

최종보고서(일반과제용)										보안등급	
										일반[✓], 보안[]	
중정기관양행명	국토교통부				사업명	사업명		국토교통기술촉진연구사업			
전문기관명	국토교통과학기술진흥원					내역사업명		국토교통기술혁신연구 (사회이슈해결 유형)			
공고번호	공고-제2호				연구개발과제번호		19CTAP-C152047-01				
국가과학기술 표준분류	EI0402		70%	EI0204		20%	EI1102		10%		
연구주제	(대분류) 걱정없는 안심사회			(중분류) 생활안전, 재난재해, 에너지, 주거, 교통			(소분류) 불량주택 및 시설물				
연구개발과제명	국문	도심지 지하수 유출 및 지반침하 방지를 위한 지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 외방수 기술 개발									
	영문	Development of no-drainage system positive-side waterproofing technology with seismic resistance performance used in single-side walls of underground structures for prevention underground water flow out and subsidence of ground settlement in urban areas									
주관연구기관	기관명	서울과학기술대학교 산학협력단				사업자등록번호		210-82-08420			
	주소	(01811)서울시 공릉로 232				법인등록번호		111371-0004045			
주관연구책임자	성명	김수연				직위		연구교수			
	연락처	직장전화	02-977-6692				휴대전화		010-3163-9446		
		전자우편	ksr1115@seoultech.ac.kr				국가연구자번호		1101 2583		
연구개발기간	전체	2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33개월)									
	1년차	2019. 04. 19 - 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				합계			연구개발비 외 지원금
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	450,000	15,000	135,000	-	-	-	-	465,000	135,000	600,000	-
1년차	90,000	3,000	27,000	-	-	-	-	93,000	27,000	120,000	-
2년차	105,000	3,500	31,500	-	-	-	-	108,500	31,500	140,000	-
3년차	255,000	8,500	76,500	-	-	-	-	340,000	76,500	340,000	-
공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화		전자우편		비고			
	역할	기관유형									
공동연구기관	(주)나비티엔씨	장혁수	대표이사	010-3661-6016		t22@naver.com		공동		중소기업	
연구개발담당자 실무담당자	성명	오규환				직위		선임연구원			
	연락처	직장전화	02-977-6692				휴대전화		010-5138-2955		
		전자우편	mulgae22@hotmail.com				국가연구자번호		1144 4460		

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

2022년 03 월 18일

주관연구책임자 :

김 수 연 (인)

주관연구기관의 장 :

서울과학기술대학교 산학협력단 박 근 (직인)

공동연구기관의 장 :

(주)나비티엔씨 장혁수 (직인)

< 요약 문 >

※ 요약문은 5쪽 이내로 작성

사업명		국토교통기술촉진연구사업		연구개발과제번호		19CTAP-C152047-01	
내역사업명		국토교통기술혁신연구					
국가과학기술표준분류		EI0402	70%	EI0204	20%	EI1102	10%
연구주제		(대분류)		(중분류)		(소분류)	
연구개발과제명		도심지 지하수 유출 및 지반 침하 방지를 위한 지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 외방수 기술 개발					
전체 연구개발기간		2019. 04. 19 - 2021. 12. 31(33개월)					
총 연구개발비		총 600,000천원 (정부지원연구개발비 : 450,000천원, 기관부담연구개발비 : 135,000천원, 지방자치단체 : 0천원, 그 외 지원금 : 0천원)					
연구개발단계		기초[✓] 응용[] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도		착수시점 기준(실험단계 3) 종료시점 목표(제품화단계 7)	
연구개발과제 유형		지정공모 [] 자유공모 [✓]					
연구개발과제 특성		사회이슈 해결					
연구 개발 목표 및 내용	최종 목표		○ 도심지 지하수 유출 및 지반 침하 예방을 위한 지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 외방수 기술 개발 ⇒ 목표 1 : 비 배수 내진형 방수·보수·보강 기능을 융합한 고분자복합재료 개발 ⇒ 목표 2 : 도심지 지하 구조물 합벽구간(공동주택 지하, 터널, 지하차도, 지하철, 공동구 등) 적용 가능한 외방수 시공기술 개발 ⇒ 목표 3 : 지하수 유출 및 지반 침하 예방을 위한 외방수 기술의 품질 검증 시험방법 개발				
	전체 내용		○ 본 연구는 도심지를 중심으로 최근 사회적 이슈로 연일 보도되고 있는 지하수 유출 및 지반 침하 발생 문제를 예방하기 위한 것으로 건설 구조물의 진동(지진, 거동 등으로 인한 미세균열 발생)에 대응 가능한 방수 및 보수·보강 기능이 융합된 “ 지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 외방수 기술 개발 ” 진행함 ○ 최종 목표 달성의 주요 내용은 다음과 같음 ① 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 개발 ② 도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 외방수 시공기술 개발 ③ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술의 품질관리 방법, 장치 개발				
	1년차	목표	■ 목표 1 : 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 대상 품질 검증 시험방법 및 장치 기본 설계 ■ 목표 2 : 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 제조 및 형성 원리 분석				
		내용	○ 기존 국내외 건설 구조물 합벽구간 적용 방수 재료 및 공법 조사·분석 ○ 합벽구간 건설 구조물의 시공 환경 조사·분석 ○ 국내외 지하 구조물 합벽구간 방수공사 적용 시공 기술 사례 조사·분석 ○ 국외 지하 구조물 합벽구간 적용 방수공사 품질관리 기준, 지침, 매뉴얼 등 조사·분석 ○ 비 배수 내진형 융복합 방수재료 제조 및 형성 원리 분석 ○ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료의 배합 설계표(1차) 도출 ○ (1차) 배합 설계표에 의거한 성능(물성)평가 기초 실험 및 분석 ○ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료의 품질 검증 시험방법 기초자료(국내외 표준 규격, 시방서, 보고서 등) 조사·분석				
	2년차	목표	■ 목표 1 : 지하 구조물 합벽구간 외방수 용·복합 재료 및 공법 품질관리에 요구되는 주요 성능평가가 지표 도출 ■ 목표 2 : 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료의 2차 배합 설계표 도출 및 외방수 시공기술 초안 정립				
		내용	○ 지하 구조물 합벽구간 외방수용 융복합 재료 및 공법 품질관리에 요구되는 주요 성능 평가 지표 도출 ○ 지하 구조물의 방수재료 및 공법 적용 환경(수압, 토압, 지하수의 정량적 수치 해석) 조사				

			○ 국내외 외방수 시장 규모, 시장성, 국산화율, 수입대체 효과 등의 조사 및 분석 ○ 방수 및 보수·보강 용·복합 고분자 재료의 내진성능(교통하중, 지진 하중 등)의 영향 분석 ○ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 비 배수 내진형 복합재료의 품질 검증 시험 방법 도출 ○ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 비 배수 내진형 복합재료의 품질 검증 간이 시험 장치 기본 설계 및 시제품 제작 ○ 품질 검증 시험 장치의 지적재산권(특허 또는 실용신안) 출원 ○ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료의 배합 설계표(2차) 도출 ○ (2차)배합 설계표, 품질 검증 시험방법 및 기본 장치를 이용한 성능(물성) 평가 및 분석 ○ 지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 외방수 기술의 지적재산권(특허 또는 실용신안) 출원 ○ 합벽구간 적용 비 배수 내진형 용·복합 방수재료의 현장 적용 시방서 초안 작성 ○ 연구결과의 국내 학술 논문 작성 ○ 연구 내용을 종합한 국외 SCI(E) 학술 논문 작성 및 게재		
	3년차	목표	■ 목표 1 : 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공 기술의 품질관리 시험방법, 장치 개발 ■ 목표 2 : 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료의 최적 배합 설계표 도출 및 외방수 시공 기술 정립		
		내용	○ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료의 배합 설계표 최종안 도출 ○ (최종안)배합 설계표에 의거한 성능(물성)평가 및 분석(공인시험성적서 포함) ○ (최종안) 방수재료의 내진성능 시험방법 최종안 작성 ○ 합벽구간 비 배수 내진형 외방수 응용 기술 적용 현장 시방서 최종안 작성(모니터링 내용 포함) ○ 지하 구조물의 부력이 외방수에 미치는 영향 분석 ○ 지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 외방수 기술의 Test Bed Mock-up 시험 평가 및 모니터링 ○ 연구 내용을 종합한 국외 SCI(E) 학술 논문 작성 및 게재 ○ 연구 내용을 종합한 지하 구조물 합벽구간 적용 융복합 외방수 기술 현장 유지관리 매뉴얼 작성 ○ 방수 성능 등급화 방안 제시		
연구개발성과			● 개발 성과 1 : 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능의 융합 고분자 복합재료 개발 ● 개발 성과 2 : 도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 외방수 시공기술 개발 ● 개발 성과 3 : 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료의 품질관리 방법 개발 ● 개발 성과 4 : 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료의 품질관리 시험 장치 개발 ● 개발 성과 5 : 지하 구조물 합벽구간 외방수 시공기술 적용 현장 시방서 개발 ● 개발 성과 6 : 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술의 현장 적용 표준 유지관리 매뉴얼 개발		
연구개발성과 활용방안 및 기대효과			(연구개발 성과 활용 방안)		
			주요 예상 연구결과	활용 방안	수요처
			비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 개발	■ 도심지의 열악한 지하 구조물의 건설 환경에 적용 가능한(현재 방수분야의 적용 재료 및 공법 부재) 비 배수(배수 설계가 필요치 않은 지하수 원천 차단) 내진형(진동, 거동 등에 의한 미세 균열 대응) 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료의 제공 및 활용	정부, 시행사, 시공사, 연구소, 설계사, 감리사, 건축자재회사, 방수시공회사, 방수재료회사 등
			지하 구조물 합벽구간 적용 외방수 시공 기술 개발	■ 도심지 합벽구간 적용 비 배수 내진형 방수+보수+보강 기능을 종합한 개념의 융복합 외방수 시공 기술 제공 및 활용 ■ 지하수 고갈, 지반 침하, 라돈 가스 유입 등 2차적 문제의 근원 방지	정부, 시행사, 시공사, 연구소, 설계사, 감리사, 건축자재회사, 방수시공회사, 방수재료회사 등
			방수 및 보수·보강 기능의 용·복합재료 및 외방수 시공기술의 품질관리 시험방법, 장치 개발	■ 도심지 합벽구간 적용 비 배수 내진형 방수, 보수, 보강 기능을 융합한 고분자재료의 품질관리를 통한 쾌적한 주거환경 조성 및 사회적 이슈 문제(지하수 유출, 지반 침하 등) 예방 및 해결 활용 ■ 또한 이를 통한 누수 하자민원 저감 효과 ■ 도심지 지하 구조물 합벽구간의 열악한 시공 환경을 반영한 품질관리 기준 부재 해소 및 기준 마련	시공사, 감리사, 방수시공회사, 방수재료회사, 컨설팅 업체 등
			(연구개발 성과 활용의 기대 효과)		
			가. 기술적 측면		
			○ 최근 보도되고 있는 사회적 문제점 중 하나인 지하수 유출 및 지반 침하 예방 기술로 기대		

	○ 도심지 합벽구간의 외방수 시공 기술에 대한 새로운 방향성 제시 ○ 경년변화(노후화)에 따른 도심지 지하 구조물 합벽구간의 방수시공 한계 극복 ○ 열악한 지하 환경 대응 가능한 융합 방수기술 구축 ○ 총 3차에 걸쳐 진행되는 배합 설계표 도출 및 성능(물성) 평가 연구 수행에 따른 명확한 제품 개발 결과 확보 ○ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 신개념의 융복합 방수재료 및 외방수 기술 적용을 통한 미래의 지하 대공간 구조체의 안전성 확보/유지관리 비용 절감 기술로 활용 기대 나. 경제적 · 산업적 측면 ○ 기존 배수 시스템(강제 배수)를 통하여 낭비된 천연 자원(지하수) 고갈 예방 및 지하 인체 유해 인자(라돈 등) 실내 유입에 따른 오염 방지 ○ 방수 및 보수 · 보강 기능을 융합한 재료 및 기술 개발로 유지 관리에 대한 비용의 절감 ○ 지하 콘크리트 구조물에 적용되는 외방수에 대한 기초 원천 기술 확보로 국내 및 해외의 관련 및 타 산업과의 공동 기술개발 및 연구 활성화 ○ 지하 콘크리트 구조물의 장수명화 가능한 10mm 폭의 균열 및 조인트 거동 대응 품질관리 시험방법 및 장치, 방수재료 및 시공기술, 비 배수형 누수 원천 차단 외방수 시공 기술 적용을 통한 지하 콘크리트 구조물의 사용수명 확대 다. 사회적 측면 ○ 사회적 이슈로 보도되고 있는 지반 침하 방지 기술로서 사회적 안전 문제 예방 효과 ○ 신 개념의 재료 및 시공 기술 개발로 지하수 유출 방지 효과에 따른 지하수 고갈 예방과 물 부족 현상 감소 효과 ○ 방수 및 보수 · 보강 기능을 융합한 내진형 외방수 재료 개발로 고질적 누수 발생을 저감으로 건설사와 정부에 대한 사용자들의 불만 예방, 민원 감소 효과 ○ 누수방지 기술 개발을 통한 지역 거주자, 이용자의 삶의 질 향상과 생활안전 만족도 증진에 기여											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	- 해당 없음 -											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설·장비	기술 요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	5	2	7	2	7	-	-	-	-	-	-	1
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	ZEUS 등록번호			
국문핵심어 (5개 이내)	지하수 유출 및 지반 침하		외방수		합벽구간		비 배수		내진형			
영문핵심어 (5개 이내)	subsidence of ground settlement and underground water flow out		positive-side waterproofing		single-side walls		no-drainage system		seismic resistance performance			

< 목 차 >

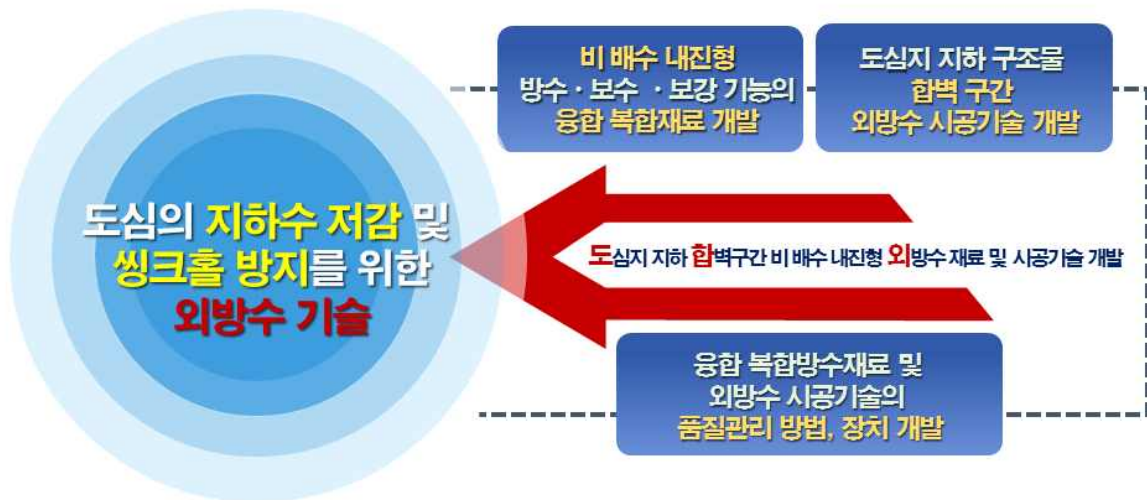
1. 연구개발과제의 개요	01
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용	02
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도	07
4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)	42
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도	43
6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획	41
7. 참고 문헌	44
별첨 자료(성과 증빙자료 등)	

1. 연구개발과제의 개요

(1) 연구개발과제의 최종 목표

구분	내용
최종 목표	도심의 지하수 저감 및 지반 침하 방지를 위한 지하구조물 합벽구간 비 배수 내진형 외방수 기술 개발
세부 목표	목표 1 : 비 배수 내진형 방수·보수·보강 기능을 융합한 고분자복합재료 개발 목표 2 : 도심지 지하 구조물 합벽구간(공동주택 지하, 터널, 지하차도, 지하철, 공동구 등) 적용 가능한 외방수 시공기술 개발 목표 3 : 지하수 유출 및 지반 침하 예방을 위한 외방수 기술의 품질 검증 시험방법 개발

○ 본 연구의 최종 목표는 “도심지의 지하수 유출 및 지반 침하 방지를 위한 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 비 배수 내진형 외방수 재료 및 시공기술 개발”에 맞춰 다음 <그림 1-1>과 같이 연구개발 목표를 달성함



<그림 1-1> 연구 개발 최종 목표

(2) 연구개발과제의 연차별 목표

○ 본 연구의 연차별 목표에 대한 핵심 연구개발 성과 및 핵심 연구개발성과의 국내·외 기술 수준과 연구개발 수행을 통해 달성한 기술적 성능판단 기준 목표치는 다음 <표 1-1>과 같음

<표 1-1> 연차별 개발 목표 및 핵심연구 성과의 성능판단 기준

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내·외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	비배수 내진형 외방수 기술 품질 검증 시험방법 및 장치 기본설계	시험방법(초안)	기준 없음	시험방법 개발	비배수 내진형 외방수 기술 품질관리 시험방법 초안 및 시험 장치 기본 설계	15
		시험 장치 기본 설계	기준 없음	장치 개발		
	고분자 복합재료 제조(1차 배합 설계표) 및 형성원리 분석	기본 원리 분석 1차 배합 설계표	기준 없음 기준 없음	제품 개발 제품 개발	비배수 내진형 고분자 복합재료 1차 배합 설계	15
2년차 (2020)	비배수 내진형 외방수 기술 품질관리 주요 성능평가 지표 및	품질관리 요구 성능 지표 및 품질 검증 기본 (안)	기준 없음	시험방법 개발	비배수 내진형 외방수 기술 품질관리 현장	20

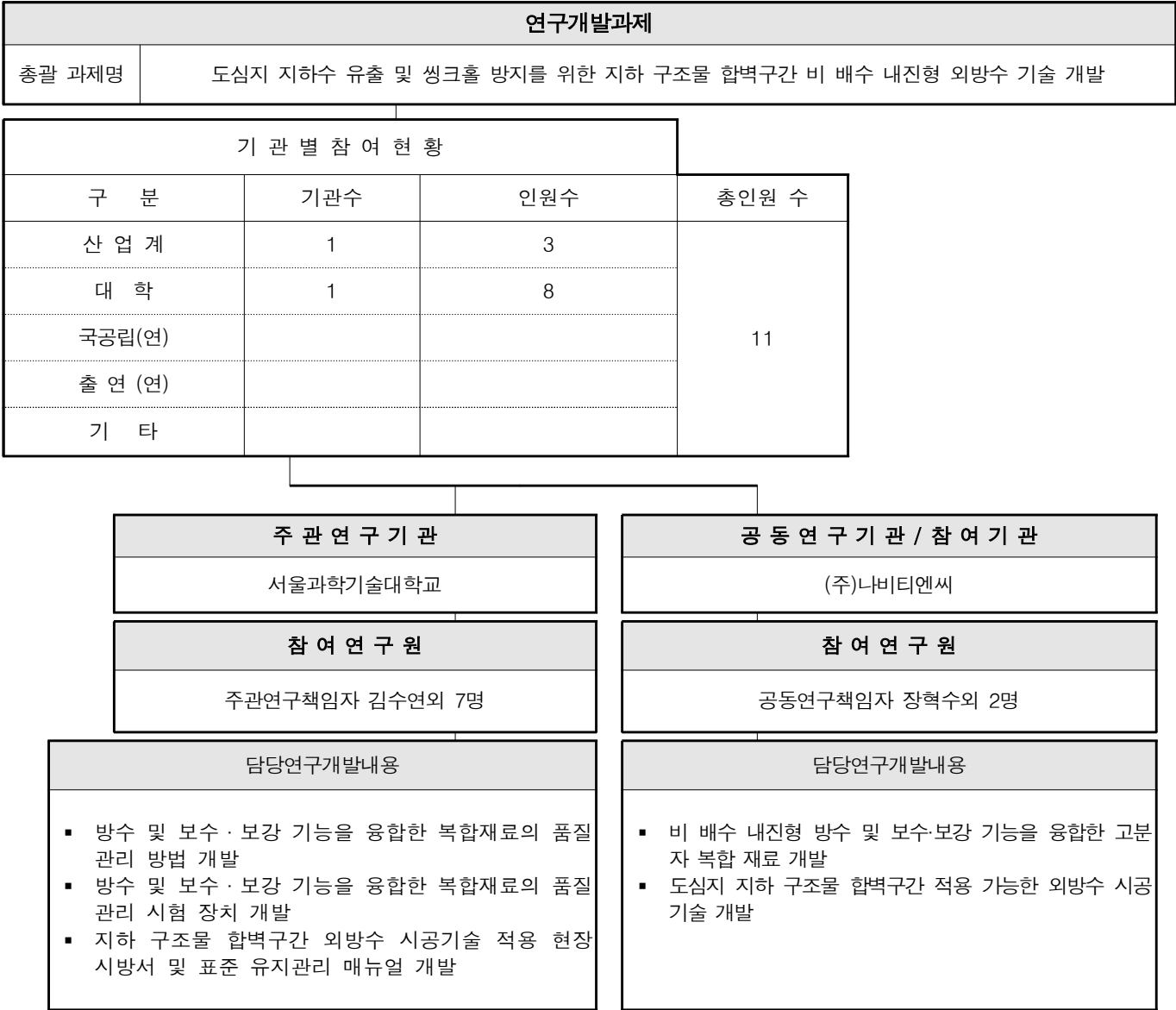
	품질관리 시험 장치 개발	지하 합벽 부위 현장 적용 시방서(초안)	기준 없음	공법 개발	적용 시방서 및 매뉴얼 개발	
		지하 합벽 부위 현장 적용 표준 유지관리 매뉴얼(초안)	기준 없음	매뉴얼 개발		
	고분자 복합재료 2차 배합 설계표 및 외방수 시공기술 초안 정립	2차 배합 설계표	기준 없음	제품 개발	비배수 내진형 고분자 복합재료 2차 배합 설계	15
		지하 합벽부위 외방수 시공기술(초안)	기준 없음	공법 개발		
3년차 (2021)	비배수 내진형 외방수 기술 품질관리 시험방법 및 장치 개발	지하 합벽부위 품질관리 시험방법 최종안	기준 없음	시험방법 개발	비배수 내진형 외방수 기술 품질관리 시험방법 최종안 및 시험 장치 개발	20
		고분자 복합재료 품질관리 시험 장치	기준 없음	장치 개발		
	고분자 복합재료 최적 배합 설계표 및 외방수 시공 기술 정립	최종 배합 설계표	기준 없음	제품 개발	비배수 내진형 고분자 복합재료 최종 배합 설계	15
		지하 합벽구간 적용 외방수 시공 기술(최종안)	기준 없음	공법 개발		

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

(1) 연구개발 추진 전략 및 방법

연 구 개 발 내 용	연구개발 추진 전략(이론적·실험적 접근 방법)		연구개발 접근 방법	
	(주관기관) 서울과학기술대학교		1차년도	
	⇒ 기존 국내외 건설 구조물 합벽구간 적용 방수재료 및 공법, 시공사례 조사·분석 ⇒ 지하 구조물 합벽구간 건설구조물 시공환경(유도배수 등) 조사·분석 ⇒ 국내외 방수 및 보수·보강 재료의 품질검증 시험방법 기초자료 조사·분석 ⇒ 1차 배합 설계 방수재료 + 품질 검증 시험방법 및 장치를 이용한 성능(물성) 평가·분석		특허출원 2건 특허등록 2건 논문 1건 시제품 1건 S/W 2건 기타 4건	1차년도
	(공동+참여기관) (주)나비티엔씨		2차년도	
	⇒ 비 배수 내진형 용·복합방수재료 제조 및 형성 원리 분석 ⇒ (1차 배합 설계표) 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료의 배합 설계표 도출		2차년도	
	(주관기관) 서울과학기술대학교		3차년도	
	⇒ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 비 배수 내진형 복합재료의 품질 검증 시험방법 도출 ⇒ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 비 배수 내진형 복합재료의 품질 검증 시험 장치 기본 설계 ⇒ 품질 검증 시험 장치의 특허 출원 ⇒ 2차 배합 설계 방수재료 + 품질 검증 시험방법 및 장치를 이용한 성능(물성) 평가·분석 ⇒ 합벽구간 적용 비 배수 내진형 용·복합 방수재료의 현장 적용 시방서 초안 작성 ⇒ 국내 학술 게재 논문 작성		특허출원 2건 특허등록 2건 논문 2건 시제품 1건 S/W 2건 기타 4건	3차년도
	(공동+참여기관) (주)나비티엔씨		3차년도	
	(주관기관) 서울과학기술대학교		3차년도	
	⇒ 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 비 배수 내진형 복합재료의 품질검증 시험 방법 및 시험 장치 개발, 최종 시제품 제작 ⇒ 품질 검증 시험 장치의 특허 등록 ⇒ 최적 배합 설계 방수재료 + 품질 검증 시험방법 및 장치를 이용한 성능(물성) 평가·분석 ⇒ 합벽구간 적용 비 배수 내진형 용·복합방수재료 현장 적용 시방서 및 표준 유지관리 매뉴얼 최종안 작성 ⇒ 국외 SCIE 학술 논문 작성 및 게재 ⇒ 지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 기술의 Mock-up 시험평가 및 모니터링		특허출원 1건 특허등록 2건 논문 2건 시제품 2건 S/W 2건 기타 4건	3차년도
	(공동+참여기관) (주)나비티엔씨		3차년도	
	⇒ (최적 배합표) 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 비 배수 내진형 복합재료의 배합 설계표 최종안 도출 ⇒ 합벽구간 적용 비 배수 내진형 용·복합 방수재료의 외방수 시공기술 최종 정립 ⇒ 비 배수 내진형 용·복합방수재료 제조 기술 특허 등록		3차년도	

(2) 연구개발 추진 체계



(3) 연구세부 추진 내용 및 일정

구분	연구 목표		세부추진내용 (연구수행 Activity)	Activity 산출물	성과 목표별 지표			1차년도(2019년)			2차년도(2020년)				3차년도(2021년)				소요 연구비 (백만원)		
	핵심 목표	단위 목표			핵심 성과	단위 성과	질적 성과	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4			
주관	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법	지하 구조물 적용 환경 조건 및 요구성능 DB	지하 구조물의 방수재료 및 공법 적 용 환경조사(수압, 토압, 지하수, 미 생물 등) 조사·분석	보고서	A	A-1	A-1-①													120	
			국내외 지하 구조물의 방수재료 및 공법 품질관리 기준(시방서 등) 조사· 분석	보고서			A-1-②														
			지하 구조물의 주요 요구 성능 평가 (거동, 유속, 화학 등) 지표 도출	보고서			A-1-③														
			지하 구조물의 방수재료 및 공법 적 용 환경(수압, 토압, 지하수의 정량적 수치 해석) 조사	보고서			A-1-④														
			국내외 외방수 시장 규모, 시장성, 국 산화율, 수입대체 효과 등의 조사 및 분석	보고서			A-1-⑤														
			방수 및 보수·보강 용·복합 고분자 재 료의 내진성능(교통하중, 지진 하중 등)의 영향 분석	보고서			A-1-⑥														
		비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법 최종안	국내외 방수 및 보수·보강 재료의 품 질검증 시험방법(KS, ASTM, BS 등) 기초자료조사·분석	보고서	A-2	A-2-①															
			비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기 능을 융합한 고분자 복합재료의 품질 검증 기본(안) 도출	보고서		A-2-②															
			논문(국내 학술지 게재)	논문집		A-2-③															
			논문(국외 SCIE 저널 게재)	논문집		A-2-④															
			1차, 2차, 최종 배합 설계 방수재료+ 품질 검증 시험 방법 및 장치를 이용 한 성능(물성) 평가 및 결과분석	성능평가 보고서		A-2-⑤															
			방수재료의 내진성능 시험방법(최종 안) 도출	보고서		A-2-⑥															
			논문(국외 SCIE 저널 게재)	논문집		A-2-⑦															
	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기 능을 융합한 고분자 복합재료 품질관 리 시험 장치 기본 설계	보고서	B	B-1	B-1-①												72		

[illegible]

		2차 배합 설계표 도출	보고서			E-2-③												
		2차 시제품	시제품			E-2-④												
		최종 배합 설계표 도출	보고서			E-2-⑤												
		최종 시제품	시제품			E-2-⑥												
		최종 시제품 지적재산권(특허 출원)	출원증명서			E-2-⑦												
		최종 시제품 지적재산권(특허 등록)	등록증명서			E-2-⑧												
도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 외방수 시공기술	도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 외방수 시공기술	합벽구간 적용 외방수 시공기술 초안 정립	보고서	F	F-1	F-1-①												56
		합벽구간 적용 외방수 시공기술 최종안 작성	보고서			F-1-②												

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발 성과

■ 1차년도

① 연구 수행 내용

구분	연구 수행 내용			수행 지표 (질적성과지표)
	핵심 목표	단위 목표	수행 내용	
주관	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법	지하 구조물 적용 환경 조건 및 요구 성능 DB	지하 구조물의 방수재료 및 공법 적용 환경조사(수압, 토압, 지하수, 미생물 등) 조사·분석	A-1-①
		비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법 최종안	국내외 지하 구조물의 방수재료 및 공법 품질관리 기준(시방서 등) 조사·분석	A-1-②
	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험 장치	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험 장치	국내외 방수 및 보수·보강 재료의 품질검증 시험방법(KS, ASTM, BS 등) 기초자료조사·분석	A-2-①
			비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험 장치 기본 설계	B-1-①
	지하 구조물 합벽구간 외방수 시공기술 적용 현장 시방서	지하 구조물 합벽구간 외방수 시공 기술 적용 DB	기존 국내외 건설 구조물 합벽구간 적용 방수재료 및 공법, 시공 사례 조사·분석	C-1-①
			지하 구조물 합벽구간 시공 환경(유도배수 포함, (수압, 토압, 지하수, 미생물 등) 조사·분석	C-1-②
공동	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 제조 및 형성 원리 DB	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 제조 및 형성 원리(고분자 재료 메커니즘) 분석	E-1-①
		비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 최종 시제품	1차 배합 설계표 도출	E-2-①
			1차 시제품	E-2-②

② 수행 지표별 연구 결과

■ A-1-① : 지하 구조물(합벽부위)의 방수재료 및 공법 적용 환경 조사 및 분석

- 지하 구조물에 적용되는 방수재료 및 공법에 영향을 주는 발생 환경으로 다음 <표 3-1>과 같이 자연과 인위적, 물리적 환경으로 구분하여 조사 분석함
- 조사·분석된 결과를 토대로 지하 구조물(합벽부위)에 발생하는 자연, 인위적, 물리적 환경의 영향으로부터 대응 가능한 방수재료 및 공법, 품질 관리 시험방법, 시험장치 등이 필요함

<표 3-1> 지하 구조물의 발생 환경 및 영향 분석 결과

구분	발생 환경	영향 분석
자연 환경	눈	- 지상의 오염된 대기 환경(자동차 매연, 각종 공해, 오염 물질 등)과 함께 지

		하로 전해지는 화학적 열화 환경 - 국내 적설량 : 연 최심적설(1.1~8.2 cm), 최대 적설량은 강원도 대관령(82.6 cm), 최소 적설량은 제주특별자치도의 고산(1.1 cm) 기록됨
	강수량	- 우리나라의 연평균 강수량은 세계적으로 보면 비교적 많은 강수량에 속함 - 강수는 계절적 분포, 자연적인 차이, 강수형식, 강수량의 변화 등에 따라서 현저한 차이를 나타내는 특성에 따라 눈(적설)과 같이 대기 중에 섞여 있는 매연, 공해, 각종 오염물질로 인하여 콘크리트 구조물의 내구성을 저하 시키고 특히, 지하 구조물에 작용하는 지하수에 포함되어 화학적 열화 환경으로 작용됨
	바람	- 건축적 측면에서 바람은 풍력에 따라 콘크리트 구조물에 진동, 건축 외장 재료의 탈락, 파손 등에 영향을 줌 - 특히, 바람과 비가 동시에 작용할 경우 시시각각으로 속도 압이 변하기 때문에 수치로 환산할 수 없으므로 설계상의 수치로서 방수턱 높이, 치켜올림 높이, 기타 방수층 끝부분의 마감방법의 고려가 필요함
	온도	- 온도 차에 의하여 발생하는 수축과 팽창은 콘크리트 구조물이 시공 된 후 양생과정을 거치게 되면서 많은 수축과 팽창을 반복하게 되고, 양생 후에도 외기의 온도 차에 의하여 수축과 팽창을 반복하게 됨 - 특히, 지하 구조물에 가장 많은 영향을 주는 온도는 콘크리트 구조물이 건축된 직후부터 발생하는 수축과 팽창에 따른 거동으로 이때 발생하는 수축과 팽창으로 구조물이 거동하게 되고 이러한 거동이 반복적인 거동으로 지속해서 작용하면 콘크리트 구조물에서 균열이 발생하여 누수로 이어지게 됨
	태풍	- 태풍이 콘크리트 구조물에 줄 수 있는 영향으로 비바람과 같이 풍속과 폭우로 볼 수 있음 - 태풍은 지속적이고, 반복적이지 않은 점에서는 영향이 크지 않지만, 일시적으로 중심최대풍속과 폭우를 동반하는 점에서 열화 인자로 볼 수 있음
	결로	- 결로는 공기의 노점온도와 접하는 구조체의 온도보다 높을 때 발생하는 현상으로 상대 습도 100 % 미만의 공기를 냉각시켜 최대 수증기량을 함유한 상태, 즉 포화상태인 상대 습도가 100 %로 될 때의 온도를 의미함 - 지하구조물(외기와 접할 때)에서의 결로는 구조체의 하부면 온도가 저하하고 습(濕)할 때에 비교적 고온의 공기와 접하게 되면 생기는 현상임
	염해	- 지하 구조물에서 염해 환경의 영향은 주로 해안 주변에 건축되는 해상도시, 해상공항, 해상발전소, 해저 저유탱크, 해저 거주기지, 선박 정박시설, 도크, 해저 터널, 해상 교량, 방파제, 계선안 및 해안 제방 등에 영향을 줌 - 염해 환경 하의 콘크리트 구조물은 화학적·물리적 반응을 일으키게 되면 결과적으로 중성화, 동해, 알칼리골재반응, 화학적 부식, 염해 등과 같은 각종 피해를 유발하여 내구성이 저하 됨
	지하수 수질에 포함된 화학적 환경	- 외기의 눈, 비, 우박 등으로부터 전해지는 지하수에 의해 수질 및 토양에 다양한 화학적 환경이 존재하게 됨 - 그 대표적인 예로 지상으로부터 전해지는 공장, 자동차, 발전소 등에서 공기 중으로 배출되는 황산화물, 질소산화물 등을 들 수 있음 - 이와 같이 발생하는 화학적 물질은 구름 속에서 태양빛에 의해 산화되면서 구름의 물방울에 의해 황산, 질산, 염산 성분으로 pH 5.6 미만의 산성 성분의 우수로 내려와 지하로 유입되면서 지하수 수질을 오염시켜 지하 구조물의 열화 요소로 작용되고 있음
인위적 환경	공해(공기오염)	- 공기오염은 공기에 다른 물질이 혼합되어 나타나는 현상으로 화재, 산불 등과 같이 자연적으로 발생하거나 화력발전소의 연료연소 및 자동차 배기가스 등에 의해 인위적으로 발생함 - 이러한 공해는 자연현상 또는 산업 활동에 의해 대기 중으로 직접 배출하는 오염 물질을 1차 오염물질이라 하며, 대기 중으로 배출된 1차 오염 물질들이 대기 중에서 화학 반응을 일으켜 발생된 오염 물질을 2차 오염 물질임 - 황산화물(SO_x), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x), 탄화수소(C_xH_x)등이 수 증기와 접하게 되면 황산(H₂SO₄)이나 질산(NHO₃)으로 변화되고 지상의 토 양으로 흡수되어 산성 수소이온농도(pH)가 저하되면서 산성화됨 - 구조물의 화학적 침식 및 방수재료, 보수재료의 열화현상을 발생시킴
	싱크홀	- 싱크홀은 갑작스런 지반의 함몰 또는 침하의 한 종류로, 일반적으로 지하수의 영향으로 인하 석회암 지반이 용해되어 석회암에 동공이 발생 및 확장되어 상부 및 인접 지반이 세굴되어 발생한다. 일반적으로 석회암 지반으로 구성되어 있는 곳에서 발생 빈도가 높으며 대표적으로 국내에는

		강원도 삼척, 영월, 해외에서는 플로리다가 있음 - 즉, 싱크홀은 석회암과 지하수의 화학작용으로 인해 발생하는 자연현상임
	지반 침하	- 지하 건축 구조물에서 지하수의 강재 배수에 따른 지하수 유출로 인해 토사 지반이 세굴되면서 지반이 꺼지는 현상을 말함
물리적 환경	수축과 팽창	- 콘크리트 구조물의 일부가 가열되거나 냉각되면 열응력이 발생하며, 그 결과 콘크리트에 인장 혹은 전단응력이 발생함 - 온도 균열의 발생 원인으로는 내부구속에 의한 균열과 외부구속에 의한 균열로 구분되며, 내부 구속에 의한 균열은 콘크리트 구조의 내외부의 온도분포가 서로 달라짐으로 인해 콘크리트 자체에 의한 내부 구속에 의해 균열이 발생하고, 외부 구속에 의한 균열은 온도변화에 대하여 콘크리트는 신축하지만 그 변형이 하부지반 등에 의하여 구속되는 외부구속 조건에 의해 균열이 발생함
	지하수의 수압, 유속	- 수압은 지하수위 면 하부 측 구조체면에 연직방향으로 작용하는 압력으로서 주로 구조체의 바닥면에서 상향 수압으로 작용함 - 이러한 수압 형태를 양압력(Uplift Pressure) 혹은 부력(Buoyant Force)이라고 하고, 지하수의 흐름 혹은 구조물의 형상에 따라 침투수압의 작용을 예측하여 설계 시 반영하고 있으나, 지하 구조물에서는 상황 전개 예측이 어려워 많은 지하 콘크리트 구조물에서 누수 균열을 경험하고 있는 실정임 - 유속은 건축된 지하 콘크리트 구조물의 주변에 항상 존재하고 있으면서, 지하수 흐름의 속도에 따라 발생됨
	토양의 토압	- 토압의 경우는 주로 지하 구조물에 영향을 미치고 있으며, 흙이 팽창하면서 파괴 될 때 발생하는 주동토압(Active Earth Pressure)과 흙이 압축되면서 파괴될 때 발생하는 수동토압(Passive Earth Pressure), 콘크리트 구조물의 수평 변위 없이 흙이 파괴될 때에 발생하는 정지토압(Hydrostatic Earth Pressure) 등이 있음
	부동침하	- 부동침하는 건축된 콘크리트 주변에서 주로 발생되며, 연약지반, 경사지반, 이질지층, 증축, 지하수위변화 등 다양한 형태의 원인으로 발생됨 - 부동 침하의 대표적인 원인은 기초를 타설한 지반의 지층분포가 불규칙하고 지층이 서로 달라서 연약지층대가 존재할 경우 발생하고, 건축구조물 주변에서 터파기 공사가 진행되어 토사가 유실되었을 경우 발생하는 경우도 있음 - 또한, 지하에 매설된 상하수도 관로가 파손되어 지하에 누수가 유입되게 되면, 유입된 누수에 의해 토사의 유출이 발생하게 되고 이는 지반을 함몰시켜 부동 침하를 발생함 - 이렇게 발생한 부동 침하는 지하구조물의 거동을 유발하여 콘크리트에 균열을 발생시키고 균열을 통해 물과 공기 등이 침투하게 되면, 철근을 부식시켜 균열을 가속시키고 구조물 내부로 지하수의 누수량 지속적으로 증가하게 되어 구조물의 내구성을 상실시켜 부동 침하로 인한 구조물의 거동에도 대응이 가능한 방수재료 및 공법개발이 요구됨
	지진, 진동	- 진동에 의한 거동은 자연환경으로부터 발생하는 지진, 바람, 태풍 등에 의한 것과 인위적으로 발생하는 차량의 주행, 사람(사용자)의 보행 등을 들 수 있으며, 이와 같이 발생하는 상시적인 많은 진동 속에 콘크리트 구조물이 노출되어 있음

■ A-1-② : 국내외 지하 구조물의 방수재료 및 공법 품질관리 기준(시방서 등) 조사·분석

○ 국내는 다음 <표 3-2>와 같이 국가건설기준, 공동구 표준시방서, 전문시방서 등이 적용되고 있음

<표 3-2> 국내외 지하 구조물의 방수재료 및 공법 품질관리 기준

구분	품질관리 기준	내용
국내	국가건설기준	- 건축공사표준시방서 : KCS 41 40 10 방수공사 일반 ~ KCS 40 19 점착유연형 시트 방수공사
	공동구 표준시방서	- 제7장 부대설비 공사 중 7.5 방수공사
	전문시방서	- 고속도로 공사 : EXCS 41 40 02 적층 아스팔트 방수공사(부대시설편) ~ EXCS 41 40 20 일반모르타르 방수(부대시설편) - 서울특별시 : SMCS 41 40 01 방수공사일반사항 ~ SMCS 41 40 19 아스팔트 모르타르 방수 - 한국농어촌공사(1건) : KRCCS 67 65 20 농업생산기반시설 및 방수제

		공사 - LH한국토지주택공사(23건) : LHCS 24 40 20 교면방수(교량받침)~LHCS 41 40 30 초경화고무아스팔트도막방수 - K-water(0건)
--	--	--

- 특히, 선진국(미국, 독일, 캐나다, 일본 등)을 중심으로 조적벽 내진 성능 강화 탄력 코팅재(아크릴 실리콘 도료수지와 유리섬유 융합), 초탄성 연성 스프레이 코팅재, EDCC(Eco-Friendly Ductile Cementitious Composite) 외벽 코팅재(고분자 섬유와 플라이애쉬 융합), 탄성 폴리프로필렌 섬유를 혼합한 벽지(EQ-Top), 아쿠아팔트(Aquaphalt) 방수재료 등이 실용화 되고 있음

■ A-2-① : 국내외 방수 및 보수·보강 재료의 품질검증 시험방법(KS, ASTM, BS 등) 기초자료조사·분석

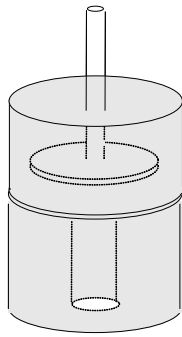
- 국내외 지하 구조물에 적용 및 활용되고 있는 품질기준을 중심으로 조사·분석 한 결과 다음 <표 3-3>과 같이 국내는 KS F 2400 콘크리트 타설 일체 부착형 자착식 시트 방수재 시험방법 외 12개 표준 규격으로 조사 됨
- 국외는 미국재료시험학회(ASTM)의 지하 벽/수직표면에 적용된 방수막의 성능특성 표준 지침서와 일본건축 학회의 일본 건축 표준 규격(Japanese Architectural Standard Specification), 영국의 BS EN 8102 지하구조물의 지하수 보호를 위한 실천 강령, 중국의 지하공사 방수 기술 규격(GB 50108-2008) 등에서 각 국가별 지하 구조물의 내구성 확보를 위한 방수재료 및 공법에 관하여 규정하고 있음

<표 3-3> 국내외 지하 구조물의 방수재료 및 공법 품질관리 기준

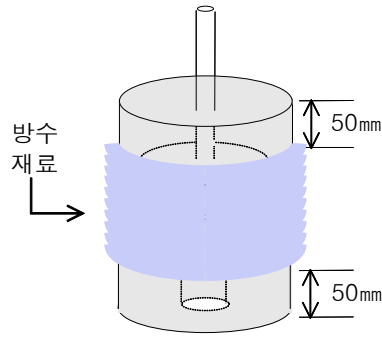
구분	품질관리 기준	내용
국내	한국산업표준(KS)	- KS F 2400 콘크리트 타설 일체 부착형 자착식 시트 방수재 시험방법 - KS F 2622 멤브레인 방수층 성능 평가 시험방법 - KS F 3211 건설용 도막 방수재 - KS F 4911 합성 고분자계 방수 시트 - KS F 4918 규산질계 분말형 도포 방수재 - KS F 4921 콘크리트용 에폭시 수지계 방수방식재(도막) - KS F 4922 폴리우레아 수지 도막 방수재 - KS F 4925 시멘트 액체형 방수재 - KS F 4926 콘크리트용 수밀 혼화재 - KS F 4934 자착식형 고무화 아스팔트 방수 시트 - KS F 4935 점착 유연형 고무 아스팔트계 누수보수용 실링재 - KS F 4938 방근성능 시험방법 - AIK-S-001-2019 복합열화 및 구조체 거동이 동시 작용하는 환경에서의 방수층 성능 시험방법(대한건축학회 기술표준)
국외	미국	- ASTM D7832 지하 벽/수직표면에 적용된 방수막의 성능특성 표준지침서 외
	일본	- JASS(Japanese Architectural Standard Specification) 8 : 일본 건축 표준 규격(멤브레인 방수공법 외)
	영국	- BS EN 8102 : 지하 구조물의 지하수 보호를 위한 실천 강령(표준 규격서) BS 743 방습 코스 재료 명세서 외
	중국	- GB 50108-2008 : 지하공사 방수 기술 규격(지하 공사의 방수 설계 외)

■ B-1-① : 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험 장치 기본 설계

- 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 품질관리 시험 장치 기본 설계를 위한 기존 관련 특허, 실용신안, 기술표준, 기존 표준 규격에 포함된 유사 개념의 시험방법 등을 조사 한 결과, 특허 3건, 실용신안은 1건, 기존 표준 시험방법 중 내피로성능((공통적용 : KS F 2622, 3211, 4917, 4922, 4931, 4932, 4934), 내균열성능(공통적용 : KS F 4919, 4931, 4932), 누수보수재료의 구조물거동대응성(KS F 4935), 복합열화 및 구조체 거동이 동시 작용하는 환경에서의 방수층 성능 시험방법(AIK-S-001-2019) 등이 조사됨
- 특히, 대한건축학회 기술표준으로 규정된 복합열화 및 구조체 거동이 동시 작용하는 환경에서의 방수층 성능 시험방법(AIK-S-001-2019)의 반복적인 상하거동에 따른 누수 안정화를 판단 할 수 있는 시험방법으로 본 연구에서 검토되고 있는 비배수 내진형 복합방수재료의 품질관리 시험 장치의 기본 설계로 반영 가능 함



a) 시험체

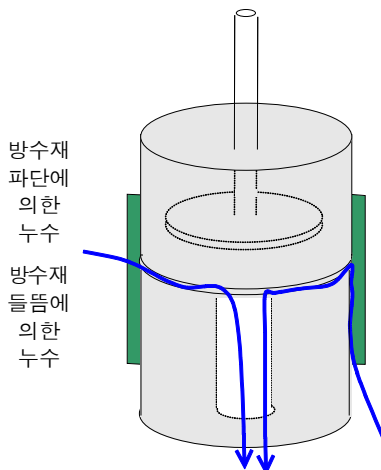


b) 방수층 시공 시험체



c) 거동시험체 실물

<그림 3-1> 방수재료의 상하 거동 대응성능 검증 시험체



<그림 3-2> 거동 시험에 의한 누수 경로도



<그림 3-3> 품질시험 장치 기본 및 최종 설계 시제품

■ C-1-① : 기존 국내의 건설 구조물 합벽구간 적용 방수재료 및 공법, 시공 사례 조사·분석

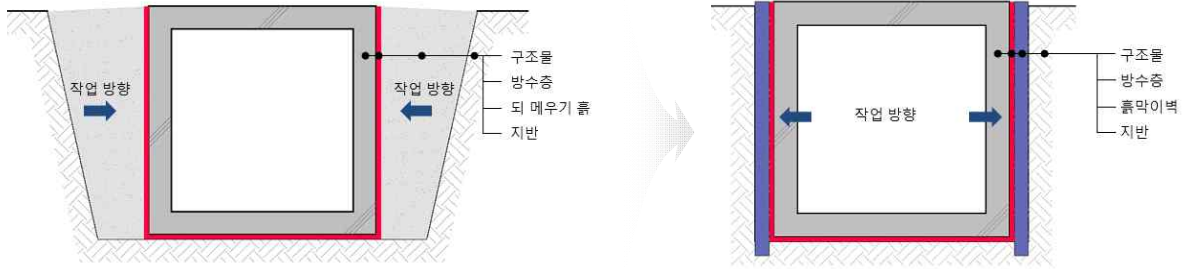
- 건축, 토목 구조물 합벽부위에 방수층을 선 시공한 다음 콘크리트를 타설하는 방수공법으로 합벽구간 방수 공법에서는 방수재료와 후 시공 되는 콘크리트와의 일체화 과정이 핵심기술임
- 공법의 핵심 키워드는 콘크리트와 부착력과 관련하여 친수성과 시공 중 발생하는 구조취약부에 대응하기 위한 재료적 유동성에 있음
- 방수재료의 유동성과 시공 중 방수재료의 형태를 유지하는 기술 등이 요구되며 습윤한 환경에서도 점착, 시공성이 양호해야 함
- 특히, 지하 구조물의 가혹 환경 하에 시공되어야 함으로 콘크리트 시공 전, 중, 후 발생할 수 있는 물리적 영향에 충분한 대응성능을 보유하여야 함

<표 3-4> 국내의 건설 구조물 합벽구간 시공사례

구분	시공위치	내용
건설 구조물 합벽구간 시공사례	- 시트파일 흠막이 벽 - 흠과 접하는 바닥구조물 - 토류판 흠막이 벽 - CIP 흠막이 벽 - 토류판 흠막이 벽 - 흠막이 벽 - 지하구조물 - 지하차도 - 주차장외벽 - 공동구	- 판교 수질복원센터(1) - 판교 수질복원센터(2) - 인천지하철 - 연세대학교 - 서일대학교 - ㈜리뉴시스템 합벽구간 시공사례 - 인천공항 3단계 공사 지하구조물 방수공사(3-5공구) - 화성동탄 도시시설물 1공구(지하차도) - 성남 여수 A2BL 아파트 지하주차장 외벽방수공사 - 경북도청 지하 공동구 방수공사

■ C-1-② : 지하 구조물 합벽구간 시공 환경(유도배수 포함, (수압, 토압, 지하수, 미생물 등) 조사·분석

- 기존의 지하구조물(지하철, 지하보도, 공동구, 공동주택 지하층 등)의 건설은 시공환경 및 경제적 이유로 방수공법과 방수재료를 선택하여 왔으며, 이로 인하여 지하 공간에서의 누수, 지하수 유출, 구조체의 내구성 저하에 따른 안전성 저하가 사회적 문제로 야기되고 있음
- 그동안 사용된 방수공법은 재료 및 시공환경을 반영하지 않고, 단순히 재료적 물성에만 의존하였기 때문에 내구수명에 한계가 있고, 특히 지하라는 물리적 환경에 대한 고려가 없었음
- 합벽구간 외방수 기술은 토류벽, CIP벽 등 다양한 바탕에 시공이 가능하며, 작업공간의 확보가 어려운 도심지 대형구조물 시공에 유리하고 작업 공정중 바탕벽 마감에 필요한 조치와 방수층 관리에 주의가 필요함



▲ 기존 지하구조물의 외방수 시공 모식도

▲ 합벽구간 지하구조물 외방수 시공 모식도

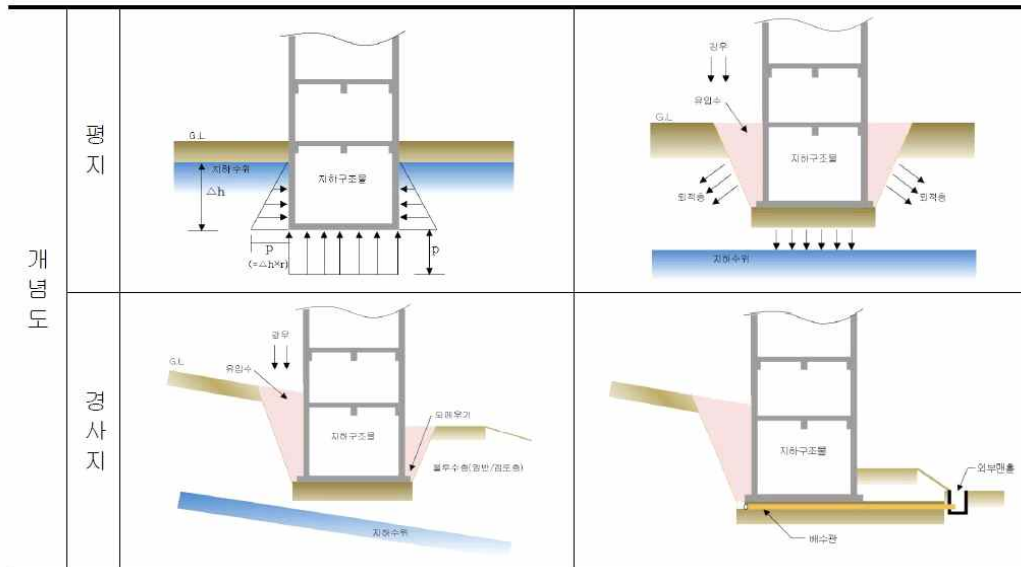
<그림 3-4> 합벽구간 외방수 기술 개념도

- 지하구조물 공사를 위한 입지 분석으로 지하수 및 토양에 포함된 화학적 성분 조건이 방수층에 영향을 미침으로 사전검토가 필요함

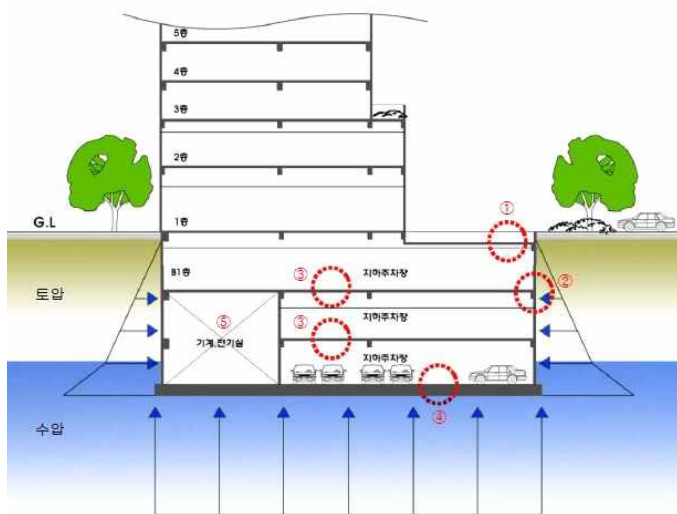
<표 3-5> 건설지역의 지하수 및 토양의 화학적, 물리적 영향 요인

지역	화학적 물리적 영향
하천지역 (내륙)	- 일반적으로 내륙에 형성된 하천지역은 지하수 및 토양 내에 구조체 및 방수층에 나쁜 영향을 미치는 화학적 성분은 적음
해안지역	- 바닷가에 위치하는 지역으로 지하수 및 토양내의 염소이온, 황산염 이온이 포함되어 있음
온천지역	- 온천근처의 지역으로 지하수 및 토양내의 황산염 이온이 포함되어 있음
공업지역	- 산, 알칼리 각종 염류를 생산, 사용하는 지역으로 동식물유, 유기산, 당류 등을 생산 사용하는 지역, 가솔린, 석유 등을 생산, 사용하는 지역에서는 지하수 및 토양에 해당 화학 성분이 포함되어 있음
하수처리지역	- 일반가정 배수처리시설 지역, 공업용 배수처리시설 지역, 하수처리시설 지역에서는 해당 처리수에 다양한 화학적 성분이 포함되어 있음
산악지역	- 일반적으로 산 아래, 기슭이나 중턱지역의 지하수 및 토양에는 방수층에 나쁜 영향을 미치는 화학적 성분은 적으나, 산 위에서 내려오는 지하수의 수압은 크게 작용함

- 수압 및 토압의 영향으로는 부력, 과하중 작용에 의해 바닥 구조체 및 외벽체의 균열, 배부름, 부상 및 변위를 일으키며 이러한 현상은 방수층에 영향을 줌으로 설계 시 고려하여야 함



<그림 3-5> 지하 합벽부위 외방수 기술 적용시 고려되어야 할 수압 및 토압 작용 개요



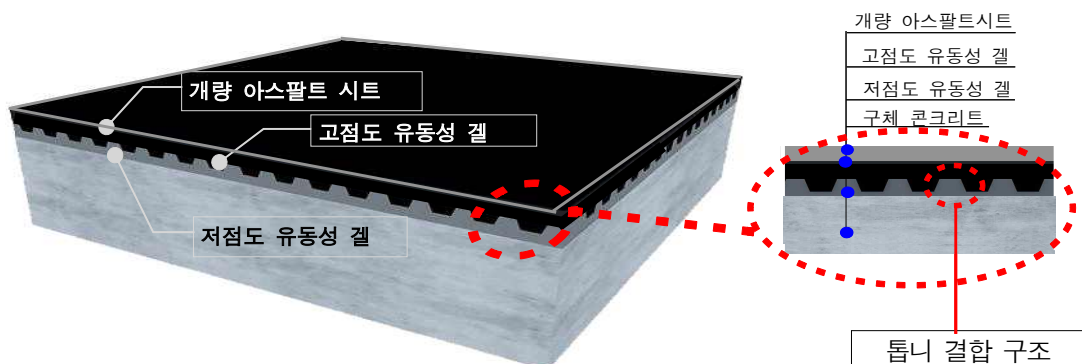
토압과 수압 고려 대상 부위

- ① 지하층 최상부 슬래브
- ② 지하층 외벽(옹벽이 있는 경우 옹벽)
- ③ 지하층 중간 바닥 슬래브
- ④ 지하층 최하부 바닥 슬래브
- ⑤ 지하층PIT,기계·전기실 외벽 및 바닥

<그림 3-6> 토압과 수압 고려 대상 부위

■ E-1-① : 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 제조 및 형성 원리(고분자 재료 메커니즘) 분석

- 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료의 기본 구조로 진동 가압력을 이용하여 프라이머나 열풍 용착 없이 바탕면에 직접 부착하는 기술임



<그림 3-7> 유동성 복합시트 기본 구조도

- 물리적 구조로 고점도와 저점도의 두개의 층을 이루어 상호 미세 톱니구조로 결합된 형태이고, 이러한 구조의 방수적 특성은 바탕면과의 부착성을 향상시키고, 내부 마찰력을 크게하여, 흐름저항성이 큰 지지층 형성을 통한 유동성 겔의 퍼짐방지(두께감소)와 거동대응 및 자가 치유성의 방수적 특성을 보유하도록 함

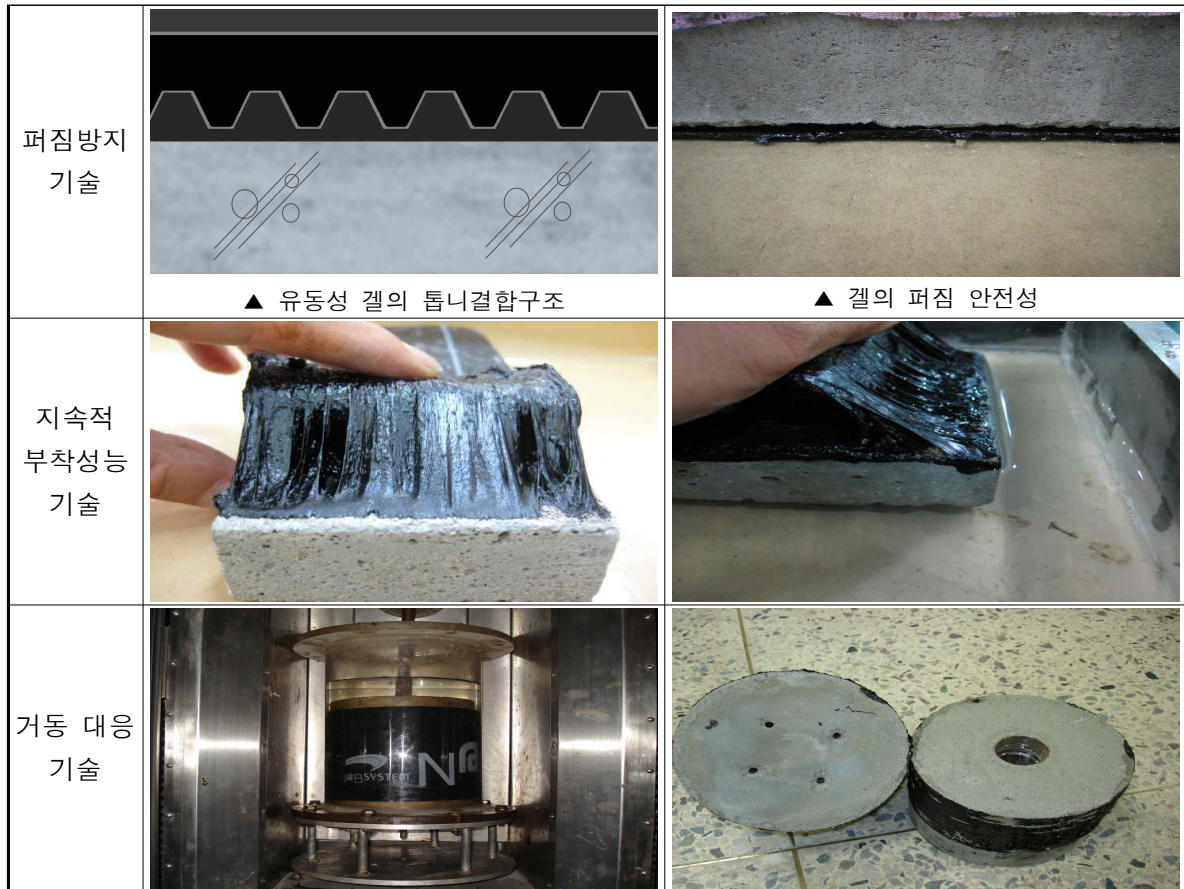
<표 3-6> 유동성 복합재료의 물리적 구조 형성 원리

구 분	유동성 겔의 물리적 구조	
물리적 구조		충격하중이 가해질 때 톱니구조로 결합된 고점도 겔이 격막지지구조를 형성하여 저점도 겔의 퍼짐을 억제한다.
집중하중 시 저항거동		

- 비 배수 내진형 방수 및 보수 · 보강 기능을 융합한 고분자 복합재료의 핵심 기술은 프라이머 도포, 콘크리트 바탕면에 형성된 습기 등의 제거공정 없이 저온에서도 콘크리트 바탕면에 이형지 제거 후 테이프처럼 부착시켜 방수가 완료되게 함으로써 우기철, 동절기 등 시공환경의 제약 없이 시공 할 수 있는 기술로, 기존의 습기제거공정, 프라이머도포공정, 시트의 가열공정 등 시트시공에 필수적인 시공행위를 생략함으로써 간편 시공기술을 실현하여 작업원 시공부실의 가능성을 최소화하고 및 숙련공 확보난을 해소하여 공기절감 및 시공품질 안정성을 확보할 수 있음
- 자가 부착성능, 퍼짐방지 기술, 지속부착 성능 기술, 거동대응 기술을 보유함

<표 3-7> 재료의 성능 요약

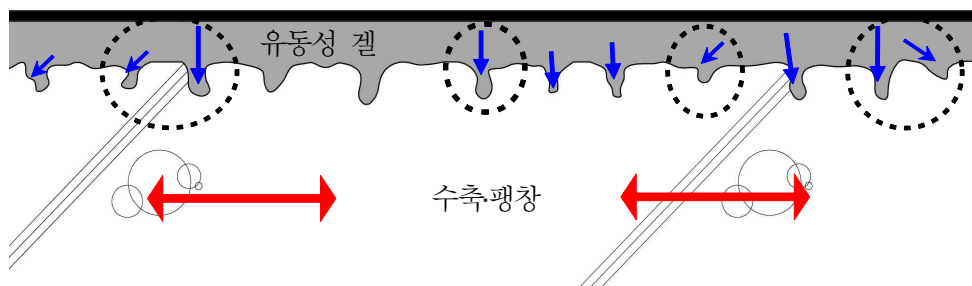
구 분	성능	
자가 부착 성능		
시트 상호간의 부착성능		



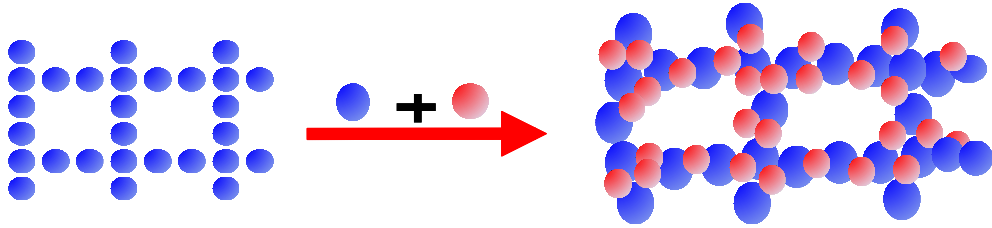
○ 고분자 복합재료의 유동성 겔의 방수적 특성은 저온부착성, 습윤 부착성, 구조물의 거동 대응성을 갖고 있으며 다음의 메커니즘은 다음과 같음

<표 3-8> 유동성 겔의 메커니즘

메커니즘	특성
유동성 겔	- 분자간의 결속력에 의한 내부 중심축을 확보하여 형태를 정형적으로 유지하는 고체상의 물질과 대비되는 물질로, 분자간의 내부저항력(마찰력)에 의해 형태가 유지되는 부정형의 물질임
밀착성	- 중력방향(바탕면)으로 이동하려는 특성으로 오히려 진동 및 거동 등의 외력 발생 시 이에 대응하기 보다는 중력 방향으로의 이동을 더욱 가속시켜 결과적으로 바탕면과의 밀착성을 높이는 특성이 있음
친수성	- 아크릴 아마이드의 친수적 성질을 가지고 있는 성분이 물과 반응 할 경우 물분자와 결합되는 형태로 부피가 팽창하면서 물을 흡수하는 형태의 특성이 있음



<그림 3-8> 유동성 겔의 특성과 구조물거동 대응도



● : (C₃H₅NO) 아크릴 아마이드 ● : (H₂O) 물

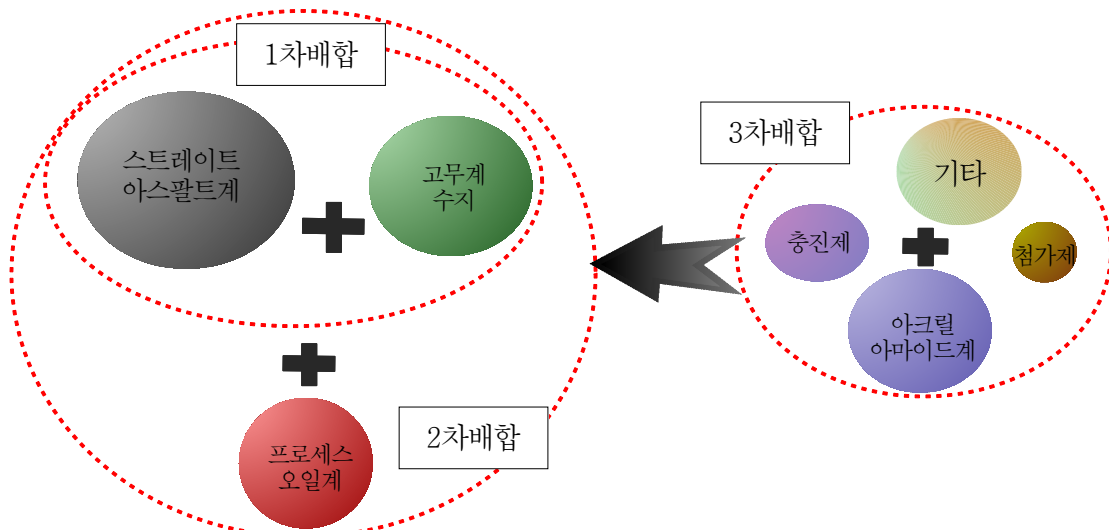
<그림 3-9> 아크릴 아마이드와 물의 분자결합 형태

■ E-2-① / E-2-② : 1차 배합 설계표 및 시제품 도출

- 유동성 겔은 방수재를 바탕면에 부착하기 위해 일시적으로 유동상태를 유지한 상태에서 부착작업을 한 뒤 건조 및 경화(유동상태의 제거) 과정으로 생산되며 재료 설계에 따라 포함되는 구성 성분은 다음과 같음

<표 3-9> 유동성 겔의 구성 성분

구성 성분	스트레이트 아스팔트계	고무계 수지	프로세스 오일계	아크릴 아마이드계	충진제	첨가제	기타
구성비(%)	35~45.5	10~25	8~15	15	8~25	2.5	15



<그림 3-10> 유동성 겔의 제조 공정 개요도

- 총 5차례 배합설계 후 기본 성능 항목(인장, 인열, 부착, 접합성능)의 KS F 4934 품질기준에 따라 시험평가를 실시하여 최종 배합비를 도출함

<표 3-10> 기본 배합 #5 설계 및 성능평가 결과

원료명	배합비(%)	증감(%)
스트레이트 아스팔트	22	-
SBR합성고무	12	-
프로세스오일	20	-
아크릴아마이드	10	-
탄산칼슘	13.5	0.5% 감량
탈크	13.5	-
계면활성제	1	0.5% 증량
PB	8	-
Total	100	-

항 목		성능기준	결 과	
인장 성능	인장성능(N/mm)	3.0 이상	길이	15.5
	신장률(%)	200 이상	나비	16.4
인열성능(N)		25 이상	25.0	25.0
부착 성능	건조바탕(N/mm)	1.5 이상	측정불가	
	습윤바탕(N/mm) (역타설)	-	0.80	
접합성능(투수)		투수되지 않을 것	투수미발생	

■ 2차년도

① 연구 수행 내용

구분	연구 수행 내용			수행 지표 (질적성과지표)
	핵심 목표	단위 목표	수행 내용	
주관	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법	지하 구조물 적용 환경 조건 및 요구 성능 DB	지하 구조물의 주요 요구 성능 평가(거동, 유속, 화학 등) 지표 도출	A-1-③
			지하 구조물의 방수재료 및 공법 적용 환경(수압, 토압, 지하수의 정량적 수치 해석) 조사	A-1-④
			국내외 외방수 시장 규모, 시장성, 국산 화율, 수입대체 효과 등의 조사 및 분석	A-1-⑤
			방수 및 보수·보강 용·복합 고분자 재료의 내진성능(교통하중, 지진 하중 등)의 영향 분석	A-1-⑥
	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법 최종안	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법 최종안	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료의 품질 검증 기본(안) 도출	A-2-②
			논문(국내 학술지 게재)	A-2-③
			논문(국외 SCIE 저널 게재)	A-2-④
	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험 장치	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험 장치	시험장치 지적재산권(특허 출원)	B-1-③
	지하 구조물 합벽구간 외방수 시공기술 적용 현장 시방서	지하 구조물 합벽구간 외방수 시공기술 적용 현장 시방서	현장 적용 시방서(초안) 작성	C-2-①
	방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술의 현장 적용 표준 유지관리 매뉴얼	방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술의 현장 적용 표준 유지관리 매뉴얼	표준 유지관리 매뉴얼(초안) 작성	D-1-①
공동	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 최종 시제품	2차 배합 설계표 도출	E-2-②
			2차 시제품	E-2-③
			최종 시제품 지적재산권(특허 출원)	E-2-⑦
	도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 외방수 시공기술	도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 외방수 시공기술	합벽구간 적용 외방수 시공기술 초안 정립	F-1-①

② 수행 지표별 연구 결과

■ A-1-③ : 지하 구조물의 주요 요구 성능 평가(거동, 유속, 화학 등) 지표 도출

- 지하 구조물에 방수를 요하는 부위를 지하층 상부, 지하층 외벽, 지하층 바닥으로 구분하고 구분된 부위별로 발생 가능한 열화 환경을 자연환경과 인위적 환경으로 구분하여 각각의 주요 요구성능별 대응 성능의 지표를 도출하면 다음 <표 3-11>과 같음

<표 3-11> 지하 구조물 부위별 발생 환경 및 대응 요구 성능 지표 도출

구분	자연 환경	대응 요구 성능	인위적 환경	대응 요구 성능
상부	지상으로부터 전달되는 산성성분의 눈, 비, 우박 등	→ 내화학성능	대기오염	→ 내화학성능
	대기온도	→ 온도안정성능	사람의 보행	→ 내충격성능
	높은 습도	→ 습윤면부착성능	자동차의 주행	→ 내충격성능
	지진 및 여진의 충격	→ 내충격성능 → 내진성능	콘크리트 구조체 거동	→ 거동대응성능 → 내진성능
외벽	지상으로부터 전달되는 산성성분의 눈, 비, 우박 등	→ 내화학성능	콘크리트 구조체 거동	→ 거동대응성능 → 내진성능
	토양 및 지하수의 축압	→ 내투수성능		
	오염된 지하수	→ 내화학성능		
	높은 습도	→ 습윤면부착성능		
	지하수의 흐름(유속)	→ 유실저항성능		
	지진 및 여진의 충격	→ 내충격성능 → 내진성능		
바닥	지상으로부터 전달되는 산성성분의 눈, 비, 우박 등	→ 내화학성능	콘크리트 구조체 거동	→ 거동대응성능 → 내진성능
	토양 및 지하수의 양압력	→ 내투수성능	부동침하	→ 내충격성능 → 거동대응성능 → 내진성능
	오염된 지하수	→ 내화학성능		
	높은 습도	→ 습윤면부착성능		
	지하수의 흐름(유속)	→ 유실저항성능		
	지진 및 여진의 충격	→ 내충격성능		

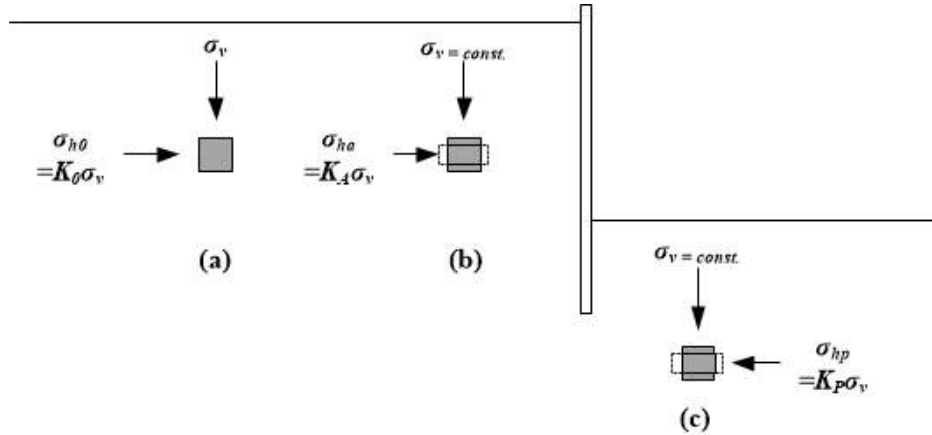
■ A-1-④ : 지하 구조물의 방수재료 및 공법 적용 환경(수압, 토압, 지하수의 정량적 수치 해석) 조사

- 지하 콘크리트 구조물에 시공되는 방수재료 및 공법이 토양과 지하수로 인한 토압, 수압과 흐름성 등의 대응력을 정량적 수치 해석 조사를 통하여 고려하고자 함.
- 지반은 일반적으로 흙 입자, 물, 공기로 구성되어 있으며 이 중 공기는 그 부피 및 무게가 매우 미미함
- 이때, 토압은 흙 입자에 의한 압력(또는 하중), 물에 의한 압력(수압 또는 간극수압, A)으로 구분하여 계산하며, 수압은 항상 작용면에 수직 방향으로 작용됨
- 흙 입자에 의한 압력만 계산할 경우 유효 토압이라고 하며, 전응력(전체토압, u), 유효응력(유효토압, u'), 수압으로 구분함. 즉, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있음

$$u = u' - A \text{ ----- 식 (1)}$$

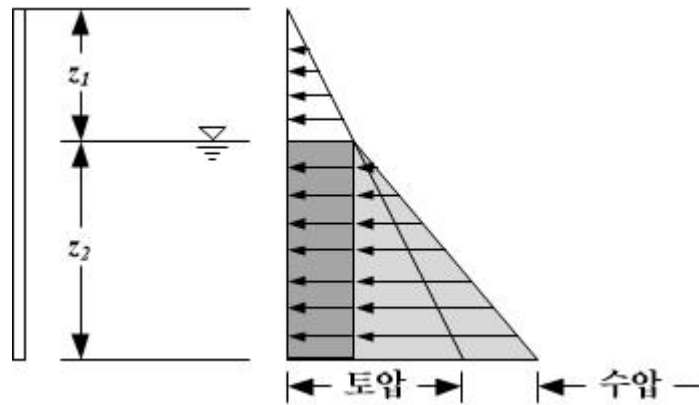
- 지층에 발생하는 토압은 정지, 주동, 수동 토압으로 구분할 수 있으며 정지토압은 다음 <그림 3.11> (a)과 같이 지표면이 수평이고 균질하며 반 무한인 지층 내에 있는 한 요소를 가정하였을 때, 넓은 면적에 흙이 퇴적되어 형성되었으므로 이 요소에는 지금까지 수평 변형이 거의 발생하지 않음
- 이러한 상태에서 자중에 의해 연직면에 작용하는 수평 응력을 정지토압(σ_{h0})이라 함
- 정지토압은 연직응력에 대한 정지 토압의 비로 나타내며, 오롯이 전응력이 아닌 유효응력의 비로 결정됨
- 주동 토압은 흙 요소가 수평 변위가 발생하지 않은 상태, 즉, 정지 토압 상태에서 수평 변위가 발생하면 토압이 변화함. 다음 <그림 3.11> (b)와 같이, 연직토압은 변하지 않는 상태에서 수평토압의 감소에 의한 파괴상태를 주동상태라하고 이 때의 수평토압 σ_{ha} 를 주동토압이라 함
- 수동 토압은 정지토압 상태에서 수평변위가 발생하면 토압이 변화되며, 다음 <그림 3.11> (c)와 같이, 연직토압은 변화없이 수평토압 σ_{hp} 가 증가하여 도달한 파괴상태를 수동상태라하고 이 때의 수평토압 σ_{hp} 를 수동

토압이라 함. 수동토압은 정지토압에 비해 매우 크며, 실제 현장에서 관찰하기 어려움



<그림 3.11> 토압의 개념

- 지하 합벽과 같은 벽체 구조물에는 배면부로부터 전달되는 주동 토압이 작용하며, 다음 <그림 3.12>와 같으며 이 토압(전응력) 역시 유효응력과 수압으로 구분할 수 있음
- 수압은 지하 합벽이 완전 차수벽일 경우, 항상 벽체에 수직방향으로 작용하며, 불완전 차수벽인 경우 그 크기는 감소하게 됨
- 벽체에 작용하는 외력만으로 고려할 때 불완전 차수가 유리하다고 생각할 수 있지만, 이 경우 벽체로 지하수가 유출되어 벽체 배면 지반에 세굴에 의한 동공 등을 유발하여 지반함몰을 유발하는 중요한 원인이 됨
- 이러한 지반침하의 인접 지반에 변형을 일으키고 이는 인접 구조물의 사용성 및 안정성에 직접적인 영향을 미치게 되며 토압은 지반의 종류에 따른 토압계수 및 단위중량, 배면의 각도, 벽체와 지반의 마찰각, 벽체의 높이, 수압 등에 의해 결정되며, 수압은 지하수위, 강우강도 등에 의해 결정됨



<그림 3.12> 토압의 분포

■ A-1-⑤ : 국내외 외방수 시장 규모, 시장성, 국산화율, 수입대체 효과 등의 조사 및 분석

- 현재 국내 방수 시장 규모는 2018년 기준 약 1조 5000억원으로 추산되며, 이 중 건물 옥상이 9000억원, 지하 방수가 4500억원, 기타 방수가 약 1500억원의 규모를 차지하고 있으며, 1) 건축 방수의 경우 부위별 방수시장 규모는 옥상 방수공사 약 60%, 지하 방수공사 약 30%, 기타 실내와 외벽 방수공사가 약 10% 정도로 추산됨
- 방수관련 신기술은은 현재 건축 전 분야에서 활용 공사건수 총 500건으로 백분율로 환산하면 약 21.5 %를 차지하여 타 분야에 비해 건축 시장에서 방수 신기술이 막대한 비율을 차지하며, 방수 신기술 지정 건수 총 44건 중 구체 방수 및 지하 외방수에 관한 신기술 지정건수는 총 12건으로 차지하는 비율이 점점 증가2)하고

1) <http://news.mk.co.kr/v2/economy/view.php?year=2018&no=447951>, 매일경제, 안병준 기자

2) 2019년 건설신기술 활용실적, 한국건설교통신기술협회

있어 향후 비노출 및 지하 외방수 시장 규모는 약 1조원의 규모를 상호 할 것으로 예상됨

- 현재 지하구조물에 적용되는 방수 공법은 크게 구조체의 외부에 방수층을 형성하는 “외방수”와 구조체의 내부에 방수층을 형성하는 “내방수”로 구분됨
- 내방수 공법은 방수성 및 내구성 저하에 따른 하자문제가 발생하며, 이를 방지하기 위해 공간벽 형성 및 유도배수를 통한 성능 향상을 시도했지만, 이는 싱크홀을 야기시키는 새로운 문제 발생으로 국토교통부에서는 공동주택 지하구조물의 방수 설계를 내방수 적용에서 외방수를 적용하는 것으로 개선하였음
- 그러나 건축물이 밀집해 있는 도심지의 경우 지하구조물 건축시 공간적 한계로 인하여 슬러리월 공법과 같은 합벽을 활용한 공법이 적용되었으며, 합벽 설치로 인해 외방수 공법보다는 내방수 공법이 주로 적용 됨
- 이에, 합벽구간과 같은 한정된 공간에서도 기존 내방수 공법 대신 외방수가 가능한 “합벽구간 외방수” 기술이 개발되었으며, 적용되기 시작하였음
- 합벽구간 외방수 기술은 미국, 영국 등과 같은 선진국에서 선행으로 개발되어 국내로 도입되었으며, 국내에서도 후발 주자로 합벽구간 외방수 기술을 개발하여 적용하고 있으나, 아직도 선행기술인 해외 합벽구간 외방수 기술이 국내에서 많은 시장점유율을 확보하고 있고 신흥공업국 및 개발도상국에서도 합벽구간 외방수 기술을 도입하기 시작하여 해외 방수 시장 진출에 있어 선진국과 우리나라의 합벽구간 외방수 기술 경쟁이 예상됨
- 지금까지의 국내외 합벽구간 외방수 기술은 방수 성능 측면만을 중시하여 지하구조체의 진동 혹은 거동에 대한 내진 성능 확보가 이루어지지 않았음. 최근 트렌드인 지하 공간 확대에 따른 안전 융합기술 요구에 응하기 위해서는 구조물 거동 대응 성능뿐만 아니라 내진 성능을 확보한 합벽구간 외방수 기술이 요구되고, 내진 성능을 확보한 기술은 전무함
- 따라서 본 연구 과제인 “도심지 지하수 유출 및 지반 침하 방지를 위한 지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 외방수 기술 개발” 연구를 통해 방수 성능과 내진 성능을 확보한 방수 기술을 개발함으로써, 기존 국내외 합벽구간 외방수 공법과의 기술적 차별성을 확보, 기술적 우위를 선점할 수 있을 것으로 판단됨. 이를 통해 국내시장 점유율은 물론 해외시장 점유율에 확보에 있어 크게 용이할 것으로 보임
- 국내 시장에서는 외방수공법에 대한 국산화율이 현재 100% 진행되어 제조 및 시공 모두 국내 자체 기술로 적용되고 있으며, 우수한 방수 기술력을 바탕으로 국내 시장 및 해외 시장으로의 진출이 늘어나고 있음. 하지만, 현재 개발된 재료 및 공법의 경우 선진국의 방수기술과 동등의 수준으로 시장 확대에 어려움이 있음
- 최근 들어 외방수공법에 대한 필요성 및 요구가 끊임없이 요구됨에 따라 외방수공법에 대한 연구가 전세계적으로 확대되어 중국에서도 외방수공법에 대한 재료 및 제도가 개발된 가운데 선진국을 포함한 많은 나라에서 경쟁이 치열하게 이루어지고 있는 추세임
- 또한 전 세계적으로 기후의 변화 및 지각의 변동으로 인해 많은 지역에서 자연재해가 발생하고 있으며, 이중 지진의 경우 지하구조물에 직접적인 영향을 주고 있어 지하 구조물에 적용되는 많은 재료의 열화를 촉진시키는 열화인자로 작용하고 있으나, 방수재료의 경우 선진국에서조차 구조물의 거동에 대한 안정성 외에 내진성능이 고려된 재료 및 공법의 개발은 이루어지지 않고 있는 실정임
- 이에 내진성능을 고려한 방수재료 및 공법의 개발은 전 세계적으로 많은 필요성을 요구할 것으로 판단되며, 4천 500억의 국내 외방수 시장 및 300억 달러 이상의 세계 멤브레인 방수시장의 진입이 가능하여 국내·외적으로 수입 대체 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단됨

■ A-1-⑥ : 방수 및 보수·보강 용·복합 고분자 재료의 내진성능(교통하중, 지진 하중 등)의 영향 분석

- 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합방수 재료의 시공 시 대응해야 할 지진파를 충격파와 진동 하중 측면에서 기본 영향을 분석하면 다음과 같음.
- 지진 발생 시 지진파를 구분하면 실제파(Body Wave)는 p파(Primary wave)와 S파(Secondary wave)로 구분되고, 표면파(Surface wave)는 러브파(Love wave)와 레일리파(Rayleigh wave)로 구분됨
- 그러나 마감 재료 중 하나인 방수층은 콘크리트 구조물에 전면 혹은 부분 부착 시공되는 구조체가 받는 지진파를 그대로 전달 받고 있는 부재임

- 이러한 측면에서 방수층이 대응해야 할 지진파는 P파가 수평, S파가 수직으로 전달된다는 점을 고려하여 건축물 전체에서 지진하중에 어느 방향에서든 전해질 수 있으므로 방수층에 전달될 수 있는 응력은 상하(y), 좌우(x), 앞뒤(z) 모든 방향에서 전달될 수 있음
- 즉, 콘크리트 구조물의 방수층의 지진 하중 영향의 경우, 충격 측면을 고려한 성능 설계가 필요 할 것으로 판단됨
- 교통진동과 관련하여 주변 건축물에 미치는 영향은 노면 상태, 차량의 무게, 속도 그리고 서스펜션 시스템, 토질의 종류와 층의 구성, 계절적 요인, 도로로부터의 거리, 건축물의 종류 등을 포함하여 상호 연관된 많은 요인들에 의해 좌우되므로 그 평가가 단순하지 않음
- 일반적으로는 도로로부터의 거리가 멀어질수록 진동의 진폭이 감소하나, 원거리일 경우에 있어서도 지반상태 및 지형에 따라 국부적으로 큰 진동이 유발되는 경우(표면파에 위함)도 있으며, 보통 10 ~ 30Hz의 주파수 범위를 갖음
- 또한 노면이 거칠수록 차량의 주행속도가 진동의 크기에 더 큰 영향을 미치게 된다. 서스펜션 시스템의 효과 역시 노면상태와 차량의 속도에 좌우되는데, 주행속도가 낮고 노면이 거칠지 않을 경우에는 서스펜션 시스템에 의한 영향이 크지않은 반면, 주행속도가 높고 노면이 거칠다면 서스펜션 시스템의 영향은 매우 크게 작용할 수 있음
- 교통 진동에 있어서는 지반의 지질과 지층의 구성이 중요하며, 일반적으로 지반의 강성과 감쇠가 작을수록 더 큰 진동이 발생하게 됨
- 충격하중의 경우 지반진동은 대지의 고유 주파수와 일치할 때 가장 높은 진동-23 -수준을 갖게 되며, 대지의 고유 주파수는 토질의 강성과 지층의 구성에 좌우된다. 연구 결과에 의하면, 교통진동에 의한 피해는 층 후 7 ~ 15m의 부드러운 점토질 지반에서 가장 큰 수준을 나타내는데, 이 영역에서 토질의 고유 주파수는 주택이나 바닥의 고유 주파수와 일치하게 되어 공진현상을 유발하게 되므로 진동의 증폭을 발생시키기 때문이라고 보고되고 있음
- 계절요인 역시 교통진동의 발생수준에 다소의 영향을 미칠 수 있고, 차량 주행으로 인한 진동은 건축물의 노후화 과정에 부분적으로 기여할 수는 있어도, 슬래브 및 기초등에 균열과 같은 직접적인 손상의 원인이 될 정도는 아니나 건축물을 구성하는 각 부재들은 지반의 부동침하, 동결융해, 그리고 리노베이션이나 보수 등에 의한 잔류응력을 갖고 있음.
- 이러한 경우, 차량 주행으로 인하여 발생된 낮은 수준의 진동도 그러한 잔류응력에 추가되어 부재를 손상시키는 촉매로 작용할 가능성이 있다는 점에 유의하여야 할 것임
- 철도운행으로 인한 진동은 모든 바퀴들이 진동원으로 작용하기 때문에 장주기의 진동을 발생시키게 되며, 각 차축에 대하여 동일하게 큰 중량을 갖는 기차가 가장 큰 진동을 유발하게 됨.
- 이러한 진동은 다른 진동과 비교하여 낮은 주파수를 갖게 되므로, 상대적으로 작은 진동에 의해서도 건축물 피해가 발생할 가능성이 있음
- 열차 운행속도의 감소에 따른 진동수준의 감소는 70km/h 이하의 속도에서만 의미를 가지며, 그 이상의 속도에서는 속도의 변화에 따른 차이가 크게 없는 것으로 보고되고 있음

■ A-2-② : 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료의 품질 검증 기본(안) 도출

- 본 연구의 지하 구조물 합벽구간 외방수(지하구체 외면 방수공사) 고분자 복합 재료 품질검증 기본(안)으로 “방수재료의 내진성능 시험방법(초안), Test method for seismic performance of waterproofing material” 을 도출함
- 주요 구성 목차는 다음과 같음
 1. 적용범위
 2. 인용표준
 3. 용어의 정의 : 방수층, 내진성능
 4. 시험 : 시험일반 조건, 시험재료, 내진성능 시험체 제작, 시험장치, 시험방법
 5. 검사 : 시험결과의 표시

6. 시험결과의 표현

7. 취급상 주의사항

■ C-2-① : 현장 적용 시방서(초안) 작성

- 지하 구조물 합벽구간 외방수 시공기술 적용 현장 시방서(초안)으로 수행하였으며, 주요 내용은 Part 1. 지하외부 및 합벽부, Part 2. 양면합벽부로 구분하여 공동연구기관 제공으로 현장 적용 특기시방 내용을 중심으로 작성함

■ D-1-① : 표준 유지관리 매뉴얼(초안) 작성

- 지하구조물 합벽구간 적용 지하구체 외면 방수공사 표준 유지관리 매뉴얼(초안)으로 수행하였으며 주요 구성 목적은 다음과 같음

제1장 일반 사항 : 개요, 목적, 적용범위, 용어설명, 매뉴얼의 구성 및 참조 기준

제2장 지하구체 외면 방수공사 이해 : 개요, 지하 구조물에 미치는 열화 환경, 지하구조물 외면 방수공사 요구 성능, 선행공법과 후행공법

제3장 지하구체 외면 방수재료 및 공법 : 아스팔트계, 합성고분자계, 도막계, 시트 및 도막 복합계, 시멘트계 방수공사를 중심으로 지하 구조물 적용 재료 및 공법에 대하여 수록함

제4장 지하구체 외면 방수공사 유지관리 : 지하 구조물의 누수 원인 및 영향, 시공 전·후 유지관리, 누수보수공사, 누수 예방 방수공사 감리 체크리스트

■ E-2-② / E-2-③ : 2차 배합 설계표 및 시제품 도출

- 2차년도 배합 설계는 1차년도에 최종 설계된 배합이 거동대응성능 시험에서 누수가 발생이 됨에 따라 이에 대한 개선한 배합 #5-1을 중심으로 총 5회에 거쳐 배합 설계를 진행함
- 매 배합설계 진행 후 기본 성능 항목(인장, 인열, 부착, 접합성능)의 기초 성능평가를 실시하여 2차년도 최종 배합비를 도출함
- 기본 배합 #5 설계 및 성능평가 결과는 계면활성제를 다시 소폭 증가시키고, 탄산칼슘은 낮춘 결과 부착성능과 인열성능이 어느 정도 증가된 것을 확인하였고, 투수 발생에 따른 보완을 위해 아크릴 아마이드 함량을 다소 낮추면서 투수대응성능이 다시 확보된 것으로 판단됨
- 다만 인장성능이나 신장율은 초기 배합보다 상당히 낮아진 측면이 있으나 성능기준 보다는 다소 높게 유지되고 있으므로 부착성능과의 상관성과 균형을 찾아가는 과정으로 판단됨
- 최종적인 종합성능평가에서 건조바탕면에서의 부착성능이 확보되지 않아 이를 개선할 수 있는 기능성 원료의 검토가 추가로 필요할 것으로 판단됨

<표 3-12> 기본 배합 #5-5 설계 및 성능평가 결과

원료명	배합비(%)	증감(%)
스트레이트 아스팔트	22	-
SBR합성고무	12	-
프로세스오일	19	-
아크릴아마이드	13	2.0% 감량
탄산칼슘	11	1.0% 감량
탈크	13	1.0% 증량
계면활성제	1.5	0.5% 증량
PB	8.5	1.5% 증량
Total	100	-

항 목		성능기준	결 과	
			길이	나비
인장 성능	인장성능(N/mm)	3.0 이상	5.4	5.8
	신장률(%)	200 이상	210	211
인열성능(N)		25 이상	68.4	65.7
부착 성능	건조바탕(N/mm)	1.5 이상	3.35	
	습윤바탕(N/mm) (역타설)	-	1.59	
접합성능(투수)		투수되지 않을 것	투수미발생	

■ F-1-① : 합벽구간 적용 외방수 시공기술 초안 정립

○ 도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 외방수 시공기술 초안을 다음과 같이 수행함

1. 개요
2. 방수공사 시 공통적 고려사항
3. 재료 : 방수재 선정, 부속자재
4. 시공 : 일반사항, 방수시공 시 고려사항, 역타설 방수시트의 시공 방법, 방수재 품질시험 및 관리, 방수층 보호, 되메우기, 안전 및 방화관리

■ 3차년도

① 연구 수행 내용

구분	연구 수행 내용			수행 지표 (질적성과지표)
	핵심 목표	단위 목표	수행 내용	
주관	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법 최종안	1차, 2차, 최종 배합 설계 방수재료+품질 검증 시험 방법 및 장치를 이용한 성능(물성) 평가 및 결과분석	A-2-⑤
			방수재료의 내진성능 시험방법(최종안) 도출	A-2-⑥
			논문(국외 SCIE 저널 게재)	A-2-⑦
	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험 장치	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험 장치	시험장치 지적재산권(특허 등록)	B-1-④
	지하 구조물 합벽구간 외방수 시공기술 적용 현장 시방서	지하 구조물 합벽구간 외방수 시공기술 적용 현장 시방서	현장 적용 시방서(최종안) 작성(모니터링 내용 포함)	C-2-②
			지하 구조물의 부력이 외방수에 미치는 영향 분석 및 안전성 검토	C-2-③
			지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 외방수 기술의 Test Bed Mock-up 시험평가 및 결과 모니터링	C-2-④
	방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술의 현장 적용 표준 유지관리 매뉴얼	방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술의 현장 적용 표준 유지관리 매뉴얼	표준 유지관리 매뉴얼(최종안) 작성	D-1-②
			방수성능 등급화 방안 제시	D-1-③
공동	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 최종 시제품	최종 배합 설계표 도출	E-2-⑤
			최종 시제품	E-2-⑥
			최종 시제품 지적재산권(특허 등록)	E-2-⑧
	도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 외방수 시공기술	도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 외방수 시공기술	합벽구간 적용 외방수 시공기술 최종안 작성	F-1-②

② 수행 지표별 연구 결과

■ A-2-⑤ : 1차, 2차, 최종 배합 설계 방수재료+품질 검증 시험 방법 및 장치를 이용한 성능(물성) 평가 및 결과분석

○ 본 연구 수행을 통하여 수행된 비배수 내진형 고분자 복합방수재료의 성능(물성) 평가는 1차년도, 2차년도

재료 배합 설계표를 반영하여 당초 연구개발계획서에 명기된 품질관리 규격 KS F 4935(점착 유연형 고무아스팔트계 누수보수용 주입형 실링재), LH표준시방서(구조물거동대응성) 시험방법에 의거하여 진행함

- 당해 연도는 비배수 내진형 고분자 복합방수재료를 대상으로 한 품질 관리 시험방법 및 검증 장치 개발이 완료됨에 따라 동적시험장치에 의한 진동대응성능(물성) 평가를 실시함
- 다만, 1차, 2차 배합 설계와의 비교 대조를 위해 기본 성능(물성) 항목을 설정하여 진행함

(1) 기본 성능(물성) 평가

- 주관기관인 건설기술연구소와 타 시험기관인 한국화학융합시험연구원(KS 인증기관)에서 실시한 기본 성능(물성) 평가 결과 다음 <표 3-13> 과 같이 도출됨
- 이를 종합하면 기존 유사 표준 품질 기준(KS F 4917)에는 모두 만족하고 있으나 강도와 신장률에 있어 물성 특성에 따라 상호 반비례적 경향으로 강도가 높을 경우 신장률이 저하되고 신장률이 높을 경우 강도가 저하되는 경향을 보이고 있음
- 이는 각 시험 기관에서 사용한 장치와 현장 상황에 따라 다소 차가 있는 것으로 판단됨

<표 3-13> 기본 성능(물성) 평가 결과 비교

성능(물성) 평가 항목			단위	시험결과		성능기준 (KS F 4917)	
시험 항목		세부 시험 항목 및 방법		건설기술연구소	KTR		
인장성능	인장강도	무처리-길이방향	N/mm	17.8	14.1	8.0 이상	
		무처리-너비방향	N/mm	18.1	13.1		
	신장률	무처리-길이방향	%	32	48	15 이상	
		무처리-너비방향	%	35	46		
인열성능	인열강도	무처리-길이방향	N	172	178	20 이상	
		무처리-너비방향	N	177	203		
온도안정 성능	겉모양	흘러내림, 발포 발생 확인	육안관찰	이상 없음	이상 없음	이상 없음	
	흘러내림길이	흘러내림 길이 측정	mm	2.1	2.2	5 mm 이하	
	굴곡저항성능	잔금 발생 확인	육안관찰	이상 없음	이상 없음	이상 없음	
내 화학 처리 후 인장성능	알칼리	인장 강도	무처리-길이방향	N/mm	17.7	14.7	무처리의 80%, 최저 60%이내
			무처리-너비방향	N/mm	13.1	13.3	
		신장률	무처리-길이방향	%	36	49	
			무처리-너비방향	%	32	39	
	염산	인장 강도	무처리-길이방향	N/mm	18.1	14.6	
			무처리-너비방향	N/mm	14.2	12.9	
		신장률	무처리-길이방향	%	37	56	
			무처리-너비방향	%	34	41	
	염화나 트륨	인장 강도	무처리-길이방향	N/mm	18.8	14.1	
			무처리-너비방향	N/mm	14.8	12.8	
		신장률	무처리-길이방향	%	35	52	
			무처리-너비방향	%	39	47	

(2) 진동(내진) 대응성능시험 평가

- 1차 시험은 본 연구를 통하여 재해석한 방수층 요구응답스펙트럼으로 정의한 회전, 각도, 속도의 구동특성을 평가하기 위하여 시멘트계, 우레탄계, 자착식고무계 방수재료를 대상으로 실시한 결과 그 결과 사전 예상과 같이 시멘트계, 우레탄계, 자착식고무계 방수재료 순으로 대응력이 확인됨
- 이를 토대로 2차 시험을 통하여 시트도막 복합방수재료 2계열(우레탄도막복합방수재료, 비배수 내진형 복합방수재료)을 대상으로 시험 평가한 결과 우레탄도막 복합방수재료는 우측 회전, 각도 3°, 속도 30 RPM의 응력 발생 범위에서 파단 되었고 본 연구를 통하여 개발된 비배수 내진형 복합방수재료는 우측 회전, 각도 5°, 속도 20 RPM의 응력 발생 범위에서 파단이 나타났고, 접합부 늘어난 길이는 3 mm 미만에서 담수 시험 결과 누수되지 않았고, 3 mm 이상에서 누수가 확인됨

- 이에 본 시험평가 결과를 반영하여 멤브레인 방수층의 진동대응성능 시험방법 내 시험결과의 판정 기준으로 접합부 늘어난 길이를 3 mm 미만으로 설정함
- 다만, 이는 우레탄도막과 비배수 내진형 복합의 단순 비교에 의한 것이므로 현재 다양한 재료적 특성에 따라 개발이 진행되고 있는 타사 제품과의 비교 분석을 통하여 표준적인 회전, 각도, 속도 구동 범위가 설정되어야 함

(3) 연구개발 기술(유동성 겔)과 유사기술의 경제성 비교 분석

- 연구개발기술(유동성 겔)과 유사 기술 3Type을 선정하여 다음 <표 3-14>와 같이 경제성을 비교하여 분석함
- 다만, 본 자료는 단순 시공단가에 대하여 비교·분석한 것으로 공법, 시공, 유지관리 등의 종합적인 LCC 비교 개념 측면을 반영할 경우 연구개발 기술이 향상된 기술로 판단됨

<표 3-14> 연구개발 기술과 유사기술의 경제성 비교·분석 자료

(방수층 두께 : 2 mm 기준)

구분	연구개발 기술1) (유동성 겔)	유사 기술		
		폴리아스 공법2)	NT Sheet 공법3)	Smart Sheet 공법4)
바닥	47,214	165,423 (주입형)	44,830	36,984
벽체	49,531		49,568	39,878

※ 관련근거

- 1) 2022년 1월 물가정보, p.177
- 2) 2021년 10월 종합물가정보, p.247
- 3) 2021년 10월 종합물가정보, p.221
- 4) 2021년 10월 종합물가정보, p.249

■ A-2-⑥ : 방수재료의 내진성능 시험방법(최종안) 도출

- 2차년도에 수행한 초안을 토대로 <그림 3-13>과 같이 수행함

멤브레인 방수층의 진동대응성능 시험방법 최종안 - Test method for vibration response performance of membrane waterproof layer - 2021. 12 연구기관 주관연구기관 : 서울과학기술대학교 산학협력단 공동연구기관 : ㈜나비티앤씨	- 목 차 - 1. 적용범위 01 2. 인용표준 01 3. 용어의 정의 01 3.1 멤브레인 방수층 01 3.2 진동 대응 성능 01 4. 시험 02 4.1 시험 일반 조건 02 4.2 시험 재료 02 4.3 진동대응성능 시험편 제작 02 4.4 시험장치 04 4.5 시험방법 04 5. 검사 05 6. 시험결과와 표현 06 7. 취급상 주의 사항 06
---	--

<그림 3-13> 방수재료의 진동대응성능 시험방법 최종안

○ 수정 및 보완된 최종안의 내용은 <표 3-15>와 같음

<표 3-15> 진동대응성능 시험방법 수정대비표

구분	초안(2차 년도)	최종안(3차 년도)
제목 변경	방수재료의 내진성능 시험방법 Test method for seismic performance of waterproofing material	멤브레인 방수층의 진동대응성능 시험방법 Test Method for vibration respons performance of membrane waterproof layer
인용표준 추가	-	AIK-S-001-2019 복합열화 및 구조체 거동이 동시 작용하는 환경에서의 방수층 성능 시험방법
용어의 정의 수정	방수층 내진성능	멤브레인 방수층 진동대응성능
4. 시험 내용 수정 및 추가	4.3 내진성능 시험체 제작	4.3 진동대응성능 시험편 제작
	4.4 시험 장치	구동 범위 수정 및 보완
	4.5 시험 방법	회전, 각도, 속도 내용 추가 및 보완
5. 검사	5.1 시험 결과의 판정	진동대응성능 1~5 등급 보완 시험 결과의 판정 수정

■ C-2-② : 현장 적용 시방서(최종안) 작성(모니터링 내용 포함)

○ 2차년도에 수행한 초안을 토대로 <그림 3-14>와 같이 수정 및 보완하여 최종안 도출함

지하 구조물 합벽부위 적용 현장 시방서 최종안 2021. 12 연구기관 주관연구기관 : 서울과학기술대학교 산학협력단 공동연구기관 : ㈜나비티앤씨	1. 일반사항 1.1 적용범위 본 시방은 설계도면이 지정하는 비배수 내진형 복합방수시트의 지하 구조물의 합벽부위에 적용한다. 1.2 공법 개요 비배수 내진형 복합방수시트는 유동특성을 지닌 점착물질로 고정도 및 저점도 겔과 개량아스팔트시트를 일체화 시켜 생산된 공장 제작 물형태의 복합방수시트를 현장에서 바탕정리 후 점착물질의 도막층의 보호제인 이형제만 제거하고 마당면에 바로 부착시킨다. 1.3 적용 범위 비배수 내진형 복합방수시트는 지하 구조물의 외벽 부위와 상부슬래브에 적용하며 특히, 합벽 및 양벽 부위에 적용한다. 1.4 참조 규정 KS F 4917 개량 아스팔트 방수시트 KS F 4935 점착 유연형 고무 아스팔트계 누수보수용 주입형 실링제 KS F 2400 콘크리트 타설 일체 부착형 자확식 시트 방수제 시험방법 KS F 2822 멤브레인 방수층의 성능평가 시험방법 KS F 3211 건식용 도막방수제 KS F 4922 폴리우레아수지 도막방수제 KS L 5201 포틀랜드 시멘트 KS L 5207 내화물용 알루미나 시멘트의 물리 시험방법 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법 AIK-S-001-2019 복합열화 및 구조체 거동이 동시 작용하는 환경에서의 방수층 성능 시험방법 1.5 제출물 1.5.1 시공 상세 도면 구조물 형태 및 부위별 방수시공에 있어 다음 부위 상세도를 제출하여야 한다. - 지하 기초바닥 및 코너 부위, 상부 슬래브 및 코너 부위, 벽체, 시공이음 부위, H라이프 관동부위, 보강부위 등 1.5.2 제품 자료 - 3 -
---	--

<그림 3-14> 지하 구조물 합벽부위 적용 현장 시방서 최종안

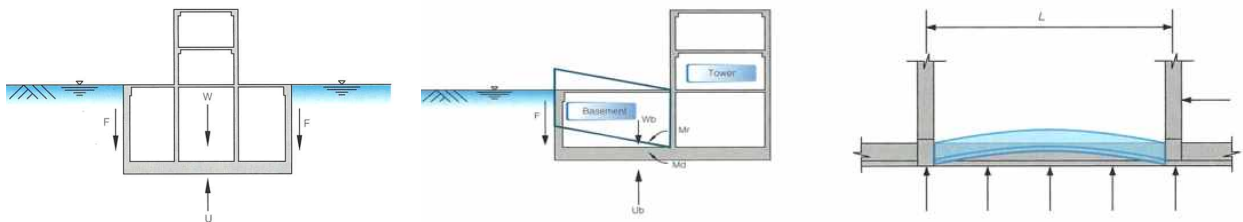
○ 3차년도에 수정 및 보완된 최종안 주요 내용은 <표 3-16>와 같음

<표 3-16> 현장적용 시방서 수정대비표

초안(2차년도)	최종안(3차년도)
- (주)나비티엔씨(공동연구기관)의 현장 적용 특기 시방서 원문 제출	⇒ 지하 구조물 합벽부위 적용 현장 시방서로 제목을 설정하고 관련 내용을 추가 및 수정 보완함 ⇒ 최종 구성 목차는 다음과 같음 1. 일반사항 1.1 적용범위 1.2 공법개요 1.3 참조규격 1.5 제출물 1.6 성능요구사항 1.7 품질보증 1.8 운반 및 보관, 취급 1.9 환경요구사항 2. 재료 2.1 비배수 내진형 복합방수시트 2.2 부속 자재 2.3 자재 품질관리 3. 시공 3.1 시공순서 3.2 시공 상세도 3.3 현장 품질관리

■ C-2-③ : 지하 구조물의 부력이 외방수에 미치는 영향 분석 및 안전성 검토

- 지하 공간 개발에 있어 인접지반의 지하수위가 구조물의 바닥보다 높으면, 수위차 만큼의 수압에 의해 구조물 하부에 양압력이 발생되며, 양압력이 구조물에 작용할 경우 구조물의 형상에 따른 자중 분포, 바닥 슬래브의 스펠 간격에 따라 구조물 하부균열 또는 파괴현상이 발생할 수 있음
- 양압력에 의해 구조물에 균열 또는 파괴현상이 발생 가능한 사례는 구조물 건물자중이 비대 칭 구조로 인해 불균형을 이루는 경우와 바닥슬래브의 기동 간 스펠이 길어 휨모멘트가 발생하는 경우가 발생되며, 이에 대한 양압력에 대한 요소들을 검토할 필요함



<그림 3-15> 지하 구조물에 발생하는 양압력 원리와 불균형 및 장스팬 구조물에 발생가능한 양압력에 따른 휨모멘트 원리

- 본 연구 수행을 통한 사례를 중심으로 지하 구조물의 부력이 외방수에 미치는 안정성 검토 결과 지하수위와 방수 도포량에 따른 저항 용량을 단순 비교한 사례를 적용할 때 수압이나 부력은 시공된 외방수 표면에 직접적으로 영향을 주는 것이 아님
- 다만, 지하 구조물의 구조체에 영향을 끼칠 수 있으며 합벽 시공 중에 발생한 관통균열 사이를 통하여 외방수 시공면에 영향을 줄 수 있을 것으로 판단됨
- 이러한 검토는 외방수 공법은 상기와 같이 지하수위에 따른 양압력과 토압에 대한 대응성을 발휘하고 있으나 관통 균열이 있는 부위에는 지하 다양한 진동 및 거동 등에 따라 외방수 시공면이 손상되어 누수가

발생할 수 있음

- 일반적으로 지하 건축 구조물에 사용되고 있는 내방수에 있어서는 지하 방수의 취약점 때문에 일부 벽체에서 누수가 발생할 수 있는 요인이 외방수 보다는 많을 것으로 판단됨
- 따라서, 부력의 양압력에 인한 마찰력이 직접적으로 외방수의 구조안정성에 미칠 수 있으나, 내방수 보다는 외방수 시공이 하자 발생률을 저하시킬 수 있을 것으로 판단됨

■ C-2-④ : 지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 외방수 기술의 Test Bed Mock-up 시험평가 및 결과 모니터링

- 3차년도 연구 수행을 통하여 개발 완료된 비배수 내진형 복합방수공법은 “부산도시철도(사상-하단) 1공구 건설공사(T/K)”에 적용되어 Test Bed Mock-up 모니터링을 진행함
- 이에 대한 현장 개요는 다음과 같으며 상세 내용은 증빙자료 8 Test Bed Mock-up 시험평가 및 결과 모니터링 보고서 참조

① Mock-Up 기술 명칭

- 지하 구조물 합벽 구간 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 외방수 기술

② 현장 명칭

- 부산도시철도(사상-하단) 1공구 건설공사(T/K) 구조물 방수공사

③ 공사 기간

- 2019.02.08.~2023.12.31.

④ 현장 위치

- 부산광역시 사상구 학장동 772



⑤ Mock-Up 시공 일자 및 규모

- 시공일자 : 2021.05.07.~2021.9.3.
- 규모 : 422㎡ (바닥 170㎡, 합벽 252㎡)

■ D-1-② : 표준 유지관리 매뉴얼(최종안) 작성

○ 2차년도에 수행한 초안을 토대로 <그림 3-16>와 같이 수행함

지하구조물 합벽구간 비배수 내진형 외방수 기술의 표준 유지관리 매뉴얼 2021. 12 연구기관 주관연구기관 서울과학기술대학교 산학협력단 공동연구기관 (주)나비티앤씨	- 목 차 - 제1장 일반사항 1. 개요 01 2. 목적 01 3. 적용범위 01 4. 용어 설명 01 5. 매뉴얼의 구성 및 참조 기준 04 제2장 지하구조물 합벽방수공사 1. 개요 07 2. 지하구조물의 합벽방수공사 08 3. 지하구조물에 영향을 주는 열화 환경 16 4. 지하구조물의 합벽방수공사에 요구되는 성능 32 제3장 지하구조물 적용 방수재료 및 공법 1. 아스팔트계 방수공사 38 2. 합성고분자계 시트 방수공사 46 3. 도막계 방수공사 57 4. 시트 및 도막 복합계 방수공사 68 5. 시멘트계 방수공사 75 제4장 지하구조물의 합벽방수공사 유지관리 1. 지하 구조물의 누수 원인 및 영향 68 2. 시공 전·후 유지관리 71 3. 누수 보수 공사 74 4. 누수 예방 방수공사 관리 체크리스트 81 - 2 -
--	--

<그림 3-16> 표준 유지관리 매뉴얼 최종안

○ 수정 및 보완된 최종안의 내용은 <표 3-17>과 같음

<표 3-17> 표준 유지관리 매뉴얼 수정 대비표

구분	초안(2차년도)	최종안(3차년도)
제목 변경	- 지하구조물 합벽구간 적용 지하구체 외 면 방수공사 표준 유지관리 매뉴얼	⇒ 지하구조물 합벽구간 비배수 내진형 외방 수 기술의 표준 유지관리 매뉴얼
제2장 구성 내용 및 체계 수정	1. 개요 1.1 지하구조물 외면 방수공사 1.2 지하구조물 외면 방수공사의 필요성 및 목적 2. 지하 구조물에 미치는 열화 환경 2.1 입지분석 2.2 수압 및 토양의 영향 2.3 화학 물질의 영향 3. 지하 구조물 외면 방수공사 요구 성능 4. 선행공법과 후행공법	⇒ 1. 개요 1.1 지하구조물의 외방수공사 1.2 지하구조물 외방수공사의 필요성 및 목적 ⇒ 2. 지하구조물의 합벽방수공사 2.1 개요 2.2 합벽부위 방수공사 고려사항 2.3 합벽방수의 재료 및 공법 선정 시 고 려사항 2.4 합벽 방수재료 2.5 합벽 방수시공 ⇒ 3. 지하구조물에 영향을 주는 열화 환경 3.1 입지분석 3.2 수압 및 토압의 영향 3.3 자연 환경 3.4 인위적 환경 3.5 누수 균열 환경 ⇒ 4. 지하구조물의 합벽방수공사에 요구되 는 성능

- 특히, 본 연구수행 과정에서 사용된 싱크홀, 내진형, 정지토압, 주동토압, 수동토압, 지하수압, 외방수, 합벽 방수 등의 용어에 있어 관련분야 전문의 자문을 통한 의견을 반영하여 다음 <표 3-18> 와 같이 정의하고 범위를 설정함

<표 3-18> 주요 용어의 정의 및 범위 설정

주요 용어	정의 및 범위 설정	비고
싱크홀	⇒ 싱크홀은 갑작스런 지반의 함몰 또는 침하의 한 종류로, 일반적으로 지하수의 영향으로 인하여 석회암 지반이 용해되어 석회암에 동공이 발생 및 확장되어 상부 및 인접 지반이 세굴되어 발생한다. 일반적으로 석회암 지반으로 구성되어 있는 곳에서 발생 빈도가 높으며 대표적으로 국내에는 강원도 삼척, 영월, 해외에서는 플로리다가 있다. 그림 1에서 보듯이, 싱크홀은 석회암과 지하수의 화학작용으로 인해 발생하는 자연현상으로서, 공사현장의 강재 배수로 인해 발생하는 지하수 유출에 따른 지반의 함몰, 침하, 세굴 등과는 발생 원인이 다르다. ⇒ <u>본 연구개발과제는 지하 합벽 구간의 재료 및 공법의 한계성으로 인해 외방수 공법 적용이 어려운 대부분의 건축 구조물에 강재 배수에 따른 지하수 유출로 인해 토사 지반이 세굴되고 그에 따른 지반함몰이 발생하는 경우를 방지하기 위한 지하 구조물의 합벽 구간 비 배수 내진형 외방수 기술을 개발하는 과제로서 본 연구개발과제에 사용된 ‘싱크홀’ 용어는 ‘지반함몰(침하)’로 정의한다.</u>	※ 본 연구개발에 있어 당초 사용된 “싱크홀” 용어를 “지반 침하”로 수정함
내진형	⇒ 하중은 물체가 외부로부터 힘을 받았을 때의 힘을 외력 또는 하중이라 한다. 하중은 정하중, 동하중으로 구분할 수 있으며, 정하중은 크기와 방향이 일정한 사하중, 매우 긴 시간 동안 천천히 작용하는 하중을 점가하중이 대표적이다. 동하중은 활하중(반복하중), 충격하중, 변동하중으로 구분할 수 있으며, 활하중(반복하중)은 일정한 진폭 및 주기로 반복작용하는 하중을 말하며, 하중의 크기와 방향이 주기적으로 변하는 교번하중, 하중이 0에서 일정 크기로 주기적으로 작용하는 편진 하중으로 구분된다. 충격하중은 매우 짧은 시간 동안 급격하게 가해져서 진동을 가져오는 하중을 말하며, 매우 활하중에 비해 매우 짧은 진폭 및 주기를 보인다. 마지막으로 변동하중은 시간과 더불어 규칙적으로 변하는 하중을 의미한다. 본 연구개발과제의 대상인 지하 합벽과 같은 토목 구조물에 작용하는 동하중은 활하중(반복하중)이 일반적이며, 지진, 윤하중(차량의 주행), 풍하중 등이 있다. 콘크리트 구조체의 수축과 팽창은 동하중 또는 진동으로 고려하지 않는다. ⇒ 내진 설계는 내진, 면진, 제진으로 구분할 수 있으며, 내진은 구조물의 강성을 증가시켜 동하중에 저항하는 방법을 의미하며 주로 구조물의 단면 증대를 통해 이루어진다. 면진은 건물과 지반사이에 전단변형 장치를 설치하여 지반과 건물을 분리시켜 동하중에 저항하는 방법으로 이를 통해 건축물의 고유주기를 인위적으로 증가시켜 동하중과 구조물의 공진을 방지하고 구조물의 진동을 감소시키는 방법이다. 제진은 구조물의 내부 또는 외부에서 진동에 저항할 수 있도록 제어하여 진동을 저감 또는 감쇠하는 방법이다. ⇒ <u>본 연구개발과제의 대상은 지하 합벽의 경우 내진설계에 해당될 것으로 추측되며, 동하중으로부터 대응 가능한 외방수 재료 및 공법이 갖추어야 할 품질의 범위로 정의한다.</u>	
정지토압, 주동토압, 수동토압	⇒ 정지 토압이란 그림 3(a)과 같이 지표면이 수평이고 균질하며 반무한인 지층 내에 있는 한 요소를 가정하였을 때, 대단히 넓은 면적에 흙이 퇴적되어 형성되었으므로 이 요소에는 지금까지 수평변형이 발생한적이 없다고 볼 수 있다. 이	

	러한 상태에서 자중에 의해 연직면에 작용하는 수평응력을 정지토압(σ_{h0})이라 한다. 정지토압은 연직응력에 대한 정지토압의 비로 나타내며, 오롯이 전응력이 아닌 유효응력의 비로 결정된다. 전응력과 유효응력에 대한 정의는 아래에 기술한다. ⇒ 주동토압이란, 흙 요소가 수평변위가 발생하지 않은 상태, 즉, 정지토압 상태에서 수평변위가 발생하면 토압이 변화한다. 그림 3(b)와 같이, 연직토압은 변하지 않는 상태에서 수평토압의 감소에 의한 파괴상태를 주동상태라하고 이 때의 수평토압 σ_{ha}를 주동토압이라 한다. ⇒ 수동토압이란 정지토압상태에서 수평변위가 발생하면 토압이 변화되며, 그림 3(c)와 같이, 연직토압은 변화없이 수평토압 σ_{hp}가 증가하여 도달한 파괴상태를 수동상태라하고 이 때의 수평토압 σ_{hp}를 수동토압이라 한다. 수동토압은 정지토압에 비해 매우 크며, 실제 현장에서 관찰하기 어렵다. 그림 3. 토압에 대한 개념 ⇒ 지하 합벽과 같은 벽체 구조물에는 배면부로부터 전달되는 주동토압이 작용하며, 이 토압(전응력) 역시 유효응력과 수압으로 구분할 수 있다(그림 4). 수압은 지하 합벽이 완전 차수벽일 경우, 항상 벽체에 수직방향으로 작용하며, 불완전 차수벽인 경우 그 크기는 감소하게 된다. 벽체에 작용하는 외력만으로 고려할 때 불완전 차수가 유리하다고 생각할 수 있지만, 이 경우 벽체로 지하수가 유출되어 벽체 배면 지반에 세굴에 의한 동공 등을 유발하여 지반함몰을 유발하는 중요한 원인이 된다. 이러한 지반함몰은 인접 지반에 변형을 일으키고 이는 인접 구조물의 사용성 및 안정성에 직접적인 영향을 미치게 된다. 전토압은 지반의 종류에 따른 토압계수 및 단위중량, 배면의 각도, 벽체와 지반의 마찰각, 벽체의 높이, 수압 등에 의해 결정되며, 수압은 지하수위, 강우강도 등에 의해 결정된다. 그림 4. 토압의 분포	
진동	⇒ 일반적으로 지반 공학에서 진동과 지진은 발생시간, 근원지 등이 상이한 상호 다른 측면의 움직임이라 할 수 있다. ⇒ 다만, 본 연구는 기초적인 지진 공학적 접근을 통한 건축 부재에 직·간접적으로 부착시공되어 있는 방수층에 있어 지진에 대응하는 성능(내진성능)을 갖춘 방수재료 및 공법을 개발하고, 품질관리할 수 있는 시험장치 개발 등의 목적으로 수행하고 있으므로 진동의 범위를 지진을 포함한 건축 구조물에서 발생하는 모든 움직임(수축팽창 거동, 차량 및	

	철도의 진동 등)을 포괄하여 진동으로 정의한다.	
지하 수압	⇒ 지반은 흙 입자, 물, 공기로 구성되어 있으며 이 중 공기는 그 부피 및 무게가 매우 미미하다. 따라서, 전체 토압은 흙 입자에 의한 압력(또는 하중), 물에 의한 압력(수압 또는 간극수압, A)으로 구분하여 계산하며, 수압은 항상 작용면에 수직방향으로 작용한다. 흙 입자에 의한 압력만 계산할 경우 유효토압이라고 하며, 전응력(전체토압, u), 유효응력(유효토압, u'), 수압으로 구분한다. 즉, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.	
외방수	⇒ 일반적으로 지하 구조물의 누수 안정화를 위해 구조체(외벽, 최하부 바닥) 외면에 방수층을 형성하는 것을 말하며 일부 토목 구조물을 제외한 대부분의 건축 구조물의 경우 방수 효과를 거의 기대할 수 없는 내방수 시공이 적용되고 있음	
합벽 방수	⇒ 일반적으로 맞벽이라고 하며 건축법 제59조 1항에서 정의한 둘 이상의 건축물 벽(대지경계선으로부터 50 cm 이내인 경우)을 말하는 것으로 도심지 등에서 지하 구조물에 외방수 시공 시 충분한 터파기가 어려운 경우 말뚝(CIP, PHC 등), 토류벽 등에 형성되는 방수층을 말함	

■ D-1-③ : 방수성능 등급화 방안 제시

(1) 방수성능 등급화의 필요성

- 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 적용 가능한 방수성능 등급화는 본 연구에서 제안 하는 품질관리 평가 방법의 결과에 따른 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술의 현장 적용 및 유지관리에 적용 가능한 등급화 방안을 제시함
- 현재 성능의 등급 (Grading Index) 시스템은 다양한 분야에서 적용되고 있으며 건설 구조물에 사용되는 방수재료의 경우 사용용도, 환경, 품질 및 다양한 성능에 대한 항목을 정리하여 실재 현장에 적용할 수 있는 공법 제공 가능함에 따라 본 연구 결과를 토대로 비배수 내진형 외방수 기술의 품질기준을 반영한 등급화가 요구됨

(2) 기존 등급화 사례

- ① 지진 발생의 리터 규모에 대한 등급 구분
- 내진설계에서 사용되고 있는 리터 규모 (Richter magnitude scale)에 따른 지진 발생 정도에 따라 <표 3-19>과 같이 단위 시스템으로 지진파의 측정 에너지를 추정하는 방법이 적용되고 있음

<표 3-19> 리터 시스템의 규모별 단위 설명

리터 규모 단위	규모별 설명
1.0 ~ 2.0	지진계가 감지할 수 있는 정도
2.1 ~ 4.9	땅이 조금 흔들리는 정도 (여진)
5.0 ~ 5.9	전봇대가 파손되는 정도
6.0 ~ 6.9	땅이 뚜렷하게 흔들리고 주택 등이 무너지는 정도
7.0 ~ 8.9	땅이 심하게 흔들리는 정도 아파트 등 큰 빌딩이 무너지는 정도
9.0 ~ 9.9	땅이 넓게 갈라지고 지면이 파괴되는 정도

② 국내의 내진 등급과 중요도 계수

- 국내의 건축 구조물 내진설계기준은 건축구조기준(KDS 41 00 00) 중 KDS 41 17 00¹⁾(건축물 내진설계기준)에 의거하여 반영하고 있음
- 본 기준에서 명기하고 있는 내진 설계 절차는 ① 지진위험도, 내진등급, 성능목표의 결정, ② 내진구조계획, ③ 지진력저항시스템 및 설계계수의 결정, ④ 지진하중의 산정, ⑤ 구조해석, ⑥ 해석결과의 분석, ⑦

구조시스템과 부재에 대한 강도설계, ⑧ 부재 및 연결부의 구조상세에 대한 설계, ⑨ 필요시 비선형 해석에 대한 결과 검증, ⑩ 비구조요소에 대한 설계에 대하여 명기하고 있음

- 내진등급 및 성능목표는 구조물이 기본적으로 낮은 지진위험도에 대하여 기능을 유지하고, 높은 지진위험도의 지진에 대해서는 붕괴를 방지함으로써 인명의 안전을 확보하는 것을 내진설계 원칙으로 하고 있음
- 높은 내진등급의 건축물은 중요도를 고려하여 상향된 지진위험도로 내진설계를 수행함
- 건축물의 내진등급과 중요도 계수는 KDS 41 10 05에서 정의된 건물의 중요도를 고려하여 <표 3-20>에 따라 건물의 내진등급과 내진설계 중요도 계수를 결정함

<표 3-20> 내진등급과 중요도 계수

건축물의 중요도	내진등급	내진설계 중요도 계수
중요도(특)	특	1.5
중요도(1)	I	1.2
중요도(2), (3)	II	1.0

③ 미국의 내진 성능 등급 시스템

- 지진의 규모에 대한 이해와 분류는 리터 규모 시스템을 의존하나, 구조물의 유형, 크기, 주변환경, 지진의 비빈도 및 다양한 구조물의 요구성과 그에 따른 환경성의 상황은 나라별로 다르며, 이에 대책으로서 구조물의 내진 성능 등급은 유형은 년도 및 국가의 현황에 맞게 다름
- 미국의 내진 성능 등급은 미국 연방재난관리청 (Federal Emergency Management Agency)의 발취되는 건축법에 따라 구조물의 설계, 건설, 변경 및 유지 관리를 규율하며 규정함
- 미국에서는 대부분의 주와 지역 관할 구역에서는 자체 코드를 형성하고 유지 관리하기보다 ICC(International Code Council)에서 유지관리하는 시스템을 건물 코드로서 채택하며, ICC의 국제 코드 제품군에는 다음이 포함함
 - 국제 건축법(IBC): 거의 모든 유형의 신축 건물에 적용.
 - 국제 주거 코드(IRC): 신규 1, 2가구 및 3층 이하 타운하우스에 적용
 - IEBC(International Existing Building Code): 기존 구조물의 변경, 수리, 추가 또는 점유 변경에 적용.
- 미국의 IBC, IRC 및 IEBC 코드 내의 일부 조항은 구조물이 지진이 노출되는 동안 지진력에 적절히 저항할 수 있는지를 평가하기 위해 만들어진 정책 시스템이며 이러한 지진 규정은 구조물로서 지진 위험을 제한하기 위해 설계, 재료선정 및 평가, 건설하는지에 대한 지침을 나타내고 있음
- 이중에 2020년도에 제정된 NEHRP Provisions Edition Volume I 및 Volume II에서 조 11.6 Seismic Design Category<그림 3-17>에 준수하여 구조물의 내진 성능 등급을 규정함

TABLE 11.6-1 Seismic Design Category Based on Short-Period Response Acceleration Parameter

Value of S_{DS}	Risk Category	
	I or II or III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 \leq S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

TABLE 11.6-2 Seismic Design Category Based on 1-s Period Response Acceleration Parameter

Value of S_{D1}	Risk Category	
	I or II or III	IV
$S_{D1} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 \leq S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{D1}$	D	D

<그림 3-17> 미국 NEHRP 코드에 따른 구조물 내진 성능 등급 시스템

④ 뉴질랜드의 내진 성능 등급 시스템 사례

- 2010년 이후로 뉴질랜드에서는 지진이 금전적, 사회적 측면에서 더 넓은 지역사회에 미치는 위험에 대한 인식이 높아졌으며, 점점 더 많은 엔지니어들이 지진 발생 시 건물이 제기할 수 있는 위험을 설명해야 하는 상황이 발생하고 있음
- 건물 등급 시스템을 엔지니어와 대중이 지진 위험을 이해하는 데 도움이 되는 도구로서 개발함
- 뉴질랜드에서 사용되는 지진 등급 시스템은 New Building Standard 또는 %NBS의 백분율로 표기하며 건물 전체에 부여되는 등급은 달성된 새로운 건물 표준의 백분율로 표시되며, 인명 안전과 관련하여 건축법(건축 규정 1992의 별표 1)에 따라 동일한 부지의 새 건물에 적용되는 최소 기준과 비교하여 기존 건물의 예상 지진 성능 평가를 기반으로 함 (<그림 3-18> 참조)

Percentage of New Building Standard (%NBS)	Building Grade	Approx. Risk Relative to a New Building	Life-Safety Risk Description
>100	A+	<1 times	Low risk
80 – 100	A	1 – 2 times	Low risk
67 – 79	B	2 – 5 times	Low to Medium risk
34 – 66	C	5 – 10 times	Medium risk
20 – 33	D	10 – 25 times	High risk
<20	E	more than 25 times	Very high risk

<그림 3-18> 뉴질랜드 지정 위험 등급 시스템

(3) 비배수 내진형 복합방수공법의 품질기준 등급화 제시

- 본 연구를 통하여 연구·검토된 비배수 내진형 복합방수공법에 있어 진동대응성능 시험방법을 이용한 각 구동범위에 따른 대응력을 반영하여 <표 3-21>와 같이 등급화를 제시함
- 이에 대한 상세 내용은 증빙자료 4 멤브레인 방수층의 진동대응성능 시험방법 참고

<표 3-21> 진동대응성능 시험 결과의 등급화 판정

구 분	시험 결과
진동대응성능 1	5단계 구동 후 육안관찰, 늘어난 길이 3 mm 미만 일 경우
진동대응성능 2	4단계 구동 후 육안관찰, 늘어난 길이 3 mm 미만 일 경우
진동대응성능 3	3단계 구동 후 육안관찰, 늘어난 길이 3 mm 미만 일 경우
진동대응성능 4	2단계 구동 후 육안관찰, 늘어난 길이 3 mm 미만 일 경우
진동대응성능 5	1단계 구동 후 육안관찰, 늘어난 길이 3 mm 미만 일 경우

■ E-2-⑤ / E-2-⑥ : 최종 배합 설계표 도출 / 최종 시제품

- 유연성의 추가 확보를 위해 무기질 충전제 함량을 감량하고, 프로세스 오일 함량을 증량하여 추가 배합을 진행함
- 현재까지 현저한 부착강도의 저하는 확인되었으나, 거동 대응성능이 점차적으로 증가되는 것을 확인함에 따라 거동에 따른 수밀성 확보를 위한 부착성능은 충분한 것으로 판단됨
- 다만, 프로세스 오일의 증량이 친수성 저하에 원인이 되는 것으로 판단하여 추가적인 부착성능의 저하를 방지하지 위하여 친수성 확보를 위한 계면활성제 함량을 증량하는 것으로 배합설계를 진행함

- 성능검토 결과, 계면활성제의 추가를 통해 부착성능의 저하가 억제된 것으로 확인하였으며, 프로세스 오일의 증량으로 거동에 대한 대응성이 향상되어, 거동 대응성이 모두 만족하는 것으로 확인됨
- 따라서 배합설계의 우선 목적이었던 적정 거동 대응성이 확보된 것으로 확인되어, #6-5 배합을 최종 배합비로 제시함

<표 3-22> 기본 배합 #6-5 설계 및 성능평가 결과

원료명	배합비(%)	증감(%)	항 목			성능기준	결 과
스트레이트 아스팔트	21	-	거동대응 성능	역타설	습윤면	누수되지 않을 것	누수됨
SBR합성고무	10.5	0.5% 감량					
프로세스오일	26	1.0% 증량		일반	건조면	누수되지 않을 것	누수되지 않음
아크릴아마이드	13	-			습윤면		누수되지 않음
탄산칼슘	9	-	부착성능 (N/mm)	일반	건조면	-	0.37
탈크	10	1.0% 감량			습윤면		0.39
계면활성제	2.0	0.5% 증량		역타설	습윤면	-	0.42
PB	8.5	-					
Total	79.5	-					

■ F-1-② : 합벽구간 적용 외방수 시공기술 최종안 작성

- 3차년도 수행 주요 수행 내용은 다음과 같음
 - 상세 내용은 증빙자료 11 (최종안)합벽구간 적용 외방수 시공 기술 참고
1. 개요
 2. 합벽부위 방수공사 고려사항
 - 2.1 지하 구조물 방수공사 공통사항
 - 2.2 방수재료 및 공법 선정 시 고려사항
 3. 재료
 4. 시공
 - 4.1 일반사항
 - 4.2 방수 시공 시 고려사항
 - 4.3 역타설 방수시트의 시공방법
 5. 기타 사항 : 시공기간, 방수재 품질시험 및 관리, 안전 및 방화 관리 등

지하 구조물 합벽부위 외방수 시공기술 최종안

2021. 12

연구기관

주관연구기관 : 서울과학기술대학교 산학협력단

공동연구기관 : ㈜나비티엘씨

■ 목 차 ■

1. 개요	01
2. 합벽부위 방수공사 고려사항	01
3. 재료	03
4. 시공	04
5. 기타사항	06

-표목차-

[표 1] 시공순서 -1	10
[표 2] 시공순서 -2	11
[표 3] 시공 상세도 -1	12
[표 4] 시공 상세도 -2	13

<그림 3-19> 지하구조물 합벽부위 외방수 시공기술 최종안

(3) 정량적 연구개발 성과

■ 1차년도 연구 성과 목표 및 달성도

(단위 : 편, 건, 명, 천원)

구분		목표	달성치	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI				
	비SCI				
	계				
국내 논문 게재	SCI				
	비SCI				
	계				
특허 출원	국내				
	국외				
	계				
특허 등록	국내				
	국외				
	계				
인력 양성	석사				
	박사				
	계				
기술 이전	계약 건수				
	계약액				
	징수액				
국제 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
국내 표준화	기고서 제출				
	기고서 채택				
	표준안 채택				
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문	1	1	100%	
	연구시설·장비				
	기술요약정보	1	1	100%	
	생명자원	생명정보			
		생물자원			
		신 품 종			
	소프트웨어				
	화학물				
기타	시제품	1	1	100%	
	성과 홍보	1	1	100%	
	일자리 창출				

■ 2차년도 연구 성과 목표 및 달성도

(단위 : 편, 건, 명, 천원)

구분		목표	달성치	달성도(%)	비고	
국외 논문 게재	SCI	1	2	200%	초과 달성	
	비SCI					
	계	1	1			
국내 논문 게재	SCI	1	1	100%		
	비SCI					
	계	1	1			
특허 출원	국내	2	2	100%		
	국외					
	계	2	2			
특허 등록	국내					
	국외					
	계					
인력 양성	석사					
	박사					
	계					
기술 이전	계약 건수					
	계약액					
	징수액					
국제 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
국내 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		1	2	200%	추가 달성 ① 성능평가보고서 ② 유지관리 매뉴얼
	연구시설·장비		1	1	100%	연구장비 설계도면
	기술요약정보		1	4	300%	추가 달성 ① 2차년도 성과증빙 자료집 ② 방수재료의 내진성능 시험방법(안) ③ 성능평가보고서 ④ 유지관리 매뉴얼
	생명자원	생명정보				
		생물자원				
		신품종				
	소프트웨어					
	화학물					
기타	시제품		1	1	100%	
	성과 홍보		1	1	100%	
	일자리 창출					

■ 3차년도 연구 성과 목표 및 달성도

(단위 : 편, 건, 명, 천원)

구분		목표	달성치	달성도(%)	비고	
국외 논문 게재	SCI	1	2	200%	초과 달성	
	비SCI					
	계	1	2			
국내 논문 게재	SCI					
	비SCI					
	계					
특허 출원	국내	-	1	-	초과 달성	
	국외					
	계	-	1			
특허 등록	국내	2	2	100%		
	국외					
	계	2	2			
인력 양성	석사					
	박사					
	계					
기술 이전	계약 건수					
	계약액					
	징수액					
국제 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
국내 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		1	3	300%	초과 달성 ① 기본 성능(물성) 평가보고서(1건) ② 진동대응성능 평가보고서(1건) ③ Test Bed Mock-up 시험평가 및 결 과 모니터링 보고서(1건)
	연구시설·장비		1	1	100%	(특허중) 방수재료의 내진성능 시험장치
	기술요약정보		1	4	400%	초과 달성 ① 방수재료의 진동대응성능 시험방법 최종안(1건) ② 현장 적용 시방서 최종안(1건) ③ 표준 유지관리 매뉴얼 최종안(1건) ④ 합벽구간 적용 외방수 시공기술 최 종안(1건)
	생명자원	생명정보				
		생물자원				
		신품종				
	소프트웨어					
	화학물					
기타	시제품		2	3	300%	초과 달성
	성과 홍보		1	1	100%	
	일자리 창출					

4) 세부 정량적 연구개발 성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Joint-or Crack-Opening Resistance Evaluation of Waterproofing Material and System for Structural Sustainability in Railroad Bridge Deck	MDPI Materials Journal	오규환/박용걸	Materials 2020.13.4229;doi:10.3390/ma13194229	스위스	MDPI Materials Journal	SCI	2020.10	1996-1944	50
2	지하구조물 외벽에 적용되는 방수재료의 구조체 거동 및 진동 대응성설계 제안연구	한국구조물진단유지관리공학회는 문집	김수연	Vol.24, No.1	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	국내 SCI	2020.02	pISSN 2234-6937 eISSN 2287-6979	100
3	A Study on the Waterproofing Performance Gradation through of Standard Test Data of Self Adhesive Rubberized Asphalt Sheet Strain	MDPI applied sciences	유재용/오상근	Appl.Sci. 2020,10,7857;doi:10.3390/app10217857	스위스	MDPI Applied sciences Journal	SCI	2020.11	1996-1944	50
4	Concentration Ratio Analysis of Different Waterproofing Materials during Concrete Crack Movement	MDPI Materials Journal	오규환/김수연	Materials 2021.Vol ume 14, Issue 16,4429	스위스	MDPI Materials Journal	SCI	2021.08	1996-1944	50
5	Anti-Seismic Performance Evaluation of Waterproofing Materials for Underground Pile Wall Structures	MDPI Materials Journal	이승진/김수연	Materials 2021.Vol ume 14, Issue 19,5719	스위스	MDPI Materials Journal	SCI	2021.08	1996-1944	50

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명
1	(사)한국건축시공학회 추계학술발표	지하 구조물 합벽구간에 적용되는 방수재료의 내진성능설계를 위한 기초 자료조사 연구	김수연	2019.11.01	한국교통대학교	대한민국
2	(사)한국건축시공학회 추계학술발표	지하구조물 합벽구간 적용 외방수 재료 및 시공기술 현황 분석	김명지	2019.11.01	한국교통대학교	대한민국
3	(사)한국건축시공학회 추계학술발표	방수층에 전달되는 진동요구응답스펙트럼을 재해석 한 성능평가 시험장치 개발에 관한 연구	김수연	2021.11.12	The-K호텔	대한민국
4	(사)한국건축시공학회 추계학술발표	합벽구간 및 지하구조물 외벽에 사용되는 방수재료 내진 성능실험방법	오규환	2021.11.12	The-K호텔	대한민국

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식
1	2019	구조물거동대응성 능 시험장치 및 방법 외	비 배수 내진형 합벽구간 적용 복합방수재료의 시험 장치 개발을 위한 기존 기술정보 요약함	40	-	-	미완성	-	-
2	2020	방수재료의 내진성능 시험방법(안)	본 연구의 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합 방수재료에 대한 품질 검증 시험방법	60	-	-	미완성	-	-
3	2020	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합방수재료의 현장 적용 시방서	비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합 방수재료의 현장 적용 시공방법	55	-	-	미완성	-	-
4	2020	2차년도 시제품의 성능평가보고서	2차년도 최종 배합비 반영 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합 방수재료의 성능검증 보고서	90	-	-	미완성	-	-
5	2021	방수재료의 진동대응성 시험방법 최종안	본 연구의 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 복합 방수재료에 대한 품질 검증 시험방법 최종안	100	-	활용	-	활용	PDF 파일
6	2021	현장 적용 시방서 최종안	본 연구의 지하구조물 합벽구간 외방수 기술 적용 시방서 최종안	100	-	활용	-	활용	PDF 파일
7	2021	유지관리 매뉴얼	본 연구의 지하구조물 합벽구간 외방수 기술 적용 유지관리 매뉴얼 최종안	100	-	활용	-	활용	PDF 파일
8	2021	외방수 시공기술 최종안	본 연구의 지하구조물 합벽구간 외방수 기술 최종안	100	-	활용	-	활용	PDF 파일

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호
1	2019	성과증빙자료집	2019.11	-
2	2019	성능평가 보고서	2019.11	-
3	2020	2차년도 성과증빙 자료집	2020.10	-
4	2020	성능평가 보고서	2020.10	-
5	2021	기본물성 성능평가 보고서	2021.12	-
6	2021	진동대응성능평가 보고서	2021.12	-

[기술적 성과]

□ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	방수재료의 내진성능 시험장치 및 방수재료의 내진성능 시험방법	대한민국	서울과학 기술대학 교 산학협력 단	2020.10.2 1	10-2020- 0137096	김수연 오상근 강효진	2021.08.1 2	제10-229 1425호	100	활용
2	특허	분리된 복층구조의 방수구조체 및 이를 이용한 복층방수공법	대한민국	(주)나비티 엔씨	2020.01.0 1	10-2020- 039945	장혁수	2021.10.1 5	제10-231 5961호	100	활용
3	특허	2액형 아스팔트 방수 조성물과 이를 포함한 방수시트 및 이를 이용한 방수공법	대한민국	(주)나비티 엔씨	2021.10.1 2	1-2005-0 01952-1	-	-	-	-	활용 예정

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	방수재료의 내진성능 시험장치	2021.10.15	서울과기대	서울과기대	품질시험	-	-	-
2	비배수 내진형 복합방수시트 최종배합비	2021.11.17	(주)나비티엔씨	(주)나비티엔씨	합벽방수재료 및 공법	-	-	-
3	Test Bed(부산지하철 합벽구간 현장 시공)	2021.11.17	(주)나비티엔씨	(주)나비티엔씨	현장 적용	-	-	-

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)
1	비배수 내진형 복합방수공법	2021.11.17	부산교통공사	(주)나비티엔씨	부산지하철 합벽구간

[사회적 성과]

□ 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	지침	신규	현장 적용 시방서	2021.12	현장 시방서
2	지침	신규	합벽구간 적용 외방수 시공기술	2021.12	시공 기준

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)									
			학위별				성별		지역별			
1	공학박사	2022	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권
			1				1		1			

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)
1	2021	국가기술표준원	KS 제정	점착형 복합 방수시트	김수연	48,000

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	2019년 한국건축시공학회 추계학술 특별세션(성과보고회)	한국시공학회 추계학술발표 논문집	(국토교통기술촉진연구사업) 사회이슈 해결유형 및 국제공동연구 시장개척형 연구 성과 발표회	2019.11.11
2	2020년 한국건설방수학회 성과발표회	한국방수학회 발표논문집	2020년 한국건설방수학회 성과발표회	2020.11.27
3	2021년 한국건축시공학회 추계학술 특별세션	한국시공학회 추계학술발표 논문집	(국토교통기술촉진연구사업) 사회이슈 해결유형 및 시장개척형 국제공동연구 성과 발표회	2021.11.12

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관
1	-	장영실국제과학문 화상	방수재 내진성능 평가 기술	금상	2021.10.29	(사)과학선현장영실 선생기념 사업회

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)
1	서울 과기 대	방수재료 내진성능 시험장치	-	○	×	×	2021.10.15	20,000	서울과기대

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○ 본 연구 내용을 토대로 국내표준(KS) 제정을 진행 중에 있으며 관련 내용은 다음과 같음

- 표준명 : (가칭) 점착형 복합 방수시트(Adhesive Composite Waterproofing Sheet)
- 참여기업 : (주)대흥산업 외 5개 민간기업
- 현재 진행 상황 : 성능평가 항목 선정 및 표준(안) 작성 단계

3.2 목표 달성 수준

연구개발목표	달성내용	달성도(%)
비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험방법 개발	- 방수재료의 진동(내진)대응성능 시험방법 최종안	100
비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 품질관리 시험 장치 개발	- 방수재료의 내진성능 시험장치(특허 제10-2291425호) - 방수재료의 내진성능 시험장치 시제품 제작	100
지하 구조물 합벽구간 외방수 시공기술 적용 현장 시방서 기준 개발	- 지하 구조물 합벽부위 적용 현장 시방서 최종안	100
방수 및 보수보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술의 현장 적용 표준 유지관리 매뉴얼 개발	- 지하구조물 합벽구간 비배수 내진형 외방수 기술의 표준 유지관리 매뉴얼 최종안	100
비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 고분자 복합재료 개발	- 분리된 복층구조의 방수구조체 및 이를 이용한 복층방수 공법(특허 제10-2315961호) - 2액형 아스팔트 방수 조성물과 이를 포함한 방수시트 및 이를 이용한 방수공법(특허출원 1-2005-001952-1)	100
도심지 지하 구조물 합벽구간 적용 가능한 외방수 시공기술 개발	- 지하 구조물 합벽부위 외방수 시공기술 최종안	100

4. 목표 미달 시 원인분석(해당 시 작성)

- 해당 없음 -

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 본 연구에서 개발한 기술은 연구시작 시점인 2019년의 1차년도에 실험단계인 TRL 3으로 시작하여 종료 시점인 현 3차년도에 당초 계획의 실용화 단계로 진입하여 현장 적용 및 Test Bed Mock-up 진행 완료 됨

구분		1차년도	2차년도	3차년도	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	☐	☐	☐	TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	☐	☐	☐	TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	■	■	■	TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	■	■	■	TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	☐	■	■	TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	☐	■	■	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	☐	■	■	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	☐	☐	■	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	☐	☐	☐	TRL 9	현장적용/사업화 단계

- 이에 대한 근거로 증빙자료 8 Test Bed Mock-up 시험평가 및 결과 모니터링 보고서를 제출함

- 관련 기본 정보는 다음과 같음

① Mock-Up 기술 명칭

- 지하 구조물 합벽 구간 비 배수 내진형 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 외방수 기술

② 현장 명칭

- 부산도시철도(사상-하단) 1공구 건설공사(T/K) 구조물 방수공사

③ 공사 기간

- 2019.02.08.~2023.12.31.

④ 현장 위치

- 부산광역시 사상구 학장동 772



⑤ Mock-Up 시공 일자 및 규모

- 시공일자 : 2021.05.07.~2021.9.3.
- 규모 : 422㎡ (바닥 170㎡, 합벽 252㎡)

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

- 본 연구를 통하여 개발된 “지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 방수·보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술”의 활용에 있어 현장 적용은 다음과 같음.

활용 1 :	기존 지하 구조물(지하철, 지하철도, 지하터널, 공동구, 공동주택 지하 등)의 강제배수처리 방법 대체 적용 → <u>지하수 유출 및 지반 침하 예방 효과</u>
활용 2 :	도심지의 협소한 지하구조물 외방수 시공기술 적용 → <u>합벽구간의 외방수 시공 가능</u>
활용 3 :	지하의 열악한 시공 환경 조건 및 여건 반영 → <u>방수·보수·보강 기능을 융합한 고분자 용·복합 방수재료 및 시공기술 활용</u>
활용 4 :	외방수 시공 현장의 유지관리 적용 → <u>방수·보수·보강 기능을 융합한 고분자 용·복합 방수재료 및 시공기술의 품질관리 방법, 장치 활용</u>

- 또한 본 연구 성과의 실용화 및 제품화를 위하여 총 3차년도 동안 1~3차에 거쳐 배합 설계에 대한 성능평가 및 결과분석을 실시함에 따라 최적 배합비를 도출함
- 현장 적용성 평가에 있어서도 3차년도에 현장 시공 Mock-up 시험 평가 및 이를 모니터링을 진행함
- 이와 같이 다양한 성능 평가와 현장 적용성 검증을 통하여 개발된 “지하 구조물 합벽구간 비 배수 내진형 방수·보수·보강 기능을 융합한 복합재료 및 외방수 시공기술”은 기존에 하나의 단일 개념의 방수, 보수, 보강 기능을 융합할 수 있도록 연구함
- 이러한 개념적 사고의 전환을 통하여 미래 건설 환경 변화를 위한 전략 수립의 중심적 원천기술을 확보할 수 있도록 함
- 또한, 신개념의 연구 진행의 성과(용·복합 고분자 복합재료의 특허, 품질관리 시험방법 및 시험장치의 특허)에 대한 사업화, 기술이전 등을 계획·진행할 수 있음
- 특히, 본 연구 개발을 통하여 도출된 고분자 복합재료(유동성 겔)의 주요 재료 특성 중 하나로 기존 방수 재료(경화형 도막재)와 달리 경화되지 않는 비경화 상태의 고점도와 저점도 겔타입의 방수재료로 지하의 가혹 자연 환경과 시공 환경에서 지하 합벽 및 외벽 부위(외방수)에 방수층 형성이 가능한 재료임
- 즉, 비경화성 특성의 물리적 형성원리와 재료적 메커니즘(아스팔트+고무수지+프로세서 오일+아크릴 아미드+충진제+기타 첨가제)에 따라 콘크리트 구조체의 균열(약 3 mm 미만)에는 대응 가능함
- 이는 본 연구에서 개발된 내진성능 시험장치를 이용하여 평가 한 결과(연구성과 증빙자료집 p89~93) 경화 형태의 우레탄도막복합방수시트의 경우 3단계(각도 3°, 속도 30 RPM) 구동 시점에서 누수됨이 확인되었고, 점착형 복합방수시트(유동성 겔)의 경우 5단계(각도 5°, 속도 20 RPM) 구동 시점에서 누수됨이 확인됨에 따라 기존 경화형 방수재료에 비경화 형태의 고분자 복합재료(유동성 겔)가 진동 대응력이 있는 것으로 확인됨
- 특히, 시험 과정에서 관찰(연구성과 증빙자료집 p93의 4.7항 시험 결과 분석 및 고찰) 내용에 명기한 바와 같이 반복적인 늘고 줄은 상황에서 누수되지 않는 것으로 보아 기존 방수층에 비해 진동에 대한 대응력은 다소 높은 것으로 확인됨
- 본 연구 개발을 통하여 기술적, 경제적, 산업적, 사회적 기대 할 수 있는 효과는 다음과 같음

■ 기술적 측면

- 최근 보도되고 있는 사회적 문제점 중 하나인 지하수 유출 및 지반 침하의 예방 기술
- 도심지 합벽구간의 외방수 시공 기술 적용의 새로운 방향성 제시
- 경년변화(노후화)에 따른 도심지 지하 구조물 합벽구간의 방수공사 시공 한계 극복 효과
- 열악한 지하 환경 대응 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 재료 및 시공기술 구축
- 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 신 개념의 용·복합재료 및 외방수 기술 개발을 통한 미래 지하 대 공간 건축 기술 선도 가능성 기대

■ 경제적·산업적 측면

- 기존 지하구조물의 강제 배수 시스템 적용으로 지하수 고갈, 지반 침하 발생, 인체 유해 인자(라듐, 미생물 등) 유출에 따른 사회적 문제 예방
- 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 재료 및 기술 개발로 유지관리 비용 절감

■ 사회적 측면

- 사회적 이슈로 보도되고 있는 지반 침하 방지 기술로서의 민원 발생 예방 효과
- 신개념의 재료 및 시공 기술 적용에 따른 지하수 고갈 문제 예방 효과
- 방수 및 보수·보강 기능을 융합한 재료 및 시공 기술 개발로 사용자 삶의 질 향상과 생활 환경 만족도 증진에 기여

7. 참고 문헌

- [1] 김수연, 김명지, 오상근.(2020) “지하 구조물 외벽에 적용되는 방수재료의 구조체 거동 및 진동 대응 성능 설계 제안 연구”, 한국구조물진단유지관리공학회 논문집, 제24권, 제1호, pp. 43.
- [2] 국토교통부, (2019) “건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00), 건축구조기준, pp. 72~87
- [3] 국토교통부, (2019) “구조기준 총칙(KDS 41 10 05), 건축구조기준, pp. 7~8
- [4] 박종선(2021), “점착형 복합방수시트의 구조물거동대응성능 시험방법 개선 연구”, 서울과학기술대학교 주택도시대학원 주택도시건축공학과, 석사학위논문, pp 20~34
- [5] 김수연, 나미옥, 이승진, 김명지, 오상근.(2019) “지하 구조물 합벽구간에 적용되는 방수재료의 내진성능설계를 위한 기초 자료조사 연구”, 한국건축시공학회 가을학술발표대회 논문집 pp. 221
- [6] 국토교통부 건축정책과, (2015) “건축물 진동기준 조사 연구” 최종보고서, 대한건축학회
- [7] Department of environmental and conservation, (2006) “Assessing vibration : a technical guideline”, Sydney, Australia
- [8] 김종현, (2013), “터널 상부 구조물의 열차 진동 영향 평가” 서울과학기술대학교 산업대학원 구조공학과 석사학위논문, pp 3
- [9] A.L.Smith, S.J.Hicks and P.J.Devine(2009) “Design of floor vibration:A new approach”, Steel Construction Institute(SCI) Publication, Berkshire, UK
- [10] 김종현, (2013), “터널 상부 구조물의 열차 진동 영향 평가” 서울과학기술대학교 산업대학원 구조공학과 석사학위논문, pp 1~20
- [11] 김수연, (2017), “지하 환경에서 콘크리트 구조물 누수 균열에 사용되는 주입형 보수재료의 성능평가를 위한 인공균열 시험방법 개발”, 서울과학기술대학교 일반대학원 의공학바이오소재 융합협동과정 건축프로그램 공학박사학위논문, pp24
- [12] 조용만, (2008) “일사량을 고려한 상부슬래브의 온도하중에 대한 거동 특성” 충주대학교 산업대학원 건축공학과 공학석사학위논문, pp7
- [13] 김수연, 김명지, 오상근, (2020), “지하 구조물 외벽에 적용되는 방수재료의 구조체 거동 및 진동 대응성능 설계 제안”, 한국구조물진단유지관리공학회, Vol.24, No.1, pp45
- [14] 김종성, (2017), “내진설계와 건축물의 형태”, 기문당
- [15] 국토교통부, (2019) “건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00), 건축구조기준, pp. 7~8
- [16] 심재수, 화의승, 김덕중, 윤종호, (1997), “증폭계수를 이용한 진동 예측기법의 적용”, 한국지진공학회 논문집, 제1권 제4호, pp37
- [17] KINS/RR-608 '지진시간이력으로부터 내진시험 응답스펙트럼을 도출하기 위한 변환기법에 관한 연구' 한국원자력안전기술원
- [18] 국토교통부, (2019) “건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00), 건축구조기준, pp. 7~8
- [19] 대한건축학회 온라인 건축용어사전
- [20] 유지석, (2010) “지진하중을 받는 발전소펌프의 진동응답에 관한 스펙트럼 해석 연구”, 경희대학교 대학원 기계공학과, p7~8
- [21] 국토교통연구인프라운영원, SPS-F-KOCED 0007-7419:2021, 매달린 천장의 내진성능평가를 위한 진동대 시험방법(Shake-table testing method for seismic performance evaluation of suspended ceiling)
- [22] 이정영, 홍기재, 황순중, “영구배수공법,” 2009, 시지엔지니어링(주) 기술연구소 pp. 7-27
- [23] (주)삼우기초기술 “프리캐스트 블럭을 이용한 공기 50% 절감이 가능한 부력방지 앵커공법의 개

발” , 최종보고서, 국토교통부 국토교통기술사업화지원, 2017-09-20

[24] [<https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRK0201700000321>]

[25] 장덕배, “지하수위 및 수압에 따른 방수 도포량 검토,” 2004, Construction Technology Review, pp.38-41

[26] 삼성전자 주식회사 윤종용, 특허 2000-0013929,(1998), “2축 구동장치” , 특허정보넷 키프리스, <http://kpat.kipris.or.kr>

[27] My major is C.E.E We get some more knowlegee, Civil Engineer

[28] <https://www.dtnnews24.com/news/articleView.html?idxno=400631>

[29] <http://www.iitk.ac.in>

[30] <https://scholars.unh.edu/cgi/viewcontent>

[31] <https://www.mdpi.com/2075-5309/9/1/7/htm>

[32] [<http://www.ssyenc.co.kr/file/kor/tech/html/2004sp/07.pdf>]

[33] [<https://precast.org/wp-content/uploads/2018/11/BuoyancyWhite-Paper2018.pdf>]

[34] <https://www.fema.gov/sites/default/files/2020>

[35] [<https://www.atcouncil.org/docman/atc-15-16-papers/179-p3-03-ferner/file>]

< 별첨 >

별첨 자료

1. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료

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

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 ‘국토교통기술촉진연구사업’ 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.