 오작동 시 수리 등 유지관리 어려움 발생
- 벽체 부착형으로 사용시에는 배출되는 공기의 유로 구조가 별도로 요구되며, 두께 목표 사양을 만족하기 어려움

▶ 주요 개발내용

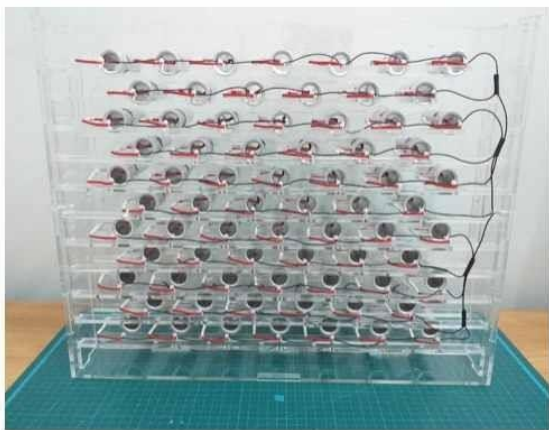
[흡음재 홀에 삽입된 관통형 집진기의 구조]

고전압부 'a' 가 금속파이프 형태인 콜렉터 내부에 삽입된 형태로, 고전압부의 인입 위치에 따라 아래와 같이 두 개의 구조가 제시되며, B 형태가 양산에 유리함



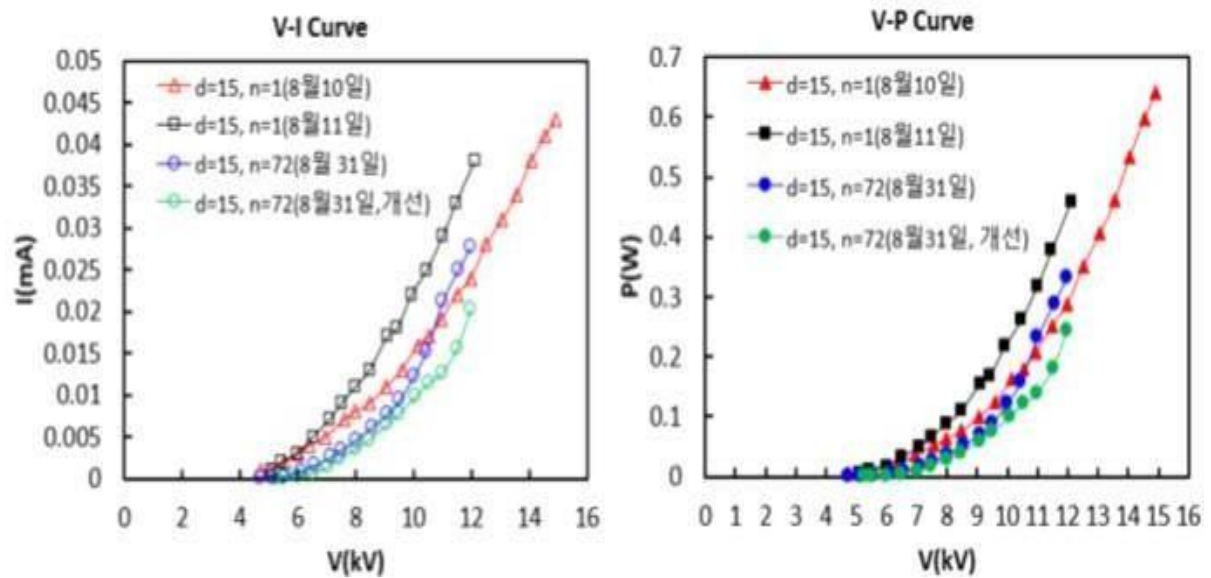
▶ 특허등록(제10-2284836호) : 집진장치 (관통형 팬리스 집진장치 내장 방음벽체)

- 집진모듈 방전 성능 시험 : 스파크 없이 25분간 동작 확인(코로나방전 확인)





- 집진모듈 전압-전류 측정



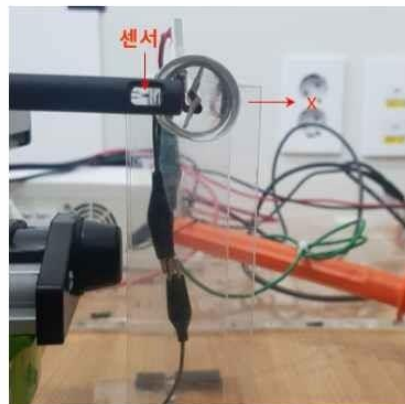
<2020_08_31>				
d=15mm, n=72			n=1 환산	n=1 환산
전압(kV)	전류(mA)	전력(W)	전류(mA)	전력(W)
5.27	0.001	0.00527	0.0000	7.32E-05
5.51	0.003	0.01653	0.0000	0.00023
6	0.014	0.084	0.0002	0.001167
6.51	0.044	0.28644	0.0006	0.003978
7.03	0.1	0.703	0.0014	0.009764
7.48	0.17	1.2716	0.0024	0.017661
8.02	0.254	2.03708	0.0035	0.028293
8.47	0.331	2.80357	0.0046	0.038938
9.11	0.466	4.24526	0.0065	0.058962
9.51	0.557	5.29707	0.0077	0.07357
10.09	0.705	7.11345	0.0098	0.098798
10.53	0.823	8.66619	0.0114	0.120364
10.98	0.903	9.91494	0.0125	0.137708
11.51	1.116	12.84516	0.0155	0.178405
11.99	1.453	17.42147	0.0202	0.241965

- 관통형 팬리스 집진기 속도 분포 측정

<속도분포 측정 set up>



<출구에서 바라본 사진>



<속도분포 측정조건>

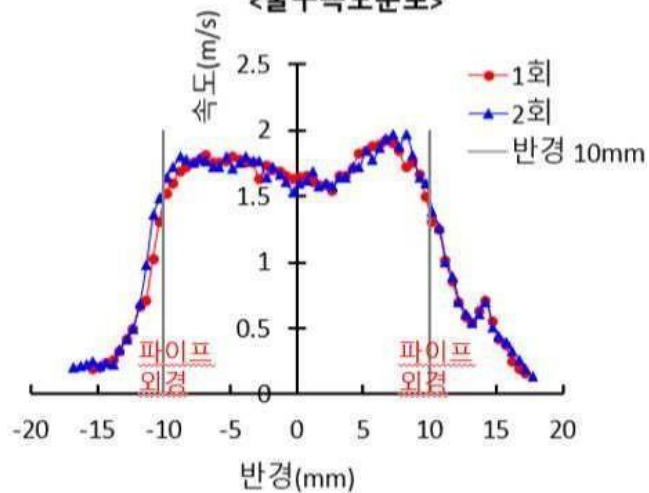
- 측정전압 : -12.2kV
- 전류 0.026mA , 전력 0.32W
- 방전부-포집부 간 간격(d) : 15mm

<측정방법>

- x축 이송장치 이용하여 열선풍속계를 x축 방향으로 0.5mm 간격으로 이동하면서 총 70개 포인트에서 속도 측정 (2회)



<출구속도분포>



: 벽면에서 속도가 증가하는 분포를 나타내며, 이는 이온이 방전부 끝에서 포집부로 진행하면서 중성분자를 포집부로 붙이기 때문으로 분석됨

: 출구속도 분포가 중앙선 기준 비대칭인 이유는 고압선이 정확하게 중앙에 위치하지 않고, 단부의 절연구조도 비대칭이기 때문으로 분석됨

: 파이프 외경 이내에서의 속도 평균은 1.72m/s

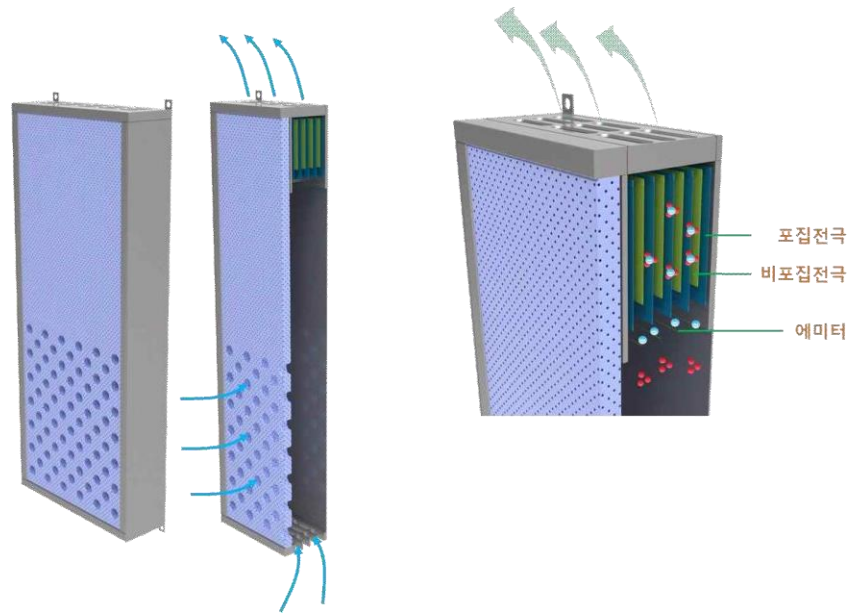
- 관통형 팬리스 집진기 내장 방음벽체 시작품 제작



: 관통형 시작품은 30mm 두께 관통형 흡음재 홀에 길이 100mm의 집진모듈을 삽입한 형태로 가로 490mm, 세로 400mm, 홀 개수 72개, 홀 직경 21mm 이며, 시작품의 최종 두께는 187mm이나 그 중 77mm는 집진 모듈을 보호하기 위한 판넬 두께 등이 포함되었으며, 판넬을 제외하더라도 성능은 동일하고 전체 두께는 110mm로 두께 목표 사양 만족함

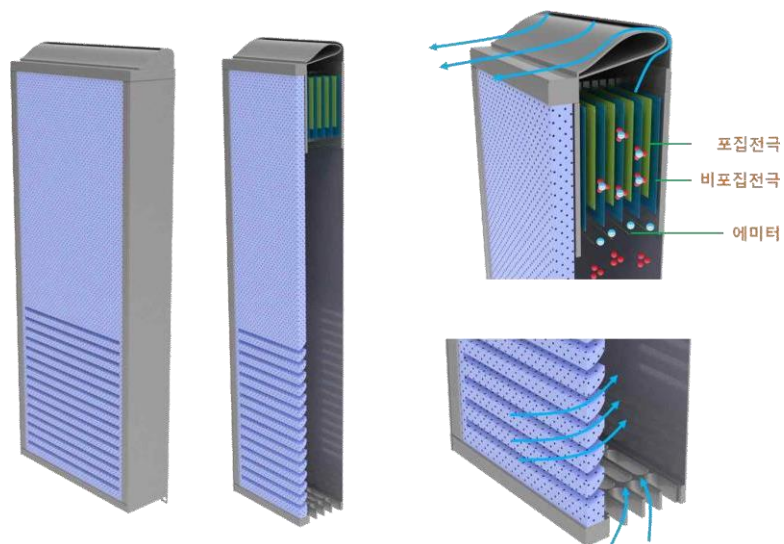
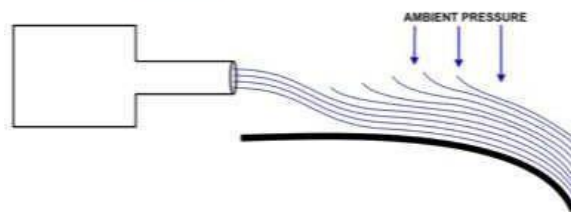
② 직선형 팬리스 집진장치 내장 방음벽체

- 고강도의 우레탄 접착 규사(UAS) 흡음재의 관통형과 평판형을 모두 사용할 수 있고, 팬리스 집진장치를 별도의 모듈로 제작하여 흡음재 후면의 상부나 하부에 삽입하는 형태
- 직선형 팬리스 집진장치는 와이어 등의 방전부와 판형의 포집부/비포집부를 직선으로 배치하여 이온풍을 발생
- 집진장치의 위치에 따라 하부나 상부, 또는 흡음재의 홀로 공기가 유입되어 집진장치의 방전부를 통과하면서 미세먼지 입자가 하전되어 금속재 판형 포집부에 부착되고, 정화된 공기는 상부나 하부로 배출
- 관통형 보다 활용범위가 높고, 터널 벽체, 역사 승강장, 일반 방음벽에 적용 가능
- 유입/배출되는 공기의 유속과 방향을 조절하여 성능을 향상하기 위해 코안다 효과를 발생할 수 있는 구조도 설계함

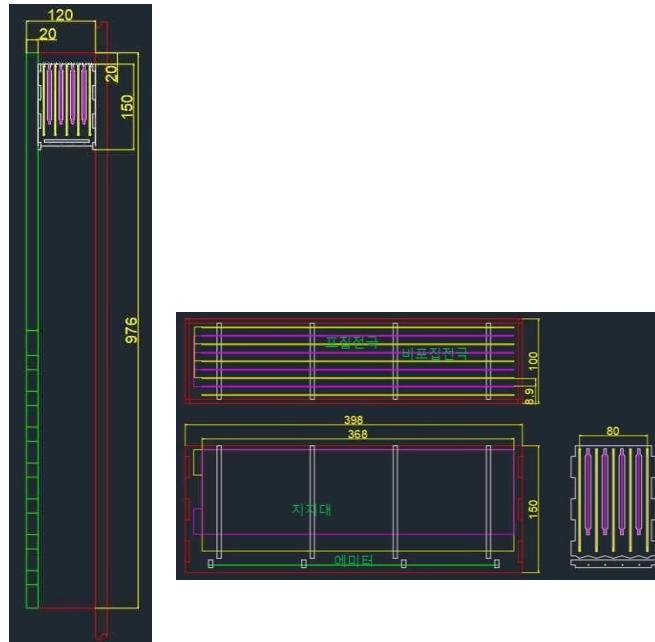


[직선형 팬리스 집진장치 내장 방음벽체 최종설계안-1]

Coanda effect(Wikipedia)



[직선형 팬리스 집진장치 내장 방음벽체 최종설계안-2]



[직선형 팬리스 집진장치 세부설계안]

(장점)

- 집진기 구조가 간단하여 제작이 쉽고 경제성이 확보되며 설치 후 유지관리가 용이함
- 흡음재의 형태에 관계없이 집진기 설치 가능

▶ 주요 개발내용

[흡음재 내부에 삽입된 직선형 집진기의 구조]

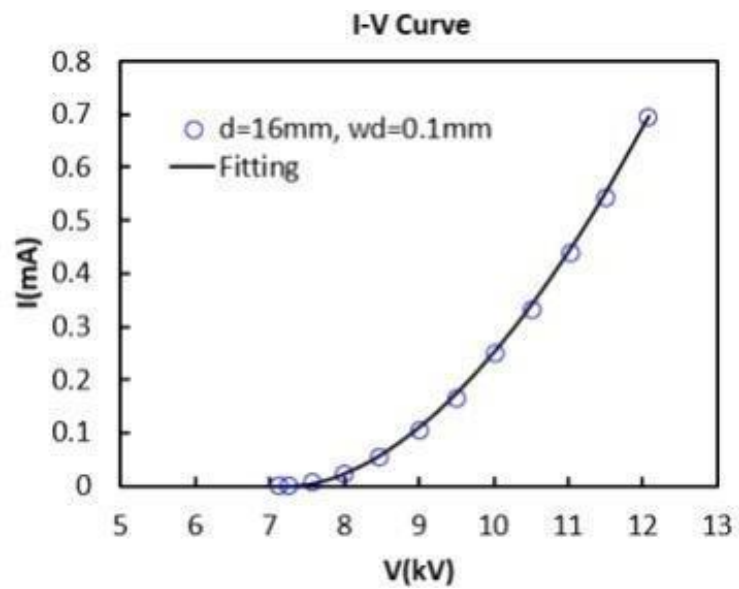
- 고강도 흡음재로 외부 충격 및 오염에 강건한 구조로 집진기는 흡음재 내부에 삽입된 구조
- 위 설계안-2와 같이 코안다 효과를 적용한 공기 유입/유출부 구조

▶ 특허등록(제10-2284828호) : 집진장치 (직선형 팬리스 집진장치 내장 방음벽체)

- 직선형 집진기 집진모듈 성능시험
(집진모듈) 폭 400mm, 높이 150mm, 두께 120mm로 제작
(이온풍의 배출 면적) = 0.048m^2



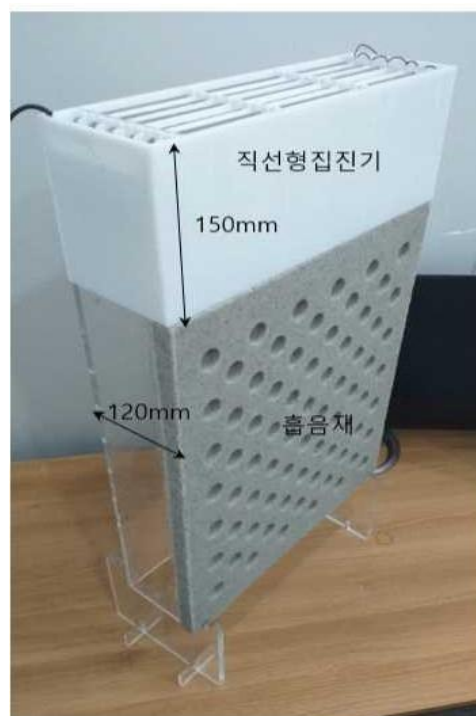
- 집진모듈 출구 이온풍 속도 = 0.7~1.1m/s
- 집진모듈 전압-전류 측정



- 집진모듈 미세먼지 포집효율

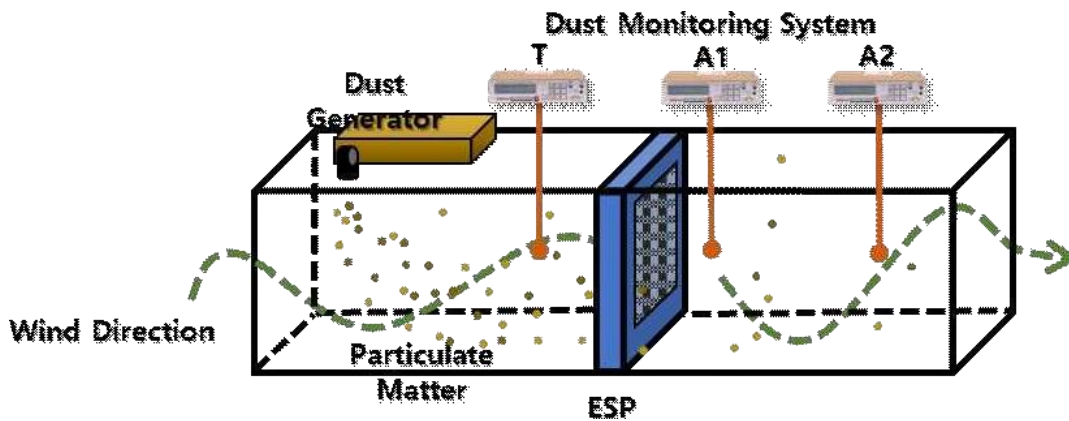
<입자 수농도 측정결과>			
입경범위(um)	주위	출구농도	포집효율(%)
0.3~0.5	12919	0	100
0.5~1.0	2930	0	100
1.0~2.5	306	0	100
2.5~5.0	30	0	100
5.0~10	4	0	100
10~	3	0	100

- 직선형 팬리스 집진기 내장 방음벽체 시작품 제작



(2) 시제품 시험실 성능시험

① 미세먼지 저감 성능시험 (풍동시험)



- 미세먼지 소스 : A1 더스트

- 측정지점

전기집진기 통과전 10cm 위치 : T

전기집진기 통과후 10cm 위치 : A1

전기집진기 통과후 20cm 위치 : A2

- 측정조건

유속 : 0.5/1/2/3 (m/s)

인가전압 : 12 (kV)

- 관통형 집진기 포집효율 측정

관통형 집진기 부착전

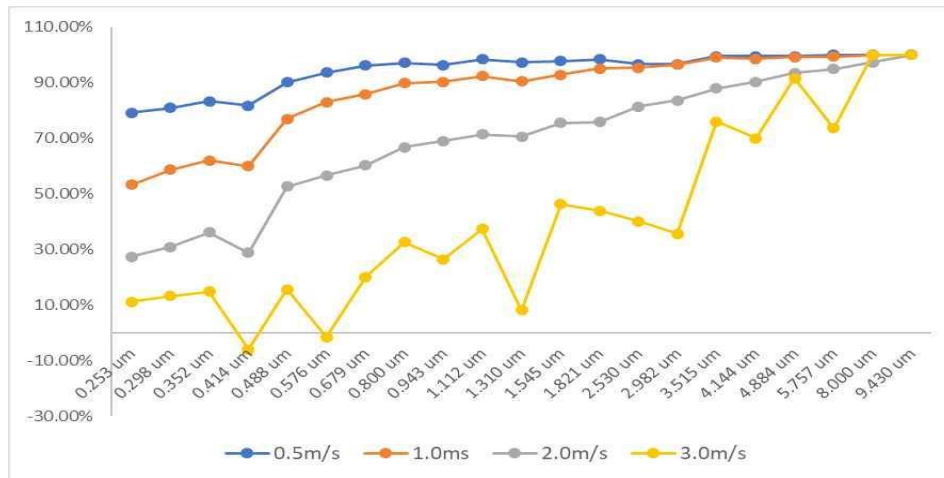


부착후(전면)



부착후(후면)

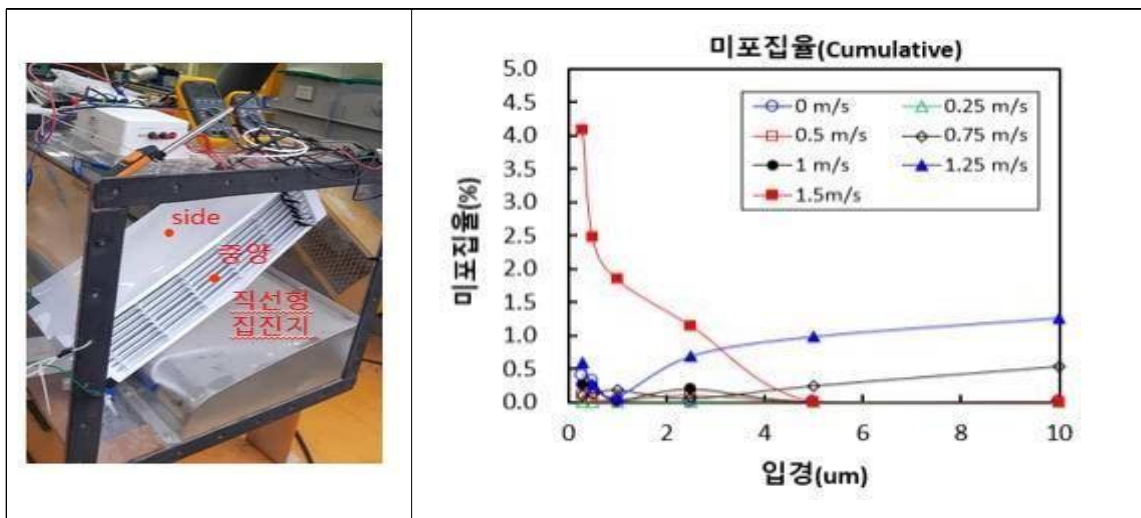




: 유속 0.5에서 입경별 포집효율은 최소 70% 이상, 1m/s에서는 최소 50% 이상, 2m/s에서는 30% 이상 이며, 3m/s에서는 3μm 이하에서는 성능이 저하되나 입경이 큰 경우에는 70% 이상으로 1차년도 시작품에 비해 상당히 높은 저감을 확인

- 관통형 집진기 포집효율 측정 (간이시험)

: 직선형 집진기를 통과한 공기(전면 중앙부 측정)와 집진기를 통과하지 않은 공기(측면 측정)의 먼지 농도 비교



: 0~1.25m/s 유속에서는 99% 수준의 포집효율

▶ 1차년도 시작품과의 성능 비교를 위해 풍동에서 미세먼지 저감 성능시험을 수행하였으며, 전반적으로 2차년도 시작품의 성능이 매우 우수함을 확인

▶ 다만, pass 시험은 주로 송풍팬이 있는 집진기의 성능시험에 적합한 것으로, 팬리스 집진장치를 활용한 2차년도 시작품 성능시험은 실내공기청정기 시험규격을 활용하는 것이 보다 적절한 것으로 판단

② 미세먼지 저감 성능시험 (실내공기청정기 시험규격, 챔버시험)
(한국공기청정협회 SPS-KACA002-0132:2018)

- 시험기관 : KCL

- 시험조건 : 상기 규격의 부속소 A '청정화능력 시험' 중 A.2 시험조건의 청정화 능력 30m³ 챔버 시스템과 동일한 조건에서 진행함

- 챔버환경

구 분	환경조건	
	온도(℃)	상대습도(%)
0.3 μ m 저감 효율	23 $\pm$ 5 ℃	55 $\pm$ 15 %

- 시험절차

- 시료는 바닥에서 약 70cm 높이 벽면에 위치한 탁자에 설치
- 시험챔버내의 배경입자농도는 입자크기가 0.3 μ m인 입자에 대해 3 $\times$ 10⁵ 개/m³ 이하가 되도록 함

- 자연감소 입자 농도 측정

- 챔버 내부 교반기 작동과 동시 입자발생기를 통해 KCl입자를 발생함
- 기준 챔버 내부 입자농도 포화까지 발생 후 교반기와 입자발생기 작동을 중지하며, 입자농도가 감소하기 시작하는 시점을 t=0으로 하고 이 시점에서의 입자농도를 초기농도로 함
- 20분간 입자농도를 Grimm OPC로 측정함
- 측정된 데이터를 이용하여 아래 식을 적용 계산함

$$eff(\%) = \left(1 - \frac{C_{on}}{C_{off}}\right) \times 100 \quad (1)$$

여기서,

Con : t=20에서의 입자농도 (μ g/m³)

Coff : t=0에서의 입자농도 (μ g/m³)

- 운전감소 입자 농도 측정

- 챔버 내부 교반기 작동과 동시 입자발생기를 통해 KCl입자를 발생함
- 기준 챔버 내부 입자농도 포화까지 발생 후 교반기와 입자발생기 작동을 중지하며, 입자농도가 감소하기 시작하는 시점에서 시료를 운전시키고 3분후 시점을 t=0으로 함
- 20분간 입자농도를 Grimm OPC로 측정함
- 측정된 데이터를 이용하여 아래 식을 적용 계산함

$$eff(\%) = \left(1 - \frac{C_{on}}{C_{off}}\right) \times 100 \quad (1)$$

여기서,

Con : 시료 운전 23분 후 농도 (μ g/m³)

Coff : 시료 운전 3분 후 농도 (μ g/m³)

□ 관통형 집진기 내장 방음벽체 시작품

the way to trust **KCL**

시험성적서

성적서번호 : CT20-11158 IK

□ 시험결과 요약서

○ 시험 조건 및 시험체 정보

정격파 생바크기	30.0	m ³	온도	(21.0±3.0)	℃	상대습도	(50.0±5.0)	% RH
시험에어로졸	KCl	시료명	관통형 전기집진기					
입자계수기	GRIMM 11-A		입자발생기	AKG 1791, ART+				

○ 시험결과

시간(min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
자연감소율(%)	1.9	-0.8	-1.2	-0.4	0.2	0.6	0.1	1.5	1.4	1.0
분진감소율(%)	5.0	2.4	8.9	18.5	21.3	20.6	26.4	27.2	33.4	36.0
시간(min)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
자연감소율(%)	1.9	2.2	1.7	2.7	3.7	3.1	2.6	3.6	3.4	3.2
분진감소율(%)	40.1	43.0	46.3	47.5	49.7	50.8	52.6	54.6	56.0	59.4

○ 시험체 사진



그림 시료 사진

: 20분 후 자연감소율 : 3.2%

: 집진기로 인한 감소율 : **59.4% (최종목표 달성)**

□ 직선형 집진기 내장 방음벽체 시작품

the way to trust **KCL**

시험성적서

성적서번호 : CT20-111580K

□ 시험결과 요약서

○ 시험 조건 및 시험체 정보

정격파 생바크기	30.0	m ³	온도	(21.0±3.0)	℃	상대습도	(50.0±5.0)	% RH
시험에어로졸	KCl	시료명	직선형 전기집진기					
입자계수기	GRIMM 11-A		입자발생기	AKG 1791, ART+				

○ 시험결과

시간(min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
자연감소율(%)	4.5	0.1	-0.2	0.8	0.7	1.6	1.9	2.3	3.1	4.4
분진감소율(%)	2.2	5.6	12.9	14.8	17.6	20.8	24.5	29.0	30.6	33.6
시간(min)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
자연감소율(%)	4.2	4.3	4.5	4.7	5.0	5.2	4.6	5.1	6.9	6.0
분진감소율(%)	35.9	39.2	41.4	45.8	46.5	49.2	51.5	54.0	55.5	58.0

○ 시험체 사진

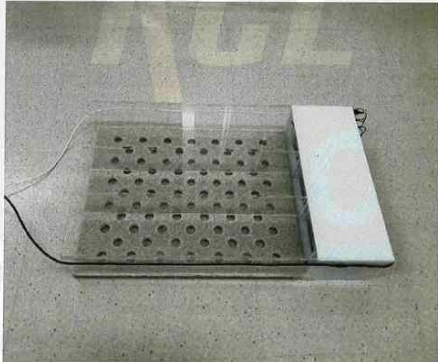
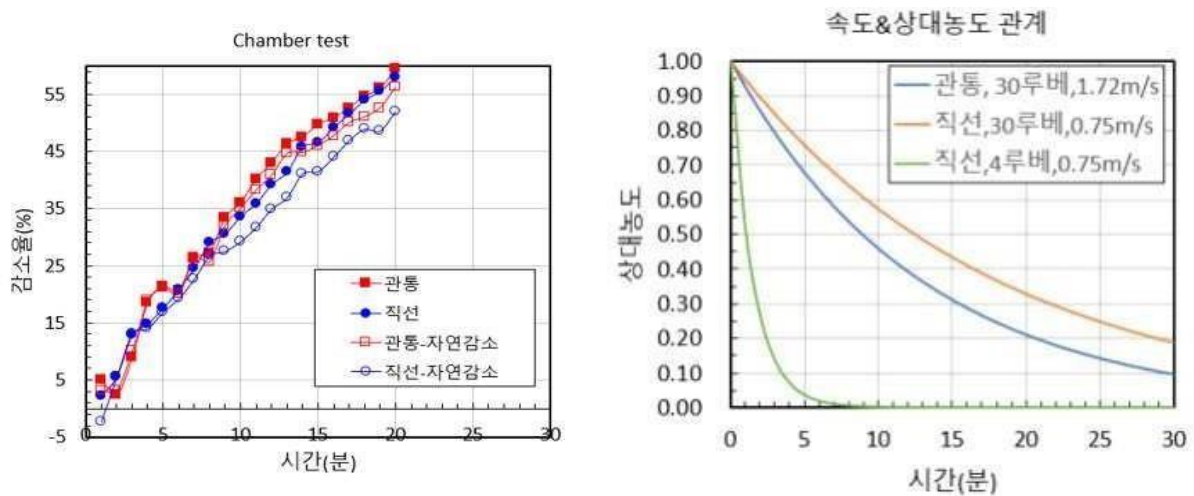


그림 시료 사진

: 20분 후 자연감소율 : 4.4%

: 집진기로 인한 감소율 : **58.0% (최종목표 달성)**



▶ 송풍팬이 없는 팬리스 집진장치 내장 방음벽체의 시험 결과, 20분 경과 후 관통형은 59.4, 직선형은 58%로 자연감소율을 고려하더라도 모두 과제 최종목표인 50%를 초과달성함

▶ 각각 공인시험성적서 획득

③ 소음 저감 성능시험 (PU센서를 이용한 흡음률 측정)

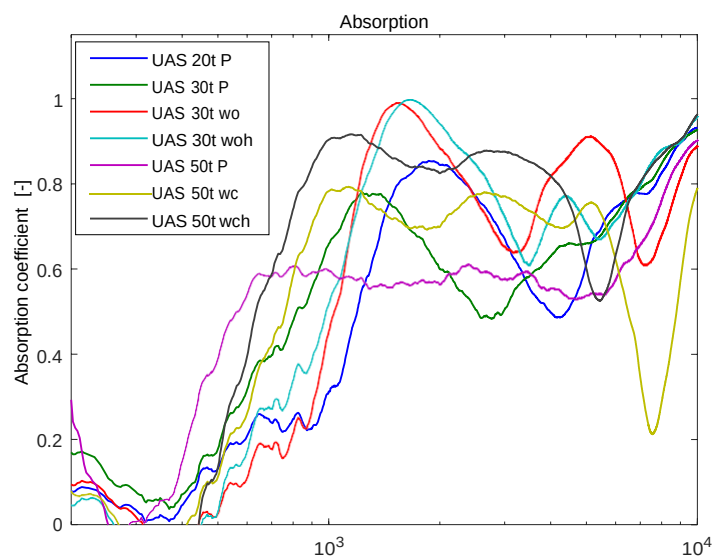
: PU센서를 이용해 시편단위의 흡음률 측정(500~2000Hz 주파수대역에서 비교적 신뢰할 수 있는 결과 제시)

: 2차년도 개발품의 흡음률 성능은 잔향실법 시험결과가 있는 시편의 PU 흡음률 측정결과와 대조하여 추정, 3차년도에 최종 시제품으로 공인시험 의뢰

- 2차년도 팬리스 집진장치 내장 방음벽체를 개발하면서 개발품의 두께 사양을 120mm로 제한함에 따라 흡음재의 두께를 30mm로 제한

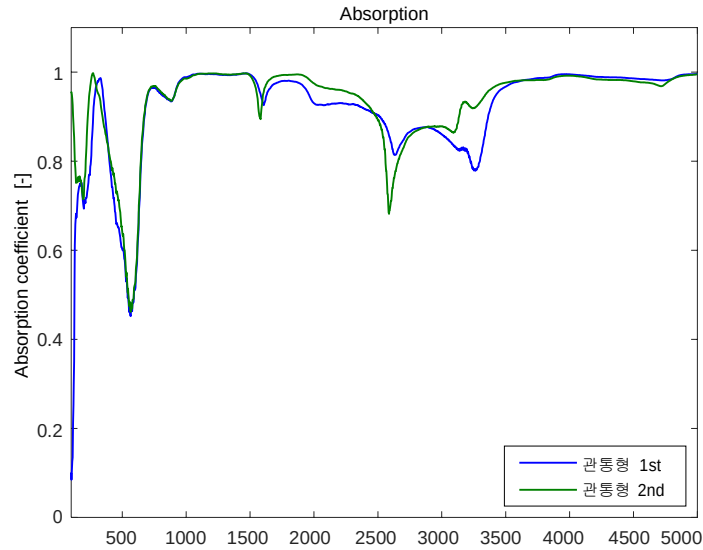
* 두께 감소에 따른 성능 저하 부분은 배후공기층을 추가한 구조로 보완할 수 있도록 제안함

- UAS 흡음재 단품 흡음률



: 두께가 두꺼울수록 흡음률 증가, 흡음재의 홀이나 웨지형태의 반홀이 있는 경우 1000Hz 이상의 고주파 대역에서 효과적임을 확인할 수 있음

- 관통형 팬리스 집진기 내장 방음벽체 흡음률

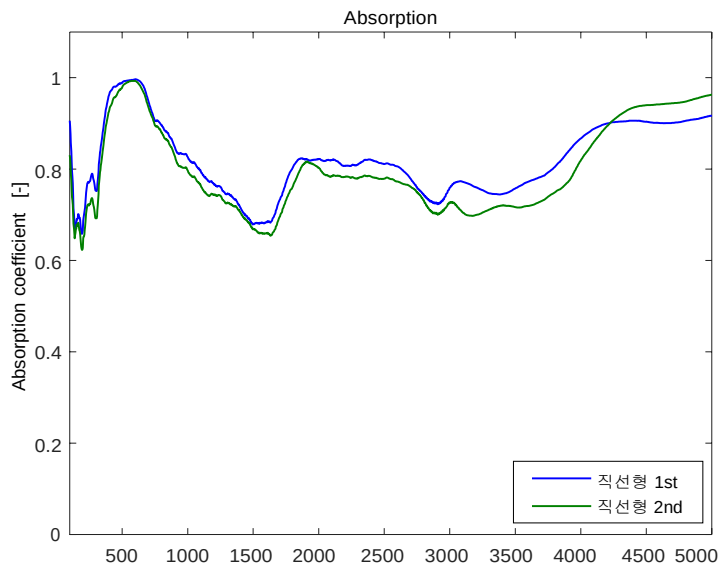


: 약 550Hz 중심으로 흡음률이 0.45 수준으로 저하되고 약 700Hz 부터는 0.9 이상으로 우수함

: 흡음재 후면의 배후공기층 두께가 얇아 저주파 대역의 흡음률이 감소하나, 흡음재 전면의 집진기 방전 부 보호를 위한 관성필터 등의 역할로 중고주파 대역의 흡음률은 우수함

▶ NRC = 0.86

- 직선형 팬리스 집진기 내장 방음벽체 흡음률



: 관통형과 반대로 500Hz 중심으로 흡음률이 0.9 이상으로 우수하고, 1500Hz에서 0.7 이하로 다소 저하되었다가 이후 0.8 수준으로 양호함

: 관통형에 비해 직선형이 흡음재 후면의 배후공기층 두께가 두꺼워 저주파 대역에서 흡음 성능이 우수한 반면, 흡음재 단품 외에 구조적 음향감쇠 요소가 없어 고주파에서는 다소 흡음률이 감소함

▶ NRC = 0.84

▶ 관통형, 직선형 시작품 모두 NRC 0.8 이상으로 흡음 성능이 우수하며, 구조에 따라 주파수 대역별 흡음 특성이 상이함 : 직선형은 배후공기층 끝단(벽면 고정부)에 얇은 흡음재 부착만으로도 전반적인 흡음률 향상이 기대됨 (3차년도 시제품 설계 보완사항)

- 관통형 VS 직선형 비교 결과

구분	비교	설명
미세먼지 포집성능	직선형 ≈ 관통형	- 실내공기청정기 시험에서는 관통형이 직선형 보다 다소 우수(관통형의 이온풍 발생 유속 더높음) - 풍동시험에서는 직선형이 관통형 보다 다소 우수(관통형 파이프 내 속도 증가 및 Turbulence 발생으로 포집효율 감소)
전기적 성능	직선형 > 관통형	- 공인시험기관의 미세먼지 저감 성능시험시 직선형 사용전력이 관통형의 1/4 수준 직선형 = 4W 관통형 = 15.6W
제작성 및 단가	직선형 > 관통형	- 관통형은 홀 마다 집진모듈이 필요하고 각각 고전압선 배치하여 제작이 어려움, 단가 높음 내부 고저압선에서 스파크 발생할 가능성 多

- ▶ 흡음 성능은 관통형이 직선형에 비해 다소 우수하나, 미세먼지 포집 성능은 유사한 수준이며, **제작성과 유지관리 용이성 측면에서 직선형 집진기** 내장 방음벽체가 유리함
- ▶ 다만 관통형은 상부나 하부로 공기를 유입/배출하기 어렵고 전면/후면으로만 가능한 경우 컴팩트한 사이즈로 사용이 가능함

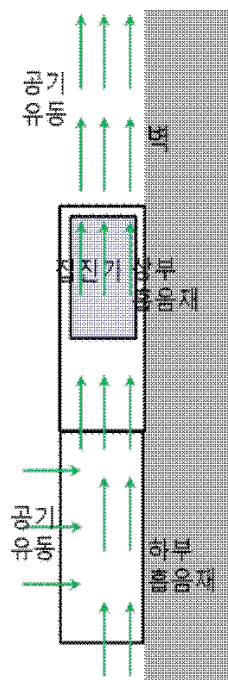
나) 최종 시제품 설계 및 제작

(1) 2차연도 시작품 개선점 및 유지관리 용이성 고려한 설계 사양

- 직선형 집진기를 흡음재 내부로 삽입

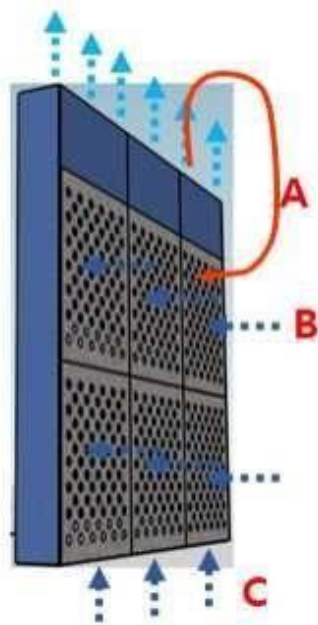
: 집진기는 내구성이 높지 않아 고강도 흡음재 내부로 삽입하여 보완하도록 설계 변경할 필요가 있음

: 외부 충격에서 보호할 수 있고, 터널 물청소 시에도 고압의 수압을 먼저 흡음재가 상쇄할 수 있는 이점이 있음



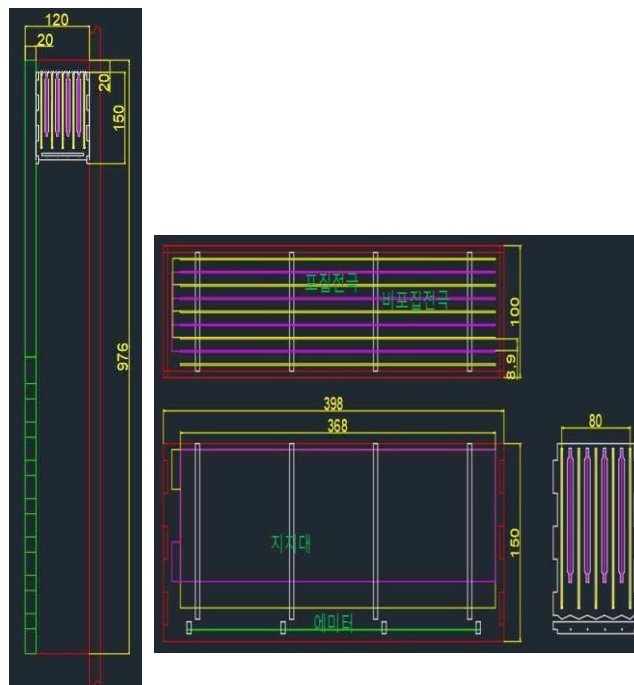
- 흡음재의 형태를 위치에 따라 다르게 적용

: 흡음재 흡을 통해 정화된 공기가 다시 유입되는 현상이 예상되므로 집진기와 가까운 위치의 흡음재는 흡이 없는 평판형으로 설계 변경 필요



- 최종 직선형 시제품 설계안

- ▶ 상부 흡음재 : 20mm 두께 평판형 고강도 흡음재
- ▶ 하부 흡음재 : 200mm 두께 관통형 고강도 흡음재
- ▶ 집진기 : 직선형으로 상부에 삽입된 형태



- 유지관리 용이성 고려한 설계 사양 검토

: 송풍팬이 없는 팬리스 집진기를 적용하여 송풍유닛에 대한 수리, 부품 교체 등이 요구되지 않는 점은 유지관리 측면에서 우수한 장점

: 포집부에 부착된 먼지를 제거하기 위해서는 물청소 또는 집진부의 교체 방식이 요구됨

① 물분사 청소방식

: 터널 물청소 시 분사된 물이 집진기 상부로 떨어져 아래로 내려가면서 포집전극에 부착된 먼지를 세척하는 방식이며, 집진기를 위한 별도의 청소가 요구되지 않아 운영기관에서 가장 선호하는 방식

: 다만, 집진기 절연구조 및 제품의 내구성 강화가 요구됨

② 포집부 교체방식

: 포집부를 분리하여 새 포집부로 교체할 수 있는 방식으로 분리된 포집부는 세척 후 재사용 가능

: 다만 운영기관에서 필터 교체 및 세척에 대한 부정적 의견 있음

▶ 물청소에 강건한 구조 및 소재에 대한 정밀한 검토가 요구되며, 고압 살수 테스트 필요

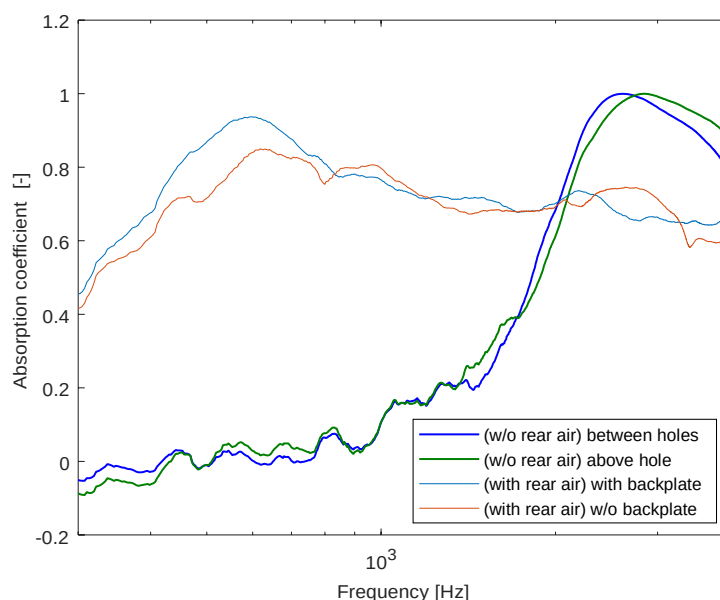
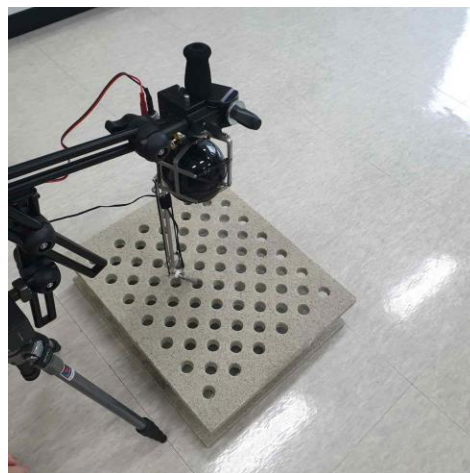
▶ 고전압 전원의 신뢰성 및 제어성능 개선이 필요하며, 고전압 전원 신뢰성 테스트 필요

(2) 최종 시제품 설계안 도출 및 제작

- 흡음률 향상을 위한 구조 설계

: 2차년도 시제품 전면부 흡음재는 두께 30mm 였으나, 상부에 위치했던 집진모듈을 흡음재 내부로 삽입하는 형태로 바꿔 내구성 및 안전성을 확보하기로 하여, 전면부 흡음재 두께를 20mm로 줄이기로 함

: 이에 따라 흡음률을 향상하기 위해 배후공기층과 내측 흡음재 추가의 효과를 측정, 분석함



: 배후공기층은 중저주파 흡음률 향상에 매우 큰 영향을 주며, 20mm의 흡음재를 내측에 추가하는 것도 흡음률이 약간 향상되는 것을 확인

: 배후공기층이 없는 시편의 경우 시험실 바닥의 영향으로 홀이 공명주파수 대역의 소음 감쇠 역할을 하지 못하고 흡음률을 저하시키는 불리한 조건으로 작동

: 그 외 현장 설치 시 벽면 고정을 위한 프레임은 강으로 제작되어 음 반사로 인한 흡음률 저하가 예상되며 이를 보완하기 위해 연속 설치 시 프레임 사이에 흡음재를 추가, 고정하고, 집진모듈은 제품 2개당 1개의 집진모듈을 삽입, 나머지 1개에는 집진모듈 대신 흡음재를 추가 하여 전체 공간에서 흡음력을 높여주는 설계안 도출 필요

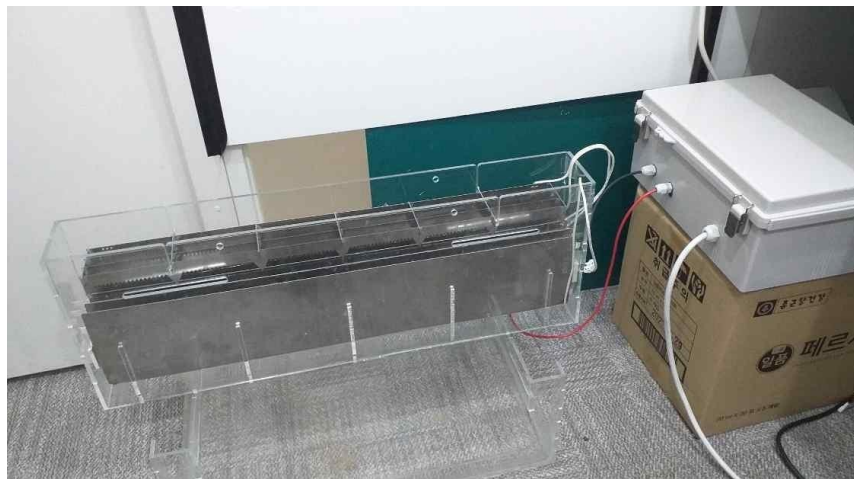
- 물청소에 강건한 구조 설계

: 터널 물청소 시 고압 물청소에도 동작 중 문제가 발생하지 않도록 초발수설계 적용

: 방전부 및 포집부 구조와 형태를 물방울 맺힘 방지 가능한 설계 적용

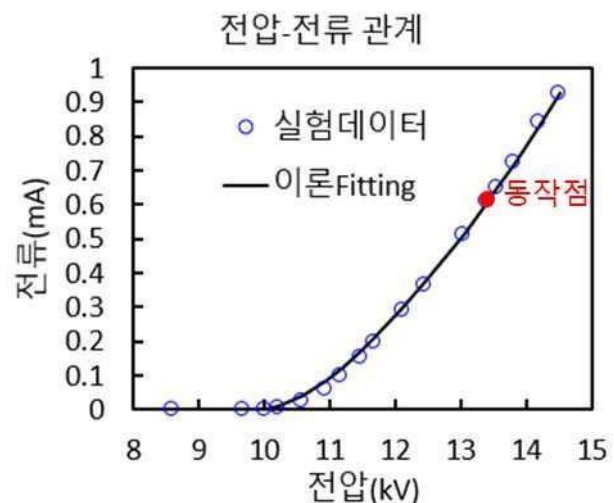
: 방전부 와이어(핀 또는 톱니도 적용 가능)의 내구성 강화를 위한 도금 텅스텐 와이어 적용 등

- 집진모듈 및 고전압 파워박스 세트 제작

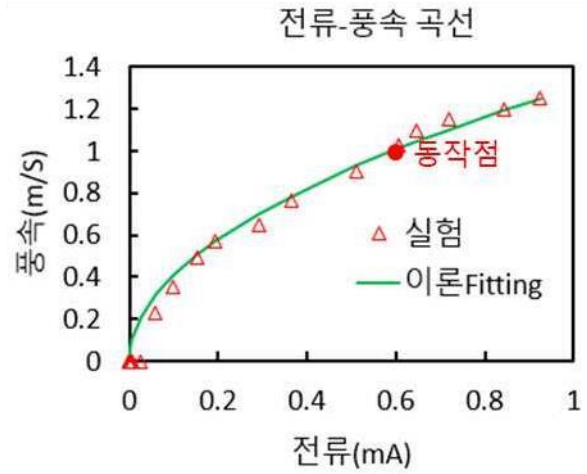
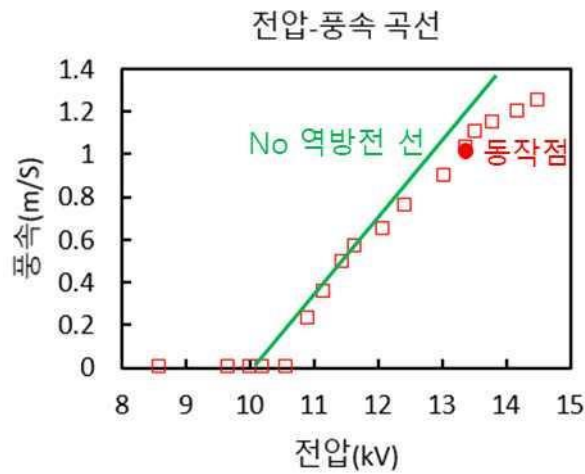


① 1차 전기 특성 테스트

전압(kV)	전류(mA)	P1(W)	풍속(m/s)	P2(W)	효율(%)	전류Fitting
7.21	0	5.4	0	0.00	0.0	
7.78	0	5.6	0	0.00	0.0	
8.6	0	6	0	0.00	0.0	
9.67	0	6.4	0	0.00	0.0	
10.01	0.002	6.7	0	0.02	0.3	0.000
10.22	0.006	6.9	0	0.06	0.9	0.010
10.58	0.026	7.3	0	0.28	3.8	0.043
10.93	0.06	8	0.23	0.66	8.2	0.087
11.16	0.1	8.6	0.35	1.12	13.0	0.121
11.46	0.152	9.4	0.49	1.74	18.5	0.171
11.66	0.195	10.1	0.57	2.27	22.5	0.207
12.1	0.291	11.8	0.65	3.52	29.8	0.295
12.44	0.365	13.1	0.76	4.54	34.7	0.369
13.04	0.51	15.8	0.9	6.65	42.1	0.513
13.38	0.607	17.5	1.03	8.12	46.4	0.602
13.54	0.647	18.5	1.1	8.76	47.4	0.645
13.81	0.721	19.9	1.15	9.96	50.0	0.720
14.2	0.842	22.4	1.2	11.96	53.4	0.833
14.5	0.924	24.1	1.25	13.40	55.6	0.924

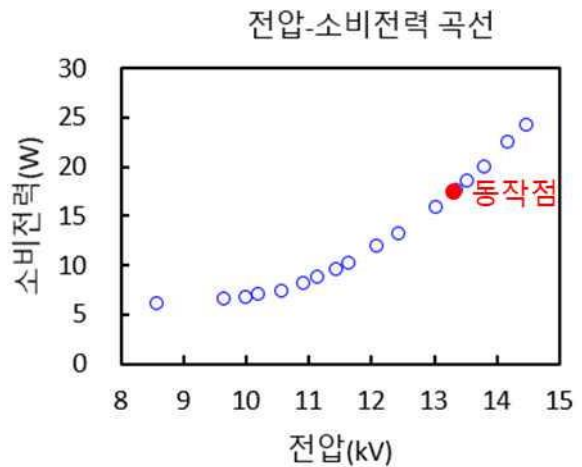
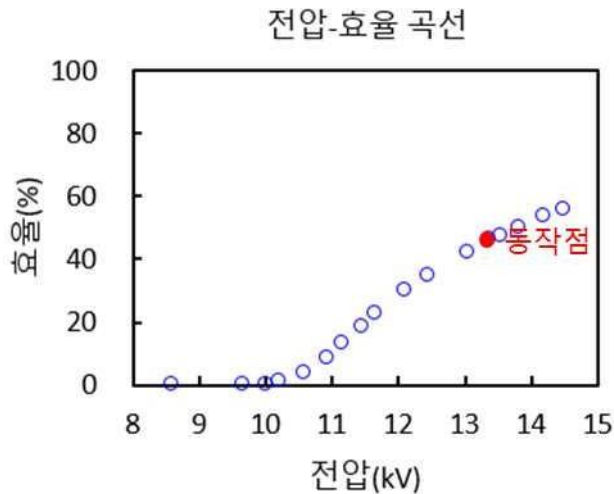


: 코로나방전을 나타내며, 방전개시전압은 10kV



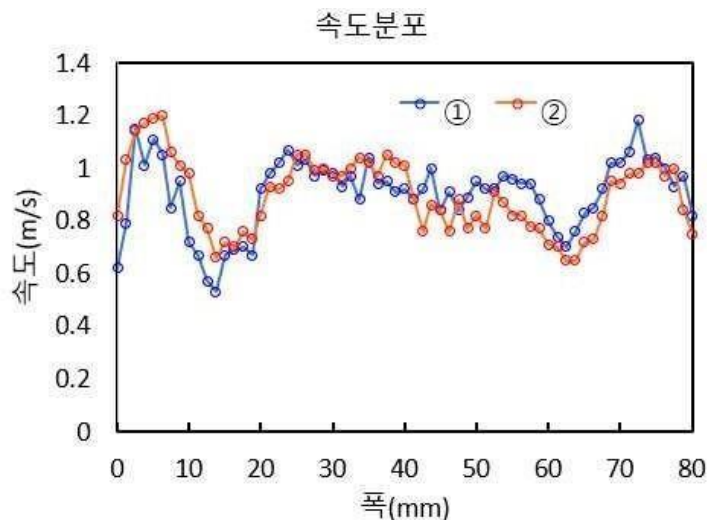
: 전압(V)-풍속(U) 곡선은 대체적으로 이론적인 직선(No 역방전선)을 나타냄. 그러나 12kV이상에선 역방전이 발생하는 것으로 판단됨.

: 전류(i)-풍속(U) 곡선은 대체적으로 이론식($U \propto i^{0.5}$)을 나타냄. ※14kV 이상 올리면 풍속 증가 둔화됨



: 전압(V)-소비전력(W) / 전압(V)-효율(%) 곡선에서는 HVPS가 추가 전력을 소비하여 예상보다 소비전력이 커졌고, 15kV 이상에서는 양측 방전부 지지대에서 방전이 발생하여 추가절연 필요

② 출구 속도분포 및 풍량 테스트



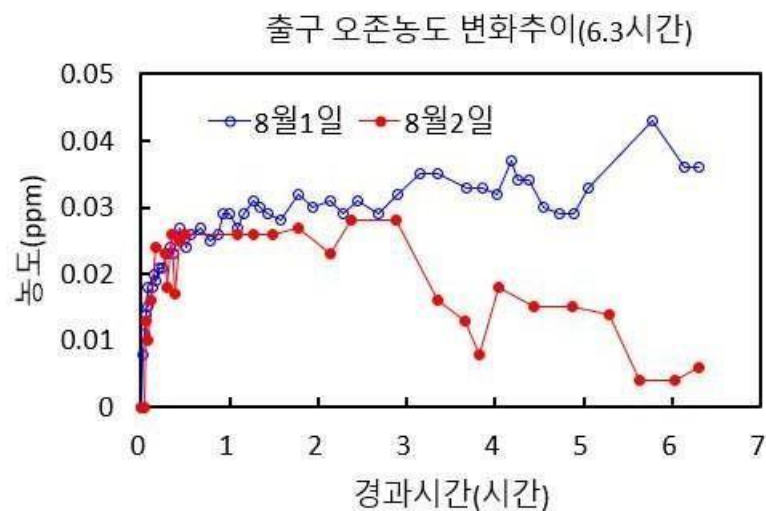
: 집진모듈 중간 지점 두 곳(①, ②)에서 두께(80mm) 방향으로 1.25mm 씩 이동하며 측정하였으며, 평균 풍속은 0.9m/s

: 집진모듈 유효 단면적은 570mm × 80mm로,

처리풍량 $Q = (0.57 \times 0.08) \times 0.9 \times 3600 = 147.7 \text{ m}^3/\text{h}$

: 집진모듈 유효 단면적 크기에 따라 처리풍량은 증가 가능

③ 출구 발생 오존 농도 테스트



: 오존 농도 측정기 (Aeroqualseries 500) 사용, 약 2평 룸에서 시험

: 시간이 지날수록 오존이 누적되어 수치가 상승하는 추세이나, 주변 환경 영향을 많이 받는 것으로 판단

: 톱니형 전기집진기에 비해 와이어 방식은 오존 농도가 낮은 편이며, 개방된 공간이나 넓은 터널 등에서는 오존이 포화되어 농도가 매우 낮을 것으로 예상됨

④ 장기간 동작 테스트

: 집진모듈 및 고전압전원의 내구성 검증을 위해 28일간 상시 동작 테스트를 실시, 수시로 장치를 켜다, 켜다 하는 가혹 조건에서 정상 작동

⑤ 고압세척 테스트

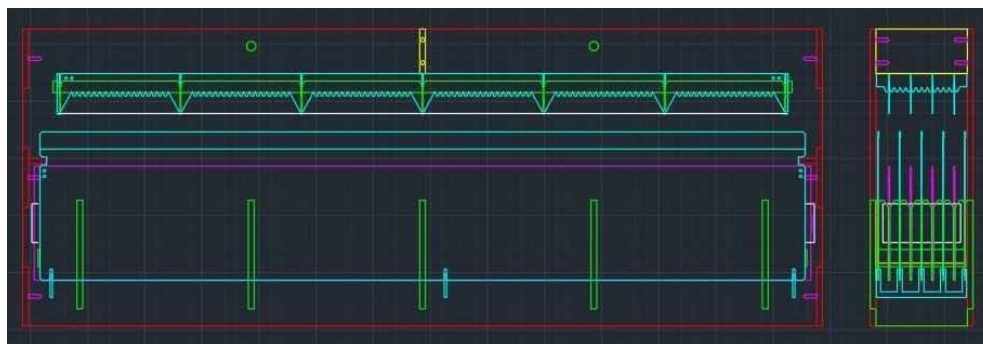
: 집진모듈 직상부에서 고압호스 Jet 모드(130~170Bar) 물분사 수행, 10분 후 동작 시 초기 약한 스파크 1회 발생 후 스파크 발생 없이 정상 작동 됨



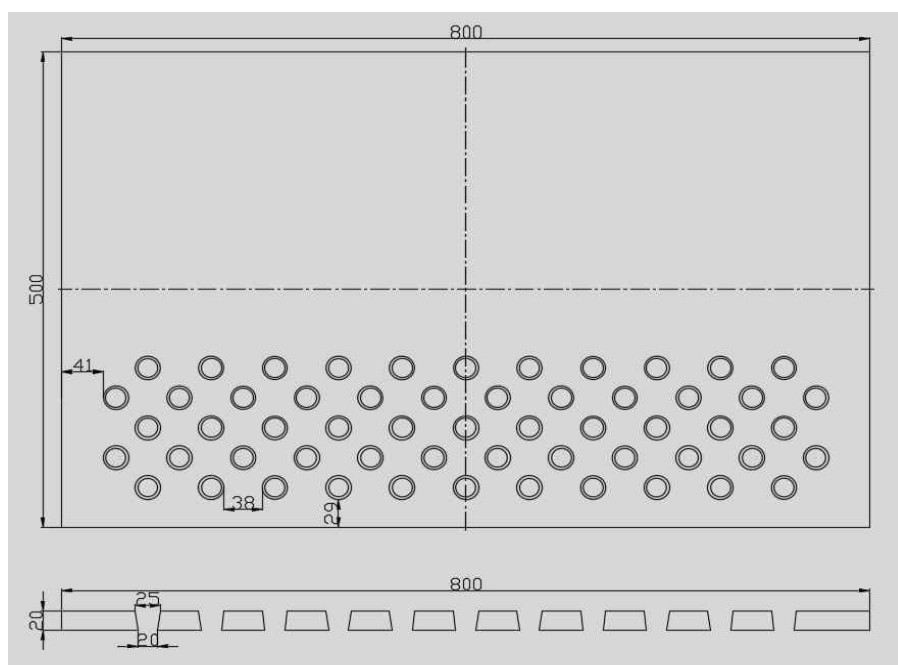
: 장시간 동작으로 미세먼지가 포집된 모듈의 물청소 후 출구 풍속은 0.74~0.88m/s으로써 청소전(0.65~0.8m/s) 보다 다소(약 0.7~0.8m/s) 증가한 것으로 추정됨

: 물청소 이전의 집진효율($0.3\mu\text{m}$ 93.4%, $0.5\mu\text{m}$ 92.5%)에 비하여 물청소후에는 100%로 증가하여, 물청소의효과를 확인

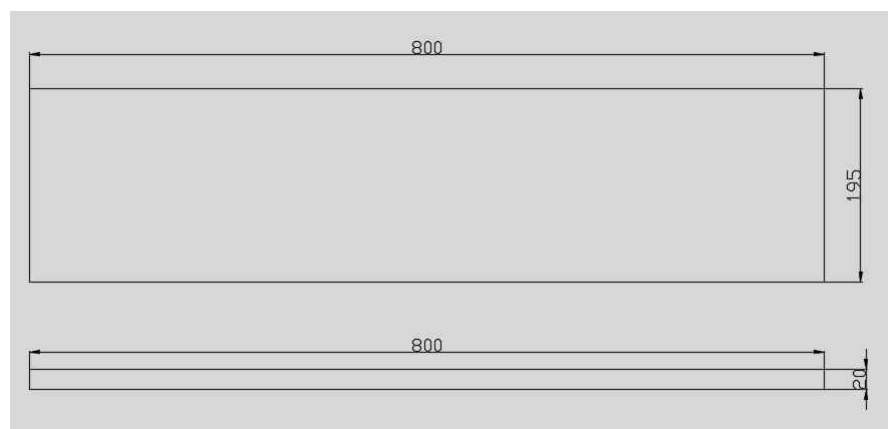
- 집진모듈 및 흡음재 설계안



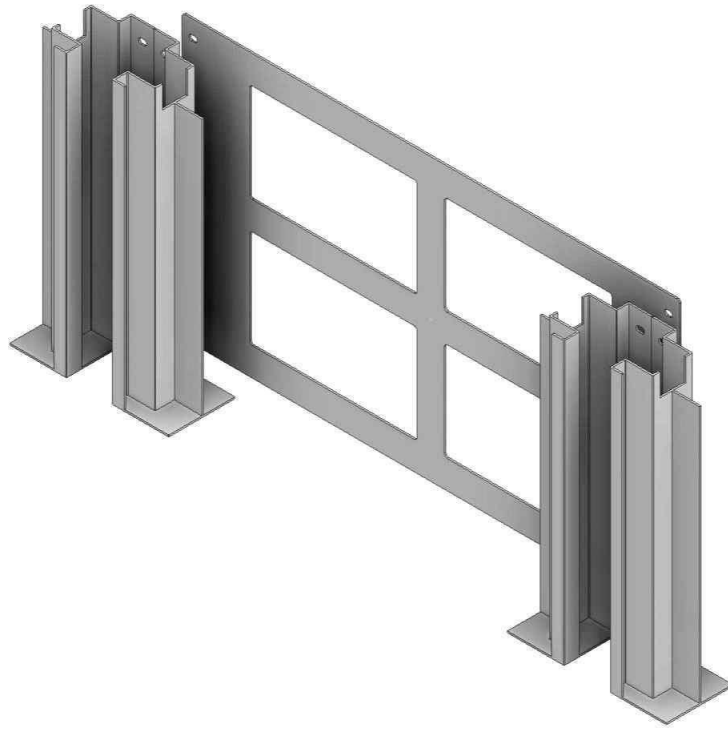
[집진모듈 설계안]



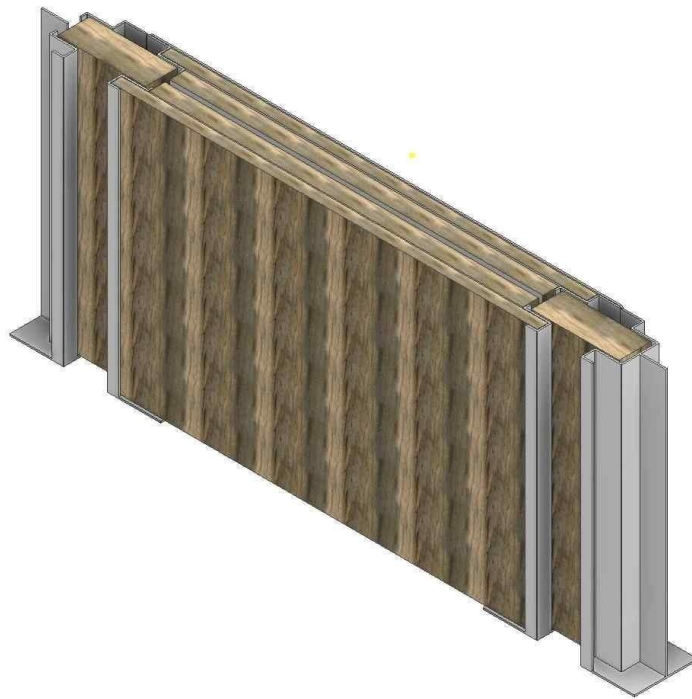
[전면 흡음재 설계안]



[후면 흡음재 설계안]



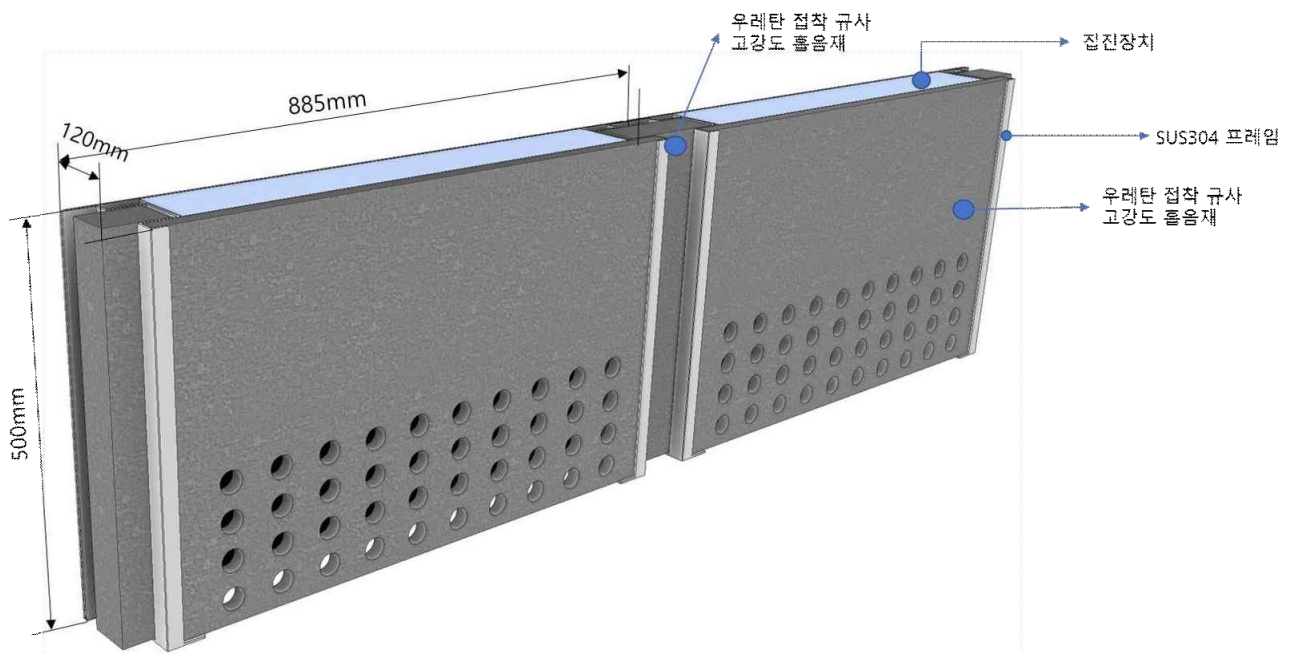
[설치 브라켓 및 프레임 설계안]



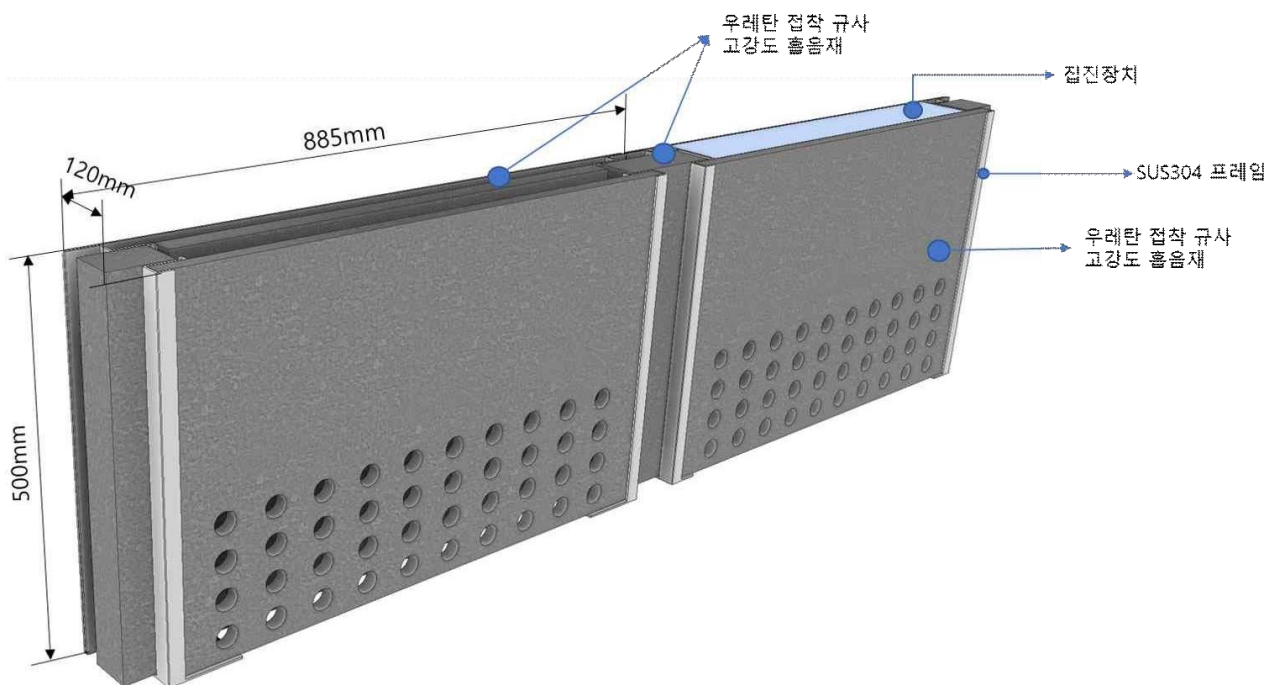
[프레임 조립안]

- 최종 시제품 설계안 도출

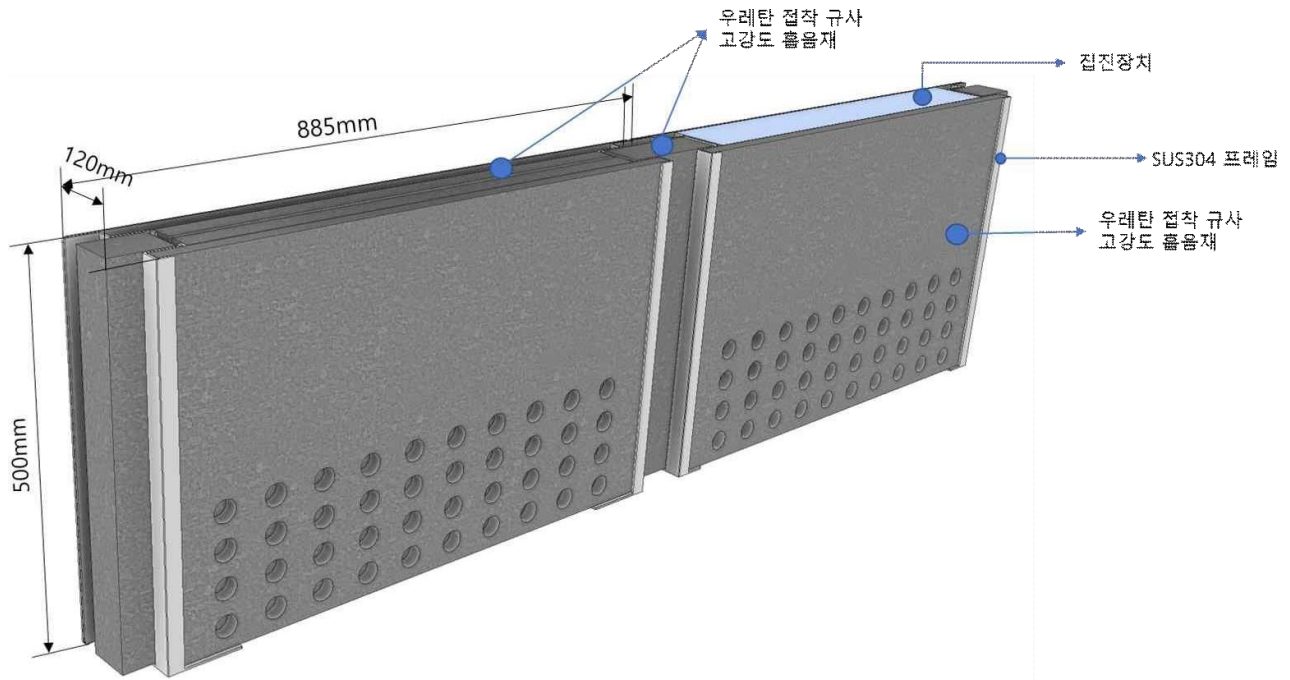
① 기본결합형



② 복합구성형 A

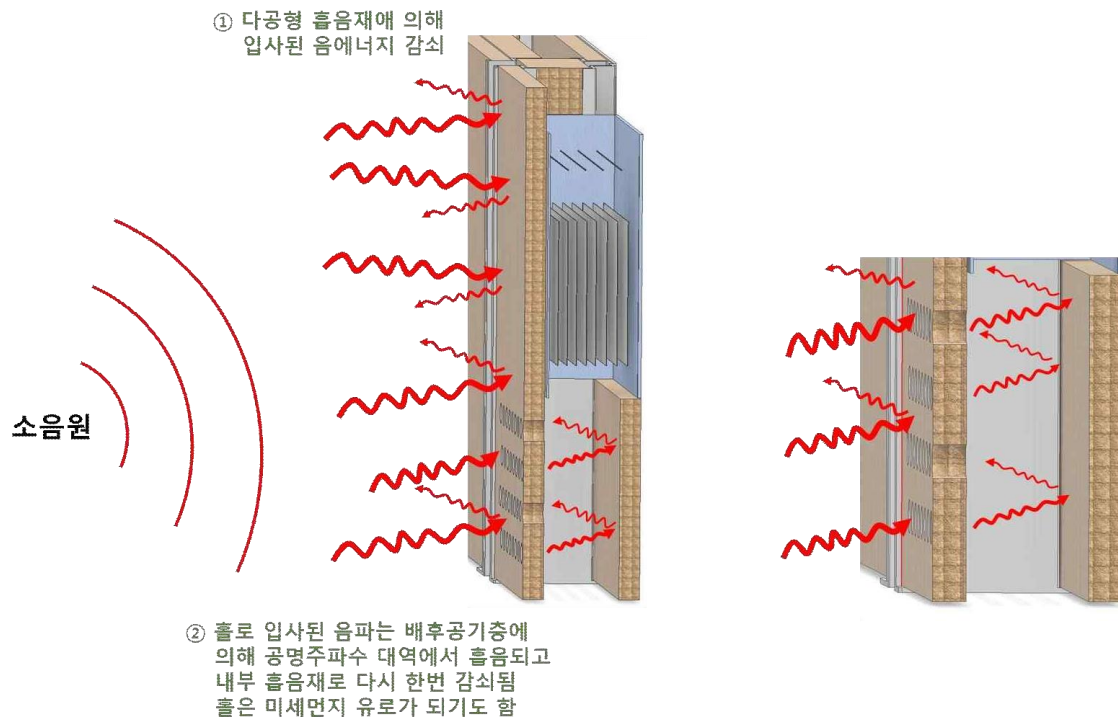


③ 복합구성형 B

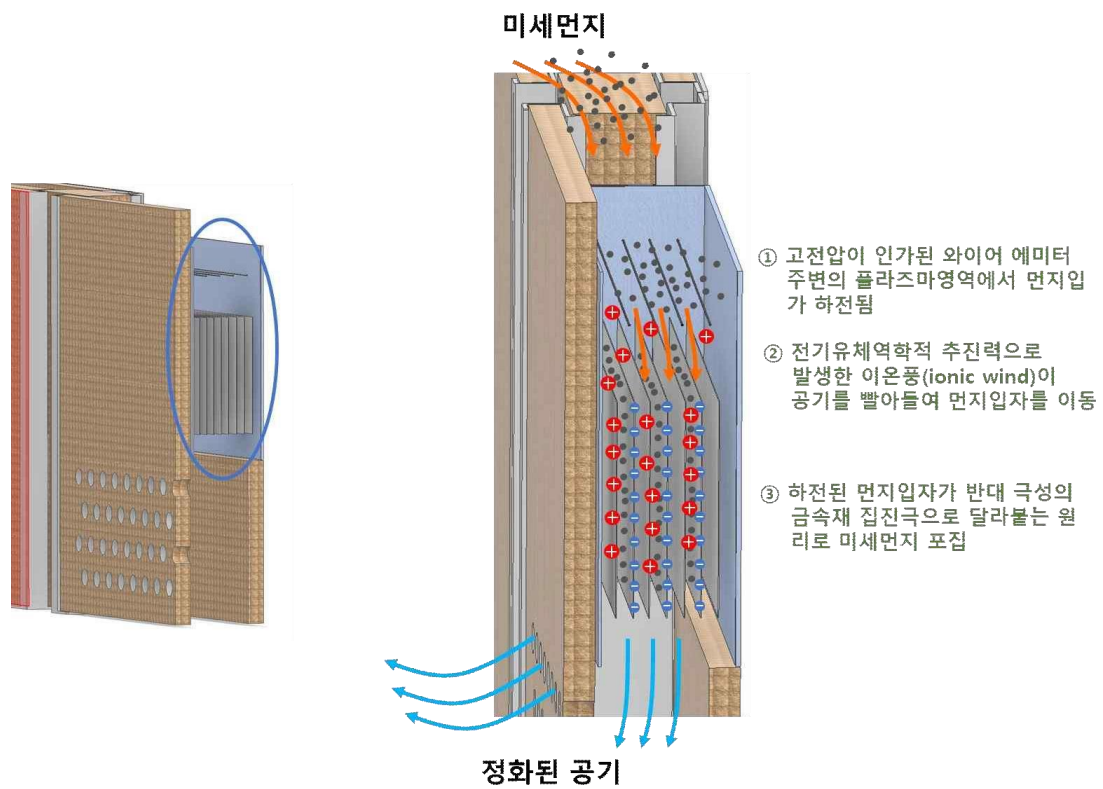


- 최종 시제품 제작





[소음 저감원리]

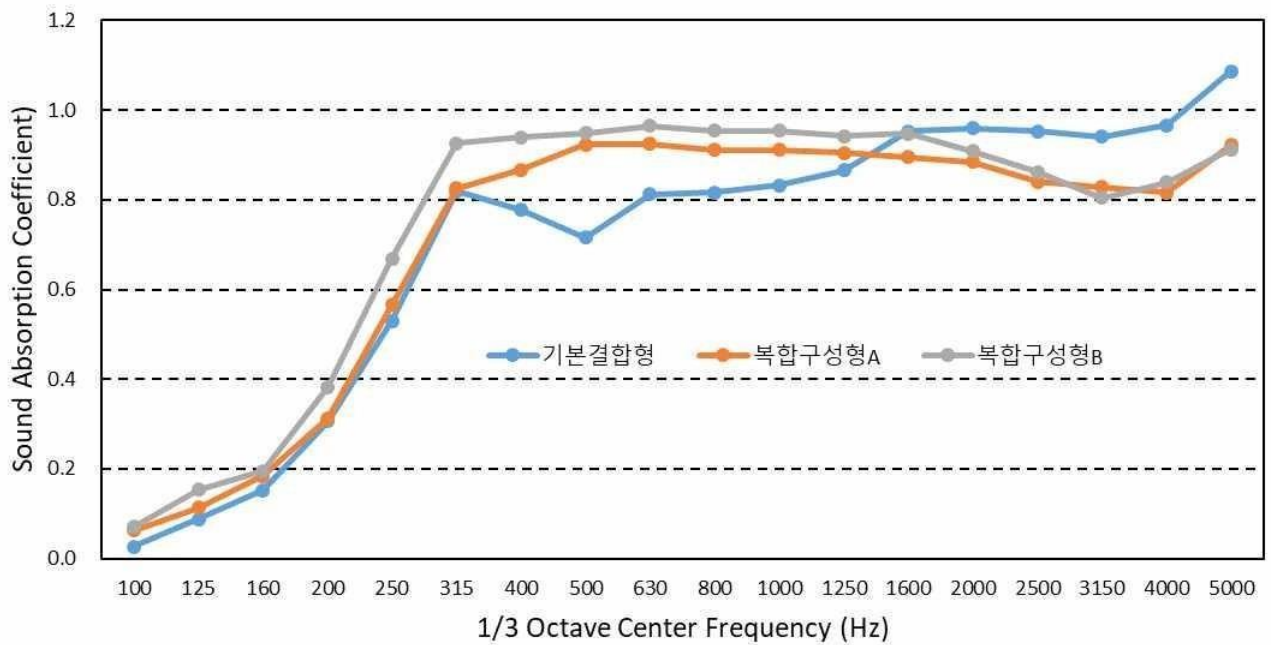


[미세먼지 저감원리]

6) 시제품 공인시험

가) 흡음률 시험

- 시험 규격 : KS F 2805 : 2014 잔향실법 흡음 성능 측정시험



구성	기본결합형	복합구성형A	복합구성형B
NRC	0.760	0.821	0.870

: 기본결합형 NRC 0.760으로 흡음률 성능 목표(0.7 이상) 초과 달성 - 공인시험성적서 발급

: 복합구성형은 각각 NRC 0.821, NRC 0.870으로 매우 우수한 흡음성능임 - 복합구성형 B 공인시험성적서 발급

① 기본결합형 공인시험성적서

G4B(www.g4b.go.kr)전위확인코드 : 2TCIbmtUB84=

G4B(www.g4b.go.kr)전위확인코드 : 2TCIbmtUB84=



시험성적서

www.daeconstr.kr 경기도 수원시 장안구 우암로123번길 26
Tel : 031-250-1262, Fax : 031-250-1263

제이지(1) / 총(3)

1. 시험성적서 번호: 2021-020

2. 의뢰자
- 업체명: 한국철도기술연구원
- 주소: 경기도 의왕시 철도박물관로 176

3. 시료명: 소음저감형 팬리스 집진장치 기본결합형

4. 시험장소: ■ 국경시험실(주소: 경기도 수원시 장안구 수일로 123번길 20) □ 현장시험실

5. 시험방법
KS F 2805 : 2014 "잔향실험법 흡음 성능 측정방법"

6. 시험기간: 2021년 12월 3일

7. 시험결과

흡음계수 (Sound Absorption Coefficient)	1/3 옥타브밴드 중심주파수 [Hz]																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
	0.03	0.09	0.15	0.31	0.53	0.82	0.78	0.72	0.81	0.82	0.83	0.87	0.95	0.96	0.95	0.94	0.97	1.05

작 인

작 성 자

성 명

소 형 함

기술책임자

성 명

임 경 변

비고 1. 이 성적서는 의뢰자가 제공한 시료 및 시료 명으로부터 시험한 결과로서, 제공한 시료 및 전체 제품과 대한 동일성을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 당 기관의 사전 사전 동의 없이 복사, 전산, 광고 및 소용용도로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험방법에 따른 시험결과입니다.
4. 이 시험결과는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 있습니다.
5. * 표시 된 시험결과는 당 시험기관의 인정범위 밖에 포함되지 않습니다.(대당시 기재)
위 성적서는 국제시험기관인정협약(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정 (Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2021년 12월 10일

한국인정기구 인정 (주)대우건설 기술연구원장

* 시험결과 및 시험성적서 진위여부는 www.g4b.go.kr에서 확인할 수 있습니다.
DICT-QP-15-F02(01) 2021.11.17. (주)대우건설 기술연구원



시험성적서

www.daeconstr.kr 경기도 수원시 장안구 우암로123번길 26
Tel : 031-250-1262, Fax : 031-250-1263

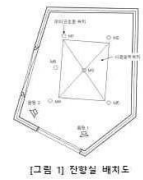
제이지(2) / 총(3)

시험성적서 번호: 2021-020

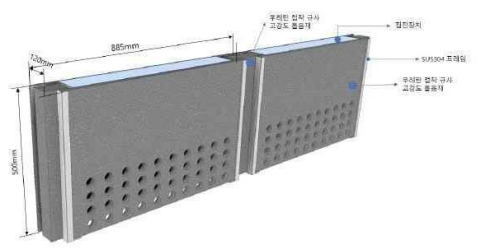
첨부

1. 시험환경
가 온도 : (17.0 ~ 17.5)°C, 상대습도 : (34.0 ~ 34.5) % R.H.
나 잔향실의 용적 : 325 m³, 표면적 : 291.8 m²

2. 시험시료
가 시료의 면적 : 10.5 m²
나 시료의 크기 (가로 × 세로 × 두께) :
- 3616 mm × 3026 mm × 120 mm
다 시료의 구성 :
- 집진 모듈 90mm + 우레탄 접착 규사 고강도 흡음재 20mm (SUS304 프레이밍, 총 10mm)



[그림 1] 잔향실 배치도



[그림 2] 의뢰 시험체 도면

DICT-QP-15-F02(01) 2021.11.17. (주)대우건설 기술연구원

② 복합구성형 B 공인시험성적서

G4B(www.g4b.go.kr)전위확인코드 : R1SB+Yf/rZ0=

G4B(www.g4b.go.kr)전위확인코드 : R1SB+Yf/rZ0=



시험성적서

www.daeconstr.kr 경기도 수원시 장안구 우암로123번길 26
Tel : 031-250-1262, Fax : 031-250-1263

제이지(1) / 총(3)

1. 시험성적서 번호: 2021-021

2. 의뢰자
- 업체명: 한국철도기술연구원
- 주소: 경기도 의왕시 철도박물관로 176

3. 시료명: 소음저감형 팬리스 집진장치 복합구성형

4. 시험장소: ■ 국경시험실(주소: 경기도 수원시 장안구 수일로 123번길 20) □ 현장시험실

5. 시험방법
KS F 2805 : 2014 "잔향실험법 흡음 성능 측정방법"

6. 시험기간: 2021년 12월 3일

7. 시험결과

흡음계수 (Sound Absorption Coefficient)	1/3 옥타브밴드 중심주파수 [Hz]																	
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
	0.07	0.15	0.19	0.38	0.67	0.93	0.94	0.95	0.96	0.95	0.95	0.94	0.95	0.91	0.86	0.80	0.84	0.91

작 인

작 성 자

성 명

소 형 함

기술책임자

성 명

임 경 변

비고 1. 이 성적서는 의뢰자가 제공한 시료 및 시료 명으로부터 시험한 결과로서, 제공한 시료 및 전체 제품과 대한 동일성을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 당 기관의 사전 사전 동의 없이 복사, 전산, 광고 및 소용용도로 사용할 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.
3. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시험방법에 따른 시험결과입니다.
4. 이 시험결과는 KS Q ISO/IEC 17025 및 KOLAS 인증과 관련이 있습니다.
5. * 표시 된 시험결과는 당 시험기관의 인정범위 밖에 포함되지 않습니다.(대당시 기재)
위 성적서는 국제시험기관인정협약(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정 (Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야에 대한 시험결과입니다.

2021년 12월 10일

한국인정기구 인정 (주)대우건설 기술연구원장

* 시험결과 및 시험성적서 진위여부는 www.g4b.go.kr에서 확인할 수 있습니다.
DICT-QP-15-F02(01) 2021.11.17. (주)대우건설 기술연구원



시험성적서

www.daeconstr.kr 경기도 수원시 장안구 우암로123번길 26
Tel : 031-250-1262, Fax : 031-250-1263

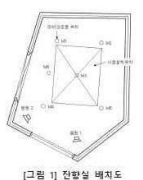
제이지(2) / 총(3)

시험성적서 번호: 2021-021

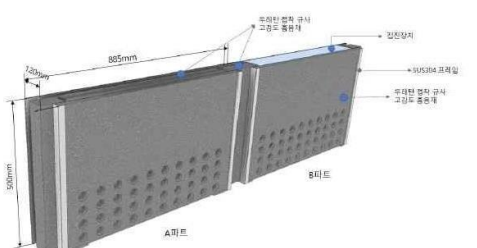
첨부

1. 시험환경
가 온도 : (16.0 ~ 16.5)°C, 상대습도 : (43.0 ~ 43.5) % R.H.
나 잔향실의 용적 : 325 m³, 표면적 : 291.8 m²

2. 시험시료
가 시료의 면적 : 10.5 m²
나 시료의 크기 (가로 × 세로 × 두께) :
- 3616 mm × 3026 mm × 120 mm
다 시료의 구성 :
- [B파트] 집진모듈 90mm + 우레탄 접착 규사 고강도 흡음재 20mm (SUS304 프레이밍, 총 10mm)
- [A파트] 공기층 20mm + 우레탄 접착 규사 고강도 흡음재 30mm + 우레탄 접착 규사 고강도 흡음재 20mm (SUS304 프레이밍, 총 10mm)



[그림 1] 잔향실 배치도



[그림 2] 의뢰 시험체 도면

DICT-QP-15-F02(01) 2021.11.17. (주)대우건설 기술연구원

나) 집진효율 시험

시험 규격 : SPS-KACA 002-0132:2018 실내공기청정기 시험 규격

: 집진모듈은 모든 시스템이 동일하여 기본결합형 시제품으로 성능시험 수행

: 자연감소 효율을 제외한 집진효율은 동작 20분 후 약 72.3%로 팬리스 집진장치임을 감안하면 매우 우수한 성능이며, 미세먼지 제거 효율 목표(50% 이상)를 초과 달성

: 시제품의 처리풍량은 1기당 약 240 m³/hour(240 cmh)이며, 집진부 공기 통과 면적을 넓히면 처리풍량도 비례해 증가하도록 제작 가능

① 미세먼지 제거 효율 공인시험성적서



시험성적서

성적서번호 : GT21-102154K

□ 시험결과 요약서

○ 시험 조건 및 시험체 정보

공정화 챔버크기	30.0 m ³	온도	(22.5±0.4) ℃	상대습도	(49.1±5.8) % RH
시험에어로졸	KCl 2%	시료명	소음저감형 팬리스 집진장치		
입자계수기	GRIMM 11-D	입자발생기	AKG 1791, ART+		

○ 시험결과

시간(min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
자연감소 효율(%)	1.6	2.0	3.1	3.1	4.1	3.7	4.4	5.7	6.3	5.5
문진감소 효율(%)	2.0	14.7	18.9	28.7	32.6	33.5	47.6	49.0	51.9	58.3
시간(min)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
자연감소 효율(%)	4.9	4.7	5.5	4.9	5.5	5.4	6.7	6.1	6.6	6.9
문진감소 효율(%)	60.0	58.9	67.1	70.1	68.9	73.1	72.7	76.1	76.7	79.2

○ 시험체 사진



그림 1. 시험체 사진

총 3 페이지 중 2 페이지





7) 시제품 시험 부설 및 설치 시방

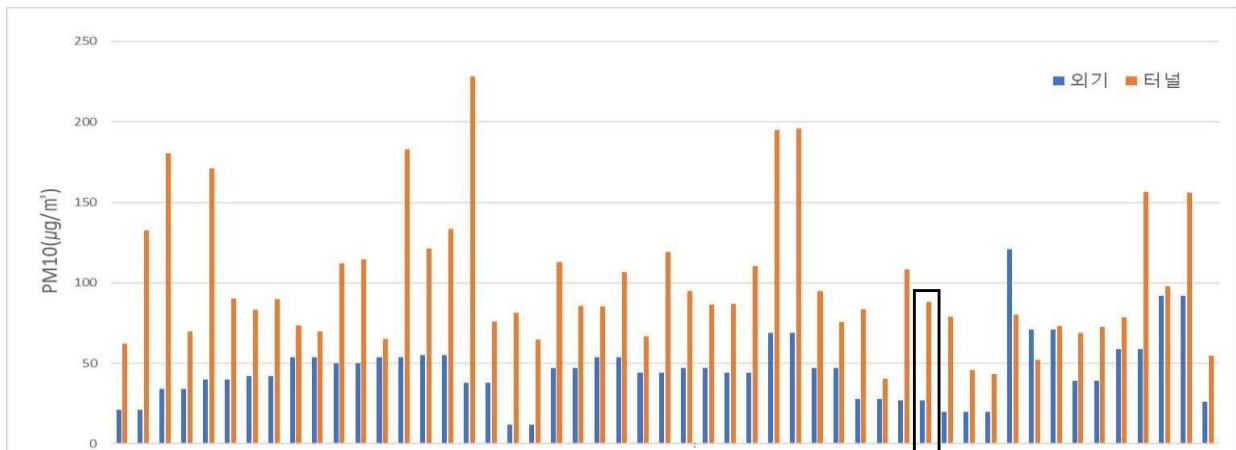
가) 시제품 시험 부설

(1) 테스트베드 선정 위한 철도 터널 공기질 현황 분석

: 서울 지하철 역별 외기/터널 미세먼지(PM10) 현황을 분석하면, 같은 날 측정된 터널 내 미세먼지 농도는 외기 농도 보다 상당히 높은 수준으로, 선로에서 발생하는 마모입자 등이 원인으로 예상됨

: 외기 농도와 터널 내 미세먼지 농도는 상관성이 높으며, 아래 그림의 검은색 박스에 해당하는 역의 터널 구간을 테스트베드로 선정함

[A호선 역별 미세먼지 농도]



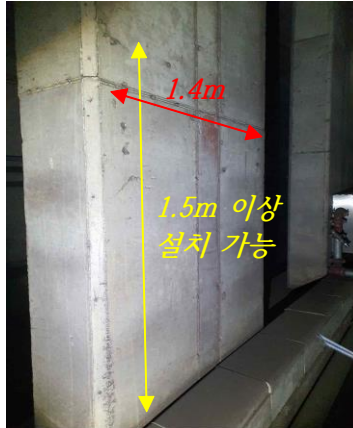
- 테스트베드 사전 조사

: 2021년 7월 ~ 11월 중 3회 현장 조사

: 기존 셸스톤 흡음재 설치 구간으로, 흡음재가 미설치된 기둥의 경우, 시제품 설치에 충분한 공간

: 기둥 후면의 공간에 파워박스 및 계측기 설치 가능

: 전기 공사 계획 검토 등

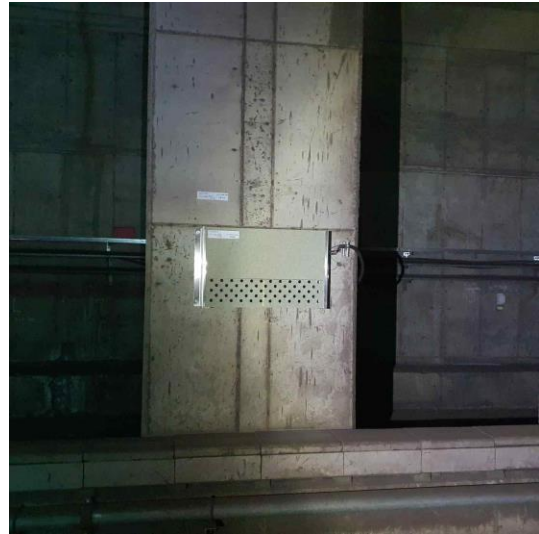


: 사전조사에서 미세먼지 간이시험 결과, 지하철 운행종료 직후에는 PM2.5 - 82, PM10 - 156으로 외기의 10배 수준이고, 약 2시간 경과 후에는 PM2.5 - 6, PM10 - 11로 외기와 비슷한 수준을 나타냄

: 지하철 운행 시간 동안에는 선로에서 발생하는 마모입자와 바닥에 가라앉은 먼지의 재비산 등으로 매우 높은 농도일 것으로 예상됨

(2) 테스트베드 시제품 시험 부설





나) 시제품 설치 시방

(1) 시공 절차 작업공정표 (시제품 3대 기준)

소요 작업일수	2일	1일	1일	1일
작업내용	- 시제품, 계측기 설치 - 1차 현장점검, 소음계 철거	2차 현장점검	3차 현장점검	철거, 종료

※ 작업시간은 24:00 ~ 04:00 (4시간 기준)

(2) 설치 공사 세부내용

1. 설치 제품

(가) 동시제거장치 주요자재

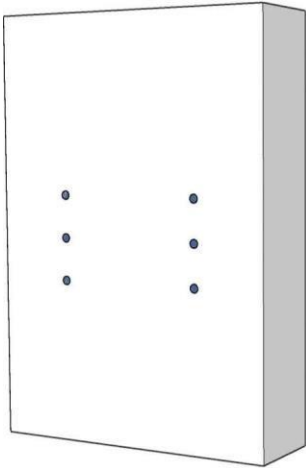
- ① Back Plate, 브라켓
 - SUS304 2T, 5kg
- ② 집진장치
 - 집진기 : 700mm × 260mm × 90mm, 5.2kg
 - 파워박스 : 350mm × 250mm × 150mm, 2.7kg
- ③ 흡음재
 - 전면흡음재 : 800mm × 500mm × 50mm
 - 후면흡음재 : 800mm × 195mm × 50mm
 - 소재 : 무기 복합재료
- ④ 셋트양카
 - 적용규격 (KS B 1016 : 기초볼트) : M8 셋트양카

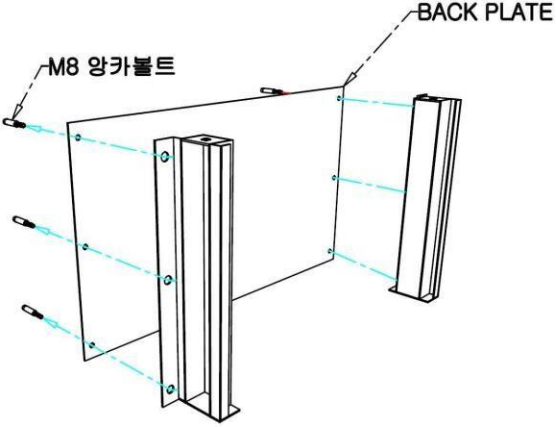
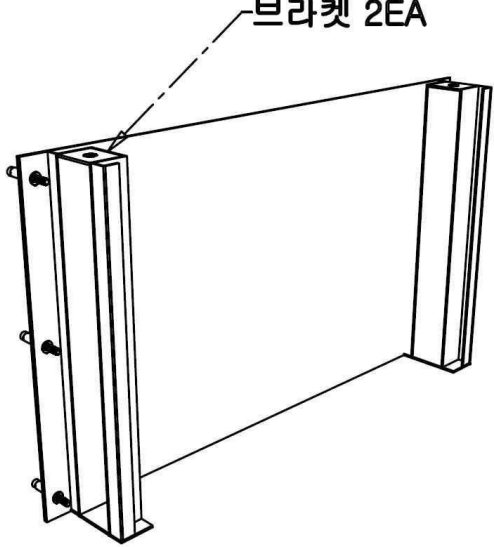
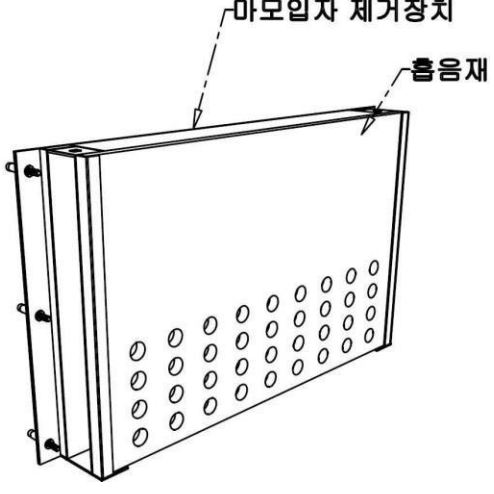
(나) 계측기 사양

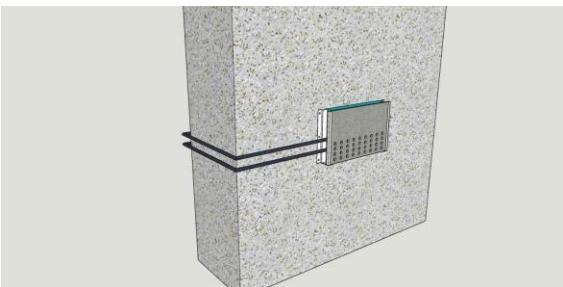
구 분	크기 (mm)	중량	수량	사용전력
<미세먼지 측정기> 	280 × 448 × 108	5kg	2	15W
<소음 측정기> 	300 × 93 × 50	650g	1	배터리 사용

2. 시제품 설치

2.1 설치순서 및 방법

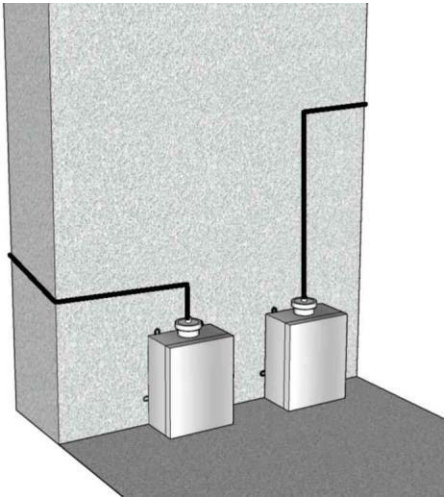
그림	설치 방법
	- 기둥 전면의 설치 위치에 볼트 천공(홀) 작업을 위한 마킹을 하고, 양카를 시공한다.
	- Back plate 홀에 맞춰 기둥에 M8양카 볼트를 고정한다. (한쪽에 3개씩 6개 양카볼트 사용)

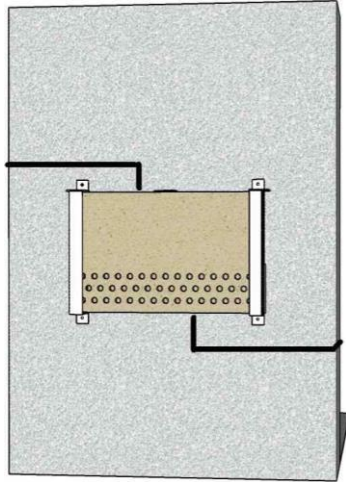
	
	- 기둥에 고정된 M8앵카 볼트에 Back plate와 브라켓을 고정한다.
	- 고정된 브라켓에 흡음재와 마모입자제거 장치를 결합한다. (위에서 아래로 끼우는 방식 사용)
 (파워박스)	- 집진기 파워박스는 기둥 후면에 앵카볼트를 사용하여 고정, 설치한다. - 집진기 파워박스과 집진장치 전원 연결선은 난연성 플렉서블관에 삽입하고, 클램프 사용하여 벽에 고정한다. - 집진기 파워박스의 접지선은 난연성플렉서블관에 삽입하고, 기둥 아래 방향으로 클램프를 사용하여 벽에 고정한다.

	
(기둥 후면 파워박스와 연결선, 접지선)	
	
(기둥 전면 연결선)	

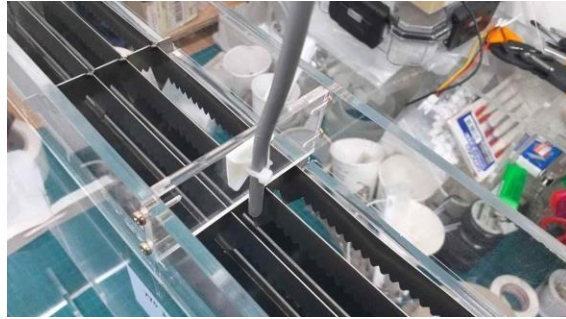
3. 계측기 설치

3.1 미세먼지 계측기 설치순서 및 방법

그림	설치 방법
 (미세먼지 계측기)  (기둥 후면 바닥 설치안)	- 미세먼지 계측기 본체 2대는 기둥 후면 바닥에 고정하여 설치한다. - 계측기 테프론 튜브는 플렉서블관에 삽입하고, 기둥 전면의 저감장치 입출구에 위치하도록 클램프를 사용하여 벽에 고정한다.

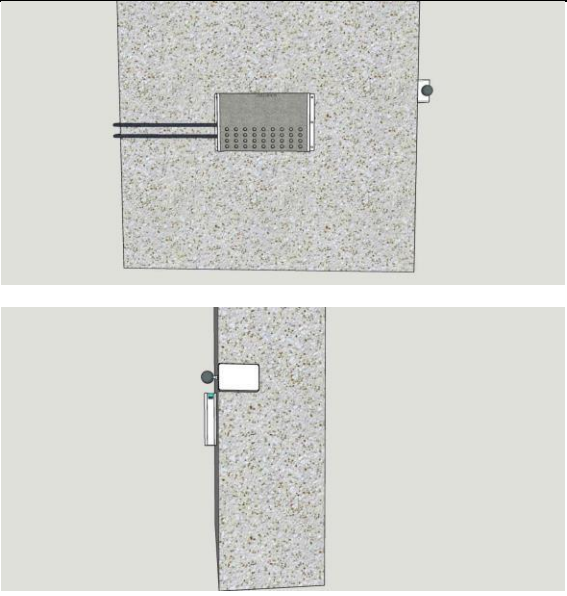


(기동 전면 입출력단)



(입출력단 집진기 고정)

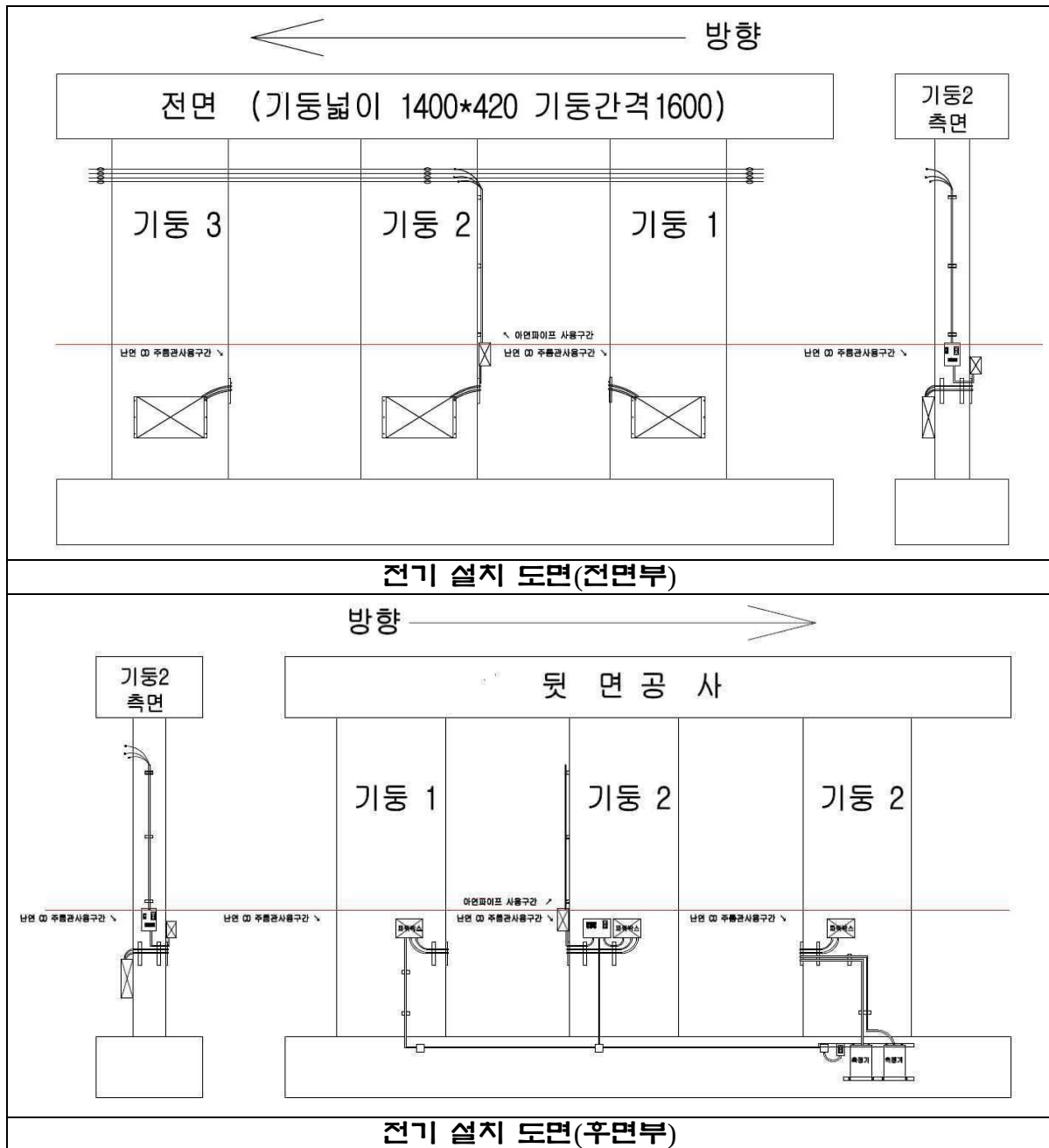
3.2 소음계 설치순서 및 방법

그림	설치 방법
	- 소음계는 방수되는 하이박스 안에 설치하여 벽에 양카볼트를 사용하여 고정한다. (소음계는 자체 배터리 사용) - 하이박스에 구멍을 뚫어 소음계 센서만 노출되도록 한다.

4. 전기 공사 계획

(가) 전원 공급 방법

- ① 전원은 터널 조명선로(접속점)에서 직접 전원을 공급한다.



② 조명선로(접속점)으로부터 시제품까지는 전원은 서울교통공사(전기사업소) 전기공사 지침에 따라 연결한다.

- 전선사양: HFIX 1.78mm 단선사용
- 강제전선관: 아연 16C 파이프 사용(선로에서 메인 누전 차단기 박스 인입까지)
- 강제전선관은 C 채널 셋트앙카 고정 후 클램프 고정
- 누전차단기함은 셋트앙카 고정
- 메인 누전차단기 박스 이후는 금속제 방수가요전선관을 사용하여 전기배선 처리
- ③ 전원과 시제품간에 누전차단기를 설치하여 사고를 예방한다.
- ④ 누전차단기는 메인차단기 1개와 각 시제품별 차단기 1개씩(3개), 계측기용 차단기 1개씩(2개) 총 6개를 사용한다.
- ⑤ 전원 모듈 및 누전차단기함은 방수처리된 제품을 사용한다.

□ 장비 및 인원투입 계획

(가) 장비동원계획(현장여건에 따라 조정 운영)

소 요 장 비	규 격	수 량	단 위	비 고
그라인더		2	대	
드릴(천공용)		2	대	
일반작업공구		1	식	

(나) 인원투입 계획

설치 인원 : 9 명 / 일 (현장여건에 따라 조정운영)

시제품 및 계측기 설치 4명

전기공사 4명

철도안전관리자 1명

□ 테스트 및 사후관리

(가) 테스트

- 동시제거장치 및 계측기 설치가 정상적으로 되었는지를 도면에 의거하여 확인한다.
- 전원시설 설치 후 절연저항을 측정하여 확인한다.
- 문제 발생시 제조사나 시공사에서 즉시 조치한다.

(나) 사후관리

- 테스트 완료 후 시제품 및 전원시설을 철거하고 기존시설을 원상복구 한다.

□ 안전관리에 관한 사항

- ① 설치 시설물(전차선, 신호시설물 등)에 대하여 지장이 없도록 관계자 업무협의를 철저히 시행한다.
- ② 작업개시 전 작업자 및 장비운전원에 대해 작업장 안전에 대한 교육을 실시하고, 작업책임자 입회하에 작업을 시행한다.
- ③ 개인 안전보호구(안전모, 안전화, 반사조끼, X반도, 장갑 등)의 착용여부를 확인한다.
- ④ 안전관리자는 위험지역 및 작업지역을 순찰한다.
- ⑤ 작업시간을 철저히 준수한다.
- ⑥ 응급처치용 구급품을 확보 및 구비한다.
- ⑦ 사고 발생시 신속히 보고하며, 복구에 철저를 기한다.
- ⑧ 작업 전후 및 작업 중의 현장 정리정돈을 철저히 한다.
- ⑨ 작업구간 전,후 70m 이상 지점에 경광등을 설치하여 타 작업자가 작업 중임을 인지하도록 한다.

다) 터널 물청소에 의한 집진 장치 세척

: 터널 물청소는 주기적으로 이루어지며, 고압 살수차 또는 작업자가 직접 호스를 이용해 벽면 등을 세척하는데, 이 때 벽면에 뿌려진 물이 장치 안으로 흘러들어가 포집부 먼지를 씻어내거나 작업자가 호스를 이용해 직접 장치에 물을 뿌려 세척 가능

: 씻어낸 먼지는 지하 배수로를 따라 집수정으로 모이고 집수정 청소를 통해 제거하게 됨

: 집진모듈은 발수 설계가 적용되어 동작 중에 물청소를 하더라도 내부에서 작은 스파크 발생 후 빠른 시간 안에 건조되어 다시 정상 동작이 됨.

: 시스템 전원을 끈 후 물청소를 하고 약 1시간 정도 건조 후 동작을 하는 것이 시스템의 관리 측면에서 유리함

: 흡음재는 물청소를 하더라도 내구성에 변화가 없으며, 동결융해저항성 시험에서도 압축강도비 94% 를 확보해 매우 우수한 성능 확인



[지하철 물청소(좌)와 고압살수차(좌) 사용 예]

□ 고압 살수차 사양

- 주행 성능

- 1) 최소 주행 곡선반경 : 80m
- 2) 최대 주행구배 : 45퍼밀 이상
- 3) 최대 주행 속도 : 공차 시 60km/h 이상(직선 평탄 구간)
적재 시 45km/h 이상(직선 평탄 구간)

- 제동 성능(감속도 조건 : 공차시 60km/h-정지)

- 1) 상용 : 3.5km/h/s 이상
- 2) 비상 : 4.5km/h/s 이상

- 작업성능

- 1) 작업속도 : 세척 시 최대 10km/h, 흡진 시 최대 3km/h 이상
- 2) 물탱크 용량 : 25,000리터 이상
이론용적 : 2~14,000리터
실적재 용적 : 2~13,000리터
탱크 재질 : STS 304 또는 AL탱크
- 3) 최대 작업구배 : 45퍼밀 이상
- 4) 작업압력

구 분	노즐수	최대 압력	유량(분당)	비 고		
레 일 부	4	240bar	30lpm	• 전후 각 1set		
도상부	센터 좌	5	130bar	70lpm	• 전후 각 1set	
	센터 우	5	130bar	70lpm	• 중앙배수로, 양측배수로, 좌측배수로, 우측배수로에 따른 선택제어	
	도상 좌	9	130bar	100lpm		
	도상 우	9	130bar	100lpm		
	벽체 상	4	130bar	44lpm		
벽체	벽체 하	5	130bar	70lpm	• 전후, 좌우 각1set	
	천 정	13	110bar	120lpm	• 전후 각1set	
천정	천차 선	3	110bar	60lpm		
	분무	상단 부	17	110bar	75lpm	• 전후 각1set
		하단 부	6	110bar	30lpm	
흡입 장치		3개소 (흡입구)	진공도90%	2400m³/h	• 후1set	
• 살수장치는 양방향 작업이 가능하도록 각2세트가 설치됨						
• 압력조절은 워터펄프 rpm제어 방식임						

- 집진장치에 영향을 줄 수 있는 살수차 사양

- 벽체는 최대 압력 130bar, 유량 44~70lpm으로 운영
- 천정은 최대 압력 110bar, 유량 60~120lpm으로 운영
- 분무는 최대 압력 110bar, 유량 30~75lpm으로 운영
- 흡입장치는 진공도 90%, 유량 2400m³/h으로 운영

▶ 집진모듈 성능시험 시 고압세척기(130~170Bar)로 내구성 테스트 완료

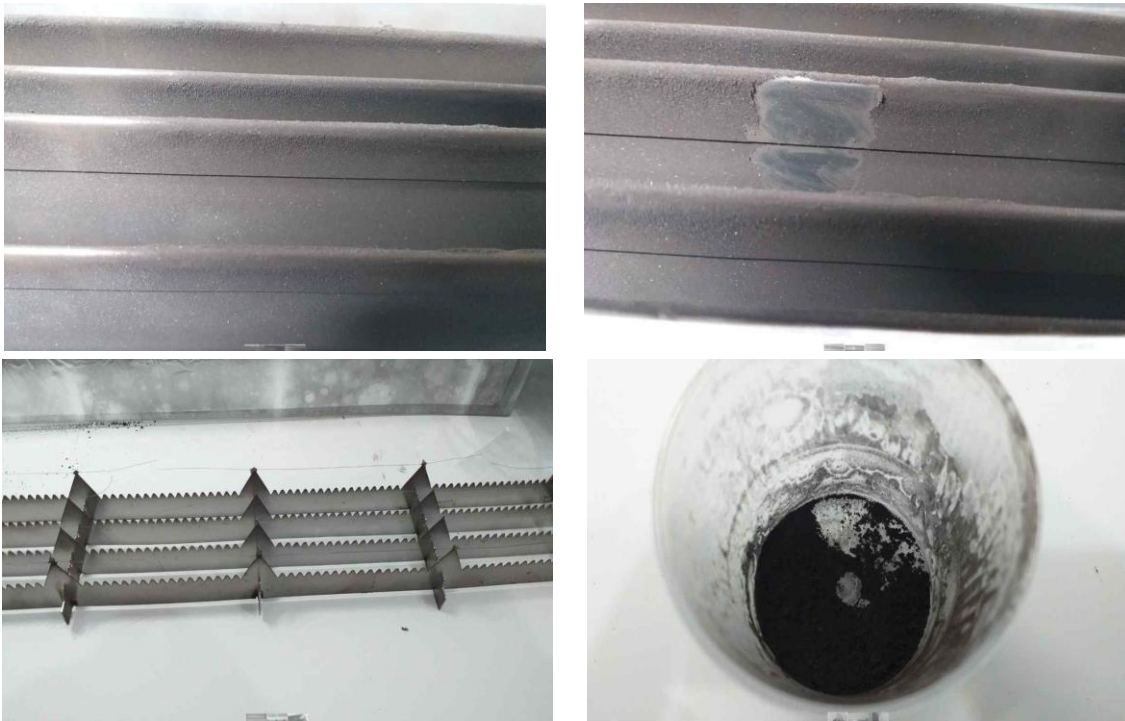
8) 시제품 현장 성능 검증

가) 미세먼지 집진효율 모니터링 결과 분석

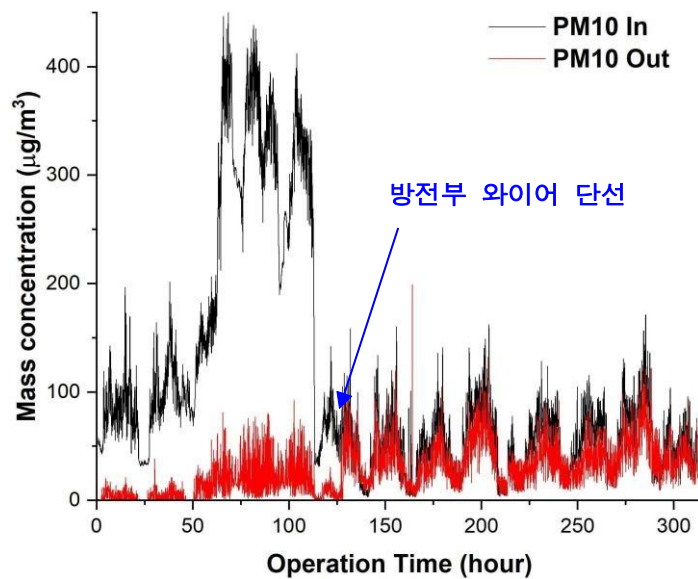
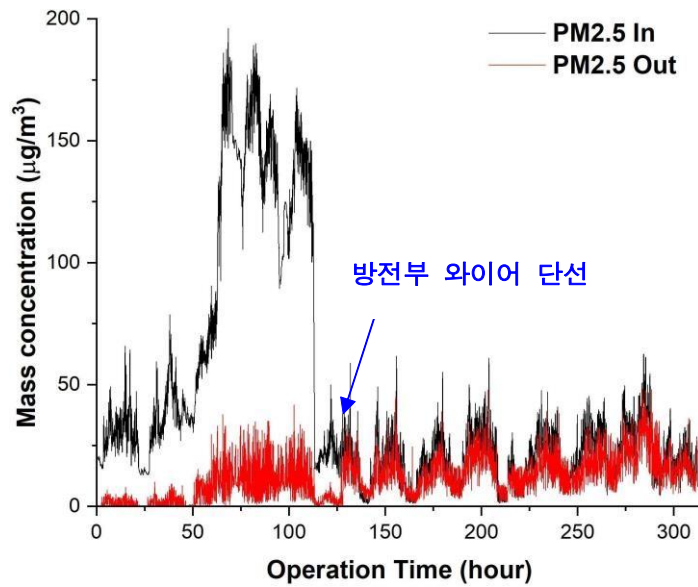
- 시제품은 2021년 11월부터 17일부터 2022년 1월 27일까지 지하철 터널 구간에 설치, 시범 운영 되었으며, 총 3개 중 1개의 입출구에 미세먼지 농도 계측기를 설치하여 5분~10분 간격으로 PM2.5, PM10을 측정

(1) 1차 (2021.11.17.~2021.11.30)

- : 외기에 비해서 매우 높은 농도의 미세먼지가 발생하며, 시제품 입구 농도에 비해 출구 농도는 매우 낮아 정상 동작 시 90% 이상의 효율을 나타내는 것으로 분석됨
- : 다만, 철 성분의 마모입자가 포함된 미세먼지의 농도가 매우 높아 집진모듈의 방전부 와이어 일부가 부식, 단선되는 현상 발견
- : 단선은 동작시간 약 127시간 시점에 발생하였고, 이후에는 방전이 안되어 집진 성능이 매우 떨어짐
- : 단선된 제품에 계측기가 설치되어, 단선된 집진모듈을 1차 점검 시 정상 동작하고 있던 제품의 집진모듈로 교체하여 설치



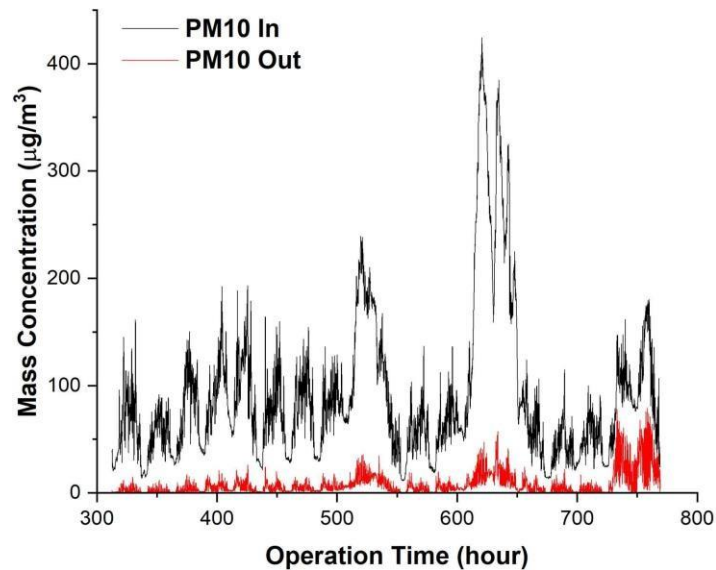
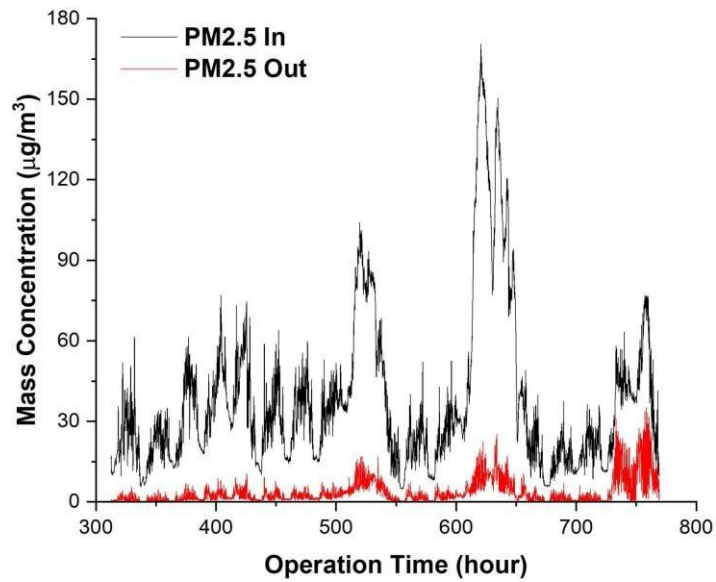
[수거한 집진모듈의 포집부 먼지 및 와이어 단선 상태]



(2) 2차 (2021.12.3.~2021.12.22.)

: 계측기 설치 제품은 정상 동작하였으나, 와이어의 부식이 눈으로 확인되어 3기 모두 도금 와이어로 교체함

: 1차 점검 시 설치된 다른 제품에서 교체하여 2차 점검 시 까지 총 한달 이상 동작 한 것을 고려 시, 안정적인 집진 성능을 나타내는 것으로 분석

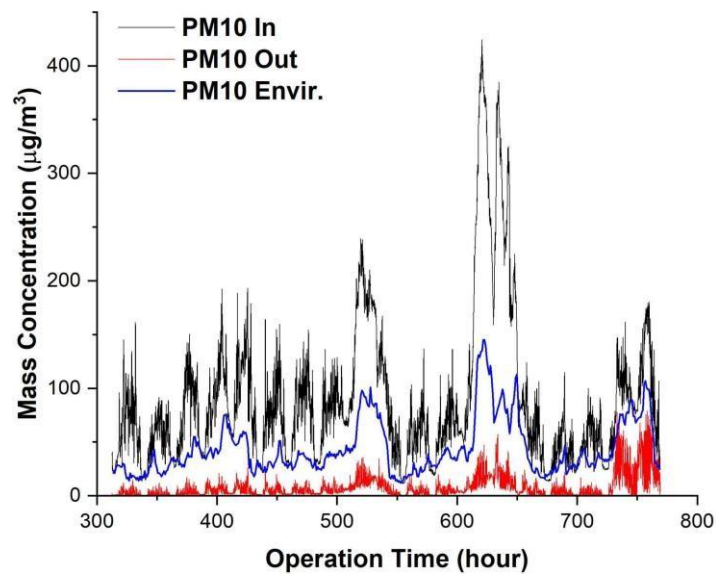
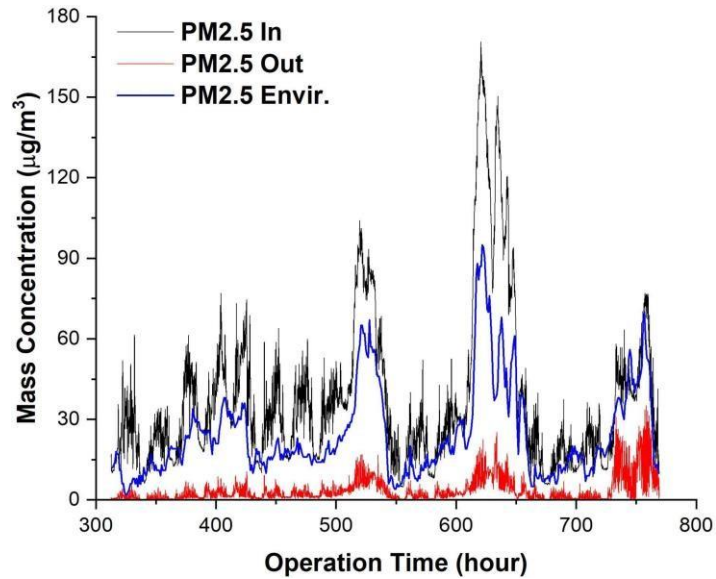


- 외기 미세먼지 농도와 비교

: 외기 미세먼지 농도는 대상 역이 위치한 지역의 환경부 대기환경정보(에어코리아, www.airkorea.or.kr)에 공개된 시간별 데이터를 활용함

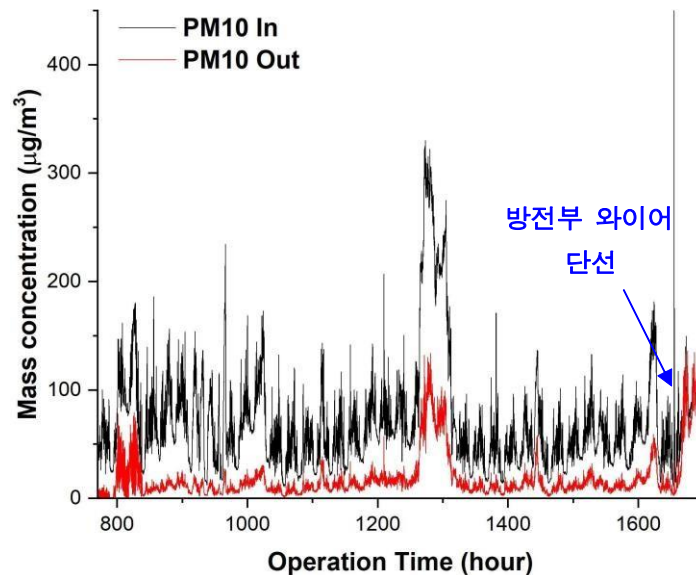
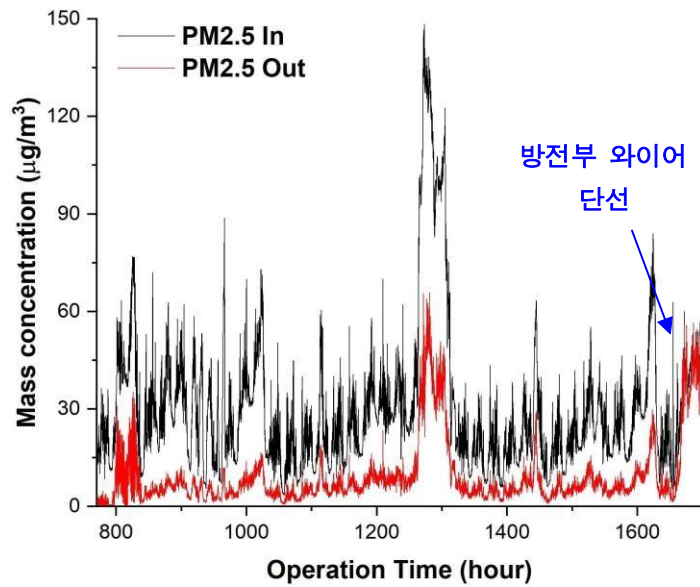
: 집진기 입구 농도는 외기 농도와 매우 상관성이 높은 것으로 나타나며, 특히, 외기 농도에 비해 터널의 PM10 농도가 매우 높은 것을 확인할 수 있음

: 집진성능은 동작시간 730시간 이후에 점차 저감하는 것을 확인할 수 있음



(3) 3차 (2021.12.23.~2022.1.27.)

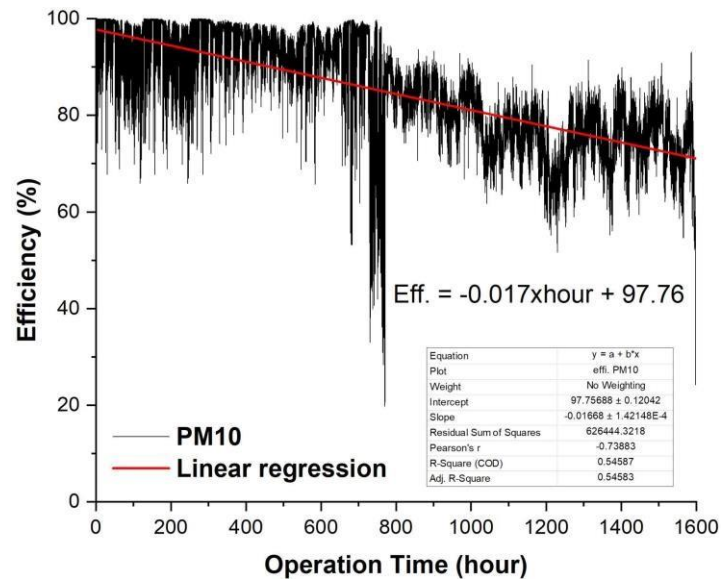
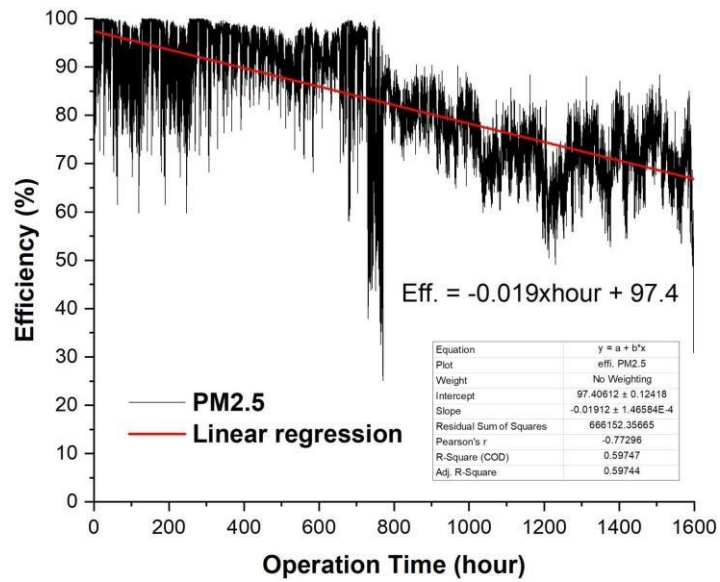
- : 약 한달 이상 정상 동작 후, 철거 직전 방전부 와이어 단선 발생한 것으로 확인되며, 도금 와이어의 두께가 기존 와이어 보다 얇고 제작 결함 등이 원인으로 분석됨
- : 그러나, 약 한달 이상 정상 동작하였고, 와이어 단선 전에는 집진 성능이 우수한 것으로 판단
- : 또한 포집부의 경우 두달 이상 사용에도 성능에 문제가 없음을 확인
- : 일부 개선 사항을 반영하면 현장에서 활용도가 높을 것으로 예상됨



- ▶ 현장 검증 기간 동안 「실내공기질 관리법」의 지하철 터널의 PM10에 대한 유지기준인 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 날이 많았으며, $400\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과하기도 해 지하철 터널의 공기질 관리가 시급함을 확인함
- ▶ 시제품의 출력단에서는 모두 기준을 만족하는 우수한 성능을 확인함
- ▶ 시제품 1개당 처리풍량은 약 $240\text{m}^3/\text{hour}$ 으로, 500m 길이의 복선 터널 구간에서는 선로를 따라 약 100개 설치 시, 1시간에 한번 터널 전체를 환기하는 효과가 예상됨

- 현장 집진효율 데이터 기반 집진모듈의 유지관리(물청소) 시기 또는 교체시기 예측

- : 정상 동작시간인 총 1600여시간의 5~10분 간격 입출구 PM2.5, PM10 측정데이터를 이용하여 선형 회귀 분석을 수행함
- : 터널 물청소 등을 통한 집진모듈의 유지관리 또는 교체가 필요한 시기 기준을 집진효율 50%로 설정
- : PM2.5 기준 동작시간 약 2494시간(104일)이면 집진효율 50%에 도달할 것으로 예상
- : PM10 기준 동작시간 약 2809시간(117일)이면 집진효율 50%에 도달할 것으로 예상
- : 따라서, 약 3개월 사용 후 물청소 등 유지관리가 요구됨



나) 현장 테스트 후 집진모듈의 시험실 동작 성능 시험

: 현장에서 회수된 집진모듈은 먼지가 많이 포집되어 있으나, 정상 동작 확인

: 미세먼지 농도는 입구 4.0($\mu\text{g}/\text{m}^3$), 출구 0(효율 100%)이고, 출구속도는 0.6~0.7m/s로 설치 전에 비해 속도 감소함



[물청소 전]



[물청소 후]

- : 물청소로 집진모듈에 포집된 먼지는 쉽게 제거 되었으며, 물청소 10분 후 정상 동작 여부 확인
- : 출구 속도 0.8~1.1m/s로 설치 전과 비슷한 수준으로 회복됨

- ▶ 포집된 미세먼지는 현장 물청소 및 집진모듈 교체 등으로 제거할 수 있고, 이후 효율이 정상 수준으로 회복되어 필터 방식 대비 내구연한이 길 것으로 예상됨
- ▶ 현장 설치된 장치 철거 시에는 미세먼지 탈락이 거의 없었으나, 이동 시 이동장치의 진동에 의해 일부 미세먼지가 탈락되는 것을 확인함. 포집된 미세먼지의 탈락, 재비산에 대한 추가 연구가 필요함

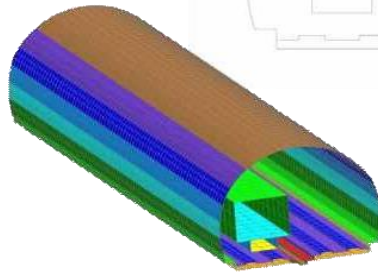
1단계 (Lab test)	- 포집된 미세먼지의 탈락 조건 분석 : 시험실 내 챔버에서 미세먼지 포집양과 인가전압의 변화, 진동, 열차풍과 같은 바람, 습도, 온도 등 다양한 파라미터의 영향 분석 - 탈락된 미세먼지의 재비산 시의 유동해석(입자이동)을 통한 영향 분석
2단계 (Field test)	- 포집된 미세먼지의 탈락 전 물청소 및 교체 실시 등 유지관리 주기 분석 - 현장 설치를 통해 미세먼지 탈락 시기 확인(영상 모니터링) - 집진모듈 분리 및 유지관리 시 미세먼지 탈락 여부 확인(영상 모니터링)
3단계 (Guideline)	- 집진모듈 해체, 이동 시 미세먼지 탈락 방지를 위한 가이드라인 제시 - 필요시, 유지관리를 위한 장치 추가 개발을 통해 미세먼지 탈락/재비산 방지

나) 터널 열차소음 저감 효과 분석

- : 열차소음 저감 효과를 현장에서 검증하기 위해서는 열차 길이 이상으로 터널 양측에 설치해야 하는데, 이는 1차연도에 오송시험선 터널 구간에 흡음재만 설치하여 열차 실내 소음 저감효과를 확인한 바 있음
- : 2차연도에는 테스트베드 터널의 도면을 기반으로 터널 및 철도 차량의 음향 해석을 통해 소음 저감 효과를 예측함

(1) 테스트베드 터널 음장 해석을 통한 소음 저감효과 예측

- 터널 및 차량 형상 모델링
: 제공된 도면을 기반으로 터널 및 차량의 CAD 모델 및 격자 모델 생성
- 도면 분석 : 제공된 도면의 분석 및 해석에 필요한 요소 추출
- CAD 모델링 : 제공된 도면을 NX 모델링에 입력 및 관련 3D 형상 생성
- 격자 생성 : CAD 모델을 기반으로 해석 기법과 케이스를 고려하여 격자 생성

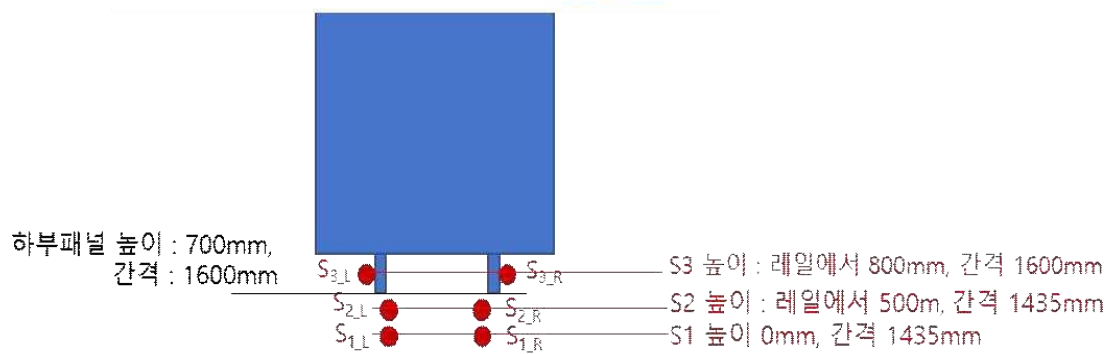
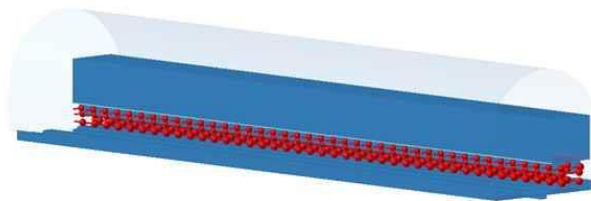


해석용 격자 모델

(2) 음원 모델링

- : 철도 차량의 소음은 단위길이(m) 당 등가 음원으로 모델링을 수행하였음.
- : 해당 음원은 다음과 같이 차량 하부에 단위 길이당 6개의 음원을 생성하였음.
- : 차량 모델 하부에는 관련 구조를 등가 모델링하기 위해 하부 패널을 생성함.

- 간격 : 1600 mm
- 높이 : 700 mm

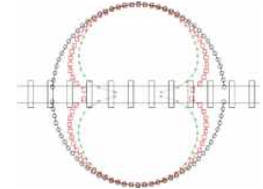


철도 차량 등가 음원의 배치

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
S1(L/R)	41.79	57.19	62.59	68.49	70.09	62.79	46.59	37.29
S2(L/R)	33.19	44.19	63.09	61.49	58.09	58.49	60.69	49.99
S3(L/R)	67.09	70.59	77.39	68.59	63.49	63.29	65.79	61.09

철도 차량의 단위 길이당 음향 방사 파워

지향성 인자	S1	S2	S3
D	0	$10\log(0.13 + 0.87\cos^2\psi)$	$f=63\text{Hz}, 0$ $f=125\text{Hz}, 10\log(\cos\psi)$ 그 외, $10\log(\cos^2\psi)$

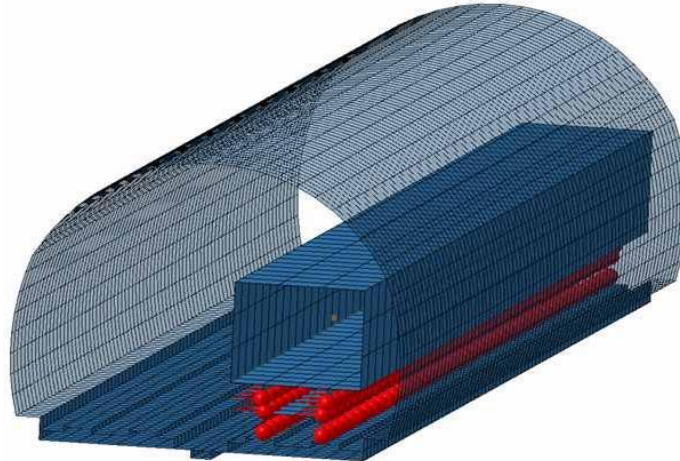


ψ 는 해당 구획 선로 중심에서 수음점까지의 연결선과 해당 구획의 수평축(차축 방향) 사이의 각도

철도 차량 등가 음원의 음향 지향 특성

(3) 해석 케이스

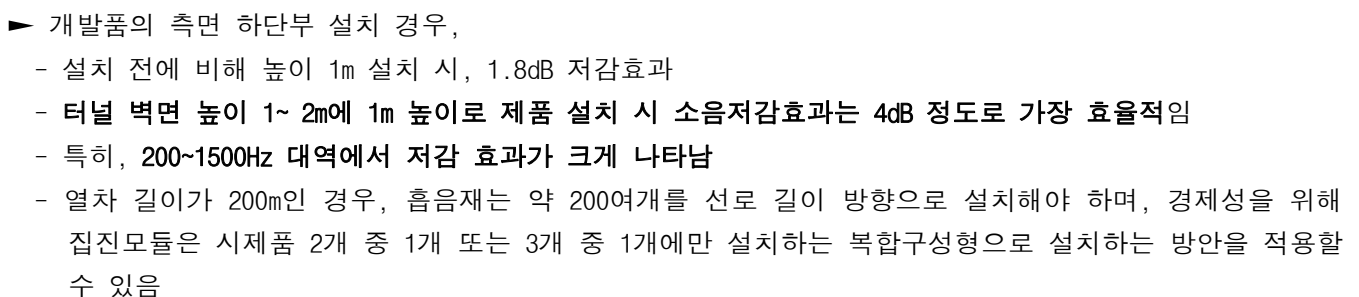
- : 40m 길이 터널 모델로 246개 음원 사용(단위 길이당 6개)
- : 수음점은 차량 내부 중앙 위치
- : Reflection order : 40회
- : No. of Rays : 10,000개



40m 터널 해석 모델

- Case 1 : 바닥면
- Case 2 : 바닥면+ 측면 하단 1m 높이까지
- Case 3 : 바닥면+ 측면 하단 2m 높이까지
- Case 4 : 바닥면+ 측면 하단 3m 높이까지
- Case 5 : 바닥면+ 측면 하단 4m 높이까지
- Case 6 : 바닥면+ 측면 하단 5m 높이까지
- Case 7 : 바닥면+ 측면 하단 6m 높이까지
- Case 8 : 터널 내부 전면

* 1차년도에 수행한 개발품의 터널 하단 바닥면 50cm+ 벽체 50cm 높이 적용 전후 음장해석 결과 비교
에서 3dB 이상 저감효과 확인한 바 있음

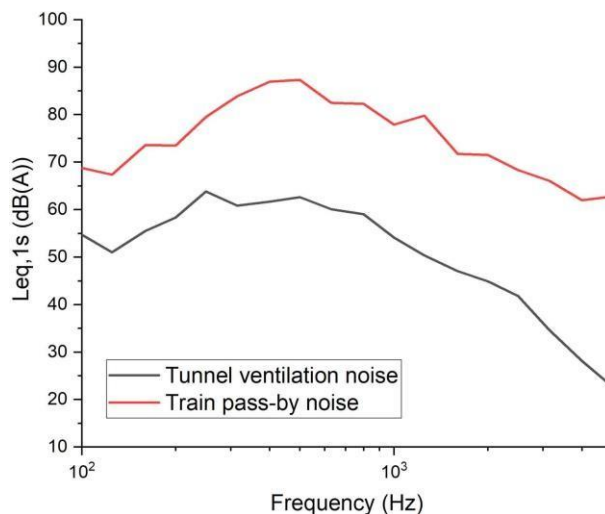
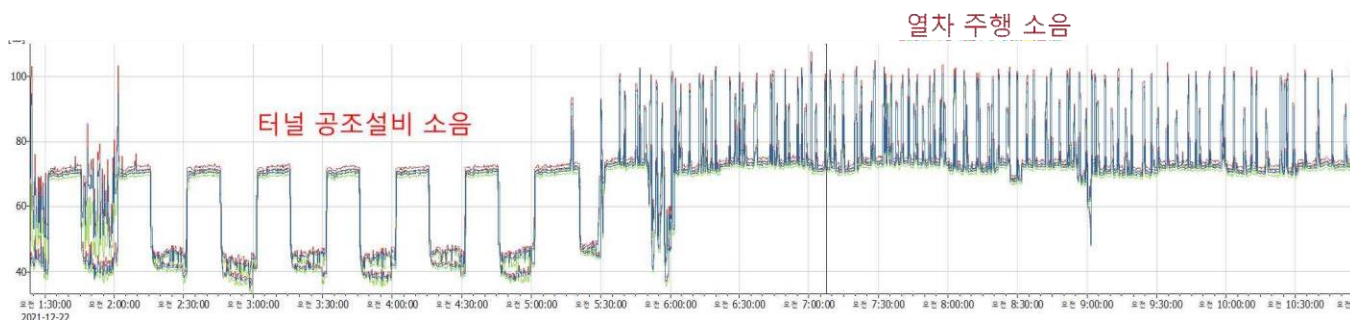


(2) 테스트베드 터널의 열차 주행 소음 측정 결과

: 시제품이 설치된 테스트베드 터널에서 약 10시간 동안 소음을 측정한 결과, 열차 미운행 시간에는 배경소음이 50dB 이하이며, 터널 환기구 공조설비가 동작하는 동안에는 약 70dB에 가까운 소음이 발생

: 열차 운행시간에는 터널 환기구 공조설비가 상시 동작하는 것으로 보이며, **열차 주행 소음은 최고 100dB 이상 발생**하기도 함.

: 열차 주행 소음은 특히 200~1500Hz 대역에서 레벨이 높아, 흡음재의 저감 효과가 클 것으로 예상됨



[테스트베드 터널 구간의 발생 소음 특성]

다) 개발품의 현장적용안

(1) 설치위치

- 1,2차연도 연구 수행을 통해 효율적이고 효과적으로 선로 소음/미세먼지를 저감하기 위한 설치 위치는 월레일 접촉부인 오염원과 근접한 터널 측벽 1~2m 높이임.
- 터널 측벽 외에도, 승강장 플랫폼 하단(라이저)나 선로 중앙 기둥 사이에 설치해도 유사한 효과가 기대됨
- 또한, 개발품 설치 및 유지관리 작업의 용이성과 미세먼지 흡배기를 위한 충분한 공간 확보도 고려됨

(2) 설치연장 및 구성

- 미세먼지 저감 측면에서는 시제품의 처리풍량 $240 \text{ m}^3/\text{hour}$ (240 cmh)를 적용하고자 하는 공간의 전체 부피에 대해 계산하여 산출할 수 있으며, 시간당 환기 또는 분당 환기 등 요구되는 정화 목표치에 따라서도 설치 대수가 달라짐

-
- 일반적인 복선 터널의 500m 구간에서 시간당 환기를 목표로 한다면, 집진장치는 약 100여대 설치가 필요하며, 양측 선로에 설치 시 각 50여대 설치가 필요함
 - 철도 실내소음의 저감을 위해서는 열차 주행속도 및 통과시간 등을 고려해 연속적으로 설치하는 것이 필요함
 - 주행속도가 높은 구간, 파상마모로 인한 이상소음 발생구간 등에 설치할 수 있고, 구간에 따라 50~200m 설치로도 실내소음 저감 효과가 있을 것으로 예상됨
 - 개발품은 집진모듈 대신 흡음재를 추가할 수 있는 모듈형으로, 설치하고자 하는 구간에 따라 복합적으로 구성하여 비용과 효과 측면에서 효율적임

(3) 후속연구 : 기존 집진장치 및 흡음재 운영 실태 분석

- 기존 터널 벽면 및 궤도 바닥에 설치된 흡음재는 노후되고, 성능 유지에 대한 분석이 전혀 이루어지지 않고 있음.
 - 일부 선로변에 설치된 전기집진장치는 시범운영 이후 활용이 잘 안되고 있는 상황으로, 대체로 저감효과가 낮아 효과 대비 유지관리 비용 등에 대한 부정적 평가에 의한 것으로 분석됨
 - 기존 장치의 운영 실태를 보다 면밀하게 분석하여 개발품의 현장 적용시 운영기관에서 잘 활용될 수 있도록 설치 및 유지관리에 대한 가이드라인 제시 연구가 필요함
-

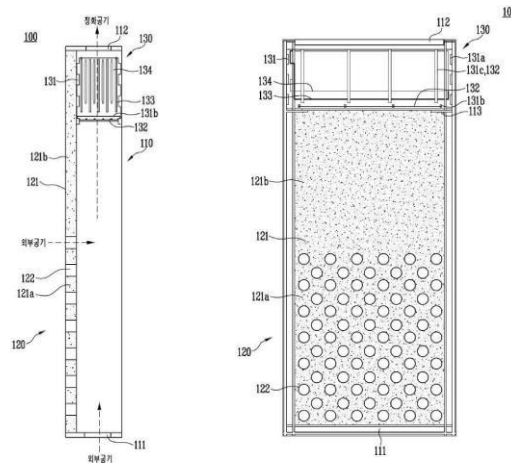
9) 사업화 및 인증을 위한 추진 전략 수립

가) 기술 분석

(1) 기술 개요

- 열차의 휠과 레일이 접촉하면서 발생하는 소음과 마모입자는 철도 터널, 승강장, 열차 실내로 유입되어 승객 및 작업자의 건강을 위협하는 원인임. 그러나 이를 저감하기 위한 궤도 흡음블럭이나 벽체 흡음재는 일부 국소 구간에만 설치되어 있고, 도시철도 환기구에는 최근에서야 대형 집진설비를 설치하여 미세먼지를 저감하기 위한 노력을 하고 있음. 소음과 미세먼지는 특히 지하역사 및 터널이 있는 도시철도에서 서비스 품질 및 작업환경의 보건성 측면에서 적극적으로 관리해야 하는 공해임에도 불구하고 이를 저감하기 위한 자재나 설비의 비용과 유지관리 측면에서 운영기관에 부담이 되어 이를 동시에 관리하는 경우가 거의 없는 실정임.
- 철도 전동소음과 미세먼지는 열차 휠과 레일의 접촉에 의해 발생하며, 저감장치를 오염원에 근접하여 설치할수록 효율적이고 효과적으로 발생량을 저감하고 관리할 수 있음.
- 현재 일부 도시철도의 국소 구간에 궤도 흡음블럭 및 벽체 흡음재가 설치되어 있으며, 이는 소음 저감의 기능만 갖고 있음.
- 소음과 미세먼지를 동시에 저감할 수 있고, 철도 건축한계를 벗어나지 않으며 유지관리가 용이한 장치로서 소음과 미세먼지 저감 성능이 모두 우수함.

(2) 기술 특징



- 이온풍을 이용한 팬리스 집진장치
 - 전기유체역학적 추진력에 의해 이온풍이 발생하도록 설계하여 흡배기를 위한 송풍팬이 없이도 강제흡배기가 가능
 - 팬이 없이도 단면 630cm³(0.063m³) 시제품의 경우 실내용 공기청정기 시험규격에 의거한 공기정화성능이 20분 경과시 약 70% 이상(KCI 입자 0.3 μ m 기준)
 - 전기집진 방식으로 물청소로 유지관리가 가능하여, 필터 교체 비용을 절감
 - 와이어 에미터 사용으로 오존 발생 최소화
- 불연 흡음재를 사용한 철도 소음 저감 구조
 - 터널, 지하역사 등에서 발생한 철도 소음이 벽면에서 반사되어 수음자나 열차 내부로 전달될 수 있는데, 벽면에 흡음재를 적용함으로써 음에너지 감쇠 가능
 - 철도 터널 및 역사 등에 적용하기 위해 강도와 불연성 등 요구사양을 만족하는 흡음재 소재를 적용
 - 흡음재를 전면에 배치하되, 공기가 통과할 수 있는 구멍을 뚫어 집진장치로 미세먼지가 유입되는 유로의 역할을 하고 동시에 배후공기층으로서 소음 저감 성능이 향상됨
 - 잔향실법으로 측정한 흡음률은 0.75 이상으로 우수한 흡음재의 성능 수준 만족

[대상 제품과 일반 건식형 집진기의 비교]

구분	대상 제품	일반 집진기
구성요소 및 특징	- 송풍장치 없음(팬리스) - 흡음패널을 사용	송풍장치를 이용하며 크기에 따라 소음이 발생함
장점	- 이온풍을 이용하여 별도의 송풍장치를 달지않아도 공기정화가 가능함 - 구조가 컴팩트하여 병렬형으로 구성할 경우 터널 벽면 등에 손쉽게 설치할 수 있음 - 흡음패널을 이용하여 소음저감 효과 높음	- 송풍장치를 이용하여 빠르게 대량의 공기를 유입할 수 있음 - 세정장치를 추가하여 필터 교환 등의 유지보수 업무를 줄일 수 있음
단점	- 설치 대수가 많아야 효과를 볼 수 있음 - 세정장치가 포함되어 않고, 터널 물청소로 먼지를 제거하므로, 터널 물청소 주기에 따라 성능 유지 수준이 달라짐	송풍 유닛에 대한 수리, 부품교체 등 유지보수 발생할 수 있음

나) 시장 분석

(1) 산업 동향

○ 대기 환경 및 대기오염물질 처리산업의 특징

- 대기 환경산업은 산업 자체 수급보다는 국내외 환경 규제 및 정부의 환경정책 등 법·제도적 요인에 의해 수요가 창출되는 특징이 있음. 특히 대기오염물질 처리설비는 기본적으로 법적 배출허용기준을 달성하기 위해 설치하는 것으로 정부 환경정책에 크게 의존함
- 환경 오염 유발요인의 다양성과 복잡성 때문에 물리, 화학, 생물학 등 기초과학 및 기계, 화공, 토목 등이 융합된 산업으로 기술 집약적이고 고부가가치 산업임
- 그러나 사업 규모가 큰 화력발전소, 제철소 등 대형사업장 설비 사업은 대기업·중견기업이 주도하고 있으며 중소기업은 영세한 사업구조로 저부가가치의 단순 시공 또는 비교적 규모가 작은 간단한 방지 설비에 참여하고 있음
- 배출된 대기오염물질 사후처리 중심에서 사전예방, 배출오염원 봉쇄·차단 등 점차 오염회피기술로 전환될 전망이다. 특히, 선진국의 경우 환경 오염 방지시설과 같은 사후처리 분야는 어느 정도 해결되었고, 현재는 사전오염 예방기술을 넘어 오염 매체별 접근이 아닌 피오염체 위주의 환경기술을 개발 중

○ 대기오염 방지설비 산업의 구조

- 대기오염 방지설비 산업은 전방 및 후방산업의 산업파급 효과가 큰 수준이며 국내 대기오염 방지기술은 성숙 단계로 대기업과 전문화된 중견기업을 중심으로 국내 시장이 점차 확대되고 있는 형태임

[대기오염방지설비 분야 산업구조]

후방산업	대기오염방지설비	전방산업
소재(충진재), 필터, 기계 구성품 제조	시설, 소재, 기기, 서비스	소각장 플랜트, 발전소 배출가스 저감설비, 자동차 배출가스 저감설비

(출처 : K·MAPS, 중소, 중견기업 기술로드맵 에너지/환경 시스템 2017-2019)

- 대기오염방지설비의 전방산업은 소각장 플랜트, 발전소 배출가스 저감 설비, 자동차 배출가스 저감 설비산업 등 대기오염물질을 대량 배출하는 대형산업이 포함되어 있으며 후방산업은 기초적인 화학약품, 원료, 소재 등을 제작 및 공급하는 산업이 포함되어 있음

○ 미세먼지 감축 사업 확대 및 관련 기준·제도 강화

- 2019년 3월 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’ 이 시행되었으며 이에 따라 정부에서는 미세먼지 저감 및 관리를 위한 종합계획을 수립하여 시행하고 있음
- 또한, 미세먼지 농도가 환경부령으로 정하는 기준을 초과할 경우 자동차 운행 제한, 시설 가동시간 변경 및 가동률 조정, 비산먼지 발생사업 중 건설공사장의 공사 시간 변경 등 조치를 취할 수 있어 미세먼지 저감에 대한 중요성이 커지고 있으며 이에 대기오염 방지시설에 대한 시장이 더욱 확대될 것으로 예상함

○ 대기관리 분야 기업체 당 투자액 증가

- 2019년 대기관리 분야의 사업체별 평균 투자액은 2.5억 원으로 전체 환경 부문 평균 투자액 0.8억 원에 비해 높은 편이며, 2018년 대비 투자액이 0.6억 원 증가

(2) 국내 시장 분석

○ 조달 등록상품의 종류

- 조달 거래 물품/상품 정보를 관리하는 상품정보시스템에 등록된 집진기 또는 집진장치는 다음과 같음

[조달 등록 집진기 상품 현황]

물품분류 번호	품명 (영문품명)	세부품명번호	세부품명 (세부영문품명)	등록상품
40161503	집진기 (Dust collectors)	4016150301	전기집진장치 (Electrostatic precipitator)	174
		4016150302	세정집진장치 (Water scrubber)	67
		4016150303	원심력집진장치 (Centrifugal collector)	87
		4016150304	중력집진장치 (Settling chamber)	27
		4016150305	관성력집진장치 (Inertial collector)	6
		4016150306	제진장치 (Clean air equipments)	262

(출처 : 상품정보시스템, <https://www.g2b.go.kr:8053/main/main.do>)

- 상품정보시스템에 등록된 집진기는 총 6개의 세부 품목으로 나누어져 있으며 총 623개의 제품이 등록되어 있음
- (전기 집진장치) 코로나방전에 의하여 처리 가스 중의 입자에 전하를 주어, 이의 대전(帶電)입자를 전기력 등으로 분리·포집하는 집진장치. 건식 ESP가 이에 속함
- (세정 집진장치) 액체 중에 처리 가스를 통과시키거나 처리 가스 중에 액체를 주입하거나 양자를 병용하여 가스와 액체가 접촉함으로써, 가스로부터 분진을 분리하여 액체 중에 포집하는 집진장치
- (원심력 집진장치) 처리 가스에 선회 운동을 주어 원심력에 의하여 가스로부터 입자를 분리·포집하는 집진장치
- (중력 집진장치) 처리 가스 중의 입자를 중력에 의한 자연 침강의 방법으로 가스로부터 분리·포집하는 집진장치

- (관성력 집진장치) 장애판에 처리 가스를 충돌시켜 기류의 급격한 방향 전환시킴으로써 관성력에 의하여 가스로부터 입자를 분리 포집하는 장치
- (제진 장치) 작업장에서 발생하는 먼지, 폼, 미스트, 악취 등의 유해한 것을 작업자의 호흡 시 흡입되지 않도록 제거하여 주는 장비로서, 이동 가능한 것만 해당되며 고정 설치 운전되는 대형 집진기 등은 별도로 분류함

○ 연도별 계약 현황

- 조달 빅데이터 분석시스템¹⁾*을 이용하여 2017년부터 2021년까지 집진기에 대한 조달(중앙과 자체 조달 포함)계약 현황을 분석한 결과 다음과 같음

[집진기의 연도별 조달계약 현황]

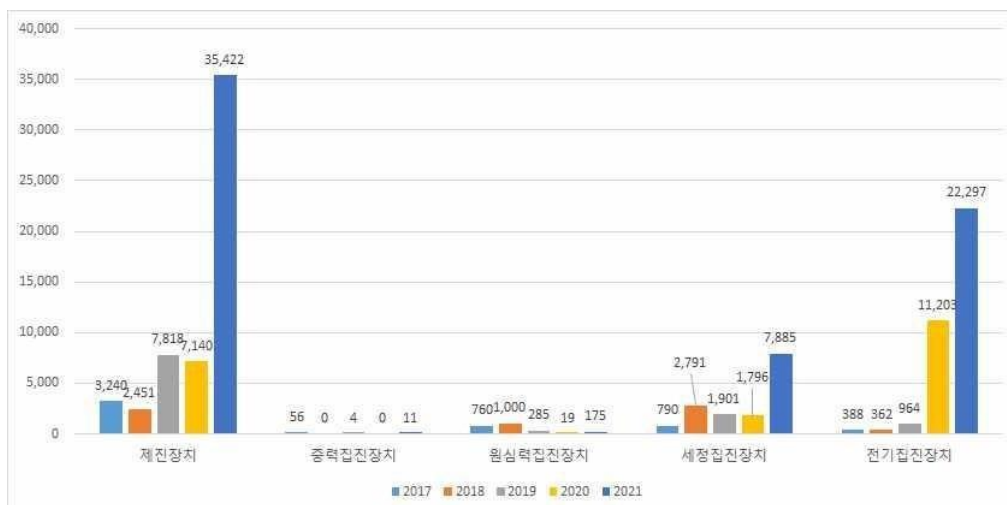
(단위 : 백만 원)

구분	2017	2018	2019	2020	2021
제진장치	3,240	2,451	7,818	7,140	35,422
중력 집진장치	56	0	4	0	11
원심력집진장치	760	1,000	285	19	175
세정집진장치	790	2,791	1,901	1,796	7,885
전기집진장치	388	362	964	11,203	22,297
합계	5,233	6,603	10,972	20,157	65,789

* 본 데이터는 나라장터를 통해 물품의 구매와 조달이 이루어진 경우의 데이터이며 자체 조달시스템을 이용하는 경우는 집계되지 않음. 따라서 위 계약금액이 국내 공공조달 시장규모를 정확하게 반영하고 있지 않으며 다만 추이를 확인할 수 있음

- 집진기 전체 품목의 조달계약 금액은 2017년부터 2019년까지 비교적 완만하게 증가하다가 2020년에는 10,972억에서 20,157억으로 83.7% 증가, 2021년에는 무려 65,789억으로 226.3% 이상 증가하였음

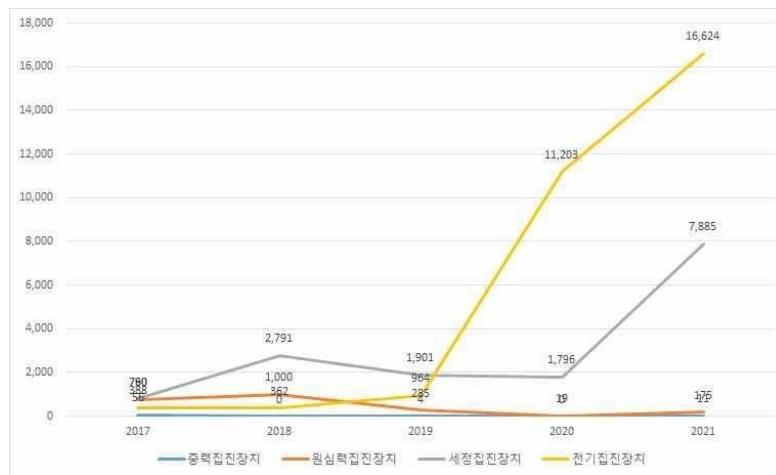
[품목별/연도별 동향]



- 품목별로 비교하면 2017년부터 2021년까지 제진장치는 61.3%, 세정 집진장치는 58.4%, 전기 집진장치는 124.8%의 연평균 성장률을 나타냄. 중력 집진장치는 -28.1%, 원심력 집진장치는 -25.5%인 마이너스 성장률로 점차 계약액이 감소하였음
- 또한, 지난 5년간의 조달 계약금액을 품목별로 합산한 결과 2021년도 제진장치의 폭발적인 계약 증가로 제진장치는 54%(56,071억 원), 전기 집진장치는 29%(29,540억 원), 세정 집진장치는 15%(15,164억 원)의 비중을 차지하였음
- 제진장치를 제외하고 나머지 4개의 품목만 비교하면 전기 집진장치와 세정 집진장치가 2020년부터 가파르게 증가하였음

[전기집진기의 품목별 계약 현황]

(단위: 백만원, %)



다) 사업화 전략

(1) 목표시장 분석

- ① STP 분석
- STP 개요

STP 분석 절차



(출처 : <https://www.smartinsights.com/>)

- STP란 시장세분화(Market Segmentation), 목표 고객 선정(Target Marketing), 제품의 포지셔닝(Product Positioning)이라는 3개의 과정을 포함한 것으로 이 3개의 앞글자를 취한 용어
- 시장세분화(S) : 하나의 전체 시장을 어떤 변수를 이용하여 여러 개의 세분 시장으로 구분함. 세분화의 기준을 확인하고 각 세분 시장의 중요한 특징을 파악하는 것이 필요함
- 목표시장 선정(T) : 여러 개의 세분 시장에 대해서 각각의 시장 매력도를 평가하고 예상 고객층이 존재하는 표적 시장을 선정한 후 시장, 고객의 특징을 분석함
- 포지셔닝(P) : 경쟁제품과 비교하여 상대적으로 명확하고 바람직한 위치를 차지할 수 있는, 제품 또는 브랜드의 경쟁 우위 전략

② 시장 세분화

○ 최종사용자 시장 및 특징

- 앞에서 살펴본 바와 같이 건식 ESP 시장은 최종사용자별로 구분하면 전력 및 전기, 금속, 시멘트, 화학 물질, 기타로 세분화할 수 있음

[분야별 최종사용자 및 특징]

분야	최종사용자	수요 & 특징
전력 및 전기	석탄발전소	석탄을 사용하는 화력발전소의 높은 오염물질 배출은 ESP에 대한 수요를 유발
	석유정제소 및 발전소	석유 정제소 및 발전소에서 전기 생산을 위해 연소보일러에서 방출되는 일련의 오염물질 배출이 ESP에 대한 수요를 유발함
금속	주조 공장, 알루미늄 제련소, 철강 제조업체, 비철금속 생산 및 가공 공장	금속 가공 회사는 대기 중 다량의 건조 재와 탄소 입자를 방출
시멘트		시멘트 산업에서 배출되는 주요 오염 물질은 입자상 물질, 납과 같은 중금속, 탄소와 같은 가스
화학 물질	화학물질 제조업체	혼합, 혼합, 일괄 처리, 계량, 연소, 수화, 크기 조정 및 포장과 같은 다양한 화학 공정은 분진을 배출
기타	위 4개 분야를 제외한 나머지(자동차 및 조선산업, 중소환경물질 배출기업, 기타)	

- 앞 장, ‘산업 동향’ 에서 살펴본 바와 같이 최종사용자 시장은 주로 석탄발전소, 석유정제소, 제철소, 시멘트제조사 등 대형 플랜트 시장으로 사업 규모가 크고 대기업·중견기업이 주도하고 있음. 또한, 국내외 정책, 규제에 따라 (전기집진기에 대한) 수요가 창출되는 특징이 있음
- 대형 플랜트 시장의 최종사용자 기업들은 주로 자체적으로 건식 집진기에 대한 독자 모델과 기술을 축적하고 있으며, 주로 대형 플랜트 시장을 대상으로 (대형, 맞춤형) 전기집진기를 판매하는 주요 기업으로는 Beltran(미국), 서울샤프중공업, 에코솔루텍, 케이씨코트렐 등이 있음

○ 배출원 부문별 배출량

- 시장을 세분화하는 또 다른 방안으로는 대기오염 배출원별로 구분할 수 있음
- 국가 대기오염물질 배출량은 대기 정책지원시스템(CAPSS, Clean Air Policy Support System)을 기반으로 국내에서 연료 연소, 자동차, 생활 주변 등에서 발생하는 CO, NOx, SOx, TSP, PM-10, PM-2.5, VOCs, NH3, BC 배출량을 산정한 수치임
- 위 지표는 대기오염물질이 어디서(배출원), 얼마나(배출량) 발생하는지 파악할 수 있는 지표이며, 해당 지표를 통해 사업장, 자동차 등 주요 배출원을 파악할 수 있으며, 이를 통해 대기오염의 현황 파악 및 미세먼지 등 대기 관련 정책의 수립·이행·평가 시 기초자료로 활용되고 있음

[배출원 부문별 배출량(2018년 기준)]

배출원 대분류	SOx*	PM2.5*	PM10*
생산공정	107,353	5,189	6,758
제조업 연소	78,867	35,099	68,315
에너지산업 연소	65,868	3,308	3,975
비도로이동오염원	29,831	15,981	17,232
비산업 연소	16,566	890	1,269
폐기물처리	2,202	209	245
도로이동오염원	217	8,149	8,858
생물성 연소	76	11,217	13,514
비산먼지	-	18,025	112,472
기타 면오염원	-	320	356
에너지 수송 및 저장	-	-	-
유기용제 사용	-	-	-
농업	-	-	-
합계	300,979	98,388	232,993

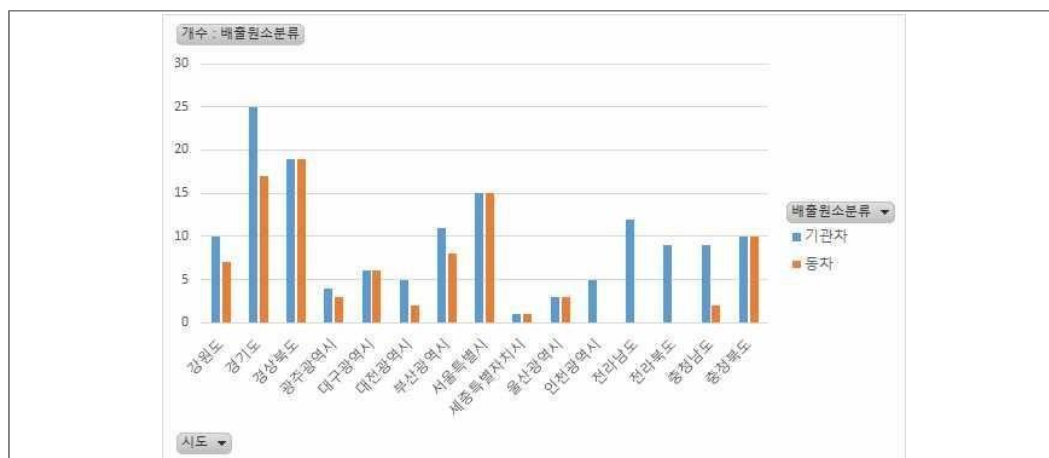
(출처 : 환경부 국가미세먼지정보센터)

* SOx : 황산화물, PM2.5 : 초미세먼지, PM1.0 : 미세먼지

- 대기오염물질 중 SOx, PM2.5, PM10을 선택하여 배출량이 큰 순서대로 나열해 보면, 생산공정, 제조업 연소, 에너지산업 연소 부문이 배출량 측면에서 1~3순위를 차지하고 있음
- 생산공정에서의 오염물질 배출량은 기본적으로 제품 생산량이나 원료 투입량을 기반으로 산출하며 에너지산업 연소, 비산업 연소, 제조업 연소가 연료 연소에 의한 배출량에 해당됨
- 비도로 이동오염원은 자동차 이외의 내연기관을 장착한 철도, 선박운항 및 항공기, 건설장비, 농기계 등을 말하며 도로 이동오염원은 도로에서 주행하는 자동차를 대상으로 함
- 위 오염원과 오염물질은 ‘대기환경보전법’ 과 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법(약칭: 미세먼지법)’ 의 적용을 받음

③ 목표시장 선정(Targeting)

[지역별 철도 배출 원소 현황(2018년 기준)]



(출처 : 환경부 국가미세먼지정보센터)

- 시장을 여러 형태로 세분화한 결과, 발전소, 석유정제소 등 대형 플랜트를 사용하는 제조업종이나 화학 물질을 다루는 제조업종에는 적합하지 않은 것으로 판단됨.
- 화학 물질을 다루는 제조업종의 경우 중금속을 걸러내는 능력이 우수한 습식 ESP에 대한 수요가 높고 건식 ESP는 고온 및 고체 회분 입자가 많은 환경에 적합. 따라서, 배출원 측면에서 '비도로 이동오염원' 이 건식 ESP 사용에 더 적합한 것으로 판단됨
- '비도로 이동오염원' 을 좀 더 상세히 분석하면 건설장비, 농업기계, 선박, 철도, 항공으로 나눌 수 있는데 무엇보다 일상생활에 구체적으로 다가오는 분야는 철도 분야로 꼽을 수 있음
- 철도 분야는 미세먼지/초미세먼지 배출량에서 높은 순위를 나타내고 있으며 주로 지하에 있는 도시철도의 경우, 지하역사나 터널 내의 오염된 공기로 인해 시민의 건강을 위협하고 있음
- 2018년에 대기오염 배출량 통계자료를 조사한 결과, 철도의 배출 원소는 기관차와 동차*로 나누어지며 모두 사용 연료는 경유로 나타남

④ 포지셔닝 (Positioning)

○ 대상 제품의 포지셔닝

- 포지셔닝의 유형(제품, 고객, 용도)에 따라 대상 제품의 가치를 분석하면 다음과 같음

[대상 제품의 가치분석]

구분	가치제안	대상 제품 분석 내용
제품	제품 속성	분진 등의 먼지를 코로나방전으로 포집하여 오염물질을 제거함
	제품 편익	(철도 승강장 내에서 발생하는) 소음과 마모 입자를 포함한 미세먼지를 낮추는 2가지 효과를 가짐
	품질-가격	팬리스로 제품의 구성 요소를 줄이고 원가가격을 낮춤
	경쟁사 비교	현재 동일한 규격의 경쟁제품 없음
고객	고객	도시철도 운영기관
용도	사용 및 적용	소음과 대기 오염도가 높은 지역에 설치하여 공기정화를 목적으로 사용함
	제품 카테고리	대기오염 방지시설

- (제품의 속성) 전기집진기는 직류고전압에 의해 코로나를 발생시켜 가스 중의 입자를 대전시켜서 이 대전된 입자를 전장 내에서 정전기력에 의해 가스와 분리하는 전기 집진방식을 이용한 분진 제거설비임. 전기집진기는 중력 또는 원심력에 의해 포집되기 어려운 서브 마이크론 범위에서 유효한 집진 방식
- (제품의 편익) 소음 및 미세먼지 저감장치가 상시 운영되는 공간이나 구역 내에서 사용하며 각각의 장치를 적용하는 것에 비해 비용 절감 효과가 크고 효율적임
- (품질-가격 측면) 설치 공간의 넓이에 따라 집진기의 용량 선택에 탄력성이 있음. 또한, 팬리스 (fan-less) 장치로 제품의 원가를 낮추고 설치가 용이함
- (경쟁사 비교) 현재 품량 외에 같은 규격의 경쟁제품은 없음
- (고객) 일차적인 목표 고객은 도시철도 운영기관을 대상으로 함
- (사용 및 적용) 철도 승강장 플랫폼 라이저, 터널 공동구 등 소음과 미세먼지가 심한 구역에 설치하여 공기정화, 소음 저감을 목적으로 사용함
- (제품 카테고리) 대상 제품은 대기오염 방지시설로 분류됨

④ 목표 시장 : 철도

□ 관련 정책 · 인증 · 규제

○ 미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)

- 2019년 3월 ‘미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법’ 이 시행에 따라 정부에서는 관계부처 합동으로 ‘미세먼지 관리 종합계획(2020~2024)’ 을 수립하여 시행하고 있음

[미세먼지관리의 비전 및 중점과제]

비전		맑고 깨끗한 공기, 미세먼지 걱정 없는 대한민국
목표		'16년 대비 초미세먼지 연평균 농도 35% 이상 저감 ※ 전국 초미세먼지(PM2.5) 연평균 농도 : '16년 26 μ g/m ³ → '24년 16 μ g/m ³
분 야		15대 중점 추진과제
국내 배출 감축	산업부문	① 배출총량제 전국 확대 ② 사업장 점검 및 단속 강화
	수송부문	③ 노후경유차 감축 강화 및 저공해차 보급 확대 ④ 선박 및 항만 관리기준 강화 ⑤ 노후건설기계 관리 강화
	발전부문	⑥ 석탄발전 미세먼지 저감 ⑦ 친환경에너지 전환(중장기)
	농업·생활부문	⑧ 축산 환경 관리 강화 ⑨ 저녹스 보일러 보급 확대
국민 건강	국민건강 보호	⑩ 미세먼지 고농도 계절관리제 도입 ⑪ 실내공기질 관리 강화
국제 협력	동아시아 대기협력	⑫ 동아시아 미세먼지 저감 협약 추진(중장기) ⑬ 실재적 협력사업 확대
기반·소통	과학적 접근·실천 국민참여·소통	⑭ 미세먼지 해결 다부처 기술개발 사업 ⑮ 참여와 속의를 통한 사회적 합의 도출

(출처 : 미세먼지관리종합계획, 2019)

- 수송부문은 크게 도로 수송부문과 비도로 수송부문의 계획으로 나누어지는데 철도 분야에 대한 구체적인 세부계획은 수립되지 않았음
 - 도로 수송부문의 세부계획으로는 ① 노후 경유차 퇴출 가속화, ②경유차 검사·관리 강화 ③신규 경유차 수요 억제, ④저공해차 보급 확대, ⑤대중교통 편의 증진 및 교통 수요 관리 강화가 있음
 - 비도로 수송부문의 세부계획은 ①선박 배출 미세먼지 저감, ②항만 미세먼지 감축, ③건설·농업기계 관리 강화, ④공항 미세먼지 저감 추진 있음
- 국민건강 보호 분야의 ‘실내 공기질 관리 강화’ 계획에서는 대상 제품과 관련하여 다음과 같은 계획이 발표됨

○ 지하역사 노후환기설비 교체 및 공기청정기 설치*, 초미세먼지 측정결과 실시간 공개('20) 등으로 대중교통 이용환경 개선 추진
 * ' 19년 338개 역사(54%, 총 627개), ' 22년까지 모든 지하역사에 대해 환기설비 교체 또는 공기청정기 설치 완료

- 과학적 접근·실천 등의 부문에서는 미세먼지 대응력 제고를 위한 R&D 강화를 세부 목표로 하여 건강, 수송, 지하철, 농업 등 부문별 특성 및 기술 수요에 따른 맞춤형 대응 기술개발 지속(계속) 방향을 나타내고 있음

○ 제3차 지하역사 공기질 개선대책(2018~2022)

- 미세먼지로 인한 국민 불안 해소를 위해 3차 공기질 개선대책은 지하역사 미세먼지 농도 저감·관리에 집중하는 특징을 가짐. 또한, 지하역사(승강장, 대합실), 환기설비, 지하철 차량을 대상으로 하고 있음

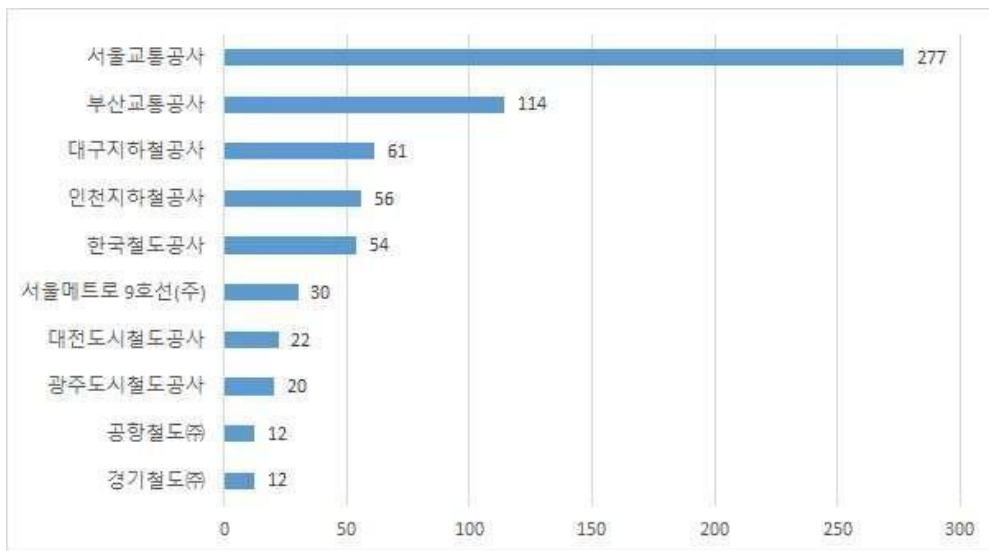
[지하역사 및 지하철 차량 관리체계]

대상 구분	관리기준	기타
지하역사 (승강장, 대합실)	「실내공기질 관리법」에 의거 PM10에 대한 유지기준* ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 설정하여 관리중 (PM2.5 기준은 없음)	유지기준 초과시 과태료(최대 1,000만원) 및 개선명령, 연 1회 자가측정 의무 (미측정시 과태료)
터널 (환기설비)	「실내공기질 관리법」에 의거 PM10에 대한 유지기준* ($150\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 설정하여 관리중 (PM2.5 기준은 없음)	공기흡입구는 입자형·가스형 오염물질 제거·여과 장치 설치
지하철 차량	「대중교통차량 제작·운영 관리지침」에 의거 PM10, 이산화탄소 항목에 대한 권고기준* 설정 관리중	기준치 이내로 관리토록 권고 (연 2회 자가측정 권고)

(출처 : 제3차 지하역사 공기질 개선대책)

○ 철도시장의 규모와 현황

[전국 도시철도의 사업 주체별 역사 수 현황]



(출처 : 전국도시철도 현황(지상노선 제외), 제3차 지하역사 공기질 개선대책)

- 제3차 대책의 불임으로 제공된 전국 도시철도 현황 자료가 목표시장 규모를 나타내고 있음
- 서울교통공사의 역사 수는 277개로 전체 658개 역사 수의 42%를 차지하고 있으며 다음으로 부산교통공사에 속한 역사 수는 114개(17.3%), 대구 지하철공사에 속한 역사 수는 61개(9.2%)로 나타남

[전국 도시철도 현황]

(단위 : 개, 천명, $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

관리주체	노선	역사수	일일 평균 승차인원(천명)	지하역사 2017년 공기질 현황
총 계	24 노선	658	10,172	평균 69.4

관리주체	노선	역사수	일일 평균 승차인원(천명)	지하역사 2017년 공기질 현황
한국철도공사	과천선	8	110	(데이터 없음)
	분당선	36	290	
	일산선	10	94	
네오트랜스, 경기철도(주)	신분당선	12	226	(데이터 없음)
공항철도(주)	공항철도	12	98	(데이터 없음)
서울 교통공사	1호선	10	478	91.4
	2호선 (신도림~까치산)	50	2,198	87.0
	3호선 (수서~오금)	34	897	82.6
	4호선	26	925	90.3
	5호선	51	898	75.8
	6호선	38	562	78.0
	7호선	51	1,030	79.3
	8호선	17	284	80.0
서울메트로 9호선(주)	9호선	30	294	(데이터 없음)
부산 교통공사	1호선	40	466	53.8
	2호선	43	335	52.7
	3호선	17	95	50.2
	4호선	14	32	41.7
인천 지하철공사	1호선 (송도구간연장)	29	221	57.7
	2호선	27	106	61.3
대구 지하철공사	1호선	32	199	65.3
	2호선	29	174	59.8
광주 도시철도공사	1호선	20	51.2	63.1
대전 도시철도공사	1호선	22	108.8	58.5

(출처 : 전국 도시철도 현황, 지하역사별 공기질 오염현황, 제3차 지하역사 공기질 개선대책) ※ 일부 지상역사 포함, 지상만 통과하는 노선은 제외

- 지하역사의 공기질 오염현황(2017년도 기준)을 살펴보면, 서울 평균이 $88.1\mu\text{g}/\text{m}^3$, 지방 평균은 $61.1\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 측정되었으며 서울이 지방 평균보다 오염도가 높음을 알 수 있음
- 일일 평균 승차 인원 역시 서울 평균은 840.6천 명, 수도권 및 지방은 173.3천 명으로 오염된 공기질로 인한 피해 역시 서울지역이 높아 공기질 개선에 대한 필요성이 높음

○ 사업 주체별 조달 현황(2021)

- 나라장터에서 각 사업 주체별로 '집진기'에 대한 계약 현황을 조사한 결과 2021년 한 해 동안, 서울교통공사는 369.9억 원, 인천교통공사 156.3억 원, 대구도시철도공사 138.9억 원, 서울메트로9호선 77.8억 원, 부산교통공사 56.9억 원, 광주광역시도시철도공사 21.1억 원, 한국철도공사 3.3억 원 등의 예산을 사용했음
- 물품 규격 측면에서는 제진장치가 447.8억 원(54.3%), 전기 집진장치가 367.0억 원(44.5%), 세정 집진장치가 6.3억 원(0.8%), 규격표시가 없는 물품이 3.3억 원(0.4%)로 나타남

(2) 마케팅 전략

① 마케팅 믹스-4P전략 개요

○ 마케팅믹스의 정의

[Marketing mix 4Ps]



(출처 : <https://marketingmix.co.uk/category/marketing-mix-4ps/>)

- 마케팅믹스는 목표 시장(Targeting)을 대상으로 제품(Product), 가격(Price), 판매촉진(Promotion), 유통경로(Place)에 대해 명시하고 4개 요소 간의 시너지 효과를 창출하는 방안을 기술함

② 4P 전략

(가) 제품(Product) 전략

- 대상 제품의 장치 구성은 크게 메인 장치과 벽 설치용 부자재로 이루어짐. 메인 장치는 먼저 전면부에 외부 소음을 저감할 수 있는 흡음재가 집진기를 감싸고 있는 형태로 부자재를 이용하여 벽에 설치하여 사용함
- 집진장치는 방전부와 포집부로 구성되는 데, 방전부는 와이어나 핀, 톱니 형태의 금속판으로 음 또는 양의 전압을 주어 코로나 방전을 발생시킴. 발생된 이온은 방전부와 반대 극성을 띄는 포집부로 이동하고 이동과정에서 이온이 미세먼지 입자와 충돌하여 입자의 하전현상이 발생함. 하전된 입자 역시 포집부 금속판으로 이동하여 부착됨
- 이 과정에서 이온의 궤적과 이온과 중성 공기분자의 충돌에 의해 한 방향으로 흐르는 이온풍이 발생하도록 설계하여, 이를 활용하여 송풍유닛이 없이 외기를 유입, 정화된 공기를 유출할 수 있는 것이 본 기술의 특징임

○ 적용기술의 특징

- (이온풍을 이용한 팬리스 집진장치)
 - . 전기유체역학적 추진력에 의해 이온풍이 발생하도록 설계하여 흡배기를 위한 송풍팬이 없이도 강제 흡배기가 가능
 - . 팬이 없이도 단면 630cm^3 (0.063m^3) 시제품의 경우, 실내용 공기 청정기 시험규격에 근거한 공기

- 정화 성능은 약 70% 이상(KCI 입자 0.3 μ m /20분경과 기준)으로 우수함
- 전기집진 방식으로 물청소로 유지관리가 가능하여, 필터 교체 비용을 절감
- 와이어 에미터 사용으로 오존 발생 최소화

- (불연 흡음재를 사용한 철도 소음 저감 구조)

- 터널, 지하역사 등에서 발생한 철도소음이 벽면에서 반사되어 수음자나 열차 내부로 전달될 수 있는데, 벽면에 흡음재를 적용함으로써 음에너지 감쇠 가능
- 철도 터널 및 역사 등에 적용하기 위해 강도와 불연성 등 요구사항을 만족하는 흡음재 소재를 적용
- 흡음재를 전면에 배치하되, 공기가 통과할 수 있는 구멍을 뚫어 집진장치로 미세먼지가 유입되는 유로의 역할을 하고 동시에 배후공기층으로서 소음 저감 성능이 향상됨
- 잔향실법²⁾으로 측정한 흡음률은 0.75 이상으로 우수한 흡음재의 성능 수준 만족

○ 대상 제품의 특징점(도시철도에 적용 시)

- 철도 전동소음과 미세먼지는 열차 휠과 레일의 접촉에 의해 발생하며, 저감장치를 오염원에 근접하여 설치할수록 효율적이고 효과적으로 발생량을 저감하고 관리할 수 있음.
- 현재 일부 도시철도의 국소 구간에 궤도 흡음 블럭 및 벽체 흡음재가 설치되어 있으며, 이는 소음 저감의 기능만 갖고 있음.
- 소음과 미세먼지를 동시에 저감할 수 있고, 철도 건축한계를 벗어나지 않으며 유지관리가 용이한 장치로서 소음과 미세먼지 저감 성능이 모두 우수함.

○ 제품(상용)화 전략

[제품(상용)화를 위한 기본 정보]

구분	설명
운영기관 자문의견서	- 현장 적용성 - 내구성/불연성 등 철도시설물에 요구되는 성능기준 확보 - 대피로/대피 공간 등 기존 시설물의 간섭 최소화 문제 - 유지관리 용이성 - 집진장치의 유지문제(필터 방식은 주기적인 교체 문제로 유지관리가 어려움) - 전력 문제(저전력) - 설치와 철거가 용이해야 함
설계지침	대기오염방지시설에 대한 발주처별 설계지침 또는 발주처 물품규격서, 시방서 등을 고려

- 대상 기술이 시제품 상태를 벗어나 일정한 규격을 가지고 양산될 수 있는 형태를 갖추기 위해 다음의 정보들을 고려하여 제품화 전략을 수립함
- 시제품의 테스트베드 대상 운영기관에서 제시한 자문의견서에서는 제품의 현장 적용성 및 유지관리 용이성 등에 대한 의견을 제시한 바 있음
- 또한, 조달 물자의 경우, 수요기관이 제시하는 물품규격서의 요건 및 관련 규정*에 맞는가를 검토하는 것도 제품(고도)화에 필요함

(나) 가격(Price) 전략

○ 가격전략 개요

- 가격을 책정하는 요인은 수요와 공급, 행동 요인, 경쟁, 규범, 윤리 및 규정 등에 의해 주도됨. 가격 책정은 기업의 수익에 즉각적으로 영향을 미치며 장기적으로 브랜드 가치에 영향을 미침
- 가격 책정 모델은 원가지향방법, 가치지향 방법, 경쟁제품 가격 비교방법 등이 있음
 - 원가지향 방법은 가격결정권이 기업이 갖는 것으로 제품의 생산비, 판매비를 산출하고 이익을 더해 결정하는 방식
 - 가치지향 방법은 가격결정권을 고객이 갖는 것으로, 고객이 이 정도의 가격이라면 구매할 것이라는

기대가격을 말함

· 경쟁사 가격 비교방법은 동일한 시장에 출시되고 있는 경쟁사의 제품 가격과 비교하여 결정하는 방법

- 기술주도형 상품도 경쟁제품 가격 비교방법으로 가격이 책정되는 경우가 많으나 다만, 전문적인 상품은 가격이 저렴하다고 많이 팔리지 않는다는 점을 고려하여 책정하는 것이 필요함. 또한, 제품 가격에 유지·보수 서비스를 포함하는 경우와 그렇지 않은 때에 따라 가격이 달라질 수 있음

○ 원가지향방법

- 원가는 주로 제조원가 또는 매출원가를 말하며 판매가격은 제조원가에 판매비와 일반관리비, 영업이익 등을 고려하여 계산한 가격을 말함
- (제조) 원가는 제조과정에서 발생한 재료비, 노무비, 경비의 합계액을 말하며 단순히 재료비 산출만으로는 구체적인 원가를 계산하기 어려움. 또한, 현장 설치공사 비용은 대부분의 집진기 설치공사에 적용되는 비용으로 제조원가에서는 제외됨
- ‘원가지향방법’으로 대상 제품의 판매가격을 추정하기 위해서 사업화대상기관(참여기업)의 3년 평균 재무 비율을 이용하여 다음과 같이 계산함. 판매가격(매출액)은 크게 제조원가, 판매비와 일반관리비, 영업이익을 더한 금액으로 계산함

[대상 제품의 제조원가 및 판매가격 추정]

구성요소		금액(원)	재무비율 (매출액 대비)	적용 기준
제조 원가	재료비	650,000	40.04%	매출액 : $650,000 / 0.4004 = 1,623,376$
	노무비	122,890	7.57%	$1,623,376 * 0.0757 =$
	경비	492,045	30.31%	$1,623,376 * 0.3031$
소계(a)		1,264,934		
판매비와 일반관리비(b)		218,993	13.49%	판매가격 * 16.08%
영업이익(c)		139,286	8.58%	판매가격 * 5.11%
판매가격(a+b+c)		1,623,214		

· 단, 재무 비율은 업종 및 기업형태에 따라 크게 달라질 수 있으며 일반적으로 ‘외감법인’ 보다 일반법인의 경우 재무 비율이 높은 경우가 많아 위와 같은 방식으로 계산할 경우 제조원가나 판매가격이 상승함

○ 경쟁제품 가격 비교방법

- 대상 기술의 제품화에 따른 규격은 아직 구체적으로 정해지지 않았으나 시제품의 규격 (풍량 기준 230cmh)을 기준으로 가장 근접한 조달 제품은 T社の A제품 (250m3/h)을 꼽을 수 있음
- 경쟁제품의 조달 판매가격은 4,400,000으로 대상 제품의 원가지향 판매가격의 2배가 넘는 수준이며 필터 사용으로 지속적인 관리비용이 들어감

○ 가치지향 가격 결정 방법

- 가치지향 가격 결정 방법은 고객이 구매할 것이라고 기대하는 가격을 기준으로 결정하는 방식. 고품질의 제품을 경쟁제품과 비슷한 가격에 구매한다면 고객은 더욱 저렴하게 느끼는 측면이 있음
- 제품의 가치를 판단하는 기준과 기대 효과는 제품의 사용 환경이나 목적 등을 고려하여야 함. 그러나 같은 사용 환경을 가정할 때 대상 제품과 경쟁제품의 여러 가치를 비교하면 다음과 같음

[대상 제품과 경쟁제품의 가치 비교]

구분	대상 제품	경쟁 제품	가치 비교
유형	건식형 전기집진기	건식형 전기집진기	-
풍량	230m³/h	250m³/h	-
크기(폭*높이*깊이) (단위:mm)	800 * 260 * 340 (체적 : 70,720cm³)	605 * 955 * 595 (체적 : 343,776cm³)	대상 제품의 부피가 작고 벽 부착이 가능하여 설치/거치 필요 공간이 적음
설치/거치	벽 부착 설치 가능	스탠드형	
송풍 팬	없음	있음	대상 제품의 유지보수 비용 적음
소음	팬 리스, 흡음재 사용으로 소음 저감 효과가 있음	송풍 속도에 따라 소음이 증가함	대상 제품은 소음 제거 효과가 있음
유지보수	물 세척	필터	사용 환경에 따라 장단점이 있음

- 풍량이 비슷한 경쟁 제품과 가치 비교를 한 결과, 제품의 부피, 설치/거치 방안, 소음 저감 등 다양한 측면에서 대상 제품이 장점을 보유하고 있으며 제품의 구성 요소 역시 송풍 팬이 없어 유지보수 및 관리비용이 적게 소요될 것으로 판단됨

○ 대상 제품의 가격전략

- 대상 제품의 (원가지향) 판매가격은 경쟁제품보다 훨씬 저렴하며 가치지향 측면에서도 여러 가지 우수한 가치를 보유하고 있음
- 따라서, 대상 제품의 가격은 원가지향 판매가격보다 높고 경쟁제품의 판매가격보다 낮은 가격 범위에서 결정함

(3) 유통(Place) 전략

○ 대상 제품의 기본 유통전략

[대상 제품의 유통전략 개요]

구분	내용	기타
지역/범위	국내 사업의 경우, 전국 지역	해외 지역은 총판대리점 이용
재고	초도 생산 수량에 대한 자체 정책 필요 교환, 수리 등을 위한 물량을 재고 수량으로 보유할 필요 있음	
유통/배송	도시철도 시장의 경우 직접 판매(조달 참여)	그 외 업종의 경우, 대리점, 환경전문공사업체 등을 통해 유통
품질	제품 출고 전, 제품에 대한 테스트 확인 품질 관련 인증서 제공	

- 대상 제품의 국내 유통지역은 전국을 대상으로 하며 도시철도 시장 이외의 업종에 대해서는 (지역) 대리점, 환경 전문공사업체 등을 통해 유통할 수 있음

- 유통 초기 단계에서는 고객의 요구사항을 분석하고 제품의 고도화를 위해 직접 판매 방식을 이용하는 것이 바람직하나 유통 안정 단계에서는 대리점을 이용한 간접 판매 방식도 가능함
- 제품 유통에 앞서 초도 생산 수량에 대한 자체 정책이 필요함. 즉, 판매, 교환, 수리 등을 고려하여 일정한 물량을 재고 형태로 확보할 필요가 필요함
- 또한, 제품의 신뢰성 제고 및 정품 인증을 위한 품질 관련 인증서를 보유하고 대리점 등에도 함께 제공하여야 함
- 제품 성능인증제도(EPC³⁾)를 활용한 조달시장 유통전략
- 성능인증이란 중소기업의 기술개발제품이 성능을 확보하였음을 확인·증명하여 공공기관의 기술개발제품 구매 유도 및 중소기업의 R&D를 촉진하는 제도. 국가계약법상 공공기관 및 지자체와 수의계약을 체결할 수 있는 자격을 획득함
- 성능인증 획득 시, 제품에 대한 기본적인 품질을 증명하는 동시에 조달시장 유통에서 경쟁제품과 비교하여 유리한 위치를 확보할 수 있음
- 신청대상 : 중소기업 기본법 2조에 따른 중소기업
- 신청대상 제품

[EPC 신청대상 제품의 개요]

구분	설명	유효기간
특허·실용신안	특허 및 실용신안을 사업화한 제품	등록일 기준으로 특허 7년, 실용신안 5년
국가기관 인증	우수재활용제품(GR), 소프트웨어 품질인증 제품(GS), 우수조달제품, 환경표지인증제품, 신제품(NEP), 신기술(NET), 한국산업규격(KS) 인증 제품 또는 단체표준 품질인증 제품, 녹색기술 인증제품	지정기간 또는 인증획득일로부터 3년 이내
기술개발사업 개발품	기술혁신개발사업 / 산학연공동기술개발사업 완료제품, 특정연구개발사업 / 산업기술개발사업 / 환경기술개발사업 완료 제품, 벤처기업 확인시 평가받은 기술 제품, 기술혁신형 중소기업 확인시 평가받은 기술 제품, 구매조건부기술개발사업 및 민·관 공동투자기술개발사업 완료 제품, 우수품질제품, 중소기업 융·복합 기술개발사업 성공 제품, 산업융합품목 지정 제품, 공공기관에서 중소기업과 공동으로 추진한 연구개발 성공제품(개발선정품 지정), 성과공유 기술개발 과제(공공부문) 성공 제품, 국방부 선정 우수상용품	개발 완료 또는 성공 통보일로부터 3년 이내

(출처 : 중소기업 공공구매 확대를 위한 성능인증제도(EPC) 안내, 중소기업유통센터)

- 환경 전문 공사업체 제휴를 통한 유통전략
- 환경기술 및 환경산업 지원법*에서는 환경 전문공사업체에 대해서 정의하고 등록기준을 마련하고 있음
- 전국에는 약 1,434개소의 환경 전문공사업체가 등록되어 있으며 그 중 대기오염 분야는 591개의 기업이 등록되어 있음 (출처: 전국의 환경매체별 환경전문공사업체 등록현황, 환경부)
- 따라서, 환경 전문공사업체 제휴를 통해 간접적으로 제품을 유통·확산할 수 있으며 제품의 지속적인 유지보수 업무도 함께 해결할 수 있음

(4) 판매 촉진(Promotion) 전략

○ 판매촉진 전략 개요

- 판매촉진은 넓은 의미에서 마케팅 활동 중에서 제품의 가치를 시장에 전달하는 모든 커뮤니케이션 활동을 말하며 단순하게는 미디어를 통한 홍보를 뜻하기도 함

○ 일반적인 판매촉진 전략

- 제품에 대한 판매촉진 전략은 위와 같이 다양한 방법이 수행되며 기술주도형 상품의 경우, IT 전문 매체(예를 들면, 전자신문)에 제품 기사를 올리는 ‘공중관계’ 방식을 많이 이용함
- 제품에 대한 전문적인 정보와 컨설팅을 함께 제공하고자 할 때는 인적판매에 의한 방식을 주로 활용함
 - 정부 지원사업을 활용한 판매촉진 전략1 - 소규모 사업장 방지사설 설치지원사업
- 중소기업 중 「대기환경보전법」 시행령 제13조에 따른 대기오염물질 배출사업장(4·5종 사업장)에 설치된 노후 방지사설 및 개정법령에 따라 신규로 방지사설을 설치하는 경우, 정부(환경부) 및 지자체에서 방지사설 및 사물인터넷(IoT) 설치비용의 90%를 지원하는 사업임

<우선지원>

- 10년 이상 노후 방지사설 운영 사업장
- 2020년 배출허용기준 강화에 따라 방지사설 개선이 필요한 사업장 등
- 주거지 등 인근에 위치한 민원 유발 사업장
- 산업단지 등 사업장 밀집 지역에 소재한 사업장

<제외대상>

- 3년 이내에 설치한 방지사설
- 5년 이내 정부로부터 지원받은 방지사설(지원받은 방지사설에 한해 중복지원 불가)

- 지원사업의 2021년도 총사업비는 299,300백만 원으로 각 지자체에서 신청업체를 평가하여 지원대상을 선정하며, 전기집진 시설에 대한 방지사설 및 사물인터넷 설치비 및 보조금 지원액은 다음의 표와 같음

[방지사설 설치비 및 보조금 지원액]

(단위: 만원)

구분	시설용량	방지사설 설치비	보조금 지원액		
			계	국비	지방비
전기집진시설	100m³/분	30,000	18,000	10,000	8,000
	200m³/분	30,000	27,000	15,000	12,000
	300m³/분	43,900	39,510	21,950	17,560
	400m³/분	52,000	46,800	26,000	20,800
	500m³/분	60,000	54,000	30,000	24,000

[사물인터넷 설치비 및 보조금 지원액]

(단위: 만원)

구분	사물인터넷 부착비용						보조금 지원액		
	차압 계	온도 계	전류·전력 계측기		IoT 게이트 웨이	VPN	계	국비	지방 비
			배출시 설	방지사 설					
전기 집진 시설	전류 계 30	50	30	30	160	40	306	170	136

○ 정부 지원사업을 활용한 판매촉진 전략2 - 스마트 생태공장 구축사업(환경부)

- (사업의 목적) 오염배출원 중 가장 큰 비중을 차지하는 제조공장을 대상으로 오염물질 최소화, 온실가스 저감, 에너지·자원 효율 제고 등을 종합적으로 도모할 수 있도록 컨설팅, 설비설치·개선 등 쉐 과정을 지원하는 사업
- (지원대상) 국내 제조공장을 소유한 중소·중견기업
- (지원내용) 스마트 생태공장 구축에 필요한 컨설팅, 설비의 설치·개선 자금 지원
- (지원 분야) ①오염물질 저감, ②자원순환, ③온실가스 저감, ④에너지 절감(생산공정 외), ⑤스마트 시설(생산공정 외), ⑥악취 저감, ⑦소음·진동 저감, ⑧기타 친환경설비, ⑨스마트시스템(협업-스마트공장), ⑩공정·에너지(협업-클린팩토리) 등

[스마트 생태공장 구축사업 지원범위]

지원범위	주요내용
① 오염물질관리	대기, 수질, 비점오염저감시설 등 오염물질 배출 저감
② 자원순환관리	폐수 자체 재처리·순환이용 시스템, 폐플라스틱 원료 재투입 시스템 등
③ 공정·에너지관리	에너지 효율 제고 설비, 재생에너지 설비, 고효율 기자재 교체 등(산업부 협업)
④ 스마트 운영 관리	IoT 공정모니터링, 오염물질 스마트 제어 등(중기부 협업)
⑤ 기타 친환경시설	악취·소음·진동 저감시설, 생태연못 조성 등 친환경시설

- (사업금액) 2021년에는 30개 사에 기업당 최대 10억 원 이내(자부담 40~ 50%)를 지원하였으며 2022년에는 59개 사에 지원 예정임 (출처 : 2021 스마트 생태공장 구축사업 공고 및 사업안내서)

라) 기술 인증 추진 전략

- 인증이란 제품, 서비스 등의 평가대상을 일정한 표준, 기준, 기술규정 등에 적합한지 여부를 평가하여 안정성 및 신뢰성 등을 보증하는 것으로, ‘특정제품이 이미 설정된 기술규정이나 표준에 부합하는지 여부를 판단하고 결정하는 절차’ 인 적합성평가와도 비슷한 의미
- 세계의 각 국가들은 자국민의 안전과 보건, 환경보호 등을 위해 인증제도를 가지고 있으며, 인증대상 품목인 경우, 특정 국가로 수출을 하거나, 자국으로 수입을 하는 경우 인증제도에 의해 인증된 제품에 한하여 수출입을 승인 혹은 허가하는 것이 일반적으로 해당 국가의 인증을 보유한 경우 제품 판매에 큰 장점을 가짐
- 이에 따라 국가별로 서로 다른 표준, 기술규정 등을 가지고 인증제도를 운영하고 있으며, 필요에 따라 인증제도를 새로 만들거나 확대하기도 함
- 또한, 분야별 국제기구의 운영을 통해 규격, 기술규정의 국제적 통일화를 통해 제품 등을 생산하는 기업들이 국가별로 인증을 획득해야 하는 이중부담 없이 제품을 판매할 수 있음
- 전기집진기 관련 국내인증으로는 KC인증, 성능(EPC)인증, 신제품(NEP)인증, 신기술(NET)인증 등이 있으며 국외인증으로는 CE, ISO, IEC, UL 등이 있음

(1) 인증 절차

인증은 각 제도마다 절차가 다르지만, 일반적인 절차는 다음과 같다.

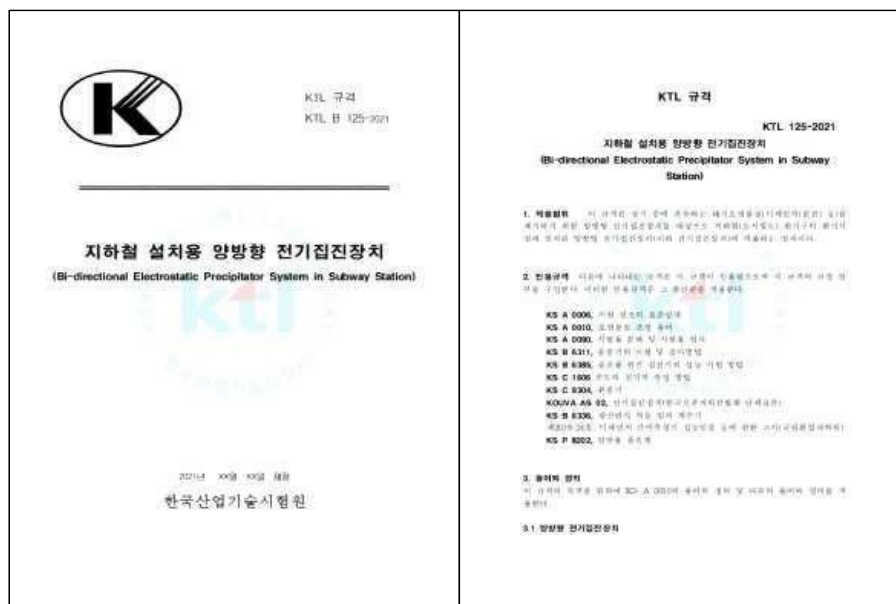
- 시험 등의 평가: 해당 인증제도에 대상이 되는 제품의 경우, 자체 시험 혹은 제3자(공인된 시험기관 등) 시험을 통해 표준 혹은 기술규정에 적합한지 평가. 이 과정에서 해당 표준 등에 부적합한 경우, 해당 기능이나 부품 등에 대한 수정 작업을 반복하여 적합한 제품이 되는 절차를 거친다.

- 인증 획득 및 라벨링: 평가를 마치면 시험성적서 등의 평가결과를 근거로, 해당 인증을 획득. 자가선 언방식 혹은 제3자 인증 방식 등을 통해 인증을 획득하거나 해당 인증마크를 표시(라벨링) 할 수 있는 자격을 갖추게 되면, 인증을 받은 제품은 시장에서 판매 혹은 해당국으로의 수출이 가능하게 됨.(예: CE 마킹 부착, UL 인증 획득)
- 사후관리: 상품을 판매하거나 수출하게 되면, 해당 상품이 시장에서 인증받은 제품과 같은 품질로 생산되어 판매되고 있는지를 확인하는 절차. 사후관리에서 문제가 되는 제품은 회수되거나 그로 인한 피해를 배상하기도 함.(예: CE마킹 제품의 경우, CE마킹을 한 제품이 시장에서 문제가 발생하면, 웹사이트에 공지를 하고 해당 기업에게 적당한 조치를 취하도록 함)

(2) 국내 기술 인증

○ K마크 성능평가인증규격

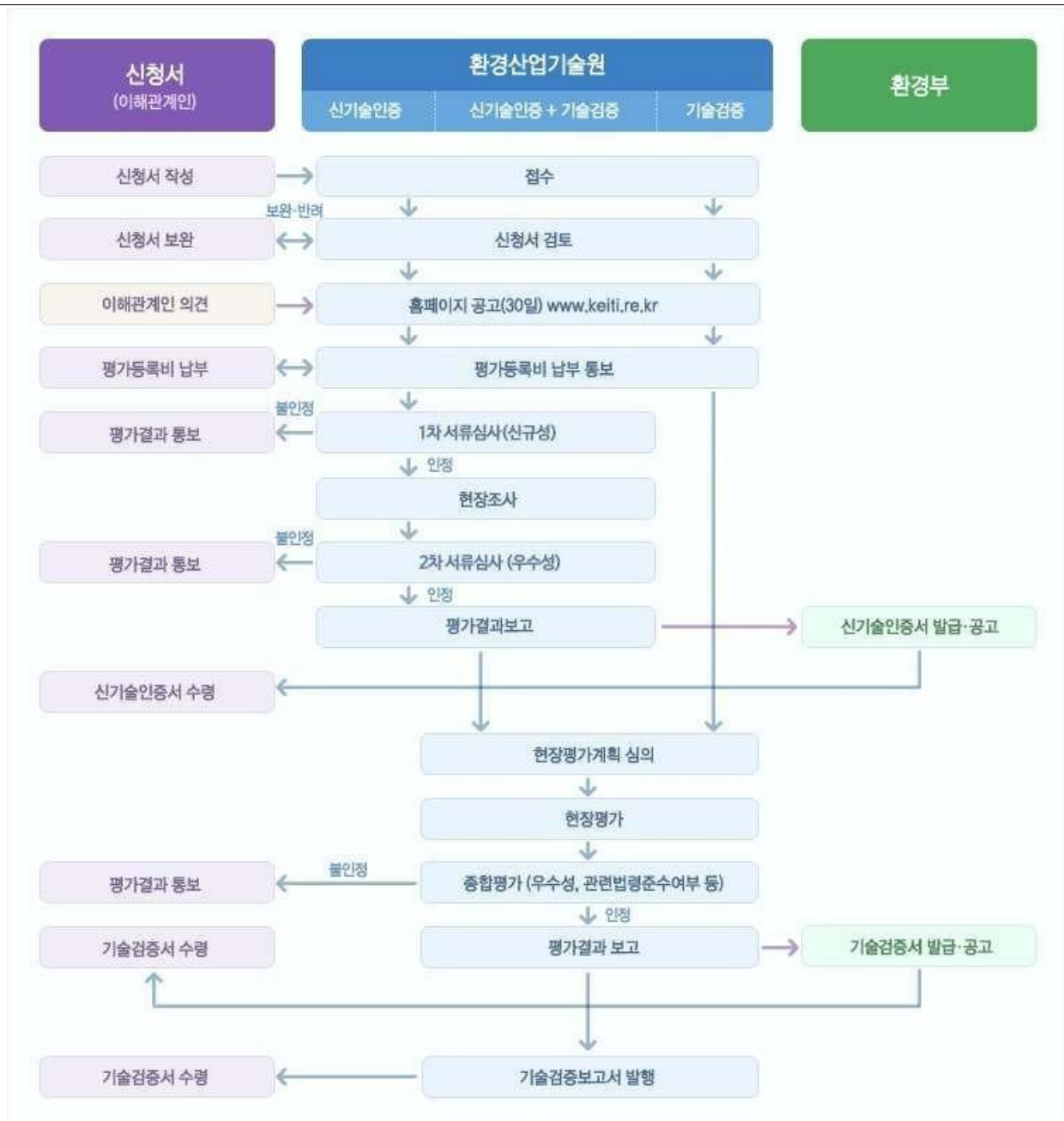
- 국내 및 국외의 인증을 획득하기 위해서는 전기집진장치의 집진효율을 측정하여야 하는데, 지하철 본 선터널이라는 특수한 환경으로 그 효율성을 증명하기가 어렵다. 따라서 국내의 공인인증기관(한국산업기술원, 한국건설생활환경시험연구원 등)에 의뢰하여 성능시험에 관한 K마크 인증규격의 제정이 필요



K마크 규격의 성능평가 기준안(예시)

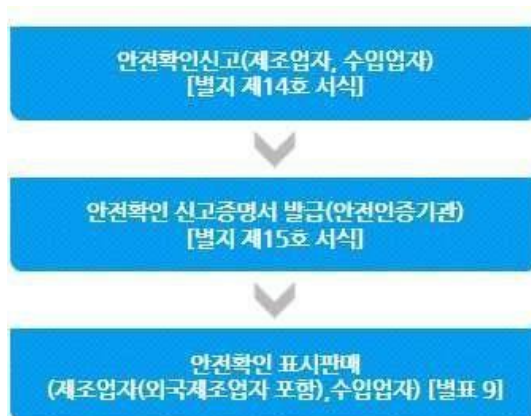
○ 환경신기술(NET)인증

- 국가에서 환경기술을 평가하여 우수한 기술에 대해서는 신기술로 인증하여 줌으로서, 기술사용자는 신기술을 믿고 사용할 수 있으며, 기술개발자는 개발된 기술을 현장에 신속하게 보급 할 수 있게 하여, 신기술 개발 촉진 및 환경산업 육성에 기여하는 제도로써, 환경신기술인증 획득 시 국내에 제품 판매 시 유리한 위치를 획득할 수 있다.
- 환경신기술 획득 시 해당 신기술 내용이 환경시설 공사 및 설계용역의 기술 내용과 일치하는 경우나 일부 일치하는 경우 입찰 시 가점이 부가되며, 국가기관이나 지방자치단체와 계약 시 수의계약으로 진행이 가능하다.



○ KC인증

- KC인증은 국가통합인증으로 과거 지식경제부·환경부·노동부 등 부처마다 다르게 사용하던 13개의 법정 강제인증마크를 통합한 단일 마크이다.
- 전기집진기는 전기용품 및 생활용품 안전관리법 제15조에 의거, 안전확인대상 제품으로 다음과 같은 절차를 거쳐 인증을 진행한다.



별지 제14호 서식

안전확인 신고서

별지 제15호 서식

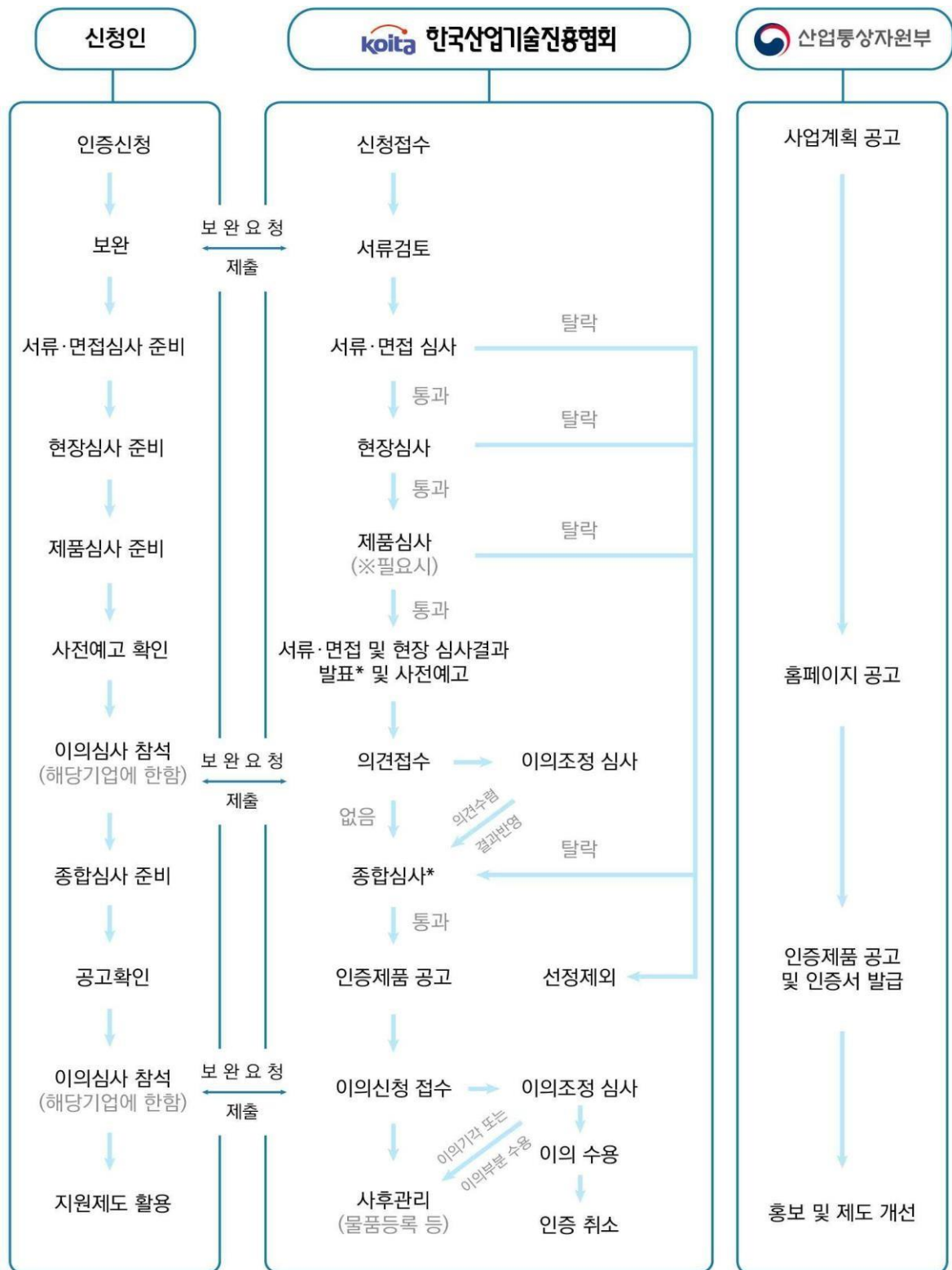
안전확인신고 증명서

구비서류

사업자등록증 사본, 제품의 설명서, 안전확인대상 생활용품 시험·검사기관의 해당 제품에 대한 안전확인시험기관의 안전확인시험 결과서 등

○ 신제품(NEP)인증

- 국내에서 최초로 개발된 기술 또는 이에 준하는 대체기술로서 기존의 기술을 혁신적으로 개선·개량한 우수한 기술을 핵심 기술로 적용하여 실용화가 완료된 제품 중 성능과 품질이 우수한 제품이 신제품인증을 받을 수 있다.
- 신제품 인증 획득시 공공기관 우선구매 대상이 되며, 기술우대보증제도 지원, 중소기업기술혁신개발사업에 가점, 기술금융지원등 다양한 혜택이 있다.



*탈락기업에 대한 개별통보

○ 성능(EPC)인증

- 공공기관의 기술개발제품 구매 확대를 위해 중소기업이 기술개발한 제품의 성능을 검사하여 해당 제품의 성능확보를 확인·증명하는 제도로 성능인증 제품은 우선구매지원 대상이 될 수 있으며, 국가계약법에 따라 공공기관과 수의계약을 체결할 수 있는 자격 부여받아 중소기업에 유리한 제도이다.



3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 소음저감형 팬리스 집진장치 개발

- 철도 전동소음과 미세먼지는 열차 휠과 레일의 접촉에 의해 발생하며, 저감장치를 오염원에 근접하여 설치할수록 효율적이고 효과적으로 발생량을 저감하고 관리할 수 있음.
- 기존 철도연에서 개발한 ‘고강도흡음재’에 전기유체역학적 원리로 작동하는 이온풍 발생 집진장치를 결합함으로써 설치 두께가 얇아 현재 모든 지하철 및 철도 터널에 설치가 가능하며, 팬, 블로워모터, 집진필터, 덕트시설 등이 별도로 없어 유지관리가 비교적 용이
- 별도의 필터가 없어 물세척이 가능하여 관리비용 상 큰 이점이 있고, 모듈화되어 설치가 비교적 간편하면서도, 소음 및 공기질을 동시에 개선
- 먼지 입자 $0.3\mu\text{m}$ 기준, 챔버 내 분진감소율(수농도 기준) 70% 이상, 흡음율 0.75 이상의 저감성능을 공인인증 받았고, 실제 운영선 선로 현장에서 PM10, PM2.5의 집진성능(질량농도 기준)은 한달여간 평균 90% 이상임을 확인
- 송풍팬 없이 이온풍으로 공기가 강제 흡배기 되는 액티브 방식의 공기 정화 장치와 고강도 흡음재 각각의 기능을 상호 보완하며 우수한 성능을 갖도록 결합한 것으로 국내외 최초로 철도 현장에 적용된 기술
- 특허 출원(3건)/등록(3건) 등 지식재산권 확보
- 기술이전 1건

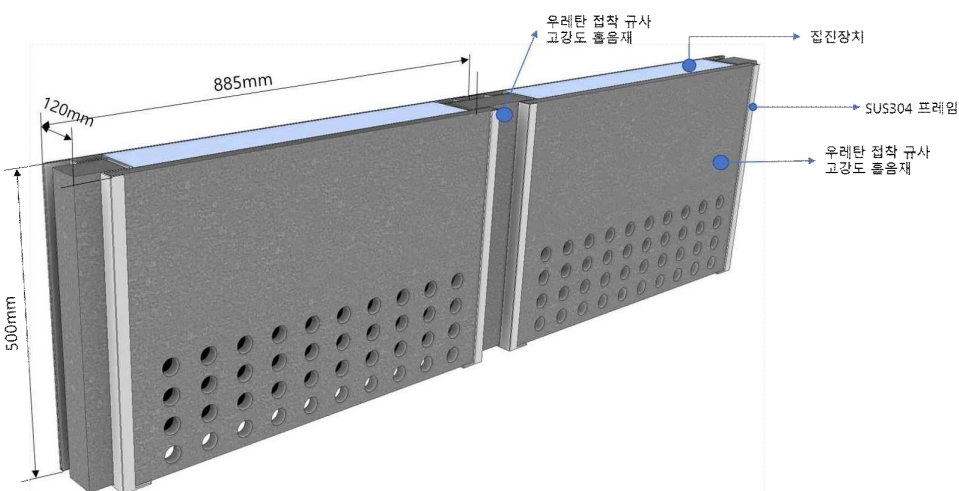
○ 두께 $100\pm 20\text{mm}$ 기준, 흡음률(NRC) 0.76~0.87 달성 (당초 목표 : 0.7 이상)

- KS F 2805:2014 잔향실법 흡음 성능 측정시험에 따라, 시제품 설치 구성에 따라 흡음률(NRC) 0.76~0.87 공인 인증

○ 두께 $100\pm 20\text{mm}$ 기준, 초미세먼지(PM2.5) 제거 효율(계수법) 72.3% 달성 (당초 목표 : 50% 이상)

- SPS-KACA 002-0132:2018 실내공기청정기 시험 규격에 따라, 시제품 미세먼지 제거 효율은 동작 20분 후 72.3% 공인 인증

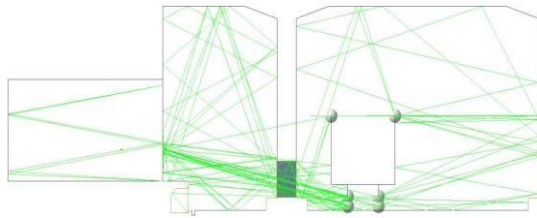
○ 시제품 설계 및 제작 완료



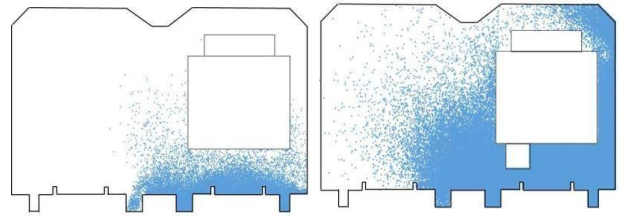
[기본결합형 설계안(좌), 시제품 집진모듈(우)]

○ 주행 철도차량 근접 공간에서의 소음/마모입자 발생 특성 분석

- 휠-레일 마모입자를 포함한 미세먼지 발생특성 분석 : 터널 하부에 집중
- 발생 소음의 특성 및 전달경로 분석 : 터널 하부에 집중

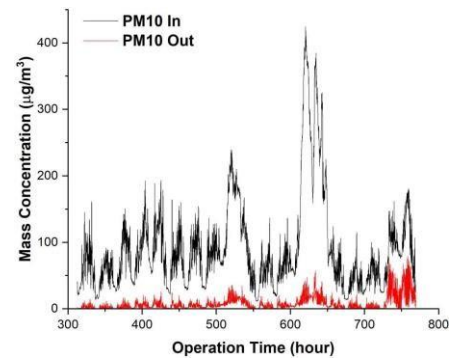


[터널 내 전동소음 전달경로 분석]

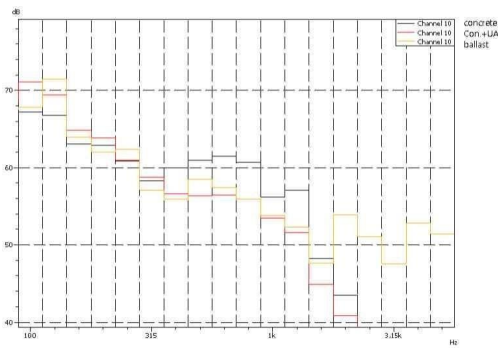


[터널 내 비산 입자 분포]

○ 테스트베드 시험 시공 및 현장적용성 검증



[현장 설치된 시제품의 미세먼지 집진 성능]



[소음 저감 성능 시험(오송시험선)]

○ 실용화 전략 수립

- 사업화 전략 및 인증 전략 수립

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

☐ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Measuring Acoustic Roughness of a longitudinal Rail head Profile Using a Multi-Sensor Integration Technique	SENSORS	정다해	19		MDPI	SCI	2019.04	1424-8220	50%
2	Case study: Prediction and field tests of railway noise and effects of a low-height noise barrier	Noise Control Engineering Journal	박유나 고효인	68(4)	USA	Institute of Noise Engineering of the USA	SCI	2020.04	0736-2501	100%

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	ICSV26(26th International Congress on Sound and Vibration)	Assessment of the Perceptual Effect of Railway Noise Reduction Technology	홍지영	2019.07.10.	몬트리올	캐나다
2	한국음향학회 2019 추계 학술대회	철도 터널 내 소음·미세먼지 동시저감을 위한 연구 : 음향 성능을 중심으로	홍지영	2019.11.06.	평창	대한민국

☐ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

☐ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

☐ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

☐ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	국내특허	집진장치	대한 민국	홍지영	20.11.18	10-2020-0154965	홍지영	21.07.27	10-2020-0154965	100%	활용
2	국내특허	집진장치	대한 민국	홍지영	20.11.18	10-2020-0154959	홍지영	21.07.27	10-2020-0154959	100%	활용
3	국내특허	소음 미세먼지 동시 저감 장치	대한 민국	홍지영	19.11.28	10-2019-0155611	홍지영	21.01.29	10-2212450	100%	활용

○ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타
1				√							
2	√			√							
3				√							

☐ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

☐ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

☐ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		

☐ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

○ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

☐ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
	소음저감형 팬리스 집진장치	2022.11	(주)리트코/ (주)이온풍	서울지하철 터널(5호선)	소음/미세먼지 저감	1년 6개월		

☐ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
	소음저감형 팬리스 집진장치	2021.11.17	(협조)서울교통공사	한국철도기술연구원	서울지하철5호선 (강동-길동 터널)

☐ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)
	통상 실시	철도 적용 소음저감형 팬리스 집진장치	(주)새영 테크놀로지	2022.2	2022	30,000

☐ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

☐ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

☐ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

☐ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과	
----	--

사업화 계획		사업화 소요기간(년)				
		소요예산(천원)				
		예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
		시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
			국내			
			국외			
		향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획				
무역 수지 개선 효과(천원)		수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
		수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			yyyy년	yyyy년	
합계					

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

☐ 기술 무역

(단위 : 천원)

[illegible]

[사회적 성과]

☐ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

☐ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

☐ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

☐ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

☐ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

☐ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

☐ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

☐ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

☐ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
	언론 보도	서울 신문 외 다수	철도기술연구원, 소음저감형 팬리스 집진장치 개발 '쿨룩쿨룩' 철도 선로 발생 소음·미세먼지 간편 저감장치 개발 등	2022.1.17.~

☐ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

☐ 연구시설·장비[illegible]

2) 목표 달성 수준

연구 개발 목표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 두께 100±20mm 기준, 흡음률(NRC) 0.7 이상에 대한 공인시험 성적서 획득 - 근거: 상용화된 두께 220mm 슬라브 도상용 흡음블럭 성능(NRC 0.85)의 80% 이상 확보 ○ 두께 100±20mm 기준, 초미세먼지(PM2.5) 제거 효율(계수법) 50% 이상에 대한 공인시험성적서 획득 - 근거 : 상용화된 두께 400mm 이상 전기집진기 성능(0.25-2.5μm 집진률 95% 이상)의 50% 이상 확보 ○ 소음/미세먼지 복합저감 효율을 최적화한 시제품 설계 및 제작 ○ TEST BED 시험부설을 통한 현장 적용성 검증(모듈 단위) ○ 특허 등 지식재산권 ○ 기술이전 및 실용화 전략 보고서	○ 흡음률 목표 초과 달성 - 두께 120mm 시제품으로 흡음률(NRC) 0.76, 0.87 공인인증 - 기본결합형, 복합구성형 각각 공인시험성적서 획득 ○ 초미세먼지 제거 효율(계수법) 목표 초과 달성 - 두께 120mm 2차년도 시제품으로 58%, 59.4% 공인인증 - 두께 120mm 3차년도 최종 시제품으로 초미세먼지제거 효율(계수법) 72.3% 공인인증 - 2,3차년도 시제품 모두 공인시험성적서 획득 ○ 소음/미세먼지 복합저감 효율을 최적화한 시제품 설계 및 제작 완료 - 최종 시제품 설계안 도출 - 최종 시제품 3기 제작 완료 (추가 2기 제작) - 흡음률 시험용 제품(집진모듈만 제외) 총 24개 제작 ○ TEST BED 시험부설을 통한 현장적용성 검증 완료 - 서울지하철 터널 벽체에 시제품 총 3기 시험부설, 2개월 이상 현장적용성 검증 (미세먼지 집진효율 및 내구성 모니터링) ○ 특허 등 지식재산권 획득 - 특허 3건 출원 및 등록 완료 ○ 기술이전 및 실용화 전략 보고서 작성 완료 - 기술이전 1건, 그 외 다수 중소기업의 이전 의향 확인 - 사업화 및 인증 전략 보고서 작성 완료	100%

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

☐ 해당없음

-

☐

-

2) 자체 보완활동

☐

-

☐

-

3) 연구개발 과정의 성실성

☐

-

☐

-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 팬리스이면서 동시에 액티브 방식의 강제 흡배기 공기 정화 기술로 기존 기술의 한계를 넘은 혁신적인 기술 개발이며, 철도 분야의 환경 문제 중 승객 및 작업자의 건강에 직접적인 영향을 주는 소음과 미세먼지를 동시에 저감할 수 있는 기술로 철도 환경 개선에 기여
 - 오염원에 근접하여 설치하는 장치로 저감효과 극대화하고, 크기가 작고 외부에 노출되지 않는 형태로 미관을 보존하여 활용도가 높음
 - 특히, 휠-레일 마모 시 발생하는 중금속 입자 포함한 미세먼지 및 휠-레일 전동소음 저감 효율 우수
 - 철도 승강장 플랫폼 라이저, 터널 공동구 등 철도 시설물 내에서 발생하는 소음/마모입자 포함 미세먼지를 저감하기 위해 설치
 - 저감장치가 상시 운영함으로 지하철 역사 및 터널, 차량 실내 소음/공기질 개선에 기여하여 철도 이용객의 쾌적성 향상
 - 특히, 터널 및 지하역사에 누적된 휠-레일 마모 중금속 입자로 인한 철도 작업자 건강 위해 요인을 예방하는 데 활용 가능
 - 유지관리 용이한 소음저감형 팬리스 집진장치 개발
 - 기존의 집진장치가 송풍유닛을 이용해 외기를 유입하여 미세먼지를 다양한 집진방식으로 저감한 후 정화된 공기를 외부로 내보내는 구성이나, 지하역사 및 터널 벽면 등에 적용되는 방음벽체 구조에 송풍유닛을 적용하는 것은 유지관리 측면이나 비용, 복잡한 구조로 인한 고장, 오작동 발생 우려와 전체 방음벽체의 크기가 커지는 등의 문제 있음
 - 개발 기술은 송풍유닛이 없는 팬리스 집진장치로서 이온풍을 이용해 외기를 유입하고 전기집진장치를 통과하여 정화된 공기를 다시 외부로 내보낼 수 있다는 점에서 우수
 - 송풍유닛이 없기 때문에 기존의 전기집진장치에 비해서 유지관리가 용이하고 장치의 구조가 비교적 간단하여 두께가 작아질 수 있어 적용처 확대 가능
 - 팬리스 집진장치를 고강도 흡음재 등으로 구성된 방음벽체와 결합하여, 장치의 내구성을 확보하고 흡음재의 구조에 따라 공기의 흐름 방향을 유도할 수 있으며 집진기 설치로 인한 내부 공기층은 저주파 소음의 저감 성능을 향상하는 등 방음벽체의 음향학적 성능 향상에도 도움
 - 소음/미세먼지 저감을 위한 각각의 장치를 적용하는 것에 비해 비용 절감 효과가 크고, 효율적임
 - 교통분야 및 공공시설물에 적용 확대로 교통 소음 저감과 실외 미세먼지 등 공기질 개선에 기여
-

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

- 개발 기술의 중소기업 기술 이전 및 후속 사업화 계획 수립을 통해 성과 확산 노력
 - 철도 뿐 아니라 도로 등 타 분야에 적용 가능한 기술로, 해당 분야 전문 기업에 기술 이전 계획
 - 사업화 과제 추진을 통해 많은 예산이 요구되는 시범 설치 및 제품 양산화 추진
 - 선로변 소음/미세먼지 발생을 저감하기 위해 운영기관 및 지자체의 민원구간에 소음저감형 팬리스 집진장치 설치하여 효율적인 선로 환경 관리
 - 최근 철도 등 공공시설물의 미세먼지 저감을 위한 예산 투입이 활발한 시점으로 개발성과 활용 기대
 - 지자체 및 철도 운영기관에서 테스트베드 제공 등에 협조적이며, 향후 상용화 시 활용 가능성 높음
 - 저감장치를 상시 운영함으로 지하철 역사 및 터널, 차량 실내 소음/공기질 개선에 기여하여 철도 이용객의 쾌적성 향상
 - 특히, 터널 및 지하역사에 누적된 흙-레일 마모 증금속 입자로 인한 철도 작업자 건강 위해 요인을 예방하는 데 활용 가능
 - 최근 개발되어 현장 부설된 근접 저상방음장치와 같은 독립기초형 방음벽 구조에 미세먼지 저감장치 내장 설계 반영 가능
 - 전력 소비가 매우 낮은 기술로, 향후 태양광 방음벽 기술과 결합 시 무전원으로 소음과 미세먼지를 저감할 수 있음
 - 자동세척기술 및 집진모듈 교체/재활용 기술 개발 등 유지관리를 더 쉽게 할 수 있는 기술 추가 개발 계획
 - 철도 운영기관의 활용도를 높이기 위한 실용화 전략 수립
 - 불력화된 구조와 내구성 향상을 통해 시공 및 유지보수 용이성 확보하여 활용도를 더욱 높임
 - 철도 운영환경에서의 설치기준/성능기준/유지관리기준 등을 면밀히 검토, 설계 사양을 수립하여 운영기관의 활용 가능성을 높이기 위한 전략 수립
 - 도로, 건설 공사장 등 소음/미세먼지 오염이 있는 산업 분야에 적용 확대
-

< 별첨 >

별첨 자료

1. 참고문헌

2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘철도 승강장 내 오염원 근접형 소음/마모입자 동시제거 액티브시스템 개발’ 연구개발과제 최종보고서이다.
2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.

ISBN : 979-11-90705-79-0