

최종보고서(일반과제용)						보안등급 일반[☒], 보안[☐]					
중앙행정기관명	국토교통부		사업명	사업명	국토교통기술촉진연구사업						
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명								
공고번호	공고-제02호		총괄연구개발 식별번호	-							
			연구개발과제번호	21CTAP-C152289-03							
국가과학기술 표준분류	EI0605	100%									
총괄연구개발명	국문	철도운행장애 예방 및 미세먼지 저감을 위한 통기형 방음터널기술 개발									
	영문	Development of Air-transparent Noiseproof Tunnel Technology for Preventing Railway Incidents and Reducing Micro Dust									
연구개발과제명	국문	철도운행장애 예방 및 미세먼지 저감을 위한 통기형 방음터널기술 개발									
	영문	Development of Air-transparent Noiseproof Tunnel Technology for Preventing Railway Incidents and Reducing Micro Dust									
주관연구기관	기관명	한국교통대학교 산학협력단									
	주소	(우)27469, 충청북도 충주시 대소원면 대학로 50									
주관연구책임자	성명	최 상 현		직위	교수						
연구개발기간	전체	2019.04.01. - 2021.12.31. (32.5개월)									
	1년차	2019.04.01. - 2019.12.31. (9개월)									
	2년차	2020.01.01. - 2020.12.31. (12개월)									
	3년차	2021.01.01. - 2021.12.31. (12개월)									
연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				연구개발비 외 지원금			
	현금	현금	현물	자랑자랑체 기타()							
	합계	현금	현물	합계							
	총계	600,000	21,860	179,140		-	-		621,860	179,140	801,000
	1년차	134,000	4,860	40,140		-	-		138,860	40,140	179,000
	2년차	195,000	7,220	57,780		-	-	202,220	57,780	260,000	
	3년차	271,000	9,780	81,220		-	-	280,780	81,220	362,000	
공동연구기관 등	기관명		책임자								
공동연구기관	(주)에스코알티에스		박태현								

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

2022년 02월 11일

주관연구책임자 : 최상현



주관연구기관의 장 : 한국교통대학교 산학협력단



공동연구기관의 장 : (주)에스코알티에스



국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 문 >

사업명		국토교통기술촉진연구사업			총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명					연구개발과제번호		21CTAP-C152289-03	
국가과학기술 표준분류		EI0605	100%					
총괄연구개발명		철도운행장애 예방 및 미세먼지 저감을 위한 통기형 방음터널기술 개발						
연구개발과제명		철도운행장애 예방 및 미세먼지 저감을 위한 통기형 방음터널기술 개발						
전체 연구개발기간		2019. 04. 01 - 2021. 12. 31(32.5개월)						
총 연구개발비		총 801,000천원 (정부지원연구개발비 : 600,000천원, 기관부담연구개발비 : 201,000천원, 지방자치단체 : 천원, 그 외 지원금 : 천원)						
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[☒] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]			기술성숙도		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형		지정공모 [☒] 자유공모 []						
연구개발과제 특성		실용화						
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		하절기 폭염 조건에서 터널 내부의 온도 증가에 따른 레일 좌굴, 신호·전력시스템 장애 등에 의한 운행장애 및 교통안전 문제와 궤도에서 발생하는 미세먼지 확산으로 인한 주민 불편을 터널화를 통하여 해결하기 위하여 방음성능을 유지하면서 방음터널 내·외부 통기가 가능한 개방형 방음판과 이를 기반으로 열 방출이 용이한 방음터널 설계기법을 개발함					
	전체 내용		☐ 철도 방음터널내 온도분포 및 소음특성을 고려한 통기형 방음시스템의 해석모델 및 설계절차 수립 -통기형 방음터널 해석기법 정립 -통기형 방음터널 설계기법 정립 및 설계절차서 작성 ☐ 실험실 환경 내에서 bench scale 규모의 실험을 수행하여 방음터널 구조 및 실적용 환경을 고려한 철도 방음터널내 상호작용 해석기법 개발 -철도 방음터널내 상호작용 해석기법 개발 -Bench Scale 규모 실험을 통한 검증 ☐ 수치해석과 소음실험을 수행하여 기존 방음기준을 충족하는 방음성능이 확보되고 방음판 내외부 공기순환이 가능한 방음터널용 통기형 방음판 설계기법 개발 -통기형 방음판 해석기법 정립 -통기형 방음판 설계기법 및 절차 정립 ☐ 사업화 방안 검토 및 제시 -비즈니스모델 정립 -원가분석 및 매뉴얼/시방서 작성					
	1년차	목표	☐ 통기형 방음시스템 해석모델 작성 및 방음터널 공명효과 분석 ☐ 통기형 방음판 해석모델 작성					
		내용	☐ 통기형 방음시스템 해석모델 작성 및 방음터널 공명효과 분석 ◦ 선행연구 사례조사를 통한 기존 연구사례 분석 ◦ 설계인자가 반영된 해석모델 작성 ◦ 간략해석을 통한 방음터널 내 온도/소음 패턴 분석 ◦ 공기순환 및 공명효과 분석을 통한 방음터널 시스템내 상호작용 분석 ☐ 통기형 방음판 해석모델 작성 ◦ 선행연구 사례조사를 통한 기존기술 및 보유기술 조사/분석 ◦ 공명현상 이론연구를 통한 설계인자 및 이론식 도출 ◦ 수치해석을 통한 해석모델 작성 ◦ 시작품 제작 및 성능시험을 통한 가능성 제시					
			목표	☐ 통기형 방음시스템 설계인자 연계/최적화 및 영향인자 상호작용 해석기법 개발 ☐ 통기형 방음구조 개선 및 시험품 성능 분석				
	2년차	내용	☐ 통기형 방음시스템 설계인자 연계/최적화 및 영향인자 상호작용 해석기법 개발 ◦ 설계인자별 수치해석 결과 도출을 통한 각 설계인자별 효과 분석 ◦ 설계인자가 연계된 방음터널 시스템 기반 해석모델 작성					

			- 영향인자를 반영한 시뮬레이션을 통한 최적화 설계 - Bench scale규모 해석 모델 작성 및 성능시험/분석 - 해석-시험값간 상호 보정을 통한 해석기법 정교화 ☐ 통기형 방음구조 개선 및 시험품 성능 분석 - 영향인자 검토를 통한 개선된 수치해석 모델 작성 - 개선된 시험품 제작 및 성능 확인 - 방음터널 적용을 위한 구조 최적화									
	3년차	목표	☐ 통기형 방음시스템 설계기법 개발 및 상호작용 해석기법 입증 ☐ 최종시험품 성능검증 및 설계기법 최적화, 사업화방안 검토									
		내용	☐ 통기형 방음시스템 설계기법 개발 및 상호작용 해석기법 입증 - 방음성능 결정인자 도출 및 반영을 통한 최적설계안 확정 - 해석 및 실험을 통한 결과 입증 후 방음시스템 설계절차서 작성 - Bench scale규모 저감효과 입증 및 상호작용 해석기법 정립 - 해석-시험값간 상호 보정을 통한 해석기법 정교화 ☐ 최종시험품 성능검증 및 설계기법 최적화, 사업화방안 검토 - 설계변수 및 데이터 분석을 통한 설계인자 보정 - 최적화 설계기법 정립 - 사업화를 위한 비즈니스 모델 수립 및 원가분석, 매뉴얼, 시방서 작성									
<예상되는 연구개발성과 유형>												
연구개발성과	구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
									생명 정보	생물 자원	정보	실물
	예상성과 (N/Y)	Y (4)	Y (출원2 등록2)	Y	N	Y	N	N	N	N	N	N
연구개발성과 활용방안 및 기대효과	☐ 활용방안 - 아파트/빌딩의 고층화 및 인구집중에 따른 도시철도 인근 지역에서의 소음관련 민원 해결 - 방음터널 내부의 방음터널 내부의 온도상승 문제를 해결을 통한 레일장출 또는 전력시스템의 장애발생 예방 - 기계장치, 기계실, 공조실, 전기실, 공장 등 또는 작업자가 상주하는 곳에서의 소음 감소 및 환기가 필요한 실내의 소음 저감 ☐ 기대효과 - 방음성능의 저감 없이 방음터널의 내외부로 공기의 흐름을 유도할 수 있는 통기형 소음저감 원천기술 확보 및 상용화 기술 선도 - 방음터널 내부 온도상승 문제 해결 및 미세먼지 저감											
	해당없음											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유												
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
	3	2	16									
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	방음판		방음터널		통기형		교통소음		철도운행장애			
영문핵심어 (5개 이내)	soundproof panel		soundproof tunnel		air-transpassing type		traffic noise		railway incidents			

< 목 차 >

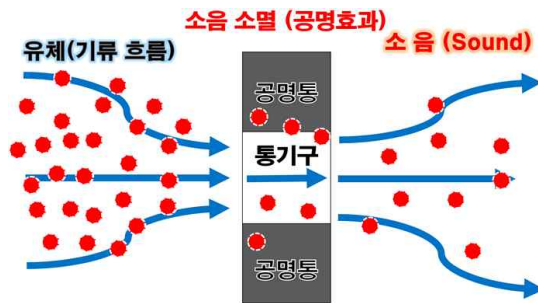
1. 연구개발과제의 개요	1
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	4
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	21
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	33
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	33
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획	34

별첨자료(참고문헌 등)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

- 하절기 폭염 조건에서 터널 내부의 온도 증가에 따른 레일 좌굴, 신호·전력시스템 장애 등에 의한 운행장애 및 교통안전 문제와 궤도에서 발생하는 미세먼지 확산으로 인한 주민 불편을 해결하기 위하여 방음성능을 유지하면서 방음터널 내·외부 통기가 가능한 개방형 방음판과 이를 기반으로 열 방출이 용이한 방음터널 설계기법을 개발함
 - 철도 방음터널내 온도분포 및 소음특성을 고려한 통기형 방음시스템의 해석모델 및 설계절차 수립
 - 실험실 환경 내에서 bench scale 규모의 실험을 수행하여 방음터널 구조 및 실적용환경을 고려한 철도 방음터널내 상호작용 해석기법 개발
 - 수치해석과 소음실험을 수행하여 기존 방음기준을 충족하는 방음성능이 확보되고 방음판 내외부 공기순환이 가능한 방음터널용 통기형 방음판 설계기법 개발
 - 사업화 방안 검토 및 제시



$$f_0 = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V \cdot L_e}}$$

음속 목의 단면적

공명기부피 유효목 길이 = $L + k \cdot r$

헬름홀츠 공명기 공식

<통기형 공명 방음기술 개요>

2) 연구개발과제의 년차별 목표

□ 1차 연도

- 통기형 방음시스템 해석모델 작성 및 방음터널 공명효과 분석
 - 선행연구 사례조사를 통한 기존 연구사례 분석
 - 설계인자가 반영된 해석모델 작성
 - 간략해석을 통한 방음터널 내 온도/소음 패턴 분석
 - 공기순환 및 공명효과 분석을 통한 방음터널 시스템내 상호작용 분석
- 통기형 방음판 해석모델 작성
 - 선행연구 사례조사를 통한 기존기술 및 보유기술 조사/분석
 - 공명현상 이론연구를 통한 설계인자 및 이론식 도출
 - 수치해석을 통한 해석모델 작성
 - 시제품 제작 및 성능시험을 통한 가능성 제시

□ 2차 연도

- 통기형 방음시스템 설계인자 연계/최적화 및 영향인자 상호작용 해석기법 개발
 - 설계인자별 수치해석 결과 도출을 통한 각 설계인자별 효과 분석
 - 설계인자가 연계된 방음터널 시스템 기반 해석모델 작성
 - 영향인자를 반영한 시뮬레이션을 통한 최적화 설계
 - Bench scale 규모 해석 모델 작성 및 성능시험/분석
 - 해석-시험값 간 상호 보정을 통한 해석기법 정교화

-
- 통기형 방음구조 개선 및 시험품 성능 분석
 - 영향인자 검토를 통한 개선된 수치해석 모델 작성
 - 개선된 시험품 제작 및 성능 확인
 - 방음터널 적용을 위한 구조 최적화

□ 3차 연도

- 통기형 방음시스템 설계기법 개발 및 상호작용 해석기법 입증
 - 방음성능 결정인자 도출 및 반영을 통한 최적설계안 확정
 - 해석 및 실험을 통한 결과 입증 후 방음시스템 설계절차서 작성
 - Bench scale규모 저감효과 입증 및 상호작용 해석기법 정립
 - 최종시험품 성능검증 및 설계기법 최적화, 사업화방안 검토
 - 설계변수 및 데이터 분석을 통한 설계인자 보정
 - 최종 시험품 제작을 통한 성능 입증
 - 최적화 설계기법 정립
 - 사업화를 위한 비즈니스 모델 수립 및 원가분석, 매뉴얼, 시방서 작성
-

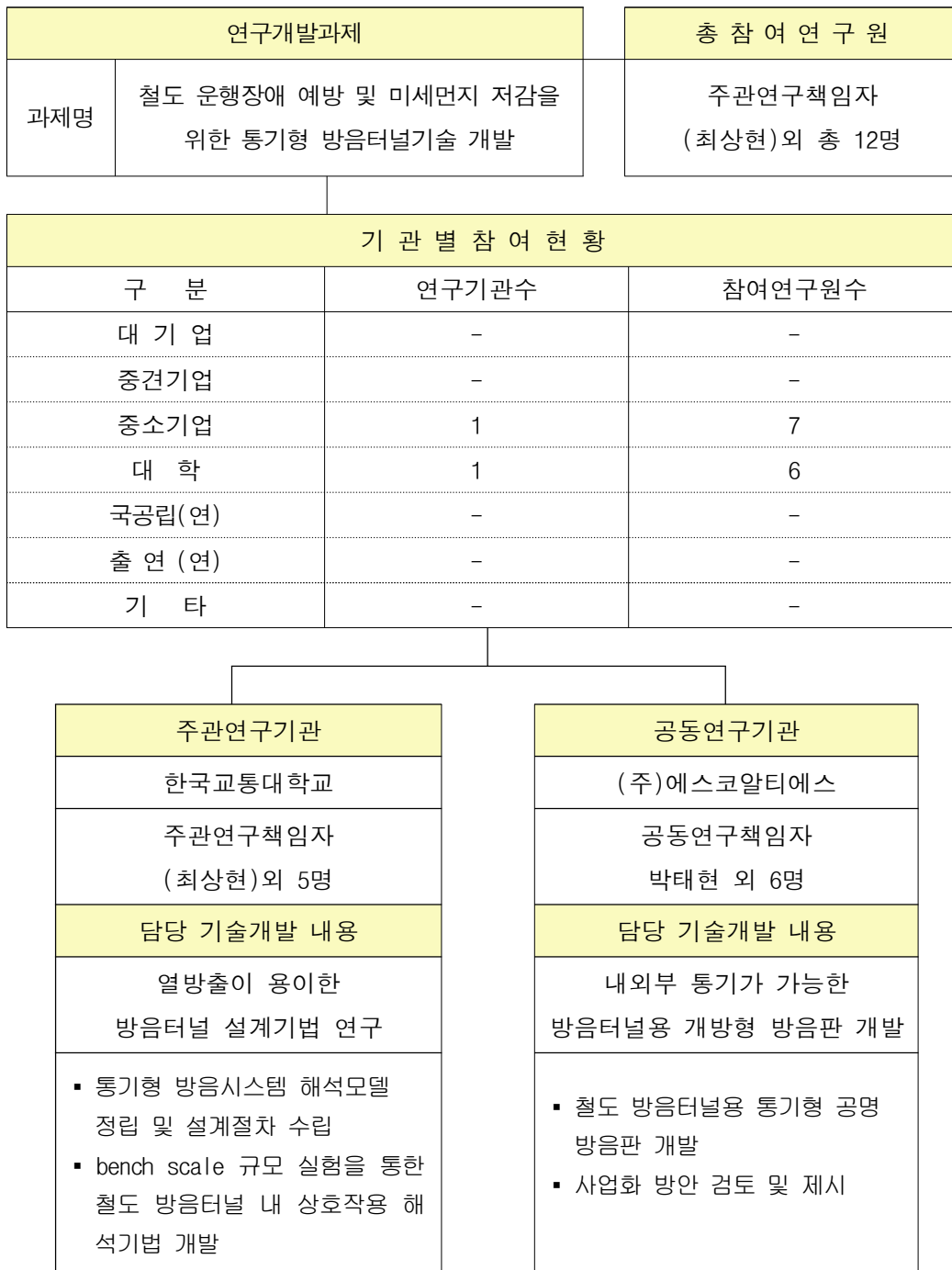
구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	통기형 방음시스템 해석모델 작성 및 방음터널 공명효과 분석	통기형 방음시스템 해석기법	온도저감율 8%	통기형 방음터널 해석 기술 ◦ 공기유동 ◦ 열유동 ◦ 음향	-	30
		방음터널 내 상호 작용 해석기법 조 사		방음터널 내 상호작용 해석기법 조사	-	20
	통기형 방음판 해 석모델 작성	통기형 방음판 해 석기법	-	통기형방음판에 대한 수치해석기법	-	20
		통기형 방음판 설 계기법	25dB(500Hz) 30dB(1000Hz)	통기형방음판 시험품 투과손실 20dB(500Hz) 20dB(1000Hz)	KS F ISO 10140-2:2010	30
2년차 (2020)	통기형 방음시스템 설계인자 연계/최 적화 및 영향인자 상호작용 해석기법 개발	통기형 방음시스템 해석기법	-	통기형방음터널 수치해석기법	-	20
		통기형 방음시스템 설계기법	온도저감율 10%	통기형방음터널 최적설계기법	-	20
		통기형 방음터널에 대한 bench scale 규모 실험	-	bench scale 규모 실험 결과	-	20
	통기형 방음구조 개선 및 시험품 성 능 분석	통기형 방음판 해 석기법	-	통기형 방음판 해석기법	-	20
		통기형방음판 시험 품 제작 및 성능 분석	25dB(500Hz) 30dB(1000Hz)	통기형방음판 시험품 투과손실 25dB(500Hz) 25dB(1000Hz)	KS F ISO 10140-2:2010	20
3년차 (2021)	통기형 방음시스템 설계기법 개발 및 상호작용 해석기법 입증	통기형 방음시스템 설계기법	온도저감율 12% 미세먼지 저감율 25%	통기형 방음터널 설계절차서	-	25
		방음터널 내 상호 작용 해석기법	실험-해석결과 오차 10% 내외	bench scale 규모 결과를 이용한 해석기법	-	25
	최종시험품 성능검 증 및 설계기법 최 적화, 사업화방안 검토	통기형 방음판 설 계기법	25dB(500Hz) 30dB(1000Hz)	통기형방음판 시험품 투과손실 25dB(500Hz) 30dB(1000Hz)	KS F ISO 10140-2:2010	25
		사업화 방안	-	비즈니스 모델 시공원가 분석 설계매뉴얼 시방서	-	25

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1) 연구개발 추진전략 및 방법

- 본 연구를 통해 철도 방음터널 기술을 개발하고자 하며 이를 위해 주관기관인 교통대학교는 열 방출이 용이한 방음터널 설계기법을 연구하고, 공동연구기관인 (주)에스코알티에스는 철도 방음터널에 적용되는 내외부 통기가 가능한 공명형 방음판을 개발하고자 함

2) 연구개발 추진체계



3) 연구개발 추진일정

□ 1차년도

일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1.	철도 방음터널용 통기형 방음판 설계기법 개발													120,000	박태현 (에스코 알티에스)
	선행연구 사례조사													5,000	
	이론적 배경 조사													10,000	
	수치해석 모델 작성													20,000	
	시작품 제작 및 성능분석													85,000	
2.	통기형 방음시스템의 해석모델 및 설계절차 수립													20,000	최상현 (교통대 학교)
	선행연구 사례조사													3,000	
	수치해석 모델 작성													7,000	
	간략해석을 통한 패턴 분석													10,000	
3.	철도 방음터널 내 상호작용 해석기법 개발													25,000	최상현 (교통대 학교)
	선행연구 사례조사													5,000	
	공기순환 및 공명효과 분석													20,000	
4.	사업화 방안 검토													14,000	박태현 (에스코 알티에스)
	기존 기술/시장 조사													14,000	

□ 2차년도

일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책 임 자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1. 철도 방음터널용 통기형 방음판 설계기법 개발														215,500	박태현 (에스코 알티에스)
	개선된 수치해석 모델 작성													35,500	
	시험품 제작 및 성능 분석													120,000	
	설계조건에 맞는 구조 최적화													60,000	
2. 통기형 방음시스템의 해석모델 및 설계절차 수립														32,500	최상현 (교통대 학교)
	설계인자별 수치해석 결과 도출													7,500	
	설계인자 연계 시스템 모델 작성													10,000	
	시뮬레이션을 통한 최적화 설계													15,000	
3. 철도 방음터널 내 상호작용 해석기법 개발														45,000	최상현 (교통대 학교)
	bench scale규모 해석모델 작성													5,000	
	bench scale규모 실험/분석													37,000	
	해석-시험값 보정을 통한 최적화													3,000	
4. 사업화 방안 검토														18,000	박태현 (에스코 알티에스)
	기술/시장 조사													18,000	

□ 3차년도

일련 번호	연구내용	추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	책 임 자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1. 철도 방음터널용 통기형 방음판 설계기법 개발														200,500	박태현 (에스코 알티에스)
	수치해석/실험을 통한 설계 보정													32,000	
	최종 시험품 제작 및 성능 입증													118,500	
	최적화 설계기법 개발/정립													50,000	
2. 통기형 방음시스템의 해석모델 및 설계절차 수립														42,500	최상현 (교통대 학교)
	결정인자 도출													2,500	
	해석 및 실험을 통한 결과 입증													32,000	
	방음시스템 설계절차서 작성													8,000	
3. 철도 방음터널 내 상호작용 해석기법 개발														35,000	최상현 (교통대 학교)
	bench scale규모 저감효과 입증													20,000	
	상호작용 해석기법 정립													15,000	
4. 사업화 방안 검토														33,000	박태현 (에스코 알티에스)
	비즈니스 모델 수립													11,000	
	원가분석, 매뉴얼/시방서 작성													22,000	

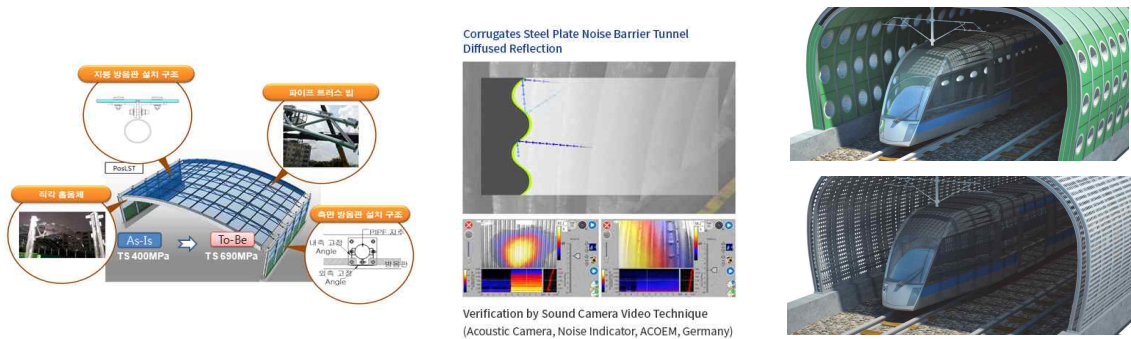
4) 연구내용

(1) 통기형 방음시스템의 해석모델 및 설계절차 (핵심성과 A-1, A-2)

(1) 1차년도

○ 통기형터널/방음터널 관련 선행 연구사례 조사

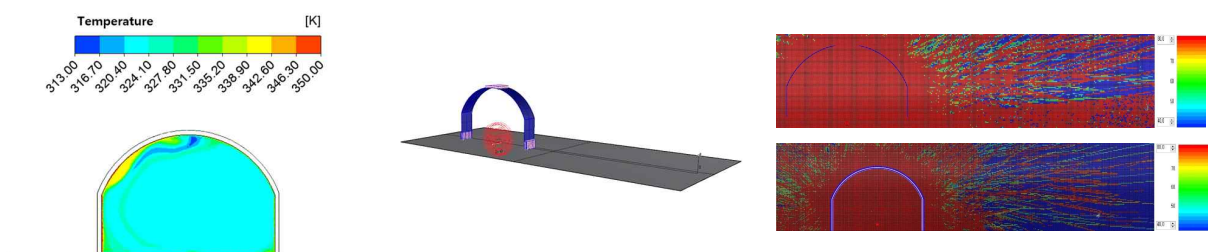
- 국내외 통기형 터널 및 방음터널과 관련된 연구사례 조사 및 분석을 수행하였음
- 국내 방음터널 경량화 관련 연구는 재료적인 연구보다는 고강도, 신소재 및 경량재료를 사용한 구조재의 경량화 연구가 주를 이루고 있음
- 해외의 경우 방음터널 자체의 연구보다는 방음판의 방음효율 제고를 위한 연구가 주를 이루고 있으며, 통기형 터널에 대한 체계적인 연구는 없으나, 공명원리를 이용한 소음저감 연구가 진행되고 있음
- 통기형 방음터널 관련 연구는 풍하중 저감을 위하여 터널을 일부 개방하거나, 음파의 특성을 고려하여 작은 크기의 개구부를 형성, 배치 조정하는 연구가 진행되었고, 최근 공명원리를 이용한 연구를 통해 단순 통기구조, 음향루버 구조보다 차음성능이 2배 이상 월등하다고 분석됨



<방음터널 관련 선행 연구사례>

○ 통기형방음터널 수치해석기법 개발

- 온도해석 및 음향해석을 위한 기본 터널형상 설계는 방음터널에 대한 별도의 설계기준이 마련되어 있지 않으므로 도로교설계기준, 철도설계기준 등을 참고하여 설계하였음
- 자중, 풍하중 및 설하중의 3가지 하중을 하중조합에 대한 해석을 수행하고 허용응력에 대해 검토하였으며, 모든 경우에서 허용응력에 대해서 만족하는 것으로 나타남(허용응력설계 수행)
- Fluent 프로그램을 이용하여 슬릿형 방음벽과 기존 반사형 방음벽이 적용된 방음터널에 대한 온도해석을 진행하였고, 해석 결과 터널 내부 평균 온도는 Case 1은 51.24℃, Case 2는 62.05℃로 나타나 슬릿형 방음판을 사용할 경우 기존 반사형 방음판 사용 시보다 17% 정도 온도를 낮출 수 있는 것으로 나타남
- 음향해석 프로그램 Pachyderm Acoustics을 이용하여 해석을 진행하였고, 슬릿형 방음판을 모두 적용한 경우 모든 주파수대에서 음압이 30dB 이상 감소하는 것으로 나타났으며, 일부를 적용하더라도 단순 개구가 있는 경우와 비교할 때 2dB ~ 3dB 정도의 음압을 감소시킬 수 있는 것으로 나타남

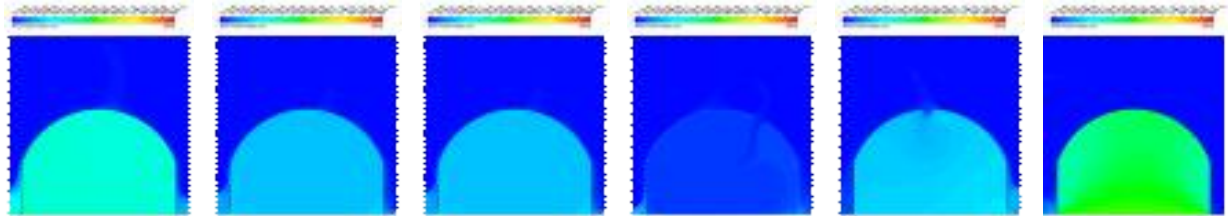


<방음터널 온도 및 음향 해석>

(2) 2차년도

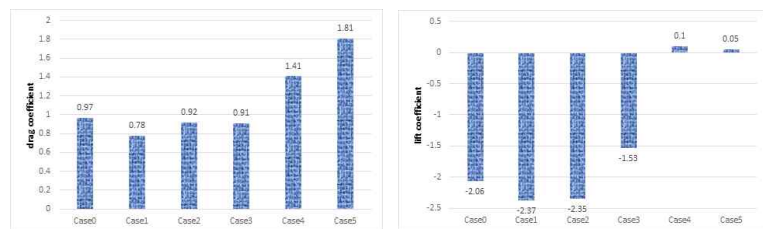
○ 통기형방음터널 수치해석기법 개발

- 방음터널의 설계 시 필요한 소음 저감성능, 풍하중 저감성능 및 온도 저감성능 산정을 위한 음향전파, 공기유동 및 열유동에 대한 수치해석 기법과 설계 적용 방안을 제시함
- Fluent 프로그램을 이용하여 온도 해석을 진행하였고, 해석 결과, 슬릿형 방음판 적용 높이가 높을수록, 적용 면적이 넓을수록 온도저감효과가 높은 것 확인함
- 열유동해석을 통하여 방음터널 벽체에 슬릿형 방음판 적용 면적이 20% 정도일 때, 적용 위치에 따라 방음터널 내부 평균온도를 최소 11.1℃, 최대 35.5℃까지 낮출 수 있음을 확인함



<방음터널 온도 해석 결과>

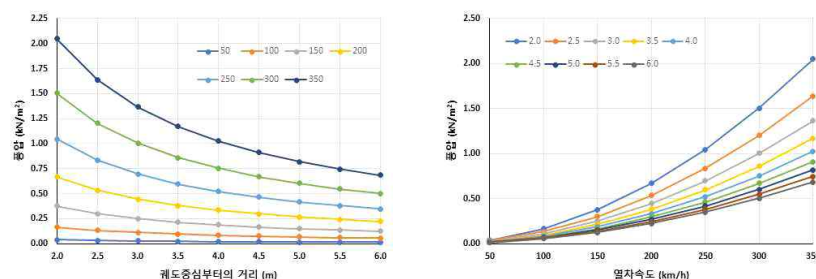
- ANSYS FLUENT를 이용하여 CFD해석 수행하였고, 풍동실험 결과를 이용하여 공기유동 시뮬레이션 기법의 적절성을 검토하였으며, 항력계수 비교 결과 10% 정도의 오차 발생 확인
- 기류동해석 결과 슬릿형 방음판을 연직 벽체에 적용 시 풍하중 저감효과가 있으나, 지붕 상부에 적용 시 풍하중이 증가하는 현상 발견 양력계수 산정 결과 지붕 상부에 슬릿형 방음판 적용 시 상향력 발생 확인



<CFD 해석 모델 및 항력계수 결과>

○ 통기형방음터널 최적설계기법 개발

- 관련 설계기준 및 기존 연구결과 검토를 통하여 도출된 사항과 자체 해석 결과를 이용하여 설계절차를 정립하였음
- 설계기준 및 연구결과를 통하여 슬릿형방음판이 적용된 방음터널 설계를 위한 절차를 제시하였음
- 정립된 설계절차를 이용하여 아치형 지붕을 갖는 방음터널에 대한 설계예제를 작성하였음(설계속도 300km/hr, 복선)

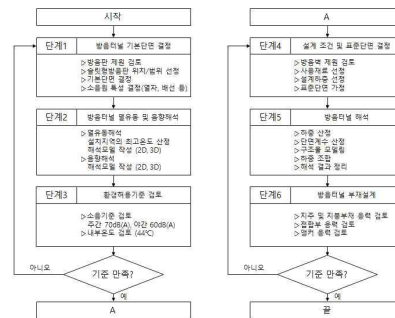


<궤도중심거리 및 열차속도에 따른 풍압 변화>

(3) 3차년도

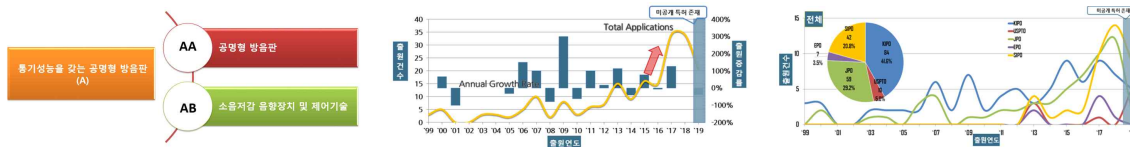
○ 통기형방음터널 설계절차서 개발

- 통기형 방음판이 적용된 방음터널의 설계절차 정립을 위하여 방음시설의 구조적 특성과 기존 설계기준 및 연구결과 등에 대한 분석을 통하여, 통기형 방음판이 적용된 방음터널에 대한 설계절차와 관련 해설을 제시하였음
- 방음터널에 대한 설계절차는 (1) 음향해석 및 온도해석을 통한 소음목표치 및 허용온도를 만족하는 통기형 방음판의 위치 및 범위를 결정하는 기본단면 설계와; (2) 고정하중, 풍하중, 설하중 등의 하중작용에 대하여 구조적 안전성 및 사용성을 만족하는 표준단면 설계의 2단계로 제시하였음
- 방음벽 및 방음터널의 설계와 관련한 기존 기준, 시뮬레이션 및 실험 결과 등을 종합하여 통기형 방음판이 적용된 방음터널의 최적 설계절차서를 제시하였음



<통기형 방음터널 설계절차>

- 2000년 중후반 들어서면서부터 통기성능을 갖는 공명형 방음판 관련 특허 출원이 점차 증가하였고 2017년 급격히 증가 후 현재까지 지속적이 증가세를 보임



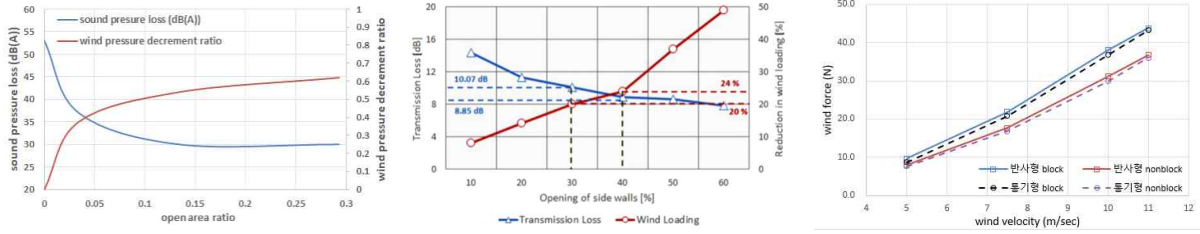
<통기성능을 갖는 공명형 방음판 관련 특허>

(2) 방음터널 내 상호작용 해석기법 개발 (핵심성과 B-1, B-2)

(1) 1차년도

○ 방음터널 상호작용 관련 선행 연구사례 조사

- 통기형 방음벽 및 방음터널을 포함한 방음시설에 작용하는 풍하중은 개구부 면적비 또는 개구율, 개구부 형상, 풍속 및 방음시설 전후 상황 등과 상관관계를 가짐
- 방음벽 측면을 차단한 경우와 차단하지 않은 경우의 풍속에 따른 풍하중 변화 결과를 통해 방음터널 전후 상황에 따라 풍하중 변화가 크다는 것을 알 수 있음
- 철도분야에서 공력소음 또는 유동소음을 해석하기 위한 연구로는 고속열차가 터널 통과 시 고속열차에서 발생하는 공력소음 특성에 대한 해석적 연구를 진행함

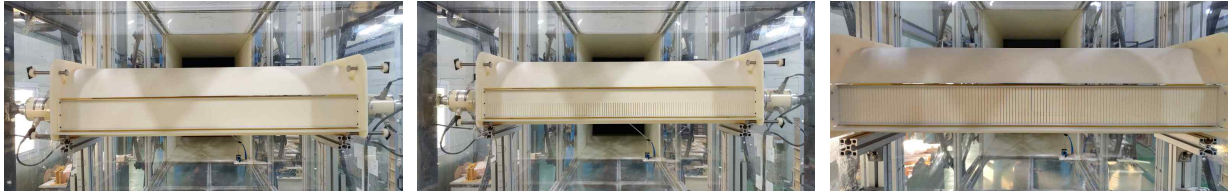


<음향투과손실-풍압저감율의 상관관계>

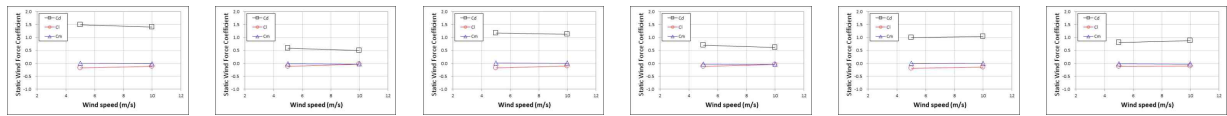
(2) 2차년도

○ 통기형방음터널에 대한 Bench Scale 규모 실험

- 방음터널 1/50 scale 축소모델을 이용하여 슬릿형 방음판 개구율에 따른 항력, 양력, 모멘트 계수를 측정하여 공기력 계수를 도출하였음
- 풍상측 방음판에 작용하는 항력계수는 통기형 방음판의 적용비율에 따라 감소함 반대로, 풍하측 방음판에 작용하는 항력계수는 통기형 방음판의 적용비율에 따라 증가하는 것으로 나타남
- 이는 풍상측 개구부를 통해 풍하측 풍하중에 영향을 주는 것으로 판단되며 개구율을 적절하게 설정하여 전체적 풍하중이 감소되는 개구율을 선정해야함



<Bench Scale 시험체>

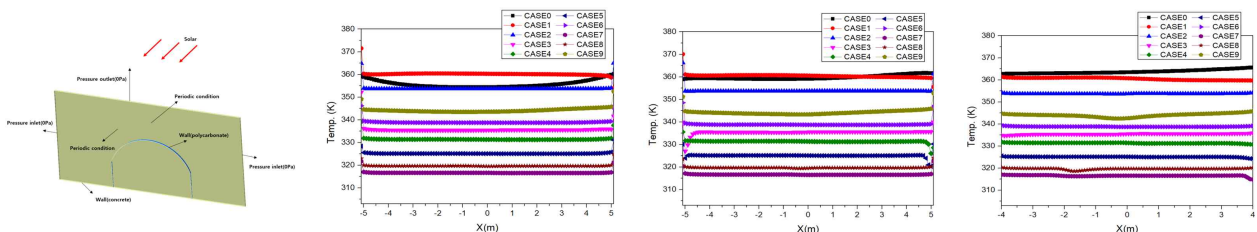


<Bench Scale 실험 결과>

(3) 3차년도

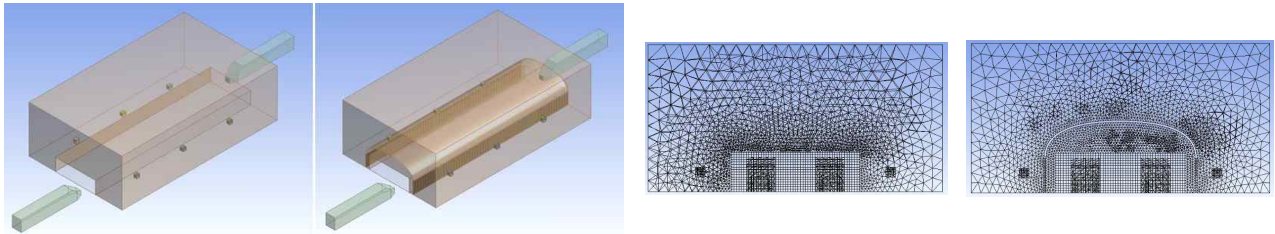
○ 통기형방음터널에 대한 Bench Scale 규모 실험

- 통기형 방음판이 적용된 방음터널의 최적설계를 위하여 필요한 공기유동과 미세먼지 저감량 산정을 위한 해석기법을 정립하였음
- 방음터널 수직벽체에 개구부가 있을 경우 풍하중 저감 효과는 최저 약 15%, 최고 약 30%까지 나타났으나, 지붕에 개구부가 있을 경우에는 수직벽체와 가까운 경우 낮은 저감 효과를 제외하면 풍하중 저감 효과가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 방음터널 지붕에 개구부가 있을 경우 발생한 부양력이 항력을 저감시킨 것으로 판단됨
- 방음터널 지붕에 개구부를 설치했을 때 벽체와의 연접하여 설치된 경우에만 5% ~ 10% 정도의 풍하중 저감 효과가 나타났으므로 방음터널 내부 온도저감 효과가 높은 지붕에 개구부 설치 시는 수직벽체에 최대한 가깝도록 하는 것이 필요됨

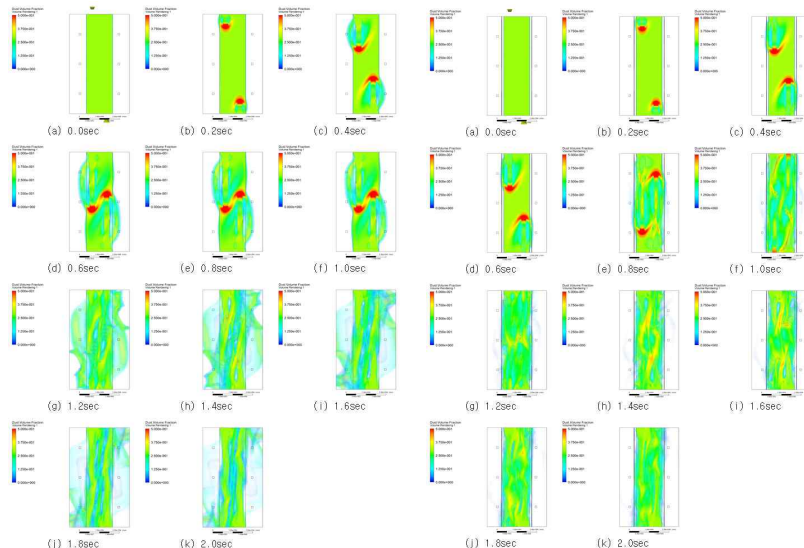


<터널 내부 단면의 높이별 온도 변화>

- 복선 구간에 양방향으로 열차 통과 시의 공기유동해석을 통하여 방음터널 유무에 따른 미세먼지 변화량을 검토한 결과 방음터널은 미세먼지를 상당 수준 저감(6개 측정포인트 평균 182.50배)할 수 있는 것으로 나타남



<미세먼지 확산 해석모델>



	Point A	Point B	Point C	Point D	Point E	Point F	평균
방음터널 미적용 (A)	1.86%	2.78%	6.41%	6.14%	2.75%	1.93%	3.65%
방음터널 적용 (B)	0.03%	0.00%	0.05%	0.03%	0.01%	0.03%	0.02%
A/B	62.67	-	128.20	204.67	275.00	64.33	182.50

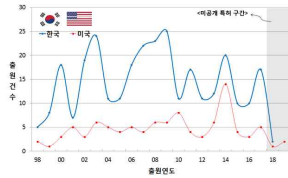
<열차 통과 시 미세먼지 분포 및 미세먼지량>

(3) 철도 방음터널용 통기형 방음판 설계기법 (핵심성과 C-1, C-2)

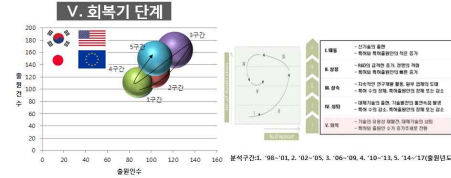
(1) 1차년도

○ 통기형방음판에 대한 선행 연구사례조사

- 최근 철도 및 도로에서 사용되는 방음터널과 방음벽 등 소음저감 시설의 수요가 증가함에 따라 풍하중 저감 및 방음판 내외부의 공기 유동에 의한 온도 저감 성능 등 기존 방음기술에서 구현하기 어려운 형태의 기술수요가 발생하고 있어 이에 대한 연구필요성이 증가하는 추세임
- 방음벽의 방음기술에 따라 크게 흡음형, 반사형, 간섭형, 공명형 등으로 구분되며, 공명형 방음판은 방음판에 구멍이 뚫려 있고 내부에 공명실이 형성되어 공기의 공명에 의해 소음저감 효과가 나타남
- 선행 연구된 방음기술에 대한 연구사례를 분석하기 위해 국내외 특허 및 논문에 대해 조사하고 분석하였으며, 개발기술과 관련성이 높은 통기형 및 공명형 방음기술에 대한 심층분석을 진행하였음
- 방음벽 분야에 대한 한국, 미국, 일본 및 유럽의 전체 출원 동향을 분석한 결과 방음벽 분야는 출원의 증가와 감소가 주기적으로 반복했으나 2008년 이후 2013년까지 크게 감소한 후 2016년 이후 다시 회복세를 이루면서 방음벽에 대한 관심은 계속되고 있는 것으로 분석됨
- 방음벽 분야는 주로 도로나 주택 및 건설 등 산업 인프라의 형성과 연관이 있는 것으로 파악되며, 주기적인 출원의 증감은 산업 인프라 형성과정을 반영한 것으로 보여짐
- 미국 및 유럽보다 상대적으로 국토가 협소하고, 인구밀집도가 높은 한국, 일본이 방음벽 관련 출원인수와 출원건수가 높으며, 기술의 발전단계는 회복기 단계인 것으로 분석됨



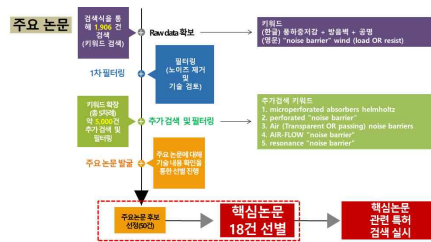
- 전체적으로 출원건수의 변동이 심함
- 한국 → 전체적으로 미국보다 많은 출원을 진행
- 미국 → 도시의 보급도, 콘크리트 소재의 전통적인 방음벽의 주로 설치 → 방음벽에 대한 관심이 한국보다 높다고 판단
- 한국은 추가형태와 산업시설의 보급도가 미국보다 상대적으로 높아 방음벽에 대한 관심이 높을 것으로 분석됨



- 기술 발전도 → 1구간-3구간은 출원인수와 출원건수가 증가 → 3구간-4구간, 출원인수와 출원건수가 감소 → 4구간-5구간 출원인수와 출원건수가 증가 → 전형적인 기술 회복기 단계인 것으로 판단
- 방음벽 관련 새로운 기술(복합중 저감 기술+공명 효과+간접 효과+요수 효과+반사 효과)이 개발되는 시기

<연도별 방음벽 특허 출원동향 및 기술단계>

- 키워드 검색, 저자 검색, 학회검색 및 Citation 검색 등에 따라 발굴된 주요 논문을 개발기술과의 적합성 고려하여 1차 선별을 하고 심층 분석을 통해 본 연구개발 기술에 활용 가능한 논문을 도출함



<핵심논문 선별 단계>

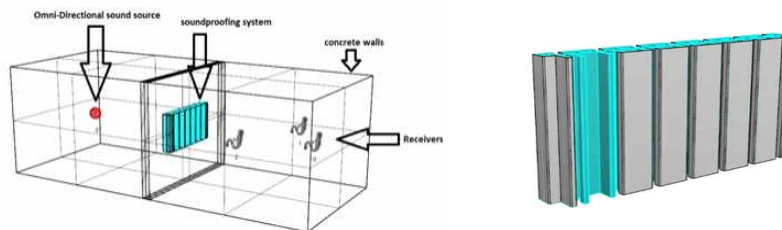
○ 통기형방음판에 대한 수치해석기법 개발

- 통기성능을 갖는 공명형 방음판에 대해 소음저감 성능을 수치해석기법을 이용하여 예측하고 실제 시험을 통해 도출된 성능값과의 비교를 통해 설계 시 음향해석 활용 가능한지 확인하였음
- 방음판은 기본모듈(main module)과 단부모듈(side module)로 구성되며, 단부모듈은 방음벽 지주에 결합할 수 있도록 방음판 양측에 위치하고 기본모듈은 단부모듈 사이에서 일정한 간격으로 배열하였음



<공명기 모듈 형상>

- 제작 용이성을 확인하기 위한 목적으로 공명통의 부피를 달리하여 공명통을 1개, 4개, 8개로 분할한 3가지 모델을 제작하였으며, 음향 해석 프로그램인 Pachyderm Acoustics를 이용하여 해석을 수행하였음



<음향 해석 잔향실 및 방음판 모델링>

- 잔향실 실험 결과 통기성능을 갖는 개발기술은 차음주파수범위에서 확실한 소음 저감 성능이 발생함을 확인하였고, 개발기술에 대한 음향해석 결과는 실험 결과와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으나, 차음주파수 범위에서 일정 거리 이상의 주파수대에서는 작지 않은 오차가 발생하였음
- 해석과 실험 결과 간의 오차는 잔향실 내부 다른 재료들에 대한 음향특성 입력값의 오류에서 비롯된 것으로 판단되나, 보다 정확한 설계를 위해서는 이러한 오차의 원인 규명 및 최적화가 필요함

○ 통기형방음판 시험품 제작 및 성능 분석

- 통기성을 갖는 공명형 방음판의 차음성능이 당초 목표된 성능기준을 만족하는지를 확인하기 위해 방음판 시험품 제작 및 차음성능에 대한 공인시험을 진행하였음
- 방음판의 공명통은 두께 5mm 아크릴로 제작한 기본모듈(main module)과 단부모듈(side module)로 구성되어 있으며, 공명통의 전면부와 후면부에 두께 2.5mm의 강판을 볼트를 이용하여 고정하였음
- 제작의 편의성을 위해 아크릴 소재를 이용해서 공명통을 모듈 형태로 제작하고 공명통의 외부에 강판을 절곡하여 감싸는 형태로 체결하였으며, 모듈형태의 공명통을 고정시킬 수 있도록 리벳으로 상하부 강판에 각각 고정하였음



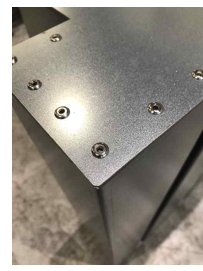
공명통 배열



금속 case 조립



방음판 상부



리벳 체결부



방음판 내부



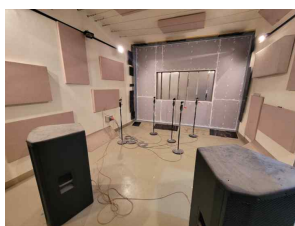
방음판 정면



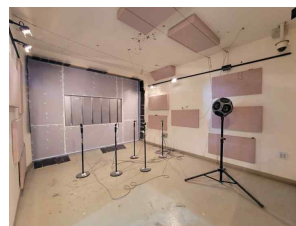
방음판 측면

<공명통 및 외부 금속재 조립>

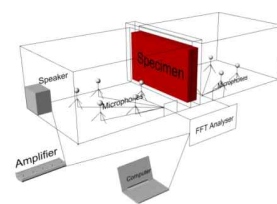
- 공인시험은 공인시험기관인 한국건설생활환경시험연구원(KCL)에서 진행하였으며, 차음성능을 확인하기 위해 각 음역대별로 음향감쇠계수를 측정하였음



음원실



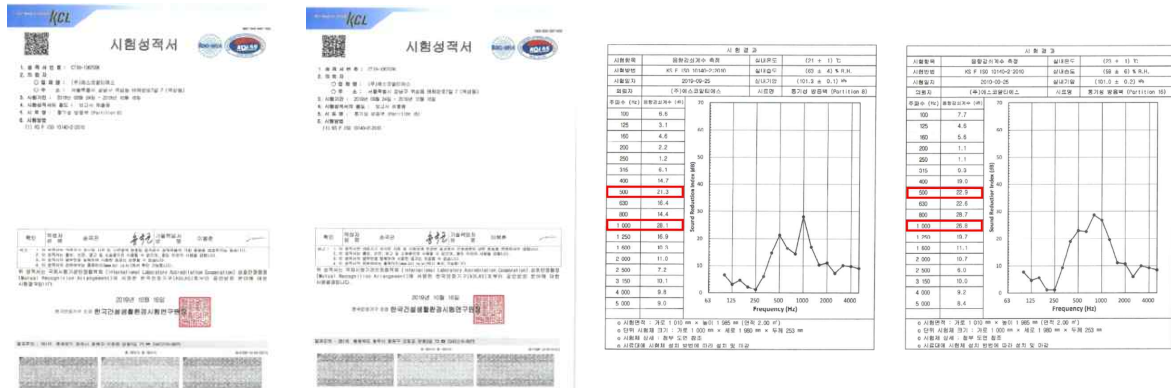
수음실



측정 장비 개략도

<잔향실 및 측정장비 개략도>

- 방음판의 partition 개수에 따른 영향성을 확인하기 위해 partition 개수가 다른 4개의 방음판을 제작하였으며, 공인시험을 통해 차음성능을 확인하였음
- 차음성능시험 결과 500Hz에서 22.9dB, 1,000Hz에서 26.8dB의 차음성능을 갖는 것을 확인하여 1차년도 목표치인 500Hz에서 20.0dB, 1,000Hz에서 20.0dB을 만족하였음

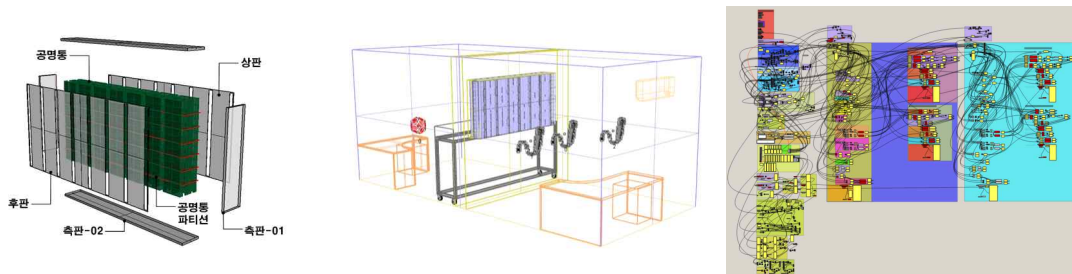


<차음시험성적서>

(2) 2차년도

○ 통기형방음판에 대한 수치해석기법 개발

- 해석과 실험 결과 간의 오차를 줄이기 위해 잔향실 및 방음판의 물성값과 해석조건을 변경하였고, 도출된 해석 결과와 실제 시험체의 성능 시험 결과 비교를 통해 해석기법을 정교화
- 음향해석 환경조건은 온도 20℃, 습도 50%, 정압(static air pressure)은 1,000hPa로 설정하였으며, 110dB의 소음에 대한 수음점 응답의 평균값을 산출하여 결과값을 도출함
- 방음판 구조는 시험 제작품과 유사한 조건을 가지기 위해 방음판 겉면은 강판, 공명통은 아크릴로 적용하여 재료적 특성이 나타나도록 모델링 진행함



<잔향실 및 방음판 개선 모델링>

- 잔향실 실험 결과 1,000Hz 공명통 제작이 크게 제작되어 공명주파수가 630Hz에서 나타났지만, 최고차음 성능 35.7dB로 해당 공명주파수 대역을 고주파수로 이동시켜 추후 개선하여 투과손실 기준을 만족할 수 있을 것으로 판단됨
- 음향해석 결과 설계 공명주파수 대역에서 실험 결과와 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으나, 그 외의 범위에서 작지 않은 오차가 발생함

○ 통기형방음판 시험품 제작 및 성능 분석

- 공명통 안쪽으로 목을 삽입하여 공명통의 크기를 변경하지 않고 목의 길이를 조절함으로써 공명주파수를 쉽게 이동시킬 수 있는지 확인하고자 다양한 목길이가 삽입된 여러 방음판을 제작하고 차음성능을 확인하였음

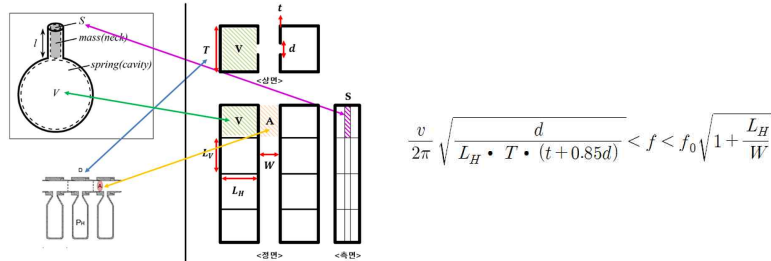


<2차년도 시험체 도면 및 차음시험결과>

- 차음시험 결과 공명기 안쪽에 공명목을 삽입함으로써 공명주파수 대역이 저주파수 대역(400→315Hz)으로 이동한다는 것을 알 수 있음

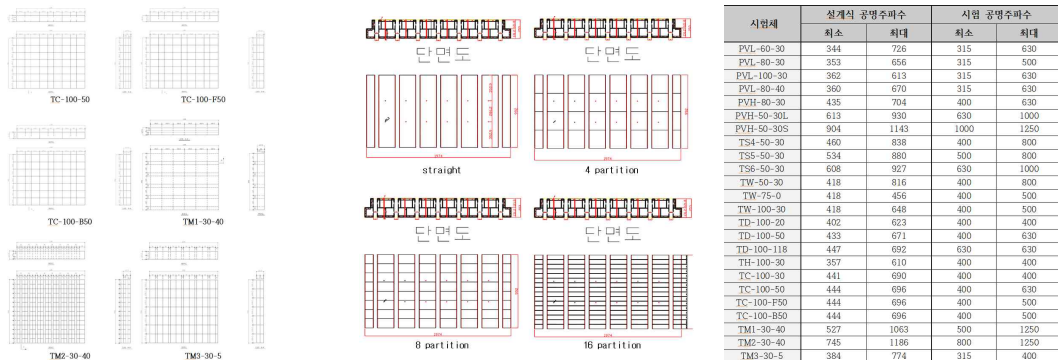
○ 통기형방음판 최적설계기법 개발

- 환경부에서는 『방음시설의 성능 및 설치기준』 제 6조, 제 7조, 제 8조 방음시설의 투과손실, 흡음률 등 방음성능의 대한 기준을 삭제하였지만 아직 많은 규정들이 한국산업규격을 통과해야함
- 슬릿형 방음판 다양한 시설에 적용하기 위해서 투과손실 기준 500Hz의 음에 대하여 25dB이상, 1000Hz의 대하여 30dB이상에 만족하도록 설계하였고, 공인인증시험 결과와 비교하여 설계식의 타당성을 검토하였음
- 슬릿형 방음판 설계식은 헬름홀츠 공명기 이론은 기반으로 개발하였으며, 슬릿형 공명기와 헬름홀츠 공명기가 잘 매칭되도록 설계인자를 다음과 같이 대응시켰음



<헬름홀츠 공명기와 슬릿형 방음판 제원 비교>

- 설계인자 중 공명통 세로길이는 공명주파수 대역에 영향이 주지 않는 것으로 나타나며, 최대공명주파수는 방음판 개방비율에 따라 결정되는 것으로 나타남
- 18개 시험체에 대해서 설계 공명주파수와 차음시험 공명주파수를 비교한 결과 대부분 일치하지만 공명통 개구부의 폭과 위치에 따라 공명주파수가 영향을 받는 것으로 나타나 추후 공명기 형상에 대한 설계식 검토가 필요함



<설계식 및 차음시험 결과 비교>

(3) 3차년도

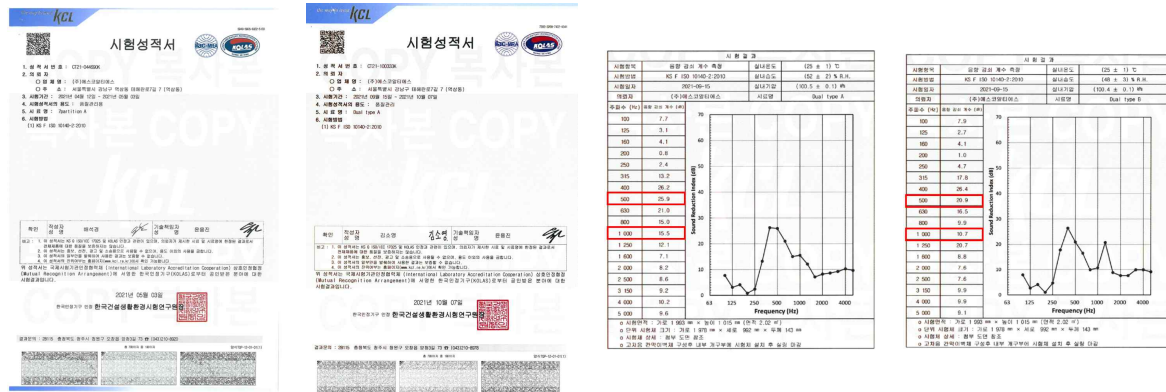
○ 통기형방음판 시험품 제작 및 성능 분석

- 차음성능을 개선하기 위해 이전에 성능시험을 진행한 다수의 시험체 중 최종적으로 성능이 확인된 시험체를 기준으로 공명통 부피비를 변경한 3가지 형식의 방음판을 제작하였음
- 이전 통기형 방음판 구조를 보다 경량화, 단순화하기 위해 일체형 구조를 방음판을 개발하였다. 2차 시험품은 단순 일체형 2개와 일체형과 기존 시험품을 결합한 1개, 총 3개를 제작하였음



<3차년도 시험품 도면>

- 7partition B 모델 차음성능시험 결과 500Hz에서 26.3dB, 1,000Hz에서 34.4dB의 소음저감이 나타났으며, 투과손실 목표치인 500Hz에서 25.0dB, 1,000Hz에서 30.0dB를 통과하였음
- Dual A 모델 결과와 유사하게 각 공명기의 공명주파수에서 최대 투과손실이 나타나지 않으며 400Hz, 1250Hz 대역으로 이동하였다. 이를 통해 실제 공명주파수는 두 공명기의 최저공명주파수 보다 낮게 (500Hz→400Hz), 최고공명주파수 보다 높게(1000Hz→1250Hz) 나타나는 것으로 판단됨
- Dual 2layer은 Dual A 모델에 공명주파수가 670Hz인 공명기를 2층 구조로 결합한 모델이다. Dual A 결과와 비교하면 670Hz 주변 주파수에서 비교적 투과손실이 개선된 것으로 나타난다. 이를 통해 2층 구조 형태는 공명주파수 이동시키지 않는 것으로 판단됨



<차음시험성적서>

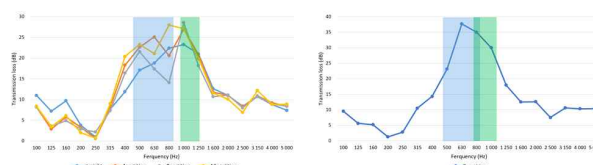
○ 통기형방음판 최적설계기법 개발

- 고전적인 헬름홀츠 공명주파수를 이용한 기본식과 통기형 방음판에 적용된 슬릿 개구부의 End correction을 보정한 수정식을 제시하였고, 두 개의 설계식에 대해서 실험적 해석적으로 검토하였음

	헬름홀츠 설계식	슬릿형 설계식
Helmholtz Resonance Frequency(f)	$f = \frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{S}{VL}}$	
effective length(L')	$L' = t + 0.85w$	$L' = t + 2\delta w$
End correction factor(δ)	0.85 or 0.6	$\delta = -\frac{1}{\pi} \ln \left[\sin \left(\frac{1}{2} \pi \epsilon \right) \right]$ $\epsilon = \frac{\pi a^2}{D^2}$
Resonance Frequency(f)	$\frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{w}{L_H T(t + 0.85w)}}$	$\frac{v}{2\pi} \sqrt{\frac{w}{L_H T(t + 2\delta w)}}$

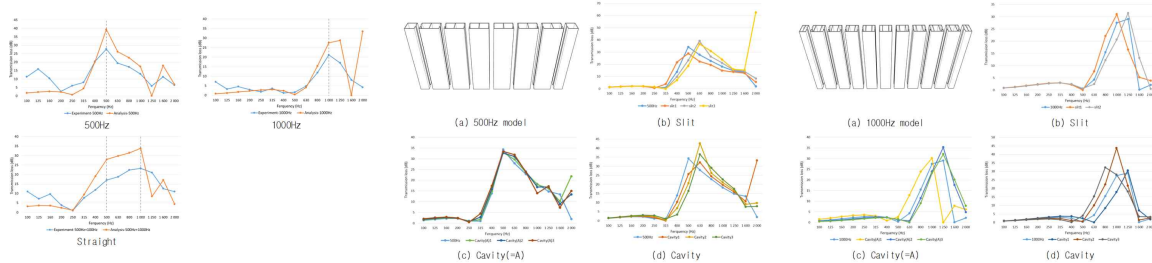
<헬름홀츠와 슬릿형 공명주파수 설계식 비교>

- 차음시험결과 최저·최고 공명주파수의 갭이 일정 이상이 되면 최저·최고 공명주파수 각각 투과손실의 피크가 뚜렷하게 나타나고, 일정 이하가 되면 최저·최대 공명주파수를 포함하는 범위에서 소음저감 효과가 보이며, 투과손실은 높게 나타난다. 따라서 500Hz, 1000Hz를 포함하면서 최저·최고 공명주파수의 갭이 최대한 낮게 설계되어야 효과적인 흡음성능을 얻을 수 있음



<공명기의 공명주파수 대역에 따른 차음성능>

- 음향해석과 차음성능시험 비교 결과 공명주파수 대역에서 투과손실 약 10dB의 차이를 보이지만 최대 투과손실이 발생하는 공명주파수 특성은 잘 나타나기 때문에 공명주파수 대역을 확인하기 위해 음향 해석적 방법을 활용하는 것이 가능할 것으로 판단됨



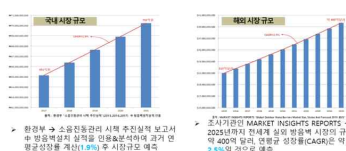
<음향해석을 통한 Parameter study 결과>

- 헬름홀츠 설계식은 공명기 형상과는 상관없이 공명통의 부피와 공명목이 동일하면 같은 공명주파수가 나타나지만, 슬롯형 설계식은 공명통의 부피와 공명목이 동일하여도 공명기의 가로 세로 비율에 따라 공명주파수에 영향을 주므로 공명기 형상에 따른 영향성을 반영할 수 있음

(4) 사업화 방안 (핵심성과 D-1, D-2)

(1) 1차년도

- 방음터널에 대한 기술/시장 조사
 - 방음판 관련 시장 규모는 연평균 2% 내지 2.5%의 지속적인 성장이 예상됨(한국, 미국, 유럽 및 일본)
 - 방음판은 상대적으로 국토 면적이 협소하여 도로에 도심이 가까이 배치된 국가에서 기술 개발이 활발하게 진행되고 있어 해외의 경우 미국보다는 일본이 활발하게 개발되고 있고, 일본보다는 한국이 보다 활발하게 개발이 진행되고 있어 향후 국내 방음벽 시장은 도로 확장 및 신도심 형성에 맞춰 꾸준히 증가될 것으로 기대됨
 - 개발기술의 경우 국내외 방음벽 시장은 꾸준히 성장될 것으로 기대되나, 방음벽 관련 선발 주자들이 다수 포진하고 있어 중소기업간 치열한 시장 분할이 예상되므로 기존 기술 대비 기술적 차별성이 높은 통기성능에 대한 독자적인 기술 개발 및 지적재산권 확보를 통한 기술 독창성 및 시장내 독점적 지위 확보를 통한 기업 이윤 극대화가 필요함



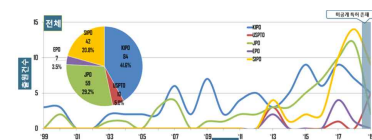
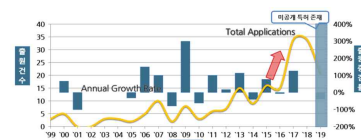
회사명	주요 제품	설명
리테코시스템 www.liteco.co.kr		- 다층 주차타워 공공기관에 - 다양한 규모에 맞춰 설계가 가능한 구조 - 직접적 차량 정렬을 지원
미산시스템		- 전면 다차의 질서를 잡고 한층 높이가 높아 - 단층 주차타워에 비하여는 승객이 편리한 공간 - 수평적인 높이를 활용 시는 장점
공익엔테크놀로지 www.gnec.co.kr		- 다층 주차타워 설치에는 반영되어 있어 공간 - 이전과도 다양한 용도에 활용 - 단층, 기차역, 국내 외국에 편의를 제공

회사명	주요 제품	설명
2세대 제강(주) KORBELO 		· 자기업인 Shinko Kasei Ltd.를 통해 다양한 유리 → 제강(주)의 유리 제품 · 일본에서 생산된 저가 유리 제품과 가격 차이 없이 생산 · 제품품질이 우수하고 설치도 용이함
DURA VERMEER(사) 		· 고품질 및 안전성 면에서 일본을 능가함 · 유리제품의 설계와 제조는 AEROSTIX T라는 소프트웨어를 컴퓨터를 사용 → 편리하고 공기저항이 적을 수 있는 장점
보탈(박식) 		· 투명유리 및 강화유리 두께와 성능 기능은 물론 저렴한 공기저항을 주로 개발 · 혁신적인 구조 및 공기저항 성능 다양한 기능에 대한

<국내외 시장규모 및 경쟁사 분석>

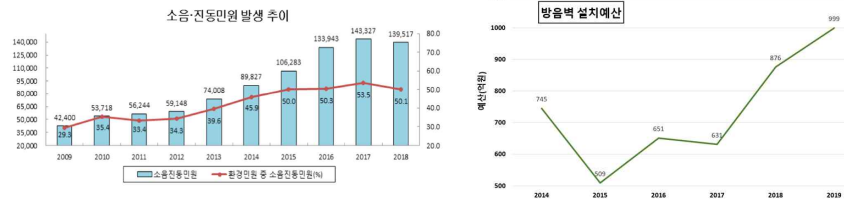
(2) 2차년도

- 방음터널에 대한 기술/시장 조사
 - 방음터널에 적용가능한 통기형 방음판을 개발하기 위해 AA 공명형 방음판, AB 소음저감 음향장치 및 제어기술에 대해서 특허 검색을 수행함
 - 2000년 중후반 들어서면서부터 통기성능을 갖는 공명형 방음판 관련 특허 출원이 점차 증가하였고 2017년 급격히 증가 후 현재까지 지속적으로 증가세를 보임



<통기성능을 갖는 고무형 방음판 관련 특허>

- 최근 5년간 매년 500억원 이상의 예산이 방음시설에 투입되며, 국내 방음터널은 13개소에 설치되어 있으며 대부분 2010년 이후에 개통되었음. 향후 설치가 예정된 지역도 있어 방음터널의 수요는 증가할 것으로 예상됨



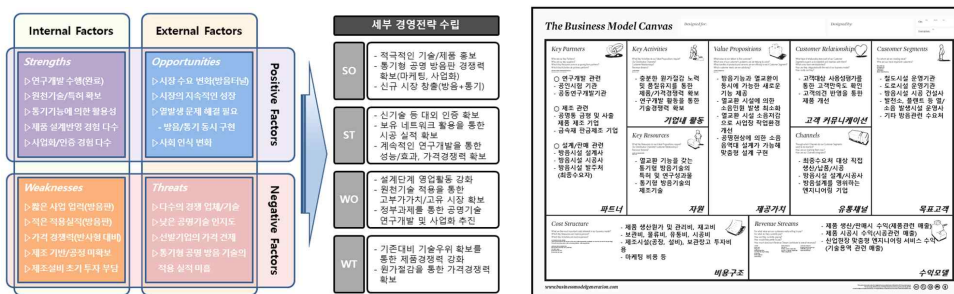
<소음·진동 민원 현황 및 방음벽 예산>

- 일정 길이 이상의 방음터널을 설계할 시 환기시설을 설치하도록 규정되어있으며, 방음터널 일부분에 슬릿형 방음판을 적용하면 환기 설비 설치비용을 절감할 수 있음

(3) 3차년도

○ 통기형방음터널에 대한 비즈니스 모델 정립

- 개발기술의 경우 국내외 방음벽 시장은 꾸준히 성장될 것으로 기대되나, 방음벽 관련 선발 주자들이 다수 포진하고 있어 중소기업간 치열한 시장 분할이 예상되므로 기존 기술 대비 기술적 차별성이 높은 통기성능에 대한 독자적인 기술 개발 및 지적재산권 확보를 통한 기술 독창성 및 시장내 독점적 지위 확보를 통한 기업 이윤 극대화가 필요함
- SWOT 분석을 통해 SO(강점으로 기회를 사용하기 위한 전략), ST(강점으로 위협을 회피하기 위한 전략), WO(약점으로 기회를 놓치지 않기 위한 전략), WT(약점과 위협에 대응하기 위한 전략)과 같은 Cross SWOT 분석을 도출함
- 통기형 방음기술의 제품화 및 제조, 유통, 판매, 수익 등 가치를 창출하기 위한 비즈니스 모델을 제시하였음



<통기형 방음판의 SWOT 분석 및 비즈니스 모델>

○ 통기형방음터널 시공 원가 분석

- 통기형 방음판의 시공 원가를 분석하고 제시함

사면방음벽 예산 (당단 가산)									
구분	단위	수량	단가	합계	구분	단위	수량	단가	합계
1. 사면방음벽	m	100	1,200,000	120,000,000	2. 노면방음벽	m	100	800,000	80,000,000
2. 노면방음벽	m	100	800,000	80,000,000	3. 방음터널	m	100	1,500,000	150,000,000
3. 방음터널	m	100	1,500,000	150,000,000	4. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
4. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	5. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
5. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	6. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
6. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	7. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
7. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	8. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
8. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	9. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
9. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	10. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
10. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	11. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
11. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	12. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
12. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	13. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
13. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	14. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
14. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	15. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
15. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	16. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
16. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	17. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
17. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	18. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
18. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	19. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
19. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	20. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
20. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	21. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
21. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	22. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
22. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	23. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
23. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	24. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
24. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	25. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
25. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	26. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
26. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	27. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
27. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	28. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
28. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	29. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
29. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	30. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
30. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	31. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
31. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	32. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
32. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	33. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
33. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	34. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
34. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	35. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
35. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	36. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
36. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	37. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
37. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	38. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
38. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	39. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
39. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	40. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
40. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	41. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
41. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	42. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
42. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	43. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
43. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	44. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
44. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	45. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
45. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	46. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
46. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	47. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
47. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	48. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
48. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	49. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
49. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	50. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
50. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	51. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
51. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	52. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
52. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	53. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
53. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	54. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
54. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	55. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
55. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	56. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
56. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	57. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
57. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	58. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
58. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	59. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
59. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	60. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
60. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	61. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
61. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	62. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
62. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	63. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
63. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	64. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
64. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	65. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
65. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	66. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
66. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	67. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
67. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	68. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
68. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	69. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
69. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	70. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
70. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	71. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
71. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	72. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
72. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	73. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
73. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	74. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
74. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	75. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
75. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	76. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
76. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	77. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
77. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	78. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
78. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	79. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
79. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	80. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
80. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	81. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
81. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	82. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
82. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	83. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
83. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	84. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
84. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	85. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
85. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	86. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
86. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	87. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
87. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	88. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
88. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	89. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
89. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	90. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
90. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	91. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
91. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	92. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
92. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	93. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
93. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	94. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
94. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	95. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
95. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	96. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
96. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	97. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
97. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	98. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000
98. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000	99. 방음판	m	100	500,000	50,000,000
99. 방음판	m	100	500,000	50,000,000	100. 방음벽	m	100	1,000,000	100,000,000

<통기형 방음판 시공 원가 분석>

-
- 통기형방음터널 설계매뉴얼/시방서 작성
 - 통기형 방음판의 설계매뉴얼 작성
 - 통기형 방음판의 시방서 작성
-

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

□ 기술적 측면

- 본 연구를 통해 개발되는 통기형 방음터널은 철도 및 도로 주변의 소음 저감 및 각종 산업분야에서의 소음저감 목적으로 활용이 가능하며, 방음성능의 저감 없이 방음터널의 내외부로 공기의 흐름을 유도할 수 있는 것이 장점임
- 이에 대한 기술은 그동안 방음기술을 주도하고 있는 미국, 유럽 등 선진국에서도 개발되지 않은 기술로 자체적으로 원천기술을 확보하고 있어 기술경쟁력을 극대화하였음
- 따라서, 본 연구를 통해 계속적으로 원천기술을 확보함으로써 기술독창성을 확보할 수 있으며, 다양한 분야로 적용이 가능해 높은 파급효과가 예상됨

□ 사회·경제적 측면

- 본 연구를 통해 개발되는 통기형 방음터널은 기존의 방음터널 구조와 유사하나, 자체 특성상 방음터널의 내외부로 공기순환이 되므로, 방음터널 구조에서 문제되었던 방음터널 내부 온도상승 문제를 해결할 수 있으며, 미세먼지 저감효과도 발생할 것으로 판단됨
- 또한, 본 기술에 대한 원천기술을 기확보하고 있어 제품경쟁력 및 국가 경쟁력을 극대화할 수 있으며, 제품, 노하우, 제작기술 등 기술 전반을 보유하고 있어 향후 사업화에 따른 수익성은 매우 높다고 평가할 수 있음
- 설치 방법, 외형, 자재 등의 거의 대부분의 제원이 기존과 큰 차이가 발생하지 않으며 소음 감소 효과 또한 우수하기 때문에 방음시장 진입 및 적용에 유리할 것으로 예상되며, 수출효과가 기대됨

□ 정책적 측면

- 본 연구를 통해 개발되는 통기형 방음터널의 원천기술 확보로 사업화시 고용창출효과가 기대되며, 환기와 소음 저감을 동시에 필요로 하는 산업분야에 적극적으로 적용할 수 있어 작업환경 개선 및 이에 따른 국가 이미지 향상이 기대됨
- 또한, 신개념 방음기술 확보에 따른 방음기술 분야에서 기술선도가 가능함

□ 기타

- 본 연구는 방음터널의 내부 온도 상승에 따른 레일장출 및 전력시스템 장애에 의한 철도 운행장애 위험을 예방하기 위한 것으로 통기 구조를 갖는 공명형 방음판을 개발하고자 함
 - 도심지역 인구의 집중과 삶의 질 향상으로 소음공해에 대한 다양한 연구가 필요하며, 선진국형 기술로 관련 기술분야의 주도권 확보가 필요함
 - 또한 방음터널 구조 이외에도 주거시설 등의 창문형태 등 다양한 형태로 적용이 가능해 지속적인 후속 연구가 필요함
-

(2) 정량적 연구개발성과

○ 정량적 개발목표

평가항목	단위	개발목표치	평가 방법	달성율
1. 소음저감(투과손실)1)	dB	25dB (500Hz) 30dB (1,000Hz)	공인기관 시험성적서 (KS F ISO 10140-2:2010)	100%
2. 상대온도 저감율2)	%	12%	전문가 평가 (검토보고서)	100%
3. 미세먼지 저감율	%	20%	검토보고서	100%

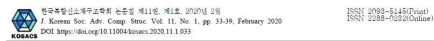
- ※ 주 1) 방음판 재료품질 기준으로 KS F ISO 10140-2:2010에 의해 투과손실 시험 시행
주 2) 기존 방음터널 대비 레일 온도 또는 터널내부 평균온도 저감율

○ 국내 논문 1

- 논문명 ‘합성형모듈로 구성된 슬롯형 방음판의 소음저감 특성’을 한국복합신소재구조학회 논문집 제11권 제1호에 2020년 2월에 게재함

○ 국내 논문 2

- 논문명 ‘통기형 슬릿방음판을 적용한 복합형 철도 방음터널의 소음저감 특성 분석’을 한국복합신소재구조학회 논문집 제12권 제1호에 2021년 2월에 게재함



합성형모듈로 구성된 슬롯형 방음판의 소음저감 특성 박예진¹ · 최상현² · 박준호³ · Rirun Mieremet⁴ · 진용주⁵ 한국과학기술원 철도공학부 철도공학 연구실¹, 한국과학기술원 철도공학부 교수², ESCO RTS 책임연구원³, ESCO RTS 연구원⁴, ESCO RTS 책임연구원⁵	Noise Reduction Characteristics of the Slotted Soundproof Panel Consisting of a Composite Module Park, Yejin¹ · Choi, Sanghyun² · Park, Junho³ · Rirun Mieremet⁴ · Chin, Yongjo⁵ ¹Researcher, Railroad Convergence Institute, Korea National Univ. of Transportation, Uiwang, Korea ²Professor, School of Railroad Engineering, Korea National Univ. of Transportation, Uiwang, Korea ³Principal Researcher, ESCO RTS Co., Seoul, Korea ⁴Researcher, ESCO RTS Co., Seoul, Korea ⁵Senior Researcher, ESCO RTS Co., Seoul, Korea
---	--

Abstract: Train noise is a main obstacle to the expansion of the urban railway network in metropolitan areas and, thus, research efforts have been devoted to developing more effective antisound measures. To date, soundproof tunnels are among the most effective solutions to railway noise, but their extensive weight limits their application to the urban lines. This paper evaluates the feasibility of analytically predicting the noise reduction performance of a slotted soundproof panel, which can effectively decrease the weight of the soundproof tunnel, and analyzes its noise reduction characteristics. An acoustic analysis program, Pachyderm Acoustics, is utilized for the purpose of this study. The analysis results are verified by using the experimental data obtained in a reverberation room. The comparison revealed that the noise reduction performance can be predicted via acoustic analysis with minor errors. Also, it is observed that the slotted soundproof panel can reduce the noise by 25dB-35dB within the design sound insulation frequencies.

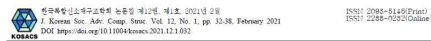
Key Words: soundproof panel, slot, sound experiment, sound analysis

1. 서 론

철도수송이 합성되고 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 도시철도를 통과하는 철도가 유발하는 소음·진동에 대한 시민들의 불편이 높아지고 있으며, 전철 건설, 대량 수송, 정지 등 각종 환경으로 인하여 원

래 도시에서 가장 유해한 이동수단 중 하나로 이용되고 있는 철도망의 확장에 큰 장애요소로 대두되고 있다. 이러한 문제는 코노레일, 자기부상 등 소음·진동 수준이 낮은 새로운 철도시스템의 적용을 위하여 해결될 수 있으나, 기존 도시철도시스템의 경우 방음벽, 방음터널 등과 같은 방음 시설을 이용한 전철 경로에서의 소음 저감방안이 주로 적용되고 있다.

현재 가장 활발히 적용되고 있는 방음벽의 경우 아카우, 필달 등 도상지 생활공간이 교통환경에 따라 수평적 소음원보다 높거나 수직적 수송원보다 낮아 방음벽에 의한 소음 저감 효과가 크게 기대되는 문제가 있다. 이러한 문제는 방음벽의 높이를 장향하여 해결할 수 있으나, 높이 장향에 따라 설치 비용이 급격히 증가하며, 방음벽의 설계·시공 조건상 한계높이가 있어 완전한 해결은 용이하지 않다. 결국 낮고 고층화가 진행되는 도시지의 경우 소음원에서의 직진음에 대한 방음이 불가한 생활공간이 발생



통기형 슬릿방음판을 적용한 복합형 철도 방음터널의 소음저감 특성 분석 김민수¹ · Mieremet, Mar inus² · 박예진³ · 최상현⁴ 한국과학기술원 철도공학부 박사과정¹, ESCO RTS 연구원², 한국과학기술원 철도공학부 교수³	Analysis of Noise Reduction Characteristics of a Composite Railway Soundproof Tunnel with an Airy Slit Soundproof Panel Kim, Minus¹ · Mieremet, Mar inus² · Park, Yejin³ · Choi, Sanghyun⁴ ¹Graduate Student, School of Railroad Engineering, Korea National Univ. of Transportation, Uiwang, Korea ²Researcher, ESCO RTS Co., Seoul, Korea ³Professor, School of Railroad Engineering, Korea National Univ. of Transportation, Uiwang, Korea
--	--

Abstract: Railway noise is one of the main obstacles of constructing and maintaining railway lines in a metropolitan area, and much research has been conducted to find more effective measures for reducing railway noise. A soundproof tunnel can be the most effective measure to reduce railway noise, but high interior temperature during summers can cause track buckling and malfunctioning of electric and communication facilities. Applying an airy soundproof panel can resolve the temperature problem, but its noise-reducing performance has not been verified. In this paper, a numerical study is conducted to identify an effective application method of the slit panel to a soundproof railway tunnel. For this study, a soundproof railway tunnel is designed for double railway tracks, and numerically modeled using an acoustic analysis program, Pachyderm Acoustics. The railway noise is simulated using an existing research result, and acoustic analyses are conducted for six different cases with various application locations of a slit panel. The results of the acoustic analysis show that even with a small application area (about 20%), the slit soundproof panel can reduce railway noise by at least 5dB.

Key Words: slit, soundproof panel, resonance, acoustic analysis, soundproof tunnel

1. 서 론

철도수송이 합성되고 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 도시 철도망이 유해한 소음·진동에 대한 불편요소로 대두되고 있다. 이러한 문제는 코노레일, 자기부상 등 소음·진동 수준이 낮은 새로운 철도시스템의 적용을 위하여 해결될 수 있으나, 기존 도시철도시스템의 경우 방음벽, 방음터널 등과 같은 방음 시설을 이용한 전철 경로에서의 소음 저감방안이 주로 적용되고 있다.

현재 가장 활발히 적용되고 있는 방음벽의 경우 아카우, 필달 등 도상지 생활공간이 교통환경에 따라 수평적 소음원보다 높거나 수직적 수송원보다 낮아 방음벽에 의한 소음 저감 효과가 크게 기대되는 문제가 있다. 이러한 문제는 방음벽의 높이를 장향하여 해결할 수 있으나, 높이 장향에 따라 설치 비용이 급격히 증가하며, 방음벽의 설계·시공 조건상 한계높이가 있어 완전한 해결은 용이하지 않다. 결국 낮고 고층화가 진행되는 도시지의 경우 소음원에서의 직진음에 대한 방음이 불가한 생활공간이 발생

는 방음벽이 있으나, 아카우, 필달 등 고층화된 공간에 대한 소음 저감을 위해서는 상당한 높이가 필요하게 되고, 이에 따른 일조권 및 조망권 문제를 유발하며 따라 방음터널 건설 요구가 점차 증가하고 있다[2][3][4][5][6][7][8][9][10][11][12][13][14][15][16][17][18][19][20][21][22][23][24][25][26][27][28][29][30][31][32][33][34][35][36][37][38][39][40][41][42][43][44][45][46][47][48][49][50][51][52][53][54][55][56][57][58][59][60][61][62][63][64][65][66][67][68][69][70][71][72][73][74][75][76][77][78][79][80][81][82][83][84][85][86][87][88][89][90][91][92][93][94][95][96][97][98][99][100][101][102][103][104][105][106][107][108][109][110][111][112][113][114][115][116][117][118][119][120][121][122][123][124][125][126][127][128][129][130][131][132][133][134][135][136][137][138][139][140][141][142][143][144][145][146][147][148][149][150][151][152][153][154][155][156][157][158][159][160][161][162][163][164][165][166][167][168][169][170][171][172][173][174][175][176][177][178][179][180][181][182][183][184][185][186][187][188][189][190][191][192][193][194][195][196][197][198][199][200][201][202][203][204][205][206][207][208][209][210][211][212][213][214][215][216][217][218][219][220][221][222][223][224][225][226][227][228][229][230][231][232][233][234][235][236][237][238][239][240][241][242][243][244][245][246][247][248][249][250][251][252][253][254][255][256][257][258][259][260][261][262][263][264][265][266][267][268][269][270][271][272][273][274][275][276][277][278][279][280][281][282][283][284][285][286][287][288][289][290][291][292][293][294][295][296][297][298][299][300][301][302][303][304][305][306][307][308][309][310][311][312][313][314][315][316][317][318][319][320][321][322][323][324][325][326][327][328][329][330][331][332][333][334][335][336][337][338][339][340][341][342][343][344][345][346][347][348][349][350][351][352][353][354][355][356][357][358][359][360][361][362][363][364][365][366][367][368][369][370][371][372][373][374][375][376][377][378][379][380][381][382][383][384][385][386][387][388][389][390][391][392][393][394][395][396][397][398][399][400][401][402][403][404][405][406][407][408][409][410][411][412][413][414][415][416][417][418][419][420][421][422][423][424][425][426][427][428][429][430][431][432][433][434][435][436][437][438][439][440][441][442][443][444][445][446][447][448][449][450][451][452][453][454][455][456][457][458][459][460][461][462][463][464][465][466][467][468][469][470][471][472][473][474][475][476][477][478][479][480][481][482][483][484][485][486][487][488][489][490][491][492][493][494][495][496][497][498][499][500][501][502][503][504][505][506][507][508][509][510][511][512][513][514][515][516][517][518][519][520][521][522][523][524][525][526][527][528][529][530][531][532][533][534][535][536][537][538][539][540][541][542][543][544][545][546][547][548][549][550][551][552][553][554][555][556][557][558][559][560][561][562][563][564][565][566][567][568][569][570][571][572][573][574][575][576][577][578][579][580][581][582][583][584][585][586][587][588][589][590][591][592][593][594][595][596][597][598][599][600][601][602][603][604][605][606][607][608][609][610][611][612][613][614][615][616][617][618][619][620][621][622][623][624][625][626][627][628][629][630][631][632][633][634][635][636][637][638][639][640][641][642][643][644][645][646][647][648][649][650][651][652][653][654][655][656][657][658][659][660][661][662][663][664][665][666][667][668][669][670][671][672][673][674][675][676][677][678][679][680][681][682][683][684][685][686][687][688][689][690][691][692][693][694][695][696][697][698][699][700][701][702][703][704][705][706][707][708][709][710][711][712][713][714][715][716][717][718][719][720][721][722][723][724][725][726][727][728][729][730][731][732][733][734][735][736][737][738][739][740][741][742][743][744][745][746][747][748][749][750][751][752][753][754][755][756][757][758][759][760][761][762][763][764][765][766][767][768][769][770][771][772][773][774][775][776][777][778][779][780][781][782][783][784][785][786][787][788][789][790][791][792][793][794][795][796][797][798][799][800][801][802][803][804][805][806][807][808][809][810][811][812][813][814][815][816][817][818][819][820][821][822][823][824][825][826][827][828][829][830][831][832][833][834][835][836][837][838][839][840][841][842][843][844][845][846][847][848][849][850][851][852][853][854][855][856][857][858][859][860][861][862][863][864][865][866][867][868][869][870][871][872][873][874][875][876][877][878][879][880][881][882][883][884][885][886][887][888][889][890][891][892][893][894][895][896][897][898][899][900][901][902][903][904][905][906][907][908][909][910][911][912][913][914][915][916][917][918][919][920][921][922][923][924][925][926][927][928][929][930][931][932][933][934][935][936][937][938][939][940][941][942][943][944][945][946][947][948][949][950][951][952][953][954][955][956][957][958][959][960][961][962][963][964][965][966][967][968][969][970][971][972][973][974][975][976][977][978][979][980][981][982][983][984][985][986][987][988][989][990][991][992][993][994][995][996][997][998][999][1000][1001][1002][1003][1004][1005][1006][1007][1008][1009][1010][1011][1012][1013][1014][1015][1016][1017][1018][1019][1020][1021][1022][1023][1024][1025][1026][1027][1028][1029][1030][1031][1032][1033][1034][1035][1036][1037][1038][1039][1040][1041][1042][1043][1044][1045][1046][1047][1048][1049][1050][1051][1052][1053][1054][1055][1056][1057][1058][1059][1060][1061][1062][1063][1064][1065][1066][1067][1068][1069][1070][1071][1072][1073][1074][1075][1076][1077][1078][1079][1080][1081][1082][1083][1084][1085][1086][1087][1088][1089][1090][1091][1092][1093][1094][1095][1096][1097][1098][1099][1100][1101][1102][1103][1104][1105][1106][1107][1108][1109][1110][1111][1112][1113][1114][1115][1116][1117][1118][1119][1120][1121][1122][1123][1124][1125][1126][1127][1128][1129][1130][1131][1132][1133][1134][1135][1136][1137][1138][1139][1140][1141][1142][1143][1144][1145][1146][1147][1148][1149][1150][1151][1152][1153][1154][1155][1156][1157][1158][1159][1160][1161][1162][1163][1164][1165][1166][1167][1168][1169][1170][1171][1172][1173][1174][1175][1176][1177][1178][1179][1180][1181][1182][1183][1184][1185][1186][1187][1188][1189][1190][1191][1192][1193][1194][1195][1196][1197][1198][1199][1200][1201][1202][1203][1204][1205][1206][1207][1208][1209][1210][1211][1212][1213][1214][1215][1216][1217][1218][1219][1220][1221][1222][1223][1224][1225][1226][1227][1228][1229][1230][1231][1232][1233][1234][1235][1236][1237][1238][1239][1240][1241][1242][1243][1244][1245][1246][1247][1248][1249][1250][1251][1252][1253][1254][1255][1256][1257][1258][1259][1260][1261][1262][1263][1264][1265][1266][1267][1268][1269][1270][1271][1272][1273][1274][1275][1276][1277][1278][1279][1280][1281][1282][1283][1284][1285][1286][1287][1288][1289][1290][1291][1292][1293][1294][1295][1296][1297][1298][1299][1300][1301][1302][1303][1304][1305][1306][1307][1308][1309][1310][1311][1312][1313][1314][1315][1316][1317][1318][1319][1320][1321][1322][1323][1324][1325][1326][1327][1328][1329][1330][1331][1332][1333][1334][1335][1336][1337][1338][1339][1340][1341][1342][1343][1344][1345][1346][1347][1348][1349][1350][1351][1352][1353][1354][1355][1356][1357][1358][1359][1360][1361][1362][1363][1364][1365][1366][1367][1368][1369][1370][1371][1372][1373][1374][1375][1376][1377][1378][1379][1380][1381][1382][1383][1384][1385][1386][1387][1388][1389][1390][1391][1392][1393][1394][1395][1396][1397][1398][1399][1400][1401][1402][1403][1404][1405][1406][1407][1408][1409][1410][1411][1412][1413][1414][1415][1416][1417][1418][1419][1420][1421][1422][1423][1424][1425][1426][1427][1428][1429][1430][1431][1432][1433][1434][1435][1436][1437][1438][1439][1440][1441][1442][1443][1444][1445][1446][1447][1448][1449][1450][1451][1452][1453][1454][1455][1456][1457][1458][1459][1460][1461][1462][1463][1464][1465][1466][1467][1468][1469][1470][1471][1472][1473][1474][1475][1476][1477][1478][1479][1480][1481][1482][1483][1484][1485][1486][1487][1488][1489][1490][1491][1492][1493][1494][1495][1496][1497][1498][1499][1500][1501][1502][1503][1504][1505][1506][1507][1508][1509][1510][1511][1512][1513][1514][1515][1516][1517][1518][1519][1520][1521][1522][1523][1524][1525][1526][1527][1528][1529][1530][1531][1532][1533][1534][1535][1536][1537][1538][1539][1540][1541][1542][1543][1544][1545][1546][1547][1548][1549][1550][1551][1552][1553][1554][1555][1556][1557][1558][1559][1560][1561][1562][1563][1564][1565][1566][1567][1568][1569][1570][1571][1572][1573][1574][1575][1576][1577][1578][1579][1580][1581][1582][1583][1584][1585][1586][1587][1588][1589][1590][1591][1592][1593][1594][1595][1596][1597][1598][1599][1600][1601][1602][1603][1604][1605][1606][1607][1608][1609][1610][1611][1612][1613][1614][1615][1616][1617][1618][1619][1620][1621][1622][1623][1624][1625][1626][1627][1628][1629][1630][1631][1632][1633][1634][1635][1636][1637][1638][1639][1640][1641][1642][1643][1644][1645][1646][1647][1648][1649][1650][1651][1652][1653][1654][1655][1656][1657][1658][1659][1660][1661][1662][1663][1664][1665][1666][1667][1668][1669][1670][1671][1672][1673][1674][1675][1676][1677][1678][1679][1680][1681][1682][1683][1684][1685][1686][1687][1688][1689][1690][1691][1692][1693][1694][1695][1696][1697][1698][1699][1700][1701][1702][1703][1704][1705][1706][1707][1708][1709][1710][1711][1712][1713][1714][1715][1716][1717][1718][1719][1720][1721][1722][1723][1724][1725][1726][1727][1728][1729][1730][1731][1732][1733][1734][1735][1736][1737][1738][1739][1740][1741][1742][1743][1744][1745][1746][1747][1748][1749][1750][1751][1752][1753][1754][1755][1756][1757][1758][1759][1760][1761][1762][1763][1764][1765][1766][1767][1768][1769][1770][1771][1772][1773][1774][1775][1776][1777][1778][1779][1780][1781][1782][1783][1784][1785][1786][1787][1788][1789][1790][1791][1792][1793][1794][1795][1796][1797][1798][1799][1800][1801][1802][1803][1804][1805][1806][1807][1808][1809][1810][1811][1812][1813][1814][1815][1816][1817][1818][1819][1820][1821][1822][1823][1824][1825][1826][1827][1828][1829][1830][1831][1832][1833][1834][1835][1836][1837][1838][1839][1840][1841][1842][1843][1844][1845][1846][1847][1848][1849][1850][1851][1852][1853][1854][1855][1856][1857][1858][1859][1860][1861][1862][1863][1864][1865][1866][1867][1868][1869][1870][1871][1872][1873][1874][1875][1876][1877][1878][1879][1880][1881][1882][1883][1884][1885][1886][1887][1888][1889][1890][1891][1892][1893][1894][1895][1896][1897][1898][1899][1900][1901][1902][1903][1904][1905][1906][1907][1908][1909][1910][1911][1912][1913][1914][1915][1916][1917][1918][1919][1920][1921][1922][1923][1924][1925][1926][1927][1928][1929][1930][1931][1932][1933][1934][1935][1936][1937][1938][1939][1940][1941][1942][1943][1944][1945][1946][1947][1948][1949][1950][1951][1952][1953][1954][1955][1956][1957][1958][1959][1960][1961][1962][1963][1964][1965][1966][1967][1968][1969][1970][1971][1972][1973][1974][1975][1976][1977][1978][1979][1980][1981][1982][1983][1984][1985][1986][1987][1988][1989][1990][1991][1992][1993][1994][1995][1996][1997][1998][1999][2000][2001][2002][2003][2004][2005][2006][2007][2008][2009][2010][2011][2012][2013][2014][2015][2016][2017][2018][2019][2020][2021][2022][2023][2024][2025][2026][2027][2028][2029][2030][2031][2032][2033][2034][2035][2036][2037][2038][2039][2040][2041][2042][2043][2044][2045][2046][2047][2048][2049][2050][2051][2052][2053][2054][2055][2056][2057][2058

○ 특허 3 (PCT 출원)

- 발명의 명칭 : 바람통로를 갖는 공명형 방음패널 및 이를 이용한 방음벽
- PCT 출원번호 PCT/KR2021/017251
- 본 기술은 특허등록된 ‘바람통로를 갖는 공명형 방음패널 및 이를 이용한 방음벽(특허등록번호 제 10-2300445호)’에 대해 PCT 출원한 건임

○ 시제품 1

- 방음판은 기본모듈(main module)과 단부모듈(side module)로 구성되며, 모듈은 차음주파수가 500Hz, 1000Hz인 공명통이 2중 구조로 결합한 형태임
- 제작의 편의성 및 정확도 확보를 위해 아크릴 소재를 이용해서 공명통을 모듈 형태로 제작하고 공명통의 외부에 강판을 절곡하여 감싸는 형태로 체결하였으며, 모듈형태의 공명통을 고정시킬 수 있도록 리벳으로 상하부 강판에 각각 고정하였음



<시제품>

(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	합성형모듈로 구성된 슬릿형 방음판의 소음저감 특성	한국복합신 소재구조학 회 논문집	박예진	제11권 제1호	대한민국	한국복합신소 재구조학회	비SCIE	2020.02	2093-5145	100%
2	통기형 슬릿방음판을 적용한 복합형 철도 방음터널의 소음저감 특성 분석	한국복합신 소재구조학 회 논문집	김민수	제12권 제1호	대한민국	한국복합신소 재구조학회	비SCIE	2021.02	2093-5145	100%
3	Development of a Slit-Type Soundproof Panel for a Reduction in Wind Load and Low-Frequency Noise with Helmholtz Resonators	Applied sciences	김병휘	제11호	스위스	MDPI	SCIE	2021.09	2076-3417	50%
4	Analytical Method for Estimating Sound Reduction Performance of a Slit-Type Noise Absorber Based on Helmholtz Resonators	Advances in Civil Engineering	Marinus, M.		이집트	Hindawi	SCIE	심사중		

☐ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
	2021 한국방재학회 학술발표대회	일체형 슬릿 방음판의 소음저감 특성 분석	박예진	2021-09-10	온라인	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	특허	핀을 가지는 공명모듈 및 이를 이용한 방음벽	대한민국	(주)에스코 알티에스, 한국교통 대학교 산학협력 단	2020. 11.04	10-2020- 0146400	(주)에스코 알티에스, 한국교통 대학교 산학협력 단	2021.06.3 0	10-22739 33	100%	√
2	특허	바람통로를 갖는 공명형 방음패널 및 이를 이용한 방음벽	대한민국	(주)에스코 알티에스, 한국교통 대학교 산학협력 단	2020. 11.24	10-2020- 0158353	(주)에스코 알티에스, 한국교통 대학교 산학협력 단	2021.09.0 3	10-23004 45	100%	√
3	PCT	바람통로를 갖는 공명형 방음패널 및 이를 이용한 방음벽	PCT	(주)에스코 알티에스, 한국교통 대학교 산학협력 단	2021. 11.23	PCT/KR20 21/01725 1	-	-	-	100%	√

○ 지식재산권 활용 유형

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

※ 제품화 : 공동연구기관인 (주)에스코알티에스에서 사업화 준비중

매매/양도 : 주관기관인 한국교통대학교 산학협력단의 특허 지분 양도(기술이전) 예정

활용예정 : 개발기술에 대해 후속 연구과제 추진 중

☐ 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)
1	통기형 방음판	2021.04	(주) JIS	KCL	성능시험		KCL	2021.05

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

※ 공동연구기관인 (주)에스코알티에스에서 현장 적용을 위해 설계 반영 중으로 2022년 상반기 설계 확정 예정임(80억원 이상)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

※ 주관기관인 한국교통대학교 산학협력단의 특허 지분을 공동연구기관인 (주)에스코알티에스로 양도(기술이전) 예정임

□ 사업화 투자실적

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

※ 특허 지분 양도에 따른 기술이전 비용 발생 예정(예상 기술이전료 20백만원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	자기실시	신제품 개발	국내	통기형 방음판 사업화	방음판 제품화	(주)에스코 알티에스	0	0	2022년 예정	20년

※ 공동연구기관인 (주)에스코알티에스에서 사업화 추진중으로, 한국교통대학교 산학협력단의 특허 지분을 양도(기술이전) 예정임

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
해당사항 없음 (사업화 추진 중)						
합계						

※ 공동연구기관인 (주)에스코알티에스에서 사업화를 위해 설계 반영 중으로 2022년 매출발생 예정임(80억원 이상)

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			통기형 방음판 제품화		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		1년		
	소요예산(천원)		1,200,000천원 (시설투자 등)		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			0	10,000,000천원	15,000,000천원
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	0%	11%	15%
		국외	0%	0.03%%	0.04%
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		기존의 폐쇄형 방음기술로는 설치가 불가능한 열 배출 기능 또는 고온환경에서 운용되는 장비와 같이 방음기능과 열교환 기능의 동시 구현이 필요한 산업용 시설의 방음 기술 개발			
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
			-	-	-
	수 출		0	500,000천원	150,000천원

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			2020년	2025년	
1	통기형 방음판 개발	(주)에스코알티에스	1명 (연구)	5명 (연구/생산, 예정)	6명
합계			1명	5명	6명

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	7명
		생산인력	78명
	개발 후	연구인력	8명
		생산인력	73명

□ 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	통기형 방음판	-	0	0	-	1명 (연구)	-
기대 목표 (3년 후)	통기형 방음판	-	500,000천원	10,000,000천원	생산설비 투자예정	5명 (연구/생산)	

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

☐ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/수입

[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
1	설계기법				
2	시방서				

☐ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)
1	(주)에스코알티에스	2020년 4월 27일	2년	1명	1명

☐ 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

□ 홍보 실적				
번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일

□ 포상 및 수상 실적

[인프라 성과]

[illegible]

○ 학술대회

- ☐ PTC

- [illegible]

< 성과 증빙자료 >

2) 목표 달성 수준

연구개발목표	달성내용	달성도(%)
○ 철도 방음시스템의 해석모델 및 설계절차	○ 통기형방음터널 수치해석기법 개발 - 통기형 방음판이 적용된 방음터널 해석모델 작성 - Fluent 해석 프로그램을 이용한 방음터널 내 온도 패턴 및 상호작용 효과 분석 - Pachyderm Acoustics 프로그램을 이용하여 방음판 적용 위치, 면적에 따른 방음터널 소음패턴 분석 - 공기순환 및 공명효과 분석을 통한 방음터널 시스템내 상호작용 분석 - 통기형 방음판이 적용된 방음터널의 미세먼지 확산 시뮬레이션 및 미세먼지 저감 효과 분석 ○ 통기형방음터널 최적설계기법 개발 - 영향인자를 반영한 시뮬레이션을 통한 최적화 설계 - 방음성능 결정인자 도출 및 반영을 통한 최적설계안 확정 - 관련 논문 게재 ‘슬릿형 방음판을 적용한 복합형 철도 방음터널의 소음저감 특성 분석’ ○ 통기형방음터널 설계절차서 개발 - 방음터널의 설계와 관련한 기존 기준, 시뮬레이션 및 실험 결과 등을 종합하여 통기형 방음판이 적용된 방음터널의 최적 설계절차서를 작성	100%
○ 방음터널 내 상호작용 해석기법 개발	○ 통기형방음터널에 대한 bench scale 규모 실험 - Bench scale규모 해석 모델 작성 및 성능시험/분석 - Bench scale규모 저감효과 입증 및 상호작용 해석기법 정립 - 통기형 방음판이 적용된 방음터널의 공기유동해석 결과와 Bench scale 실험 결과 비교를 통한 해석기법 정교화	100%
○ 철도 방음터널용 통기형 방음판 설계기법	○ 통기형방음판에 대한 수치해석기법 개발 - 잔향실 및 통기형 방음판 간략 모델링 기법 개발 - 잔향실 및 통기형 방음판 물성의 음향특성 값 도출 - 수치해석 결과와 실제 시험체의 성능 시험 결과 비교를 통한 해석기법 정교화 - 관련 논문 게재 ‘합성형모듈로 구성된 슬롯형 방음판의 소음저감 특성’ ○ 통기형방음판 시험품 제작 및 성능 분석 - 공인인증시험기관에서 KS F ISO 10140-2를 기준으로 음향감쇠계수를 산출함 - 목표 투과손실(500Hz-25dB, 1,000Hz-30dB)을 만족하는 시험품 개발 및 성능 확인 - 시제품 제작을 위한 설계, 제작 공정 최적화	100%

○ 사업화 방안	○ 통기형방음판 최적설계기법 개발 - 다양한 시설에 적용하기 위해서 투과손실 기준 500Hz 25dB이상, 1000Hz 30dB이상 만족하도록 설계함 - 슬롯형 공명기의 기하학적인 영향을 고려한 슬롯형 설계식을 제시하고, 음향해석 및 공인시험 결과와의 비교를 통해 검증함 - 음향 해석과의 비교를 통해 개발된 설계기법을 검증함 - 관련 특허 등록 ‘핀을 가지는 공명모듈 및 이를 이용한 방음벽’ - 관련 특허 등록 ‘바람통로를 갖는 공명형 방음패널 및 이를 이용한 방음벽’ - 관련 논문 게재 ‘Development of a Slit-Type Soundproof Panel for a Reduction in Wind Load and Low-Frequency Noise with Helmholtz Resonators’ - 관련 논문 심사중 ‘Analytical Method for Estimating Sound Reduction Performance of a Slit-Type Noise Absorber Based on Helmholtz Resonators’ ○ 통기형방음터널에 대한 비즈니스 모델 정립 - 통기형 방음판에 대한 SWOT 분석 - 통기형 방음판에 대한 비즈니스 모델 정립 및 작성 ○ 통기형방음터널 시공 원가 분석 - 통기형 방음판의 시공 원가 분석자료 작성 ○ 통기형방음터널 매뉴얼/시방서 작성 - 통기형 방음판의 매뉴얼 작성 - 통기형 방음판의 시방서 작성	100%
-----------------	---	-------------

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 논문 1건

- 논문에 대한 정량실적 목표는 2건이었으나, 이중 논문 1건은 현재 심사 중으로 목표 미달.
 - 목표 미달 원인은 연구성과물에 대한 정리 및 논문화가 늦게 수행되었음.
-

2) 자체 보완활동

○ 논문 1건 추가 제출

- 추가적인 연구결과 정리 및 논문화를 통하여 논문 1건 추가 제출 예정. (2022년 2월 중)
-

3) 연구개발 과정의 성실성

○ 주요 연구성과 달성도

- 소음저감 성능, 온도저감 성능 및 미세먼지 저감성능을 포함한 주요 연구성과 목표를 달성하였음.
 - 다만, 논문에 대한 정리 및 제출이 늦어져 미달인 상황이며, 현재 심사 중으로 수주 내에 완료 기대.
-

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ 방음기술의 발전

- 반사형, 흡음형과 같은 기존의 방음벽의 경우 소음부에서의 소음에 대해 높은 수준의 밀폐를 통한 성능 향상을 도모하거나 통기시 방음성능을 포기했으나, 개발기술의 경우 방음성능과 통기성능을 동시에 구현이 가능함
- 전세계적으로 몇 년 전부터 통기가 가능한 방음판의 연구개발이 진행되었으나, 기술의 구현 및 성능충족, 제품화에 실패함
- 통기기능을 활용한 열 배출 또는 공기 순환이 가능해 새로운 시장의 창출이 가능함

○ 공명 음역대 설계

- 개발기술은 통기부 내부에서 구현되는 공명 구조로 소음을 저감하며, 공명부의 설계에 따라 목표하는 음역대의 공명 유도가 가능함
 - 최적의 공명설계시 발생 소음의 음역대에서 높은 방음성능의 구현이 가능함
-

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

- 공인시험성적서, 특허, 논문 등
 - 공인시험성적서 : 개발기술의 우수성 입증 및 성능에 대한 신뢰성 확보
 - 특허 : 보유 기술의 기술분별력 및 기술경쟁력, 사업화시 기술독창성 확보
 - 논문 : 헬름홀츠 공명식 유도를 통한 기술 구현으로 기술우수성 입증
 - 개발기술 응용을 통한 후속 연구가 가능함 (현재 추진중)

 - 최적 설계기법 및 설계 매뉴얼, 시방서
 - 통기형 방음판의 공명성능 및 통기기능의 최적화
 - 대상 음역대에 맞는 공명설계를 통한 맞춤형 방음판 설계가 가능함
 - 통기형 방음판의 설계, 제조, 보관, 시공 등에 대해 체계적인 관리가 가능함

 - 시공원가 분석 및 비즈니스 모델
 - SWOT 분석을 통한 시장환경 분석으로 사업준비 단계에서 미리 준비가 가능함
 - 경제성을 확보한 사업 추진이 가능함
 - 불필요한 비용 발생을 최소화할 수 있음
-

< 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 ‘철도운행장애 예방 및 미세먼지 저감을 위한 통기형 방음터널기술 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.