

11-B55298
9-000437-
01

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개() 발간등록번호()

국토교통연구기획사업 최종보고서

R&D / 11-B552989-000437-01

홍수피해 저감을 위한 배수시설 자동제어 기술 개발 기획 최종보고서(별첨 2.)

2021. 4. 30.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / (주)날리지웍스

2021

국
토
교
통
과
학
기
술
진
흥
원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부 장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

'홍수피해 저감을 위한 배수시설 자동제어 기술 개발 기획'(연구개발 기간 : 2020. 6. 12 ~ 2021. 4. 30)
과제의 최종보고서를 제출합니다.

2021. 4. 30.

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원

(대표자) 김 병 석



공동연구기관명 : (주)날리지웍스

(대표자) 이 재 희



주관연구기관책임자: 이 두 한

공동연구기관책임자: 류 형 근

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

최종보고서(별첨2)										보안등급		
										일반[☒], 보안[]		
중앙행정기관명		국토교통부				사업명		사업명		국토교통연구기획사업		
전문기관명		국토교통과학기술진흥원				내역사업명				-		
공고번호		재공고-제25호				총괄연구개발 식별번호				-		
						연구개발과제번호				20RDPP-C158828-01		
기술 분류	국가과학기술 표준분류	EI1105		60%		EE1305		40%		-		
총괄연구개발명		국문	홍수피해 저감을 위한 배수시설 자동제어 기술 개발 기획									
		영문	Planning Research on the development in an automatic control technology of drainage facilities for flood damage reduction									
연구개발과제명		국문	홍수피해 저감을 위한 배수시설 자동제어 기술 개발 기획									
		영문	Planning Research on the development in an automatic control technology of drainage facilities for flood damage reduction									
주관연구기관		기관명	한국건설기술연구원				사업자등록번호		229-82-01135			
		주소	(우) 10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)				법인등록번호		1112410002284			
주관연구책임자		성명		이 두 한		직위		연구위원				
		연락처	직장전화	031-910-0269		휴대전화		010-4304-0624				
			전자우편	dhlee@kict.re.kr		국가연구자번호		1064 5369				
연구개발기간		전체		2020. 6. 12 - 2021. 4. 30(11개월)								
		1년차		2020. 6. 12 - 2021. 4. 30(11개월)								
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		120,000	-	-	-	-	-	-	120,000	-	120,000	-
1단계	1년차	120,000	-	-	-	-	-	-	120,000	-	120,000	-
공동연구기관 등		기관명	책임자		직위	휴대전화	전자우편	비고				
								역할	기관유형			
공동연구기관		(주)날리지웍스	류형근		이사	02-563-9862	ryuhk@knowledgeworks.co.kr	공동	중소기업			
연구개발담당자 실무담당자		성명		김보람		직위		박사후연구원				
		연락처	직장전화	031-910-0296		휴대전화		010-5311-5967				
			전자우편	brkim@kict.re.kr		국가연구자번호		1117 9842				

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

2021년 4월 30일

주관연구책임자 : 이 두 한

주관연구기관의 장 : 한국건설기술연구원 김 병 석

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요약 >

사업명		국토교통연구기획사업		총괄연구개발 식별번호		-	
내역사업명		-		연구개발과제번호		20RDPP-C158828-01	
기술 분류	국가과학기술 표준분류	EI1105	60%	EE1305	40%	-	-
총괄연구개발명		홍수피해 저감을 위한 배수시설 자동제어 기술 개발 기획					
연구개발과제명		홍수피해 저감을 위한 배수시설 자동제어 기술 개발 기획					
전체 연구개발기간		2020. 6. 12 - 2021. 4. 30(11개월)					
총 연구개발비		총 120,000 천원 (정부지원연구개발비: 120,000 천원, 기관부담연구개발비: 천원, 지방자치단체: 천원, 그 외 지원금: 천원)					
연구개발단계		기초[] 응용[] 개발[√] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()	
연구개발과제 유형		지정공모 [✓] 자유공모 []					
연구개발과제 특성		실용화					
연구개발 목표 및 내용	최종 목표	○ 대규모 침수피해를 유발하는 제방붕괴 원천 차단을 위해 손상부 광역탐사, 정밀탐사, 내부 보수/보강 등으로 구성된 스마트 제방 관리 기술 연구사업의 성과를 극대화 ○ 해당 분야의 기술을 선도할 수 있는 독자적이고 실용화 가능성이 높은 연구과제를 도출하여 연구사업 공모에 활용 ○ 도출된 과제에 대한 연구목표, 연구개발 내용 및 추진전략, 추진일정, 평가방안 및 연구성과물 도출계획을 구체화하여, 연구사업의 성과를 극대화할 수 있는 기술개발 로드맵을 제공					
	전체 내용	○ 기획 연구 내용 - 1 단계 : 기술개발 동향 및 수요조사 실시 · 기술의 정의 및 분류체계 · 기술개발 동향 및 환경 분석 · 기술수요/한계, 기술예측 조사 실시 및 실용화를 위한 개선방안 제시 · 동향분석 결과를 바탕으로 기술개발추진방향 정립(SWOT 분석 등) · 기술개발에 따른 미래상 및 필요성 분석 - 2 단계 : 기술개발 전략수립 및 연구내용 설정 · 스마트 광역탐사, 정밀탐사, 보수/보강 기술개발 전략수립 · 연구개발 후보과제 우선순위 도출 · 과제추진 체계(사업단, 연구단, 일반과제 등)설정 · 연구개발 후보과제별 과제카드 작성 - 3 단계 : 연구개발과제기획 · 연구 목표 및 범위 설정 · 연구목표 달성을 위한 추진방안 수립					

		· 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시 · 인력투입 계획 및 소요예산 산정 · 사전타당성 검토 · 과제공모를 위한 RFP 작성 및 평가기준 설정										
연구개발성과	기획연구보고서(과제제안요구서 포함)											
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	○ 시장 선도적이고, 활용가치가 높은 핵심과제 및 세부과제를 개발하고, 과제의 목표 및 내용 제시와 RFP 작성 ○ 홍수피해 저감 등을 고려한 스마트 하천관리실현의 기반이 되는 스마트 제방 탐사 및 보수/보강 기술 개발을 위한 핵심 및 세부과제 도출											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	해당없음											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구 시설· 장비	기술 요약 정보	소프트 웨어	표준	생명자원		화합물	신품종	
								생명 정보	생물 자원		정보	실물
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입 기관	연구시설· 장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호	
	-	-		-	-	-	-	-	-		-	
국문핵심어 (5개 이내)	홍수피해 저감			스마트 제방 관리		제방 광역 탐사		제방 물리 탐사		스마트 제체 보강		
영문핵심어 (5개 이내)	flood damage reduction			smart levee management		wide range levee survey		geophysical levee survey		smart levee enhancement		

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 종질지(80g/m²)]

목 차

1장. 개요	1
1절. 배경 및 필요성	1
1. 기획 배경	1
2. 기획 필요성	3
2절. 기획 추진 개요	6
1. 기획 범위	6
2. 기획 추진절차	8
3. 기획 추진체계	9
4. 기획 추진경과	9
2장. 동향 및 환경분석	11
1절. 정책동향 분석	11
1. 국외 정책동향 분석	11
2. 국내 정책동향 분석	24
2절. 시장동향 분석	30
1. 국내 시장동향 분석	30
3절. 기술동향 분석	41
1. 국외 기술동향 분석	41
2. 국내 기술동향 분석	60
4절. 특허 및 논문 분석	79
1. 특허분석	79
2. 논문분석	110
5절. 기술수준조사	121
1. 개요	121
2. 기술수준분석 결과	122

6절. 기술수요조사	128
1. 개요	128
2. 조사 결과	129
7절. 인프라 현황분석	132
1. 연구인력 현황	132
2. 연구 기자재 인프라 현황	134
8절. 시사점	136

3장. 기술개발 전략 138

1절. 기술개발 추진방향	138
1. SWOT분석	138
2. 기술개발 추진방향 정립	139
2절. 비전 및 목표	141
1. 비전	141
2. 목표	142
3절. 중점추진분야	146
1. 중점추진분야 1(고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술)	146
2. 중점추진분야 2(제방 손상 고심도/고해상도 정밀 탐사기술)	146
3. 중점추진분야 3(미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술)	147
4절. 연구개발과제 구성	148
1. 후보과제 설정	148
2. 중복성 검토	148
3. 우선순위 평가	150
4. 추진대상과제 선정	153
5절. 과제체계	154
1. 과제체계 설정	154
2. 세부과제 구성	155
3. 세부과제간 연계성	156

4장. 세부과제별 추진내용	157
1. 추진배경 및 필요성	157
2. 목적 및 범위	159
3. 연구단 목표	160
4. 기술개발내용	162
5. 기술로드맵	183
5장. 추진전략	184
1절. 추진체계	184
2절. 사업관리 및 활용방안	186
1. 사업관리체계 및 프로세스	186
2. 단계별평가·관리 절차 및 기준	187
3. 성과관리계획	192
6장. 소요 예산 및 인력	196
1절. 소요인력	196
1. 소요인력 산출근거	196
2. 소요인력	196
2절. 소요예산 산정	197
7장. 사전타당성 분석	198
1절. 정책적 타당성 분석	198
1. 상위계획과의 부합성	198
2. 사업 추진체제 및 추진의지	203
3. 사업 추진상의 위험요인	205
2절. 기술적 타당성 분석	206
1. 문제 및 이슈도출의 적절성	206
2. 사업목표의 적절성	209

3. 세부활동 및 추진전략의 적절성	211
3절. 경제적 타당성 분석	218
1. 경제성 분석 개요	218
2. 편익추정	219
3. 비용 추정	226
4. 경제성분석 결과	226
부록. 세부과제별 RFP	227

표 목 차

<표 1> 하천관리사업 예산 추이	1
<표 2> 기술의 정의	6
<표 3> 기술분류체계	6
<표 4> 캔사스 주 USGS 실시간 모니터링 시스템 측정항목 및 빈도	15
<표 5> Thames Estuary 2100계획의 주요 내용	20
<표 6> 국토교통과학기술 연구개발 종합계획의 4대 추진전략 및 전략목표	29
<표 7> 태풍으로 인한 피해 및 복구비 현황(2010~2019)	30
<표 8> 우리나라에 영향을 미친 주요 태풍 현황(2000~2019)	31
<표 9> 호우로 인한 피해 및 복구비 현황(2010~2019)	33
<표 10> 국가하천 현황	34
<표 11> 댐 유지관리 사업 예산 추이	35
<표 12> 산업단지 완충저류시설 설치 사업 예산 추이	35
<표 13> 댐 안정성 치수능력 강화사업 및 댐 유지관리사업 예산 추이	36
<표 14> 하천관리사업 예산 추이	36
<표 15> 재난관리-안전관리 사업 예산 추이	37
<표 16> 지자체별 홍수재해 대응 관련 사업 예산 추이	37
<표 17> 최근 5년간('16~'20) 농림부 국가 홍수재해 대응 관련 사업 예산 현황	39
<표 18> 농림부 '20년 홍수 재해 대응 관련 사업 현황	39
<표 19> 친환경 지반보강 기술 현황	73
<표 20> 제방 관리 관련 특허분석 개요	79
<표 21> 분야별 검색식	79
<표 22> 제방 관리 분야의 상위 10대 출원인 대분류별 특허 출원건수 분석	89
<표 23> 제방 관리 분야의 대분류-국가별 특허출원 추세	90
<표 24> 시장진입 경쟁수준 분석	91
<표 25> 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야의 상위 10대 출원인 특허 출원건수 분석	97
<표 26> 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 분야의 상위 10대 출원인 특허 출원건수 분석	103
<표 27> 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야의 상위 10대 출원인 특허 출원건수 분석	109
<표 28> 통합물관리 기술 논문분석 개요	110
<표 29> 대분류-중분류별 검색식	110
<표 30> 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술 분야 기술수준조사 결과	124
<표 31> 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 분야 기술수준조사 결과 ..	

.....	126
<표 32> 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 분야 기술수준조사 결과	127
<표 33> 기술수요조사 분류	128
<표 34> 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 기술아이템 목록	129
<표 35> 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 기술아이템 목록	130
<표 36> 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 기술아이템 목록	131
<표 37> 국내 수리구조물 관련 분야 종사자 수	132
<표 38> 토목공학 학과 연구개발비 중 수리구조물 관련 분야의 연구개발비가 차지하는 비중 ·	133
<표 39> 국내 수리구조물 관련 분야 대학 연구인력 수	133
<표 40> 건설기술연구원의 수리구조물 관련 연구인력 현황	133
<표 41> 국내 하천시설물 관련 연구기자재 인프라 현황	134
<표 42> 연구개발 단계별 목표(제방 손상 스마트 탐사 및 보강 기술 개발)	145
<표 43> 중점추진분야 4 개요	146
<표 44> 중점추진분야 5 개요	146
<표 45> 중점추진분야 6 개요	147
<표 46> 중점추진분야별 후보과제	148
<표 47> 제방 분야 유사과제 현황 및 차별성	149
<표 48> 후보과제 리스트	150
<표 49> 중점추진분야별 우선순위 평가	152
<표 50> 중점추진분야별 추진대상과제	153
<표 51> 스마트 제방 탐사 및 보강 기술개발 연구단 세부과제 구성	155
<표 52> 사업 주체별 주요기능 및 역할	185
<표 53> 사업추진절차	186
<표 54> 사업추진절차	187
<표 55> 사업추진절차	188
<표 56> 제방 사업 주체별 주요기능 및 역할	190
<표 57> 사업추진절차	191
<표 58> 하천제방 손상 탐지 및 보강 기술개발 연구단의 성과지표체계	194
<표 59> 동 사업 소요인력	196
<표 60> 동 사업 소요예산	197
<표 61> 제방 기술 관련 국가 상위계획과 부합성 검토 결과	198
<표 62> 제방 기술 관련 중점과학기술	201
<표 63> KAIA '21년 종료과제 및 예산	205
<표 64> '19년 호우와 태풍으로 인한 피해	206
<표 65> 하천제방 손상 탐지 및 보강 기술개발 연구단의 성과지표체계	210
<표 66> 제방 분야 유사과제 현황 및 차별성	213

<표 67> 사업목표-세부활동간 연계성	216
<표 68> 사업추진절차	217
<표 69> 예비타당성조사 비용편익 분석 시 편익반영 항목	219
<표 70> 시장수요접근법에 의한 편익 추정 수식	220
<표 71> 생산비용절감 편익 추정 수식	220
<표 72> 피해비용절감 편익 추정 수식	220
<표 73> '19년 호우와 태풍으로 인한 피해	222
<표 74> 동 사업 관련 IPC 분야 특허인용수명 지수	225
<표 75> 기술 적용 범위	225
<표 76> 제방 기술에 의한 홍수피해 저감액	225
<표 77> 동 사업 소요예산	226
<표 78> 동 사업의 비용편익분석 결과	226
<표 79> 동 사업의 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과	226

그림목차

[그림 1] 1시간 최대 50mm 이상 및 1일 최대 300mm 이상의 집중호우 발생횟수	2
[그림 2] 장마기간 강수량과 강수일수 변화 (자료: 기상청)	2
[그림 3] 기획추진절차	8
[그림 4] USACE의 위험도 측정 개념도	11
[그림 5] 4가지 주요 제방 인근 지역의 재해 시나리오	12
[그림 6] 위험분석, 위험평가, 위험관리의 관계	13
[그림 7] NEP를 통해 설치된 David Pond Diversion	15
[그림 8] RRM 프로그램 화면	17
[그림 9] SimDelta의 보, 제방 및 기타 수리 시설물 위험도 표출 예시	17
[그림 10] 홍수위험관리 싸이클	18
[그림 11] 영국의 홍수 및 수자원 관련 정책 거버넌스>	19
[그림 12] 벨기에의 표준 제방 프로파일	21
[그림 13] 손상된 제체	21
[그림 14] 수리 시설물의 데이터 기반 스톡 매니지먼트 사이클	22
[그림 15] 연도별 장마기 강수일수 및 강수량 추이	32
[그림 16] 미국 뉴올리언스 지역에서 붕괴 및 손상된 제방	41
[그림 17] 토고의 Binah 하천 유역에서 발생한 토지 피복 변화를 탐지한 결과	41
[그림 18] Mississippi 강 유역의 제방이 붕괴 및 손상된 지역을 탐지	42
[그림 19] 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기법을 활용한 제방 지표변위 관측 결과	42
[그림 20] 분포산란체 활용 Bradford 제방의 손상 관측 (Cathleen et al., 2012)	43
[그림 21] UAVSAR를 활용한 제방 모니터링 (USGS, 2017)	44
[그림 22] 라이다를 이용한 제방 원격탐사(USGS, 2012)	45
[그림 23] 초분광을 이용한 제방 사면 슬라이드 가능성 평가 결과 (Hossain and Easson, 2012)	45
[그림 24] 중첩된 원격 탐사와 직접조사 결과 기반 제방 침투 가능지역 평가 결과	45
[그림 25] 제방 원격 탐지 결과 (a) 흙의 함수율 (b) cover 품질 (c) 열화상카메라 (d) 멀티분광 카메라 (e) 디지털 카메라 (f) 초분광 카메라 (Cundill, 2015)	46
[그림 26] 실험장비 및 심도별 지반조사 결과 (McCallum, 2014)	47
[그림 27] CPT 주상도 및 boring을 통한 offshore zone 해저지면의 지질학적 상태 (Bashaw et al., 2016)	48
[그림 28] 심도별 온도 추이 및 temperature gradient (Isaksen et al. 2000)	49
[그림 29] 예측모델	50
[그림 30] 필터의 입도와 인접된 지반의 입도차를 이용하여 지반내 입자 유동 가능성을 평가50	
[그림 31] PFC를 이용한 입자의 유동 해석	51

[그림 32] 전단응력 기반의 지반별 쇄굴 카테고리 적용사례 (Briaud, 2008)	51
[그림 33] 하천 제방 제정부에 수행된 전자탐사 프로파일 (Busato et al, 2016)	52
[그림 34] 전기비저항 모니터링 자료 해석 결과 (Jordy et al., 2019)	53
[그림 35] 3차원 전기비저항 탐사 적용사례 (Gunn et al, 2014)	54
[그림 36] 하천 제방 보강효과 평가를 위한 전기비저항 탐사 적용사례 (Busato et al, 2016)	54
[그림 37] 2차원 전기비저항 장기관측 지역	55
[그림 38] 2차원 전기비저항 장기관측을 위한 장비설치	55
[그림 39] 장기관측을 통한 전기비저항 변화량 및 이상대 파악	56
[그림 40] 단백질 기반 바이오폴리머와 사구의 상호작용 모델 (Fatehi et al., 2018)	57
[그림 41] 좌측, 중앙) Glass beads 내 박테리아로 인한 탄산칼슘 고결화의 X-ray CT 이미지 (Armstrong and Ajo-Franklin, 2011), (우측)공극 내에 축적된 바이오매스에 대한 이미지(Kim and Fogler, 2000).	58
[그림 42] 현장 내 유도 Ca ²⁺ -알지네이트 중합체 실란트 및 처리 절차 설명	59
[그림 43] EM 이미지 (a) 자연 상태 사구 모래 (b) 알긴산 나트륨 처리 토양	60
[그림 44] 항공 LiDAR 자료와 항공 영상을 활용한 제방 매핑 예시 ((주)지오씨엔아이, 2011;	61
[그림 45] 항공 영상을 활용하여 제방의 다양한 재질을 인식한 자동화 기술의 예시 (a figure captured from Choung, 2014)	61
[그림 46] 항공 영상과 LiDAR 자료를 활용하여 획득한 제방의 재질 및 손상 지역 정보를 활용하여 제방의 안전도를 진단하는 기술 개발의 예시	62
[그림 47] SBAS 기법을 이용한 서울 월드컵 공원의 지반침하 양상 (Baek et al., 2018); (a) 상향 궤도; (b) 하향궤도	63
[그림 48] PSInSAR 기법을 이용한 강원도 지역의 폐광산 지반침하 관측 (Jung et al., 2007)	63
[그림 49] 무인기 활용 댐 안전진단 방법(대우건설 기술연구원)	64
[그림 50] 3D 디지털 안전진단(KO-MAPPER)	65
[그림 51] 드론 활용 터널 안전점검(안전저널)	65
[그림 52] 드론 활용 고속도로 교량 점검(한국도로공사)	66
[그림 53] 균열 데이터와 비균열 데이터의 비교 (김종태 외, 2020)	67
[그림 54] 딥러닝을 이용한 콘크리트 균열 검출 (김아람 외, 2018)	67
[그림 55] 딥러닝 기반 흙의 물성치 분석 (김동근, 2020)	67
[그림 56] 파이핑에 따른 안정해석 결과	68
[그림 57] 침투해석에 따른 수두검토도(변요셉 등, 2009)	68
[그림 58] 필터재 기준	69
[그림 59] 저수지 누수구간 탐지를 위한 전기비저항 모니터링 사례(Kim et al., 2020)	70
[그림 60] 한국농어촌공사 모니터링 설치 예시	70
[그림 61] 3차원 전기비저항탐사 결과 예시	71
[그림 62] 바이오폴리머 처리 토양의 내식성 모델 (Chang et al., 2015)	76
[그림 63] 젤란 겔 처리 토양의 미세 구조 모델 개략도 (Chang and Cho, 2018)	78

[그림 64] 10년간('10~'19) 제방 관련 특허 출원건수 추이	82
[그림 65] 국가별 연도별 특허 출원건수	83
[그림 66] PCT 연도별 특허 출원건수	83
[그림 67] 미국 연도별 특허 출원건수	84
[그림 68] 유럽 연도별 특허 출원건수	84
[그림 69] 일본 연도별 특허 출원건수	85
[그림 70] 중국 연도별 특허 출원건수	85
[그림 71] 한국 연도별 특허 출원건수	86
[그림 72] 제방 분야의 기술분야별 출원 건수('10~'19년)	87
[그림 73] 제방 관련 분야의 기술성장단계	87
[그림 74] 제방 분야의 국가별 기술성장단계	88
[그림 75] 제방 분야 상위 10대 출원인	89
[그림 76] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 연간 특허 출원건수	92
[그림 77] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 국가별 특허 출원건수	92
[그림 78] PCT 특허 출원건수	93
[그림 79] 미국 특허 출원건수	93
[그림 80] 유럽의 특허 출원건수	94
[그림 81] 일본 특허 출원건수	94
[그림 82] 중국 특허 출원건수	95
[그림 83] 한국 특허 출원건수	95
[그림 84] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 기술분야별 출원 비중	96
[그림 85] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 상위출원인	96
[그림 86] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 연간 특허 출원건수	98
[그림 87] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 국가별 특허 출원건수	98
[그림 88] PCT 특허 출원건수	99
[그림 89] 미국 특허 출원건수	99
[그림 90] 유럽 특허 출원건수	100
[그림 91] 일본 특허 출원건수	100
[그림 92] 중국 특허 출원건수	101
[그림 93] 한국 특허 출원건수	101
[그림 94] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 기술분야별 출원 비중	102
[그림 95] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 상위출원인	103
[그림 96] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 연간 특허 출원건수	104
[그림 97] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 국가별 특허 출원건수	105

[그림 98] PCT 특허 출원건수	105
[그림 99] 미국 특허 출원건수	106
[그림 100] 유럽의 특허 출원건수	106
[그림 101] 일본 특허 출원건수	107
[그림 102] 중국 특허 출원건수	107
[그림 103] 한국 특허 출원건수	108
[그림 104] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 기술분야별 출원 비중 ..	108
[그림 105] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 상위출원인	109
[그림 106] 연도별 논문 게재건수	113
[그림 107] 국가별 논문 게재건수	114
[그림 108] 기술분야별 논문 게재 건수	114
[그림 109] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 연도별 논문 게재건수 ..	115
[그림 110] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 국가별 논문 게재건수 ..	116
[그림 111] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야별 논문 게재건수	116
[그림 112] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 연도별 논문 게재 건수	117
[그림 113] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 국가별 논문 게재 건수	118
[그림 114] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야별 논문 게재건수	118
[그림 115] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 연도별 논문 게재건수 ..	119
[그림 116] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 국가별 논문 게재건수 ..	120
[그림 117] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야별 논문 게재건수	120
[그림 118] 제방관련 분야의 대분류별 기술수준·기술격차	123
[그림 119] 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차	124
[그림 120] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야의 중분류별 기술수 준·기술격차	125
[그림 121] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야의 중분류별 기술수준·기술 격차	127
[그림 122] 응답자 현황 분포	129
[그림 123] SWOT 분석 결과	138
[그림 124] 비전 및 목표	141
[그림 125] 추진대상과제 선정 절차	150
[그림 126] 전문가구성 현황 분포	151
[그림 127] 제방 손상 스마트 탐사 및 보강 기술 연구단	156
[그림 128] 제방 손상 스마트 탐사 및 보강 기술 연구단 기술로드맵	183

[그림 129] 사업 추진체계	185
[그림 130] 하천제방기술 관련 국토부 보고자료	204
[그림 131] 기술적 해결방안 및 중점추진영역	208
[그림 132] 추진대상과제 선정 절차	212
[그림 133] 전문가구성 현황 분포	213
[그림 134] 제방 손상 스마트 탐사 및 보강 기술 연구단 기술로드맵	215
[그림 135] 비용편익 비율 산정식	218

1장. 개요

1절. 배경 및 필요성

1. 기획 배경

☐ 정부의 하천관리 사업은 매년 1조원 이상 꾸준히 투자되고 있음

- 정부는 수재해 대응을 위해 하천정비사업을 지속적으로 추진하고 있으며, 예산은 감소하고 있으나, 꾸준히 1조원 이상이 투자되고 있음

<표 1> 하천관리사업 예산 추이

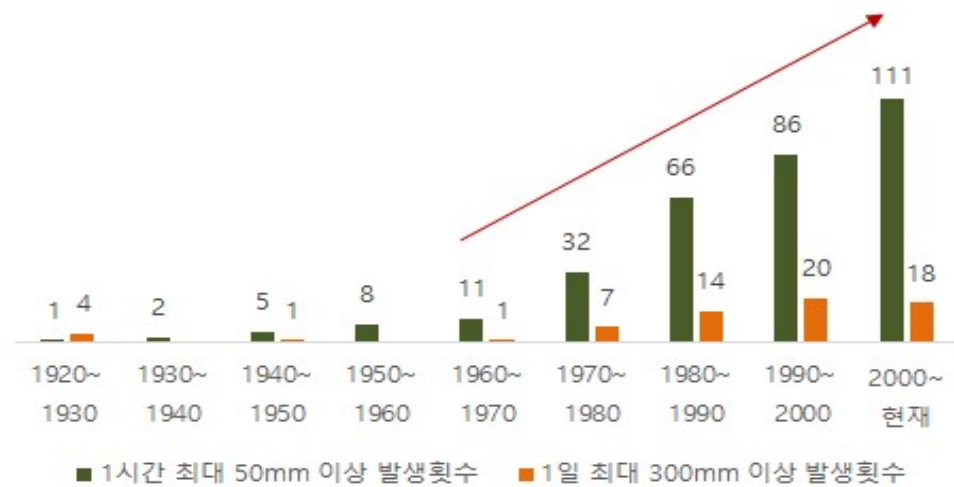
(단위 : 억원)

구분	'17	'18	'19	평균
국가하천정비사업	3,920.0	3,586.0	3,456.0	3,654.0
지방하천정비사업(생활, 제주, 세종)	5,787.0	5,691.0	5,697.0	5,725.0
치수연구개발사업	323.0	296.0	292.0	303.7
댐 직류하천 정비사업	180.0	160.0	-	170.0
국가하천 유지보수사업	1,410.0	1,418.0	1,451.0	1,426.3
하천 편입토지 보상사업	286.0	55.0	17.0	119.3
수자원공사지원사업	2,778.0	2,964.0	-	2,871.0
경인아라뱃길 사업	433.0	-	-	433.0
계	15,117.0	14,170.0	10,913.0	13,400.0

* 자료 : 국토교통부 예산자료

☐ 그러나, 기후변화로 인해 집중호우 빈도가 급증하여 홍수관리의 필요성이 매우 높아지고 있음

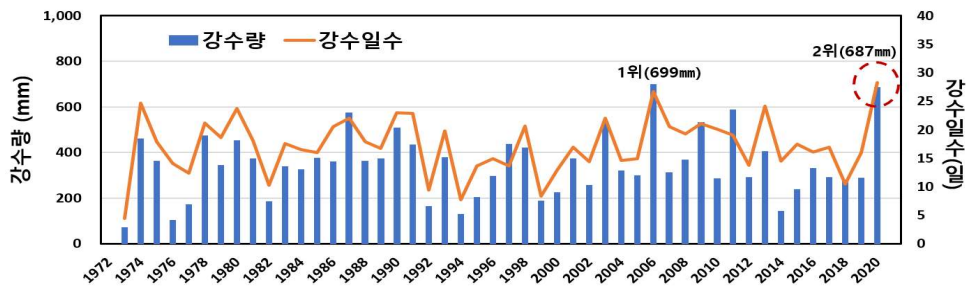
- 1950년대 이후로 지속적으로 지구의 기온이 상승하고 있으며 이와 관련된 기후 변화는 홍수와 같은 기후 변화를 야기함
- 또한, 도시화에 따라 불투수층이 증가함에 따라 홍수의 피해는 더욱 가중되고 있음
- 1시간 최대 50mm 이상의 집중호우는 2000년대 111건으로 과거 대비 급격하게 증가 중
- 특히 2017년 7월 청주, 인천, 부산지역에 집중호우로 인한 침수피해가 발생하였으며, 청주의 경우 지속시간별 누적강우 기준 100~500년 빈도의 집중호우가 발생함



[그림 1] 1시간 최대 50mm 이상 및 1일 최대 300mm 이상의 집중호우 발생횟수

* 자료 : 침수대응 하수도 시뮬레이션 가이드라인 마련 연구, 2011

- 특히 장마기간 강수량과 강수일수의 증가로 2006년도 699mm(역대 1위), 2020년도 687mm(역대 2위)를 기록함



[그림 2] 장마기간 강수량과 강수일수 변화 (자료: 기상청)

- 2020년은 기상관측('73년) 이래 최장기간 장마(중부 54일, 제주 49일)가 발생하여 전국적으로 하천범람과 대규모 주거지 침수로 인해 예년에 비해 인명피해 3배, 재산피해 4배가 발생
- 국지성 집중호우의 강우 강도는 지속적으로 증가하여 2100년까지는 2배까지 증가가 예상됨

□ 특히 하천제방 붕괴 등으로 발생하는 피해가 크게 발생하고 있음

- 최근 국가하천 연안의 대규모 홍수피해는 제방규격보다는 제방의 기초지반 및 내부 구조문제로 인한 유실·붕괴 등이 연속적으로 발생
- 남강('18년), 황강·섬진강·낙동강('20년) 등에서 침투 및 파이프에 의한 제방 붕괴 및 대규모 침수피해 발생

2. 기획 필요성

가. 연구추진 필요성

☐ 기후변화로 인한 초장기 장마 발생으로 제방 붕괴에 의한 전국적으로 대규모 홍수 피해 발생

- 2020년 8월 장마기간 동안 사망 38명, 주택침수 8,985건, 이재민 9,834명, 도로/교량 피해 5,892건, 하천피해 2,694건 발생
- 특히 섬진강, 금강, 낙동강 등 주요 하천 제방 붕괴로 대규모 침수 발생(남원시, 구례읍, 곡성읍 등 전국적인 시가지 침수 발생)
- 최근 제방 붕괴는 침투, 파이프, 구조물 접합부 누수 등 대부분 구조적 안정 문제로 발생

☐ 현재 기술로 전국 제방에 대한 안전 점검은 현실적으로 불가

- 전국의 하천제방 연장은 34,778 km이며 이중 국가하천 제방은 3,781 km, 지방하천 제방은 30,997 km임
- 국가하천 제방은 시설물안전 2등급 구조물로 지정되었으나 연장이 길어 실질적으로 1회성 육안점검만 수행하고 있으며 지방하천은 관리의 사각지대에 있음
- 2020년 8월로 피해가 발생한 제방을 비롯하여 대부분의 제방이 안전 등급 B로 나타나 현재의 안전 점검 실효성이 매우 낮음
- 현재의 기술수준에서는 제방 외부 점검도 불가능하며 제방의 구조적 안정성을 평가하기 위한 내부 점검은 거의 이루어지지 못하고 있음

☐ 제방 붕괴의 주요 원인인 침투 및 파이프 평가를 위한 제체 내부 탐사 기술 부재

- 홍수 시 제방 붕괴의 주원인은 재료적합성, 내부손상(공동 및 유로) 등으로 발생하였으나 사전에 구조적 취약성 파악 불가능
- 제방은 구조물 전체가 신규로 축조되는 것이 아니며 수십년에 걸쳐 개축되는 구조물로 구성 재료 및 구조가 복잡적임
- 국내 제방의 기초는 대부분 홍수에 의한 자연적 퇴적물이며 2000년도 이전까지 제방은 대부분 하상재료를 이용하여 축조하여 재료가 불량하나 내부 재료 구성이 파악되고 있지 않아

구조적 취약성이 심각함

- 국토부에서는 국가하천 제방에 대해 필요시 일부 시추 조사를 실시하고 있으나 시추 조사는 200 m 당 1 개소에 수행하므로 제체 내 결함부 파악 불가능

☐ 기존 제방 내부 보강 기술 부재

- 2000년도 이전 제방의 상당수는 하천설계기준의 누수 저항성에 부적합한 재료이나 현실적인 보강 기술이 없음
- 제방 전면 개착, 차수벽 설치 등의 보강 기법이 있으나 예산 및 유지관리 문제로 적용되는 경우가 극히 드뭄
- 근본적 대책 수립을 위해 환경부 홍수대책기획단 등을 구성하였으나 홍수량 조절 외의 근본적인 구조적 대책 부재

☐ 제방 붕괴의 원인을 원천적으로 차단하기 위해서는 전국 제방의 외형의 광역 탐사, 제체 내부 정밀 탐사, 내부 보강 등의 기술 개발이 시급함

나. 정부지원 필요성 및 당위성

☐ 제방은 하천법에 의해 관리되는 국가시설물로 안전관리의 책임은 정부에 있음

- 제방은 하천법에 의해 국가에서 지정하여 관리하는 시설물로 중앙정부 또는 지자체가 관리 책임이 있음
- 제방 축조 및 관리 사업 등은 모두 정부 및 지자체 등 공공분야에서 수행됨
- 정부가 안전관리 책임자로 조직, 사업, 인력, 예산 등을 모두 관할하므로 정부 주도의 기술 개발이 타당함

☐ 제방 관리 사업은 정부정책과 연계된 특수 분야로 민간 분야의 기술개발이 불가능

- 제방 점검/조사, 보수/보강 등은 제방 관리책임자인 정부에 의해 수행되는 사업으로 최종수요처인 정부와 정책으로 연계되지 않은 기술이 현장에 적용되는 것으로 매우 어려움
- 제방 외부/내부 탐사 기술은 공공조직에서 활용하는 기술로 전국단위에서 표준화하여 전국에 동일하게 적용되는 기술로 민간 부문에서 개발하여 적용하는 것이 불가능함

- 스마트 내부 보수/보강 기술은 세계 최고 수준의 기술로 인력, 장비, 시설 등의 전문성과 대규모 예산 투입이 필요하나 제방 분야 민간 사업자는 대부분 영세하여 기술개발 역량이 크게 부족하며 기술개발 이후 실용화도 극히 어려움
- 이상의 이유로 수십년간 제방 분야에서 민간 부문에서 기술이 개발되어 적용된 사례가 거의 없으며 이로 인해 대응 기술이 부족한 실정임

다. 연구추진 시급성

☐ 현재 육안에 의한 제방 안전점검으로 손상부 사전 파악 불가

- 제체 내부 침투 및 파이프에 의한 동일한 피해가 반복되고 있으나 제방 점검은 여전히 육안 점검에 의존
- 2020년 8월 홍수시에 침투로 붕괴된 제방은 안전점검 B등급(양호)으로 나타나 현재 육안점검의 실효성이 매우 낮음
- 제방 연장이 광범위하여 육안점검도 국가하천 일부 구간에서 이루어져 대다수의 제방은 손상부에 대한 최소한의 점검도 불가능한 상황임

☐ 설계홍수위 이하에서도 동일 제방 피해 반복되나 사전 대응기술 부재

- 2020년 8월 홍수시 설계홍수위 이하에서 발생한 제방 붕괴로 대규모 주택 및 농경지 피해가 발생하였으나 사후복구 외의 대응기술은 부재
- 제방의 안정성 확보를 위해서는 제방의 주기적인 외관 모니터링, 내부 손상부 파악, 내부 보수/보강 등이 필요하나 현재 관련기술 전무
- 사전 대응기술 부재로 인하여 제체 내부 손상에 의한 피해가 수십년간 반복되고 있으며 장기간 홍수 지속 등으로 피해 규모가 급격히 증가하고 있음

2절. 기획 추진 개요

1. 기획 범위

가. 기술의 정의

- ☐ 최근 홍수로 대규모 지역 피해가 발생하고 있는 하천제방의 취약성 탐지 및 보강을 기획범위로 함

<표 2> 기술의 정의

기술명	기술 정의
위성영상 기반 제방손상 광역탐사	위성영상 분석을 통해 광범위한 지역을 대상으로 제방 외형의 결함을 자동으로 탐지
손상이 우려되는 제방에 대한 정밀탐사	물리탐사 기법에 의한 제방 내부 구조 및 결함을 정밀하게 탐지
친환경 재료 기반 붕괴 우려 제방 보강	친환경 재료를 이용하여 제방 내부 결함부를 정밀 보강

나. 기술분류체계

- ☐ 동 사업의 기획 범위를 고려해 기술분류체계를 다음과 같이 수립함

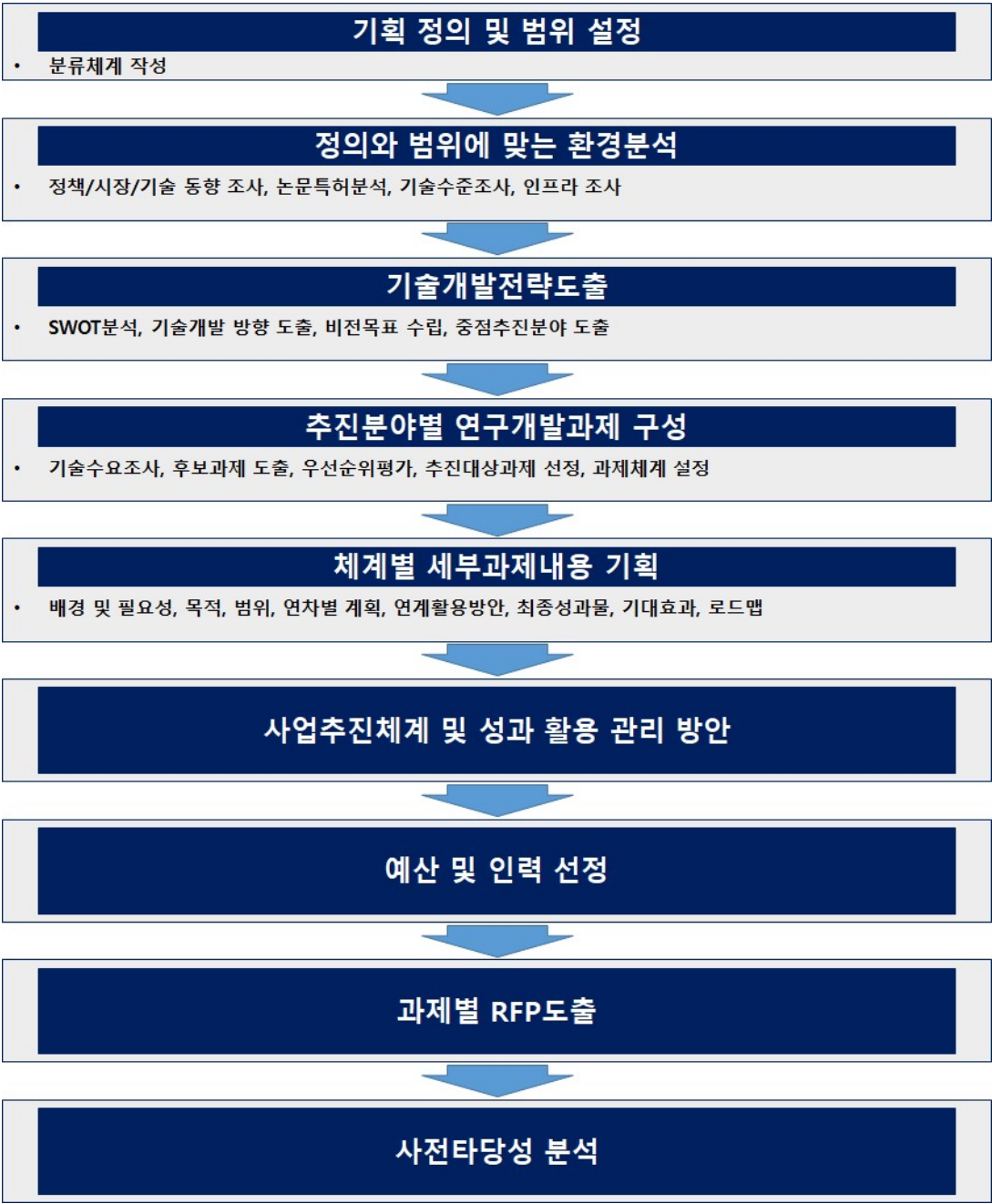
<표 3> 기술분류체계

대분류	중분류
A. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	A1. 고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
	A2. SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
	A3. 드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술
	A4. 영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술
B. 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술	B1. 직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
	B2. 제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발

대분류	중분류
	B3. 제방 안정성 통합 분석 시스템
	B4. 제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발
	B5. 제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발
C. 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 (친환경 미생물 기반 생물학적 노후 제방 보강 기술)	C1. 미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천 기술(재료) 개발
	C2. 미생물 고결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발
	C3. 미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발
	C4. 실규모 성능검증 및 실용화 기술 완성

2. 기획 추진절차

□ 다음과 같이 기획 추진 절차를 구성함



[그림 3] 기획추진절차

3. 기획 추진체계

연구기관	기관명	중점 연구목표
주관연구기관	한국건설기술연구원	기획과정 총괄 - 기술개발 방향 설정, 비전 및 목표수립 - 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정 - 연구개발과제 기획 및 타당성 검토 - RFP 작성 - 기획연구보고서 작성 기술개발 전략 수립 및 연구내용 설정 - 연구 목표 및 범위 설정 - 연구 추진방안 수립 - 성과물에 대한 활용방안 및 실용화 추진방안 제시 전문가 그룹 구성 및 운영 - 위성영상, 물리탐사, 제체보강 등 관련 분야별 전문가 그룹 구성 및 운영 - 국내외 현황 분석 및 연구개발내용 설정 - 예상문제점 및 대응방안 수립
공동연구기관	날리지웍스	기술개발 동향 및 수요조사 - 국내외 정책·시장·기술 동향 조사 및 분석 - 기술수요조사 실시 - 사전타당성 검토

4. 기획 추진경과

- 2020. 7. 기획 추진 방향 전문연구기관 협의
- 2020. 8. 1단계 전문가 그룹 구성 및 운영
- 2020. 9. 1차 전문연구기관 과제점검 회의
- 2020. 9. 1차 과제점검 보완의견 및 조치계획 제출
- 2020. 10. 2차 전문연구기관 과제점검 회의
- 2020. 10. 2차 과제점검 보완의견 및 조치계획 제출
- 2020. 11. 2단계 전문가 그룹 구성 및 운영
- 2021. 1. 3차 전문연구기관 과제점검 회의
- 2021. 2. 4차 전문연구기관 과제점검 회의

- 2021. 2. 4차 과제점검 보완의견 및 조치계획 제출
- 2021. 2. 유사 연구 현황 현장 검토
- 2021. 3. 5차 전문연구기관 과제점검 회의
- 2021. 3. 5차 과제점검 보완의견 및 조치계획 제출

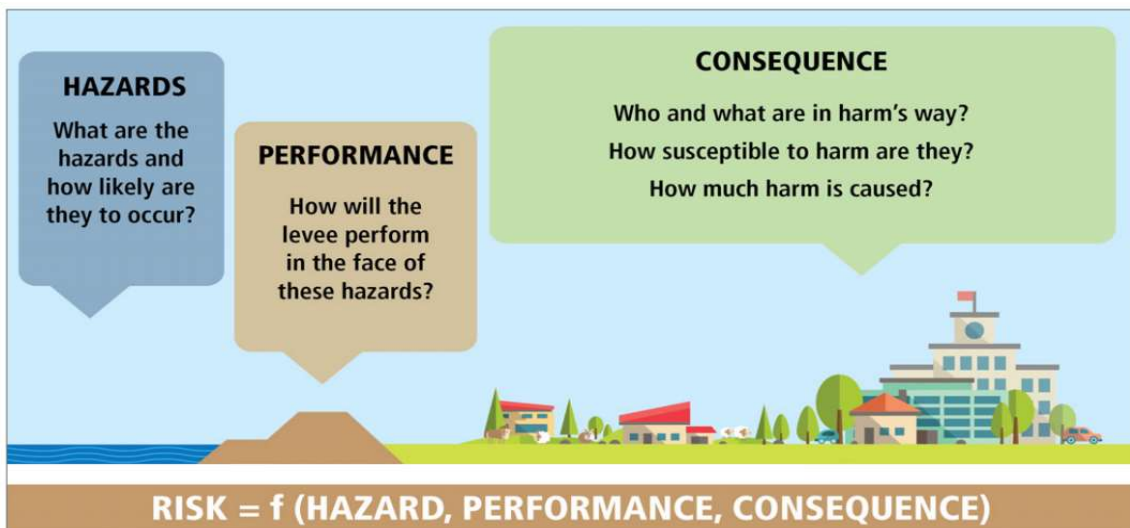
2장. 동향 및 환경분석

1절. 정책동향 분석

1. 국외 정책동향 분석

가. 미국

- 미 육군 공병단(USACE)은 홍수방지를 위한 제방시설에 대한 관심이 증대됨에 따라, Levee Safety Program을 운영하여 제방시스템을 평가하고, 평가결과에 따라 대처함¹⁾
- USACE가 관리하는 제방의 총 길이는 4,200마일(약 6,759km)로 미국 전역 제방의 30%에 달함
 - 8,200마일의 제방은 연방 정부에 의해 관리되고 있으며, 1,750마일의 제방은 시 혹은 카운티 차원에서 관리되고 있음
- 동 프로그램의 제방 관리는 기본적으로 위험도 기반 의사 결정에 의해 수행됨
 - 위험도의 측정은 개별 위험 요소(hazard), 제방의 성능(performance), 연쇄 결과(consequence)에 기반하여 이루어짐



[그림 4] USACE의 위험도 측정 개념도

- 동 프로그램의 위험도 기반 의사 결정은 위험도 측정, 위험도 소통, 위험도 관리에 의해 수행됨

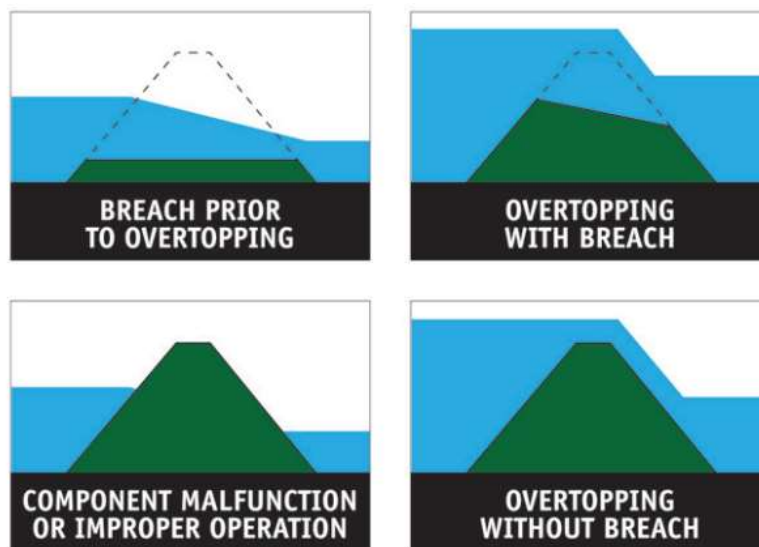
1) National Levee Database, USACE, 2012.

○ 도출된 위험도 정도에 따라 중기위험감소, 장기위험감소 대책을 마련함

- 중기위험감소는 장기적인 솔루션을 계획하고, 추진되는 동안에 홍수위험을 줄이기 위한 임시조치로 정기·특별검사, 홍수발생, 위험평가 및 제방검진, 시스템 전반의 프레임워크 개선 등을 수행함
- 장기위험감소는 홍수관리접근방법의 구성요소로서, 수리, 재할 또는 제방의 교체를 넘어 지역 토지이용계획, 개발결정, 구역, 비상 관리 및 피난계획, 제방건설 등을 고려함

○ 동 프로그램에서는 제방 인근 지역에서 발생할 수 있는 재해의 시나리오를 크게 4가지로 분류함

- 4가지 재해 시나리오는 월류 전 파괴에 따른 범람(Levee breach prior to overtopping), 월류로 인한 제방 파괴와 범람(Levee overtopping with breach), 부적절한 운용으로 인한 범람(Malfunction of levee system components), 월류에 따른 범람(Levee overtopping without breach)으로 구분됨



[그림 5] 4가지 주요 제방 인근 지역의 재해 시나리오

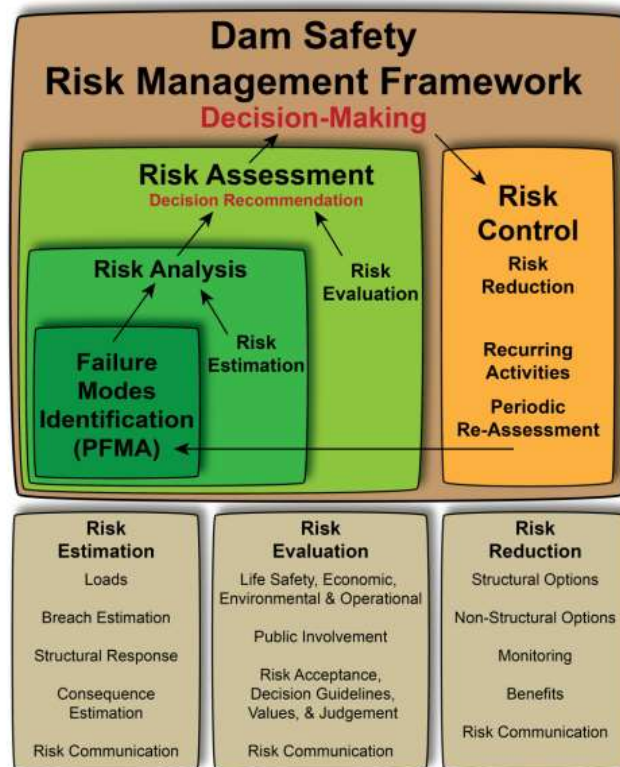
□ 연방재난관리청(FEMA)은 연방 댐 안전 프로그램 전략계획 구축을 통해 댐에 대한 위험분석, 위험평가 그리고 위험관리로 구성된 연방프로그램 개발을 추진하였으며, 댐 관련 기술개발에 대한 필요성을 제시함²⁾

○ FEMA는 댐 안전을 위한 위험분석, 위험평가, 위험관리에 관한 가이드라인을 배포함

- 위험분석은 잠재적인 고장, 구조성능과 같은 결과를 확인하여 댐이 가지고 있는 잠재적인 위험에 대한 분석을 수행함

2) Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management, FEMA, 2015,

- 위험평가는 특정구조의 안전검사를 수행하는 과정으로 댐 소유자에 의해 평가되며, 결과, 비용, 환경적 영향 등 모든 요소에 대하여 평가를 수행하고, 위험정보에 대한 의사결정에 관련된 활동으로 구성됨
- 위험관리는 위험감소 활동과 환경적·사회적·문화적·윤리적·정치적·법적고려 요소 등을 평가하고 활동하는 것으로 구성됨



[그림 6] 위험분석, 위험평가, 위험관리의 관계

* 자료 : Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management, FEMA, 2015

□ 연방재난관리청(FEMA)은 자연영향 최소화를 고려해 홍수재해 대응 방안을 추진함

○ 미국의 홍수피해 방지 정책은 자연환경에 영향을 최소화하는 방향으로 추진됨³⁾

- 홍수유역의 생태시스템을 유지하며 복원되도록 개발 전의 수리수문순환의 기능을 유사하게 하여 생태시스템 파괴를 최소화하는 도시개발을 추구함

○ 도시개발 사업 시 저영향개발을 제도화하여 도심지의 도시화로 인한 유출증가 및 홍수에 대비함⁴⁾

3) 기후변화대응 하천운영 및 관리기술 과제 기획보고서, 한국건설교통기술평가원, 2011. 6.

4) 국토연구원 Issue Paper 2011-29(기후변화에 따른 새로운 도시방재 패러다임과 도시정책방안), 국토연구원, 2011.

- 워싱턴 주 Lacey, Tumwater에서는 무영향 배수 배출법(Zero Effect Drainage Discharge ordinance, 60% 이상의 자연적인 환경을 유지 및 불투수지구 0% 유지)을 제정함
- 도시에서의 대규모 수해피해를 방지하기 위해서 대심도 터널 등을 통한 우수유출저감 시설을 적극 활용함

□ 미국 해양대기관리처(NOAA) 기상청(NWS)의 수문분야 예보운영은 13개소의 하천 예보센터(River Forecast Center, RFC) 및 122개소의 기상예보실(Weather Forecast Office, WFO)로 구성되어 있으며, 예측자료의 생성 및 해석의 기능을 함

- NWSRFS(National Weather Service River Forecast System)는 하천수문예측모형으로 시스템 내에는 자료처리와 후처리기능뿐만 아니라 다양한 수문/수리학적인 처리와 자료처리 기능을 하는 다양한 소프트웨어로 구성
- 하천예보센터는 하천홍수에 대하여 단기적인 예보(~7일)와 물공급관리 및 홍수저감 등을 위한 중장기적 예보(중기: 7일~14일, 장기: 2주~3개월 또는 이상)에 NWSRFS를 활용
 - 하천예보센터의 기본 임무는 각 센터 관할지역 내 대하천 주요 지점들에 대한 장단기 하천 유량 및 수위 예측자료의 생성
- 기상예보실은 소유역 돌발홍수의 모니터링 및 경보에 주안점을 두고 있으며 각 현장 사무소의 직원들은 실시간 지점 자료(강우, 수위, 기온 등), 인공위성 및 레이더로부터의 강우추정치를 수집, 품질관리 및 해석
 - 이러한 자료들은 통합되어 격자기반 1시간 강우자료를 생성하고 생성된 강우자료는 예보를 위한 수문모형으로 입력
- 하천예보센터의 관측 및 예보자료는 웹사이트를 통해 전달되며 QPE 및 QPF, 예보지점에서의 현재수위 및 예측수위(홍수 시 필요에 따라) 등이 인터랙티브(interactive) 틀을 이용해 제공

□ 미국의 연방환경청(EPA)은 국가 하구(기수역) 프로그램(National Estuary Program; NEP)을 통해 댐, 하굿둑, 인공 제방 축조 등 수문학적인 변화로 인한 생태계 파괴에 대한 해결책을 제시하는데 성공함

- 루이지애나 주 Barataria-Terrebonne 기수역에 적용된 NEP에서는 미시시피 강 제방 건설에 따른 하구 유역 토지의 영양분 감소를 해결하기 위해 David Pond Diversion 구조물을 설치함
 - NEP에서는 이와 같은 기술적 특징 도출 process를 통하여 수문학적 시설의 구축, 하수 시스템의 관리, 우수 시설 구축 등 다양한 해결 방안이 도출됨



[그림 7] NEP를 통해 설치된 David Pond Diversion

- 미 캔자스 주 내 모든 연속 측정소는 자동자료수집시스템(automated data collection platforms, DCPs)을 갖추고 있으며, DCPs는 인공위성 기술을 이용해서 자료를 Lawrence에 위치한 미 지질조사국 사무실로 24시간마다 전송함
- 캔자스주와 지방 물관리 용수관련 기관, 미 기상청 하천예보센터(River Forecast Centers) 등이 다양하게 이용함
 - 주 및 지방 물관리 전략 계획 · 모니터링 · 조정, 홍수 범람 예보 등
- 측정소는 하천, 호수, 지하수 등 광범위하게 위치하고 있으며 이를 바탕으로 저수지 혹은 댐 운영, 하천 예보, 홍수 경보 등의 정보를 제공함

<표 4> 캔자스 주 USGS 실시간 모니터링 시스템 측정항목 및 빈도

측정소	측정항목	측정빈도
지하수	- 지하수위, 수온, 기압, 비전도도	1시간
하천(171개)	- 물리적 항목: 비전도도, pH, 수온, 탁도, 클로로필, DO 등 - 기상자료: 기온, 기압	실시간
호수(14개)		15분~1시간 간격

- 미국은 모든 제방에 대해 제방 안정성을 평가하는 엔지니어링 분석을 FEMA에 제출해야 함⁵⁾
- 제공된 분석은 예상되는 누수를 평가해야 하며, 기초 안정성을 위협하지 않음을 입증해야 함

5) https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=db340c136f14529f2f38dff145aae1ec&mc=true&node=se44.1.65_110&rgn=div8

- 침수 깊이, 침수 기간, 제방 형상 및 임계 위치에서의 누수 경로 길이, 제방 및 기초 재료, 제방 압축에 관한 내용에 대해 분석이 이루어져야 함

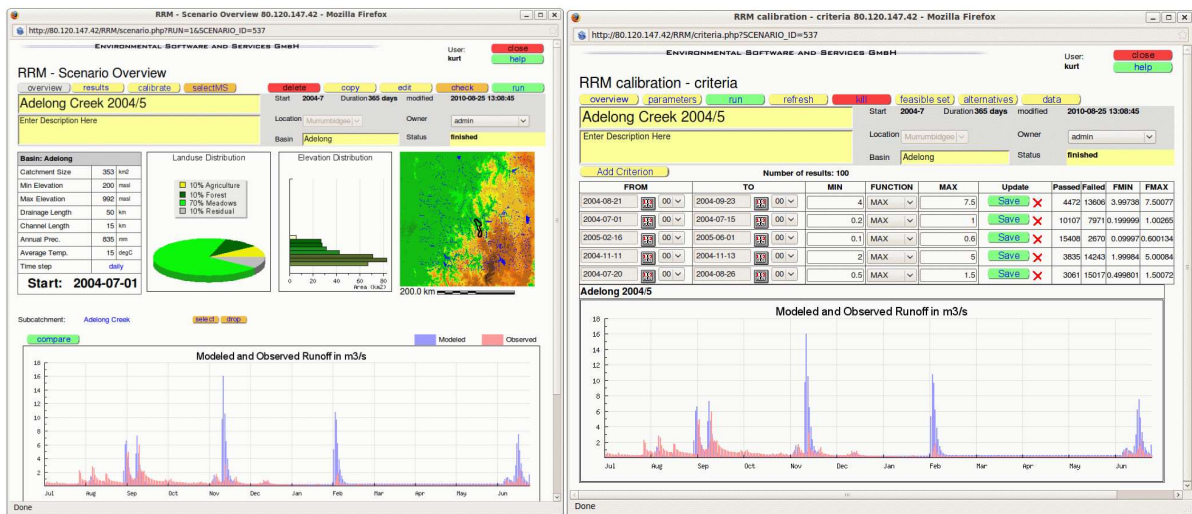
나. EU

□ 유럽연합에서는 물협약지침(water framework directive)과 홍수지침(flood directive)을 통하여 물관리와 홍수대비 지침을 제시함

- 홍수지침에 의거하여 유럽연합의 회원국은 지역적 특성에 맞는 홍수방어대책을 수립하고, 다양한 홍수 예측 프로그램을 공유하고 홍수위험을 관리하기 위한 정책을 공유함
- 유럽연합의 홍수인지시스템(The European Flood Awareness System, EFAS)은 유럽 전역에 설치된 5,000개소의 기상관측소와 500여개소의 수문관측소로부터 자료를 수집함
 - 수집된 자료를 활용하여 회원국 내의 홍수예측을 LISFLOOD 모형을 이용하여 모의함
 - EFAS는 유럽전역의 수문상황을 관측하고 홍수정보를 예측하여 선행시간 3일 이상의 홍수 위험정보를 유관기관에 제공함
 - 홍수정보 제공을 위하여 70여개의 다른 기상예보결과를 수집하여 분석/반영
- 유럽연합 내의 European Exchange Circle on Flood Forecasting(EXCIFF)에서는 수집된 자료를 이용하여 모의를 수행하고 수문자료를 모니터링함
- European Exchange Circle on Flood Mapping(EXCIMAP)은 EXCIFF에서 제공한 모의결과와 사전에 제작한 홍수지도와 비교하여 현재 홍수상황에 대한 자료를 축적함

□ 유럽은 WaterWare(Water Resources Management Information System)를 통해 통합 정보의사결정시스템을 구축하여 수자원관리 문제를 해결하기 위한 데이터분석, 모델링, 의사결정지원 등 통합된 프레임을 제공함

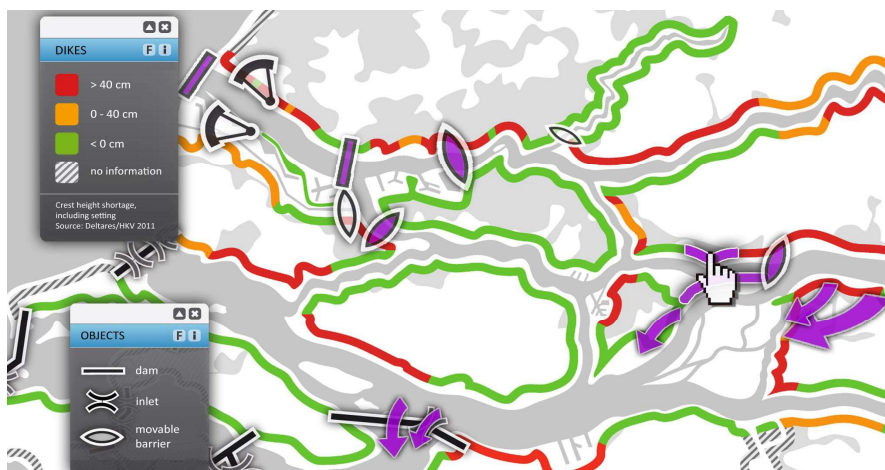
- 모듈 시스템으로 구성 및 분석을 위해 연계 가능한 프로그램인 RRM(Rainfall Runoff Model), WRM(Water Resource Model), STREAM을 사용
 - RRM은 유사량 산정 및 자동검정, WRM은 지하수와 연계하여 신뢰성분석 및 최적화 모듈, STREAM은 일별 수질계산 모형을 위한 프로그램임



[그림 8] RRM 프로그램 화면

□ 네덜란드 Delta Programme에서는 SimDelta 등의 유역 위험 관리 시스템을 수립함으로써 다양한 위험 요소를 고려하는 통합적인 유역 관리를 추진함

- SimDelta 시스템은 주요 자연 하천 수계에 국한되었던 기존의 위험 대응 전략에서 벗어나, 제방 설치로 인해 범람 위험이 적을 것이라 예상되었던 지역 및 인공 수로를 모두 포괄하는 종합적인 위험 관리를 도모함
- 동 시스템은 유역의 보, 제방 등 수리 시설물의 실시간 데이터를 기반으로 전문가·관리자뿐만 아니라 지역 주민, 정치인 등 다양한 이해관계자들이 쉽게 접근하고 위험에 대한 상시 판단이 가능하도록 구성됨



[그림 9] SimDelta의 보, 제방 및 기타 수리 시설물 위험도 표출 예시

□ 독일은 연방정부의 물관련 실무그룹인 LAWA(Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser)를 중심으로 WFD 기반의 물관리 및 홍수 재해대응, 오염물질 관리 등을 수행함⁶⁾

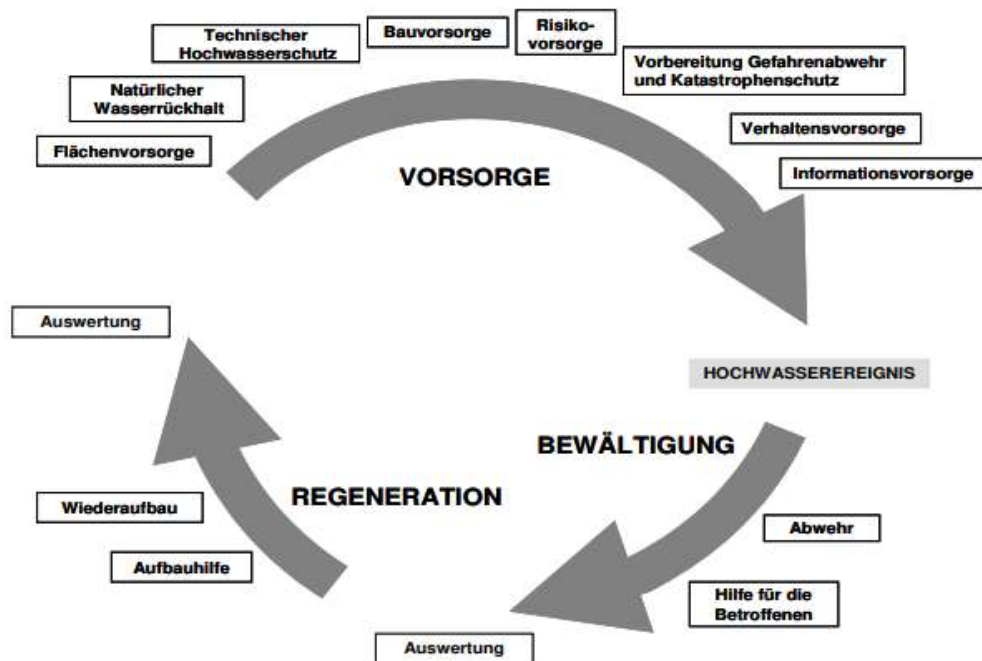
○ LAWA는 1956년 최초로 수립되었으며, 물관리 및 물 관련 솔루션 제공, 물관련 정책의 이행을 목표로 국내외 다양한 조직의 연구결과를 규정에 반영함

- 목표 달성을 위해 물 관련 법률, 하천과 해안의 보존, 생태, 홍수방지, 해안보호, 지하수, 상수도, 산업폐수, 물오염 및 수처리 등 다양한 주제를 다루는 조직을 구성함

○ LAWA는 유럽의 물관련 기본 지침인 WFD(European Water Framework Directive)의 주요 추진 조직으로, 홍수 관련 지침에서 요구하는 활동을 수행함⁷⁾

- 홍수관련 지침에 따라 홍수 예방을 위한 preliminary flood risk assessment, flood risk maps, flood hazard maps을 주기적으로 작성함

○ 독일은 근자연형 하천공법을 적용하여 콘크리트 제방을 지양하고 거석, 통나무, 식생 등과 같은 자연재료를 사용하여 제방과 호안을 시공하였고 근자연형 하천공법은 2000년도에 물관리 기본지침으로 발전함



[그림 10] 홍수위험관리 사이클

* 자료 : Recommendations for the Establishment of Flood Risk Management Plans, LAWA, 2010

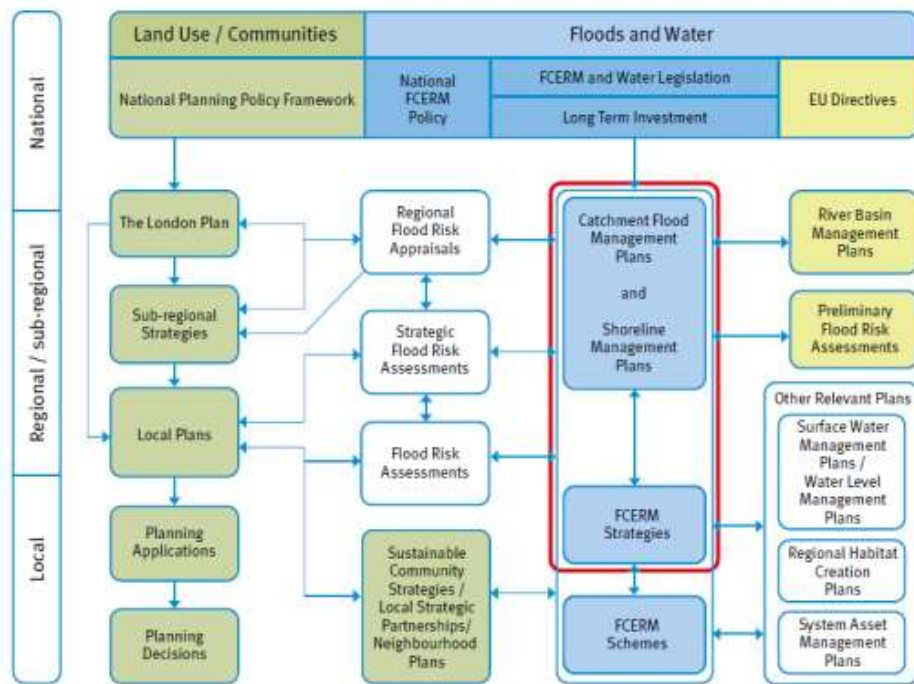
6) LAWA홈페이지(<http://www.lawa.de>), (검색일자 2016. 10.)

7) Recommendations for the Establishment of Flood Risk Management Plans, LAWA, 2010.

□ 영국 환경청(EA)은 홍수 및 해안 침식 위기 관리 정책을 추진하며 홍수위험관리 수행, 위험관리를 위한 자금조달, 홍수비상사태 대처, 홍수 보험 등을 수행함⁸⁾

○ 지방에서는 홍수 및 해안 침식 위기관리 정책(FCERM)에 기반하여 지속가능한 지역사회 유지의 관점에서 홍수위험 평가결과에 기반한 지역적 실천 계획을 수립함⁹⁾

- 영국의 홍수 및 수자원 관련 정책의 추진 체계는 아래의 그림과 같이 구성됨



[그림 11] 영국의 홍수 및 수자원 관련 정책 거버넌스>

* 자료 : Thames Estuary 2100(TE 2100 Plan), EA, 2012.

○ 홍수 및 해안 침식 위기관리 정책(FCERM, Flood and Coastal Erosion Risk Management) 정책에 기반하여 잉글랜드와 웨일즈의 홍수 및 해안침식 위기관리의 전략적 접근을 추진함¹⁰⁾

- 잉글랜드에서는 홍수 및 해안 침식 위기관리 정책을 통해 '15년부터 '21년까지 £2.3bn을 투자하며, 45%는 해안 침식 위기관리 정책 부분에 55%는 홍수 위기관리 정책에 투입할 것을 계획함

- 관리 지역은 크게 16개 지역으로 구분되며, 지역별로 홍수 및 해안 침식에 관한 대응 전략을 세우고 추진할 것을 명시함

8) Flood and Water Management Act 2010 : implementation progress report, 영국 환경식품농촌부, 2012. 12.

9) Flood and coastal erosion risk management: current schemes and strategies, EA, 2014.

10) Flood and coastal erosion risk management: current schemes and strategies, EA, 2014.

- 지역별 홍수 및 해안 침식 위기 대응 프로젝트로 동남부 템즈강 하구유역 중심의 프로젝트인 Thames Estuary 2100 Project가 처음으로 수립됨¹¹⁾
 - Thames estuary 2100 프로젝트는 Essex, Norfolk and Suffolk, Kent and South London 지역 전부와 Hertfordshire and North London 지역 일부를 포괄함
- Thames Estuary 2100 Project에서는 1단계에서 10년부터 2100년까지를 세 단계로 구분하며 단계에 따른 홍수 및 해안 침식에 대한 대응책을 제시함¹²⁾

<표 5> Thames Estuary 2100계획의 주요 내용

단계	내용
1단계 (25년, 2010~2035)	홍수방어시설 유지관리 유역 전반의 홍수터 관리체계(비상대응 및 공간계획) 확보 장래 홍수방어시설의 변화가 요구되는 지역 보호 장래 홍수방어시설의 변화가 요구되는 지역 보호 해수면 상승과 기후변화를 포함한 지표 모니터링 및 관련 계획 정비 새로운 동식물 서식처 창출 사업 착수
2단계 (35년, 2035~2070)	방조제의 상류와 하류의 홍수 방어 시설망 교체 및 개선 동식물 서식처 창출사업 계속 새로운 방조제 건설 여부 결정 및 계획 수립 착수
3단계 (30년, 2070~2100)	방조제 건설 계획 착수(현재 평가결과로는 Long Reach에 신규 방조제 건설 계획) 추가적 홍수방어시설 구축 및 적응대책 시행

* 자료 : 기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구(I) 총괄보고서, 국토연구원, 2009.

- 환경청(Environment Agency)은 홍수 및 해안위험관리국(Flood and Coastal Risk Management)에 기후변화 모델링 개발과 홍수 방어를 위한 투자를 계획함
 - 기후변화 모델링 개발과 홍수 방어를 위한 투자에 연간 5.7억 달러를 투자하고 있으며, ‘35년까지 매년 10억 달러를 지원할 계획임¹³⁾
- 벨기에는 ‘03년 승인된 EU 통합 수자원 정책에 관한 플랑드르 법령을 따르고 있으며, 대부분의 홍수 제방은 Agencies within the ministry of mobility and public works에서 관리함
 - ‘15년 Kennis Netwerk Dijken(KND)가 설립되었으며, 제방기술 서비스 공유를 통해 제방관리를 강화하고 전문화함

11) TE2100 Plan, EA, 2012.

12) TE2100 Plan, EA, 2012.

13) 영국 환경청 홈페이지(<http://www.environmentagency.gov.uk>), (검색일자 2016. 10.)

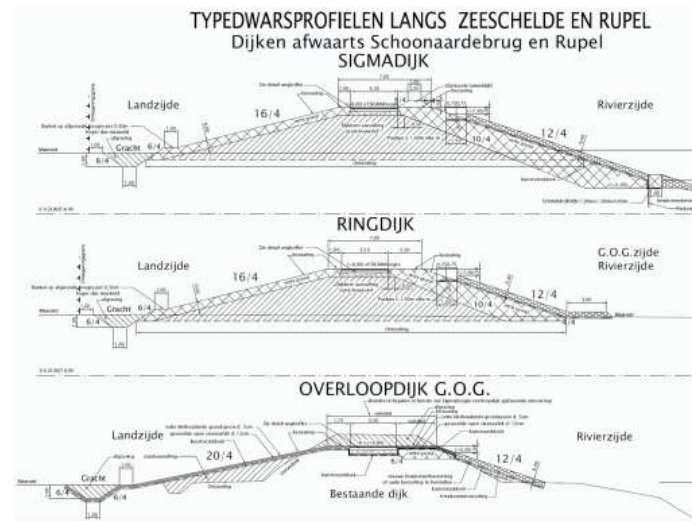


Figure B-15. Standard levee profiles applied within the Sigmaplan (Source: de Vlaamse Waterweg nv)

[그림 12] 벨기에의 표준 제방 프로파일

- 벨기에는 1~6년마다 제방 지형과 수심을 측량하며, 방수시설의 현장 검사는 1~3년마다 진행함
 - 표준 제방 보강 공사 비용은 200만~400만 유로/km임
- 현재 벨기에의 주요한 제방 관련 연구 사항은 아래와 같음
 - 얇은 밧 / 또는 초목이 식생 한 파동 전파, 침식 및 파동
 - 파동, 충격 및 오버 토폭 및 넘침에 따른 잔디 덮개의 강도
 - 굴을 파는 동물 활동으로 인한 손상 방지
 - 침해 시작 및 성장



[그림 13] 손상된 제체

□ 영국은 제방의 고장 위험도에 따라 6개월에서 5년의 기간 차등을 두어 검사 빈도를 설정하고 있으며, 해당 검사를 통해 1~5등급의 자산 등급을 매김

○ 지난 10년간 영국의 제방 고장의 가장 큰 원인은 가파른 후면 침식이었으며, 지역 불규칙성에 의해 생선된 오버탑 등이 그 원인으로 꼽힘

□ 영국은 제방 및 홍수 관리와 관련하여 '91년 토지배수법을 제정한 이래 '91년 수자원 법, '10년 홍수 및 수자원 관리법(FWMA)을 제정하여 관리하고 있음

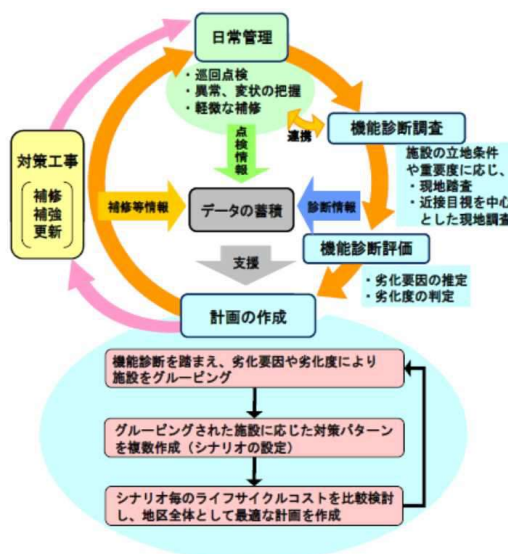
○ 환경청에서 제방 및 홍수 방어시설을 건설 유지 및 운영함

다. 일본

□ 일본의 하천관리 전반은 국토교통성이 관할하며, 수자원 개발이 특별히 요구되는 주요 7대 하천의 수계를 '수자원개발수계'로 지정하여 <수자원개발기본계획>을 수립·운영하고 있음

○ 국토교통성은 <차기 수자원개발기본계획 수립(안)>에서 스톡 매니지먼트(stock management)를 통한 수리 시설물의 장수명화, 기후변화에 대한 대응에 주안점을 부여함

- 수리 시설물의 장수명화를 달성하기 위하여 스톡 매니지먼트 개념을 기반으로 한 장수명화 대책 플랜 수립 및 기술 적용을 추진할 계획임



[그림 14] 수리 시설물의 데이터 기반 스톡 매니지먼트 사이클

- LCC(life cycle cost) 절감뿐만 아니라 구체적인 <시설물 장수명화 계획>을 통하여 유지 관리 주기를 거치는 동안에 축적된 데이터를 기반으로 상시 장수명화 대책을 개선하는 것을 목표로 함
- 순회 점검, 이상 부분 파악, 기능진단 검사, 시설물이 위치한 지역에 대한 근접 조사 등을 통해 데이터를 지속적으로 축적하며, 열화 개소 및 향후 수재해 발생 시 취약할 것으로 예측되는 개소에 대한 보완 보강 및 갱신을 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 함
- 기후변화에 대한 대응의 구체적인 목표로, 기후변화가 국민의 생명, 사회 안전 및 자연환경에 미치는 영향을 최소화 혹은 회피, 신속 회복이 가능한 물 관리·공급 시스템 구축을 주요 목표로 설정하고 있음
- 물의 상호유통을 포함한 백업 체제 정비, 수재해에 대한 신속한 대응이 가능하고 높은 회복탄력성을 가진 시설 구축 등을 추진함

□ **일본 기상청은 폭우와 강풍 등으로 재해 및 홍수가 일어날 우려가 있을 때는 주의보를 발표하고, 중대한 재해가 일어날 우려가 있을 때는 경보, 또한 중대한 재해가 일어날 우려가 두드러지게 클 때는 특보를 발표**

- 기상 경보·주의보는 대상으로 하는 기상 현상의 발생이 예상된 경우에 발표하며, 예상되는 기상 현상이 발생하는 3 ~ 6시간 전에 발표
- 단시간의 강한 강우에 관한 호우 경보·주의보 및 홍수 경보·주의보에 대해서는 대체로 2 ~ 3시간 전에 발표
 - 또한 야간, 이른 아침에 경보 발표 가능성이 있는 경우에는 저녁에 주의보를 발표하고 경보를 발표할 가능성의 시간대를 그 주의보 발표 속에 “새벽에 경보로 전환
- 기상청은 방재 기관의 방재 활동을 원활히 실시할 수 있도록 2010년 5월부터 개별의 시읍면을 발표 구역으로 지정하여 기상 경보·주의보를 발표

2. 국내 정책동향 분석

가. 관련 법령

(1)물관리기본법

□ '18년 제정된 동 법률은 홍수 등 재해의 예방을 통하여 지속가능한 물순환 체계를 구축하고 국민의 삶의 질 향상에 이바지함을 목적으로 하며, 구체적으로는 유역별 물관리에 대한 기본 방침을 제시하고 있음

○ 동 법률 제 2장 11조에서는 지속가능한 개발·이용을 보전하고 가뭄·홍수 등으로 인해 발생하는 재해 예방을 위해 유역 단위로 관리되어야 한다는 원칙을 제시하고 있음

- 같은 장 13조에서는 국가와 지방자치단체는 각종 물관리 정책을 시행함에 있어 유역 전체를 고려해야 하며, 유역·지역간 연대가 필수적으로 이뤄져야 함을 강조함

- 같은 장 15조에서는 국가와 지방자치단체는 용수를 절약하고 물손실을 감소시키기 위한 노력을 통하여 물수요를 적정하게 관리하여야 하며, 하수의 재이용, 염수의 민물화 등 수자원 개발과 재해예방 및 관리를 위한 기술개발을 적극적으로 수행해야 함을 강조함

(2) 물관리기술 발전 및 물산업 진흥에 관한 법률

□ 물관리 기술의 체계적인 발전 기반을 조성하고 물산업 진흥을 통한 국민의 삶의 질 향상을 목표로 하며, 정부의 물관리기술의 개발 촉진 의무와 근거를 제시하고 있음

○ 동 법률과 시행령·시행규칙에서는 정부는 물관리기술의 개발을 촉진하기 위하여 물관리기술의 연구·개발을 추진하여야 함을 명시하고 있음

- 동 법률은 물관리 기술 발전 및 물산업 진흥을 위한 기본계획(정부)과 지역적 특성을 고려한 시행계획(지자체)을 수립·시행하고 물관리기술 개발·보급을 촉진하기 위한 물기술종합정보시스템 구축, 우수제품 등의 사업화 지원, 혁신형 물기업의 지정 및 지원 근거 등을 마련함

(3) 하천법

- 하천법은 하천 사용의 이익을 증진하고, 하천시설을 적정하게 관리함으로써 공공복리의 증진에 이바지함을 목적으로 하며, 하천 시설의 설치 및 관리, 피해발생 저감에 대한 의무 규정을 포함하고 있음
 - 동 법률 제 2장 15조에서는 댐·보·수문·하굿둑 등 대통령령으로 정하는 하천시설을 설치한 자는 국토교통부령으로 정하는 바에 따라 하천시설의 관리규정이 마련되어야 함
 - 동 법률 제 3장 22조에 따르면 국토교통부 장관은 하천관리에 필요한 자료의 효율적인 활용을 위하여 하천관리 정보체계를 구축·운영해야 함
 - 국토교통부 장관은 하천관리 정보체계의 구축을 위하여 중앙행정기관·지방자치단체·정부투자기관 또는 정부출연기관 등 관계 기관의 장에게 필요한 자료의 제출을 요청할 수 있으며 특별한 사유가 없는 만큼 이에 응하여야 하는 만큼, 하천시설 유지·관리 시에 철저한 정보의 수집 및 DB화가 요구된다고 할 수 있음
 - 동 법률 제 10장 90조에 의하면 하천과 관련된 기관 또는 단체에게 위탁 가능한 하천시설 관련 전문 업무에는 하천관리 자료의 정보화 업무가 포함됨
 - 동 법률 제 5장 39조에서는 댐 또는 하굿둑 등 하천시설을 설치한 자는 동 시설로 인한 재해발생을 사전에 방지하거나 줄이는데 필요한 시설을 설치하고, 관련 조치를 취해야 함
 - 설치자는 그 댐 등의 적정한 관리를 위하여 국토교통부령으로 정하는 자격을 가진 관리기술자를 두도록 함으로써 하천시설에 대한 전문 기술자의 관리 의무를 부여함

(4) 수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률

- 동 법률은 수자원의 조사 및 관리 효율화 업무를 전 국토공간에 대해 시행하도록 규정하고 있으며, 물 관련 재해로부터 국민생활환경의 안전 도모를 목표로 함
 - 동 법률은 수자원 관리의 효율화에 대해 명시하고 있으며, 기존 하천법에서 규정하던 수자원 장기종합계획 및 유역종합치수계획에 관한 사항을 이관하여 규정함
 - 동 법률은 수자원으로 인해 발생할 수 있는 문제점들에 대해 중점적으로 명시하여 수자원 시설의 홍수조절능력을 재평가하고 수자원 관련 정책 수립에 활용할 수 있도록 함
 - 동 법률은 수자원 관련 자료의 효율적 관리를 위하여 수자원 관리기술의 실용화·산업화를 추진하는 것을 명시하고 있음

나. 관련 상위계획

(1) 국정운영 5개년 계획

- 국정운영 5개년 계획은 문재인정부 5년간의 정책집행 단계에서 정합성 및 일관성을 유지하고, 국정운영의 연속성을 확보하는 수단으로서 수립됨
 - ‘국민의 나라 정의로운 대한민국’이라는 비전 하에, 5대 국정목표 및 20대 국정전략, 100대 국정과제로 구성됨
- 문재인정부는 국민안전과 생명을 지키는 안심사회 구축을 주요 국정방향으로 제시하고 있으며, 이를 위해 기후변화 및 수재해로부터 안전한 하천시설 운영 및 관리가 필요함
 - ‘(55) 안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축’ 국정과제에서는 각종 안전사고로부터 국민생명 보호 강화 추진을 위해 첨단기술을 활용한 대응체계 마련을 제시함
 - 안전위험요소 제거를 위해 IoT를 활용한 위험 예측, 감지, 분석, 대응기술 개발을 추진함
 - ‘(59) 지속가능한 국토환경 조성’ 국정과제에서는 안전한 물환경을 위해 이치수가 조화되는 하천을 조성함
 - 4대강 재자연화와 통합 물관리를 통해 이·치수가 조화되는 하천조성을 목표로, 안전한 물환경 구축을 추진함
 - ‘(61) 신기후체제에 대한 견실한 이행체계 구축’ 국정과제에서는 기후변화 리스크를 예측·관리하고, 피해를 최소화하는 안전사회를 구현함
 - 국정과제에서는 기후변화 등으로 발생하는 수재해 피해를 최소화하고 국민 생명을 보호하기 위해서 IoT 등 첨단 기술을 활용하여 위험을 사전에 예측하고 관리하는 체계 구축을 추구하고 있음

(2) 제4차 과학기술기본계획

- 제4차 과학기술기본계획은 국가 과학기술 관련 정책수립 및 추진방향을 제시하는 최상위계획임
 - ‘40년까지의 장기적 비전으로 과학기술이 지향해야 할 바람직한 미래사회의 모습을 구체적인 목표로 제시함

- ‘과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여’를 비전으로 설정하고, 4대전략과 19개 중점추진과제, 120대 중점과학기술을 제시함

□ 동 계획에서는 ICT기반의 융합기술과 서비스를 확산하여 재난, 안전, 환경 등 국민 생활과 밀접한 문제를 해결을 제시하며, 첨단 융합기술을 활용한 재난안전 기술개발을 제시함

○ 4대 전략 중 ‘과학기술로 모두가 행복한 삶 구현’ 전략에서는 국민들이 쾌적하고 편안한 환경에서 건강하고 활기차게 살아갈 수 있도록 ICT 기반의 융합기술과 서비스 확산과 재난, 안전, 환경 등 국민생활과 밀접한 문제 해결에 과학기술 기여를 추구함

- ‘안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현’ 과제에서는 사회적 위협에 효과적으로 대응하기 위한 기술개발 확대, 국민 안전복지 확대를 위한 IoT기반의 지능형 플랫폼 개발 등 안전사고 예방·대비 서비스 개발, 위치정보, 위성영상, 지능정보기술, 3D공간정보 등을 융합한 위협대비 통합예측기술 및 상황관리기술 개발을 제시함

(3) 제2차 국가기후변화 적응대책

□ 제2차 국가기후변화 적응대책은 저탄소녹색성장기본법에 따른 법정 국가 적응대책으로 “기후변화 적응으로 국민이 행복하고 안전한 사회구축” 비전 하에 4대 정책 부문과 16개 과제로 구성됨

□ 제2차 국가기후변화 적응대책에서는 수재해 대응과 관련하여 ‘기후영향 모니터링’, ‘취약지역·시설 관리’, ‘재난·재해 관리’를 제시하고 있음

○ 기후변화로 인한 생태계 및 건강 영향 모니터링을 위해 국토부에서는 첨단기술을 기반으로 하는 수자원 모니터링 과제를 설정

- 과제는 생태계 변화에 대한 예측의 필요성과 기후변화로 인한 환경 변화에 능동적으로 대처할 수 있도록 하는 기반을 마련하기 위함
- 이를 위하여 국토부는 ICT 기반의 기후변화 영향 모니터링 체계 구축 과제를 수행
 - 유량·유사량·토양수분량·증발산량 조사, 자동유량측정시설 운영·설치로 수문정보인프라 확충 및 기후변화에 따른 수자원 관리 강화

- 첨단기술 기반 하천 모니터링 및 하천정보 활용기술 개발로 하천 운영·관리 선진화
- 기후변화 취약지역·취약시설 피해 최소화를 위해 국토부의 역할로 재해예방사업의 일환으로서 하천관리를 설정
 - 4대강 외 국가·지방하천 및 소하천 관리·정비를 추진
 - 면적·공간단위 선행 강우관측(약 3시간)이 가능한 “강우레이더 설치” 확대로 첨단기술 적용 차세대 홍수예보시스템 구축(‘16~‘17), 국가하천 (2,332km)에 대한 “홍수위험지도 제작” 으로 홍수피해 예방(‘16)
 - 기후변화로 홍수에 취약한 4대강 외 나머지 하천의 홍수예방을 위해 지속적인 하천정비 추진
- 분산되어 있는 기존 재난시설물로는 대형화되는 재해대응에 한계가 있으며, 다양한 시설물간 유기적 연계를 통한 종합적 재해예방이 필요함
 - 기후변화를 고려한 강우빈도, 목표강우량 등을 고려한 우수저감시설 설치에 대한 세부기준을 마련하고 활성화함
 - 상습침수지역을 중심으로 중·소규모 우수저류시설 설치, 개발사업 시행자 우수유출저감시설 설치 세부기준 마련 등 활성화대책을 추진함
 - 기후변화 적응력 제고를 위한 물관리 대책 마련과 기술개발을 추진함
 - 이상강우로 위협받는 댐 등 수자원 시설의 안전성 진단 및 치수능력을 강화함
 - 수해위험이 높고 기존대책으로는 효율적 대응이 어려운 지역에 대한 홍수종합대책을 수립하고, 유역단위 종합치수 계획을 수립함

(4) 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획

- ☐ 국토교통과학기술 연구개발 종합계획은 국토교통과학기술에 관한 장기적·종합적 정책방향을 설정하고 중장기 투자전략을 정하는 최상위 법정 종합계획임
- 4차 산업혁명에 따라 경제·산업구조의 근본적 변화에 대응하고 미래 신시장 선점, 전통적 국토교통 산업분야에 신기술을 결합한 고부가가치 산업으로 도약 계기 마련, 사회·환경 변화에 대응하여 각종 사회 문제에 대한 기술적 해법 제시 등의 필요성에 따라 수립됨
- “혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통” 비전 하에 4대 추진전략과 12대 실천과제, 브랜드과제로 8대 혁신성장동력을 설정함
- ☐ 동 계획에서는 ‘스마트 하천관리 시스템’, ‘노후 수리시설물 보수·보강’, ‘하

천지역 건전성 확보' 가 제시됨

- 제방 손상 탐사 및 보강 기술은 ‘재난·재해 예방 안전기술 개발’ 세부전략의 전략목표 중 ‘실시간 수재해 관리 시스템’의 추진 방향과 부합함
 - ‘실시간 수재해 관리 시스템’ 구축을 위한 구체적인 기술전략 구성요소로 ‘스마트 하천 관리 시스템’, ‘노후 수리시설물 보수·보강’, ‘하천지역 건전성 확보’가 제시됨
 - 동 기술전략 구성요소를 통해 수재해 저감을 위한 시설물과 지능형 관리기법을 개발하고, 수자원 정보를 통합운영·관리하여 실시간 수재해 예측 및 대응을 달성하고자 함

<표 6> 국토교통과학기술 연구개발 종합계획의 4대 추진전략 및 전략목표

4대 추진전략	세부전략	전략목표	기술전략 구성요소
4차 산업혁명 대응 혁신성장 동력 육성	...	...	...
기술융합을 통한 새로운 가치창출	...	...	...
사람 중심의 국토교통 기술개발	재난·재해 예방 등 안전기술 개발	실시간 수재해 관리 시스템	스마트 하천관리 시스템 노후 수리시설물 보수·보강 기술 하천지역 건전성 확보 기술
		예방형 재난대응 시스템	...
		철도·항공 이용자 보호 시스템	...
		도로교통 이용자 보호 시스템	...
	친환경 생활공간 조성 기술 개발	...	...
	사회이슈 해결형 기술 개발	...	...
미래지향적 R&D 시스템 도입	...	...	...

다. 관련 사업

- 국토교통부는 ‘19년 하천예산 1조 6천억원을 투입하여 국가·지방 하천의 재해 위험을 예방하고 국가하천의 하천시설에 대한 안전을 강화함

- 제방의 신설·보강, 하도 정비 등 국가·지방하천 정비 사업을 지속 추진하여 기후변화에 따른 잦은 집중호우 등의 자연재해로부터 안전한 국토환경 조성에 기여함
 - 국가하천의 제방·호안 등 하천시설, 공원·자전거도로 등 친수시설에 대한 유지보수 예산 1,451억 원을 투입하여 안전한 하천환경 조성 및 국민편익 증진을 도모함
 - 안전등급이 낮은 하천시설에 대해서는 예산을 우선 배정하여 개축·보수 등 긴급보수 할

예정이며, 사회기반시설의 안전 강화를 위해 국가하천 유지보수 사업은 예방중심으로 추진함

2절. 시장동향 분석

1. 국내 시장동향 분석

가. 국내 홍수재해 피해 현황

□ 2000년 이후 현재까지 우리나라에 미친 주요 태풍은 17건으로 주로 6월~10월 사이에 발생하며, 연간 0.85회 정도 우리나라에 피해를 주는 것으로 분석됨

○ 2010년 이후 태풍으로 인한 피해는 평균 190,028백만원이며, 2012년에 발생한 태풍으로 인한 피해가 975,991백만원으로 가장 컸고, 피해 복구비 또한 유사한 양상을 보임

<표 7> 태풍으로 인한 피해 및 복구비 현황(2010~2019)

연도	피해액(백만원)	복구액(백만원)
2010	180,238	195,326
2011	213,749	452,013
2012	975,991	1,879,427
2013	1,669	4,245
2014	5,256	10,253
2015	13,873	29,406
2016	226,085	532,265
2017	-	201
2018	70,638	274,827
2019	212,778	1,320,327
평균	190,028	469,829

* 피해액 및 복구비는 '19년 기준 환산금액임

* 자료 : 2019 재해연보 (2020.12.)

○ 태풍의 크기별로 편차는 있지만 태풍 1회당 평균 약 41명의 사망자·실종자와 12,909명의 이재민이 발생한 것으로 분석됨

○ 특히 02년 루사, 03년 매미로 인한 피해액은 5~6조인 것으로 확인됨

<표 8> 우리나라에 영향을 미친 주요 태풍 현황(2000~2019)

태풍명	중심기압 (hPa)	발생시기	사망, 실종 (명)	이재민 (명)	재산피해 (백만원)	비고
PRAPIROON (프라피룬)	965	00년 8월	28	1,927	252,050	전국
SAOMAI (사오마이)	925	00년 9월	2	990	146,249	전국
RUSA (루사)	950	02년 8월	246	63,085	5,147,917	전국
SOUDELOR (소델로)	955	03년 6월	2		10,905	부산, 울산, 경북, 경남
MAEMI (매미)	910	03년 9월	131	61,844	4,222,486	전국
MEGI (메기)	970	04년 8월	7	4,712	250,812	강원, 전북, 전남, 경북, 경남
EWINIAR (에위니아)	920	06년 7월	62	2,790	1,834,428	전국
NARI (나리)	960	07년 9월	16	478	159,175	전국(서울, 부산, 인천, 울산, 경기 제외)
KOMPASU (곤파스)	960	10년 9월	18	1,339	167,385	전국(부산, 대구, 대전, 울산 제외)
MUIFA (무이파)	930	11년 8월	1	3,358	218,314	전국 (서울, 대구, 울산, 강원 제외)
BOLAVEN, TEM BIN (볼라벤 및 덴빈)	965, 975	12년 8월	11	3,830	636,471	전국
SANBA (산바)	965	12년 9월	2	3,843	365,716	전국(서울, 인천 제외)
CHABA (차바)	970	16년 10월	6	6,714	214,464	부산, 울산, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주
PRAPIRRON (쁘라삐룬)	975	18년 7월	1	20	6,416	부산, 대전, 울산, 경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주
SOULIK (솔릭)	950	18년 8월	-	39	9,251	강원, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주
KONG-REY (콩레이)	975	18년 10월	2	2,381	54,949	부산, 대구, 광주, 대전, 울산, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주
LINGLING (링링)	955	19년 9월	4	24	33,395	전국(부산, 대구 제외)

태풍명	중심기압 (hPa)	발생시기	사망, 실종 (명)	이재민 (명)	재산피해 (백만원)	비고
MITAG (미탁)	975	19년 10월	15	5,274	167,705	전국(서울, 인천, 대전, 세종, 제외)

주) 재산피해액은 2019년 기준 환산 금액임

* 자료 : 2019 재해연보

□ 최근 들어 과거에 비해 호우일수가 감소하고, 강우량이 증가함에 따라 강우강도가 커지는 등 강우 발생 형태가 변화하고 있음

○ 집중호우발생 횟수는 증가하고 있으며, 2040년까지 연평균 강수량은 200mm이상 증가, 그 이후는 300mm이상 증가가 전망됨¹⁴⁾

- 기상청 통계에 따르면 30mm/hr 이상 집중호우의 빈도가 1980년대 60회에서 2000년대 이후 82회로 37%가 급증함

- 연간 30mm/h 이상 횟수: 80년대 60회 → 90년대 70회 → 2011년 133회¹⁵⁾

- 2011년의 경우 133회로 2000년대 평균값보다 20일 가까이 많은 수치임

- 집중호우(시간당 50mm이상 강우)의 평균 발생횟수는 '79~'97년까지 11회/년이었으나, '97~'06년까지는 20회/년로 약 1.8배 증가함

○ 기상청 통계에 따르면 최근 몇 년간 우리나라의 여름철 강수량은 증가하는데 강수일은 줄어든 형태의 변화를 나타내고 있어 열대지방의 스콜처럼 비의 집중도가 강해지고 있음

연도별 장마기 강수일수(단위 : 일)					최근 3년간 여름 강수량 추이	
연도	중부	남부	제주도	전국	전국 평균 (단위: mm)	
2013	30.2	19.9	14.0	24.2		
2014	12.9	15.6	21.0	14.5		
2015	18.5	16.7	13.5	17.5		
2016	18.5	15.8	18.0	16.1		
2017	18.5	15.7	8.0	16.9		

[그림 15] 연도별 장마기 강수일수 및 강수량 추이

* 자료 : 기상청 보도자료, 2018

○ 2013년 7월 집중호우로 인해 경기, 강원지역의 농작물 침수 및 유실로 28,491백만원의 피해

14) 수자원 비전 2045, 국토교통부, 2016.7

15) 수자원 비전 2045, 국토교통부, 2016.7

가 발생함

- 중부지방, 남부지방의 경우 장마기간은 각각 49일, 46일로 1973년 이후 최고 1위를 기록하였음

○ 2017년 7월 청주에 집중호우가 발생함 (16일 오전 충북 중북부지역의 경우 시간당 91.8mm 기록)

- 청주시 전역에 산사태 경보 발생
- 무심천, 미호천 등 주요 하천 범람 및 홍수경보 발령
- 침수 피해 신고 500건 이상 등 3260억 원 이상의 재산피해 발생

○ 2017년 7월 천안에 집중호우가 발생함 (16일 총 강수량 232.7mm, 오전 시간당 74mm 기록)

- 이재민 3명 발생 및 50가구 고립

○ 2018년 8월 강원 영동지역에 최고 282mm의 집중호우가 발생함

- 시간당 93mm 의 기록적인 폭우가 발생하여 강릉은 도로, 농경지, 건물등이 침수되었음
- 강릉의 시간당 93mm 폭우는 2002년 8월 31일 태풍 ‘루사’ 당시 시간당 100.5mm에 이은 역대 2위의 기록임

□ 최근 10년간 호우로 인한 피해액은 총 1.2조원 규모임

- 연도별로 차이는 있지만 매년 평균 1,238억원의 호우피해가 발생하는 것으로 나타났으며, 2011년의 경우 지난 10년간 피해액의 약 42%에 달하는 피해가 발생한 것으로 분석됨
- 최근 10년 호우 피해에 따른 복구비는 연평균 308,871백만원이며, 2011년 1,138,531백만원으로 가장 큰 것으로 나타남

<표 9> 호우로 인한 피해 및 복구비 현황(2010~2019)

연도	피해액(백만원)	복구액(백만원)
2010	188,864	525,260
2011	516,580	1,138,531
2012	37,369	96,226
2013	156,256	373,202
2014	141,283	462,530
2015	1,255	1,677
2016	37,831	38,803
2017	103,522	324,910
2018	53,810	122,202
2019	1,650	5,373
평균	123,842	308,871

* 피해액 및 복구비는 '19년 기준 환산금액임

* 자료 : 2019 재해연보 (2020.12.)

□ 4대강 사업으로 정비가 완료된 한강, 낙동강 등 주요 국가하천에 비해 지류하천(기타 국가하천 및 지방하천)은 홍수에 취약함

- 국내 국가하천의 비율은 약 11%에 불과하여 구간별 하천관리를 하는 일본에 비하여 현저히 낮음
 - 1982년 국가하천지정 이후 34년 동안 국가하천 승격이 전무
 - 승격대상 지방하천은 국가하천과 규모는 비슷하나 계획빈도가 낮아 실제 치수안전도는 매우 낮은 상태

<표 10> 국가하천 현황

구 분	하천개소수		하천연장	
	수	비율(%)	연장(km)	비율(%)
계	3,931	100.0	30,202	100.0
국가	84	2.1	3,281	10.9
지방	3,847	97.9	26,921	89.1

* 자료 : 수자원장기종합계획(2001~2020) 제3차 수정계획 연구보고서, 국토교통부, 2016.12

- 지방하천의 홍수안전도(제방정비 완료구간)는 약 49% 수준임 (5대강 본류 100%, 기타 국가하천 76.9%)
 - 지방하천 정비사업 종합계획 보고서(2011, 국토해양부)에서 하천재해 예방사업은 홍수피해 예방을 위한 치수중심 사업으로 사업시행 유무 및 중복구간 등을 고려하여 전체 사업량을 1,278개소(약 5,529km)로 검토하고 있음
 - 잔여사업 904개소(약 3,922km), 계속사업 349개소(약 1,510km), 신규사업 25개소(약 97km)
- 동일하천 수계를 국가지자체가 분할관리 하고 있어 유역차원의 하천관리가 어려운 측면이 존재함
- 지방하천은 국가하천에 비해 기본계획 수립률이 저조하고 지자체 관심도에 따라 수립률이 크게 차이가 발생함

나. 국내 수재해 대응 시장 분석

□ 국내 수재해 관리는 중앙부처 및 지자체에서 추진하고 있으므로, 국내 수재해 예측 시장은 공공발주 시장으로 볼 수 있음

- 수재해 관리는 환경부, 국토교통부, 행정안전부, 기상청 등 중앙부처와 각 지자체에서 추진하고 있음
- 환경부에서는 수재해 관리와 관련하여 댐 유지관리, 산업단지 완충저류 시설 설치, 댐 안정성 치수능력 강화 사업 등을 국토교통부로부터 이관받아 추진하고 있음
 - 댐 유지관리 사업은 '17년 417억원의 예산이 투입되었으며, '18년 환경부로 이관되어 479억원이 배정되었고 '20년 506억원의 예산이 투입됨

<표 11> 댐 유지관리 사업 예산 추이

(단위 : 억원)

구분		'16	'17	'18	'19	'20	평균
댐 유지관리 사업	국토교통부		417.0	-	-	-	-
	환경부	-	-	479.4	479.4	506.8	-
계			417.0	479.4	479.4	506.8	

* 자료 : 환경부, 국토교통부 부처별 예산자료

- 산업단지 완충저류시설 설치 사업은 '18년부터 환경부에서 추진되었으며, '18년 325.47억원, '20년 536.86억원의 예산이 계획되었음

<표 12> 산업단지 완충저류시설 설치 사업 예산 추이

(단위 : 억원)

구분	'16	'17	'18	'19	'20	평균
산업단지 완충저류시설 설치 사업	-	-	352.5	325.7	536.9	405.0

* 자료 : 환경부, 국토교통부 부처별 예산자료

- '치수능력증대사업'은 '17년부터 '댐 안정성 치수능력 강화사업'과 '댐 유지관리사업'으로 분할되어 추진되었으며, '20년 기준 '댐 안정성 치수능력 강화사업'은 506.8억원, '댐 유지관리사업'은 708.1억원의 예산이 계획됨
- 댐 안정성 치수능력 강화사업은 세부적으로 '댐 안전성 강화(1단계)사업', '충주댐 치수능력 증대사업', '남강댐 치수능력 증대사업', '평화의댐 치수능력 증대사업'으로 추진됨

<표 13> 댐 안정성 치수능력 강화사업 및 댐 유지관리사업 예산 추이

(단위 : 억원)

구분		`16	`17	`18	`19	`20	평균
댐 유지관리 사업			417.0	479.4	479.4	506.8	470.7
댐 안정성 치수능력 강화사업	댐안전성 강화(1단계) 사업		-	82.0	220.0	380.2	227.4
	충주댐 치수능력 증대사업		295.0	236.3	201.3	290.9	255.9
	남강댐 치수능력 증대사업		-	9.0	-	37.0	23.0
	평화의댐 치수능력 증대사업	714.0	254.0	113.5	-	-	183.8
	소규모댐 건설사업		160.0	-	-	-	160.0
	주암댐 도수터널 시설 안정화 사업		12.0	12.0	-	-	12.0
	단양수중보건설사업		89.0	-	-	-	89.0
	보령댐 도수로 건설사업		125.0	-	-	-	125.0
계		714.0	1,352.0	932.2	900.7	1,214.9	1,022.6

* 자료 : 환경부, 국토교통부 부처별 예산자료

○ 국토교통부에서는 '17년까지 하천관리 및 홍수예보사업이 추진되었으나, '18년 홍수예보사업이 환경부로 이관되며, 하천관리 사업만 추진되고 있음

- 하천관리사업은 국가하천정비사업, 지방하천정비사업, 치수연구개발, 댐직류하천정비사업, 수자원공사지원사업, 국가하천 유지보수사업, 하천편입토지보상사업, 지방하천정비사업, 경인 아라뱃길사업 등으로 세분화되어 추진되고 있음

- 지방하천정비사업은 '20년부터 지자체로 이관되었음

<표 14> 하천관리사업 예산 추이

(단위 : 억원)

구분	`16	`17	`18	`19	`20	평균
국가하천정비사업	8,611.0	3,920.0	3,586.0	3,456.0	3,415.0	4,597.6
지방하천정비사업(생활, 제주, 세종)	6,384.0	5,787.0	5,691.0	5,697.0	-	5,889.8
치수연구개발사업	-	323.0	296.0	292.0	291.0	300.5
댐 직류하천 정비사업	-	180.0	160.0	-	-	170.0
국가하천 유지보수사업	-	1,410.0	1,418.0	1,451.0	1,808.0	1,521.8
하천 편입토지 보상사업	-	286.0	55.0	17.0	17.0	93.8
수자원공사지원사업	-	2,778.0	2,964.0	-	-	2,871.0
경인아라뱃길 사업	-	433.0	-	-	-	433.0
아라뱃길지원 및 하천편입보상 사업	970.0	-	-	-	-	970.0
계	15,965.0	15,117.0	14,170.0	10,913.0	5,531.0	16,847.5

* 자료 : 국토교통부 예산자료

○ 행정안전부에서는 재난관리-안전관리사업, 재난안전기술개발사업 등에서 홍수재해 관련 재난 관리 사업을 추진하고 있음

- 재난관리-안전관리사업은 '16년까지 국민안전처에서 재난관리부문사업으로 추진되었으며, '17년 행정안전부로 부처가 변경되며, 사업명도 재난관리-안전관리사업으로 변경되었음
- 소하천정비사업은 '20년 지자체로 이관됨

<표 15>재난관리-안전관리 사업 예산 추이

(단위 : 억원)

구분	'16	'17	'18	'19	'20	평균
재해위험지역 정비사업	3,519.1	3,587.1	3,759.6	3,991.7	4,379.4	3,847.4
우수저류시설설치사업	718.4	710.5	695.5	553.2	695.4	674.6
소하천정비사업(지역자율, 제주, 세종)	-	2,115.3	2,115.3	2,584.6		2,271.7
재난안전산업 활성화사업	6.4	-	-	-	-	6.4
자연재해 예측 및 저감 연구개발사업	118.4	-	-	-	-	118.4
재난상황관리기술개발사업	28.7	-	-	-	-	28.7
계	4,391.0	6,412.9	6,570.4	7,129.5	5,188.8	5,938.5

* 자료 : 행정안전부 예산자료

○ 지자체의 홍수재해 대응 관련사업은 하천재해예방사업, 수해상습지개선사업, 재해위험지역 정비사업, 지방하천정비사업 등으로 추진됨

- 지자체의 홍수재해 대응관련사업은 지자체별 예산회계자료의 예산 및 사업내용을 토대로 선별하였음

<표 16> 지자체별 홍수재해 대응 관련 사업 예산 추이

(단위 : 억원)

17개 시도	사업명	'19	'20
충청남도	지방하천 재해예방사업	42.6	35.3
	지방하천 재해예방사업(2차 추경)	-	38.4
충청북도	한천 덕산2지구 수해상습지개선사업(전환사업)	60.0	57.0
	추풍령천 계룡지구 수해상습지개선사업(전환사업)	30.0	15.8
	무심천 수해상습지개선사업(전환사업)	40.0	46.7
	백천 수해상습지개선사업(전환사업)	50.0	36.0
	오가천 수해상습지개선사업(전환사업)	57.0	45.0
	양성천외 1개소 재해예방사업	-	3.0
	보강천외 1개소 재해예방사업	-	3.0

(단위 : 억원)

17개 시도	사업명	'19	'20
전라남도	지방하천 재해예방사업	1,239.2	1,129.0
전라북도	재해위험지역 조기경보시스템 구축사업	-	71.0
제주도	하천재해예방사업	180.3	334.0
경상남도	하천재해예방사업	1,225.1	1,300.9
경상북도	재해예·경보시설정비	3.5	3.9
	지진방재사업 추진	5.9	2.8
	소하천정비사업비지원	19.9	16.8
	풍수해생활권종합정비사업	5.2	82.9
	자연재해위험개선지구정비사업	627.3	726.1
경기도	수해상습지 개선사업	653.6	549.8
강원도	지방하천정비 하천재해예방	-	403.8
부산시	재해위험지역 정비(덕천교차로지구 상습침수지)	49.4	25.0
	재해위험지역 정비(대천천일원 상습침수지)	56.6	35.0
	재해위험지역 정비(북구 보고소지구 상습침수지)	19.0	15.2
	재해위험지역 정비(구덕포지구 해일위험지 정비)	2.0	20.0
	지방하천정비(장안천)	12.0	15.0
	지방하천정비(부산천)	4.5	35.0
	지방하천정비(가야천)	-	5.0
울산시	재해위험지역 정비(태화강, 우정, 반천, 두왕)	148.6	96.5
대구시	하천재해예방사업	187.2	125.3
	풍수해생활권 종합정비	-	17.2
대전시	하천시설물 정비	12.4	5.1
	지방하천 정비사업	60.5	99.6
광주시	소하천 등 시설물정비	0.3	0.4
	국가하천 유지관리	0.7	3.3
	지방하천 유지관리	0.1	0.2
세종시	지방하천 정비사업	133.0	138.7
	소하천 정비사업	67.8	74.6
	국가하천 정비사업	22.7	17.6
인천시	침수해소사업	0.4	232.4
서울시	수방대책사업(일반회계)	211.4	194.7
	수방대책사업(특별회계)	814.8	682.9
총계		6,042.9	6,740.1

* 자료 : 지자체별 예산결산 자료

□ 농림축산식품부의 홍수재해 대응사업은 농업생산기반정비사업에 포함되며, '20년 사업 규모는 1조 7,558억원임

○ 농업생산기반정비사업의 예산은 5년간 총 6조 3,599억원 정도이며, 연평균 1조 3천억원 수준으로 투자됨

- 농업생산기반정비사업의 주요사업은 농촌용수개발/배수개선/방조제개보수/수리시설유지관리/치수능력증대/농촌용수관리 등의 재해예방/안전 중심의 농업 SOC 사업 등이 있음

○ 동 기술개발 기획의 기술범위에 해당하는 배수시설 개선 관련사업으로 배수개선사업이 있으며, '19년 2,568억원, '20년에는 3,088억원의 예산이 계획됨

<표 17> 최근 5년간('16~'20) 농림부 국가 홍수재해 대응 관련 사업 예산 현황

사업명	2016	2017	2018	2019	2020
재해예방 생산 기반	15,247	13,644			
농업생산기반정비			16,985	15,452	17,558
계	15,247	13,644	16,985	15,452	17,558

<표 18> 농림부 '20년 홍수 재해 대응 관련 사업 현황

구 분	비 고
○ 배수개선	□ 침수피해를 겪는 농경지를 대상으로 배수시설을 설치하여 재해예방 ○ 배수개선사업 : ('19) 169지구×1,519백만원×100%=256,750백만원 → ('20) 161지구×1,886백만원×100%=308,845백만원 * 침수농경지에 대한 배수시설 능력보강 및 확충을 통해 조기 재해예방 추진 - 준공 : 중 12지구, 감 6,009백만원 ('19) 23지구 55,000백만원→('20) 35지구 48,991백만원 - 계속 : 감 18지구, 증 57,854백만원 ('19) 110지구183,700백만원→('20)92지구 241,554백만원 - 신규 : 감 2지구, 감 650백만원 ('19) 36지구 5,750백만원→('20) 34지구 5,100백만원 - 기본조사 : 증 900ha, 900백만원 ('19) 2,300ha 2,300백만원→('20) 3,200ha 3,200백만원
○ 국가지방관리 방조제개보수	□ 태풍·해일 등에 취약한 노후 방조제를 보수·보강하여 재해예방 ○ 국가관리방조제개보수 : ('19)34,763백만원 → ('20)42,003(증7,240) - 준공 : 3지구/4,258백만원 → 12/24,892 - 계속 : 17지구/29,905백만원 → 11/16,511 - 신규 : 6지구/600백만원 → 6/600

구 분	비 고
	○ 지방관리방조제개보수 : ('19)8,700백만원 → ('20)9,235(증535) - 준공 : 18지구/4,521백만원 → 13/4,813 - 계속 : 7지구/3,179백만원 → 14/3,172 - 신규 : 20지구/1,000백만원 → 25/1,250
○ 대규모농업 기반시설 치수능력확대	□ 기 설치된 저수지 및 방조제의 시설물보강을 통해 홍수배제능력 향상 및 재해예방 ○ 예당저수지 : ('19) 12,700백만원 → ('20) - 백만원(준공) ○ 삽교방조제 : ('19) 1지구×12,000백만원×100%→ ('20) 1지구×20,000백만원×100%, 증 8,000백만원 * 재해발생시 수문조작을 통한 방류로 위험예방을 위한 기전시설물 설치 (권양기6조, 전기 및 건축공사 1식) ○ 불갑저수지 : ('19) 1지구×6,000백만원×100%→ ('20) 1지구×10,648백만원×100%, 증 4,648백만원 * 홍수시 재해예방을 위한 물넘이 설치필요 (가물막이 1조, 방수로 1조 등) ○ 이동저수지 : ('19) 1지구×10,000백만원×100%→ ('20) 1지구×14,000백만원×100%, 증 4,000백만원 * 홍수시 재해예방을 위한 물넘이 설치 필요 (제방증고 1조, 물넘이 1조 등) ○ 사후환경조사 : ('19) 10지구×1,300백만원×100%→ ('20) 6지구×768백만원×100%, 감 532백만원 * 사후환경조사 지구 감소 (10지구→6지구 △4지구)
○ 농업기반및 재해대응기술 개발	□ 기후변화 및 농업재해 대응 안전기술, 농업용수 및 생산기반시설 관리 효율화 기술, 농촌지역 과소화 대응 기술개발 연구 지원 ○ 기후변화 및 농업재해 대응 안전기술 : ('19) 600백만원 → ('20) 1,167백만원 * 산출근거 : (종료) 2개 과제×300백만×12/12 (다/상) 3개 × 252백만 x9/12 ○ 농업용수 및 생산기반시설 관리 효율화 : ('19) 500백만원 → ('20) 1,471백만원 * 산출근거 : (종료) 1개 × 500백만 x12/12 (다/상) 5개 × 259백만 x9/12 ○ 농촌과소화 대응 기술 : ('19) 702백만원 → ('20) -백만원 ○ 기획평가관리비 : ('19) -백만원 → ('20) 79백만원

3절. 기술동향 분석

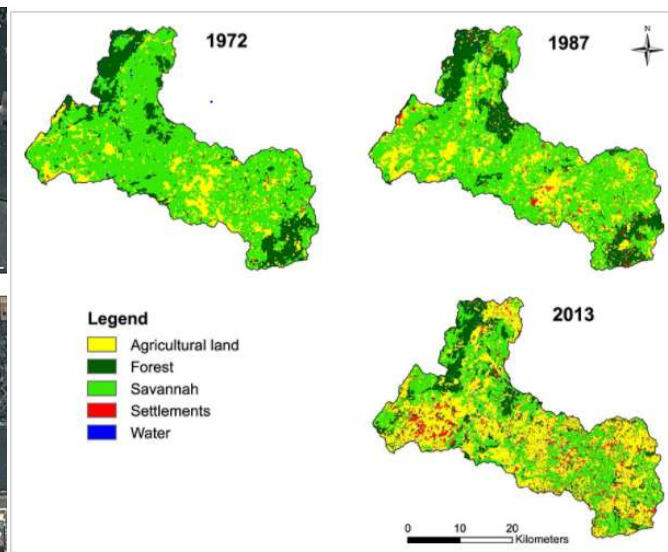
1. 국외 기술동향 분석

가. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술

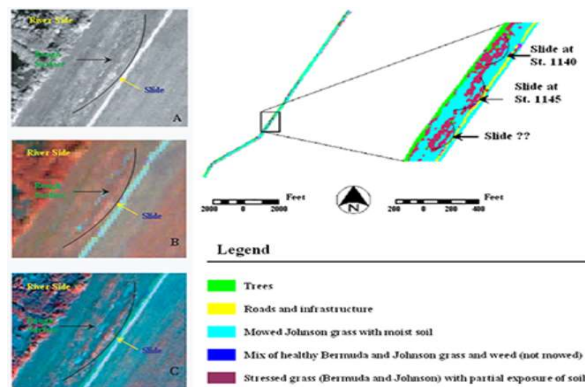
- 위성영상을 활용하여 제방붕괴 및 손상지역의 변화를 탐지하는 연구들이 수행되고 있음
 - Klemas (2009)는 고해상도 위성영상을 활용하여 2005년에 발생한 허리케인 카트리나에 의해 미국 뉴올리언스 지역의 제방이 붕괴 및 손상된 지역을 탐지하였음
 - Badjana et al. (2015)은 시계열 고해상도 위성영상을 활용하여 토고의 Binah 하천 유역에서 발생한 토지 피복 변화를 탐지하였음
 - 미국 Mississippi 대학에서는 고해상도 위성영상 (IKONOS, Quickbird)를 활용하여 Mississippi 강 유역의 제방이 붕괴 및 손상된 지역을 탐지하였음



[그림 16] 미국 뉴올리언스 지역에서 붕괴 및 손상된 제방



[그림 17] 토고의 Binah 하천 유역에서 발생한 토지 피복 변화를 탐지한 결과



[그림 18] Mississippi 강 유역의 제방이 붕괴 및 손상된 지역을 탐지

- 도시지역과 같이 고정산란체가 많은 곳에서는 PSInSAR와 같은 고정산란체 활용 시계열 지표변위 관측 기법이 효과적이며 이에 따라 많은 연구에서 고정산란체를 활용하여 제방의 모니터링이 수행됨(Özer et al., 2019)

- 아래 그림은 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기법을 활용하여 제방의 지표변위를 관측한 결과이며, (Xiaolei et al., 2014) 좌측은 PSInSAR를 활용하여 관측한 결과이며 우측은 JSInSAR (Joint persistent scatter SAR Interferometry)를 활용한 관측 결과임



[그림 19] 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기법을 활용한 제방 지표변위 관측 결과

- 그림에서와 같이 PSInSAR를 활용하였을 때 제방 상단의 콘크리트 구조에 대해서는 원활한 지표변위의 관측이 가능하였지만, 수풀로 덮인 제방 측면부의 관측에는 한계가 있었음
- 이러한 사실을 미루어볼 때에 인공물로 덮인 제방에 대해서는 PSInSAR가 효과적으로 지표변위를 탐지할 수 있을 것이라 판단되지만, 흙이나 수목 등으로 덮인 지역에 대해서는 유효한 분석이 어려울 것이라 판단됨

□ 분포산란체를 활용한 제방 모니터링 사례도 찾아볼 수 있음 (Cathleen et al., 2012)

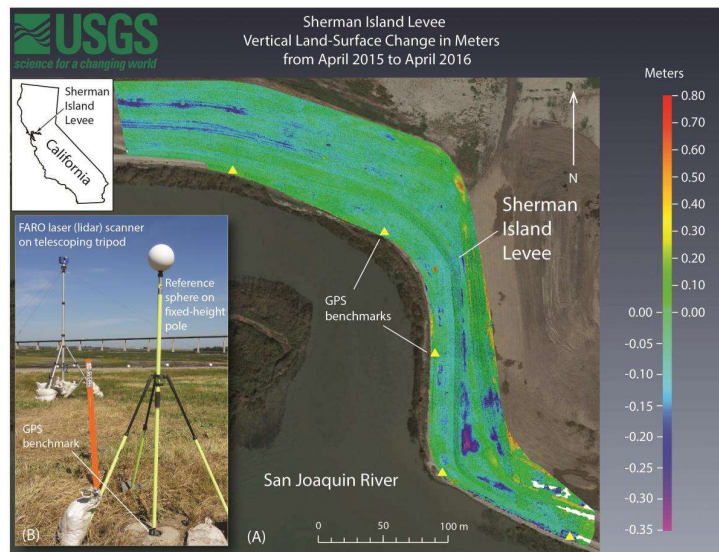
- 위성레이더 차분간섭영상으로 표시된 지역에서 다른 위치의 제방과는 달리 이상 신호를 확인할 수 있었음
 - 제방이 붕괴되어 발생한 지표변위 성분을 위성영상을 활용하여 탐지한 결과임
- 분포산란체를 활용했을 때에도 제방의 지표변위를 평가할 수 있을 것으로 보이지만 위상노이즈 성분을 저감하기 위해 수행되는 멀티룩 과정에서 해상도가 저하되므로 영상 내에서 제방이 차지하는 픽셀 수가 크게 줄어들어 분석에 한계가 있음



[그림 20] 분포산란체 활용 Bradford 제방의 손상 관측 (Cathleen et al., 2012)

□ NASA JPL에서 운영하는 UAVSAR를 활용하여 Sherman 섬 제방의 안정성을 평가하는 기술이 개발됨

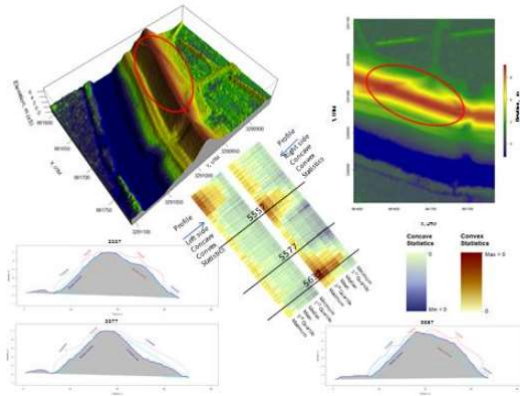
- GPS를 활용하여 상대지표변위만을 관측할 수 있는 영상레이더 한계 개선
- 보조적인 관측소에서 측정된 지표변위를 기준으로 활용하여 레이더를 활용한 지표변위 관측의 신뢰성을 향상할 수 있음



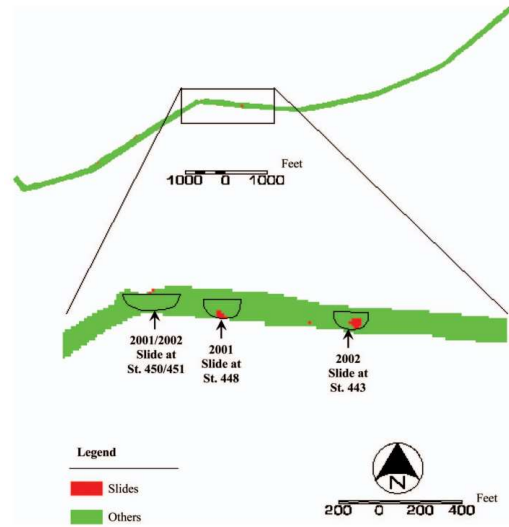
[그림 21] UAVSAR를 활용한 제방 모니터링 (USGS, 2017)

□ 영상 기반 제방 안정성 모니터링 기술의 경우 주로 제방 변형(deformation), 사면 슬라이딩(slide) 및 침투(seepage)에 중점을 두고 연구가 진행됨

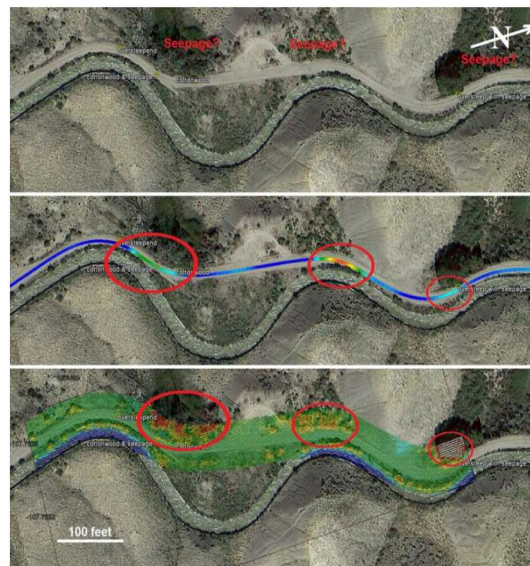
- LiDAR(Bishop et al., 2003; Haarbrink and Shutko, 2008; Moser and Zomer, 2006; Royet et al., 2013) 및 SAR(Closson et al., 2003; Hanssen and van Leijen, 2008; Jones et al., 2011; Jones et al., 2012; Lv et al., 2013)를 이용하여 변형을 감지하는 연구가 주로 진행됨
- 얇은 표면파괴나 slide를 감지하거나 예측하는 연구가 현재 진행 중임
- 위성 멀티분광이미지로부터 사면 sliding을 감지하는 모델 개발 연구 및 비행체에 초분광이미지를 이용하여 사면 sliding을 감지하는 연구가 진행되고 있음
- Polarimetric SAR 이미지를 이용한 사면 sliding을 감지하는 연구도 진행되고 있음
- Seepage detection은 주로 Passive microwave radiometry (PMR)이 토양 함수비에 민감한 특성을 이용하여 제방의 함수비를 모니터링하는 연구(Haarbrink and Shutko, 2006; Swart, 2007).로 진행되어 왔지만, 공간적 해상도가 낮고 캘리브레이션과 해석이 복잡하다는 단점이 있음
- SAR이 PMR과 같은 파장 영역에서 작동하며, 토양 함수비에 민감한 특성을 가지고 있으나, 식생이 있는 경우에 사용에 어려움이 있음
- 최근 Polarimetric SAR을 이용하여 침투와 관련하여 제방의 토양 함수비를 측정하는 연구를 진행하고 있음(Aanstoos et al., 2010; Mahrooghy et al., 2011; Jones et al., 2012)



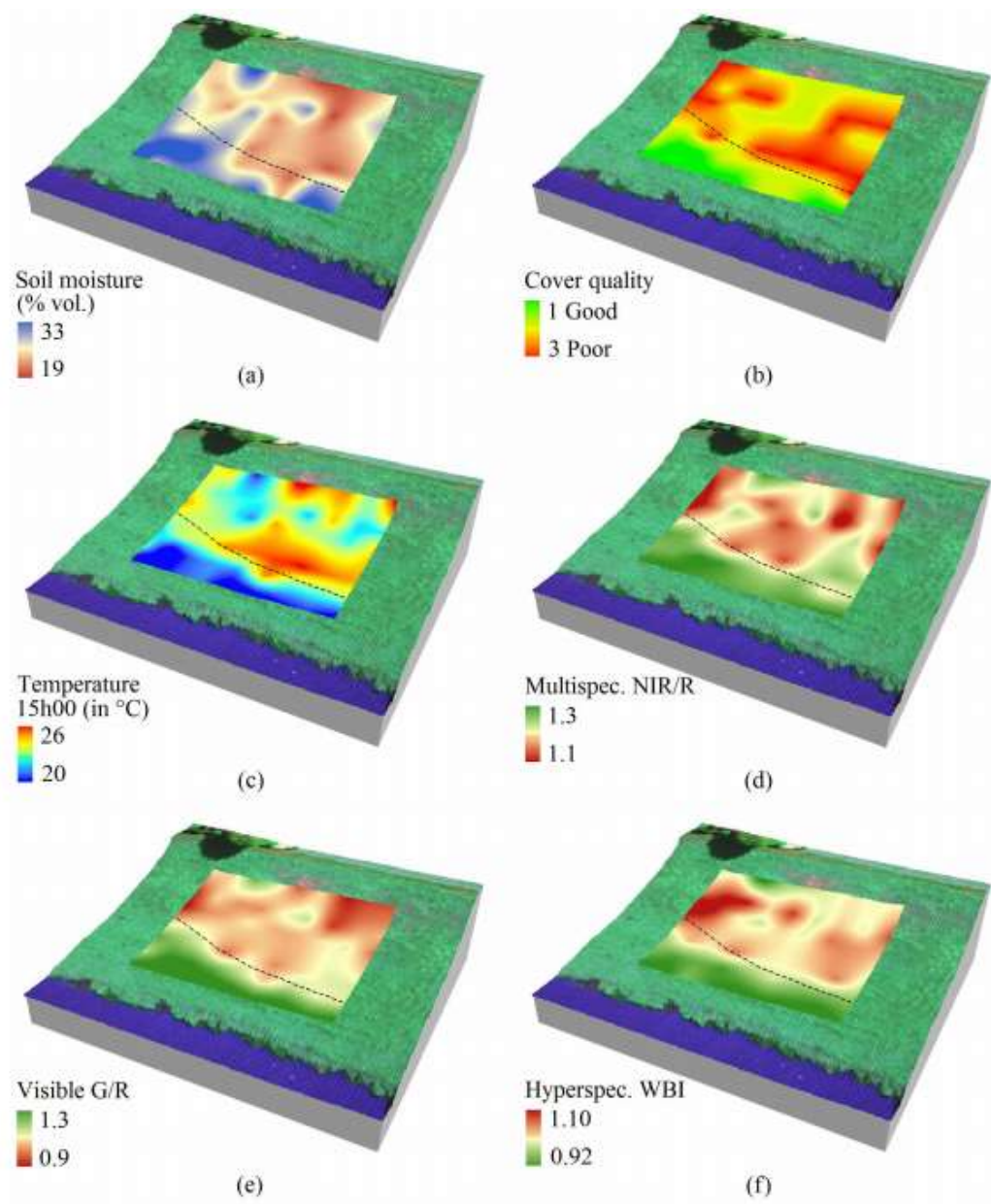
[그림 22] 라이다를 이용한 제방
원격탐사(USGS, 2012)



[그림 23] 초분광을 이용한 제방 사면
슬라이드 가능성 평가 결과 (Hossain and
Easson, 2012)



[그림 24] 중첩된 원격 탐사와 직접조사
결과 기반 제방 침투 가능지역 평가 결과



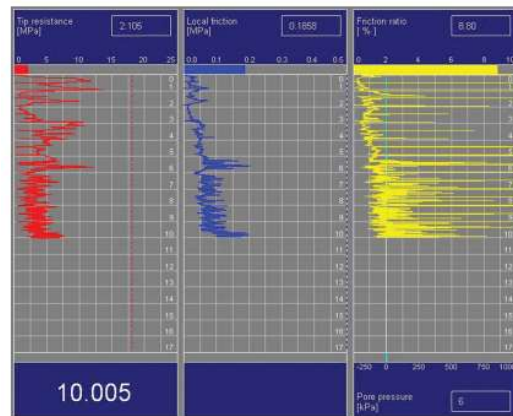
[그림 25] 제방 원격 탐지 결과 (a) 흙의 함수율 (b) cover 품질 (c) 열화상카메라 (d) 멀티분광 카메라 (e) 디지털 카메라 (f) 초분광 카메라 (Cundill, 2015)

나. 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술

□ 지반조사 및 탐사관련 국내외 기존장비 기술 동향은 아래와 같이 중장비 혹은 정밀성이 미비한 소형장비 사용에 그침

○ McCallum (2014)는 CPT에서 추가센서를 부착하여 기존 연구보다 좀 더 정확한 지반강도 평가방법을 제시함

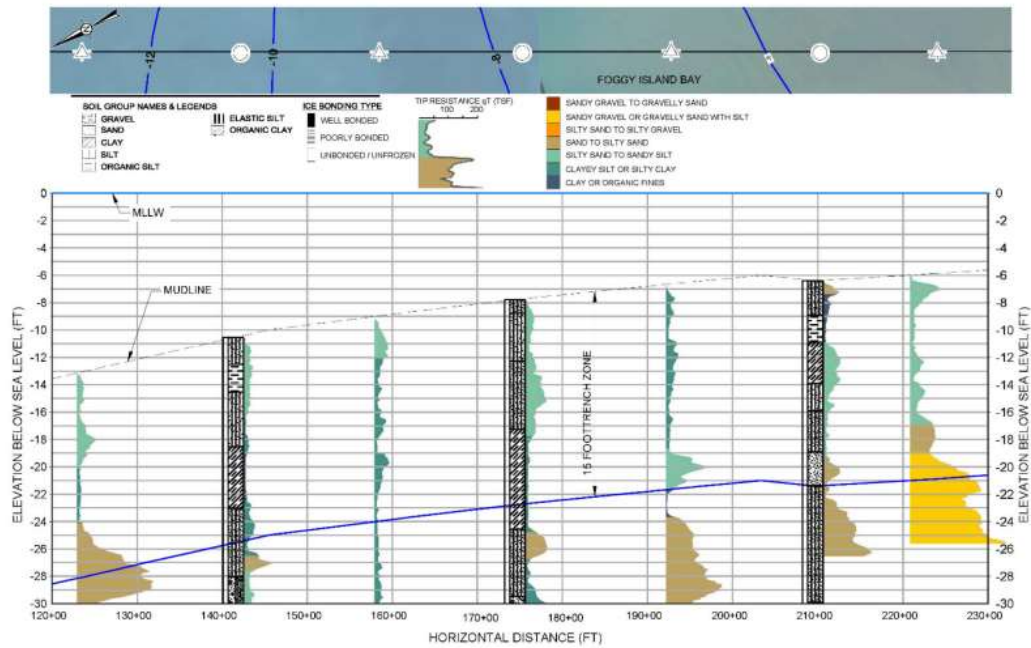
- 트랙터 형태의 CPT 실험장비를 이용하여 실험을 수행함
- 심도에 따라 지반의 강도 외에 부가적인 마찰력을 없애고자 함



[그림 26] 실험장비 및 심도별 지반조사 결과 (McCallum, 2014)

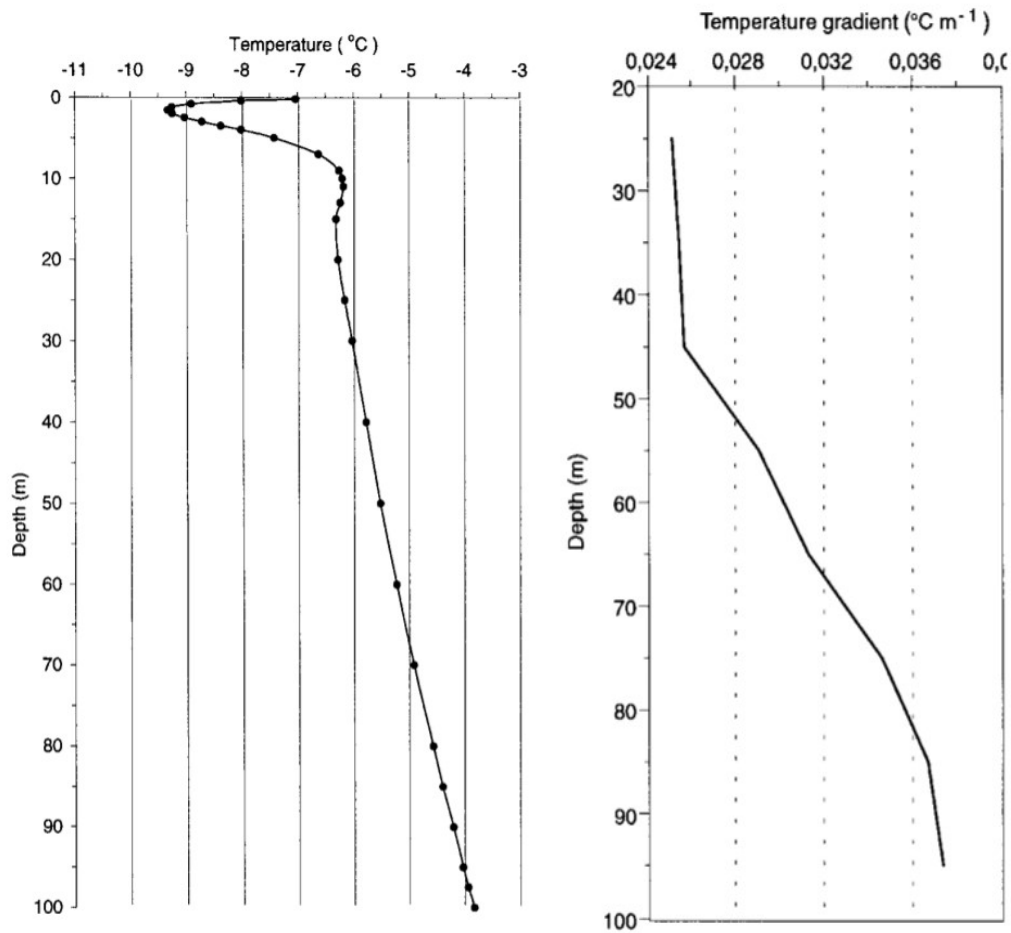
○ Bashaw et al. (2016)은 Shoreline, nearshore zone에서도 같은 실험을 수행, 심도 그리고 구역에 따른 강도특성을 평가하기 위해 비교분석을 수행함.

- Sampling 결과, 대상 지반은 유기물을 포함한 해양 퇴적물로 이루어져 있으며, 점토, 실트, 실트질 점토, 유기질 실트로 구성됨
- offshore zone에서 관입하였으며, 최대 30ft까지 관입함



[그림 27] CPT 주상도 및 boring을 통한 offshore zone 해저지면의 지질학적 상태
(Bashaw et al., 2016)

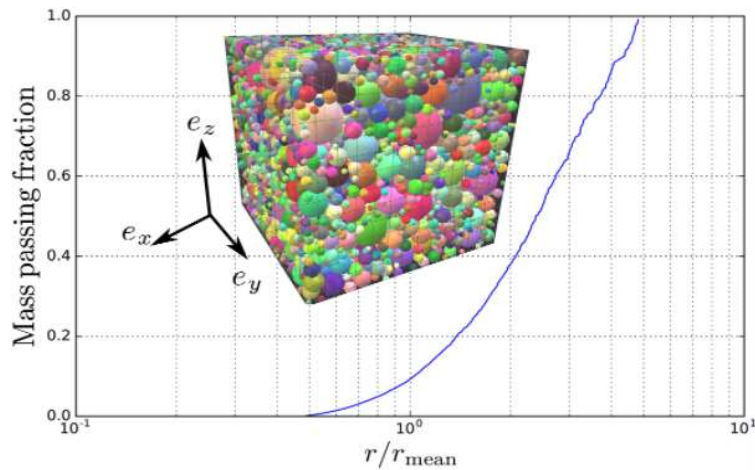
- Isaksen et al. (2000)은 Janssonhaugen, Svalbard에서 활동층 및 영구동토층의 온도 추이를 파악하기 위해 102 m의 borehole을 천공하여 현장 모니터링을 수행함
 - 천공한 borehole을 통해 심도별 비디오 카메라 촬영을 통해 visual description도 수행함
 - 지구 표면으로부터 심도가 증가함에 따라 온도가 감소하지만, 일정 심도 (약 10 m 내외)부터 선형적으로 증가함



[그림 28] 심도별 온도 추이 및 temperature gradient (Isaksen et al. 2000)

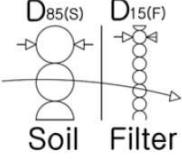
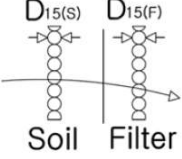
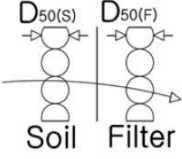
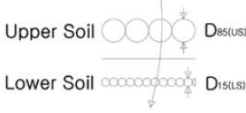
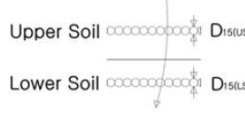
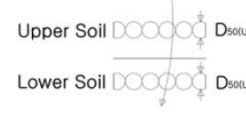
- 수치해석을 통한 제방 안정성 통합 분석 모형 개발의 경우 해외에서 꾸준히 연구가 이루어지고 있으며, 정밀 물리탐사 기술 개발이 필요함
- 일본의 Yuichiro Fujita 등 (1984)은 하천제방의 붕괴형상에 대하여 2차원 실험을 실시하여 제방붕괴의 양상에 대해 규명함
- Takao Uno 등(1998)은 하천제방 안전성 평가를 위하여 제방붕괴사례를 조사하여 분석하여 제방의 안정성 검토를 위한 기초연구를 수행함
- 최근 미국에서 개발된 예측모델의 경우, 지하수 유동해석과 지반변형 해석을 완전연계(fully coupling)하여 불포화층 지반뿐만 아니라 포화층 암반의 특성을 고려한 유동(flux)-변이(strain)의 동역학적 해석이 가능한 완전격자기반의 3차원 수치모델이 개발 완료된 상황임¹⁶⁾

16) (Antoine Wautier et al., 2018)



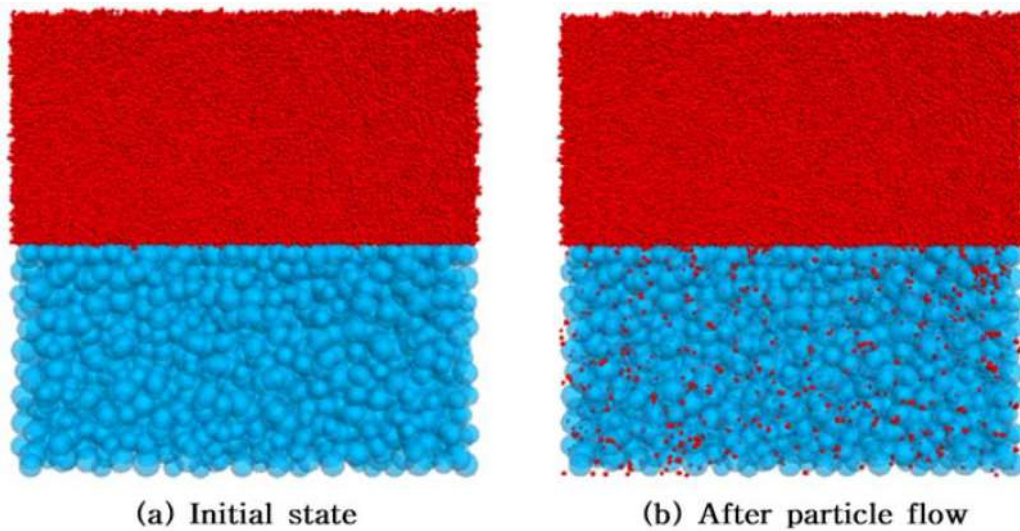
[그림 29] 예측모델

- 미공병단 필터 기준(U.S. Corps of Engineers, 1948) 등을 고려하여 설치될 필터의 입도와 인접된 지반의 입도차를 이용하여 지반내 입자 유동 가능성을 평가할 수 있음

$\frac{D_{15(f)}}{D_{85(s)}} < 5 \quad \therefore \text{Stable}$	$\frac{D_{15(f)}}{D_{15(s)}} < 20 \quad \therefore \text{Stable}$	$\frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 25 \quad \therefore \text{Stable}$
$\frac{D_{15(f)}}{D_{85(s)}} > 5 \quad \therefore \text{Unstable}$	$\frac{D_{15(f)}}{D_{15(s)}} > 20 \quad \therefore \text{Unstable}$	$\frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} > 25 \quad \therefore \text{Unstable}$
 Soil Filter For $D_{85(s)}$ to pass through $D_{15(f)}$, it shall be $\frac{D_{15(f)}}{5} > D_{85(s)}$. That is, $D_{15(f)}/5$ grain size at lower layer is larger than $D_{85(s)}$, soil erosion would possibly occur.	 Soil Filter For $D_{15(s)}$ to pass through $D_{15(f)}$, it shall be $\frac{D_{15(f)}}{20} > D_{15(s)}$. That is, $D_{15(f)}/20$ grain size at lower layer is larger than $D_{15(s)}$, soil erosion would possibly occur.	 Soil Filter For $D_{50(s)}$ to pass through $D_{50(f)}$, it shall be $\frac{D_{50(f)}}{25} > D_{50(s)}$. That is, $D_{50(f)}/25$ grain size at lower layer is larger than $D_{50(s)}$, soil erosion would possibly occur.
$\frac{D_{15(LS)}}{D_{85(US)}} < 5 \quad \therefore \text{Stable}$	$\frac{D_{15(LS)}}{D_{15(US)}} < 20 \quad \therefore \text{Stable}$	$\frac{D_{50(LS)}}{D_{50(US)}} < 25 \quad \therefore \text{Stable}$
$\frac{D_{15(LS)}}{D_{85(US)}} > 5 \quad \therefore \text{Unstable}$	$\frac{D_{15(LS)}}{D_{15(US)}} > 20 \quad \therefore \text{Unstable}$	$\frac{D_{50(LS)}}{D_{50(US)}} > 25 \quad \therefore \text{Unstable}$
 Upper Soil Lower Soil For $D_{85(US)}$ to pass through $D_{15(LS)}$, it shall be $\frac{D_{15(LS)}}{5} > D_{85(US)}$. That is, $D_{15(LS)}/5$ grain size at lower layer is larger than $D_{85(US)}$, soil erosion would possibly occur.	 Upper Soil Lower Soil For $D_{15(US)}$ to pass through $D_{15(LS)}$, it shall be $\frac{D_{15(LS)}}{20} > D_{15(US)}$. That is, $D_{15(LS)}/20$ grain size at lower layer is larger than $D_{15(US)}$, soil erosion would possibly occur.	 Upper Soil Lower Soil For $D_{50(US)}$ to pass through $D_{50(LS)}$, it shall be $\frac{D_{50(LS)}}{25} > D_{50(US)}$. That is, $D_{50(LS)}/25$ grain size at lower layer is larger than $D_{50(US)}$, soil erosion would possibly occur.
Standard grain size > grain size at upper layer $\Rightarrow$ Soil erosion condition		

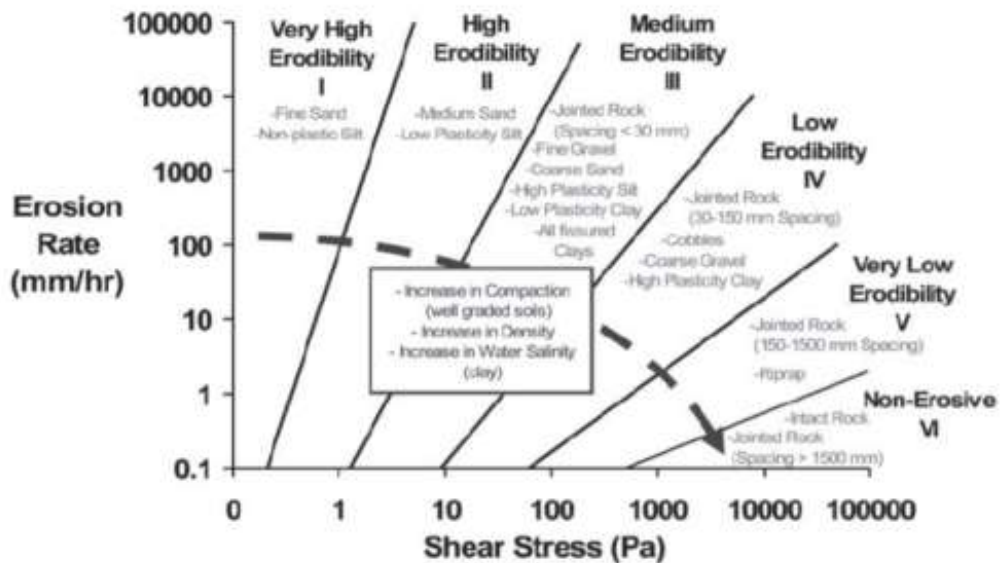
[그림 30] 필터의 입도와 인접된 지반의 입도차를 이용하여 지반내 입자 유동 가능성을 평가

- 쇄굴 메커니즘 관련 수치해석 분야에서는 기존의 연속체 해석의 한계를 극복하기 위해 개별 요소법에 의한 입자유동해석에 대한 접근이 이루어지고 있으며, 향후 기존의 연속체 해석과의 연계를 통해 유로 형성 메커니즘에 대한 수치해석적 분석기술의 발전이 이루어 질 것으로 판단됨



[그림 31] PFC를 이용한 입자의 유동 해석

- 아직까지 제방 붕괴부에 대한 파괴 특성을 명확하게 해석하기에는 어려움이 있고, 근본적인 문제를 밝혀 이에 대한 대책을 수립하기에는 기초자료가 부족한 형편임



[그림 32] 전단응력 기반의 지반별 쇄굴 카테고리 적용사례 (Briaud, 2008)

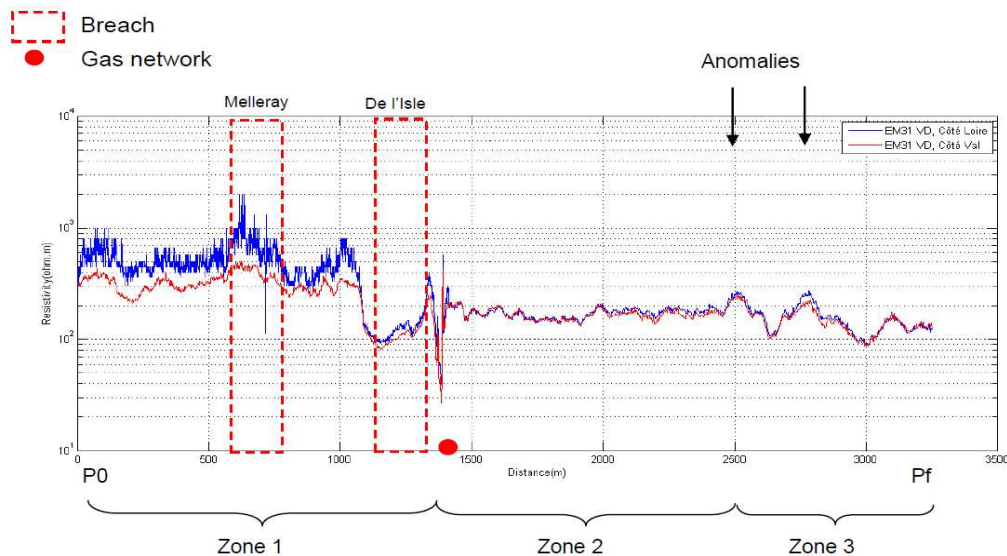
□ 제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발의 경우 상당히 자세한 수준으로 안전진단이 명시되어 있으며 관련 기술도 꾸준히 개발되고 있어 국내도 기준 확립이 필요함

○ 북미의 경우에는 개인 소유의 제방이 많아 비교적 자유로운 관리기준을 제시하고 있음에도 불구하고 국내보다 조사기법, 특히 물리탐사법에 대한 구체적인 기준을 명시하고 있음

○ 유럽의 경우에는 하천 제방 안전진단은 상당히 구체적으로 명시되어 있으며, 다수의 조사사례도 보고되고 있음

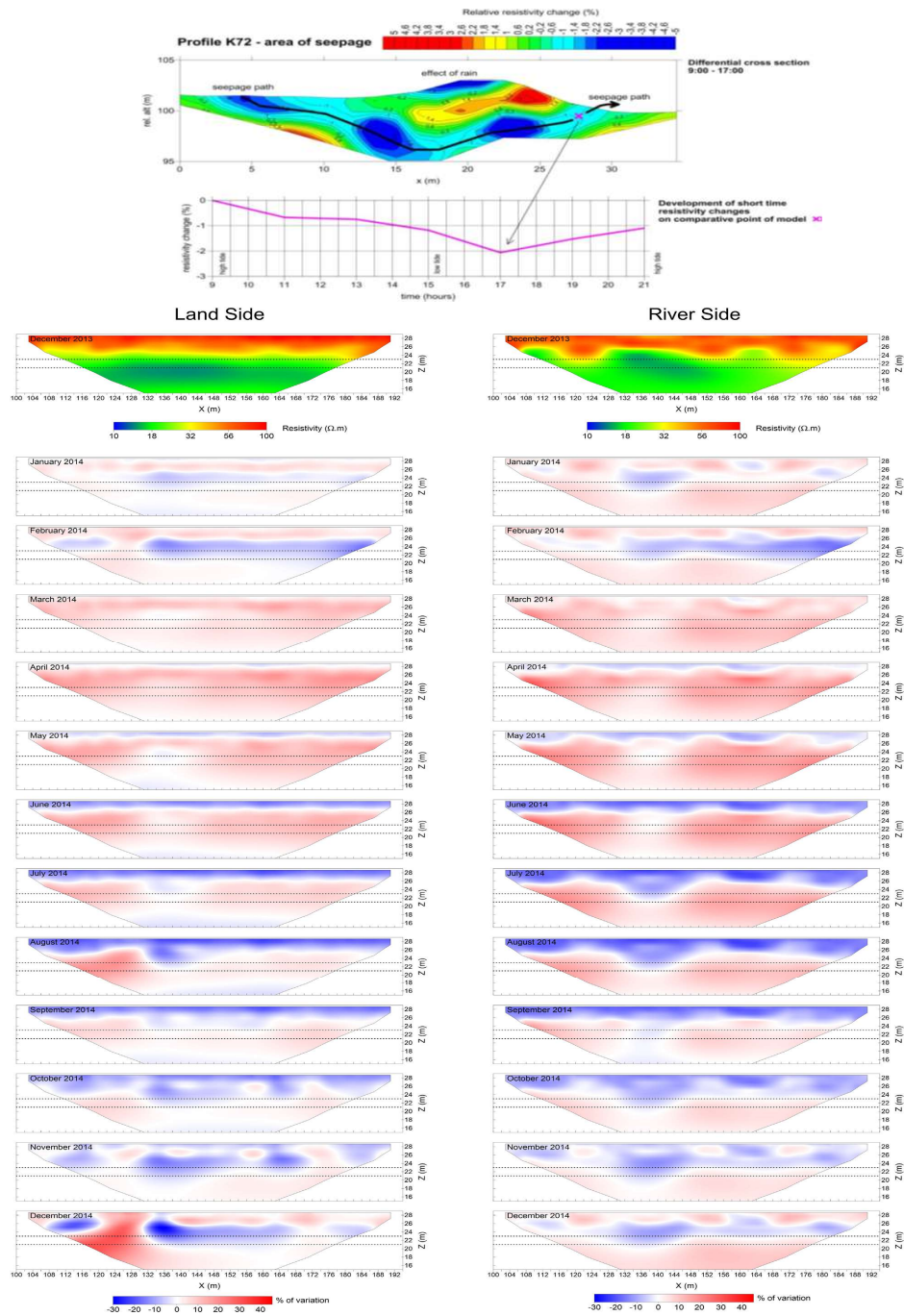
- 특히 물리탐사는 제방 안전진단에서 물성계측과 함께 가장 중요한 안전진단기법으로 명시되어 있으며, 조사결과를 바탕으로 제방의 안전성을 등급화하고, 긴급 상황시 경보 시스템을 운영을 위한 다양한 연구 및 적용이 시도되고 있음

- 프랑스의 소형루프 전자탐사(small loop EM)는 비접촉식으로 신속한 탐사가 가능함



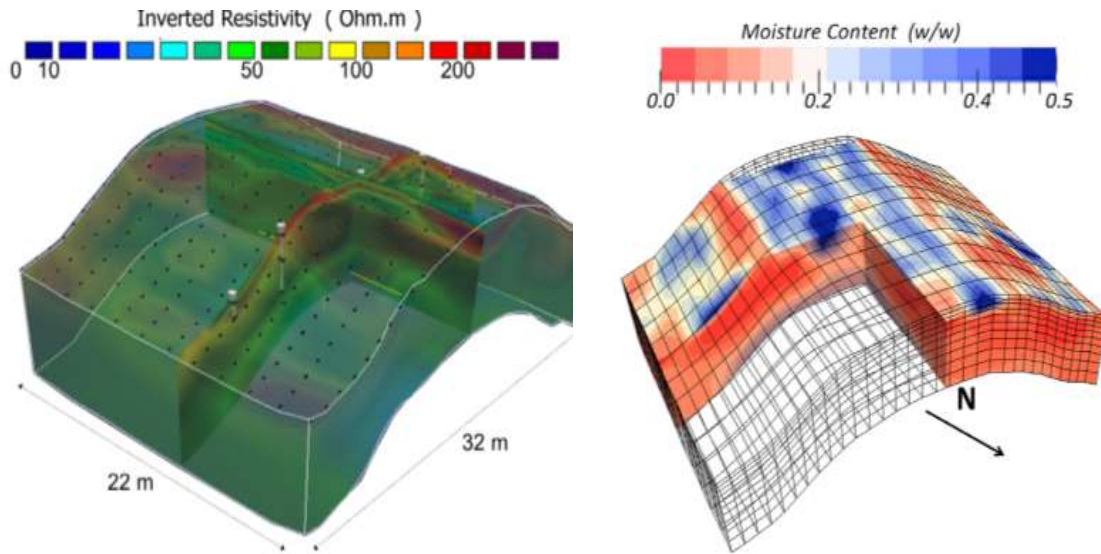
[그림 33] 하천 제방 제정부에 수행된 전자탐사 프로파일 (Busato et al, 2016)

- 제방 축조재질에 따른 구간 구분이 가능하며, 가스 배관의 위치를 잘 탐지하고 있음
- 그러나 이 방법은 전자기적 잡음에 취약하여 전력선 근처에서는 탐사가 불가능함
- 프랑스는 전기비저항 모니터링 조사도 진행하였는데, 제체 내부 전기비저항의 시간적 변화를 영상화함
 - 그러나 모니터링 조사는 일반적인 탐사에 비하여 양질의 자료가 확보되어야 하며, 해석은 시간경과 역산이나 4차원 역산을 적용해야만 미세한 시간적 변화대의 탐지가 가능함



[그림 34] 전기비저항 모니터링 자료 해석 결과 (Jordy et al., 2019)

- 영국의 경우 3차원 전기비저항 탐사 적용사례가 존재하며, 3차원 전기비저항 탐사는 제체 내부의 3차원 구조, 연약대 및 누수경로의 파악이 가능함
- 그림 a과 같은 3차원 영상을 얻기 위해서는 그림 b에 나타난 바와 같이 다수의 종측선과 횡측선에서 2차원 자료가 획득되어야 하며, 이를 통합 역산해야 함
- 따라서 3차원 탐사는 비용과 시간이 소요되므로 2단계 정밀탐사 단계에서 적용됨

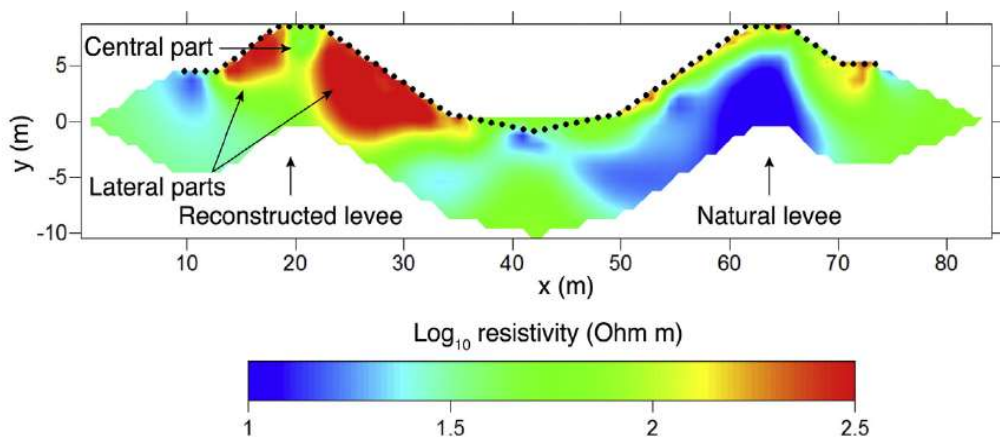


(a) 전기비저항 3차원 분포도

(b) 해석된 수분함량

[그림 35] 3차원 전기비저항 탐사 적용사례 (Gunn et al, 2014)

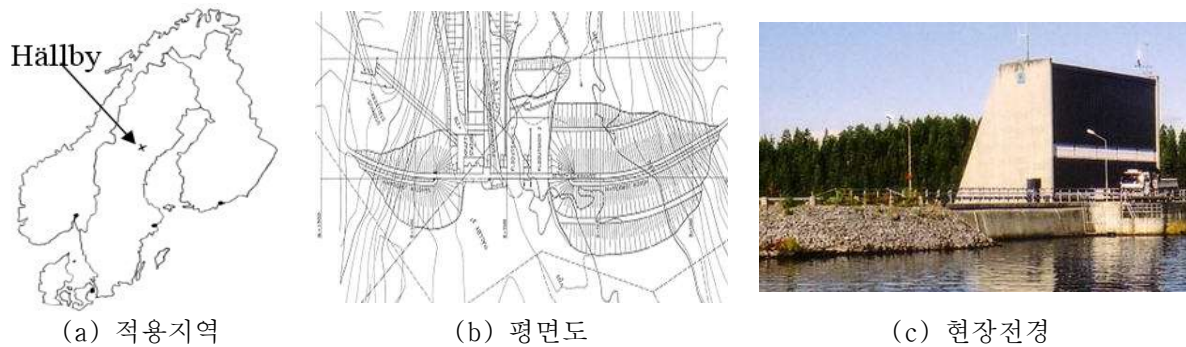
- 일본의 경우에도 하천 제방 정밀 안전진단을 위하여 전기비저항 탐사, MASW 탐사와 물성계측을 통하여 제방의 붕괴 위험도를 정량적으로 산출하고, 이에 근거하여 제방의 안전도 등급화를 시도하고 있음
- 일본은 2차원 전기비저항 탐사 적용 사례가 있으며, 2차원 전기비저항 탐사는 제체의 전기비저항 구조 영상단면을 제공함
 - 제체 내부의 구조를 효과적으로 파악할 수 있으며, 이 사례에서는 보강공사로 인한 제체 내부의 물성변화를 확인할 수 있음



[그림 36] 하천 제방 보강효과 평가를 위한 전기비저항 탐사 적용사례 (Busato et al, 2016)

□ 제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술의 경우 스웨덴에서 전기 비저항탐사 장기관측 사례가 존재하며, 국내도 장기관측이 필요함

○ 스웨덴 웅거마날빙 강에 위치한 홀비 전력소 제방에서 1996년부터 주기적인 자료 측정을 통해 전기비저항 값의 장기관측을 실시함



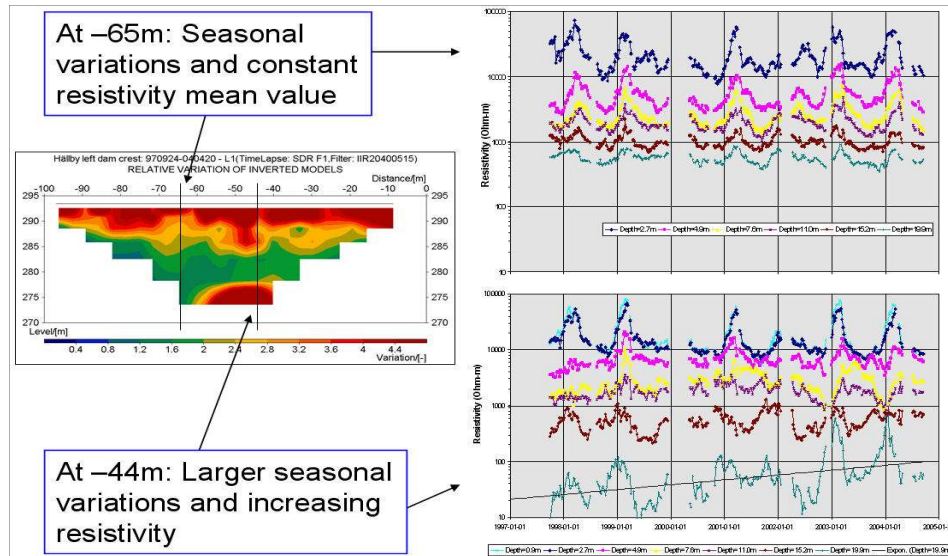
[그림 37] 2차원 전기비저항 장기관측 지역

○ 제체 마루에 전극설치, 케이블 전개 후 측정장비를 이용해 자료를 측정하고 데이터 로거에 측정자료를 저장(모뎀을 이용한 자료전송)



[그림 38] 2차원 전기비저항 장기관측을 위한 장비설치

○ 장기관측(1997년~2005년)을 통한 전기비저항의 변화량 및 이상대 파악



[그림 39] 장기관측을 통한 전기비저항 변화량 및 이상대 파악

다. 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술

□ 제방 관련 보강 및 안정화 기술 관련 연구들이 수행되고 있고 Soil-Cement grouting 또는 Deep Mixing 등의 방안이 제시되어 있으나 환경성 측면에서 한계가 많음

○ 토목섬유를 이용하여 제방을 보강하게 되면 토목섬유로 보강하지 않은 제방에 비해 시공비용이 감소하고, 시공기간 또한 절반으로 감소하는 것을 확인하였음(Varuso et al., 2005)

○ 제방 보강 방법으로 사용되는 층류배수보강(LDR) 제방의 침식 및 침투 저항성에 대해 연구를 실시함(Kurakami and Nihei, 2019)

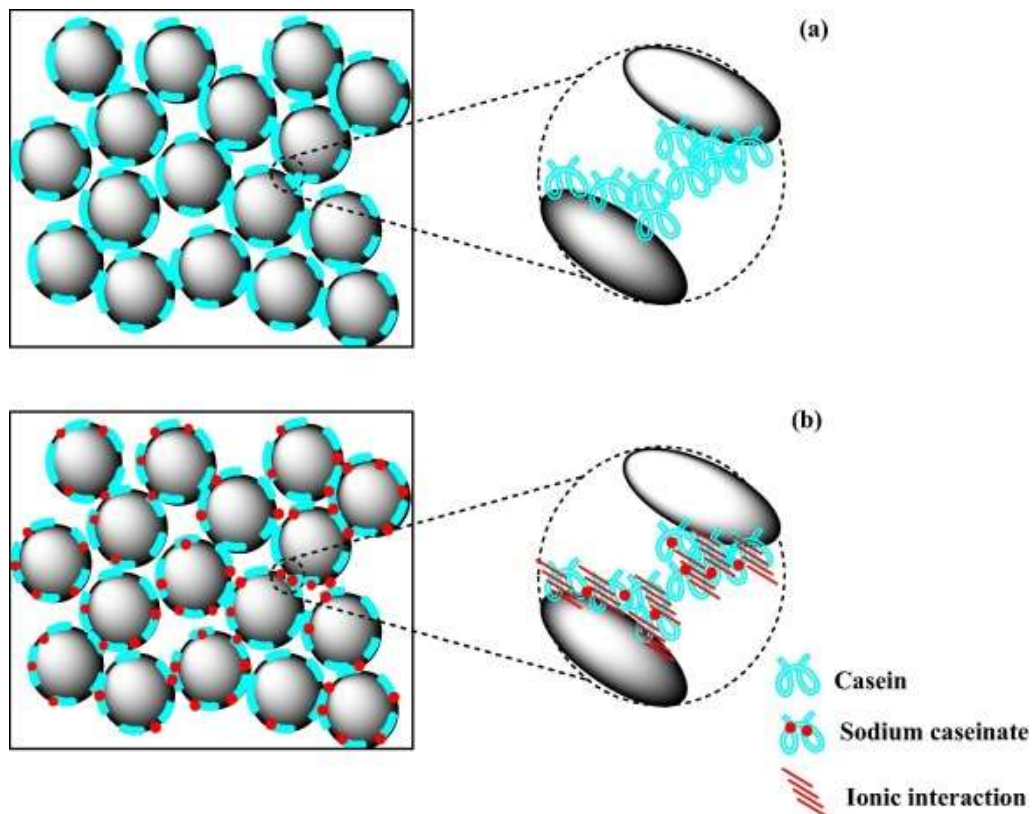
- LDR 제방의 경우 보강하지 않은 제방에 비해 침식 저항성이 뛰어난 것을 확인하였음

○ 제방의 안정성을 증가시키기 위해 FLAC 2D 프로그램을 이용하여 제방 내부에 DM(deep mixed) 연속벽과 토목섬유를 모델링하고 제방의 안전율을 산정함(Han et al., 2010)

- DM 연속벽이 지반의 전단력 및 모멘트 저항력을 제공하고 침투를 방해하여 제방의 안정성을 향상시키는 것을 확인하였음

□ 친환경 제방 보강, 미생물 및 바이오폴리머와 관련해 다양한 연구들이 수행되고 있으며, 하천 제방 취약부 보수·보강에 활용할 수 있을 것으로 기대되어 관련 기술 개발이 필요함

- 토사 제방댐 및 제방의 내부침식 완화연구를 위해 MICP 처리 모래의 EFA 실험을 실시함 (Clara and Haigh, 2018)
 - MICP처리 모래의 침식률이 현저하게 줄었으며, 전단 강도가 상승했음을 확인하였음
- 사구 안정화를 위해 단백질 기반 바이오폴리머를 사용함. 일축압축시험 등의 실험을 통해 양생시간이 증가할수록 바이오폴리머 처리 모래의 압축강도가 증가하는 것으로 확인됨(Fatehi et al., 2018)

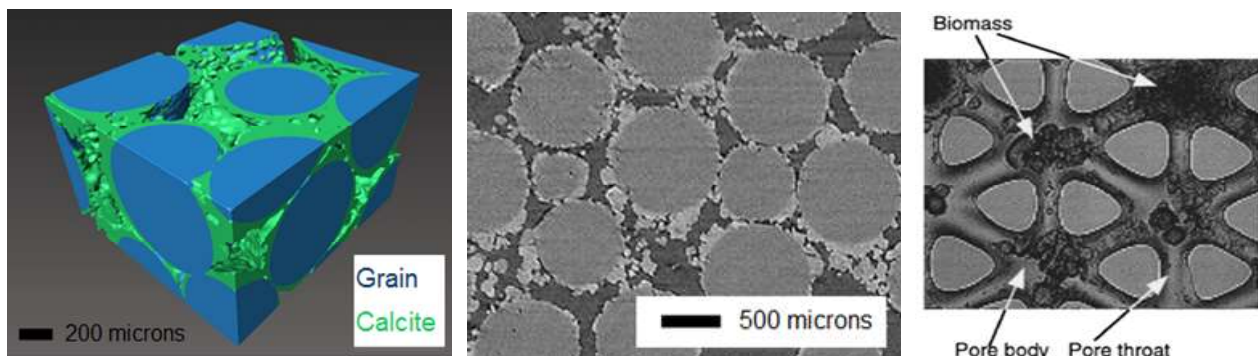


[그림 40] 단백질 기반 바이오폴리머와 사구의 상호작용 모델 (Fatehi et al., 2018)

- 실험실 규모의 소형 고랑에 관개용수에 바이오폴리머를 첨가해 전단 유도 침식 실험을 진행함
 - 키토산은 실험실 시험에서 침식으로 인한 토양 손실 제어에 효과적이었지만, 현장에서는 명확하지 않은 것으로 나타남
- 바이오폴리머의 사용 가능성 조사를 위해 잔탄검, 구아검 처리 토양의 토양 특성, 다짐 특성, 전단 매개 변수에 초점을 맞추어 실험을 수행함. 바이오폴리머가 토양의 붕괴 가능성을 낮추었으며 양생 후 토양의 전단강도가 전반적으로 증가하는 것을 확인함(Ayelddeen et al., 2017)
- 점토지반의 건조 균열을 생물학적으로 복원하기 위해 MICP를 사용하였고, 주기적 습윤-건조

조건 하 MICP 생성 결합 결정은 토양의 강도를 향상시키고 건조 균열 가능성을 낮춤을 확인하였음(Liu et al., 2020)

- 화강암 잔류 토양의 공학적 특성(UCS) 개선을 위해 MICP 적용한 결과, 토양의 강도, 강성 및 전고성 크게 향상 및 개선, 표면 밀도를 높이는 결과를 확인하였음(Li et al., 2020)
- 시멘트 모르타르 내의 기존 균열을 복구하기 위한 MICP 적용성 연구를 위해 시험을 수행하였고, MICP의 CaCO_3 의 형성이 균열 폐쇄를 일으키고 압축강도 및 펄스 속도 값이 증가하여 강도가 증가했음을 확인함(Jongvivatsakul et al., 2019)
- SA 바이오폴리머에 의한 효소유도탄산염침전(EICP)을 이용하여 바람침식으로부터 사막 모래를 안정화하기 위해 풍동 실험과 SEM/XRD 분석을 수행하였음. EICP와 SA를 결합하면 침식률이 현저히 개선되었으며 이는 주로 탄산염 침전제와 바이오폴리의 입자 간 결합 효과에 있음을 확인하였음(Almajed et al., 2020).
- 토양 박테리아에 대한 연구는 농업 분야에서 시작해서 지하수 흐름에서의 바이오필름에 의한 막힘(Taylor and Jaffe, 1990), 박테리아에 의한 오일 회수증진(Microbial enhanced oil recovery, MEOR, Jenneman et al., 1984; Gray et al., 2008), 박테리아를 이용한 토양오염 정화(Beyenal et al., 2004)까지 넓게 진행됨
- 지반공학 분야에서는 미국에서 시작한 미생물에 의한 탄산칼슘 고결에 대한 연구(DeJong et al., 2006)를 그 시발점으로 보고 있음
- 그 이후, 박테리아에 의한 지반의 물성 변화의 경우, 탄산칼슘을 이용한 고결화 작용, 바이오필름으로 인한 투수성 감소(Taylor and Jaffe, 1990; Lappan and Fogler, 1996)를 중심으로 연구가 진행됨



[그림 41] 좌측, 중앙) Glass beads 내 박테리아로 인한 탄산칼슘 고결화의 X-ray CT 이미지(Armstrong and Ajo-Franklin, 2011), (우측)공극 내에 축적된 바이오매스에 대한 이미지(Kim and Fogler, 2000).

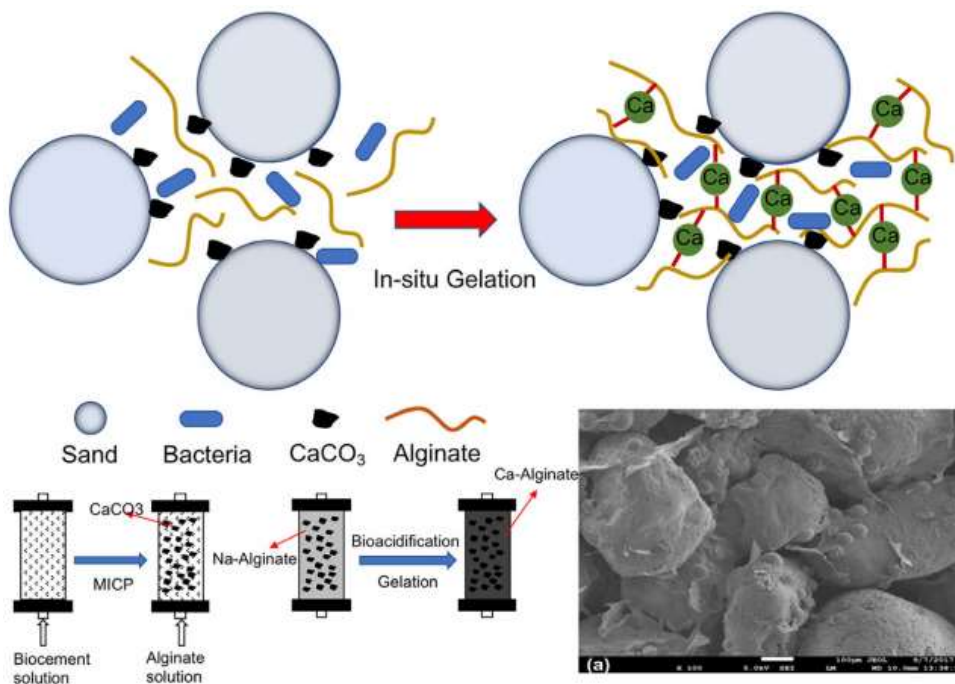
- 탄산칼슘 고결이 일으키는 물성변화에 대해 많은 연구가 진행되어 왔지만, 박테리아의 활동

과 그 부산물인 탄산칼슘이 흙 입자와 어떻게 상호작용하여 물성 변화를 일으키는지에 대한 이해는 여전히 초기단계에 있음

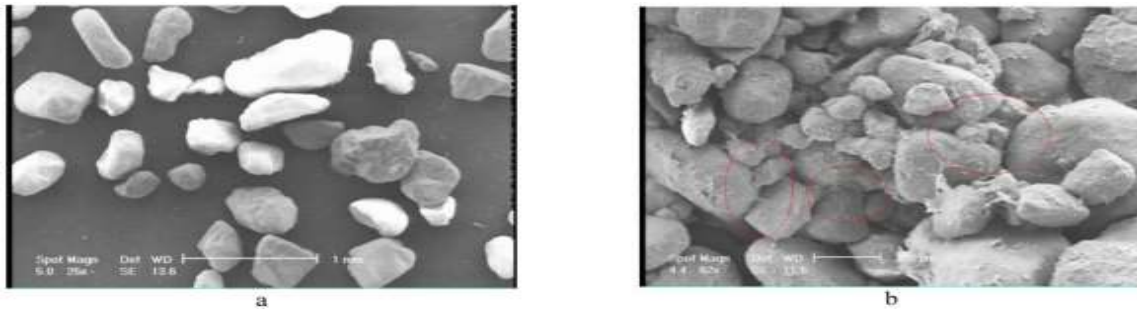
□ BPST-MICP 융합 지반 보강 관련 기술과 관련한 연구도 진행되어 왔으나 기존 그라우팅 재료 대체를 위한 성능평가, 주입공법 및 주입성능 평가 등에 대한 연구가 미비한 실정임

○ 다공성 물질의 침투 제어를 위해 현장 Ca^{2+} 알긴산 중합체 실란트를 사용하는 새로운 접근법 두 단계인 MICP 및 알긴산과 Ca^{2+} 이온 간의 반응을 이용한 현장 처리를 위해 알긴산 나트륨 주입을 제시하고 실험하였음(Cheng et al., 2019)

- MICP 과정을 통해 CaCO_3 에서 Ca^{2+} 이온의 느린 방출이 CA-알긴산 겔의 균등한 분포를 초래했고 모래 입자 표면에 필름 형태의 코팅이 형성되었고, 알긴산염 농도에 따라 모래의 투수 계수/투과성이 감소함을 확인하였음



[그림 42] 현장 내 유도 Ca^{2+} -알지네이트 중합체 실란트 및 처리 절차 설명 (Cheng et al., 2019)



[그림 43] EM 이미지 (a) 자연 상태 사구 모래 (b) 알긴산 나트륨 처리 토양
(Fatehi et al., 2019).

- 알긴산 나트륨 바이오폴리머의 사용성에 대한 연구를 진행함. 알긴산 바이오폴리머 처리 모래의 USC가 알긴산 나트륨의 양만큼 증가했으며, 온도가 압축강도의 중요한 영향을 미치는 것으로 나타남(Fatehi, H et al., 2019)
 - SEM을 통해 바이오폴리머가 모래에 첨가되었을 때 더 강한 내성을 가진 혼합물이 형성되고, 알긴산 나트륨이 토양 입자 사이 결합을 증가시킴을 확인하였음
- 이처럼 현재는 BPST와 MICP 방법 융합 시도가 국외에서 더 많이 시행되고 있다는 점을 주목해야 할 필요성이 있음

2. 국내 기술동향 분석

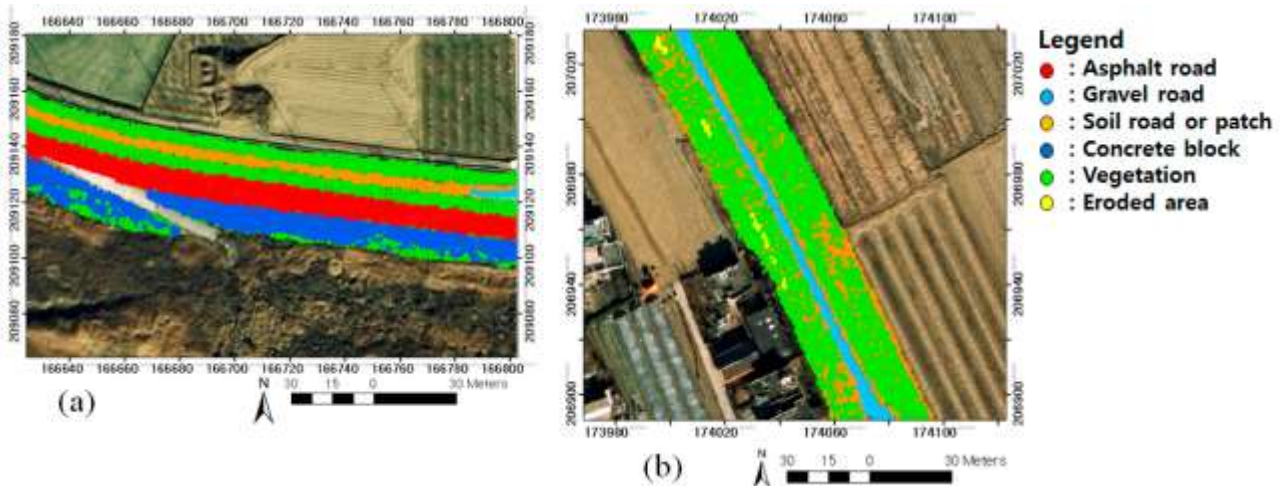
가. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술

- 고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술의 경우 관련 연구가 활발히 진행되고 있으나, 수백 미터에서 수십 킬로미터에 달하는 제방의 길이를 고려하였을 때 제방 손상 광역 탐사 업무를 수행하는 것은 한계가 있어 관련 기술의 발전이 필요함
- (주)지오씨엔아이는 항공 LiDAR 자료와 항공 영상을 활용하여 제방 매핑 기술을 개발하였음



[그림 44] 항공 LiDAR 자료와 항공 영상을 활용한 제방 매핑 예시 ((주)지오씨엔아이, 2011;

- Choung (2014)은 공간해상도가 30cm인 항공 영상을 활용하여 제방의 다양한 재질을 인식할 수 있는 자동화 기술을 개발하였음



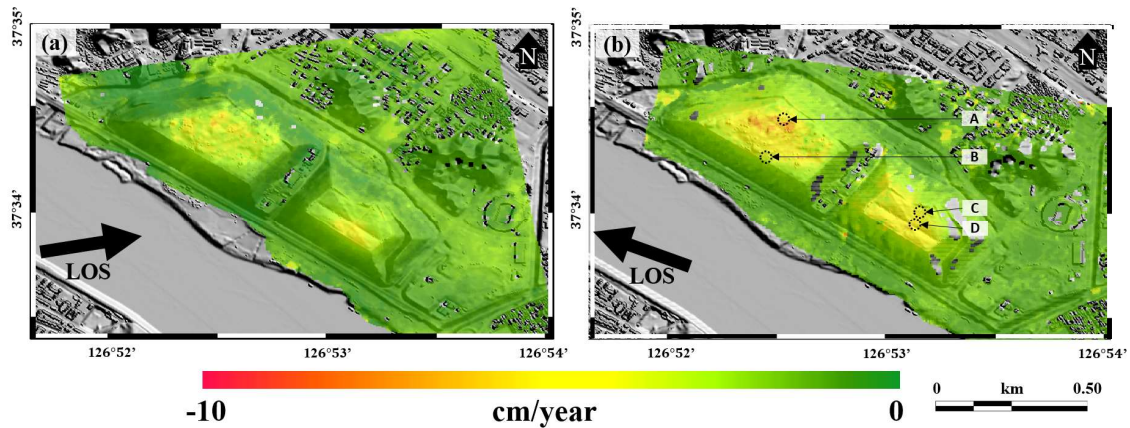
[그림 45] 항공 영상을 활용하여 제방의 다양한 재질을 인식한 자동화 기술의 예시 (a figure captured from Choung, 2014)

- Choung (2015)은 항공 영상과 LiDAR 자료를 활용하여 획득한 제방의 재질 및 손상 지역 정보를 활용하여 제방의 붕괴 위험도 및 안전도를 진단하는 기술을 개발하였음

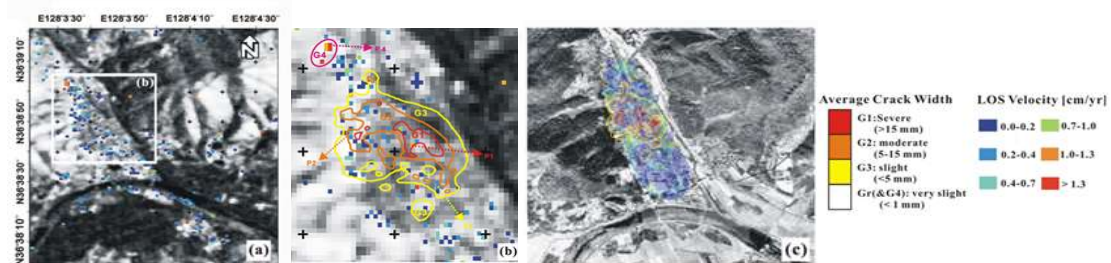


[그림 46] 항공 영상과 LiDAR 자료를 활용하여 획득한 제방의 재질 및 손상 지역 정보를 활용하여 제방의 안전도를 진단하는 기술 개발의 예시

- 위성레이더를 활용한 제방 지역의 지반침하 관측 연구가 진행된 바 없으나 시계열 지표변위 관측기법을 활용한 지반침하 관측 관련 연구는 다수 이루어짐
 - 특히 매립지나 광산 등에서 발생하는 지표변위 양상이 분석된 바 있음
 - 연약지반 위에 매립되어 조성된 연안 매립지나 쓰레기 매립지와 같이 지속적으로 지반침하가 발생하는 지역에 대해 많은 연구에서 위성레이더를 활용하여 지반침하를 관측하고 있음 (Kim et al., 2005; Cho and Lee 2014; Baek and Jung, 2018; Baek et al., 2018; Park and Hong, 2020; Arip et al., 2020)
 - 한편 채굴이 끝난 폐광산이나 지하시설물 건설에 따라 발생한 지하 공동 지역에서 발생하는 장기적인 지반침하 역시 시계열 지표변위 관측 기법을 활용하여 다수 분석된 바 있음 (Jung et al., 2007)



[그림 47] SBAS 기법을 이용한 서울 월드컵 공원의 지반침하 양상 (Baek et al., 2018); (a) 상향궤도; (b) 하향궤도



[그림 48] PSInSAR 기법을 이용한 강원도 지역의 폐광산 지반침하 관측 (Jung et al., 2007)

□ 최근 드론을 활용한 시설물 안전진단기술은 다양한 분야에서 활용되고 있으며, 드론 라이다 및 드론사진측량에 의하여 하천유역의 고정밀 3차원 공간정보를 구축하여 홍수에 의한 정확한 피해 예측이 가능해 기술 개발이 필요함

○ 2019년 한국수자원공사와 대우건설은 드론과 수중드론을 활용하여 댐상태를 평가하는 기술을 개발함

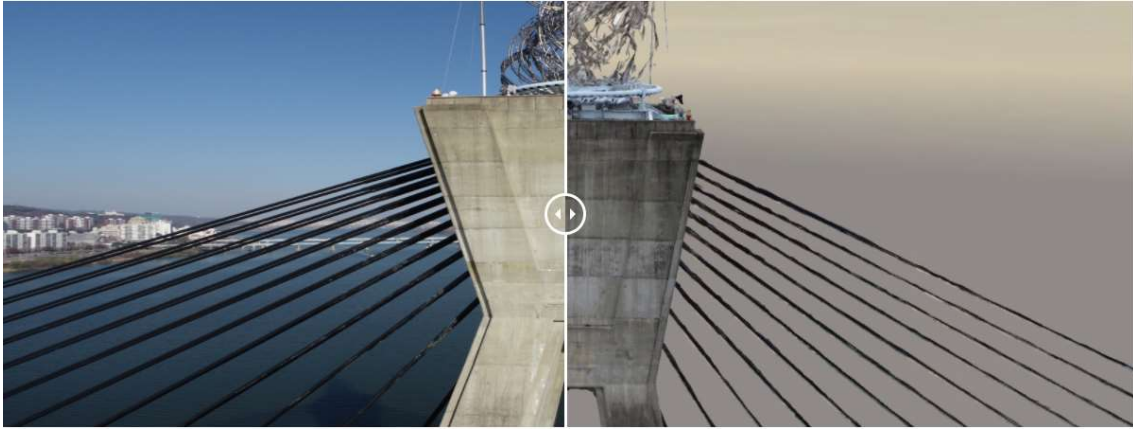
- 상부에서는 열화상 카메라가 실린 드론을 활용, 물에 잠긴 취수탑에는 수중 드론을 담가 확보한 영상 자료를 토대로 댐 상태를 모델링 하는 방법을 개발함

- 이 기술을 바탕으로 2020년 환경부에서 발표한 ‘댐 스마트 안전관리체계 구축’ 사업에서 4차산업 기술인 드론 3D 디지털 매핑 점검, 수중 ROV 시설물 점검 등의 기술 적용으로 시간, 노동력, 정확도 혁신과 안전성 확보 및 경비 절감 등을 기대하고 진행 중에 있음

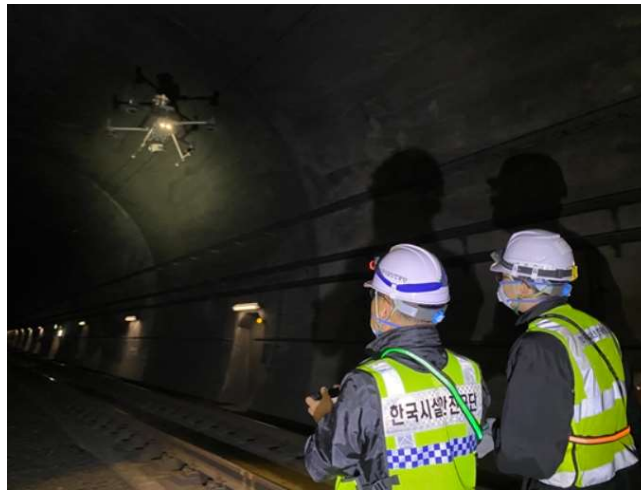


[그림 49] 무인기 활용 댐 안전진단 방법(대우건설 기술연구원)

- 한국시설안전공단은 2014년부터 비탈면 조사에 드론을 활용해왔으며, 2018년부터 4차산업 혁명 선도 기술 확보를 위해 드론을 활용한 시설물 유지관리 기술 고도화에 본격적으로 지원함
 - 2020년 공동주택 안전점검, 터널 안전점검, 교량 시설물 안전진단 3D 디지털화(국내 최초 성공) 등 많은 성과를 보이고 있음
 - 특히 교량이나 건축물 외관점검 등에 주로 이용되는 드론이 GPS 수신이 원활하지 않은 환경인 터널 안전점검에 활용된 것은 처음임
 - 또한 3D 모델링 분야에서 난제로 분리되던 교량을 드론, 라이다, 위성측량을 통합한 독자기술인 ‘3D 디지털매핑솔루션(KoMapper Twins)’을 사용하여 국내 대표적 교량들의 ‘시설물 안전진단 3D 디지털화’를 성공하였음



[그림 50] 3D 디지털 안전진단(KO-MAPPER)



[그림 51] 드론 활용 터널 안전점검(안전저널)

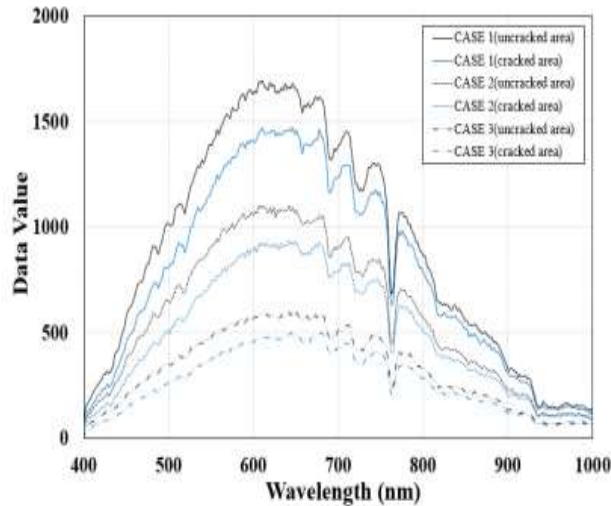
- 한국도로공사는 국토교통부 주관 ‘2020년 드론 규제 샌드박스 시범사업’ 공모에서 선정되어 사람이 접근하기 어려운 고속도로 교량을 안전하고 효율적으로 관리하기 위한 교량 점검용 드론을 개발함
 - 드론에 0.2mm의 미세 균열까지 식별 가능한 카메라가 180도 회전하며 구조물을 왜곡 없이 촬영할 수 있고, 교량 하부 등 GPS 음영지역에서도 안전한 비행이 가능하도록 충돌방지 기능을 탑재하였음
 - 개발 드론을 현장에 투입한 결과 탐지율이 대폭 향상되고 작업시간도 기존보다 40% 가까이 줄어드는 것으로 나타나며, 기존에 인력 위주 조사보다 안정성도 확보되어 추후 확대 활용할 계획임



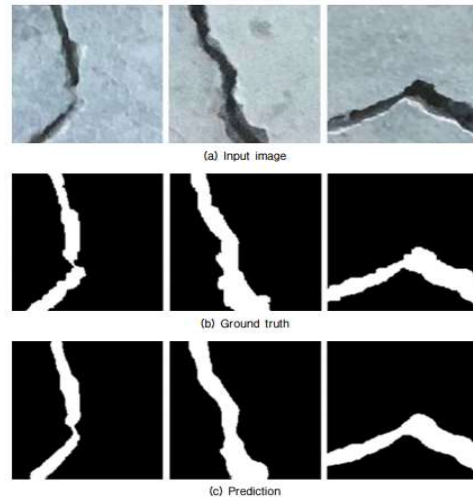
[그림 52] 드론 활용 고속도로 교량 점검(한국도로공사)

- 국토교통부의 물관리연구사업 중 ‘능동형 하천정보 운영을 통한 다차원 하천관리 체계 구축 및 활용기술 개발’ 사업에서 ‘제방 균열의 분광 정보 및 반사율 특성에 관한 연구’ (김종태 외 2명)를 수행함
 - 제방 균열의 탐지를 위해 드론 기반의 초분광 영상을 활용하여 균열의 분광정보 및 반사율을 분석하는 것으로 드론에 초분광센서를 탑재하여 안동댐 하류 제방 균열을 촬영하고 분석함
 - 그 결과 비균열 영역과 균열영역에서 가시광선과 근적외선의 반사율 차이를 보여 제방 안정성 평가를 위한 선제적 대응방법이 될 것으로 판단하고 있음
- 제방의 정밀 현장조사를 진행하기 전, 광범위한 영역을 대상으로 사전조사를 진행할 필요가 있어 영상 기반 제방 안정성 모니터링 기술은 국내에서도 꾸준히 연구가 이루어지고 있음
 - 제방 균열의 분광정보 및 반사율 특성에 관한 연구(김종태 외, 2020), 제방 모니터링을 위한 UAV 기반 초분광 영상 적용 연구(김영구와 강준구, 2018) 등이 진행된 바 있음
 - 건축물 등 구조물 노후화에 따라 콘크리트 균열 안전진단이 활발하게 진행되고 있으며, 일반 이미지, 레이저 영상 분석에 대한 연구가 진행된 바 있음 (김아람 외, 2018; 김준희 외, 2018)
 - 근적외선 영역대에서 변화되는 함수비 별로 지반 종류별로 초분광 영상을 이용하여 함수비와 가장 연관성이 높은 매개변수를 추출해내는 연구가 진행됨 (임환희 외, 2019; Lim et al., 2020)

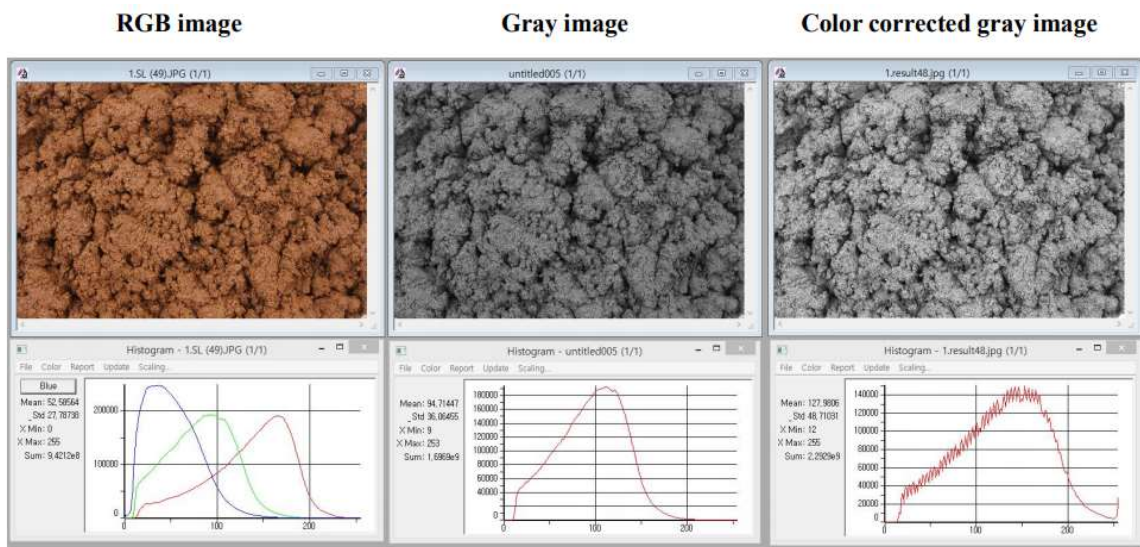
○ 디지털 이미지를 이용하여 딥러닝 기반 흠의 함수비 및 밀도를 예측하는 연구도 진행된 바 있음(김동근, 2020)



[그림 53] 균열 데이터와 비균열 데이터의 비교 (김종태 외, 2020)



[그림 54] 딥러닝을 이용한 콘크리트 균열 검출 (김아람 외, 2018)

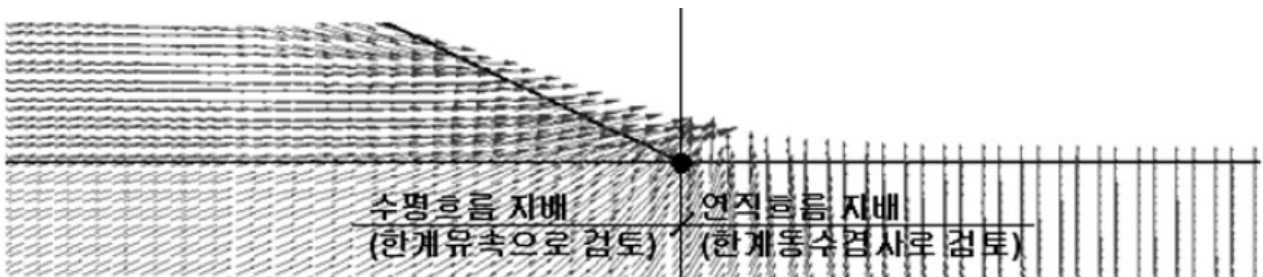


[그림 55] 딥러닝 기반 흠의 물성치 분석 (김동근, 2020)

나. 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술

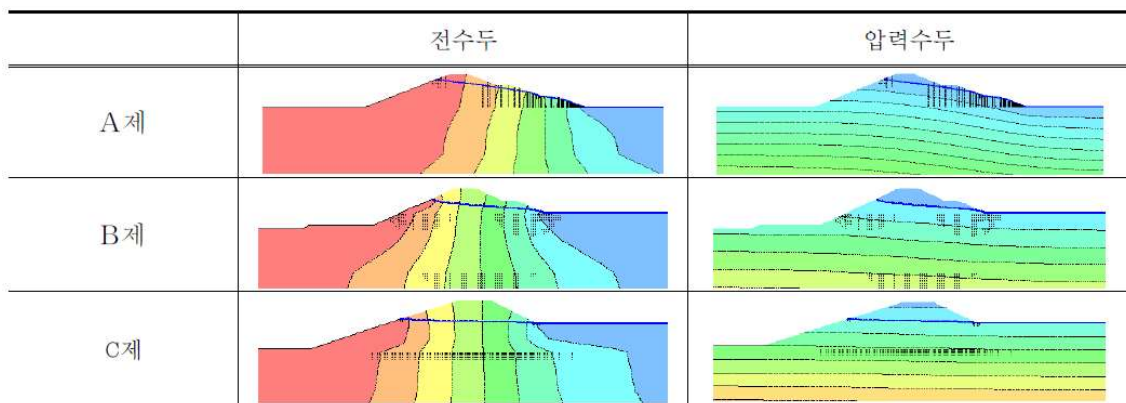
□ 수치해석을 통한 제방 안정성 통합 분석 모형 개발의 경우 국내에서 다수의 연구가 이루어졌으나 단기간내 효율적인 복합지반탐사가 가능한 연구가 이루어진 적은 없음

- 이종태(2001)는 제방자체의 파괴양상을 실험을 통해서 모의하여 제방 단면의 기하학적 특성과 축조재료 및 다짐도가 미치는 영향에 대해서 연구를 수행함
- 정형식(1998)은 홍수 시 제방의 침윤선의 변화와 그에 따른 제체누수에 대한 연구를 통하여 설계 시 적용 인자들의 영향을 검토함
- 권교근 등(2006)은 우리나라 하천제방에 대한 내부 침식 파괴연구를 통해 균열 및 파이핑 저항등급을 소개하고, 유한요소해석을 통해 한계유속과 한계동수경사에 의한 현행 설계방법의 안정성 검토 결과를 비교하여 실효성을 판단하였음



[그림 56] 파이핑에 따른 안정해석 결과

- 변요셉 등(2009)은 실제 파이핑이 발생한 하천제방사례에 적용하여, 침투해석을 실시하여 파이핑 발생 제방의 침투해석 결과에 대한 투수계수 변화에 따른 영향 검토를 위한 원설계 결과 타당성 검토, 문헌자료 투수계수 사용에 따른 안정성 평가를 실시하여 합리적인 투수계수 적용에 대해 고찰함



[그림 57] 침투해석에 따른 수두검토도(변요셉 등, 2009)

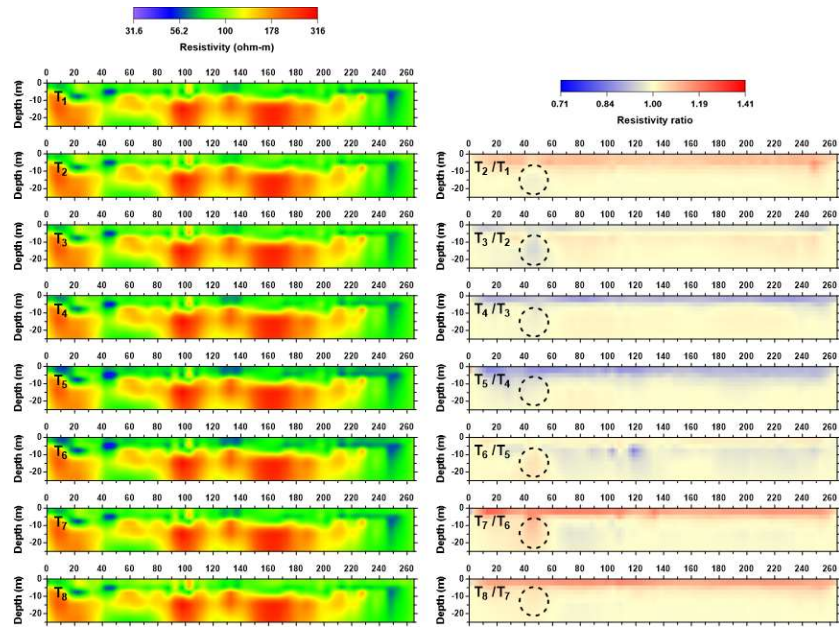
- 지반내 침투압 발생시 입자유동 가능성 평가방법은 지반의 입도분포특성을 이용할 수 있음
- 일반적으로 침투압 발생시 지반내 입자유동 가능성 즉, 파이핑이 발생할 수 있으며, 파이핑 방지를 위해 필터 재료를 설치함

- 이때 설치될 필터의 입도와 인접된 지반의 입도차를 이용하여 지반내 입자유동 가능성을 평가할 수 있음

Proposer	Filter standards		
Bertram (1940)	$\frac{D_{15(f)}}{D_{85(s)}} < 6, \frac{D_{15(f)}}{D_{85(s)}} < 9$	Leatherwood and Peterson (1954)	$\frac{D_{15(f)}}{D_{85(s)}} < 4.1, \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 5.3$
U.S. Corps of Engineers (1948)	$\frac{D_{15(f)}}{D_{85(s)}} < 5, \frac{D_{15(f)}}{D_{15(s)}} < 20, \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 25$		Uniform filter : $5 < \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 10$
Sherman (1953)	For $C_u(s) < 1.5$: $\frac{D_{15(f)}}{D_{15(s)}} < 6, \frac{D_{15(f)}}{D_{15(s)}} < 20, \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 25$ For : $1.5 < C_u(s) < 4.0$: $\frac{D_{15(f)}}{D_{85(s)}} < 5, \frac{D_{15(f)}}{D_{15(s)}} < 20, \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 25$ For : $C_u(s) > 4.0$: $\frac{D_{15(f)}}{D_{85(s)}} < 5, \frac{D_{15(f)}}{D_{85(s)}} < 40, \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 25$	Karpoff (1955)	Well-graded filter $12 < \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 58,$ $12 < \frac{D_{15(f)}}{D_{15(s)}} < 40, \text{ and}$ Parallel grain-size curves
$D_{15(f)}$: Grain size equivalent to 15% of passing weight (%) of filter $D_{50(f)}$: Grain size equivalent to 50% of passing weight (%) of filter $D_{15(s)}$: Grain size equivalent to 15% of passing weight (%) of foundation $D_{50(s)}$: Grain size equivalent to 50% of passing weight (%) of foundation $D_{85(s)}$: Grain size equivalent to 85% of passing weight (%) of foundation		Zweck and Davidenkoff (1957)	medium and coarse uniform sand : $5 < \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 10$ fine uniform sand : $5 < \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 15$ well-graded fine sand : $5 < \frac{D_{50(f)}}{D_{50(s)}} < 25$

[그림 58] 필터재 기준

- 댐 및 저수지 안전진단을 다양한 연구결과와 적용사례가 발표된 바 있으나 하천 제방의 계절적 변화 특성을 이용하기 위해서는 반복측정이나 모니터링이 요구됨
- 특히 전기비저항 탐사의 경우 2차원 탐사, 3차원 탐사 및 4차원 모니터링까지 다수의 저수지 및 댐 안전진단에 적용되어 그 효과가 입증된바 있음
- 전기비저항 탐사 이외에도 자연전위탐사, 유도분극 탐사, 전자탐사, GPR 탐사, 탄성파 탐사 등 다양한 물리탐사기법이 적용되어 누수구간의 탐지 및 제체의 구조 규명에 적극 활용되고 있음



[그림 59] 저수지 누수구간 탐지를 위한 전기비저항 모니터링 사례(Kim et al., 2020)

- 한국농어촌공사는 “수리시설 정밀안전진단” 사업의 일환으로 재해예방계측시스템 설치사업을 진행해오고 있음
- 자연재해의 급증, 수리시설물의 노후화, 효율적인 유지관리 체계화, 진단비용의 절감 등을 목적으로 저수지, 방조제를 포함하여 총 197개소를 대상으로 실시
 - 주로 저수지 하류 법선부에 전극 및 터미널 보드를 설치함
 - 터파기 후 전극 및 케이블 매설
 - 자료측정은 탐사장비를 가져와 터미널 보드를 통하여 수동으로 측정



(a) 전극 및 케이블 설치

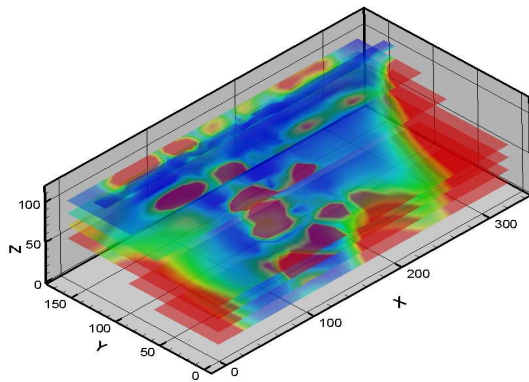


(b) 터미널 보드 설치

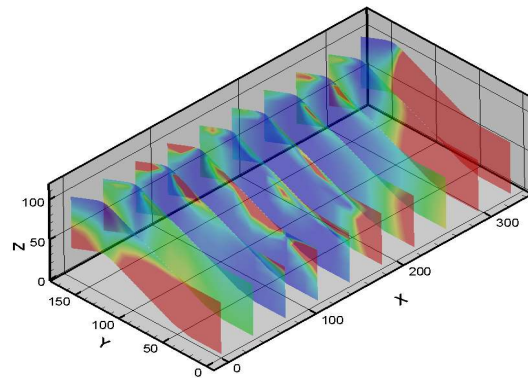
[그림 60] 한국농어촌공사 모니터링 설치 예시

□ 국내 댐에 3차원 전기비저항 탐사 적용사례가 존재하나, 기존의 일반적인 탐사 시스템은 연속성 부분이 누락되어 있기에 실시간 전기비저항 측정시스템을 구축하여 제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발이 필요함

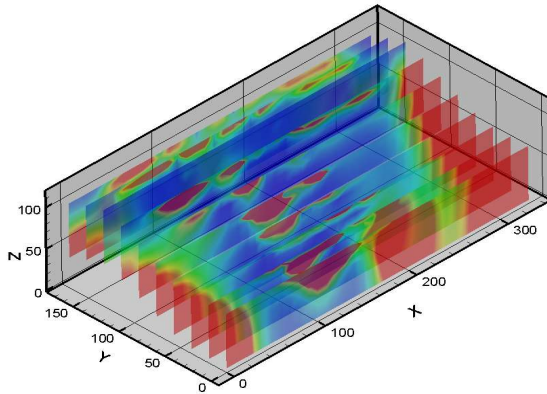
○ 대상 댐체에서의 3차원 전기비저항탐사는 다수의 종방향 및 횡방향 측선 설정 후 2차원 자료를 측정하고 각 측정결과를 통합하여 역산을 수행함



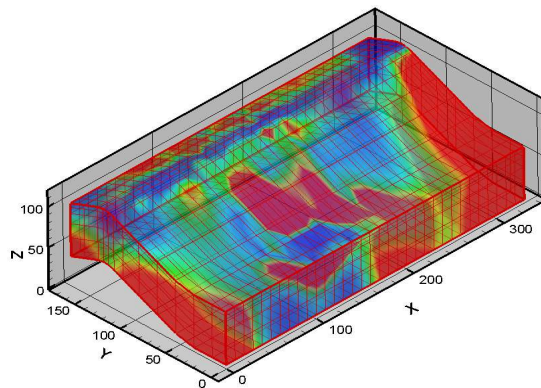
(a) 3차원 해석결과, XY plane



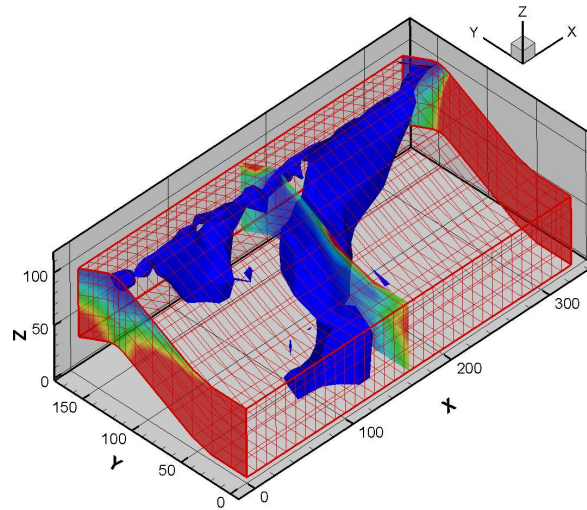
(b) 3차원 해석결과, XZ plane



(c) 3차원 해석결과, YZ plane



(d) 3차원 블록이미지



(e) 50 ohm-m 이하의 전기비저항 값 분포

[그림 61] 3차원 전기비저항탐사 결과 예시

다. 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술

- 국내에서는 내부침식 방지를 위해 차수시설 이용, 그라우팅 주입 공법, 필터층 설치, 배수구 설치와 같은 방법을 사용하고 있으며 기존 그라우트 재료의 환경 및 원활한 주입효율 증진 문제가 대두됨에 따라 이를 대체할 새로운 그라우트 재에 대한 개발이 필요한 실정임
- 제방의 강도 증진, 차수성 증대, 내외부 침식가능성 저하를 위한 다양한 기술들이 실제 시공에 사용되고 있음
- 제방의 내부침식 방지를 위해 차수시설 설치 및 이용, 시멘트 그라우팅 주입공법 적용, 제방 표면에 필터층 설치 및 배수구 설치와 같은 방법을 사용하고 있음¹⁷⁾
- 또한, 제방을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 보호하기 위해 제방 표면에 사석호안, 블록호안, 식생호안, 식생매트호안, 돌망태호안 등의 공법을 적용하기도 함¹⁸⁾
- 노후 수변 구조물의 보강을 위해 시멘트 그라우팅 등의 약액보강공법을 적용하지만, 시추장비와 주입장비의 대여 등으로 상당한 비용이 소요됨
- 또한, 그라우트 약액 주입으로 인한 환경 저해에 대한 우려로 인한 사회적 비용 또한 추가로 발생함. 이에 수변구조물을 위한 저비용/친환경적인 누수보강기법에 대한 기술적/사회적 수요가 높아지고 있는 추세임

17) (국토교통부, 2016)

18) (우효섭 et al., 2020).

- 제방내 물의 침투를 막기 위한 다양한 표면처리기법은 존재하지만, 기축조된 구조물의 내부 보강공법으로는 약액 주입과 같은 화학적 지반개량공법만 존재하기에 그 적용이 매우 제한적임
- 수변 구조물 내부의 내침식성 증대를 위한 저비용/친환경적인 생물학적 지반보강공법에 대한 기술적/사회적 수요가 높아지는 추세임

<표 19> 친환경 지반보강 기술 현황

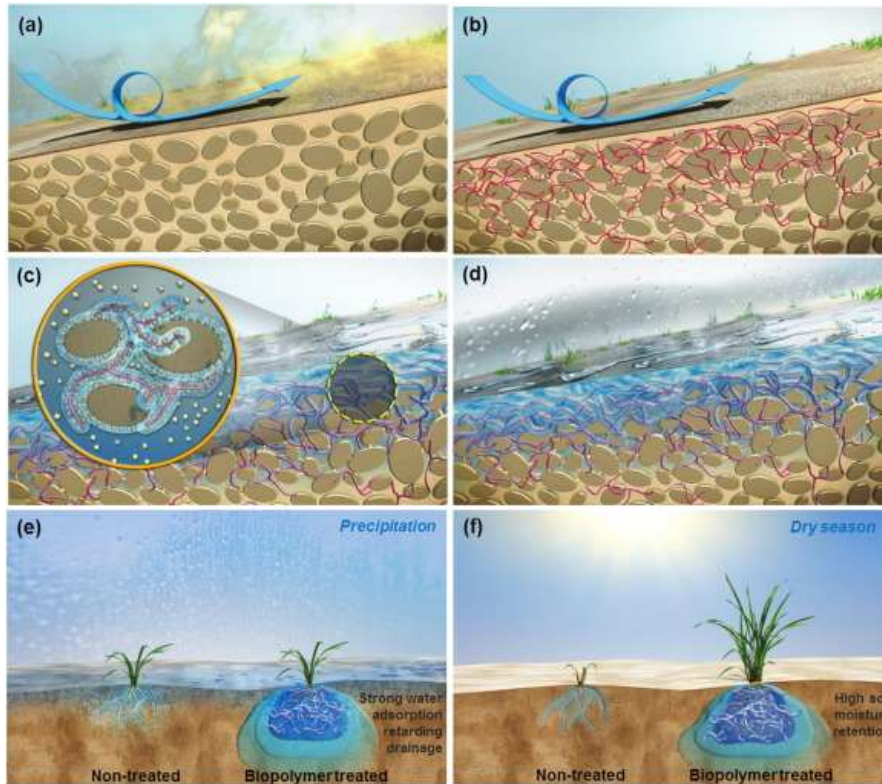
친환경 재료	장 점	단 점
지오 폴리머	- 실리카와 알루미나가 풍부한 플라이애시(fly ash) 부산물을 활용한 지오폐리머 연구가 이루어짐 (Davidovits, 1979). - 포틀랜드 시멘트의 환경적 문제가 대두됨에 따라 지오폐리머가 시멘트의 대체재로 급부상하였고, 산업부산물이 원재료인 지오폐리머를 이용하면 80% 이상의 CO2 저감효과가 있음이 확인되었음(Duxson et al., 2007).	- 산업부산물을 다량으로 대체하지 않는 경우에 온실가스 저감효과는 미비함(김진호 et al., 2016) - 지오폐리머를 이용한 콘크리트의 경우 기존 콘크리트를 대체하기 위한 몇 가지 문제점이 존재하며, 특히 제조공정에 적용하기 위한 설비문제나 알칼리 활성제 사용에 의한 경제성 확보가 어려운 실정임(최영철, 2017).
페타이어	- 페타이어를 이용하여 지반을 보강하는 방법은 1990년 페타이어를 이용한 고속도로의 개발(Edil et al., 1990)을 시작으로 널리 사용되기 시작함. - 페타이어 성토면의 시공과 실무(Bosscher et al., 1992)와 타이어칩(tire chips)과 토양 혼합물의 공학적 특성에 대해서도 연구가 이루어짐(Edil and Bosscher, 1994). - 페타이어를 지반보강에 사용하게 되면 페타이어 처리비용과 이산화탄소 배출량이 감소하기 때문에 환경적 장점이 존재함.	- 지반보강에 페타이어를 사용하는 경우, 미생물이 풍부한 지반을 조성할 수 없을뿐더러 화재 등으로 인해 점화되면 지반은 유해할 수 있는 다량의 미네랄을 포함하게 됨(Sharma et al., 2015). - 타이어 조각을 지반과 비교했을 때 타이어 조각의 압축성이 지반보다 크기 때문에 지반구조물의 사용성을 손상시킬 수 있음(Humphrey, 1996; Hoppe, 1994).
재활용 PET 섬유	- 숏크리트에 사용되는 PP(Poly Propylene)섬유를 대체하기 위한 재활용 PET(Poly Etylene Terephthalate) 섬유를 사용하게 되면 환경부하 저감 측면에서 다른 섬유보강 콘크리트에 비해 우수하기 때문에 친환경 재료로 대두되고 있음 - PET 섬유의 혼입율이 증가하게 되면	재활용 PET 섬유는 열저항성을 감소시킬 뿐만 아니라 낮은 인장성과 낮은 섬유의 체결력의 단점을 가지고 있음(Sadeghi et al., 2021).

PP섬유와 유사한 강도발현이 가능함을 확인함(신은철 and 박수영, 2014)
--

□ 친환경적인 MICP, BPST(바이오폴리머 기반 처리) 등 다양한 신재료의 개발이 진행 중이나, 기존 그라우팅 재료 대체를 위한 성능평가, 주입공법 및 주입성능 평가 등에 대한 연구가 미비한 실정임

- 최근 지반공학에서 친환경 공법 및 재료로 BPST와 MICP가 각광받고 있음
- BPST란, Biopolymer Soil Treatment의 약자로 바이오폴리머는 자연상태의 미생물이 아닌 공장에서 액상 또는 분말 형태로 대량 생산 가능하고 환경적인 안전성이 담보된 바이오 신소재로도 표현되는 물질이며, 이를 이용하여 제방 표면의 강도 증진, 침식 저항 강화, 식생 성장 촉진 등이 가능함(Chang et al., 2015a; Lee et al., 2017)
- MICP란, Micro-biologically Induced Calcite Precipitation의 약자로 미생물 유도 방해 침전을 이용하여 지반에 주입 시 지반과 미생물이 화학작용을 일으켜 지반의 강도를 증진시켜주는 친환경적인 지반 개량 방법임
- BPST와 마찬가지로 미생물에 의한 지반의 강도를 증진시켜주는 방법으로 환경에 부정적인 영향을 미치지 않을뿐더러 강도특성 또한 증진되는 방법으로 각광받고 있는 방법 중 하나임
- 미생물의 활동은 지반의 공학적 물성에 큰 영향을 준다는 사실이 알려지면서, 미생물, 특히 박테리아를 이용한 지반개량/보강기술을 개발하고자 하는 바이오-지반공학에 대한 관심이 전 세계적으로 높아지고 있음
- 각각의 미생물이 저마다 독특한 부산물을 생성한다는 점에서 큰 관심을 받고 있으나, 지반공학적인 관점에서 박테리아의 활동과 그 부산물(특히, 바이오미네랄)이 흙 입자와 어떻게 상호작용하는지에 대한 근본적 이해는 여전히 초기단계에 있음
- 다양한 실내실험을 활용한 MICP 및 BP 기반 그라우트재 보강 지반성능 평가 연구가 기수행됨
- 그 결과, 지반성능 향상이 기대되는 실정임. 하지만, 노후 제방 보강을 위한 정량적인 MICP 및 BP 기반 그라우트재의 레시피 및 주입공법에 대한 연구는 부족한 실정임
- MICP 및 BP 기반 그라우트재의 장기강도 및 차수 특성 연구가 일부 수행되었으나, 정량적 성능 평가가 부족한 실정임
- BP 기반 그라우트재 보강 지반의 동적특성 변화에 대한 실내실험 연구가 수행되었으나 특정 BP 재료에 한정되고, 정량적인 분석이 부족한 실정임

- 실내실험을 통해 BP 그라우트재의 주입효율이 우수한 것으로 알려져 있으나 실제 지반에서의 주입특성 평가 연구는 전무한 실정임
- MICP 및 BP 기반 새로운 그라우트재의 실효성을 위한 그라우트재의 레시피, 주입공법, 주입 성능 평가기법이 필요하며 현장주입을 위한 메뉴얼 및 가이드라인의 제시가 필요함
- MICP가 모르타르의 강도 개선에 미치는 영향을 분석한 결과, 대조군의 미생물은 경화시간이 지나면서 모르타르의 강도를 증가시키고 압축강도의 증가율이 감소하는 것을 확인하였음(김성태 et al., 2012)
- 바이오폴리머-토양 전단시험 실시한 결과 하이드로겔이 탈수에 의해 필름 상태로 바뀐 후 지반 강화 효과가 더욱 강화되어 정적인 안정성이 향상되는 것을 확인하였음(Lee et al., 2021)
- 미생물 바이오폴리머가 토양침식 저항에 미치는 영향을 분석하기 위해 EFA(Erosion Function Apparatus) 실험을 수행하였음. 바이오폴리머 형성이 임계 전단 응력과 표면침식성을 높인 것으로 확인됨(Ham et al., 2018)
- 사막화 방지 시도를 보장하기 위한 토양 내부 응집력을 회복시키는 바이오폴리머 사용법 적용을 시도함. 강수/하천 침식 시뮬레이션 및 토양 수분 증발 속도 측정 결과 바이오폴리머의 존재가 입자 간 응집력을 개선하며 건조한 조건에서 하이드로겔 특성으로 인해 상대적으로 높은 수분 유지력을 보여 사막화 방지에 유망함을 확인함(Chang et al., 2015)



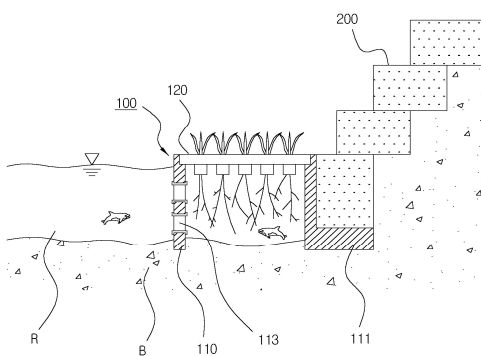
[그림 62] 바이오폴리머 처리 토양의 내식성 모델 (Chang et al., 2015)

- 물의 흐름에 의한 표면 침식에 대한 토양 침식 저항성을 향상시키기 위한 바이오폴리머의 효과를 조사하기 위해 EFA 실험을 실시함(Kwon et al., 2020)
 - 바이오폴리머 처리 토양은 입자 대 입자 접촉의 강화와 간극수의 점도 증가로 인해 침식 계수가 90% 감소되었으며, 최대 전단 응력이 10배 증가하는 것을 확인하였음
- 생물학적으로 생성된 화합물의 생분해 및 가수분해 거동으로 바이오폴리머 처리 토양의 내구성 연구를 위해 젤란검 바이오폴리머 처리 모래의 주기적 습윤 및 건조 조건에서 실험함 (Chang et al., 2017)
 - 주기적 습윤 및 건조가 약 30%의 강도 감소와 함께 재 건조 중 습윤 및 불안한 재구성 단계 동안 강도가 점진적으로 저하됨이 나타났지만, 많은 사이클 후에도 어느 정도에 강도 회복과 저항이 관찰됨
 - 이는 바이오폴리머 처리가 실제 건축에서 일시적 또는 중기 목적으로 적용 가능성을 확인함
- 미생물 기반 내 광물질 생성 양과 생성 광물질이 지반의 강도에 미치는 영향을 분석한 결과, 미생물 반복 주입 시 횡수에 따라 모래 내 탄산칼슘 지속적 생성으로 인해 강도는 증가하지만 약하게 고결된 지반에 탄산칼슘 일정 이상 침전될 경우 오히려 강도가 감소함을 확인하였음(박성식 et al., 2011)

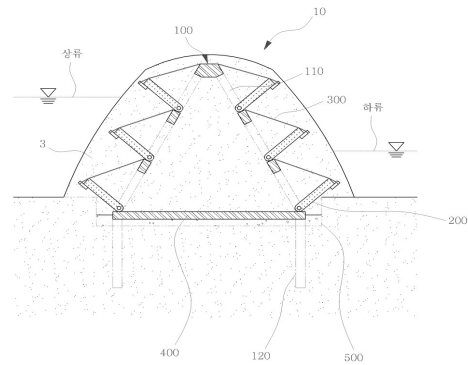
- 이렇게 BPST와 MICP의 연구는 국내외에서 많은 연구가 이루어졌지만, 이 두 공법의 융합은 국외에서 시행되는 것이 다수임

□ 제방 관련 보강 및 안정화 기술이 지속적으로 연구되고 있으며, 바이오 신소재를 하천 제방 취약부 보수·보강에 활용할 있을 것으로 기대되는바 관련 기술 개발이 필요함

- 노후저수지, 방조제 등의 차수 및 보강공법에 효과적으로 사용할 수 있는 하이브리드형 그라우트제의 침투 및 내구, 환경적 특성을 분석(박성용 et al., 2017)하였고, 노후저수지 보강을 위해 하이브리드형 그라우트를 주입할 경우 차수 및 보강에 효과적인 적용 가능성을 확인함(박성용 et al., 2017)
- 유수지 측 제방 하단에 파이프링 현상이 발생한 부분을 HGG(Hi-FA Green Grouting)공법을 이용하여 보강하였고, 공법 적용 후에 누수가 발생하지 않고 뛰어난 차수효과를 보임(신은철 et al., 2013)
- 국내 하천 생태계 보호기능을 갖는 제방 구조물을 이용하여 수생식물의 서식처 및 산란처를 제공하는 동시에 비탈면을 따라 조적된 다른 블록 간 견고한 맞물림을 통해 제방 축조물을 보강하는 기술이 개발됨(김봉근, 2003)
- 국내 제방의 유실 및 침하를 방지하기 위해서 부분적인 건설이 가능하고 작업이 용이하며 유수에 의한 토사 유실을 최소화시킬 수 있는 구조를 개발함(김성주, 2006)



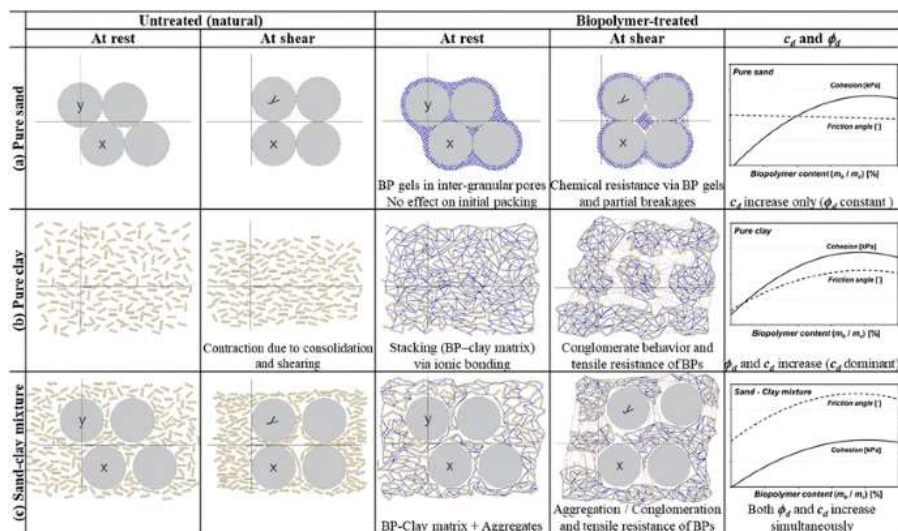
(a) 하천 생태계 보호기능을 갖는 제방 구조물의 대표도 (김봉근, 2003)



(b) 제방의 유실 및 침하를 방지하는 설치구조의 단면도 (김성주, 2006)

- 안동 하천 실험 센터에서는 제방의 붕괴를 방지하고 제방의 보강을 위해 새로운 재료인 바이오폴리머를 이용하였음(Ko and Kang, 2020)
 - 바이오폴리머 표면 처리 제방의 경우에는 하천 범람에 의해 발생하는 제방의 붕괴 지연 효과를 확인하였음

- 분사 공법을 이용하여 바이오폴리머 신소재를 실규모 제방에 시공하는 경우 바이오폴리머에 의해 하천 제방 표면 토양의 강도 증진 및 식생 효과 검증 실험(서승환 et al., 2019)
 - 바이오폴리머 처리한 구역의 강도가 높게 나타났으며, 식물종 생장에 긍정적인 효과를 나타냄
- 바이오폴리머 기반 신소재를 제방에 적용하기 위한 강도, 투수성, 침식 방지 조건을 제시함(조계춘 et al., 2017)
 - 이러한 성능의 바이오폴리머 신소재 레시피 개발할 경우 시멘트 대체 친환경 신소재 제방으로써 새로운 연구분야 및 시장 개척이 가능함
- 바이오폴리머 젤란검과 토양 입자 사이의 미세 상호 작용과 강화 특성에 대한 조사를 위해 실험실 배인, 전단 시험 결과 모래-점토 혼합물의 강도가 효과적으로 증가함을 확인함(Chang and Cho, 2018)



[그림 63] 젤란검 처리 토양의 미세 구조 모델 개략도 (Chang and Cho, 2018)

- 바이오폴리머 잔탄검 처리한 다양한 종류의 토양을 대상으로 일축압축시험을 수행한 결과 잔탄검 섬유가 점토 입자의 표면과 직접 상호 작용하며 플라스틱과 같은 매트릭스를 형성하여 눈에 띄는 토양 강도 개선을 확인함(Chang et al., 2015)
- 미생물 기반 내 광물질 생성 양과 생성 광물질이 지반의 강도에 미치는 영향을 분석한 결과, 미생물 반복 주입 시 횡수에 따라 모래 내 탄산칼슘 지속적 생성으로 인해 강도는 증가하지만 약하게 고결된 지반에 탄산칼슘 일정 이상 침전될 경우 오히려 강도가 감소함을 확인하였음(박성식 et al., 2011)

4절. 특허 및 논문 분석

1. 특허분석

가. 분석개요

□ 제방 관리 관련 3개 대분류 13개 중분류 기술에 대하여 ‘10~‘19년의 10년간 출원·공개된 특허를 분석 대상으로 함

○ 특허검색시스템을 사용하여 중분류별 특허정보를 수집하고, 유효특허를 대상으로 특허 출원 추이, 분야별 출원비중, 기술경쟁자 Landscape, IP 부상도 등의 항목을 분석함

<표 20> 제방 관리 관련 특허분석 개요

분석대상	내용
기술	제방 관리 관련 3개 대분류 13개 중분류 기술
국가	한국, 미국, 중국, 일본, 유럽, PCT 특허청
적용기간	출원일 기준 2010.1.1.~2019.12.31.
분석항목	특허 출원 추이, 분야별 출원 비중, 기술성장곡선, HHI, 기술경쟁자 Landscape, IP 부상도 등
활용 DB	Wisdomain DB (www.wisdomain.com)

□ 특허 검색은 전문가의 의견을 바탕으로 한 기술분야의 핵심 키워드를 기반으로 하여 영문 검색식을 작성하여 검색하였음

○ 3개의 대분류는 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술, 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술, 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술로 구성됨

<표 21> 분야별 검색식

대분류	중분류	검색식
A. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	A1. 고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	((("multi-spectral" and "satellite image") or ("levee" and ("Land cover classification" or "Persistent damage detection")))) and pd>2009
	A2. SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	((("SAR" and "satellite image") OR ("Water resource detection") OR ("Soil Map")) and pd>2009
		((("SAR" and "위성영상") OR ("수자원 탐지") OR ("토양 매핑"))

대분류	중분류	검색식
		and pd>2009
	A3. 드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술	((("Drone" and ("hyperspectral image" or "LiDAR")) OR ("Microcrack" and "detection" and "levee") OR ("Levee" and "elevation" and "measurement")) and pd>2009
		((("드론" and ("초분광 이미지" or "LiDAR")) OR ("미세균열" and "탐지" and "제방") OR ("제방고" and "측정")) and pd>2009
	A4. 영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술	("levee" and ("hyperspectral image" OR "crack" OR "leak" OR "detection" OR "CCTV")) and pd>2009
		("제방" and ("초분광" OR "균열" OR "누수" OR "측정" OR "CCTV")) and pd>2009
B. 제방 손상 추정구간 정밀검측 용 고효율/고 심도 융복합 기술	B1. 직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술	((("Electrical resistivity" or "Electrical resistance") and "survey") OR "Precision exploration" OR ("In-situ device" and "measurement system") OR "Embankment damage" OR "Back analysis algorithm") and pd>2009
		("전기비저항 탐사" OR "정밀 탐사" OR ("현장 장비" and "측정 시스템") OR "제방 손상" OR "역해석 알고리즘") and pd>2009
	B2. 제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발	((("water" OR "RIVER" OR "LEAK" OR "FLOOD" OR "LEVEE" OR "embankment") and ("Precise investigation" OR "In-situ device and measurement system" OR "Penetration-type smart sensing" OR "Imaging technique" OR "Converging sensors module")) and pd>2009
		((("물" OR "강" OR "누수" OR "홍수" OR "댐" OR "제방") and ("정밀점검" OR "현장 장비 및 측정시스템" OR "관입형 스마트 센싱" OR "이미지 촬영기법" OR "융복합 센서 모듈")) and pd>2009
	B3. 제방 안정성 통합 분석 시스템	((("estimation" OR "estimate") AND "embankment") OR ("Stability analysis" and ("embankment" or "dam" or "levee")) OR (("Seepage" or "Erosion") and ("piping") and ("model" or "modelling"))) OR ("engineering performance" and "biopolymer")) and pd>2009
		((("평가") AND "제방") OR ("안정성 분석" and ("제방")) OR (("침투압" or "쇄굴") and ("유로") and ("모델링")) OR ("공학적 성능" and "바이오폴리머")) and pd>2009
	B4. 제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발	("3D survey" OR ((("embankment" or "dam" or "levee") AND ("geophysical" AND "monitoring"))) OR ("inversion" AND ("time lapse" OR "4D")))) and pd>2009
	B5. 제방의 상태파악 및 안정성 확보를	((("embankment" or "dam" or "levee") AND ("remote control" OR "resistivity monitoring" OR "geophysical method" OR "resistivity method")) and pd>2009

대분류	중분류	검색식
	위한 정밀 물리탐사 기술 개발	
C. 미생물기 반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 (친환경 미생물 기반 생물학적 노후 제방 보강 기술)	C1. 미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천 기술(재료) 개발	((("Microbial induced calcite percipitation" or "MICP") or ("Biopolymer-based soil treatment" or "BPST"))) and pd>2009
	C2. 미생물 고결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발	((("Microbial induced" or ("Biopolymer" and "based"))) and ("strength" OR "permeability" OR "hydraulic conductivity reduction" OR "durabiltiy" OR "economic feasibility" OR "non-distructive monitoring" OR "physical survey"))) and pd>2009
	C3. 미생물/바이오폴리 머 지반 주입/혼합 공법 개발	((("Microbial induced" or ("Biopolymer" and "based"))) and ("injection" OR "mixing" OR "grouting" OR "core" OR "ground improvement" OR "constrution method" OR "key parameters"))) and pd>2009
		((("미생물 기반" or ("바이오폴리머 기반"))) and ("주입" OR "혼합" OR "그라우팅" OR "심벽" OR "지반보강" OR "시공법" OR "핵심인자"))) and pd>2009
	C4. 실규모 성능검증 및 실용화 기술 완성	((("embankment" or "dam" or "levee" OR "Microbial" or "Biopolymer" OR "MICP" OR "BPST") AND ((("large-scale" AND "model") OR "internal erosion" OR "site application"))) and pd>2009
		((("제방" OR "미생물" or "바이오폴리머" OR "MICP" OR "BPST") AND ((("실규모 모형") OR "내침식" OR "현장시공"))) and pd>2009

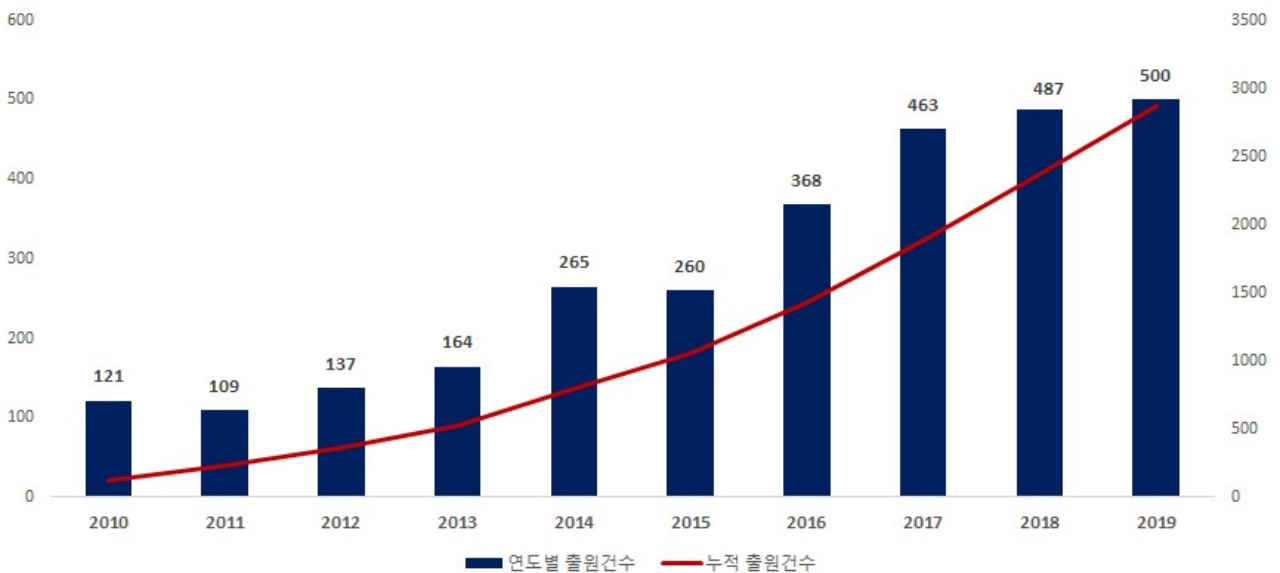
나. 분석결과

(1) 총괄

(가) 특허 출원 추이

□ 10년 간 제방 관련 특허 건수는 지속적인 증가 추세를 보이는 것으로 분석됨

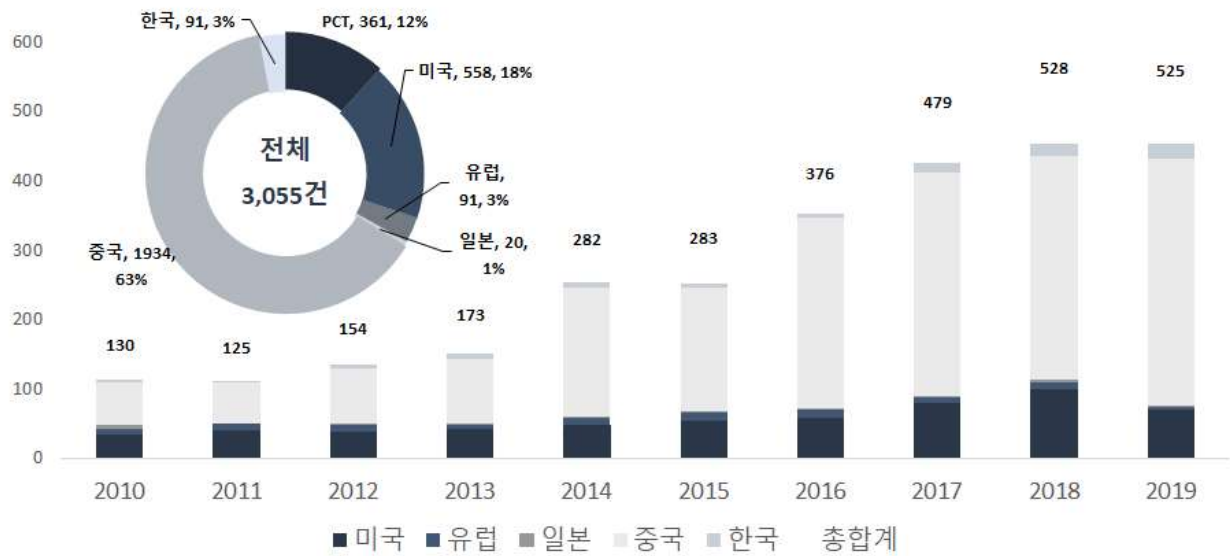
- 제방 관련 특허는 분석 대상 기간 동안 총 3,055건이 출원됨
- '15년에 소폭 감소하는 추세를 보였으나, 이듬해 반등을 주며 꾸준히 증가함



[그림 64] 10년간('10~'19) 제방 관련 특허 출원건수 추이

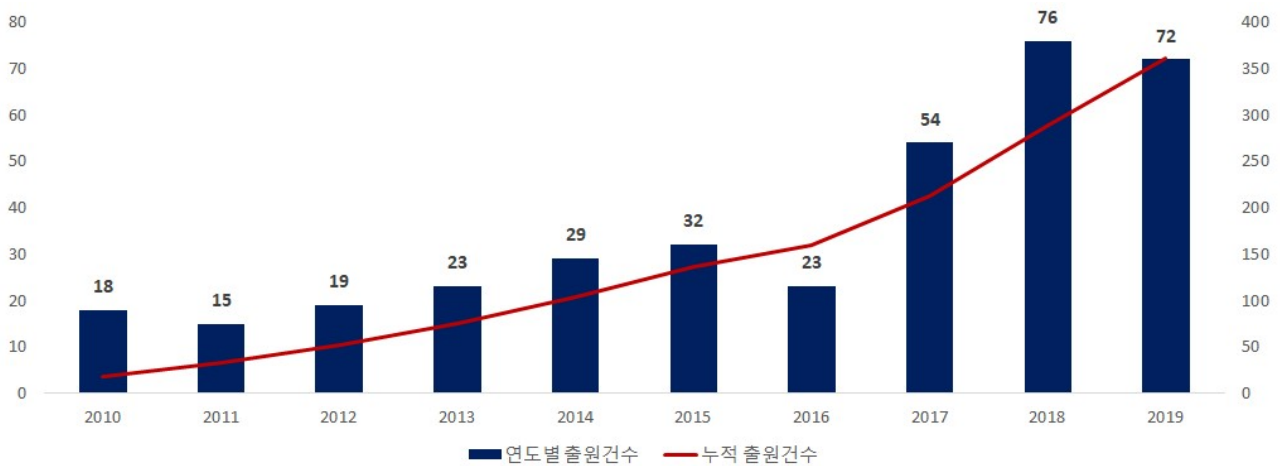
□ 제방 관리 분야의 국가별 특허 출원건수 조사 결과, 중국(1,934건, 63%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남

- 다음으로 미국(558건, 18%), PCT(361건, 12%) 순으로 분석됨
- 중국의 연간 특허 출원이 지속적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 한국의 경우 분석 대상 기간 동안 꾸준히 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남



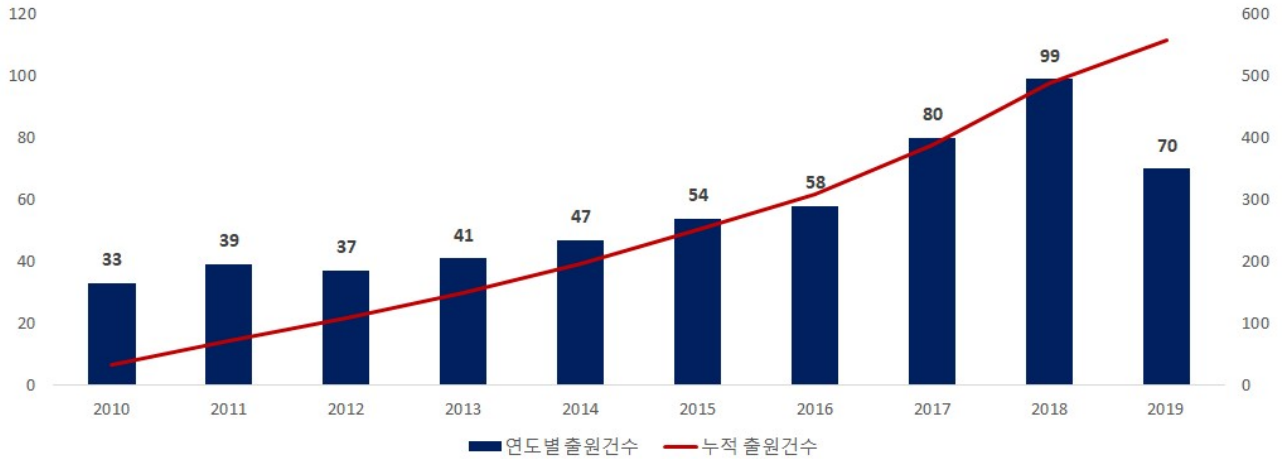
[그림 65] 국가별 연도별 특허 출원건수

- PCT의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 361건으로 조사되었으며, 전반적으로 꾸준히 우상향을 유지하다 최근 3년 크게 증가한 것으로 나타남



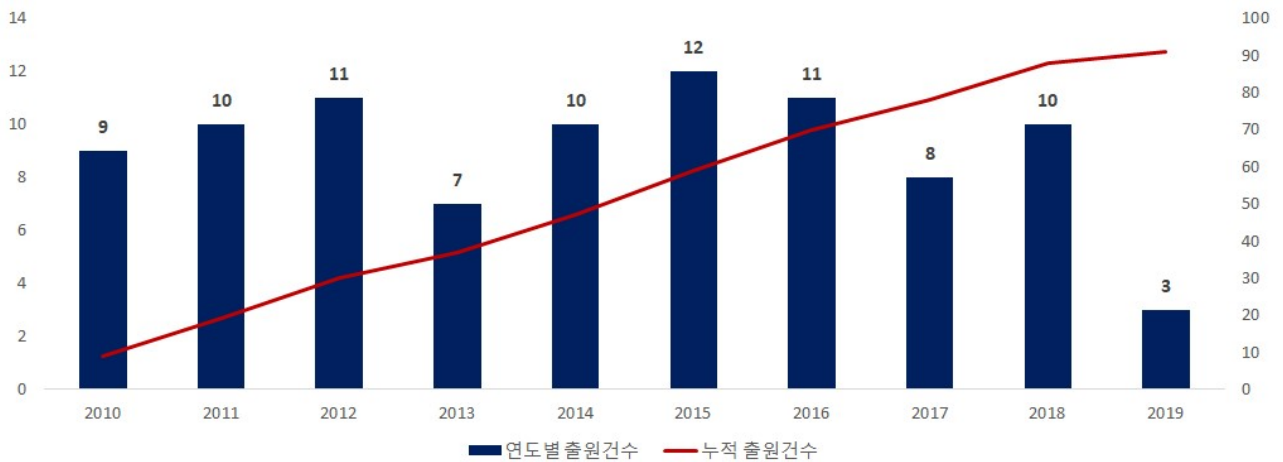
[그림 66] PCT 연도별 특허 출원건수

- 미국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 558건으로 조사되었으며, 전반적으로 증가하는 추세를 보였지만 최근 감소세로 돌아선 것으로 보여짐



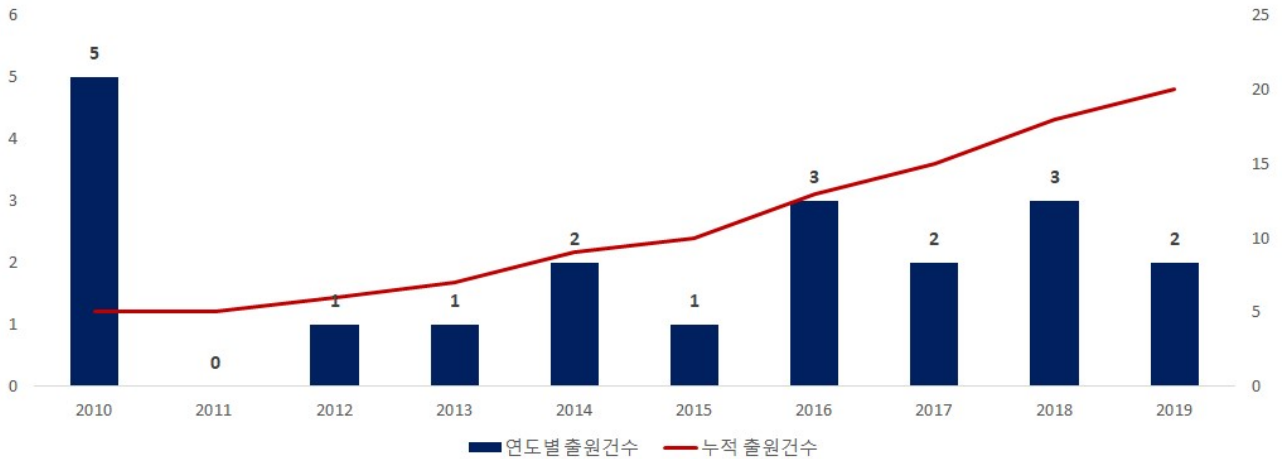
[그림 67] 미국 연도별 특허 출원건수

- 유럽의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 91건으로 조사되었으며, 전반적으로 연 10개 수준이었으나 '19년 3개로 크게 감소함



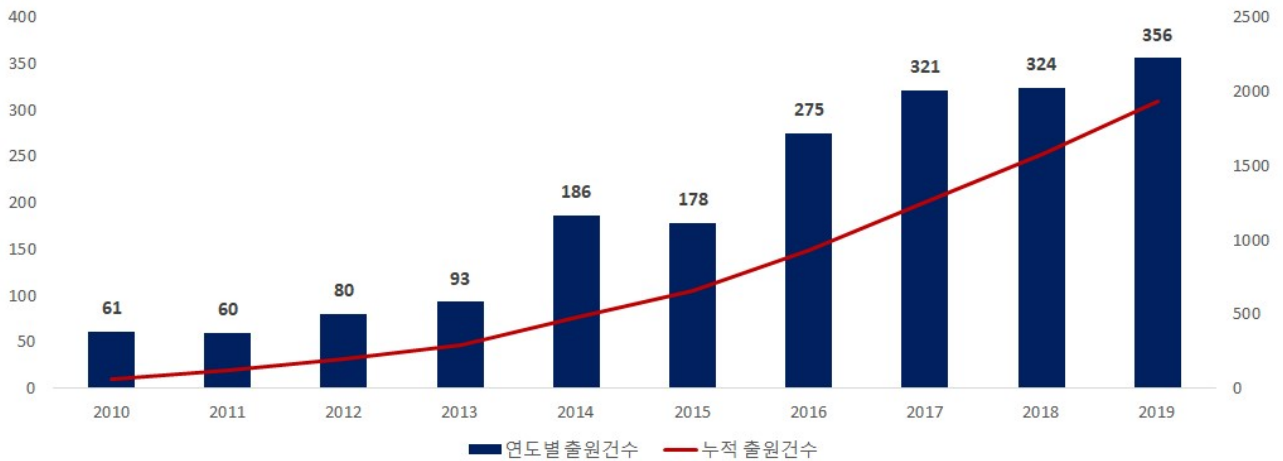
[그림 68] 유럽 연도별 특허 출원건수

- 일본의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 20건으로 조사되었으며, '10년 5건으로 가장 많은 특허를 출원하였다가 '11년 한 개도 출원하지 않은 이후 그 외 연도엔 매년 1~3개 정도의 특허를 출원 중임



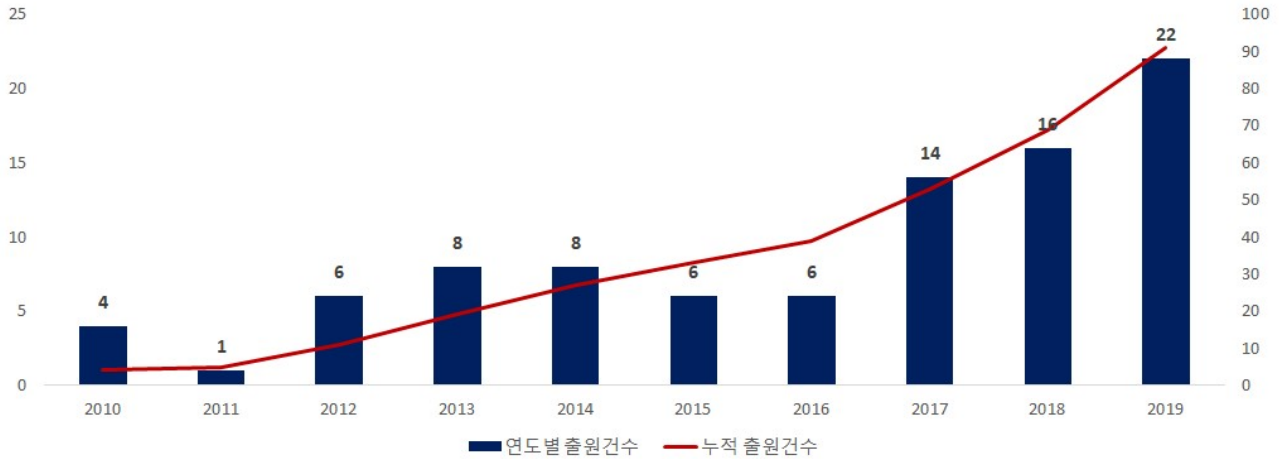
[그림 69] 일본 연도별 특허 출원건수

- 중국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 1,934건으로 조사되었으며, 전반적으로 증가 추세이고 국가들 중 가장 많은 특허를 출원하고 있음



[그림 70] 중국 연도별 특허 출원건수

- 한국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 91건으로 조사되었으며, 전반적으로 우상향 추세이며 '19년 출원건수가 22건으로 가장 많음



[그림 71] 한국 연도별 특허 출원건수

(나) 기술분야별 출원 비중

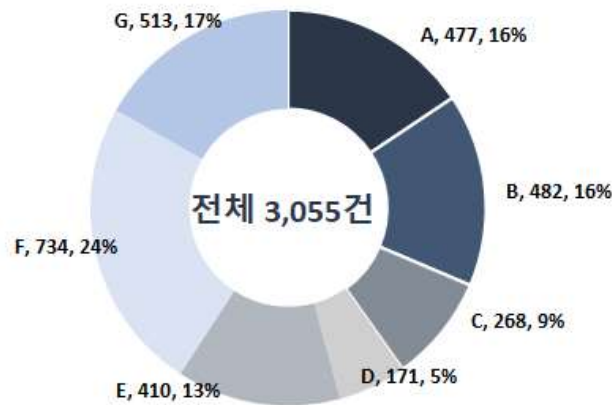
- 분석 대상 기간 동안 기술분야별 출원 비중 분석결과, 제방 손상 추정구간 정밀검측 용 고효율/고심도 융복합 기술의 출원 건수가 734건(24%)로 가장 많은 것으로 나타남

- 이어서 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술(513건, 17%), 스마트 운영을 위한 수위예측 기술(482건, 16%) 순으로 나타남

① 기술성장단계

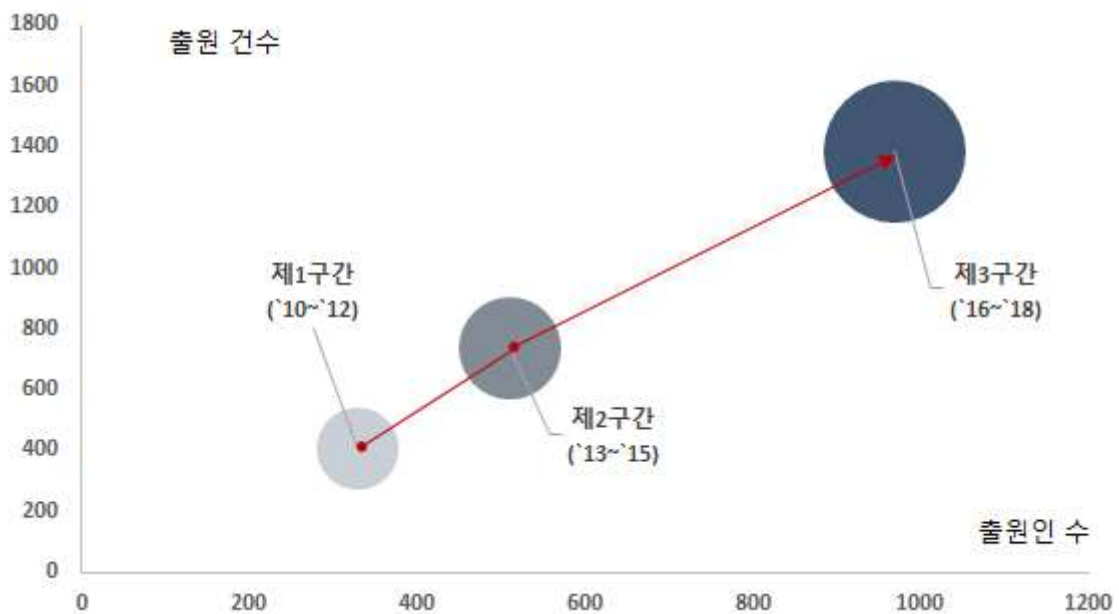
- 제방 관련 분야는 특허출원건수와 출원인수가 모두 증가하는 성장기 단계로 분석됨

- 전체 특허청 총괄 분석 결과, 제2구간('13~'15)과 제3구간('16~'18) 사이에서 출원인 및 출원건수가 급증한 것으로 나타남

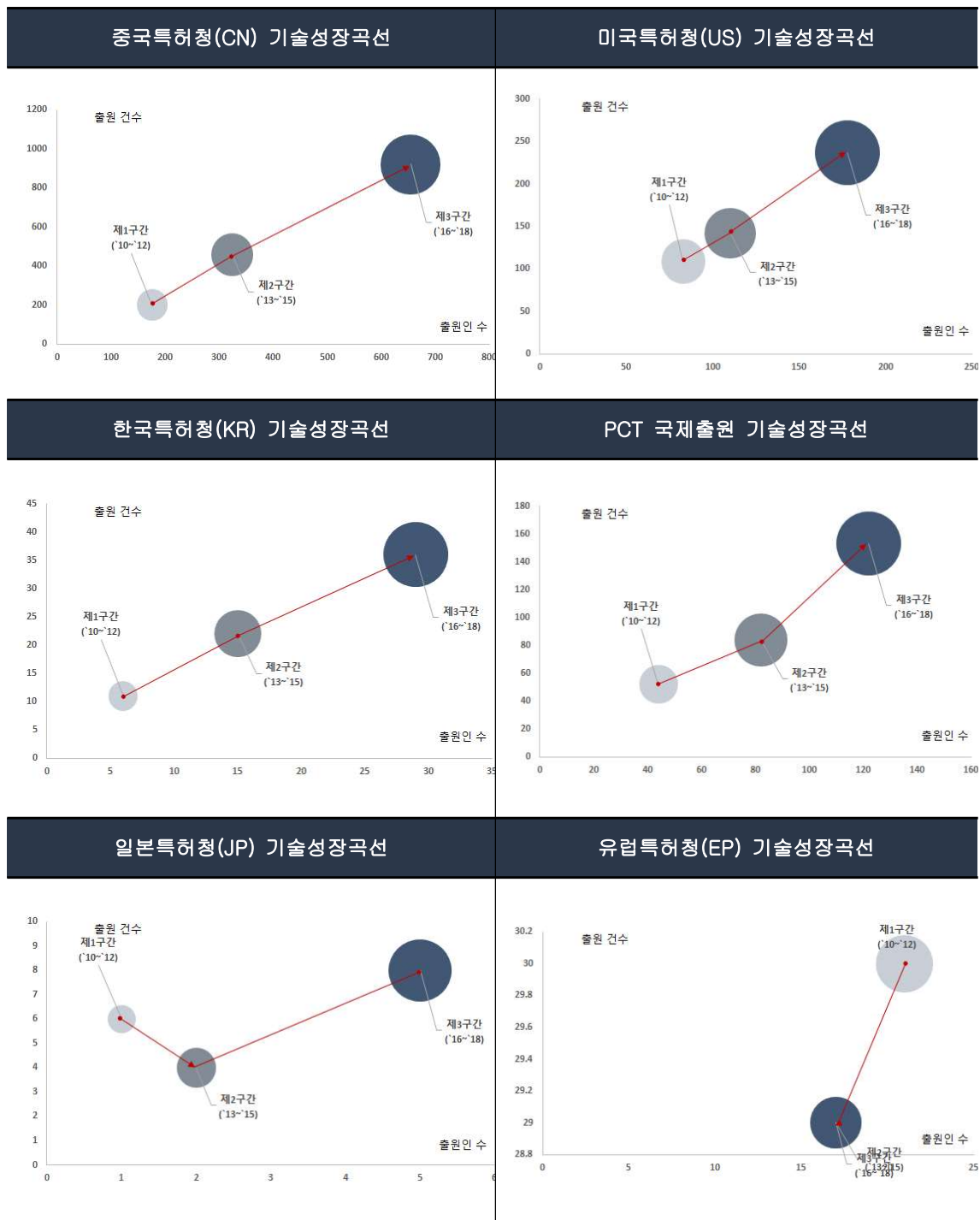


[그림 72] 제방 분야의 기술분야별 출원 건수('10~'19년)

- A. 홍수량 예측 기술
- B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술
- C. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술
- D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술
- E. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
- F. 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술
- G. 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술



[그림 73] 제방 관련 분야의 기술성장단계

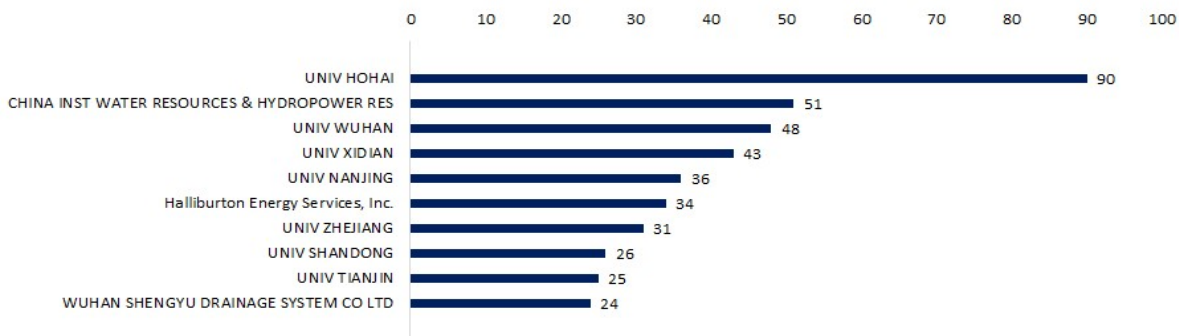


[그림 74] 제방 분야의 국가별 기술성장단계

(다) 상위출원인

□ 제방 관련 분야의 상위 10대 출원인 분석 결과, UNIV HOHAI(중국)가 가장 많은 90건을 출원함

○ 상위출원인은 해당 분야에 대한 특허 출원을 누가 많이 했는지 살펴보기 위한 지표로, 어떤 사람이나 연구기관이 관련 연구개발을 활발히 진행하고 있는지를 파악하는데 목적이 있음



[그림 75] 제방 분야 상위 10대 출원인

○ 상위 10위 중 중국 국적 출원인이 9개, 미국 출원인 국적 출원인이 1개 조사됨

<표 22> 제방 관리 분야의 상위 10대 출원인 대분류별 특허 출원건수 분석

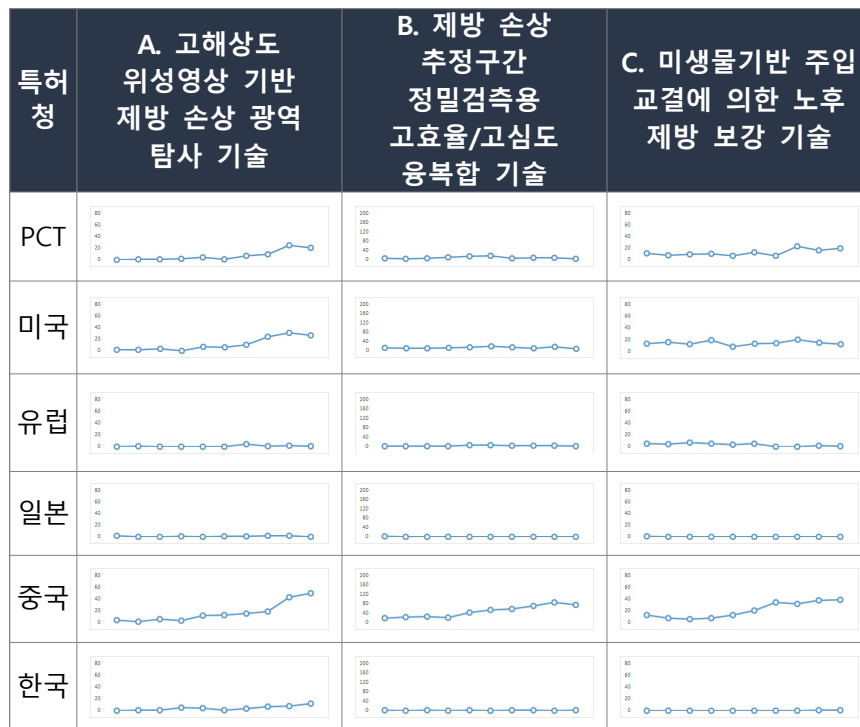
순위	출원인명	A	B	C	D	E	F	G	총합계	국적
1	UNIV HOHAI	11	26	20	9	3	16	5	90	중국
2	CHINA INST WATER RESOURCES & HYDROPOWER RES	17	23	4	-	3	4	-	51	중국
3	UNIV WUHAN	5	25	2	2	9	4	1	48	중국
4	UNIV XIDIAN	1				3	39		43	중국
5	UNIV NANJING	16	7	1	1	4	7	-	36	중국
6	Halliburton Energy Services, Inc.				1		14	19	34	미국
7	UNIV ZHEJIANG	6	6		1	3	8	7	31	중국
8	UNIV SHANDONG	1	6		2		16	1	26	중국
9	UNIV TIANJIN	6	1	8	1	1	5	3	25	중국
10	WUHAN SHENGYU DRAINAGE SYSTEM CO LTD			24					24	중국

- A. 홍수량 예측 기술
 B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술
 C. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술
 D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술
 E. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
 F. 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술
 G. 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술

(라) IP 부상도 분석

- 추세를 통한 국가별·기술분류별 출원동향을 살펴보면 중국의 경우 분석 대상 기간 동안 전반적으로 큰 움직임을 보인 반면, 타 국가의 경우 증감의 정도가 미미한 것으로 나타남

<표 23> 제방 관리 분야의 대분류-국가별 특허출원 추세



(마) 시장 경쟁수준 분석

- 시장진입 경쟁수준 분석을 위한 지수인 허쉬만 허핀달 지수(HHI)를 비교한 결과, 7개 중 미생물기반 주입교결에 의한 노후 제방 보강기술 분야를 제외한 6개 분야에서 시장 진입 가능성이 높은 수준으로 분석됨

- HHI 지수는 상위 4개사 점유율(CR3)의 거듭제곱으로 산출되며, 각 대분류의 상위 개사 점유율은 로 조사됨
- 7개 대분류의 HHI 지수는 0.02~0.29로 산출되었으며, 이는 독과점 여부의 기준이 되는 HHI=0.25에 대부분의 분류가 미치지 못하는 수치로 독과점 상태가 없어 비교적 시장 진입이 용이한 상태인 것으로 판단됨

<표 24> 시장진입 경쟁수준 분석

분야	상위 3개사 특허수	전체특허수	상위 3개사의 분야별 특허 점유율(CR3)	상위 3개사 점유율 (CR3) 백분위	HHI
A. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	21	59	36	0.36	0.13
B. 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술	86	224	38	0.38	0.15
C. 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	37	69	54	0.54	0.29

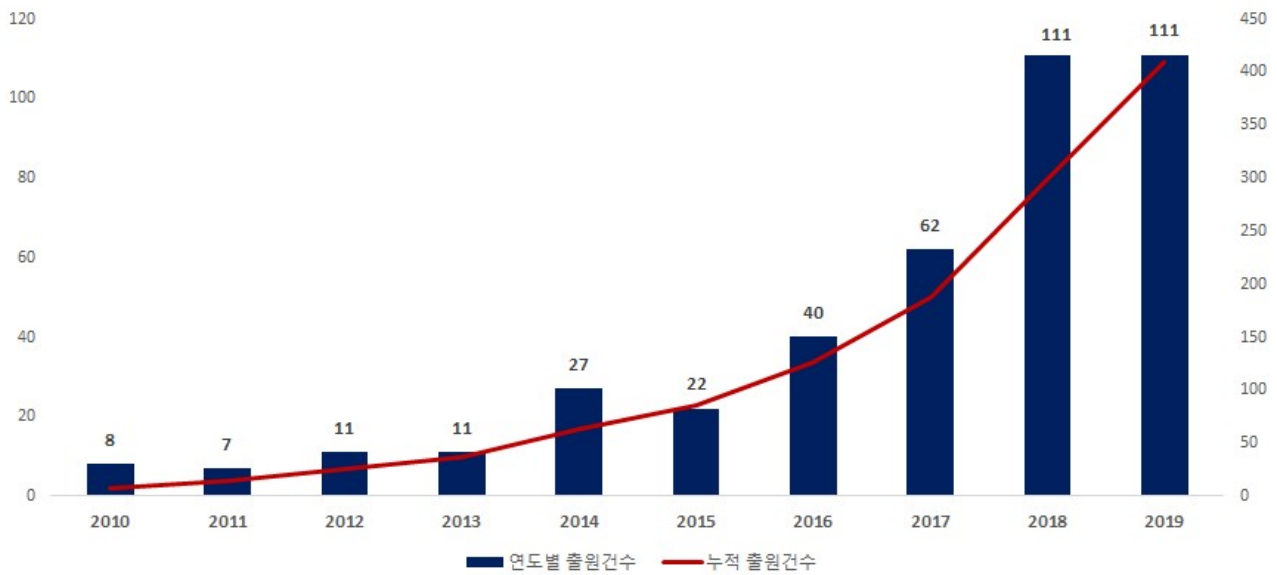
(2) 분야별 분석

(가) 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술

① 특허 출원 추이

□ 10년간 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술 관련 특허 건수는 전반적인 증가 추세를 보이는 것으로 분석됨

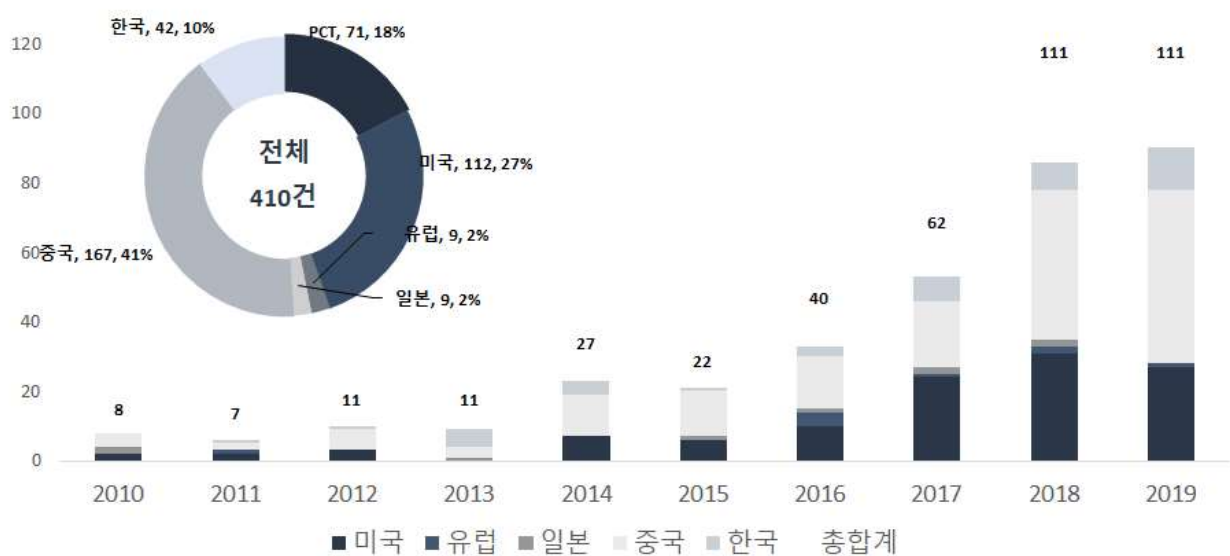
- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술 관련 특허는 분석 대상 기간 동안 총 410건이 출원됨
- 상승추세를 이어 오다 '18년 111개로 가장 많은 특허를 출원하였으며, '19년에도 그 숫자를 유지함



[그림 76] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 연간 특허 출원건수

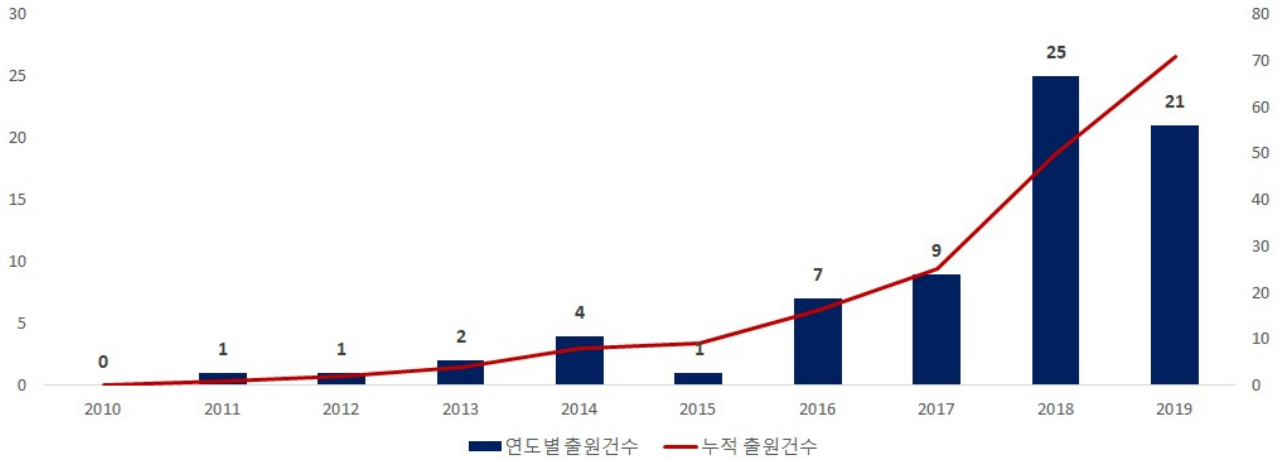
□ 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술 분야의 국가별 특허 출원건수 조사 결과, 중국(167건, 41%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남

- 중국 다음으로 미국(112건, 27%), PCT(71건, 18%) 순으로 분석됨
- 중국의 연간 특허 출원이 지속적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 한국의 경우 ‘10년을 제외하고 꾸준히 특허를 출원함



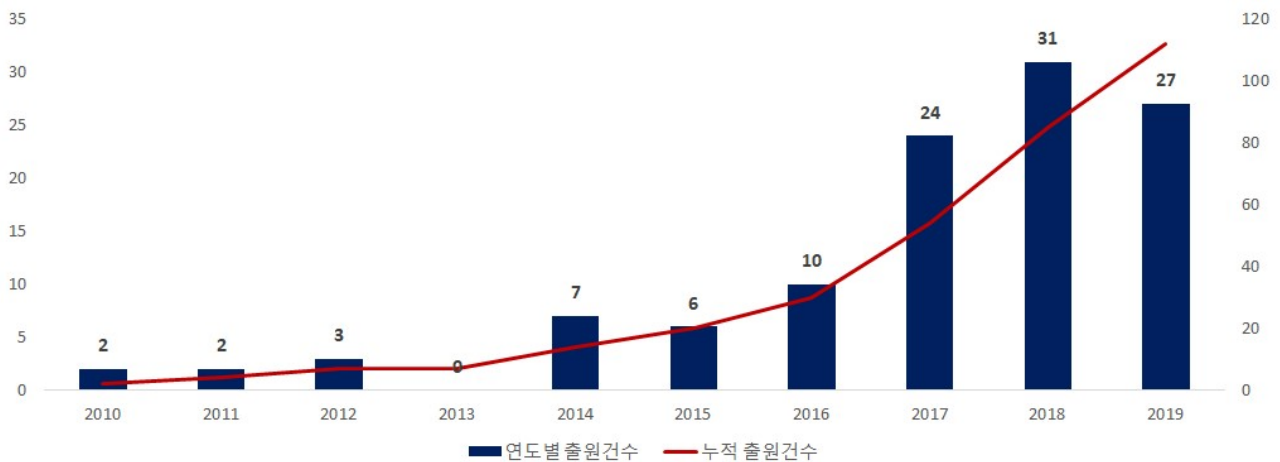
[그림 77] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 국가별 특허 출원건수

- PCT의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 71건으로 조사되었으며, '18년 25건으로 전년대비 2배 이상 급등하며 기간 내 최다 출원건수를 기록함



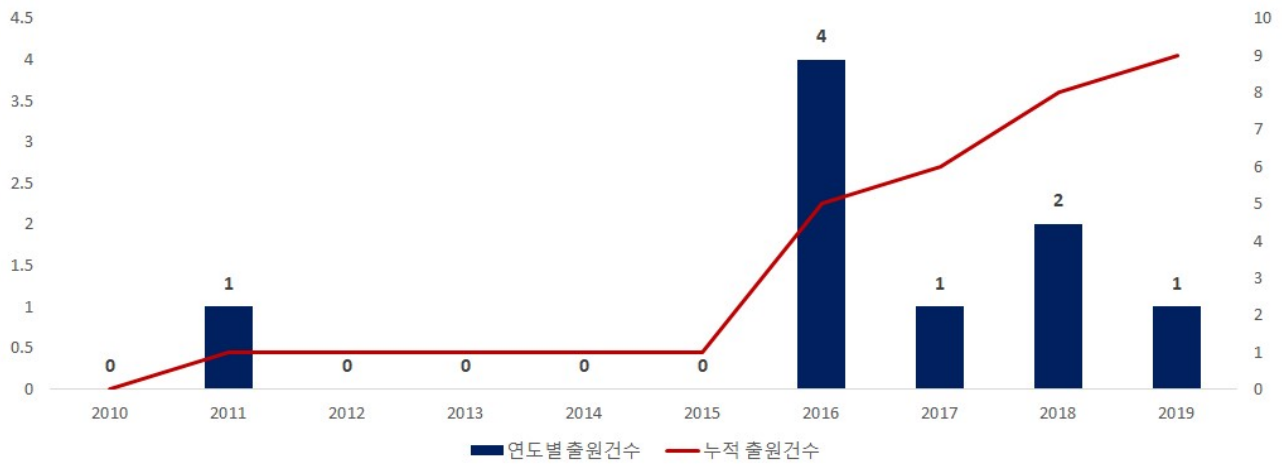
[그림 78] PCT 특허 출원건수

- 미국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 112건으로 조사되었고, 전반적으로 우상향하고 있으며 '18년 가장 많은 31건의 특허가 출원됨



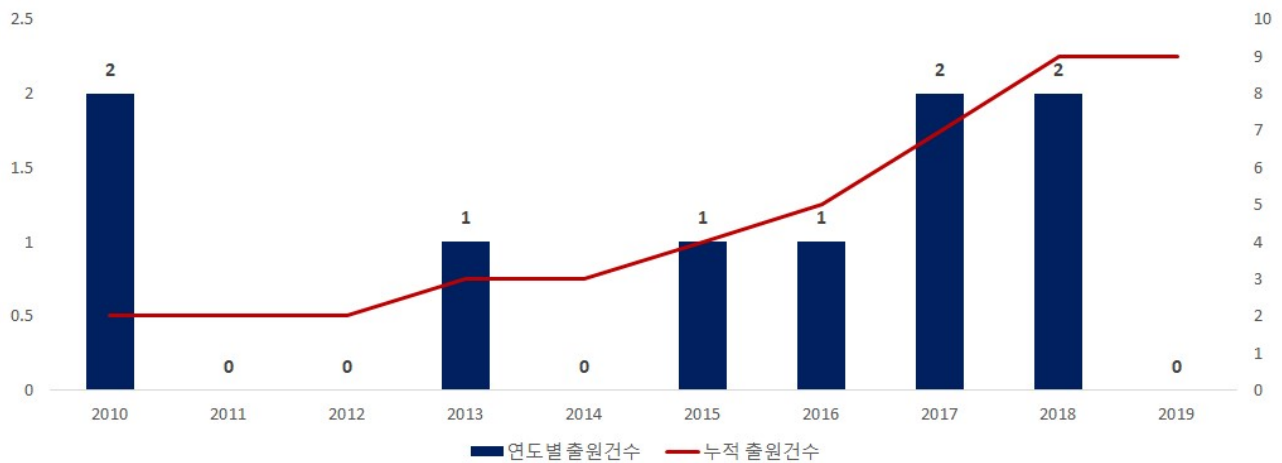
[그림 79] 미국 특허 출원건수

- 유럽의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 9건으로 조사되었으며, '16년 4건으로 가장 많은 특허가 출원됨



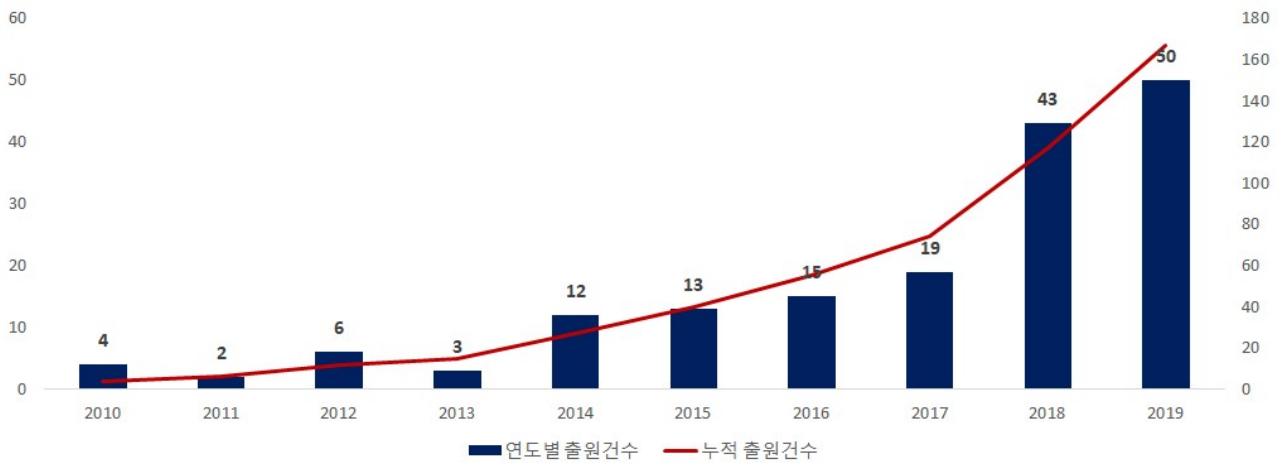
[그림 80] 유럽의 특허 출원건수

- 일본의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 9건으로 조사되었으며, 매년 0~2건의 특허를 출원하는 것으로 보임



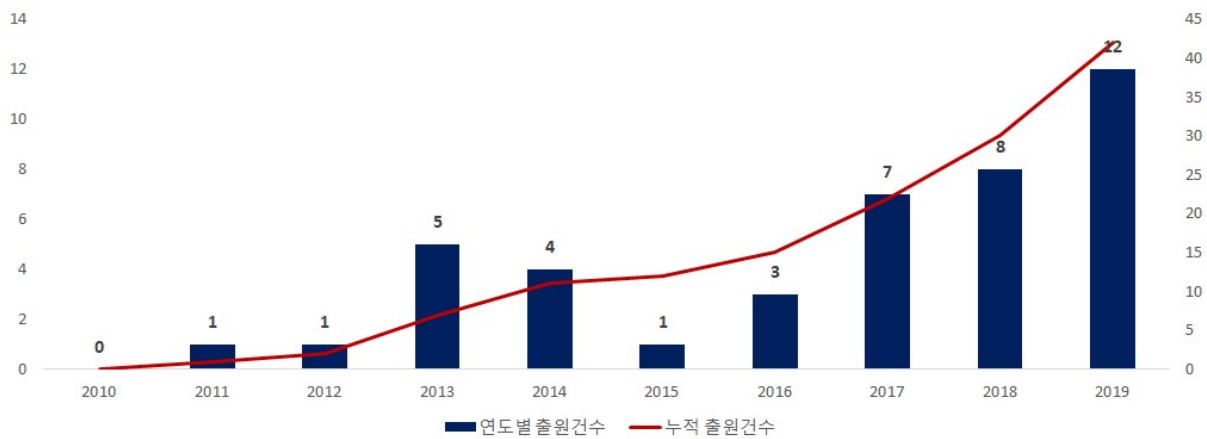
[그림 81] 일본 특허 출원건수

- 중국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 167건으로 조사되었으며, 전반적으로 우상향 하고 있는 것으로 보임



[그림 82] 중국 특허 출원건수

- 한국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 42건으로 조사되었으며, '19년 가장많은 12건의 특허가 출원됨

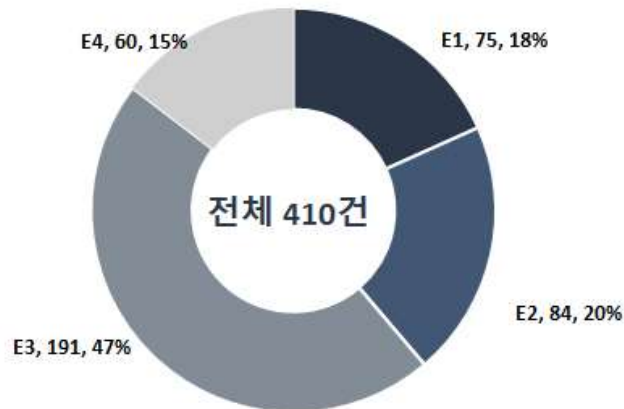


[그림 83] 한국 특허 출원건수

② 기술분야별 출원 비중

- 분석 대상 기간 동안 기술분야별 출원 비중 분석결과, E3의 출원 건수가 191건(47%)로 가장 많은 것으로 나타남

- 이어서 E2(84건, 24%), E1(75건, 21%), E4(60건, 15%) 순으로 나타남

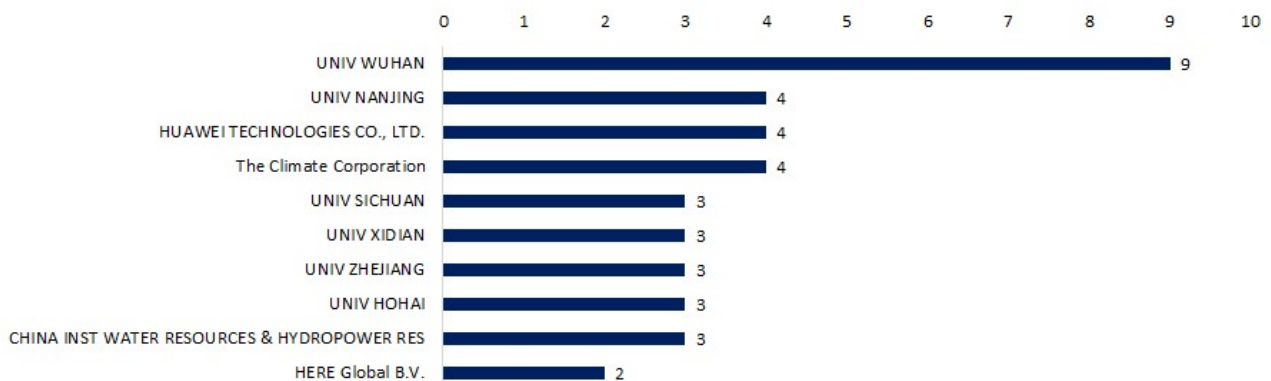


[그림 84] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사
기술분야 기술분야별 출원 비중

- E1:고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
E2:SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
E3:드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술
E4:영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술

③ 상위출원인

- ☐ 상위출원인은 해당 분야에 대한 특허 출원을 누가 많이 했는지 살펴보기 위한 지표로, 어떤 사람이나 연구기관이 관련 연구개발을 활발히 진행하고 있는지를 파악하는데 목적이 있음
- ☐ 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야의 상위 10대 출원인 분석 결과, UNIV WUHAN(중국)가 가장 많은 9건을 출원함



[그림 85] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 상위출원인

○ 상위 10위 중 중국 국적 출원인이 8개, 국적 출원인이 각각 2개씩 조사됨

<표 25> 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야의 상위 10대 출원인 특허 출원건수 분석

순위	출원인명	E1	E2	E3	E4	총합계	국적
1	UNIV WUHAN	6	3			9	중국
2	UNIV NANJING	3	1			4	중국
3	HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.			4		4	중국
4	The Climate Corporation		4			4	미국
5	UNIV SICHUAN	1	1	1		3	중국
6	UNIV XIDIAN	1	2			3	중국
7	UNIV ZHEJIANG	1	1		1	3	중국
8	UNIV HOHAI		1	1	1	3	중국
9	CHINA INST WATER RESOURCES & HYDROPOWER RES		1		2	3	중국
10	HERE Global B.V.			2		2	미국

E1:고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술

E2:SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술

E3:드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술

E4:영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술

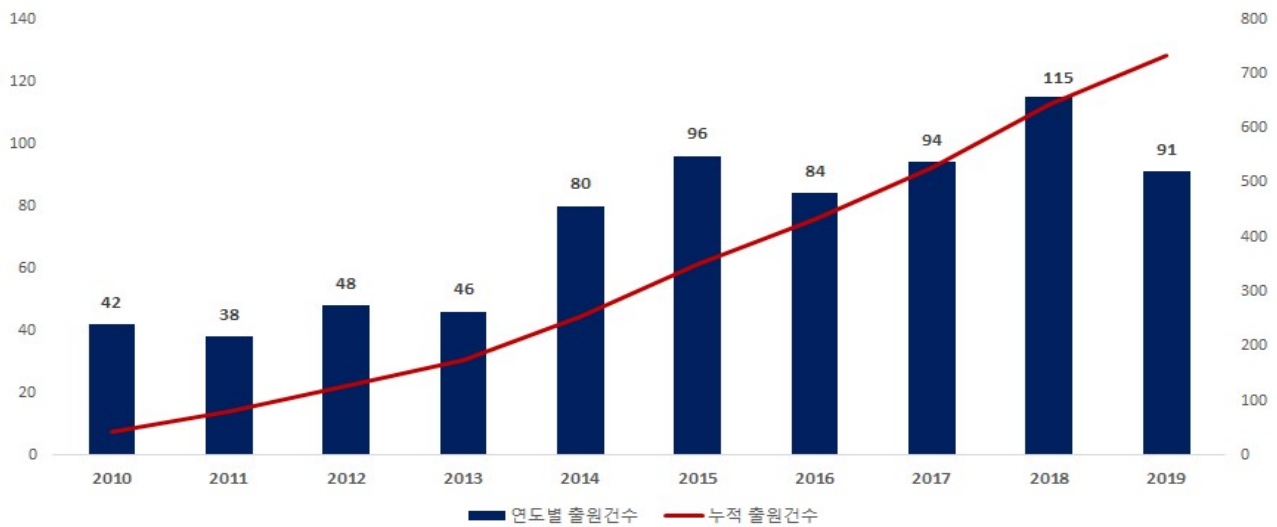
(나) 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술

① 특허 출원 추이

□ 10년간 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 관련 특허 건수는 전반적인 증가 추세를 보이는 것으로 분석됨

○ 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 관련 특허는 분석 대상 기간 동안 총 734건이 출원됨

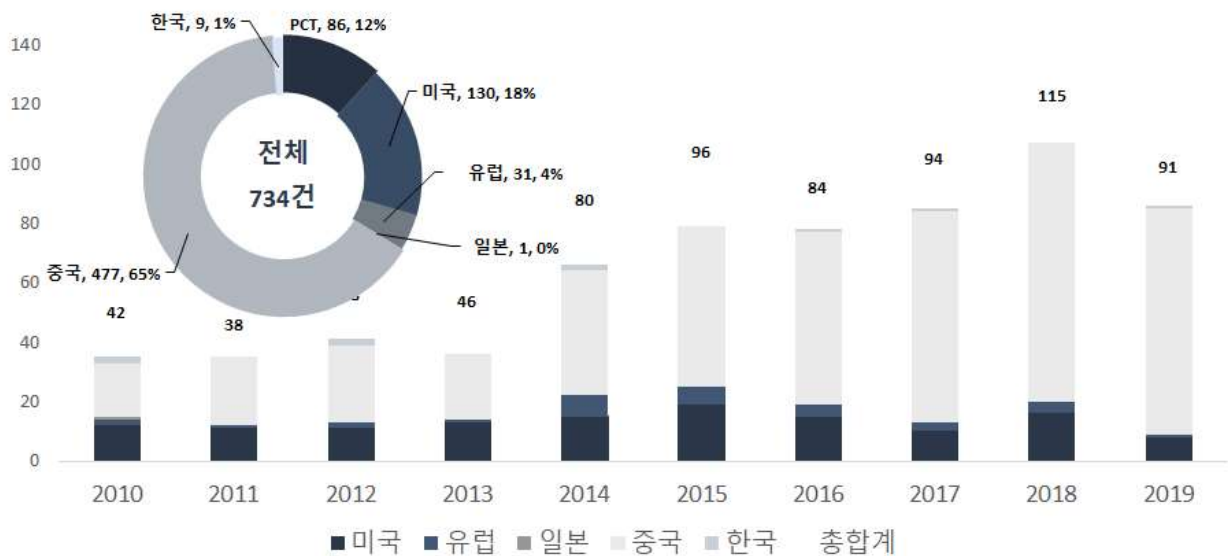
○ '18년 조사 기간 중 최대 건수인 115건을 기록하고 최근 소폭 하락함



[그림 86] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 연간 특허 출원건수

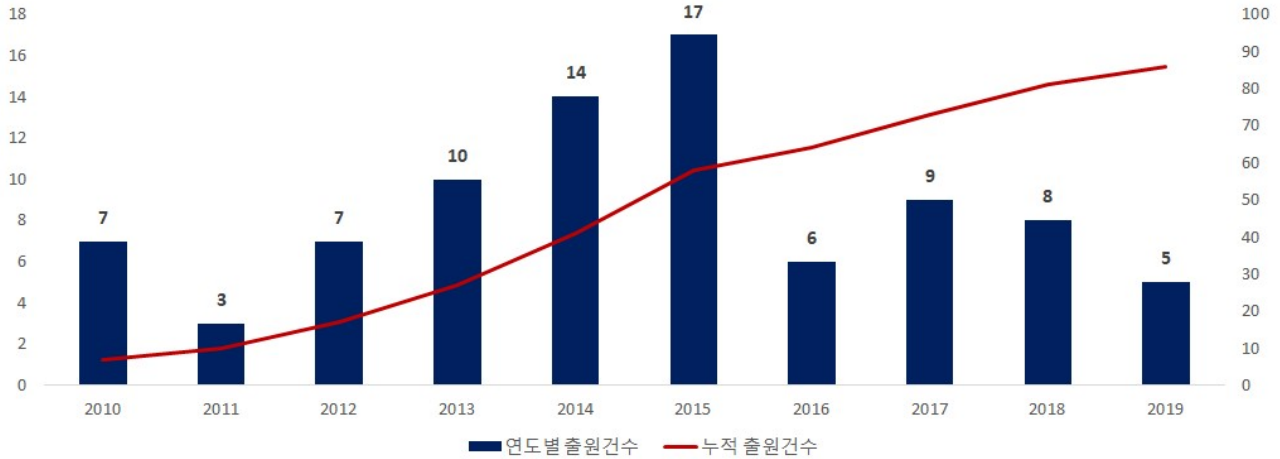
□ 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 분야의 국가별 특허 출원건수 조사 결과, 중국(477건, 65%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남

- 중국 다음으로 미국(130건, 18%), PCT(86건, 12%) 순으로 분석됨
- 중국의 연간 특허 출원이 지속적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 한국의 경우 연간 1~2건의 특허를 출원함



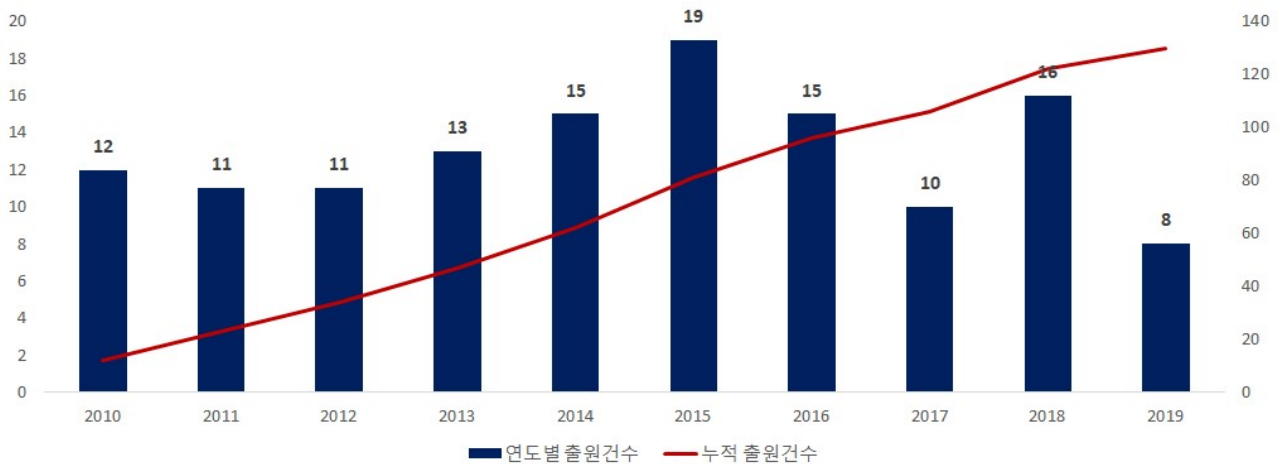
[그림 87] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 국가별 특허 출원건수

- PCT의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 86건으로 조사되었으며, '15년까지 상승 추세를 이어가다 최근 한 풀 꺾인 양상을 보임



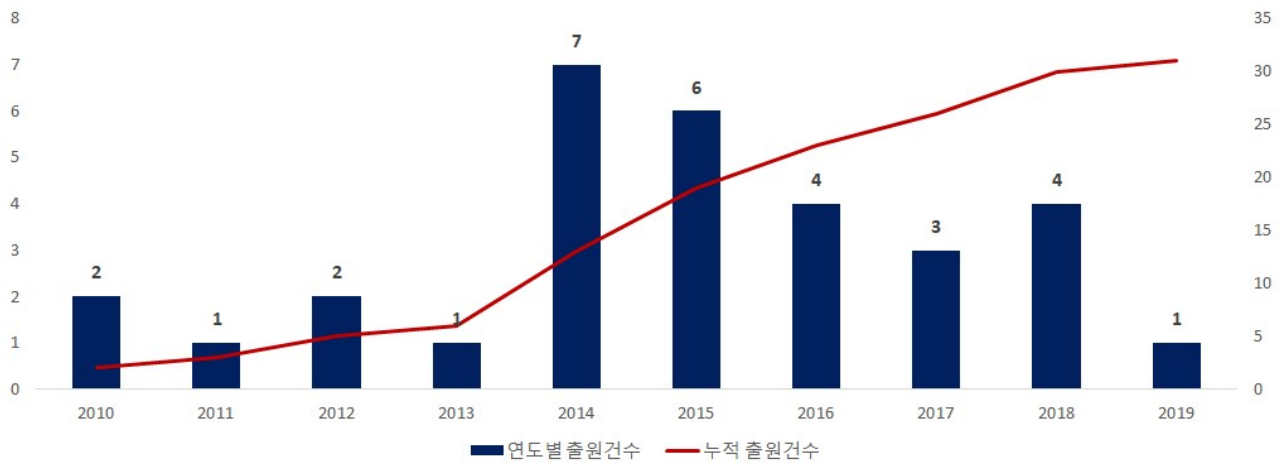
[그림 88] PCT 특허 출원건수

- 미국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 130건으로 조사되었으며, '15년 가장 많은 19건의 특허를 출원함



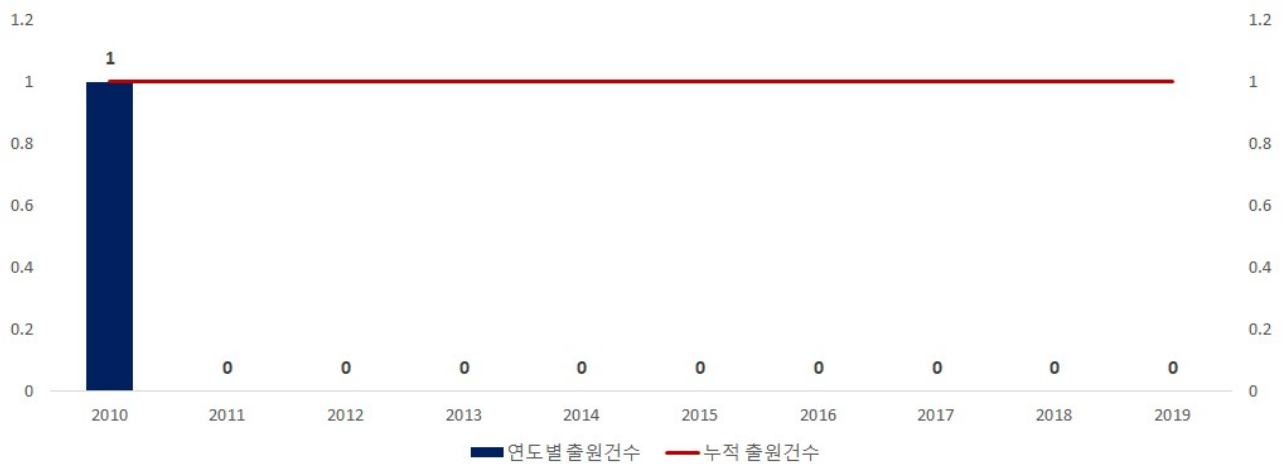
[그림 89] 미국 특허 출원건수

- 유럽의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 7건으로 조사되었으며, '14년 7건으로 크게 증가하였으나 그 이후 점차적으로 하락추세를 보임



[그림 90] 유럽 특허 출원건수

- 일본의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 1건으로 조사되었으며, ‘10년에 출원된 이후 출원되지 않음



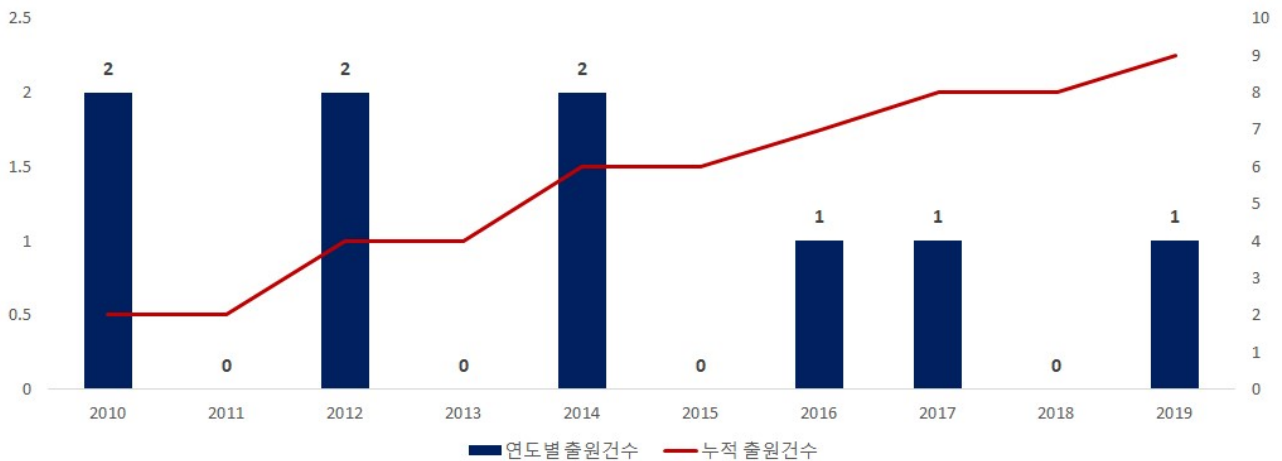
[그림 91] 일본 특허 출원건수

- 중국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 477건으로 조사되었으며, 전반적으로 우상향의 형태를 띠지만 ‘19년에 전년대비 소폭 감소함



[그림 92] 중국 특허 출원건수

- 한국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 9건으로 조사되었으며, 매년 0~2건의 특허를 출원함

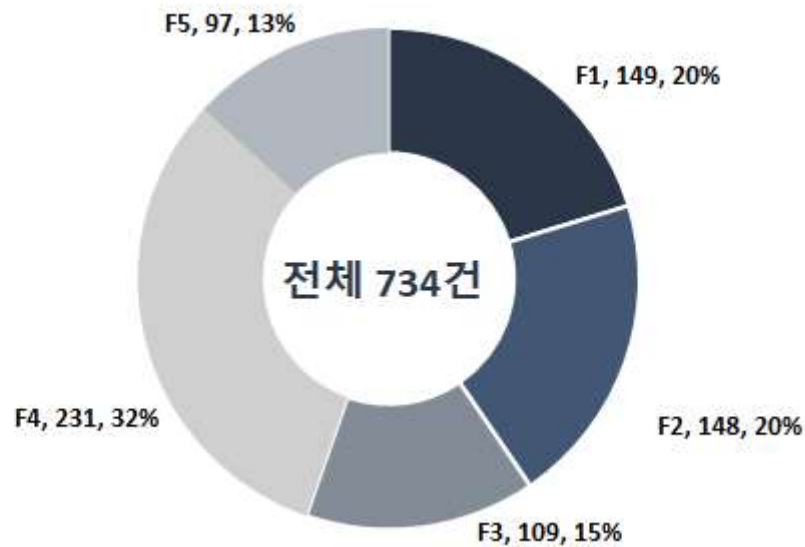


[그림 93] 한국 특허 출원건수

② 기술분야별 출원 비중

- 분석 대상 기간 동안 기술분야별 출원 비중 분석결과, F4의 출원 건수가 231건(32%)로 가장 많은 것으로 나타남

- 이어서 F1(149건, 20%), F2(148건, 20%), F3(109건, 15%), F5(97건, 13%) 순으로 나타남

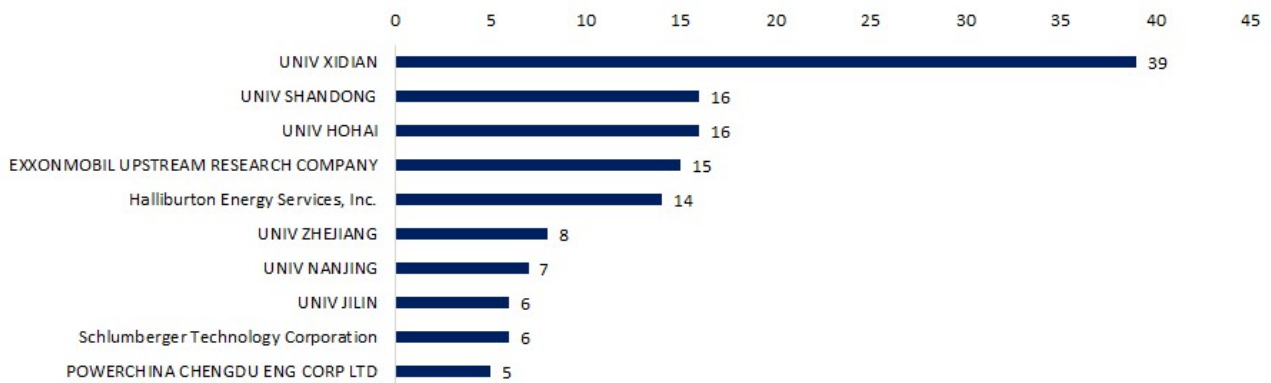


[그림 94] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야
기술분야별 출원 비중

- F1:직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
 F2:제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발
 F3:제방 안정성 통합 분석 시스템
 F4:제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발
 F5:제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발

(다) 상위출원인

- ☐ 상위출원인은 해당 분야에 대한 특허 출원을 누가 많이 했는지 살펴보기 위한 지표로, 어떤 사람이나 연구기관이 관련 연구개발을 활발히 진행하고 있는지를 파악하는데 목적이 있음
- ☐ 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야의 상위 10대 출원인 분석 결과, UNIV XIDIAN(중국)가 가장 많은 39건을 출원함



[그림 95] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 상위출원인

○ 상위 10위 중 중국 국적 출원인이 7개, 미국 국적 출원인이 2개, 독일 국적 출원인이 1개 조사됨

<표 26> 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 분야의 상위 10대 출원인 특허 출원건수 분석

순위	출원인명	F1	F2	F3	F4	F5	총합계	국적
1	UNIV XIDIAN				39		39	중국
2	UNIV SHANDONG	13		2	1		16	중국
3	UNIV HOHAI			10	2	4	16	중국
4	EXXONMOBIL UPSTREAM RESEARCH COMPANY	1	9		5		15	미국
5	Halliburton Energy Services, Inc.	2			12		14	미국
6	UNIV ZHEJIANG	3		3	1	1	8	중국
7	UNIV NANJING		6		1		7	중국
8	UNIV JILIN	4	1		1		6	중국
9	Schlumberger Technology Corporation				6		6	독일
10	POWERCHINA CHENGDU ENG CORP LTD			5			5	중국

F1:직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술

F2:제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발

F3:제방 안정성 통합 분석 시스템

F4:제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발

F5:제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발

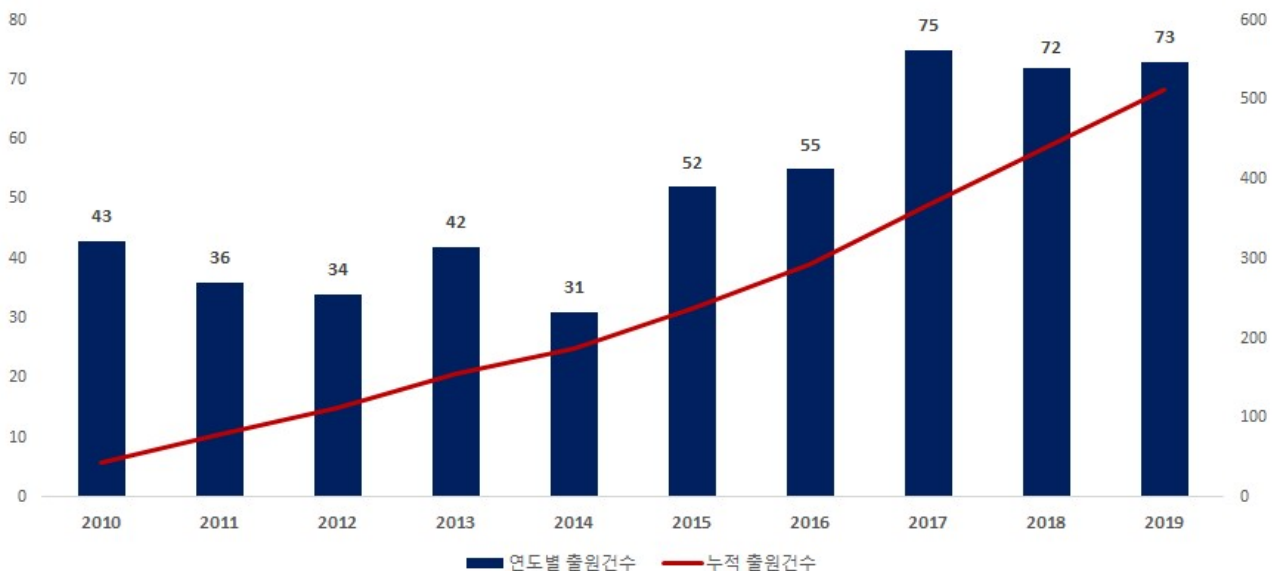
(라) 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술

① 특허 출원 추이

□ 10년간 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 관련 특허 건수는 전반적인 증가 추세를 보이는 것으로 분석됨

○ 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 관련 특허는 분석 대상 기간 동안 총 513건이 출원됨

○ 30~50건에서 횡보 중 최근 3년간 70건 대로 진입하여 성장세를 보임

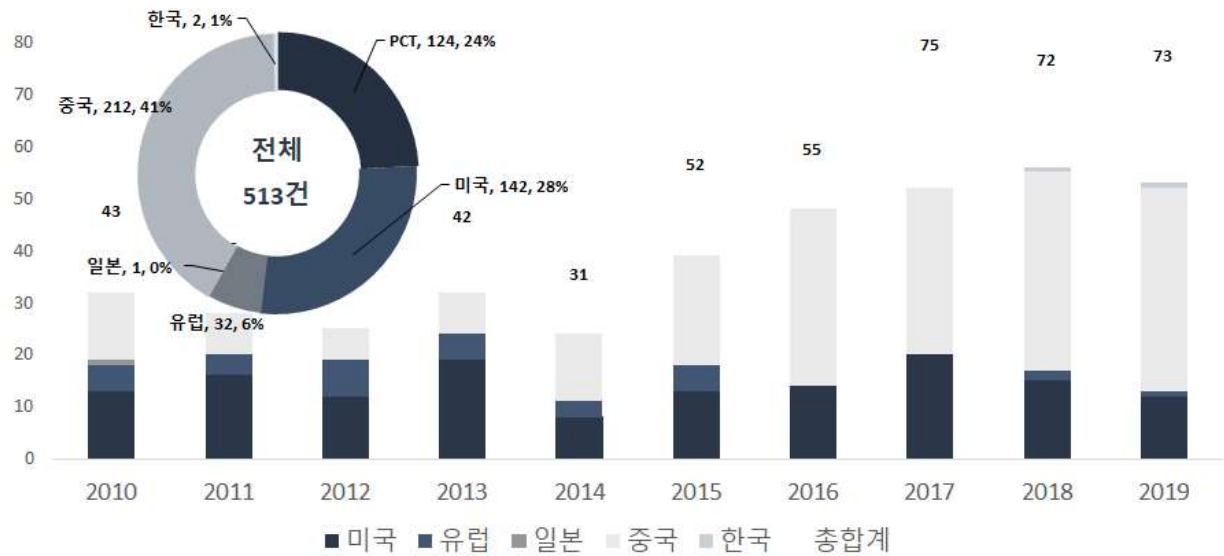


[그림 96] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 연간 특허 출원건수

□ 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 분야의 국가별 특허 출원건수 조사 결과, 중국(212건, 41%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남

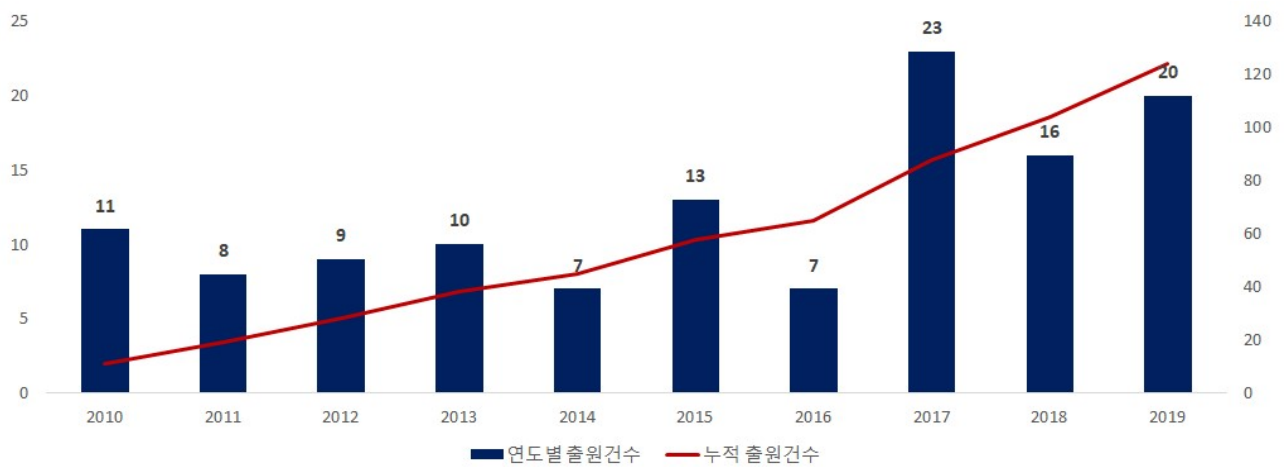
○ 중국 다음으로 미국(142건, 28%), PCT(124건, 24%) 순으로 분석됨

○ 중국의 연간 특허 출원이 지속적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 한국의 경우 '18년과 '19년에 1건씩 출원한 것이 전부임



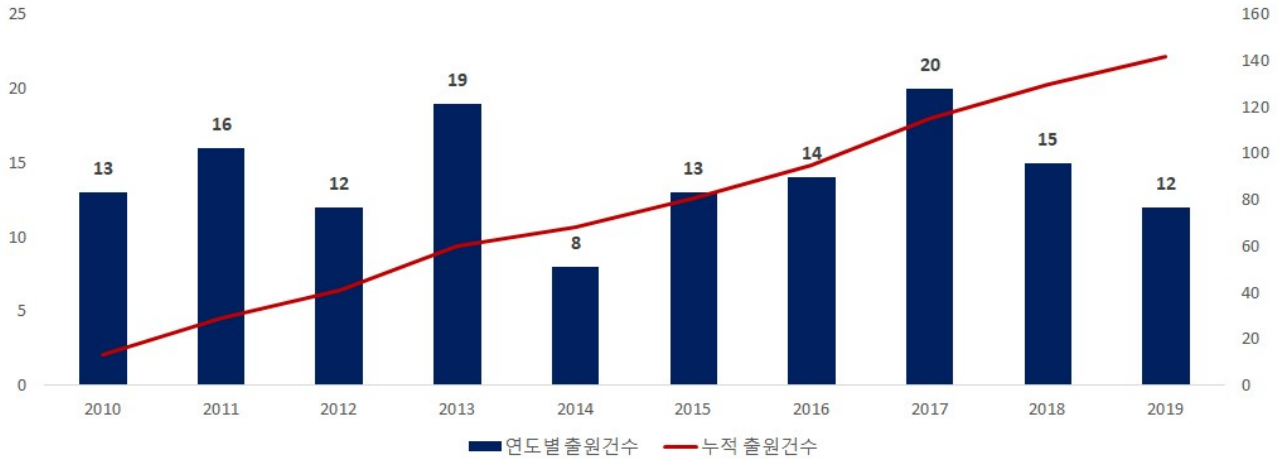
[그림 97] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 국가별 특허 출원건수

○ PCT의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 124건으로 조사되었으며, '17년 23건으로 최다건수를 기록한 이후 하락하였지만 '19년 반등 추세를 보임



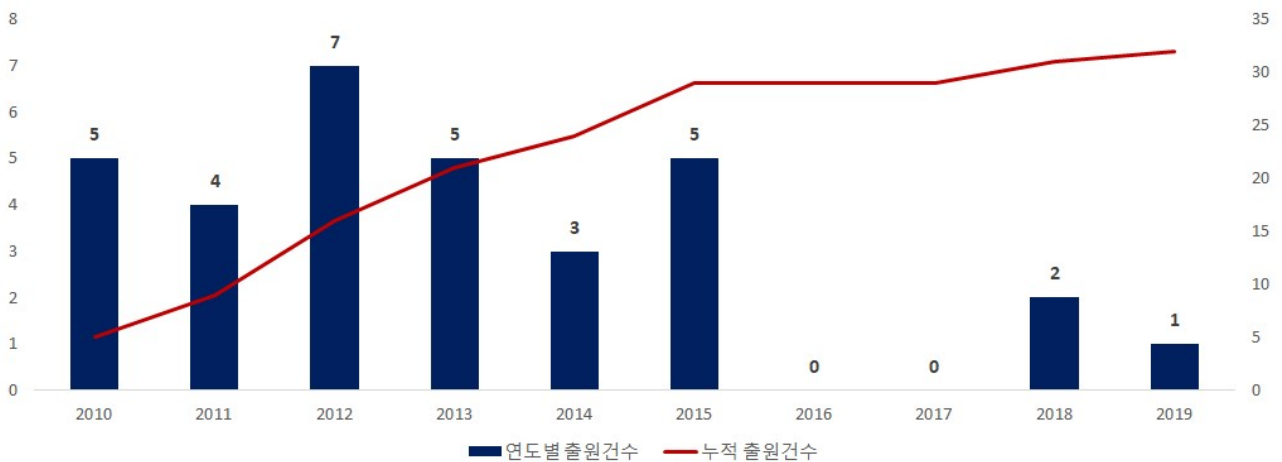
[그림 98] PCT 특허 출원건수

- 미국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 142건으로 조사되었으며, 10년간 전반적으로 10~20건대의 출원건수를 유지함



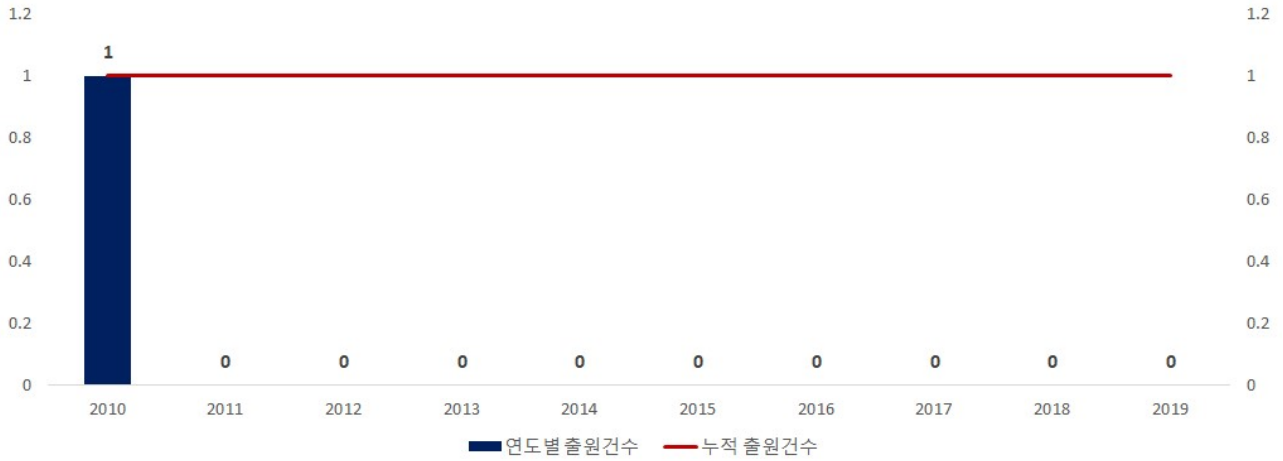
[그림 99] 미국 특허 출원건수

- 유럽의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 32건으로 조사되었으며, '16년과 '17년 한 건도 출원하지 못한 이후 회복하지 못하고 있는 것으로 보임



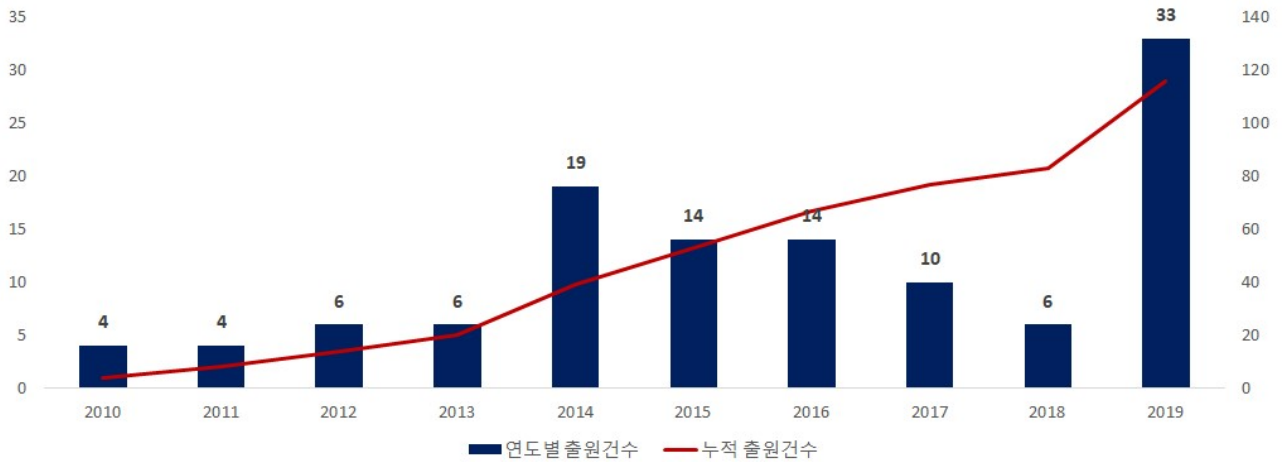
[그림 100] 유럽의 특허 출원건수

- 일본의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 1건으로 조사되었으며, '10년 이후 출원건수가 존재하지 않음



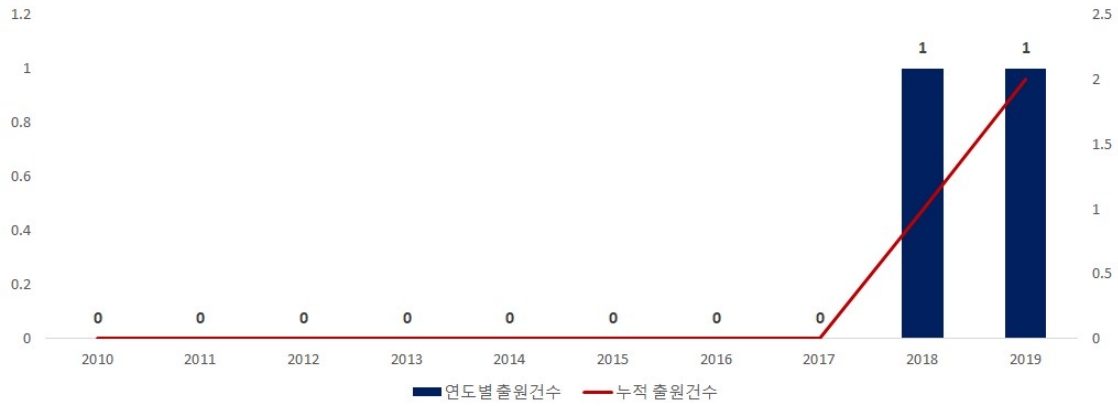
[그림 101] 일본 특허 출원건수

- 중국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 212건으로 조사되었으며, '19년 가장 많은 출원건수인 33건이 출원됨



[그림 102] 중국 특허 출원건수

- 한국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 2건으로 조사되었으며, '18년과 '19년에 각각 한 건씩 출원됨

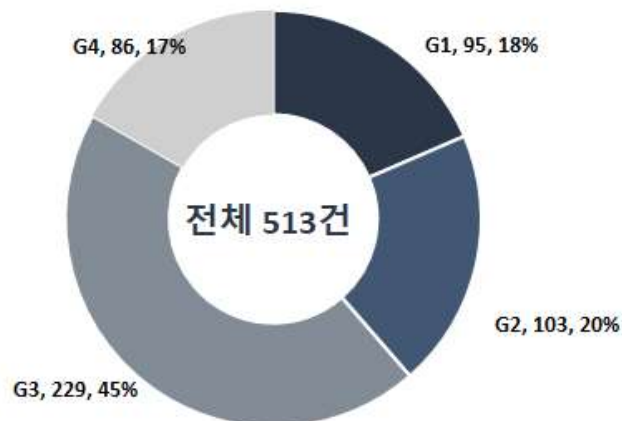


[그림 103] 한국 특허 출원건수

② 기술분야별 출원 비중

- 분석 대상 기간 동안 기술분야별 출원 비중 분석결과, G3의 출원 건수가 229건 (45%)로 가장 많은 것으로 나타남

- 이어서 G2(103건, 20%), G1(95건, 18%) 순으로 나타남



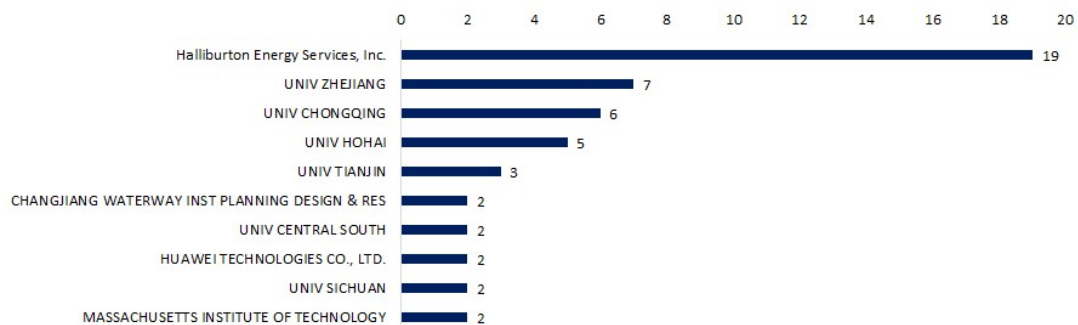
[그림 104] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방

보강 기술분야 기술분야별 출원 비중

- G1:미생물 기반(탄산칼슘 교결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천 기술(재료) 개발
- G2:미생물 교결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발
- G3:미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발
- G4:실규모 성능검증 및 실용화 기술 완성

③ 상위출원인

- 상위출원인은 해당 분야에 대한 특허 출원을 누가 많이 했는지 살펴보기 위한 지표로, 어떤 사람이나 연구기관이 관련 연구개발을 활발히 진행하고 있는지를 파악하는데 목적이 있음
- 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야의 상위 10대 출원인 분석 결과, Halliburton Energy Services, Inc.(미국)가 가장 많은 19건을 출원함



[그림 105] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 상위출원인

- 상위 10위 중 중국 국적 출원인이 8개, 미국 국적 출원인이 각각 2개씩 조사됨

<표 27> 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야의 상위 10대 출원인 특허 출원건수 분석

순위	출원인명	G1	G2	G3	G4	총합계	국적
1	Halliburton Energy Services, Inc.	3	12	4		19	미국
2	UNIV ZHEJIANG	6			1	7	중국
3	UNIV CHONGQING	4			2	6	중국
4	UNIV HOHAI	4			1	5	중국
5	UNIV TIANJIN	3				3	중국
6	CHANGJIANG WATERWAY INST PLANNING DESIGN & RES				2	2	중국
7	UNIV CENTRAL SOUTH	2				2	중국
8	HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.	2				2	중국
9	UNIV SICHUAN				2	2	중국
10	MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY			2		2	미국

G1:미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천 기술(재료) 개발

G2:미생물 고결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발

G3:미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발

G4:실규모 성능검증 및 실용화 기술 완성

2. 논문분석

가. 분석 개요

□ 목적

- 제방 관리 분야 기술개발추이, 최근 연구개발 동향 분석 등을 위해 논문게재 동향을 분석하여 동 사업의 추진방향 도출 시 활용을 목적으로 함

□ 분석대상

- 사용 DB는 Thomson DB 논문검색시스템을 이용하여 중분류별 논문정보를 수집하고, 유효논문을 대상으로 논문 게재 추이, 분야별 게재 비중 등의 2개 항목을 분석함

<표 28> 통합물관리 기술 논문분석 개요

분석대상	내용
기술	제방 관리 기술 3개 대분류 · 13개 중분류 기술
DATA	Thomson DB(Web of Science) 등재 논문
적용기간	발간일 기준 2010.1.1.~2019.12.31.
분석항목	논문 게재 추이, 분야별 게재비중
활용 DB	Thomson DB (www.thomsoninnovation.com)

□ 논문 검색은 전문가의 의견을 바탕으로 한 기술분야의 핵심 키워드를 기반으로 하여 영문 검색식을 작성하여 검색하였음

- 3개의 대분류는 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술, 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술, 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술로 구성됨

<표 29> 대분류-중분류별 검색식

중점추진분야(대분류)	세부연구분야(중분류)	검색식
A. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	A1. 고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	all=((("multi-spectral" and "satellite image") or ("levee" and ("Land cover classification" or "Persistent damage detection")));tf<=2010 AND>=2019
	A2. SAR	all=((("SAR satellite image") OR ("Water resource detection") OR

중점추진분야(대분류)	세부연구분야(중분류)	검색식
	위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	("Soil Mapping"));tf<=2010 AND>=2019;
	A3. 드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술	all=((("Drone" and ("hyperspectral image" or "LiDAR")) OR ("Microcrack" and "detection" and "levee") OR ("Levee" and "elevation" and "measurement")));tf<=2010 AND>=2019;
	A4. 영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술	all=("levee" and ("hyperspectral image" OR "crack" OR "leak" OR "detection" OR "CCTV"));tf<=2010 AND>=2019;
B. 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고 심도 융복합 기술	B1. 직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심 도 제방 탐사 기술	all=((("Electrical resistivity survey") OR "Precision exploration" OR ("In-situ device" and "measurement system") OR ("Embankment damage") OR "Back analysis algorithm"));tf<=2010 AND>=2019
	B2. 제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장 비 개발	all=((("water" OR "LEVEE" OR "embankment") and ("Precise investigation" OR "In-situ device and measurement system" OR "Penetration-type smart sensing" OR "Imaging technique" OR "Converging sensors module"));tf<=2010 AND>=2019;
	B3. 제방 안정성 통합 분석 시스템	all=((("estimation" AND "embankment") OR ("Stability analysis" and "embankment")) OR ((("Seepage" or "Erosion") and ("piping modelling")) OR ("engineering performance" and "biopolymer"));tf<=2010 AND>=2019;
	B4. 제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발	all=("3D survey" OR ((("embankment" or "dam" or "levee") AND ("geophysical" AND "monitoring"))) OR "4D inversion" OR "time lapse inversion");tf<=2010 AND>=2019;
	B5. 제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발	all=((("embankment" or "dam" or "levee") AND ("remote control" OR ("resistivity" AND "monitoring") OR "geophysical method" OR "resistivity method"));tf<=2010 AND>=2019;
C. 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강	C1. 미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폐리머, 융합) 지반주입 핵심원천	all=((("Microbial induced calcite precipitation" or "MICP") or ("Biopolymer-based soil treatment" or "BPST"));tf<=2010 AND>=2019;

중점추진분야(대분류)	세부연구분야(중분류)	검색식
기술 (친환경 미생물 기반 생물학적 노후 제방 보강 기술)	기술(재료) 개발	
	C2. 미생물 고결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발	all=("Microbial induced" and ("strength" OR "permeability" OR "hydraulic conductivity reduction" OR "durability" OR "economic feasibility" OR "non-destructive monitoring" OR "physical survey"));tf<=2010 AND>=2019;
	C3. 미생물/바이오 폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발	all=((("Microbial induced" or ("Biopolymer-based"))) and ("injection" OR "mixing" OR "grouting" OR "core" OR "ground improvement" OR "construction method" OR "key parameters"));tf<=2010 AND>=2019;
	C4. 실규모 성능검증 및 실용화 기술 완성	all=((("embankment" or "dam" or "levee" OR "Microbial" or "Biopolymer") AND ("large-scale model" OR "internal erosion" OR "site application"));tf<=2010 AND>=2019;

나. 분석 결과

(1) 총괄 분석

(가) 논문 게재 추이

☐ 제방 관리 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 전반적으로 증가 추세를 보이고 있음

○ 전반적으로 증가 추세를 보이고 있으며, '11년 이후 지속적 우상향 그래프를 그리고 있음

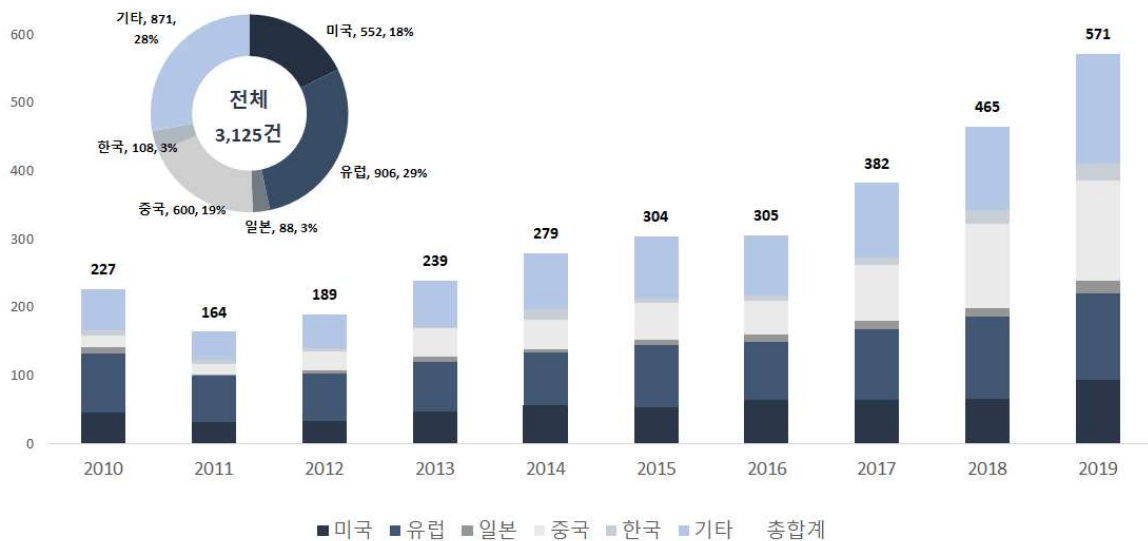


[그림 106] 연도별 논문 게재건수

(나) 국가별 현황

□ 국가별 제방 관리 관련 논문 게재 건수는 유럽, 중국, 미국, 한국, 일본 순으로 나타남

- 유럽이 906건(29%)로 가장 많은 논문을 게재하였으며 다음으로 중국이 600건(19%)을 게재함
- 한국의 총 논문 게재 건수는 분석 대상 기간 동안 108건으로 조사되었으며, '19년에 조사기간 중 가장 많은 25건의 논문을 게재함

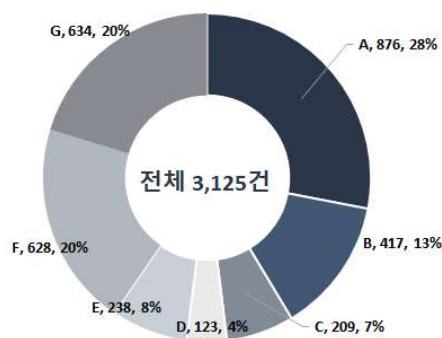


[그림 107] 국가별 논문 게재건수

(다) 기술 분야별 현황

□ 제방 관리 분야의 최근 10년간 대분류 기술분야별 게재 비중 분석 결과, ‘A’ 분야에서 가장 많은 572건(50%)의 논문이 게재되고 있음

○ ‘B’ 분야의 경우 336건(30%)의 논문이 게재되었으며, ‘D’ 분야에서는 가장 적은 88건의 논문이 게재됨



[그림 108] 기술분야별 논문 게재 건수

- A. 홍수량 예측 기술
- B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술
- C. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술
- D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술
- E. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
- F. 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술
- G. 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술

(2) 분야별 논문분석

(가) 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술

① 논문 게재 추이

□ 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 '10년 최고치(43건)를 기록한 이후 급감하였다가 점차적으로 회복

○ '18년 41건, '19년 42건을 게재하며 '10년의 최고치에 근접한 게재 건수를 기록함



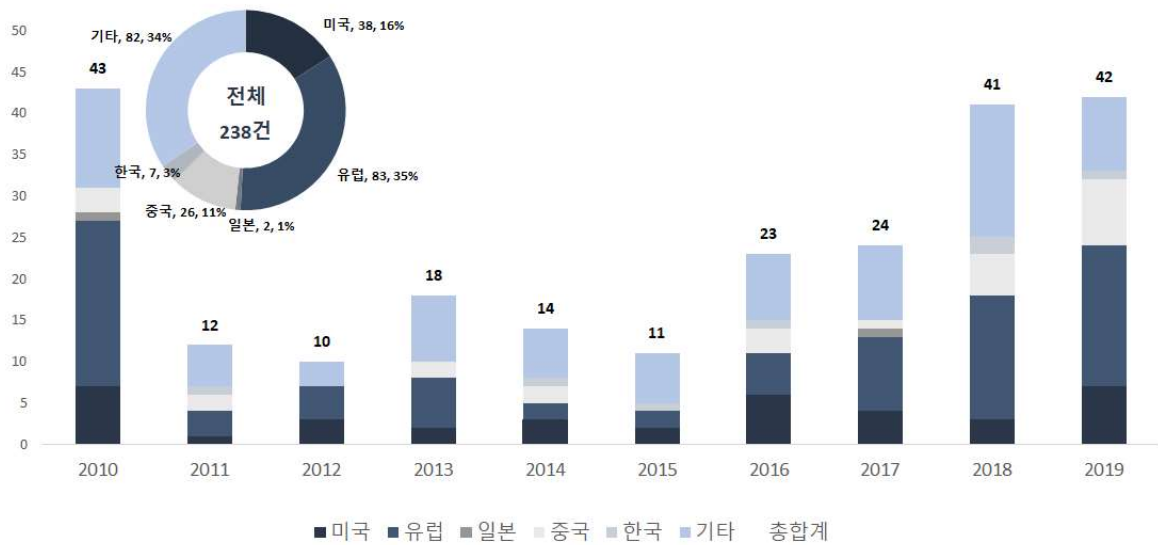
[그림 109] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 연도별 논문 게재건수

② 국가별 현황

□ 국가별 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술 관련 논문 게재 건수는 유럽,미국,중국,한국,일본 순으로 나타남

○ 유럽이 83건(35%)로 가장 많은 논문을 게재하였으며 다음으로 미국이 38건(16%)을 게재함

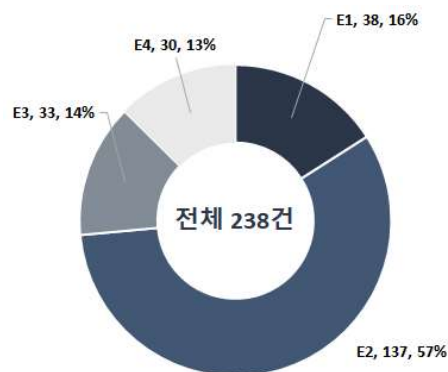
○ 한국의 총 논문 게재 건수는 7건으로, '18년 2건을 게재하며 가장 많은 건수를 기록함



[그림 110] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 국가별 논문 게재건수
③ 기술 분야별 현황

□ 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야의 최근 10년간 중분류 기술분야별 게재 비중 분석 결과, ‘E2’ 분야에서 가장 많은 137건(66%)의 논문이 게재되고 있음

○ ‘E1’ 분야의 경우 38건(18%)의 논문이 게재되었으며, ‘E3’ 분야에서는 가장 적은 33건(16%)의 논문이 게재됨



[그림 111] 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야별 논문 게재건수
E1:고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
E2:SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
E3:드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술
E4:영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술

(나) 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술

① 논문 게재 추이

□ 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 전반적으로 일정량을 유지하고 있음

○ 10년간 꾸준히 약 50~60건의 논문이 게재되어 왔으며, '17년 94건이 게재되며 조사기간 중 최대 건수가 게재 됨

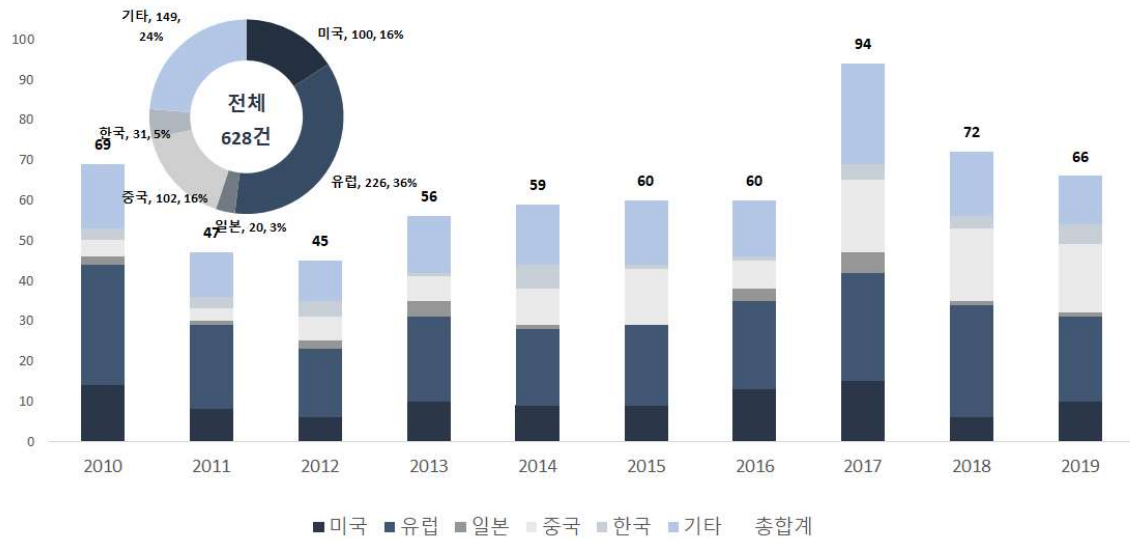


[그림 112] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 연도별 논문 게재건수

② 국가별 현황

□ 국가별 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 관련 논문 게재 건수는 유럽, 중국, 미국, 한국, 일본 순으로 나타남

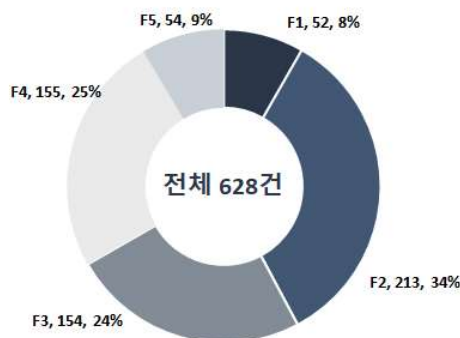
- 유럽이 226건(36%)로 가장 많은 논문을 게재하였으며 다음으로 중국이 102건(16%)을 게재함
- 한국의 총 논문 게재 건수는 31건으로, '14년 가장 많은 6건의 논문을 게재함



[그림 113] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 국가별 논문 게재건수

③ 기술 분야별 현황

- 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야의 최근 10년간 중분류 기술 분야별 게재 비중 분석 결과, 'F2' 분야에서 가장 많은 213건(34%)의 논문이 게재되고 있음
- 'F4' 분야의 경우 155건(25%)의 논문이 게재되었으며, 'F1' 분야에서는 가장 적은 52건 (8%)의 논문이 게재됨



[그림 114] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야별 논문 게재건수

- F1:직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
- F2:제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발
- F3:제방 안정성 통합 분석 시스템
- F4:제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발
- F5:제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발

(다) 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술

① 논문 게재 추이

□ 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 전반적으로 증가 추세를 보이고 있음

○ '17년 이후 게재 논문의 수가 급격히 증가하고 있으며, '19년 가장 많은 168건의 논문이 게재됨



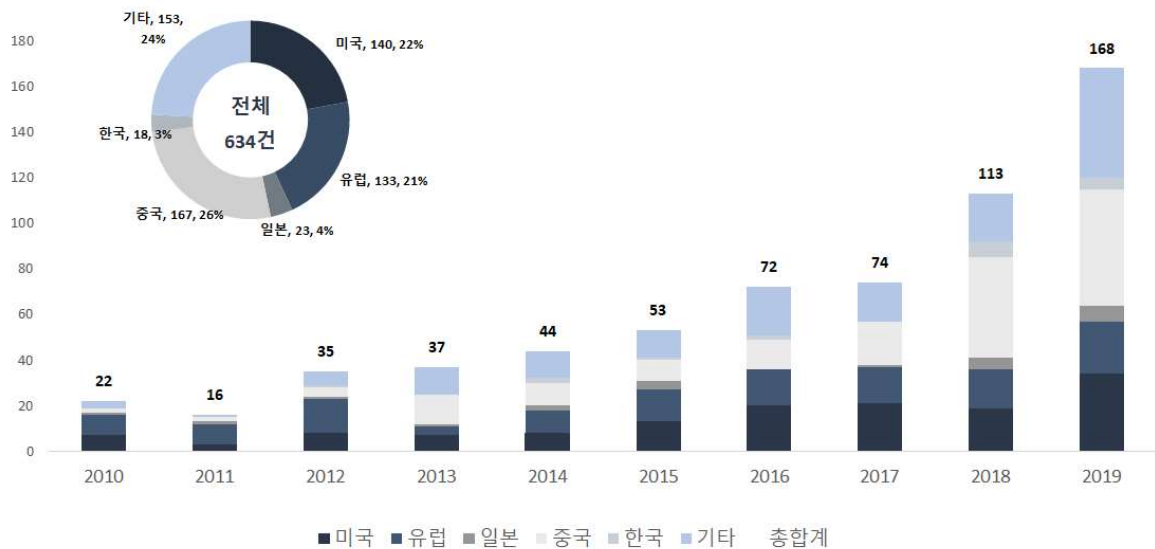
[그림 115] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 연도별 논문 게재건수

② 국가별 현황

□ 국가별 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 관련 논문 게재 건수는 중국, 미국, 유럽, 일본, 한국 순으로 나타남

○ 중국이 167건(26%)로 가장 많은 논문을 게재하였으며 다음으로 미국이 140건(22%)을 게재함

○ 한국의 총 논문 게재 건수는 18건으로, '18년 가장 많은 7건의 논문이 게재됨

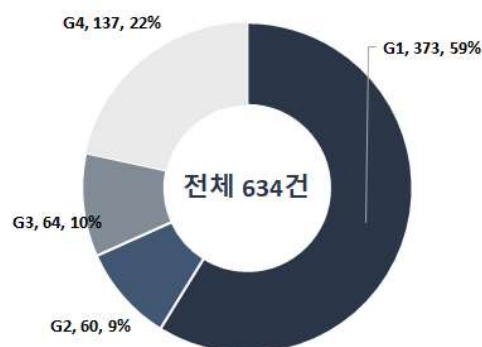


[그림 116] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 국가별 논문 게재건수

③ 기술 분야별 현황

□ 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야의 최근 10년간 중분류 기술분야별 게재 비중 분석 결과, ‘G1’ 분야에서 가장 많은 373건(59%)의 논문이 게재되고 있음

○ ‘G4’ 분야의 경우 137건(22%)의 논문이 게재되었으며, ‘G2’ 분야에서는 가장 적은 60건 (9%)의 논문이 게재됨



[그림 117] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야별 논문 게재건수

G1:미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 기반주입 핵심원천 기술(재료) 개발
 G2:미생물 고결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발
 G3:미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발
 G4:실규모 성능검증 및 실용화 기술 완성

5절. 기술수준조사

1. 개요

- 동 사업의 범위에 맞는 기술 분야의 국내 기술수준을 확인하기 위해 자체적으로 관련 전문가 대상 델파이 조사를 실시하여 최고기술보유국 대비 국내 기술수준 평가
 - KISTEP의 기술수준평가 보고서에서 제시하고 있는 분야별 기술수준의 경우, 수자원, 재난안전, 환경기상분야를 통해 기술수준을 제시하고 있으나, 동 사업에서 제시하는 기술범위와의 부합도 검증에 필요한 자료에 대한 파악에 한계
 - 이에 따라, 자체적으로 동 사업 범위에 해당하는 기술 분야에 대해 국내 관련 전문가 대상으로 델파이 조사를 실시하여 국내 기술수준 평가
 - 조사기간
 - 1차 기술수준조사 : 2021년 2월 22일 ~ 3월 8일
 - 2차 기술수준조사 : 2021년 3월 8일 ~ 3월 11일
 - 조사대상
 - 제방 분야 산·학·연 전문가
 - 응답현황
 - 1차 설문조사 결과 : 총 30명 응답
 - 2차 설문조사 결과 : 1차 설문조사 응답자 30명 중 30명 응답
 - 조사방법
 - 전문가의 집합적 지식을 도출하기 위해 델파이 방법에 의해 설문조사를 수행
 - 1차 응답자를 대상으로 1차 응답의 중위값, 상사분위값, 하사분위값, 응답자의 1차 응답 정보를 제시하고 2차 설문조사 진행
 - 2차 설문조사 분석 결과 변동계수¹⁹⁾가 0.5 이하를 만족함에 따라 2차 설문조사에 조사 종료
 - 기술별로 표본크기 $n=10$ 이상이면, 결과값에 미치는 영향은 통계적으로 제한적인 것으로 인정(2015 기술수준평가, KISTEP)되므로 동사업의 기술수준조사의 표본수는 충분한

19) 표준편차/평균의 값이 0.5 이하로 나오면 응답자들간 적절한 동의가 이루어졌다고 평가(English&kerman, 1976)

것으로 판단되며, 동 조사의 경우, 응답자가 전 항목 10인 이상으로 기술수준조사의 조사 항목별 표본 수는 충분하며 평가의 신뢰성을 확보함

- 평가의 신뢰도 검증을 위한 변동계수 계산 결과가 0.5 이하인 경우, 합의가 이루어진 것으로 볼 수 있으며, 동 사업 대상 기술 영역 모두 0.5 이하의 값이 도출되어 동 조사는 신뢰성이 있는 것으로 판단

○ 조사내용

- (기술범위) “홍수량 예측”, “수위예측”, “스마트 통합플랫폼 구축 및 운영”, “구조적 안정성 확보 및 성능유지”, “위성 기반 제방 손상 광역 탐사”, “제방 손상 추정구간 정밀 검측”, “미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강” 총 7가지 기술

2. 기술수준분석 결과

가. 총괄 분석

□ (총괄 결과) ‘21년 제방관련 분야에 대한 기술수준 조사 결과 현재 최고기술국은 미국으로, 국내 기술수준은 최고기술국 대비 평균 69.4% 수준

- 세계 최고 기술 보유국은 미국으로, 우리나라와의 기술격차는 4.4년으로 조사됨
- 7개 대분류 중에서는 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 분야의 기술수준이 63.1%로 가장 낮으며, 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야의 기술수준이 72.4%로 가장 높은 것으로 조사됨
- 홍수량 예측 기술 분야의 기술격차가 5.0년으로 가장 크고, 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술 분야의 기술격차가 3.4년으로 가장 작은 것으로 조사됨



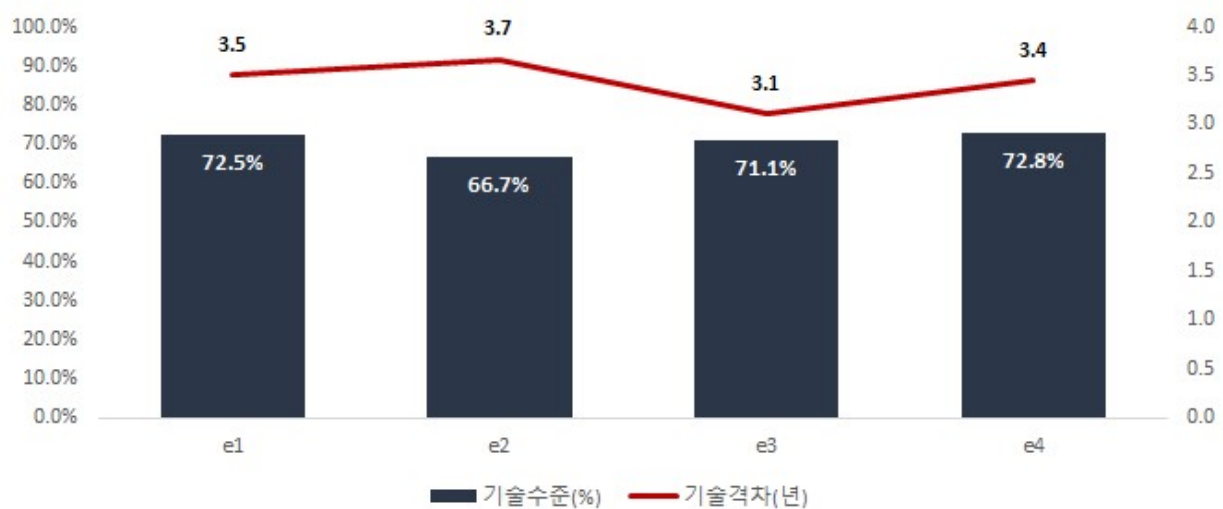
[그림 118] 제방관련 분야의 대분류별 기술수준·기술격차

- A : 홍수량 예측 기술
 B : 스마트 운영을 위한 수위예측 기술
 C : 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술
 D : 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술
 E : 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술
 F : 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술
 G : 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술

나. 세부 분야별 분석

(1) 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술 분야

- ‘21년 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술 분야의 세계 최고 기술 보유국은 미국이며, 평균 기술수준은 70.8%, 평균 기술격차는 3.4년으로 추격단계에 있는 것으로 조사됨
- 중분류 기술분야별 분석 결과 영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술 분야 기술수준이 72.8%로 가장 높으며, SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술 분야 기술수준이 66.7%로 가장 낮음
- 기술격차는 드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술 분야가 3.1년으로 가장 낮으며, SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술 분야가 3.7년으로 가장 높음



[그림 119] 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차
 E1 : 고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
 E2 : SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
 E3 : 드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술
 E4 : 영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술

<표 30> 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술 분야 기술수준조사 결과

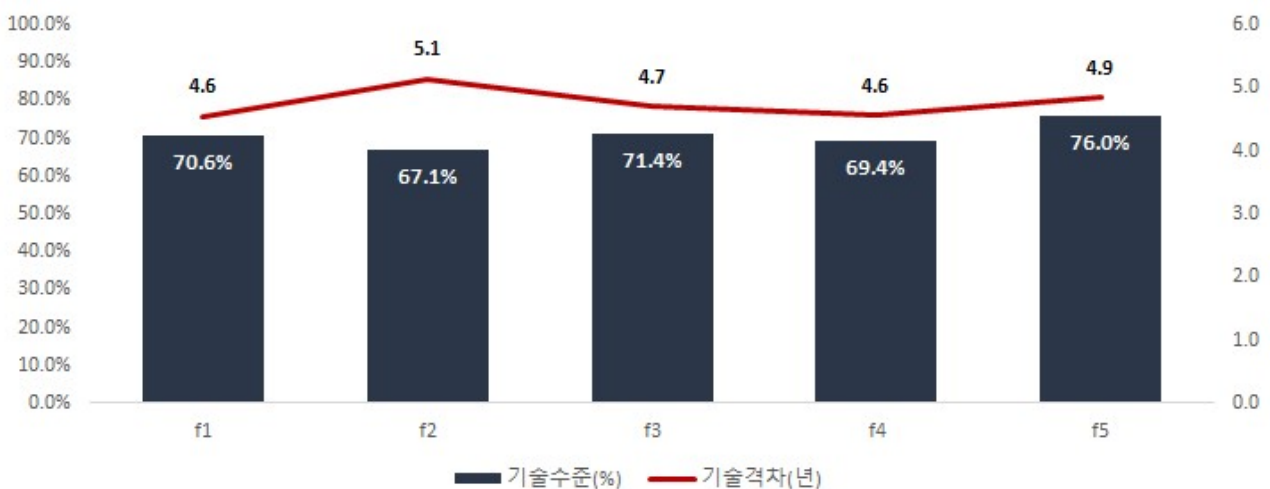
대분류	중분류	최고 기술 보유국	최고기술 보유국 대비 우리나라 기술 수준	
			기술수준(%)	기술격차(년)
고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술	고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	미국	72.5	3.5
	SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	유럽	66.7	3.7
	드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술	미국	71.1	3.1
	영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술	미국/유럽	72.8	3.4

(2) 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 분야

□ '21년 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 분야의 세계 최고 기술 보유국은 미국이며, 평균 기술수준은 70.9%, 평균 기술격차는 4.8년으로 추계 단계에 있는 것으로 조사됨

○ 중분류 기술분야별 분석 결과 제방 안정성 통합 분석 시스템 분야 기술수준이 71.4%로 가장 높으며, 제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발 분야 기술수준이 67.1%로 가장 낮음

○ 기술격차는 직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술 분야와 제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발 분야가 4.6년으로 가장 낮으며, 제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발 분야가 5.1년으로 가장 높음



[그림 120] 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차

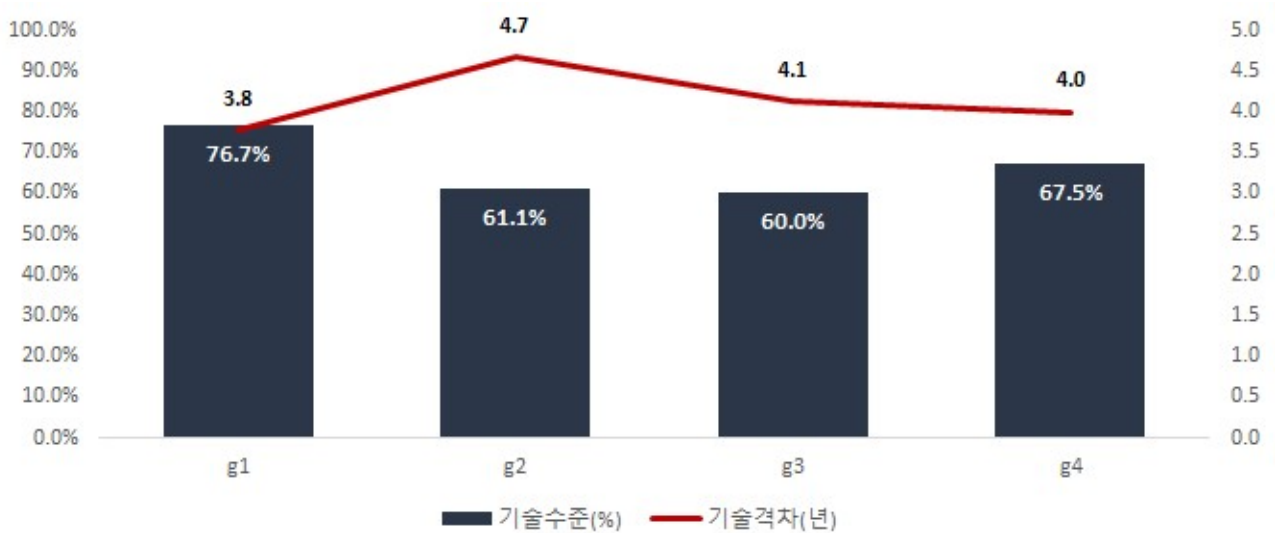
- F1 : 직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
 F2 : 제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발
 F3 : 제방 안정성 통합 분석 시스템
 F4 : 제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발
 F5 : 제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발

<표 31> 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 분야 기술수준조사 결과

대분류	중분류	최고 기술 보유국	최고기술 보유국 대비 우리나라 기술 수준	
			기술수준(%)	기술격차(년)
제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술	직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술	미국	70.6	4.6
	제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발	미국	67.1	5.1
	제방 안정성 통합 분석 시스템	미국	71.4	4.7
	제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발	유럽	69.4	4.6
	제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발	미국	76.0	4.9

(3) 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 분야

- ☐ '21년 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 분야의 세계 최고 기술 보유국은 미국이며, 평균 기술수준은 66.3%, 평균 기술격차는 4.1년으로 추격단계에 있는 것으로 조사됨
- 중분류 기술분야별 분석 결과 미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천기술(재료) 개발 분야 기술수준이 76.7%로 가장 높으며, 미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발 분야 기술수준이 60.0%로 가장 낮음
- 기술격차는 미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천기술(재료) 개발 분야가 3.8년으로 가장 낮으며, 미생물 고결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발 분야가 4.7년으로 가장 높음



[그림 121] 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차
 G1 : 미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천기술(재료) 개발
 G2 : 미생물 고결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발
 G3 : 미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발
 G4 : 실규모 성능검증 및 실용화 기술 완성

<표 32> 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 분야 기술수준조사 결과

대분류	중분류	최고 기술 보유국	최고기술 보유국 대비 우리나라 기술 수준	
			기술수준(%)	기술격차(년)
미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천기술(재료) 개발	미국	76.7	3.8
	미생물 고결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발	미국	61.1	4.7
	미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발	미국	60.0	4.1
	실규모 성능검증 및 실용화 기술 완성	미국/유럽	67.5	4.0

6절. 기술수요조사

1. 개요

□ 전문가 수요조사를 통해 확보한 기술수요조사결과를 pool로 동 기획연구의 통합물관리 방향에 부합하는 기술개발 아이টে을 도출하기 위해 R&D가 필요한 기술수요를 도출하기 위해 산·학·연 전문가 대상으로 기술수요조사를 실시하였음

- 조사대상 : 제방 분야 산·학·연 전문가
- 조사방법 : 이메일을 통한 온라인 조사
- 조사기간 : 2021년 2월 22일~2021년 3월 11일
- 조사내용

<표 33> 기술수요조사 분류

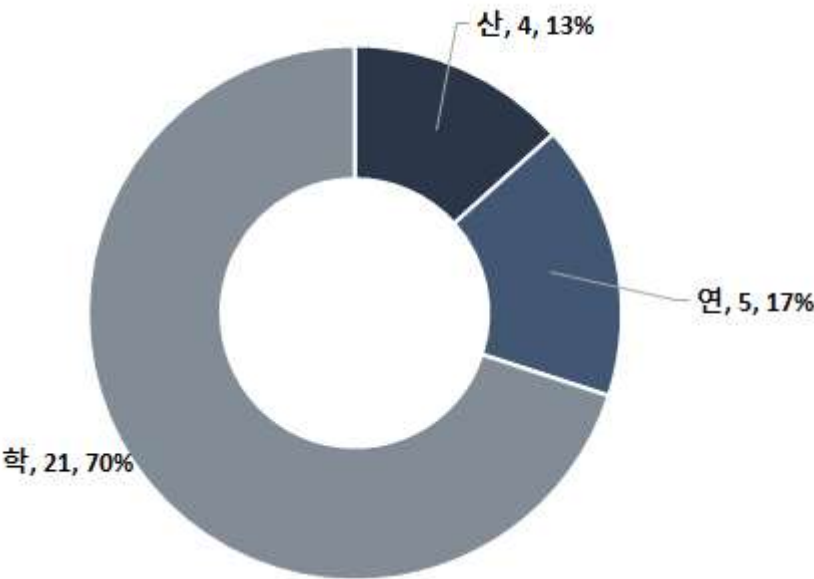
대분류	중분류
A. 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	A1. 고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
	A2. SAR 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
	A3. 드론을 활용한 제방 손상 국지 탐사 기술
	A4. 영상 기반 제방 누수 원격 감지 기술
B. 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술	B1. 직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
	B2. 제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발
	B3. 제방 안정성 통합 분석 시스템
	B4. 제방 안전진단을 위한 IoT 기반 지하 영상화 기법 개발
	B5. 제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발
C. 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	C1. 미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천 기술(재료) 개발
	C2. 미생물 고결 및 바이오폴리머 처리 지반의 공학적 성능 평가 및 현장 평가 기법 개발
	C3. 미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발
	C4. 실규모 성능검증 및 실용화 기술 완성

2. 조사 결과

가. 기술수요조사 회신 응답기관별 분포

□ 기술수요조사서는 총 30건이 회신되었으며, 이에 대해 분석함

○ 응답자 현황 분포는 대학이 70.0%, 연구기관이 16.7%, 기업이 13.3%임



[그림 122] 응답자 현황 분포

나. 분야별 기술수요조사 결과

(1) 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술

□ 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 기술아이템 4건의 목록은 아래와 같음

<표 34> 고해상도 위성영상기반 제방 손상 광역 탐사 기술분야 기술아이템 목록

순번	기술아이템 명
1	CCTV형 분광 기반 제방 취약지역 누수 정밀 탐지 장비 및 모니터링 기술 개발
2	드론 탑재 다분광 장비를 활용한 제방 누수 가능 지역 맵핑 기술 개발

연번	기술아이템 명
3	SAR 센서 기반 제방변위 탐지 기술
4	영상 기반 제방 안정성 모니터링 기술

(2) 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술

□ 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 기술아이템 8건의 목록은 아래와 같음

<표 35> 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술분야 기술아이템 목록

연번	기술아이템 명
1	하천제방의 3R(위험도, 회복도, 신뢰도) 최적화를 위한 Risk-Informed 제방관리 기술 개발 및 위험도 평가 체계 구축
2	제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발
3	CCTV형 분광 기반 제방 취약지역 누수 정밀 탐지 장비 및 모니터링 기술 개발
4	추적자 주입과 토모그래프 방식을 통한 제방 누수와파이핑 모니터링 기술 개발
5	수치해석을 통한 제방 안정성 통합 분석 모형 개발
6	제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발
7	직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
8	전기비저항 모니터링에 의한 제방 영상화 기술 개발

(3) 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술

- ☐ 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 기술아이템 2건의 목록은 아래와 같음

<표 36> 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술분야 기술아이템 목록

순번	기술아이템 명
1	미생물 교결 기반 노후 제방의 내부침식방지 및 구조적 보강 기술 개발
2	노후 제방 성능향상을 위한 생물학적 지반보강 재료 최적 주입기술 개발

7절. 인프라 현황분석

1. 연구인력 현황

가. 기업체 연구인력 현황

□ '15년 현재 국내 수리구조물 관련 분야의 총 종사자 수는 7,948.1명이며, 이 중 연구직은 145.4명으로 조사됨²⁰⁾

○ 종합건설(수자원) 분야의 종사자 수는 7,919.1명으로 조사되었으며, 연구직은 전체 종합건설(수자원) 분야의 1.8%인 142.4명으로 조사됨

○ 진단 분야의 종사자 수는 29.0명으로 조사되었으며, 연구직은 전체 진단 분야 종사자의 10.3%인 3명으로 조사됨

<표 37> 국내 수리구조물 관련 분야 종사자 수

업종 구분		인력 현황(명)				
대분류	소분류	행정직	기술직	연구직	생산직	합계
건설 및 시공	종합건설(수자원)	4,586.9	1,738.8	142.4	1,451.1	7,919.1
설계, 컨설팅 및 진단	진단	4.0	15.0	3.0	7.0	29.0
계		4,590.9	1,753.8	145.4	1,458.1	7,948.1

* 자료 : 환경부 물시장종합정보센터

나. 대학 연구인력 현황

□ '18년 현재 수리구조물 관련 분야의 대학 연구인력은 총 1,853.7명으로 조사됨²¹⁾

○ 수리구조물 관련 분야의 대학 연구인력은 교육통계서비스에서 제공하는 국내 토목공학 학과의 전체 연구인력에 학과 연구개발비 중 수리구조물 관련 분야의 연구개발비가 차지하는 비중을 곱하여 산정함

- 수리구조물 관련 분야의 연구개발비가 차지하는 비중은 <국토교통분야 연구개발활동조사>에서 산출한 물관리 분야의 연구개발비 비중을 적용함²²⁾

20) 환경부 물시장종합정보센터 통계자료, '19.1 검색 기준

21) 교육부 교육통계서비스 통계자료, '19.1 검색 기준

22) 2013 국토교통분야 연구개발활동조사, 2015.9, 국토교통과학기술진흥원

<표 38> 토목공학 학과 연구개발비 중 수리구조물 관련 분야의 연구개발비가 차지하는 비중

(출처 : '13년 국토교통 연구개발활동조사)

구분	Data
대학(토목공학 학과)의 자체사용 연구개발비(억원)	205.41
물관리 분야의 연구개발비(억원)	92.06
토목공학 학과 연구개발비 중 수리구조물 관련 분야가 차지하는 비중(%)	44.82%

- '18년 현재 수리구조물 관련 분야의 석사과정 연구인력은 960.9명, 박사과정 연구인력은 526.2명, 전임교원은 366.6명으로, 석사과정의 비중이 가장 높은 것으로 조사됨

<표 39> 국내 수리구조물 관련 분야 대학 연구인력 수

(출처 : 교육부 교육통계서비스)

구분	석사	박사	전임교원	합계
'18년 현재 토목공학 학과 전체 연구인력(인)	2,144	1,174	818	4,136
토목공학 학과 연구개발비 중 수리구조물 관련 분야가 차지하는 비중(%)	44.82%			
'18년 현재 수리구조물 관련 분야의 대학 연구인력(인)	960.9	526.2	366.6	1,853.7

다. 연구기관 연구인력 현황

□ 한국건설기술연구원의 수리구조물 관련 연구인력은 103인으로 조사됨²³⁾

- 동 연구원에서 수리구조물 관련 연구개발을 수행하는 인력은 국토보전연구본부 소속으로 조사됨
- 동 본부에서는 첨단 기술 기반 수재해 대응 기술, 지속가능한 수자원 및 하천관리 기술, 물 환경 개선 및 하천 복원 등 국토보존 기술 개발을 수행함

<표 40> 건설기술연구원의 수리구조물 관련 연구인력 현황

구분	인력 현황				
	전임	수석	위원	선임위원	합계
국토보전연구본부	17	48	23	15	103

23) 한국건설기술연구원 홈페이지, '20년 기준

□ K-Water 연구원의 하천시설물 관련 연구인력은 14인으로 조사됨²⁴⁾

○ K-water 연구원에서 하천시설물 관련 연구개발을 수행하는 인력은 물인프라·에너지연구소 산하 물인프라안전연구팀에 속하는 것으로 조사됨

- 물인프라·에너지연구소 산하의 물인프라안전연구팀에서는 지반구조물 안정성 평가, 지반 분석, 인프라 안전 진단, 구조 및 재료 연구 등을 수행함

2. 연구 기자재 인프라 현황

□ 국내 하천시설물 관련 연구기자재 인프라는 한국건설기술연구원, 한국과학기술원, 한국생명과학연구원에서 보유하고 있음

- 한국건설기술연구원 안동 하천연구센터에 있는 실규모 제방 실험장은 세계 최대 규모의 제방 실험장으로 제방 월류, 침투 실규모 모의 실험이 가능함
- 한국과학기술원의 지오센트리퓨지 시설은 국내 최대 규모의 원심모형시험기로 대규모 외력을 재현하여 제방성능 평가가 가능함
- 한국생명공학연구원 생물자원센터에는 미생물 자원 45,891건을 보존 및 분양하고 있으며, 바이오폴리머 고결 및 내구성 유지를 위한 미생물 자원 후보 활용이 가능함

<표 41> 국내 하천시설물 관련 연구기자재 인프라 현황

구분	보유기관	주요시설 및 장비	활용 목적 및 성능
연구기관	한국건설기술연구원	• 실규모 제방 실험장(안동 하천연구센터) 	• 세계 최대 규모의 실규모 제방 실험장 • 제방 월류, 침투 실규모 모의 실험 • 면적: 100m×100m • 최대공급유량: 8 m³/sec • 드론, 광섬유, 간접수압 등 복합계측 시스템 구축 • 제방고 5m 급의 실규모 성능 검증 가능

24) K-Water 융합연구원 홈페이지, '20년 기준

구분	보유기관	주요시설 및 장비	활용 목적 및 성능
연구기관	한국과학기술원 (KAIST)	• 지오센트리퓨지(원심모형시험기) 	• 원심력에 의해 대규모 외력을 재현하여 댐 및 제방 등의 성능을 평가하는 시험기 • 최대가속도 130g • 최대상재하중 2,400kg • 회전반경 5.0m • 2방향 진동대, 자동제어시스템 • 국내 최대 규모이며 세계 최고 수준
연구기관	한국생명공학연구원	• 생물자원센터 	• 생물자원의 효율적 활용을 위한 수집, 보존, 분양 • 미생물자원 45,891건 보존 및 분양 • 바이오폴리머 고결 및 내구성 유지를 위한 미생물 자원 후보 활용 가능

8절. 시사점

- 현재 국토교통부는 많은 예산을 투입하여 국가 하천시설에 대한 안전을 강화하고 관리 시스템을 구축하려 노력하고 있음
 - 국토교통부는 '19년 하천예산 1조 6천억원을 투입하여 국가·지방 하천의 재해 위험을 예방하고 국가하천의 하천시설에 대한 안전을 강화함
 - 해외의 경우 친환경·첨단기술 등을 활용해 홍수재해 대응방안을 추진하고 있으며, 제방에 대한 체계적인 안전관리 시스템이 갖춰져 있음
- 해외에서는 위성 영상 빅데이터가 축적되고 인공지능 및 통신 기술의 수자원 분야 적용이 활발히 이뤄지고 있으나 국내에서 이를 활용한 레이더 기반 홍수 관리 활용 기술 개발은 미진함
 - 수치해석을 통한 제방 안정성 통합 분석 모형 개발의 경우 해외에서 꾸준히 연구가 이루어지고 있으며, 정밀 물리탐사 기술 개발이 필요함
 - NASA JPL에서 운영하는 UAVSAR를 활용하여 Sherman 섬 제방의 안정성을 평가하는 기술이 개발됨
 - 하천제방의 계측정보는 상대적으로 타 사회간접자본의 다양한 계측정보의 이용은 매우 미비하며, 상태의 모니터링 위주로 활용되고 있어 계측정보로부터 특이정보 추출, 이를 활용한 위험요소 Detection 기술 등 기계학습기반의 AI 기법의 적용 및 활용이 요구됨
 - 고해상도 다중분광 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술의 경우 관련 연구가 활발히 진행되고 있으나, 수백 미터에서 수십 킬로미터에 달하는 제방의 길이를 고려하였을 때 제방 손상 광역 탐사 업무를 수행하는 것은 한계가 있어 관련 기술의 발전이 필요함
- 제방 안전 관련 연구는 진행되고 있으나, 지속적인 안전점검에 대한 기준이나 정책은 미비한 상황임
 - 신기술에 기반한 모니터링 체계 구축 및 하천시설 안전 강화 등의 사업이 진행되고 있으나, 제방에 관한 체계적인 안전관리 정책이 부재하여 미흡한 부분이 있으며 위험·취약 부분에 대한 보수·보강에 대한 가이드라인은 부족하여 제방에 관한 체계적인 안전관리 정책이 부재함
 - 제방의 정밀 현장조사를 진행하기 전, 광범위한 영역을 대상으로 사전조사를 진행할 필요가 있어 영상 기반 제방 안정성 모니터링 기술은 국내에서도 꾸준히 연구가 이루어지고 있

음

- 수치해석을 통한 제방 안정성 통합 분석 모형 개발의 경우 국내에서 다수의 연구가 이루어졌으나 단기간내 효율적인 복합지반탐사가 가능한 연구가 이루어진 적은 없음
- 댐 및 저수지 안전진단을 다양한 연구결과와 적용사례가 발표된 바 있으나 하천 제방의 계절적 변화 특성을 이용하기 위해서는 반복측정이나 모니터링이 요구됨
- 파이핑과 구조물 접합부 누수는 제체 내부에 유로나 공동이 형성되어 발생하나 현재 제체 조사에 적용할 수 있는 실무적인 사전 탐지 기술은 부재
- 국내 댐에 3차원 전기비저항 탐사 적용사례가 존재하나, 기존의 일반적인 탐사 시스템은 연속성 부분이 누락되어 있기에 실시간 전기비저항 측정시스템을 구축하여 제방의 상태 파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발이 필요함

□ **제방 관련 보강 및 안정화 기술이 지속적으로 연구되고 있으며, 바이오 신소재를 하천 제방 취약부 보수·보강에 활용할 있을 것으로 기대되는바 관련 기술 개발이 필요함**

- 국내에서는 내부침식 방지를 위해 차수시설 이용, 그라우팅 주입 공법, 필터층 설치, 배수구 설치와 같은 방법을 사용하고 있으며 기존 그라우트 재료의 환경 및 원활한 주입효율 증진 문제가 대두됨에 따라 이를 대체할 새로운 그라우트재에 대한 개발이 필요한 실정임
- 친환경적인 MICP, BPST(바이오폴리머 지반 처리) 등 다양한 신재료의 개발이 진행중이나, 기존 그라우팅 재료 대체를 위한 성능평가, 주입공법 및 주입성능 평가 등에 대한 연구가 미비한 실정임

3장. 기술개발 전략

1절. 기술개발 추진방향

1. SWOT분석

- 환경분석결과를 기반으로 내부의 강점과 약점, 외부의 기회와 위협 요인을 분석하고, 이를 매트릭스형태로 SO전략, ST전략, WO전략, WT전략 도출

		강점(S)	약점(W)
		친환경적인 MICP, BPST(바이오폴리머 기반 처리) 등 다양한 신재료의 개발이 진행 중임	기존 그라우팅 재료 대체를 위한 성능평가, 주입공법 및 주입성능 평가 등에 대한 연구가 미비함
기회(O)	- 최근 그린뉴딜 정책(규모 73조원)과 2050 탄소중립 추진전략 등 친환경 정책을 꾸준히 추진 중 - 국토교통부는 수재해 예방과 하천관리 효율화를 추진하고 있음	SO전략(강점-기회)	WO전략(약점-기회)
		생물공학 기반의 친환경 제방 내부 손상 보강 기술 개발	생물공학 기반의 내부 주입 기술 개발
위협(T)	- 기후변화로 인한 돌발적 홍수에 예상치 못한 침수와 제방붕괴 발생으로 인명과 재산 피해가 빈번함 - 위험-취약 부분에 대한 보수보강에 대한 가이드라인은 부족하여 제방에 관한 체계적인 안전관리 정책이 부재함	ST전략(강점-위협)	WT전략(약점-위협)
		고해상도 복합 위성영상을 활용한 제방 취약부 자동 탐지 기술 개발	20m급 고심도 및 cm급 고해상도의 제방 내부 손상 정밀 탐지 기술 개발

[그림 123] SWOT 분석 결과

2. 기술개발 추진방향 정립

☐ 홍수저감 정책방향을 고려한 추진방향 도출

- 최근의 2020년 홍수에서는 제방 붕괴에 따른 대규모 침수피해가 전국적으로 발생하여 치수 정책에서 제방 관리의 중요도가 높아짐
- 이상의 국가 정책적 방향을 고려하여 기술개발의 우선 순위 선정

☐ 시급성과 중요성을 고려한 기술 도출

- 최근 홍수 피해에서 국민의 생명과 안전에 직접적인 영향을 미치는 것은 주거지 등의 침수 피해로 이를 저감하는 것이 시급성과 중요성이 높으며, 이를 실질적으로 해결할 수 있는 방향으로 핵심 기술 도출 필요
- 최근의 대규모 침수 피해는 제방파괴 등이 원인이며 이 중 기술적 대응이 가능한 방향으로 핵심 기술 도출 필요

☐ 기존 유사기술 차별점을 고려한 세세부 기술 도출

- IoT, 빅데이터, AI, 영상분석 기술 등 첨단 기술의 발전으로 이를 기반으로 한 다양한 연구개발이 진행 중임
- 첨단 IT 분야와 연계된 기술 중 이미 타분야에서 기술 개발이 완료되었거나 유사 분야의 R&D로 이미 진행 중인 기술은 기술의 중복성을 고려하여 제외
- 타분야에서 완성된 기술을 단순 적용하는 형태의 세세부 기술의 경우에도 핵심 기술에서 제외

☐ 연구기간 내 기술개발 성공가능성을 고려한 기술 도출

- 본 기획에서는 홍수피해 저감의 시급성을 고려하여 연구개발 완료와 동시에 현장에 적용하여 홍수저감 효과를 곧바로 체감할 수 있는 기술 개발 방향을 설정
- 이에 따라 연구기간 내에 현장 적용이 가능한 기술개발 성공가능성을 우선적으로 고려
- 장기간의 기초연구가 필요한 분야와 연구기간 내에 현장 적용 기술의 도출이 어려운 기술은

본 기획에서는 제외

□ 현재 홍수관리체계를 고려하여 현장 적용이 가능한 기술 도출

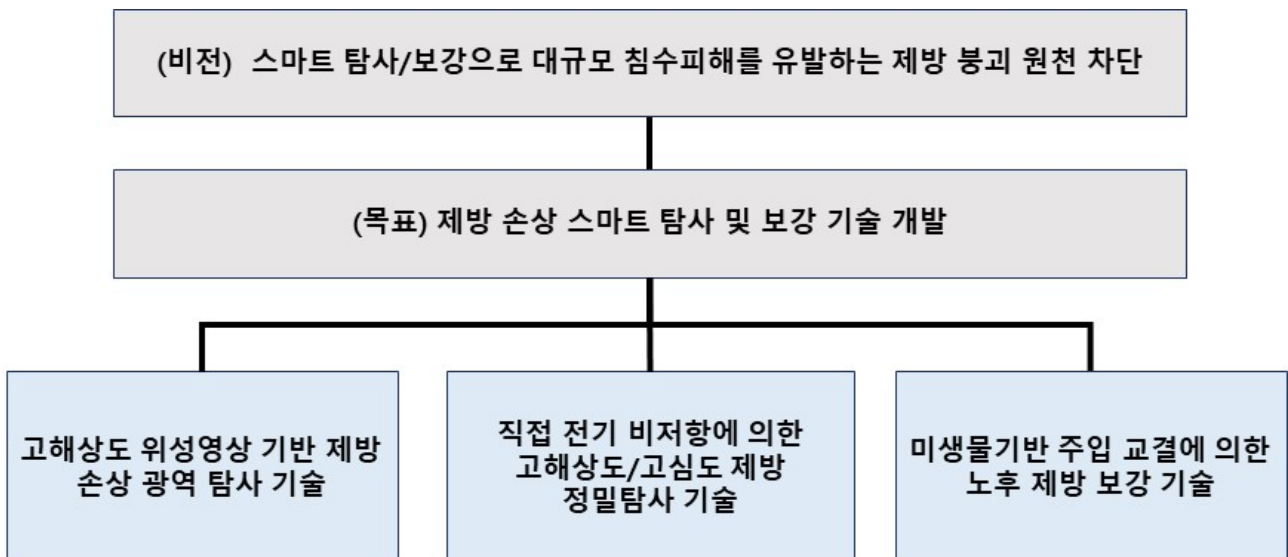
- 홍수관리는 국토부, 행정안전부, 환경부, 농림수산부 등의 중앙정부부처와 지방자치단체가 연관된 업무로 현장의 홍수관리업무의 유기적 연결성과 업역을 고려하여 적용방향을 제시하여 야 기술의 실용화가 가능
- 기술 적용의 시급성을 고려하여 기술의 적용을 위해서 기존 홍수관리체계에 대한 과도한 체계 개편이 요구되는 경우에는 본 기획에서 제외하였음
- 기관간의 업무영역이 모호하거나 책임소재가 불명확한 기술분야의 경우에는 개발 후 사장되는 경우가 많으므로 본 기획에서는 현재 홍수관리체계 내에서 현장 적용이 가능한 기술을 우선적으로 도출하였음

2절. 비전 및 목표

1. 비전

□ 동 사업의 비전은 ‘스마트 탐사/보강으로 대규모 침수피해를 유발하는 제방 붕괴 원천 차단’이며, 체계도는 아래와 같음

○ 국민의 안전에 직결되는 대규모 침수피해 저감을 위해 스마트 기술 기반의 하천시설물 붕괴 원천 차단 기술을 개발하고자 함



[그림 124] 비전 및 목표

2. 목표

가. 총괄 목표

☐ 제방 붕괴 원천 차단을 위한 스마트 탐사 및 보강 기술 개발

- 고해상도 복합 위성영상을 활용한 수평해상도 50 cm, SAR 정밀도 3.5 cm/year 제방 손상 자동 탐지 기술 개발
- 20m급 고심도 및 cm급 고해상도의 제방 내부 손상 정밀 탐지 기술 개발
- 강도 4.5 Mpa, 투수계수 1×10^{-6} m/s 급 생물공학 기반의 친환경 제방 내부 손상 보강 기술 개발

나. 단계별 목표

☐ 1차년도

- 광역탐사, 정밀탐사, 제방보강 등의 기반 기술 및 세부 요소 기술 개발
 - 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계
 - 다중시기 위성 SAR 영상 수집 및 처리
 - 직접-전기비저항 탐사시스템(DEPS)의 제방 적용기법 고안
 - 관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발
 - 실시간 제방 안정성 분석 시스템 구축을 위한 프로토타입 모델 개발
 - 신재료 특성 평가 및 발굴
 - 주입/혼합공법 영향인자 분석 및 보강재 후보군 도출
 - 제방 내부침식 모사를 위한 실험형 실험시스템 구축 핵심 요소 구축

☐ 2차년도

- 광역탐사, 정밀탐사, 제방보강 등의 요소기술 평가 및 핵심 기술 개발

- 고해상도 위성영상과 빅데이터 기반 하천 및 제방 데이터베이스 구축
- 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 다중시기 영상 적층기법
- 제방 변위 관측을 위한 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술
- 제체 내 공동, 유로 등을 탐사/해석할 수 있는 알고리즘 개발
- 관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발
- 실시간 제방 안정성 분석 시스템 핵심 요소 기술 개발
- 후보재료 도출 및 주입 효율성 평가/검증
- 미생물/바이오폴리머 보강재의 유동특성 및 영향인자 평가
- 실대형 제방 모형 내부침식 모사 실험시스템 구축

□ 3차년도

- 광역탐사, 정밀탐사, 제방보강 등의 개발기술 시험 평가 및 핵심 기술 고도화
 - 시계열 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐지 기술 개발
 - 제방 변위 관측을 위한 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술
 - 다중개구간섭기법을 활용한 위성 궤도 방향 지표변위 관측
 - 탐사 알고리즘 개선을 통한 해석결과 신뢰도 향상
 - 초소형 이미지 촬영기법 개발 및 융복합 센서 모듈 설계
 - 실시간 제방 안정성 분석 시스템 자동화 및 고도화
 - 최적재료 개발 및 선BPST-후MICP 주입을 위한 핵심 요소 도출
 - 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 특성 평가 및 후보군 레시피 도출
 - 생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가(1단계)

□ 4차년도

- 광역탐사, 정밀탐사, 제방보강 등의 분야별 기술 완성/통합 및 현장 적용/평가
 - 3차원 GIS 및 고해상도 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발

- 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발
- 3차원 제방 변위 측정
- 현장 환경조건을 고려한 실험 수행을 통한 탐사/해석 시스템 검증
- 제방 강도 및 강성 파악을 위한 융복합 센싱 기술 개발
- 실시간 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 기술 개발
- 주입액 검증 및 기법별 주입 기법 개발
- 미생물/바이오폴리머 주입공법 개발 및 예측 모델 개발
- 생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가(2단계)

□ 5차년도

- 현장 적용/평가를 통한 기술보완으로 성능목표 달성 및 실용화
 - 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 및 다목적 하천관리 플랫폼 검증
 - 딥러닝 기반 위성 SAR 광역 탐사에 따른 제방 손상 지역 분석
 - 위성 SAR 영상 기반 제방 손상 탐사기술의 작업 절차 확립
 - 탐사시스템 시제품 제작 및 현장 적용을 통한 보완
 - 제방 강도 및 강성 파악을 위한 융복합 센싱 기술 개발
 - 실시간 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 및 검증
 - 기법별 주입 기법 검증 및 실용화
 - 미생물/바이오폴리머 주입효율 예측 프로그램 및 가이드라인 개발
 - 조건별 최적 생물학적 보강 공법 검증 및 기술 완성

<표 42> 연구개발 단계별 목표(제방 손상 스마트 탐사 및 보강 기술 개발)

	1단계(1차년도)	2단계(2차년도)	3단계(3차년도)	4단계(4차년도)	5단계(5차년도)
단계별 목표	기반 기술 및 세부 요소 기술 개발	요소기술 평가 및 핵심 기술 개발	개발기술 시험 평가 및 핵심 기술 고도화	분야별 기술 완성/통합 및 현장 적용/평가	현장 적용/평가를 통한 기술보완으로 성능목표 달성 및 실용화
주요 추진 내용	-제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계 -다중시기 위성 SAR 영상 수집 및 처리 -직접-전기비저항 탐사 제방 적용기법 개발 -관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발 -실시간 제방 안정성 분석 시스템 구축을 위한 프로토타입 모델 개발 -신재료 특성 평가 및 발굴 -주입/혼합 공법 영향인자 분석 및 보강재 후보군 도출 -실대형 실험시스템 구축 핵심 요소 구축	-하천 및 제방 데이터베이스 구축 -SAR 다중시기 영상 적층기법 -분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 공동, 유로 탐사/해석 알고리즘 개발 -관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발 -실시간 제방 안정성 분석 시스템 핵심 요소 기술 개발 -후보재료 도출 및 주입 효율성 평가/검증 -미생물/바이오 폴리머 보강재의 유동특성 및 영향인자 평가 -실대형 제방 모형 내부침식 모사 실험시스템 구축	-광역 제방 손상 탐지 기술 개발 -시계열 지표변위 관측 기술 -위성 궤도 방향 지표변위 관측 탐사 알고리즘 개선 -초소형 이미지 촬영기법 개발 및 융복합 센서 모듈 설계 -실시간 제방 안정성 분석 시스템 자동화 및 고도화 -최적재료 개발 및 주입 핵심 요소 도출 -보강 지반의 특성 평가 및 후보군 레시피 도출 -생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가	-다목적 제방관리 플랫폼 개발 -다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발 -3차원 제방 변위 측정 기술 개발 -정밀 탐사/해석 시스템 검증 -융복합 센싱 기술 개발 -실시간 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 기술 개발 -주입액 검증 및 기법별 주입 기법 개발 -주입공법 및 예측 모델 개발 -생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 검증	-광역 탐사 및 제방관리 플랫폼 검증 -SAR 제방 손상 지역 분석 기법 개발 -SAR 제방 손상 탐사기술 작업 절차 확립 -탐사시스템 시제품 제작 및 현장 적용을 통한 보완 -위한 융복합 센싱 기술 개발 -실시간 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 및 검증 -기법별 주입 기법 검증 및 실용화 -주입효율 예측 프로그램 및 가이드라인 개발 -조건별 최적 생물학적 보강 공법 검증 및 기술 완성

3절. 중점추진분야

1. 중점추진분야 1(고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술)

☐ 고해상도 위성영상 기반 제방 손실 광역 탐사 기술의 개요는 아래와 같음

<표 43> 중점추진분야 4 개요

구분	설명
개념	- 위성영상을 이용하여 제방 취약부를 광역적으로 정기적/자동적으로 탐지 - 고해상도 광학, 다중분광, SAR 등 복합위성영상을 활용하여 광역탐지의 정확도 확보
목표	- 시계열 고해상도 위성영상을 활용한 제방 손상 광역 탐사 기술 개발 3차원 GIS 및 고해상도 위성영상 기반 다목적 제방관리 플랫폼 개발 - SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발(3.5 cm/year 정밀도, 탐지정확도 85%)
주요 내용	- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계 - 고해상도 위성영상과 빅데이터 기반 하천 및 제방 데이터베이스 구축 - 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 다중시기 영상 적층기법 - 제방 변위 관측을 위한 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 - 시계열 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐지 기술 개발 - 제방 변위 관측을 위한 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 - 다중개구간섭기법을 활용한 위성 궤도 방향 지표변위 관측 기술 3차원 GIS 및 고해상도 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발 - 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발 3차원 제방 변위 측정 기법 개발 - 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 및 다목적 하천관리 플랫폼 검증 - 딥러닝 기반 위성 SAR 광역 탐사에 따른 제방 손상 지역 분석 - 위성 SAR 영상 기반 제방 손상 탐사기술의 작업 절차 확립

2. 중점추진분야 2(제방 손상 고심도/고해상도 정밀 탐사기술)

☐ 제방 손상 고심도/고해상도 정밀 탐사 기술의 개요는 아래와 같음

<표 44> 중점추진분야 5 개요

구분	설명
개념	- 침투와 파이핑 파괴가 예상되는 제방 내부의 손상을 탐지하고 안정성을 평가하는 기술 - 기존 지반물리탐사 기법의 고도화(고심도/고해상도/신속화)
목표	- 제방 내부 파이핑 및 접합부 안정성 탐사를 위한 직접 전기비저항탐사 기술 개발 (심도 20m, 해상도 20cm급) - 제방 누수 지점 정밀 탐사를 위한 관입형 스마트 센싱기법 및 시스템 개발(무게 20kg, 1공/30분) - 정밀 탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발
주요 내용	직접-전기비저항 탐사시스템(DEPS)의 제방 적용기법 고안

	▪ 관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발 ▪ 실시간 제방 안정성 분석 시스템 구축을 위한 프로토타입 모델 개발 ▪ 제체 내 공동, 유로 등을 탐사/해석할 수 있는 알고리즘 개발 ▪ 전기비저항 모니터링 자동 자료처리 기술 개발 ▪ 침투압-쇄굴 연계해석을 위한 개별요소법 및 유한체적법 연계 모델 개발 ▪ 실시간 제방 안정성 분석 시스템 핵심 요소 기술 개발 ▪ 역해석을 통한 제방 상태평가 기술 개발 ▪ 제방 강도 및 강성 파악을 위한 융복합 센싱 기술 개발 ▪ 탐사시스템 시제품 제작 및 현장 적용을 통한 보완
--	---

3. 중점추진분야 3(미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술)

□ 미생물기반 주입 교결에 의한 제방보강기술의 개요는 아래와 같음

<표 45> 중점추진분야 6 개요

구분	설명
개념	▪ 정밀탐사에 의해 탐지된 제방 내부 손상을 보강하는 친환경적이고 경제적인 스마트 보강 기술 ▪ 미생물 교결을 지반공학적으로 활용하여 전면개착이 아니 주입을 통해 제방 내부의 손상 보강
목표	▪ 미생물기반 제방 주입 재료 및 솔루션 개발 ▪ 미생물/바이오폴리머 제방 주입/혼합 공법 개발 ▪ 제방 내부 보강 기술 실규모 성능검증 및 실용화
주요 내용	▪ 신재료 특성 평가 및 발굴 ▪ 주입/혼합공법 영향인자 분석 및 보강재 후보군 도출 ▪ 제방 내부침식 모사를 위한 실험실시험시스템 구축 핵심 요소 구축 ▪ 후보재료 도출 및 주입 효율성 평가/검증 ▪ 미생물/바이오폴리머 보강재의 유동특성 및 영향인자 평가 ▪ 실험실 제방 모형 내부침식 모사 실험시스템 구축 ▪ 최적재료 개발 및 선BPST-후MICP 주입을 위한 핵심 요소 도출 ▪ 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 특성 평가 및 후보군 레시피 도출 ▪ 생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가 ▪ 주입액 검증 및 기법별 주입 기법 개발 ▪ 미생물/바이오폴리머 주입공법 개발 및 예측 모델 개발 ▪ 기법별 주입 기법 검증 및 실용화 ▪ 미생물/바이오폴리머 주입효율 예측 프로그램 및 가이드라인 개발 ▪ 조건별 최적 생물학적 보강 공법 검증 및 기술 완성

4절. 연구개발과제 구성

1. 후보과제 설정

- ☐ 산·학·연 전문가를 대상으로 기술수요조사를 실시하고, 중점추진분야별 목표 및 주요내용을 고려하여 중점 추진분야별 후보과제를 설정함
- ☐ 수자원 분야 전문가를 대상으로 기술수요조사를 실시하여 제방강화 관련 기술아이템을 확보함
- ☐ 확보된 기술아이템별 연구 목표 및 내용을 고려하여 기술분야를 재분류함
- ☐ 중점추진분야별 후보과제 구성은 다음과 같음

<표 46> 중점추진분야별 후보과제

중점추진분야	후보과제
고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	CCTV형 분광 기반 제방 취약지역 누수 정밀 탐지 장비 및 모니터링 기술 개발
	드론 탑재 다분광 장비를 활용한 제방 누수 가능 지역 맵핑 기술 개발
	SAR 센서 기반 제방변위 탐지 기술
	영상 기반 제방 안정성 모니터링 기술
제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술	하천제방의 3R(위험도, 회복도, 신뢰도) 최적화를 위한 Risk-Informed 제방관리 기술 개발 및 위험도 평가 체계 구축
	제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발
	추적자 주입과 토모그래프 방식을 통한 제방 누수와 파이핑 모니터링 기술 개발
	수치해석을 통한 제방 안정성 통합 분석 모형 개발
	제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발
	직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	미생물 고결 기반 노후 제방의 내부침식방지 및 구조적 보강 기술 개발
	노후 제방 성능향상을 위한 생물학적 지반보강 재료 최적 주입기술 개발

2. 중복성 검토

- ☐ 제방 관련 유사 및 중복 과제를 검토하였으며 해당사항은 없음
- ☐ 제방 분야의 유사과제 현황은 다음과 같음

<표 47> 제방 분야 유사과제 현황 및 차별성

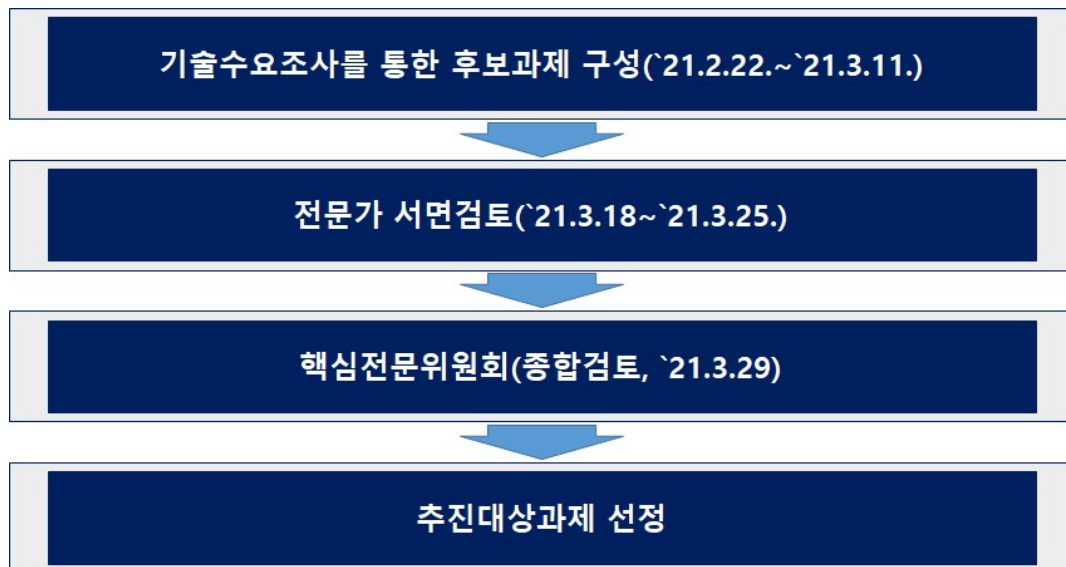
과제명(연도)	연구내용	본 과제와 차별성
다중시나리오 기반 재난대응 의사결정지원체계(DRiMSS)기술 개발	- 시설물 위험도 기반 재난대응 의사결정지원 통합엔진개발 - 재난의사결정 지원 제방취약도 평가체계 개발 - 고정밀 공간정보 기반 시설물별 Risk 정보 표출 시스템 개발 - 시설물 Risk 정보 확산시스템개발	- 탐사에 의한 제방 내부의 직접적인 안정성 평가 기술은 포함하지 않음 - 의사결정 및 정보확산 기법의 일부는 기초 자료로 활용 가능
하천조사 및 모니터링 특화 드론 플랫폼 기반 하천관리 기술 개발(2019-2023)	○ 고기능 무인기 이용 하천조사 전문 드론 운영플랫폼 개발을 위한 요소기술 개발 및 테스트베드 운영을 통한 개발 기술 검증 - 현장조건 자율판단형 하천관리 드론 운영플랫폼 및 하천환경 예측 S/W - 드론 특화 수심 LiDAR 기반 하천지형 및 하상·하안·수위 변동 모니터링 기술 - 초분광 등 영상 기반 AI/CV 활용 현장 체감형 하천물리량 준수시간 분석 기술 - 하천조사/관리 최적화 드론	- 드론을 기반으로 한 하천지형 모니터링 기술 개발 - 위성영상을 이용한 자동탐지 기술은 포함되지 않음 - 초분광 영상 분석 기술 일부는 활용 가능
친환경 신소재를 이용한 고강도 제방 기술개발(2016-2021)	○ 친환경 신소재를 활용한 제방 보강 기술 개발 - 하천 제방 보강에 적용가능한 바이오 신소재 개발 - 바이오 신소재를 활용한 제방 보강 기술 및 제품 개발 - 바이오 신소재를 활용한 제방 보강 기법의 안정성과 환경성 검증	- 바이오폴리머를 이용한 제방 보강 기술 개발 - 미생물결합 및 제체내부 보강 기술의 실용화는 포함되지 않음 - 바이오폴리머 적용 기술은 기반 기술로 연계 가능
하천 제방관련 선진기술 개발 (2001-2004)	○제방 설계지침개발 ○불안정 제방에 대한 보강기법 개발 ○고규격 제방 및 완경사 제방 설계지침 개발 ○제방 안전진단 기기 및 기법 개발	- 제방 탐사 및 신소재를 이용한 보강기술 등을 포함하지 않음 - 제방 붕괴 분석 결과 등은 기초자료로 활용 가능

3. 우선순위 평가

가. 개요

□ 전문가 수요조사를 통해 확보한 후보과제 중 동 기획과 적합한 과제만을 도출하기 위해 산·학·연 전문가 대상으로 우선순위평가를 실시하였음

- 평가대상 : 제방 분야 산·학·연 전문가
- 평가방법 : 전문가 위원회 서면 평가, 핵심전문위원회(전문가 자문회의)
 - 1단계 : 평가항목에 기반한 전문가위원회의 서면평가
 - 2단계 : 핵심전문위원회 종합검토
- 조사기간 : 2021년 3월 18일 ~ 2021년 3월 25일, 2021년 3월 29일



[그림 125] 추진대상과제 선정 절차

- 조사내용
 - 아래 후보과제들의 시급성, 중요도, 난이도 등을 고려하여 우선순위 평가를 진행함

<표 48> 후보과제 리스트

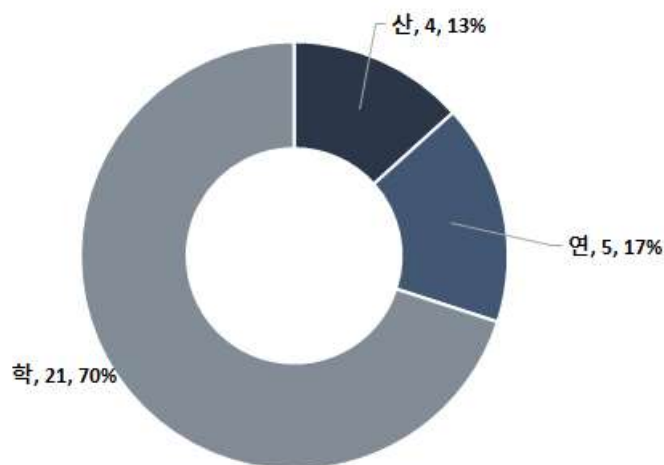
중점추진분야	후보과제
고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	CCTV형 분광 기반 제방 취약지역 누수 정밀 탐지 장비 및 모니터링 기술 개발
	드론 탑재 다분광 장비를 활용한 제방 누수 가능 지역 맵핑 기술

중점추진분야	후보과제
제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술	개발
	SAR 센서 기반 제방변위 탐지 기술
	영상 기반 제방 안정성 모니터링 기술
	하천제방의 3R(위험도, 회복도, 신뢰도) 최적화를 위한 Risk-Informed 제방관리 기술 개발 및 위험도 평가 체계 구축
	제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발
	추적자 주입과 토모그래프 방식을 통한 제방 누수와 파이핑 모니터링 기술 개발
	수치해석을 통한 제방 안정성 통합 분석 모형 개발
	제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 복합지반탐사장비 개발
미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
	미생물 교결 기반 노후 제방의 내부침식방지 및 구조적 보강 기술 개발
	노후 제방 성능향상을 위한 생물학적 지반보강 재료 최적 주입기술 개발

나. 조사참여 전문가 구성

□ 우선순위 설정에 참여한 전문가 구성은 대학이 70.0%, 연구기관이 16.7%, 기업이 13.3%임

○ 수자원분야 전문가가 대학을 중심으로 분포해 있는 점을 고려하여 산, 학, 연 전문가 구성을 하였음



[그림 126] 전문가구성 현황 분포

□ 중점추진분야별 우선순위평가 결과 3개 중점추진분야의 8개 후보과제가 선정됨

<표 49> 중점추진분야별 우선순위 평가

중점추진분야	후보과제	우선순위 평가(정성평가)	검토결과
고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	CCTV형 분광 기반 제방 취 약지역 누수 정밀 탐지 장비 및 모니터링 기술 개발	▪ CCTV 분광영상 분석은 본 기획 범위에 해당하지 않음	▪ 미추 진
	드론 탑재 다분광 장비를 활 용한 제방 누수 가능 지역 맵핑 기술 개발	▪ 드론 활용은 본 기획 범위에 해당하지 않음	▪ 미추 진
	SAR 센서 기반 제방변위 탐 지 기술	▪ 제방 손상 광역탐지의 핵심 기술로 목표 부합성이 높음	▪ 추진
	영상 기반 제방 안정성 모니 터링 기술	▪ 제방 손상 광역탐지의 핵심 기술로 목표 부합성이 높음 ▪ 연구목표를 구체적으로 나타내기 위해 제목 및 내용 일부 수정 후 추진	▪ 추진
제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술	하천제방의 3R(위험도, 회복 도, 신뢰도) 최적화를 위한 Risk-Informed 제방관리 기 술 개발 및 위험도 평가 체 계 구축	▪ 일반적인 제방관리 기술로 본 기획 범위에 해당하지 않음	▪ 미추 진
	제방의 상태파악 및 안정성 확보를 위한 정밀 물리탐사 기술 개발	▪ 정밀 탐사의 핵심기술로 목표 부합성이 높음 ▪ 연구내용의 유사성 및 규모를 고려하여 타 아이템과 통합하여 추진	▪ 추진
	추적자 주입과 토모그래프 방식을 통한 제방 누수와 파 이핑 모니터링 기술 개발	▪ 넓은 범위의 제방을 신속하게 탐사하는 목표성 측면에서 적용성이 불확실함	▪ 미추 진
	수치해석을 통한 제방 안정 성 통합 분석 모형 개발	▪ 정밀 탐사의 핵심기술로 목표 부합성이 높음 ▪ 연구내용의 유사성 및 규모를 고려하여 타 아이템과 통합하여 추진	▪ 추진
	제방내 누수지점 및 유로(공 동)구간 정밀탐사를 위한 복 합지반탐사장비 개발	▪ 정밀 탐사의 핵심기술로 목표 부합성이 높음	▪ 추진
	직접 전기비저항 탐사(DEPS) 에 의한 고해상도/고심도 제 방 탐사 기술	▪ 정밀 탐사의 핵심기술로 목표 부합성이 높음	▪ 추진
	미생물 고결 기반 노후 제방 의 내부침식방지 및 구조적 보강 기술 개발	▪ 생물학적 제방보강의 핵심기술로 목표부합성이 높음 ▪ 실용화를 위한 검증 등 내용 보완하여 추진 필요	▪ 추진
미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	노후 제방 성능향상을 위한 생물학적 지반보강 재료 최 적 주입기술 개발	▪ 생물학적 제방보강의 핵심요소기술로 목표부합성이 높음	▪ 추진

4. 추진대상과제 선정

□ 기술수요조사를 통해 후보과제를 구성하고, 전문가 서면검토 및 핵심전문위원회를 통해 후보과제들의 우선순위를 평가 후 최종 추진대상과제를 선정

○ 선정된 최종 추진대상과제는 다음과 같음

<표 50> 중점추진분야별 추진대상과제

중점추진분야	추진대상과제
고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	고해상도 위성영상 기반 제방 변화 탐지 및 다목적 하천관리 플랫폼 개발
	SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발
제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술	직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
	제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 삽입형 복합지반탐사장비 개발
	정밀탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발
미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	미생물 기반(탄산칼슘 고결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천 기술(재료) 개발
	미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발
	실규모 성능검증 및 실용화

5절. 과제체계

1. 과제체계 설정

- 동 연구개발과제의 추진체계는 세부과제간 연계성을 고려하여 스마트 제방 탐사 및 보강 기술개발 연구단으로 추진함
 - 본 기획의 목적은 홍수피해 저감을 위한 대규모 침수피해 차단기술로 도출된 중점추진분야는 제방손상 탐사/보강 분야로 분류됨
 - 하천제방 손상 탐사 및 보강 관련 중점추진분야로는 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역탐사 기술, 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술, 미생물 기반 주입 교결에 의한 노후제방 보강기술이 있음
 - 이들 중점추진분야의 성과물은 상호 연계활용되며, 이를 하나의 연구단으로 추진하는 것이 효과적임
 - 위성영상 기반으로 제방손상을 광역탐사하고, 손상이 우려되는 제방 부위에 대한 정밀 탐사를 위한 기술을 개발함
 - 손상이 우려되는 제방 부위에 적합한 친환경 재료 기반의 제방보강기술을 개발함

2. 세부과제 구성

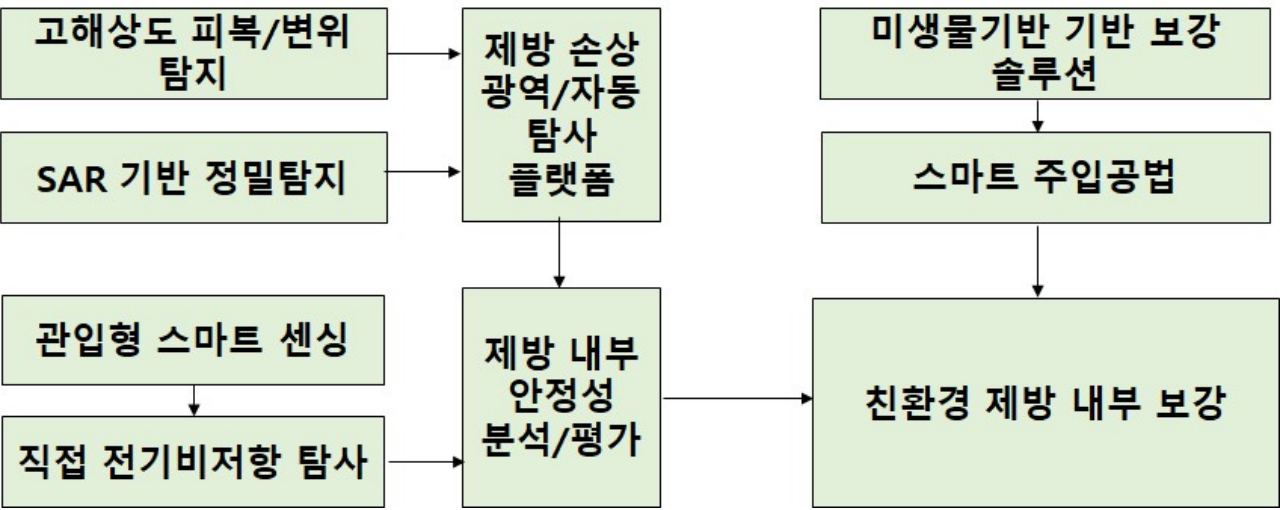
☐ 아래와 같이 연구단별 세부과제를 구성함

<표 51> 스마트 제방 탐사 및 보강 기술개발 연구단 세부과제 구성

구분	과제명
1세부과제	고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
1구성기술	고해상도 위성영상 기반 제방 변화 탐지 및 다목적 하천관리 플랫폼 개발
2구성기술	SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발
2세부과제	제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술
1구성기술	직접 전기비저항 탐사(DEPS)에 의한 고해상도/고심도 제방 탐사 기술
2구성기술	제방내 누수지점 및 유로(공동)구간 정밀탐사를 위한 삽입형 복합지반탐사장비 개발
3구성기술	정밀탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발
3세부과제	미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술
1구성기술	미생물 기반(탄산칼슘 교결, 바이오폴리머, 융합) 지반주입 핵심원천 기술(재료) 개발
2구성기술	미생물/바이오폴리머 지반 주입/혼합 공법 개발
3구성기술	실규모 성능검증 및 실용화

3. 세부과제간 연계성

□ 연구단별 세부과제의 성과물은 상호연계되며, 세부과제별 성과물의 연계관계는 다음과 같음



[그림 127] 제방 손상 스마트 탐사 및 보강 기술 연구단

4장. 세부과제별 추진내용

1. 추진배경 및 필요성

□ 장마기간 중 제방이 붕괴될 가능성이 매우 높으나, 제방 붕괴 대응 기술이 개발되지 않음

○ 2020년 8월 장마기간 중 제방 붕괴 등으로 전국적으로 대규모 피해 발생

- 사망 38명, 주택침수 8,985건, 이재민 9,834명, 도로/교량 피해 5,892건, 하천피해 2,694건 발생(행안부 피해 중간집계)
- 최근 제방 붕괴는 월류, 파이핑, 구조물 접합부 누수 등 대부분 구조적 안정 문제로 발생
- 섬진강, 금강, 낙동강 등 주요 하천 제방 붕괴로 대규모 침수 발생(남원시, 구례읍, 곡성읍 등 전국적인 시가지 침수 발생)

○ 근본적 대책 수립을 위해 환경부 홍수대책기획단 등을 구성하였으나 홍수량 조절 외의 근본적인 구조적 대책 부재

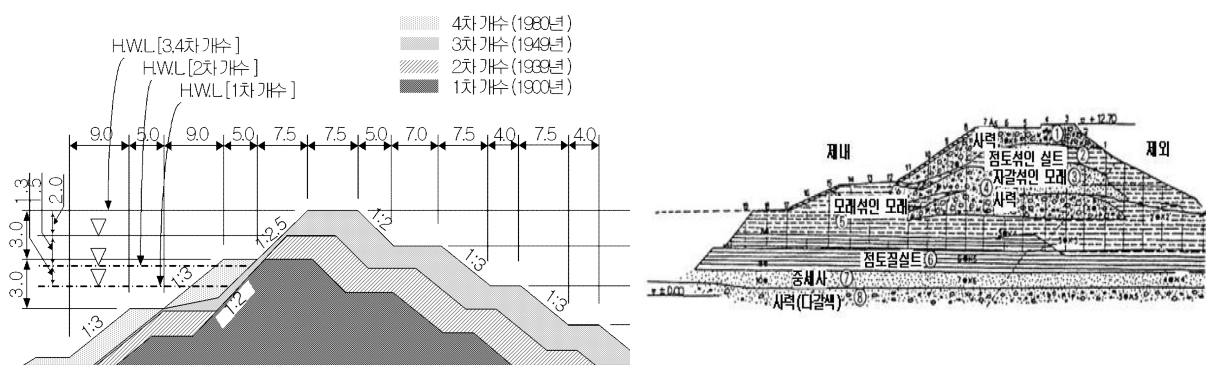
○ 대응 기술 부족으로 정부가 직접 관리하는 국가하천에 대해서도 제방의 외관 점검 및 제방 증고 외의 대책 수립이 어려움

○ 제체 내부 제체 내부 조사 및 탐사가 필요하나 현재 조사 및 분석 방법 부재

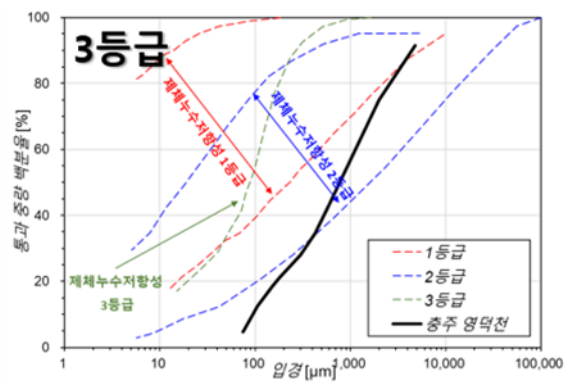
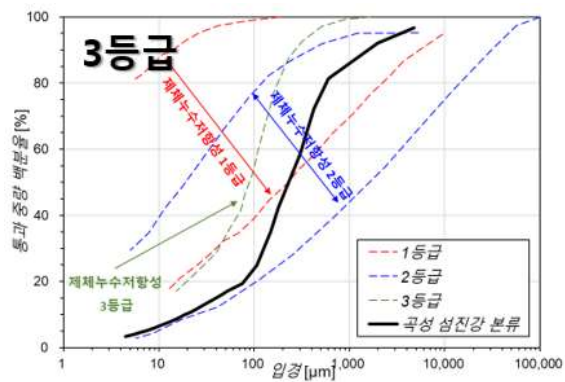
- 해외의 경우, 정기적인 제방 모니터링 및 상세 점검(지반조사 등) 기준을 마련하여 시설물에 대한 취약성 평가 및 보수·보강 시행
 - (네덜란드) 제체 지반특성, 제체 단면, 재료원 등을 고려한 유지보수 관리
 - (일본) 정기적 외관 점검 및 지반조사를 통한 상세 점검 시행(10년에 1회 이상)
- 국토부에서는 국가하천 제방에 대해 시추 조사 및 취약 제방 보강을 계획하고 있으나 대응에는 한계
- 시추 조사는 200 m 당 1 개소에 수행하므로 제체 내 결함부 파악 불가능
- 대부분의 제방 재료는 하천설계기준의 누수 저항성에 부적합한 재료이나 현실적인 개선 방법이 없어 제방 전면 개착 후 차수벽 설치 등을 계획 중임

※ 국내 제방 구조 및 관리 현황

- 제방은 구조물 전체가 신규로 축조되는 것이 아니며 수십년에 걸쳐 개축되는 구조물로
구성재료 및 구조가 복잡적
 - * 제방 기초는 대부분 홍수에 의한 자연적 퇴적물
 - * 2000년도 이전까지 제방은 하상토를 이용하였고 다짐을 하지 않음
 - * 2000년도 이후 외부의 양질의 토사로 제내측 보강
- 국내에서는 제방은 외형에 대한 표준단면도만 제시되고 내부 재료 구성과 이력이 관리
되지 않아 구조적 취약성 파악이 불가
- 일본, 미국 등에서는 제체재료 구성 및 변화이력을 관리하여 취약성 파악에 활용



<제체 재료 및 구성 이력 조사 사례>



<제체재료 누수 저항성 분석 사례>

2. 목적 및 범위

가. 목적

☐ 붕괴 원천 차단을 위한 스마트 탐사 및 스마트 보강 기술 개발

- (현재) 「제체 표면 점검 → 제체 표면 강화」 체계로 취약 지점 파악이 불가능하며, 침투 및 파이핑에 대한 강화 불가능
- (개선) 「스마트 광역 탐사 → 제체 정밀 탐사 → 스마트 보강」 체계 구축으로 제방 붕괴 원천 차단

나. 기술범위

☐ 위성영상을 이용한 전국 제방의 손상 지점을 동일한 빈도와 정확도로 자동 탐지

- 고해상도/멀티분광/SAR 등의 복합영상정보를 이용한 수평해상도 50 cm, SAR 정밀도 3.5 cm/year, 분기별 1회 이상 제방 손상 자동 탐지 기술
- 홍수 전후 제방 및 연결구조물의 이상유무를 정밀도 3.5 cm로 자동 탐지 기술

☐ 전기비저항 탐사 기술을 개선하여 노후제방, 부적합 제방, 구조물 접합부 제방, 취약 지점 등의 제체 내부 손상을 고해상도/고심도로 신속하게 탐사하는 기술

- 침투 및 파이핑을 유발하는 제방 내부 손상을 정밀하게 탐사하는 기술
- cm 규모의 손상을 심도 20m까지 1회/1시간 이내로 탐사

☐ 친환경 미생물기반 주입 고결로 제방 내부 손상을 보강하는 기술

- 화학물질이 아닌 친환경 미생물기반의 제방 보강 기술
- 제방 전면 개착이 아닌 주입 등에 의한 정밀 편셋 보강 기술
- 기존 보강 기술 대비 안정성/경제성/환경성 동시 확보 기술

3. 연구단 목표

□ 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술

- 고해상도 위성영상 기반 수평해상도 50 cm 제방 변화 탐지 및 다목적 하천관리 플랫폼 개발
 - 고해상도 위성영상과 빅데이터 기반 하천 및 제방 데이터베이스 구축
 - 시계열 고해상도 위성영상을 활용한 제방 손상 광역 탐사 기술 개발
 - 3차원 GIS 및 고해상도 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발
- SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발
 - 3차원 제방 변위 측정 (3.5 cm/year 정밀도)
 - 제방 변위 관측을 위한 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 (1 cm/year 정밀도)
 - 제방 변위 관측을 위한 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 (1 cm/year 정밀도)
 - 다중개구간섭기법을 활용한 위성 궤도 방향 지표변위 관측
 - 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발 (3 cm/year 정밀도)
 - 딥러닝 기반 위성 SAR 광역 탐사에 따른 제방 손상 지역 분석 (탐지 정확도 85%)

□ 직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술

- 제방 내부 파이프 및 접합부 안정성 탐사를 위한 직접 전기비저항탐사 기술 개발
 - 제방에 적합한 신속/경량 탐사 기술
 - 타겟 구간(10m)에 대해 심도 20m 정밀 탐사
 - 20cm 이상 규모의 유로/공동 파악
 - 신속 탐사 : 1회 탐사/시간, 1회 해석/2시간
- 제방 누수 지점 정밀 탐사를 위한 관입형 스마트 센싱기법 및 시스템 개발
 - 목표심도 2m 내외 / 20cm 내외의 센싱 해상심도 확보
 - 휴대성 및 이동성 확보를 위한 20kg 수준의 시스템 설계
 - 신속성 및 효율성 확보를 위한 1공/30분 내외의 실험

○ 정밀 탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발

- 전기비저항 신속 4D 모니터링 및 정밀 영상화 기술
- 고해상 탐사 데이터 기반 제체 안정성 분석/평가 시스템

□ 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술

○ 미생물기반 제방 주입 재료 및 솔루션 개발

- 강도 4.5Mpa, 투수계수 1×10^{-6} m/s 급 MICP 주입공법 개발
- 급속 안정화 및 차수를 위한 바이오폴리머-점토 혼합 지반 주입 재료(Biopolymer-clay grout) 개발
- 제체 내부 강도 지속성 증진을 위한 생물학적 촉진(Biostimulation) 및 미생물 첨가(Bioaugmentation) 기반 지반 교결용 접종액/영양액 신재료 개발
- 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP)-바이오폴리머(BPST) 융합 주입 재료 및 지반 보강 핵심 솔루션 개발
- 미생물 기반 탄산칼슘 고결 효율성 증진과 시공 단축을 위한 바이오폴리머 하이드로겔 기반 접종액/영양액 개발
- 1㎡ 당 미생물 주입량 100ml로 경제성 확보(기존 연구단계 최저 수준 150ml/㎡)

○ 미생물/바이오폴리머 제방 주입/혼합 공법 개발

- 노후 제방 성능향상을 위한 미생물/바이오폴리머 지반보강 혼합재료의 최적 주입기술개발 및 가이드라인 제시

○ 제방 내부 보강 기술 실규모 성능검증 및 실용화

- 제방 내부침식 모사를 위한 실험형 실험시스템 구축
- 실험형 하천 제방 모사 시험시설을 이용한 생물학적 지반보강 기술 적용 및 성능 평가
- 현장 시공법 완성 및 실제 취약 제방 적용과 기술 완성

4. 기술개발내용

가. 1세부과제(고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술)

(1) 배경 및 필요성

- 자연재난 및 제방 노후화로 인한 제방의 지속적인 손상 지역을 광역적으로 탐지하고 안전성을 지속적으로 모니터링함으로써 유지보수가 필요한 제방을 사전에 선정하고 방재계획을 수립함으로써 제방 붕괴로 인해 발생하는 피해를 최소화할 수 있음
- 최근 10년(2009~2018년)간 발생한 자연재난 피해액은 연평균 3,500억원에 달하며, 자연재난에 의한 제방 등 공공시설물의 피해액은 전체 피해액의 70%에 달할 정도로 큰 비중을 차지함
- 시계열로 획득할 수 있는 공간 해상도 1m 이하의 고해상도 위성영상은 제방의 지속적인 손상 지역을 탐지하고 재난대응을 위한 제방 관리 체계 구축에 중요한 근거 자료로 활용될 수 있음
- 우리나라는 현재 운용 중인 다목적 실용 위성 KOMPSAT-3/3A/5와 올해 3월에 발사된 국토관측 위성 CAS500-1이 공간 해상도 1m 이하의 고해상도 위성영상을 정기적으로 제공할 수 있어 제방의 안전성에 관한 정량적인 정보 제공 및 지속적인 제방 관리 체계 구축에 활용될 수 있음
- 또한 3차원 GIS와 고해상도 위성영상을 접목하여 다목적 하천관리 플랫폼을 개발함으로써 현장 방문 없이 광역지역 하천 및 제방을 지속적으로 관리할 수 있어 제방 유지보수 의사결정을 지원할 수 있음
- 국제적으로도 기후 변화에 의하여 제방 모니터링을 위한 연구 다수 수행
- 다만, 위성 원격탐사를 기반으로 한 제방 모니터링 연구가 수행되고는 있으나 아직까지 그 기술적 어려움에 따라 제한적으로 적용중
- 주로 제방의 수직 지표변위에 대하여 위성레이더 기반 시계열 지표변위 관측 기법을 적용하여 관측한 바 있으나, 실질적으로 더욱 큰 피해를 야기할 수 있는 수평 변위 양상에 대해서는 분석된 바 없음
- 제방의 3차원 지표변위 관측 기법을 개발함으로써 제방의 안정성에 대한 다각적인 해석이 가능할 것으로 예상
- 또한 이 기술은 국제 선도적으로 활용되어 신산업을 창출할 수 있을 것이라 판단되어 매우 중요함

(2) 세부과제 목표

☐ 고해상도 위성영상 기반 제방 변화 탐지 및 다목적 하천관리 플랫폼 개발

- 고해상도 위성영상과 빅데이터 기반 하천 및 제방 데이터베이스 구축
- 시계열 고해상도 위성영상을 활용한 수평해상도 50 cm, SAR 정밀도 3.5 cm/year 제방 손상 자동 탐지 기술 개발
- 3차원 GIS 및 고해상도 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발

☐ SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발

- 제방 변위 관측을 위한 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 (1 cm/year 정밀도)
- 제방 변위 관측을 위한 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 (1 cm/year 정밀도)
- 다중개구간섭기법을 활용한 위성 궤도 방향 지표변위 관측
- 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발 (3 cm/year 정밀도)
- 3차원 제방 변위 측정 (3.5 cm/year 정밀도)
- 딥러닝 기반 위성 SAR 광역 탐사에 따른 제방 손상 지역 분석 (탐지 정확도 85%)

(3) 연차별 추진계획

☐ 1차년도

- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계
 - 제방 유형별 손상 국내외 사례 조사
 - 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐사 기술 국내외 사례 조사
 - 시계열 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계
 - 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발 국내외 사례 조사
- 다중시기 위성 SAR 영상 수집 및 처리

- 위성 SAR 영상수집 및 촬영 환경 분석
- 시간기선(Temporal baseline) 및 수직기선(Perpendicular baseline)을 고려한 위성 SAR 간섭쌍 선정

□ 2차년도

○ 고해상도 위성영상과 빅데이터 기반 하천 및 제방 데이터베이스 구축

- 테스트베드 선정 및 시계열 고해상도 위성영상 획득
- WAMIS/RIMGIS 등으로부터 국내 주요 하천 및 제방 정보 획득
- 위성영상 및 빅데이터(WAMIS/RIMGIS) 기반 국내 주요 하천 및 제방 데이터베이스 구축
- 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 알고리즘 설계

○ 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 다중시기 영상 적층기법

- 위성 SAR 차분간섭영상의 지형 및 궤도 왜곡 저감
- 위성 SAR 차분간섭영상 분류 및 최종 시계열 간섭쌍 결정
- 다중시기 영상 스택킹을 통한 평균 지표변위 영상 제작
- 관측 결과 분석 및 검증

○ 제방 변위 관측을 위한 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술

- 양질의 차분간섭영상 선정하여 초기 선형 지표변위 및 지형 왜곡 분석
- 반복적인 대기오차 보정과 참조위상 보정에 따라 시계열 지표변위 개선
- 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 및 검증

□ 3차년도

○ 시계열 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐지 기술 개발

- 고해상도 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 고정밀 매핑 기술 개발
- 시계열 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 손상 탐지 기술 개발
- 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 프로토타입 개발

- 제방 변위 관측을 위한 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술
 - 위성 SAR 차분간섭영상 분석에 의한 기준 영상 결정
 - 영상 내의 안정적인 고정산란체 결정
 - 고정산란체의 선형 지표변위 및 지형 왜곡 분석
 - 대기 오차 저감 및 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 및 검증
- 다중개구간섭기법을 활용한 위성 궤도 방향 지표변위 관측 기술
 - 아지무스 공통 주파수 필터에 의한 전시 및 후시 SLC (Single Look Complex) 제작
 - 전시 및 후시 간섭 영상 제작 및 궤도 및 지형 왜곡 저감
 - 위성 궤도 방향 지표 변위 관측 및 검증

□ 4차년도

- 3차원 GIS 및 고해상도 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발
 - 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 모듈 개발
 - 위성영상/빅데이터 기반 하천 및 제방 정보와 외부정보 연동 기술 개발
 - 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발
- 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발
 - 위성레이더 간섭쌍들에 대한 잔여 전시 및 후시 간섭영상 생성
 - 전시 및 후시 간섭 적층 영상 생성
 - 초기 다중개구간섭 적층 영상 생성
 - 다중개구간섭 적층 영상의 이온층 및 궤도 왜곡 보정
 - 관측 품질 검증
- 3차원 제방 변위 측정
 - 상향 및 하향 궤도의 평균 지표변위 획득 (차분간섭기법 및 다중개구간섭기법의 적층 기법 활용)
 - 위성 SAR 상향 및 하향 궤도 정보 및 촬영 정보 분석

- 궤도 정보에 기반한 3차원 지표변위 복원
- 제방의 3차원 변위 분석 및 제방 손상지역의 변위 양상 분석

□ 5차년도

- 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 및 다목적 하천관리 플랫폼 검증
 - 시계열 위성영상 기반 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 검증
 - 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 검증 및 사용자 매뉴얼 작성
 - 지자체 및 관련 기관 보급을 위한 지자체/기관별 하천관리 플랫폼 연계 방안 수립
- 딥러닝 기반 위성 SAR 광역 탐사에 따른 제방 손상 지역 분석
 - 관측 결과로부터 이상 신호 지역 확인
 - 제방 손상지역 분석을 위한 학습용 AI 데이터 제작
 - 제방 변위 탐지 결과로부터 제방 손상 지역을 탐지하는 딥러닝 모델 개발
 - 모델 고도화 (Fine tuning) 및 탐지 성능 분석
- 위성 SAR 영상 기반 제방 손상 탐사기술의 작업 절차 확립
 - 제방의 유형별 자료처리 방법 포함
 - 고품질 차분간섭영상 선정을 위한 기준 정리
 - 제방 손상 위치의 신호적 특징 및 딥러닝 기법 적용방안 정리

(4) 기존 기술성과 연계활용 방안

- 제방의 존재 유무, 제방의 손상 여부, 데이터 획득 가능성을 고려하여 적절한 테스트베드 선정 및 시계열 고해상도 위성영상의 획득 계획 수립
- 연구의 년차별/단계별 실현 가능한 목표를 수립하고 그에 적합한 구체적인 추진전략 및 일정계획 수립
- 제방 손상 탐지 및 하천관리 플랫폼 관련 기 수행(종료과제) 및 현재 수행 중인 연구개발 결과와의 구체적인 연계, 통합 및 활용 방안을 연구 계획에 포함

- ☐ 개발 결과물의 논문 게재, SW 등록, 기술 이전, 특허 출원 등을 통해 개발 기술의 공인된 검증, 실수요처 기술이전 추진 및 현장 활용성 도모
- ☐ 기존 위성 SAR를 활용한 지표변위 관측 기법 관련 연구개발 과제 연구 결과와의 구체적인 연계 방법을 연구 계획에 포함

(5) 최종성과물

☐ 1차년도

- 제방 유형별 손상 국내외 사례 조사 보고서
- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐사 기술 국내외 사례 조사 보고서
- 시계열 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계도
- 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발 국내외 사례 조사 보고서
- 국내 주요 제방에 대한 위성 SAR 빅데이터 확보
- 국내 주요 제방에 대한 위성 SAR 차분간섭영상

☐ 2차년도

- WAMIS/RIMGIS 등으로부터 확보한 국내 주요 제방 및 하천 현황 정보
- 테스트베드 지역에서 확보한 시계열 고해상도 위성영상
- 위성영상/WAMIS/RIMGIS 를 활용하여 구축한 하천 및 제방 데이터베이스
- 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 알고리즘 설계도
- 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 다중시기 영상 적층 기법 개발
- 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 분포산란계 기반 시계열 지표변위 관측 기술 개발

☐ 3차년도

- 고해상도 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 고정밀 매핑 기술

- 시계열 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 손상 탐지 기술
- 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 프로토타입
- 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 개발
- 다중개구간섭기법을 활용한 제방의 위성 궤도방향 지표변위

☐ 4차년도

- 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 모듈 개발
- 위성영상/빅데이터 기반 하천 및 제방 정보와 외부정보 연동 기술
- 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 (SW)
- 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발
- 3차원 제방 변위 분석 및 제방 손상 지역의 변위 양상 확보

☐ 5차년도

- 시계열 위성영상 기반 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 검증 보고서
- 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 검증 보고서 및 사용자 매뉴얼
- 지자체 및 관련 기관 보급을 위한 지자체/기관별 하천관리 플랫폼 연계 방안 수립 계획 보고서
- 위성 SAR 지표변위 자료를 활용한 손상 제방 탐지 딥러닝 모델
- 위성 SAR 및 딥러닝 기법을 활용한 제방 손상 탐사 기술의 작업 절차

(6) 기대효과

- ☐ 제방 취약부 자동탐사 기술 확보로 국내 제방 관리 체계 및 기술을 획기적으로 개선
- ☐ 인력에 의한 제방 외관 검사를 대체하여 제방의 안정성 향상 및 유지관리비용 절감
- ☐ 체계적 안정성 검사 시스템 도입으로 하천관리의 근본적 혁신 가능
- ☐ 손상부 자동탐사 체계 구축시 세계 최초 사례로 국외 기술 확산 가능

나. 2세부과제(직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술)

(1) 배경 및 필요성

- 제체 내부에 발생하는 유로 및 공동 등의 결손에 의한 제방 붕괴 등의 피해가 증가하고 있고, 파이핑과 구조물 접합부 누수는 제체 내부에 유로나 공동이 형성되어 발생하나 현재 제체 조사에 적용할 수 있는 실무적인 사전 탐지 기술은 부재함
 - 기존 지반 물리탐사 기술을 적용할 수 있으나 비용/시간에 비해 정확도가 보장되지 않음
 - 기존의 지반조사 중장비는 탐사가능 심도(20m 내외)가 비교적 깊으나, 접근성의 한계로 댐 제방에 적용하기 어려움. 특히, 많은 구간 혹은 지점의 표층에 대한 정밀탐사가 요구되는 댐 제방의 경우, 1공/2시간 내외의 기존 지반조사 속도는 매우 비효율적임. 대표적인 기존 지반조사 장비인 표준관입시험기는 해머의 무게만 63.5kg으로, 부가적인 장비 및 시스템 포함시 ton 단위의 중장비임 (본 연구: 장비 및 시스템 포함 20kg 수준)
 - 장기적으로 물리탐사기법의 효율과 정확도 향상을 통해 제방 탐사에 활용하는 것이 적합
 - 심도에 따른 함수비를 직접적으로 측정하는 장비 및 시스템 개발은 선행연구가 미비하며, 누수 및 유로구간을 추정하는데 효율적인 함수비 추정용 관입형 스마트 센싱기법의 개발을 통해 차별성을 극대화하고자 함
 - 미국, 유럽, 중국 등에서는 전자기장 시험을 제방 파이핑 탐사에 적용하고 있으나 연구단계임
 - 현재 기술 수준으로는 깊은 탐사심도에서 고해상도 탐사가 불가능함
 - 본 연구에서는 전기비저항 탐사기법을 바탕으로 높은 해상도와 파이프 형태의 유로 등을 탐사할 수 있는 알고리즘 개발 및 제방 적용 탐사 시스템을 개발하고자 함

(2) 세부과제 목표

- 제방 내부 파이핑 및 접합부 안정성 탐사를 위한 직접 전기비저항탐사 기술 개발
 - 제방에 적합한 신속/경량 탐사 기술
 - 타겟 구간(10m)에 대해 심도 20m 정밀 탐사
 - 20cm 이상 규모의 유로/공동 파악
 - 신속 탐사 : 1회 탐사/시간, 1회 해석/2시간

□ 제방 누수 지점 정밀 탐사를 위한 관입형 스마트 센싱기법 및 시스템 개발

- 목표심도 2m 내외 / 20cm 내외의 센싱 해상심도 확보
- 휴대성 및 이동성 확보를 위한 20kg 수준의 시스템 설계
- 신속성 및 효율성 확보를 위한 1공/30분 내외의 실험

□ 정밀 탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발

- 전기비저항 신속 4D 모니터링 및 정밀 영상화 기술
- 고해상 탐사 데이터 기반 제체 안정성 분석/평가 시스템

(3) 연차별 추진계획

□ 1차년도

- 직접-전기비저항 탐사시스템(DEPS)의 제방 적용기법 고안
 - 유로 및 공동 등의 형태 및 크기를 고려한 제방 적용용 탐사기법 고안
 - 제방(토사지반) 탐사를 위해 적합한 센서 및 센서시스템에 대한 고안
- 관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발
 - 제방내 누수 지점 실시간 추정 기법 개발
 - 심도별 함수비 측정을 위한 관입형 센서 모듈 설계
 - borehole을 이용한 심도별 이미지 촬영 기술 개념 설계
- 실시간 제방 안정성 분석 시스템 구축을 위한 프로토타입 모델 개발
 - 전기비저항 모니터링 자료획득 기술 개발
 - 누수에 의한 점진적인 제체 내부 침식 모델 개발
 - 보강재료의 공학적 특성을 반영하기 위한 재료 모델 개발

□ 2차년도

- 제체 내 공동, 유로 등을 탐사/해석할 수 있는 알고리즘 개발
 - 유로의 형태 및 크기 탐사/해석할 수 있는 알고리즘 개발
 - 수로 하부 침하에 의해 발생한 공동을 예측할 수 있는 알고리즘 개발
- 관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발
 - 관입형 스마트 센서 모듈 시제품 제작 및 성능 평가
 - 성능 평가 및 시제품 개선
- 실시간 제방 안정성 분석 시스템 핵심 요소 기술 개발
 - 전기비저항 모니터링 자동 자료처리 기술 개발
 - 침투압-쇄굴 연계해석을 위한 개별요소법 및 유한체적법 연계 모델 개발
 - 바이오 폴리머 주입재의 공학적 성능 모델링

□ 3차년도

- 탐사 알고리즘 개선을 통한 해석결과 신뢰도 향상
 - 다중 유로 및 공동에 대한 탐사가 가능하도록 알고리즘 개선
 - AI기법을 이용한 다양한 유로의 형태 및 지장물에 대한 탐사 신뢰도 향상
- 초소형 이미지 촬영기법 개발 및 융복합 센서 모듈 설계
 - 이미지 시각화를 통한 누수 및 유실 분석 기술 개발
 - 융복합 센서 모듈 설계
- 실시간 제방 안정성 분석 시스템 자동화 및 고도화
 - 전기비저항 모니터링의 시간적 변화 영상화를 위한 시간경과 역산 또는 4차원 역산 기술 개발
 - 침투압-쇄굴 연계해석을 통한 유로 형성과정 모델링
 - 역해석을 통한 제방 상태평가 기술 개발

☐ 4차년도

- 현장 환경조건을 고려한 실험 수행을 통한 탐사/해석 시스템 검증
 - 현장 환경조건을 고려한 실험 수행을 통해 해석 결과 및 알고리즘 검증
 - 제방용 최적의 센서 및 센서시스템 개발 및 검증
- 제방 강도 및 강성 파악을 위한 융복합 센싱 기술 개발
 - 융복합 센싱 모듈 시제품 제작
 - 현장 적용 및 성능 평가
- 실시간 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 기술 개발
 - 전기비저항 모니터링 자료의 정밀 영상화 해석 기술 개발
 - 제방 보강 전후 탐사결과/보강재료의 공학적 특성을 반영한 안정성 분석/평가 시스템 개발

☐ 5차년도

- 탐사시스템 시제품 제작 및 현장 적용을 통한 보완
 - 실제 현장 적용을 통한 개발된 해석 프로그램의 신뢰도 등을 검증
 - 검증을 바탕으로 탐사시스템에 대한 신뢰도 확보 및 시스템 개선
- 제방 강도 및 강성 파악을 위한 융복합 센싱 기술 개발
 - 현장 적용 및 성능 평가
 - 융복합 센싱기술 보완 및 실용화

(4) 기존 기술성과 연계활용 방안

- ☐ 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립
- ☐ 개발결과물의 특허출원 등을 통한 실수요처 기술이전 추진 및 현장 활용성 도모
- ☐ 현장에서의 제방탐사 기술을 적용한 연구 수행 및 관련 수요처와의 업무협력 실시

- 본 연구는 제방관리 기술 실용화를 목표로 하며, 주 수요처(국토부, 환경부 등)의 의견을 지속적으로 수렴하여 현장 활용성을 극대화하는 형태로 성과 도출

(5) 최종성과물

□ 1차년도

- 직접 전기비저항 센싱 시스템
- 심도별 함수비 측정을 위한 관입형 센서 모듈 설계
- 제방 제체 내부 침식 시뮬레이션 모델

□ 2차년도

- 직접 전기비저항에 의한 정밀 탐사/해석 알고리즘
- 정밀탐사 기반 공동 예측 알고리즘
- 관입형 스마트 센서 모듈 시제품
- 바이오 폴리머 주입재 재료모델

□ 3차년도

- AI 기반 다중 유로 및 공동 탐사 알고리즘
- 관입형 스마트 센싱 시스템 개발(목표심도 1.5m, 센싱해상도 30cm, 무게 30kg, 탐사 속도 1공/60분)
- 전기비저항 모니터링의 4D 영상화 기술
- 융복합 센서 모듈 설계

□ 4차년도

- 직접 전기비저항 센싱 시스템
- 융복합 센싱 모듈 시제품
- 현장 성능 평가 결과

☐ 5차년도

- 제체 내부 정밀 탐사기술(탐사심도 20 m, 해상도 20 cm 급)
- 관입형 스타트 센싱 시스템(목표심도 2m, 센싱해상도 20cm, 무게 20kg, 탐사 속도 1공/30분)
- 직접 전기비저항 현장 성능 평가 결과

(6) 기대효과

- ☐ 노후제방, 부적합 제방, 구조물 접합부 제방, 취약 지점 등의 제체 내부의 손상을 고심도/고해상도로 신속하게 탐사가 가능함
- ☐ 특히 측정된 전기비저항 값과 DEPS를 이용한다면 제방 내 유로 및 공동의 존재, 상태, 크기, 위치 등을 예측
- ☐ 정밀탐사 기반 제방 안정성 분석 및 보강 대책 수립 가능
- ☐ DEPS 적용을 통해 제방 붕괴 등의 사고 예방이 가능하며, 이를 통해 피해 예방 및 경제적인 효과 발생

다. 3세부과제(미생물 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술)

(1) 배경 및 필요성

- ☐ 국내 제방 및 수변지반구조물의 노후화로 인한 위협 증가에 대응할 수 있는 친환경 보강 기술의 확보가 시급함
 - 최근 정부에서는 그린뉴딜 정책(규모 73조원)과 2050 탄소중립 추진전략 등 친환경 정책을 꾸준히 추진 중임. 따라서 건설분야에서 이산화탄소 및 기후변화로 인한 재해 위험을 저감 친환경 재료·공법에 대한 관심 증대
 - 기존 그라우팅 주입재의 환경 유해성 문제를 대체할 친환경 보강재료 개발 필요성 증대
 - 미생물/바이오폴리머 기반 노후제방 내부보강을 위한 혼합 및 주입공법의 연구가 필요함

- 국내에서는 안전한 하천 제방 운영 및 관리를 위해 「하천제방의 유지보수 매뉴얼(국토교통부 2018)」을 마련하여 월류, 세굴, 침식 등에 대한 점검 및 평가 잣대는 제시하고 있으나, 위험·취약 부분에 대한 보수·보강에 대한 가이드라인은 부족한 실정임
- 미국과 유럽 각국은 그린딜을 통해 권역 기후법을 제정하여, 기후 협정을 통해 유기적인 탄소저감을 모든 산업 분야에 걸쳐 추진 중에 있음. 특히 노르웨이에서는 2009년부터 저탄소 지속가능 개발을 목표로 하는 저탄소 개발 전략(LCDS)을 실시, 친환경·저탄소 건설재료 개발을 적극 권장하고 있음
- 기후변화로 인해 잦아진 호우와 홍수로 인해 제방과 댐 붕괴 사례가 급증하고 있어 이에 대한 대안기술 수립 마련이 시급한 실정임
- 미국은 2016년 Green River SWIF를 통해 그린 리버의 노후화된 제방 시스템에 대해 지적, 이 프로젝트를 통해 그린 리버 일대 제방을 보수하고, 식생 및 홍수를 최소화 하는데 힘씀. 이를 통해 미국 내 제방의 노후화가 심각하고, 이를 개선하기 위해 많은 노력을 가하고 있다는 사실을 알 수 있음
- 영국 캠브리지 대학에서는 토사 제방의 접촉 침식을 완화하기 위해 MICP를 적용하여 실험을 하였음. 이를 통해 국외에서의 시도 이력 및 유망성을 확인함

(2) 세부과제 목표

□ 미생물기반 제방 주입 재료 및 솔루션 개발

- 급속 안정화 및 차수를 위한 바이오폴리머-점토 혼합 지반 주입 재료(Biopolymer-clay grout) 개발
- 체제 내부 강도 지속성 증진을 위한 생물학적 촉진(Biostimulation) 및 미생물 첨가(Bioaugmentation) 기반 지반 고결용 접종액/영양액 신재료 개발
- 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP)-바이오폴리머(BPST) 융합 주입 재료 및 지반 보강 핵심 솔루션 개발
- 미생물 기반 탄산칼슘 고결 효율성 증진과 시공 단축을 위한 바이오폴리머 하이드로겔 기반 접종액/영양액 개발
- 흙 1m³ 당 미생물 주입량 100ml로 경제성 확보(기존 연구단계 최저 수준 150ml/m³)

□ 미생물/바이오폴리머 제방 주입/혼합 공법 개발

- 노후 제방 성능향상을 위한 미생물/바이오폴리머 기반보강 혼합재료의 최적 주입기술개발 및 가이드라인 제시

□ 제방 내부 보강 기술 실규모 성능검증 및 실용화

- 제방 내부침식 모사를 위한 실험시스템 구축
- 실험 하천 제방 모사 시험시설을 이용한 생물학적 기반보강 기술 적용 및 성능 평가
- 현장 시공법 완성 및 실제 취약 제방 적용과 기술 완성

(3) 연차별 추진계획

□ 1차년도

- 신재료 특성 평가 및 발굴
 - 바이오폴리머-점토 혼합 조건별 특성 파악
 - 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진 신재료 발굴
 - 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP)-바이오폴리머(BPST) 교차 주입을 위한 실험시스템 구축
 - 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진을 위한 하이드로겔 영양액 후보물질 발굴
- 주입/혼합공법 영향인자 분석 및 보강재 후보군 도출
 - 미생물/바이오폴리머 주입/혼합공법 개발을 위한 영향인자 분석
 - 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 공학적 특성 조사 및 분석
 - 노후제방 성능향상을 위한 미생물/바이오폴리머 보강재 후보군 도출
- 제방 내부침식 모사를 위한 실험시스템 구축 핵심 요소 구축
 - 문헌조사를 통한 세계 최고 수준 제방 내부침식 실험 규격 조사
 - 소규모 수로를 이용한 제방 내부침식 모사법 검증
 - 현장 모니터링 시스템 구축

□ 2차년도

○ 후보재료 도출 및 주입 효율성 평가/검증

- 바이오폴리머-점토 혼합 주입 후보재료 도출
- 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진을 위한 접종액 개발
- 선MICP-후BSPT 교차 주입 효율성 평가
- 하이드로겔 영양액의 MICP 고결 효율 검증

○ 미생물/바이오폴리머 보강재의 유동특성 및 영향인자 평가

- 보강재의 유동특성 영향인자(표면접촉각, 점성, 계면장력, 겔타임 등) 평가
- 보강재의 종류 및 농도에 따른 유동특성 영향인자 데이터베이스 구축
- 2차원 마이크로 스케일의 미생물/바이오폴리머 유동특성 평가
- 3차원 실내모형실험을 위한 보강재 후보군 레시피 도출
- 3차원 실내모형실험을 통한 미생물/바이오폴리머 종류 및 농도에 따른 유동특성 평가

○ 신탈형 제방 모형 내부침식 모사 실험시스템 구축

- 대형 하천 수로 시험시설을 이용한 제방 모형 내부침식 시험시스템 완성
(내부계측, 수압계, 광섬유센서, 용존산소센서, 모관흡수센서 등)
- 제방 내부 침식 실시간 추적을 위한 3차원 모니터링 기법 완성
(영상분석, PIV 분석, 현장 비파괴 물리탐사 등)

□ 3차년도

○ 최적재료 개발 및 선BPST-후MICP 주입을 위한 핵심 요소 도출

- 바이오폴리머-점토 주입재료의 지반공학적 거동 평가 및 최적재료 도출
- 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진을 위한 영양액 개발
- 선BPST 주입 처리 사질토에 대한 MICP 주입 조건 평가
- 선BPST-후MICP 주입을 위한 최적 MICP 접종액/영양액 조건 도출
- 하이드로겔 영양액 MICP 고결 후의 지반공학적 물성 평가

○ 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 특성 평가 및 후보군 레시피 도출

- 개별/혼합 재료의 주입에 따른 보강지반 단기강도 성능 평가
- 주입공법으로 보강된 지반의 환경 영향에 따른 장기강도 성능 평가
- 개별/혼합 및 주입에 따른 보강지반 단기차수 성능 평가
- 주입공법으로 보강된 지반의 환경 영향에 따른 장기차수 성능 평가
- 주입공법 기반 최적의 미생물/바이오폴리머 보강재료 후보군 레시피 도출

○ 생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가(1단계)

- 고위험 제방 모형에 대한 바이오폴리머-점토 주입 시공 후 실대형 내부침식 평가
- 선MICP-후BPST 주입 보강 제방에 대한 내부침식 평가

□ 4차년도

○ 주입액 검증 및 기법별 주입 기법 개발

- 대형 토조 및 실대형 제방 모형에 대한 바이오폴리머-점토 주입액 적용
- MICP 개량 접종액/영양액의 최적 주입 조건 도출
- 최적 선BPST-후MICP 주입 재료 및 조건 도출
- MICP 효율 극대화를 위한 최적 하이드로겔 영양액 완성

○ 미생물/바이오폴리머 주입공법 개발 및 예측 모델 개발

- 중·대형 실내모형실험을 통한 미생물/바이오폴리머 보강재 주입특성 평가 및 주입공법 개발
- 보강재 주입효율 예측을 위한 수치해석 모델 개발
- 2차/3차원 실내모형 실험과의 비교·분석을 통한 수치해석 모델 검증

○ 생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가(2단계)

- 접종액/영양액 개량된 MICP 보강 실대형 제방에 대한 내부침식 평가
- 하이드로겔 기반 영양액 적용된 MICP 보강 제방에 대한 내부침식 평가
- 선BPST-후MICP 주입 보강 제방에 대한 내부침식 평가

□ 5차년도

○ 기법별 주입 기법 검증 및 실용화

- 급속 차수·차폐 조건에 대한 바이오폴리머-점토 주입액 현장 적용 및 실용화 추진
- 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 극대화 접종액/영양액 신재료 검증 및 실용화 추진
- 최적 BPST-MICP 융합 주입 재료 검증 및 실용화 추진
- 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진을 위한 하이드로겔 영양액 신재료 검증 및 실용화 추진

○ 미생물/바이오폴리머 주입효율 예측 프로그램 및 가이드라인 개발

- 중·대형 실내모형 실험과의 비교 분석을 통한 프로그램 검증 및 보완
- 중·대규모 실내실험을 통한 미생물/바이오폴리머 주입 성능 평가
- 현장 적용을 위한 주입간격, 주입압력 등 가이드라인 제시

○ 조건별 최적 생물학적 보강 공법 검증 및 기술 완성

- 제방 취약 조건별(광역침투, 부분침식 등) 최적 생물학적 보강 공법 평가
- 현장 적용을 통한 기술 완성

(4) 기존 기술성과 연계활용 방안

- ☐ 생물학적 지반보강 관련 전문 연구기관의 참여를 통해 연구 성공률을 높이고, 세계 최초·선도 연구 수행으로 연구의 파급력 강화
- ☐ 나노스케일의 결합메커니즘 규명과 다양한 역학적 거동 평가를 통해 현장 주입 후 거동과 지속성(내구성)을 정확하게 평가하여 기술의 신뢰성 확보
- ☐ 다수의 국제논문과 지적재산권 확보를 통해 국제적인 기술 우위를 점하고, 실규모 현장실험과 현장시공을 통해 기술의 완성도를 높임
- ☐ EFA, Hole Erosion Apparatus와 같은 실내실험에서부터 대형 수로시험기, 실규모 제방 모형실험과 같은 실대형 검증으로 이어지는 연구를 통해 결과물의 실용화 및 상용화 가능성 극대화
- ☐ 현장 시공·설계기술자 및 연구인력의 자문을 통한 미생물/바이오폴리머 주입재 현

장 활용성 확보

- ☐ 미생물/바이오폴리머 보강재 개발 연구팀과의 협업에 의한 최적의 보강재 후보군 선정 및 레시피 개발.
- ☐ 노후 제방 보강업체와의 협업을 통해 현장 적용 가능한 주입공법 개발
- ☐ 현장 특성에 맞는 미생물 기반 주입재료 개발을 통해 다양한 지반에 적용할 수 있는 친환경 신소재 보강공법을 개발할 수 있도록 다양한 범위를 설정
- ☐ 실용화를 위해 다양한 지반조건을 가진 노후 제방 현장 적용을 위해 하천관리자 등과 협력체계를 구축하여 추진

(5) 최종성과물

☐ 1차년도

- 바이오폴리머-점토의 화학적 결합 매커니즘 이론 완성
- MICP 주입, BPST-MICP융합 주입을 위한 실내 실험시스템
- 미생물/바이오폴리머 기반 보강재의 공학적 특성 데이터베이스 구축
- 미생물/바이오폴리머 기반 보강재 후보군 선정
- 실대형 제방모형의 내부침식 계측 시스템

☐ 2차년도

- MICP 고결 효율성 증진을 위한 우수 점종액(미생물)
- 최적 선MICP-후BPST 주입 조건 레시피
- 미생물/바이오폴리머 유동특성 영향인자 데이터베이스 구축
- 미생물/바이오폴리머 기반 보강재 주입 모델 개발
- 실대형 제방모형의 내부침식 모사 실험법

☐ 3차년도

- 최적 바이오폴리머-점토 주입재료
- MICP 고결 효율성 증진을 위한 우수 영양액
- 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 역학적 특성변화 예측 모델 개발
- 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 수리학적 특성변화 예측 모델 개발
- 각 생물학적 보강 기술을 적용한 실험형 제방 내부침식 실증실험

☐ 4차년도

- 바이오폴리머-점토 주입액 레시피 및 현장적용
- 최종 MICP 효율성 증진을 위한 점종액/영양액 주입 레시피
- 최적 선BPST-후MICP 주입 조건 레시피
- 최적 하이드로겔 기반 영양액 신재료
- 미생물/바이오폴리머 주입공법 개발
- 미생물/바이오폴리머 보강재의 주입효율 예측 모델 개발
- 각 생물학적 보강 기술을 적용한 실험형 제방 내부침식 실증실험 및 성능평가 결과

☐ 5차년도

- 신재료 및 주입 레시피 완성
- 현장 조건을 고려한 보강재의 주입효율 예측 프로그램 개발
- 미생물/바이오폴리머 기반 보강재의 혼합 및 주입공법 활용 매뉴얼 개발
- 현장 시공 및 모니터링 결과

(6) 기대효과

- ☐ 제방 내부 손상에 대응하는 신기술 확보로 제방 붕괴에 의한 대규모 침수피해 원천 차단 → 침투 및 파이프 피해 차단으로 제방 붕괴에 의한 침수 피해 20% 이상 감소 예상

※ 대규모 침수피해를 유발하는 제방 붕괴 유형은 월류, 침투/슬라이딩, 파이핑 등의 3가지 유형으로 나타나며 국내 제방 붕괴 사례 조사결과(하천제방 관련 선진기술개발, 2004)에 의하면 월류 붕괴 66%, 침투/슬라이딩 16%, 파이핑 18% 등으로 침투 및 파이핑 피해 건수가 전체의 34% 정도로 최대 34% 정도의 피해감소가 예상되나 국내 제방 전체에 기술이 적용되는 시기를 고려하여 20% 감소로 추정

□ MICP의 내구성 및 지속성이 우수하여 지반보강 사례로 추정하면 최초 시공시에 설치된 주입관을 통해 3~4년 에 1회 정도의 추가 주입이 예상되므로 내구성 및 경제성 동시 확보 가능

□ 세계 최초의 친환경 제방 내부 손상 대응 기술 확보로 국제적 기술 선도 → 국제적 신규 시장 창출로 시장 주도 가능

□ 새로운 기술 분야로 관련 기술 특허 선점을 통해 국제적 기술 우위 유지

□ 기존 제방 보강 기법 대비 경제성 및 시공성 확보로 제방 유지관리비용 절감 → 개착 보강 대비 유지보수비용 50% 절감

※ 제체내부 손상구간 보수비용 비교(콘크리트 보강 VS MICP 적용)

- 콘크리트 보강 : 제체 개착/복원+콘크리트 타설

- MICP 적용 : 주입관 설치+주입액 주입

- 콘크리트 보강 시에는 제방 단면 개착과 복원을 위한 대규모 토공에 전체 비용의 대부분이 투입(최소 50% 이상 예상). 주입관을 통한 유지보수는 대규모 토공이 필요하지 않으므로 최소 50% 이상의 비용 절감 가능

- 일반적인 콘크리트 타설 비용은 150,000원/㎡이며 미생물 주입 자가치유 콘크리트는 216,000원/㎡으로 66,000원/㎡의 추가 비용이 발생하므로 이를 미생물 주입에 의한 추가 비용으로 추정 가능

- 자가치유 콘크리트 대비 MICP는 주입 및 미생물 서식환경 조성이 용이하여 미생물 투입량이 50% 이하로 예상되므로 비용 절감 가능하며 주입관 설치 비용 등을 고려하면 최대 비용은 66,000원/㎡을 초과하지 않을 것으로 예상

- 즉, 현 시점에서 정확한 비용 비교는 어렵지만 이상의 상황을 고려하면, 동일 손상부에 콘크리트 타설로 보수시 비용은 150,000원/㎡이며, MICP 적용시 66,000원/㎡ 이하로 추정 가능

- 이상과 같이 제방 개착과 복원 비용에서 최소 50% 이상 비용 절감이 가능하며 순수 보수 비용에서도 상당한 비용 절감이 예상되며 3-4년에 1회 정도의 추가 주입 비용을 고려하더라도 150,000원/㎡를 초과하지 않을 것으로 예상됨

□ 국내 다수의 노후 제방 보강에 적용가능한 신기술 확보로 제방유지관리 체계 강화

□ 국내외적으로 파급효과가 큰 기술로 실용화 및 상용화를 통한 경제 활성화 가능

5. 기술로드맵

□ 과제별 목표 시점 및 연관관계 등을 고려하여 로드맵을 도출함



[그림 128] 제방 손상 스마트 탐사 및 보강 기술 연구단 기술로드맵

5장. 추진전략

1절. 추진체계

□ 국토교통부 소관사업으로 전문기관, 운영·평가위원회, 핵심과제로 구성

- (사업총괄부처 : 국토교통부) 사업총괄담당, 정책방향 수립 및 예산지원
- (사업관리기관 : 국토교통과학기술진흥원) 본 사업의 기획 공모 평가 관리 성과확산 및 활용 업무 등 관계법령에 따른 수행과제 전주기의 실무를 담당
 - 연구개발 관리 계획 단계 종료 평가 결과 등에 대한 검토 및 승인
 - 국토교통과학기술 육성법 제 조에 의거 연구개발 사업의 기획 관리 평가 등을 효율적으로 지원하기 위하여 설립된 국토교통과학기술진흥원이 전문기관 역할을 수행
- (운영위원회) 사업 관련 행정절차 추진관리 연구개발 계획 등 주요 사안에 대한 심의 의결
 - 운영위원회는 위원장 1명을 포함하여 10인 내외의 위원으로 구성하며 국토교통부 소속 1인은 당연직 위원으로 위촉
- (평가위원회) 사업의 진도 및 연구개발 성과에 대한 검증 및 평가 수행
 - 각 기술분야의 산학연 전문가 10인 내외로 구성하며 관계 법령에 따라 선정평가, 단계평가 최종평가 등을 시행
- (주관 및 참여기관) 주관기관은 산 학 연으로 구성하되 연구 컨소시엄 구성 가능
- (핵심과제) 연구과제별 공모를 통해 수행기관을 선정하며 선정기관은 연구과제 추진방향에 따라 과업을 수행
 - 동 사업의 참여기관은 국토교통과학기술 육성법의 기준에 따라 국내 연구기관, 산업체, 대학, 공공기관 등 포괄적으로 참여 가능



[그림 129] 사업 추진체계

<표 52> 사업 주체별 주요기능 및 역할

구분	주요 기능 및 역할
국토교통부	- 사업전반적 사항에 대한 의사결정 및 총괄책임 - 사업 비전 목표 및 사업추진방향 및 중점분야 선정 - 자원투입 방향 및 규모의 조정 - 사업 추진계획 수립 - 사업공고, 사업대상 선정 등
국토교통과학기술진흥원 (KAIA)	- 연구계획서 접수 및 평가 - 협약관리 - 운영지침 마련 및 업무체계 구축 - 선정, 단계, 최종 평가계획 수립 및 시행
운영위원회	- 사업관련 행정절차, 추진관리, 연구개발 계획 등 주요 사안에 대한 심의·의결
평가위원회	- 사업의 진도 및 연구개발 성과에 대한 검증 및 평가 수행
주관참여기관	- 연구 컨소시엄 구성운영 - 핵심기술 개발 및 실증 등 연구수행

2절. 사업관리 및 활용방안

1. 사업관리체계 및 프로세스

□ 동 사업은 국토교통부 국토교통과학기술진흥원, 주관기관을 중심으로 평가-관리-활용 3단계의 사업관리체계를 구축하여 운영

○ 주관연구기관 선정 및 평가 등 사업운영 전반적인 절차는 전문기관인 국토교통과학기술진흥원 [KAIA]을 중심으로 수행하며 주요 사업추진 절차는 아래와 같음

<표 53> 사업추진절차

단계	프로세스		수행주체	내용
①평가	사업시행 공고		국토교통과학기술진흥원	- 사업시행 공고(사업안내서 및 과제제안요구서RFP포함)
	↓			
	과제신청 및 접수		국토교통부, 국토교통과학기술진흥원	- 연구기관 : 신규과제 연구개발계획서 작성 및 신청 - 국토교통과학기술진흥원 : 연구개발계획서 접수
	↓			
②관리	과제선정 및 평가		국토교통과학기술진흥원	- 사전검토 → 전문가평가(서면 발표평가) → 조정 및 협의
	↓			
	협약체결		국토교통과학기술진흥원	- 협약체결 - 사업비 지급
	↓			
③활용	성과 관리	사업 관리	국토교통과학기술진흥원(연중)	- 사업관리 - 단계평가(진도점검 및 중간평가) - 최종평가
	성과 활용	성과연계 및 확산	국토교통과학기술진흥원, 주관/참여기관	- 사업화 등 연구성과 활용(과제별 상이) - 국토교통과학기술진흥원 : 성과현황 및 활용보고서 관리 및 추적평가실시 - 연구기관 : 성과보고 및 활용보고서 제출

2. 단계별평가·관리 절차 및 기준

가. 선정평가

- 전문기관인 국토교통과학기술진흥원이 연구과제 공고에서 최종선정에서 협약까지 전반적인 주관기관 선정 업무를 수행

<표 54> 사업추진절차

프로세스	내용
신청서류 접수 [국토교통과학기술진흥원]	- 연구개발계획서 등 신청서류 접수
↓	
선정평가 계획수립 [국토교통과학기술진흥원]	- 선정평가 절차 및 일정계획 수립 안내
↓	
사전검토 [국토교통과학기술진흥원]	- 과제담당자 사전검토 - 신청서류, 적합성, RFP 부합여부 중복성 조사내용 등
↓	
연구과제 평가단 구성 [국토교통과학기술진흥원]	- 전문가 중심의 연구과제 평가단 구성 (이해관계인 제척)
↓	
선정평가 실시 [국토교통과학기술진흥원]	- 서면평가 온라인 평가 발표평가 현장평가 중 하나 이상의 방법 - 고가 (3천만원 이상) 연구장비 심의
↓	
평가결과 보고 및 통보 [국토교통과학기술진흥원]	- 선정평가 결과 국토부보고 - 평가결과 신청기관 통보 및 협약체결 안내
↓	
협약체결 [국토교통과학기술진흥원 ↔ 주관연구기관]	- 선정기관은 평가위원 의견을 반영 조치하여 협약체결

- (사전검토) 신청기관이 제출한 연구개발계획서에 대한 과제제안요구서(RFP) 와의 부합성, 타 과제와의 중복성 등 사전검토 자료를 연구과제 평가단에 제공 가능
- (평가방법) 서면평가, 온라인 평가, 대면(발표) 평가, 현장평가 중 하나 이상의 방법을 선택하여 실시

- (평가항목 및 배점) 개별 평가계획 수립 시 「국토교통R&D 평가 업무메뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목을 배점과 달리할 수 있음
- (평가결과의 산정) 종합평가점수 산정 시 「국토교통 연구개발사업 관리지침」 제17조에 따라 과제 획득점수를 기준으로 가점 및 감점을 부여 가능하며, 이를 반영한 과제별 최종점수로 지원대상 기관 선정
- (평가결과의 조치) 선정평가 결과를 국토교통부장관에게 보고하고, 평가위원의 명단 및 종합의견 등 평가결과를 신청기관에 통보 후 연구과제 평가단 의견 등을 반영 및 보완하여 협약 추진

나. 중간평가

- 주관연구기관은 중간(단계) 실적·계획서를 연구개발 종료 1개월 전까지 전문기관에 제출하도록 하고 전문기관은 이를 평가하여 다음 단계 연구지원 여부 및 지원 연구비를 확정함
- 연구책임자가 제시한 마일스톤의 목표 달성여부를 확인 및 평가하고, 과제 진척도 및 성과추적 등이 가능하도록 주기적 온라인 연구실적 및 성과정보 모니터링 시스템을 구축·운영

<표 55> 사업추진절차

프로세스	내용
중간(단계) 평가 계획수립 [국토교통과학기술진흥원]	- 연구개발계획서 등 신청서류 접수
↓	
중간(단계) 평가 자료제출 [주관연구기관]	- 중간(단계) 실적계획서, 성과점검기준표 증빙서류 등 평가자료 제출
↓	
사전검토 [국토교통과학기술진흥원]	- 과제담당자 사전검토 - 연구성과 실적/양적 달성도, 연구계획 변경내용, 실용화 점검결과 반영내용, 연구비 집행실적 및 이월 신청 등
↓	
연구과제 평가단 구성 [국토교통과학기술진흥원]	- 전문가 중심의 연구과제 평가단 구성 (이해관계인 제척)
↓	
중간(단계) 평가 실시	- 해당단계 실적평가 및 다음단계 계획 검토

프로세스	내용
[국토교통과학기술진흥원]	
↓	
중간(단계) 평가결과 보고 및 통보 [국토교통과학기술진흥원]	- 중간(단계)평가 결과 국토부보고 - 중간(단계) 평가결과 신청기관 통보 및 협약체결 안내
↓	
협약체결 [국토교통과학기술진흥원 ↔ 주관연구기관]	- 중간(단계) 평가결과를 반영하여 차년도 협약체결

- (사전검토) 주관연구기관이 제출한 중간(단계) 실적·계획서, 성과점검 기준표 등을 전담기관 담당자가 사전검토하고, 검토 내역을 평가단에 제공 가능
- (평가방법) 온라인 평가, 대면(발표) 평가, 현장평가 중 하나 이상의 방법을 선택하여 실시
- (평가항목 및 배점) 중간(단계) 평가계획 수립 시 국토교통R&D 평가 업무매뉴얼」의 평가항목 및 배점을 참고하되 연구과제의 유형을 고려하여 평가항목을 배점과 달리할 수 있음
 - (기본방향) 원칙적으로 정성평가를 실시하되 연구목표 달성도 등 일부 평가항목은 정량평가가 실시 가능
 - (실적) 해당 단계의 핵심성과 중심의 질적 달성수준을 중심으로 점수평가 실시
 - (계획) 최종목표 달성을 위해 수립된 다음 단계 연구계획의 적정성에 대한 연구과제 평가단의 검토를 통해 “일부보완” 또는 “전면수정” 판정
- (평가결과의 산정) 종합평가점수 산정시 연구과제 평가단 평가점수(90%) 및 진도관리 평가결과(10%)를 기준으로 종합평가점수를 정하되, 진도관리 평가 생략시 평가단 결과만으로 종합평가점수를 정함
- (평가결과의 조치) 실적 종합평가점수에 따라 과제의 ‘계속지원’ (60점 이상) 또는 ‘지원중단’ (60점 미만)으로 판정하고, 실적종합평가점수에 따라 평가단위 과제의 연구수당 지급기준을 차등적용함
 - ‘계속지원’ 대상과제는 평가결과 및 종합의견을 통보하고, 보완대비표 및 연차(단계) 실적 계획서 등을 수정 보완 요청

다. 상시 모니터링 및 마일스톤 점검

- ☐ 본 사업은 국토교통과학기술진흥원의 사업실 등을 통해 사업수행과정을 정기적으로 모니터링함으로써 사업실패 확률을 최소화하여 운영
- ☐ 세부과제별 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 연구 진척도 및 목표달성도에 대한 진도관리와 연구성과를 모니터링하고, 이를 평가와 연계-과제진척도와 성과 추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템을 운영

라. 최종평가

- ☐ 최종평가는 연구목표 달성도와 연구결과의 우수성을 중심으로 평가하며, 평가지표를 산출 및 결과지표 위주로 설계하여 평가를 진행
 - (연구목표 달성도) 사업특성을 평가하는 지표와 각 세부과제별 연구목표 달성도를 평가하는 지표를 설계
 - (연구결과 우수성) 과학적 성과와 사회경제적 성과를 중심으로 파악하여, 제방 탐사 및 보강 사업의 목적 달성을 통한 사회경제적 기여도를 평가

<표 56> 제방 사업 주체별 주요기능 및 역할

구분		주요 기능 및 역할	가중치
연구목표 달성도	개발목표의 달성도	- 계획 대비 목표의 정량적 달성도 - 핵심 기술개발 내용의 질적 수준 - 마일스톤 계획 대비 달성 수준	10
	수행결과의 파급효과	- 연구결과의 기술적·사회적 기여도 - 기술이전 및 매출 발생 실적 - 상위사업 성과목표 달성 기여도	10
기술성	기술개발 결과의 혁신성	- 글로벌 사업화를 위해 국외 특허 출원/등록을 하였는가?	15
	가설적 파급효과	- 다른 기술분야로의 파급효과 및 사회적 기여가 가능한가?	15
경제성 및 사업성	사업화추진전략의 적정성	- 투자계획은 적정한가? - 시장 진출 시 경제적, 제도적인 면에서 용이하고 점유 가능한가?	25
	경제성	- 기술개발을 통하여 추가적인 가치창출이 가능한가? (매출, 수익, 수입대체, 수출효과, 고용창출 등)	25

- 최종평가 결과 종합점수에 따라 과제의 성공(60점 이상) 또는 실패(60점 미만) 판정, 실패로 판정받은 과제는 연구개발과제 수행실태 등 점검을 통해 성실수행 여부를 확인하고, 그 결과에 따라 참여제한 등의 조치

<표 57> 사업추진절차

프로세스	내용
최종 평가 계획수립 [국토교통과학기술진흥원]	- 최종평가 절차 및 일정계획 수립 및 안내
↓	
최종 평가 자료제출 [주관연구기관]	- 최종보고서, 성과점검기준표, 자체평가보고서, 연구개발결과 활용계획서 등 평가자료 제출
↓	
사전검토 [국토교통과학기술진흥원]	- 과제담당자 사전검토 - 연구성과 질적/양적 달성도, 당초 연구개발 계획 대비 수행여부, 연구성과 활용계획의 적정성 등
↓	
연구과제 평가단 구성 [국토교통과학기술진흥원]	- 전문가 중심의 연구과제 평가단 구성 (이해관계인 제척)
↓	
중간(단계) 평가 실시 [국토교통과학기술진흥원]	- 연구개발 목표 달성여부, 연구성과 우수성 등에 대한 평가
↓	
중간(단계) 평가결과 보고 및 통보 [국토교통과학기술진흥원]	- 최종평가 결과 국토부보고 - 최종 평가결과 신청기관 통보 및 협약체결 안내
↓	
협약체결 [국토교통과학기술진흥원 ↔ 주관연구기관]	- 최종보고서 보완본 필수 배포처 배포 - 총 수행기간 종료일로부터 45일 이내에 최종보고서 파일 제출

3. 성과관리계획

가. 성과관리 기본방향

□ 동 사업의 연구성과 활용은 정부의 「연구성과 관리 활용 기본계획」의 정책기조에 부합토록 활용체계를 운영

- 연구성과의 기술성과 시장성·사업성 간의 간극을 간소화하고 성과활용 중심의 연구개발 혁신과 유기적 협력체제 구축을 통해 일자리 창출 및 경제활성화 견인

나. 성과관리 계획

□ 성과계획-성과관리-성과평가-활용지원-성과활용 등 기획부터 연구성과 활용까지 연구 전주기적으로 연구성과 활용체계를 구축·운영

- (성과계획) 사업기획시부터 기술개발과제의 최종성과물을 제시하고 연구책임자는 구체적인 성과지표·목표, 성과도출, 마일스톤, 성과활용방안 등을 연구개발계획에 제시하여 연구수행 및 성과를 도출하며, 중간 단계 평가 결과를 반영하여 필요한 경우 성과계획을 수정 보완 실시
- (성과관리) 전문기관 및 사업단은 사업기획시 제시한 사업관리방안에 따라 세부과제별 연구성과 도출 및 진척도 등을 모니터링하고 진도점검을 실시
- (성과평가) 전문기관은 주관기관과 협의하여 중간 단계 평가를 통해 성과목표 달성 등 연구목표 달성도와 다음단계 연구계획을 평가하고 연구종료시에는 최종 성과목표 달성 여부를 평가
- (성과활용 지원) 전문기관은 연구성과의 활용촉진 및 확산을 위해 인프라 지원(기술가치평가, 금융연계 지원), 기술사업화 및 기술이전 컨설팅, 시장지출 지원(기술설명회, 공공구매협의체 등) 등 성과활용 지원체계를 운영
- (성과활용) 대학 연구소 기업 등 연구에 참여한 기관들은 연구성과를 활용하여 현장적용, 기술사업화 달성, 정책제도 반영, 지식재산권 확보 등 실시

다. 성과검증

- (현장실검증) 목표 정확도 등 목표 사양에 대한 달성 여부를 현장 제방에 적용하여 실성능 달성여부를 평가
- 광역탐사 기술은 시스템 안정성 및 목표 정밀도 달성여부를 위성영상 분석 결과와 현장 제방

검증 결과를 비교하여 객관적으로 검증

- 제체정밀탐사 기술은 현장 제방 시연에 의해 정밀도, 심도 등 목표 사양 달성 여부를 실검증
- 스마트 보강 기술은 시험체 시험 및 실제 제방 시험시공을 통해 강도 및 치수성능 달성 여부를 실검증
- (공인시험 및 전문가 평가) 외부공인시험이 가능한 사양에 대해서는 공인시험성적서를 확인하고 외부공인시험이 불가능한 사양은 자체시험보고서에 대한 현장 검증 및 전문가 평가 수행

라. 성과활용

- (특허 및 상용화 전략) 기술개발 단계에서 기술적용을 위한 구체적인 사업화 전략을 수립하여 성과활용 측면을 고려한 특허 및 상용화 전략 관리 수행
- 광역탐사 기술은 하천관리청의 조직에서 하천관리시스템과 연계된 활용이 필수적이므로 연구 초기부터 수요처와 활용방안에 대한 협의 및 기존 시스템과의 연계전략 수립에 의해 관리 수행
- 정밀탐사는 유사 물리탐사 기술 대비 정확도와 적용 용이성이 중요하며 민간기업 기술 이전에 의한 성과 활용방안이 필요하므로 기술완성도 확보와 기술 이전을 위한 특허 및 상용화 전략 관리 수행
- 스마트 보강 기술은 기술의 우수성을 바탕으로 기술 기준 및 표준 등에 반영하여야 하므로 기술 기준 및 표준 반영 계획 수립에 따른 관리 수행

마. 성과분석

- 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원은 매년 연구성과 조사분석평가를 통해 연구성과 활용체계 운영을 점검하고 성과관리 및 평가 개선 활용지원 체계 확대 등 연구성과 활용체계를 개선
- 성과분석기관은 성과자료를 제출받아 확인, 취합하여 성과자료 DB를 구축하고 이를 활용하여 성과검증 및 분석을 수행
 - 국토교통과학기술진흥원은 성과분석 결과를 확정하고 중간 및 최종평가에 이를 활용함으로써 지원유지 여부 결정이나 예산조정 반영 등 사업운영에 피드백

바. 추적평가

- 성과의 활용 및 확산을 위하여 과제종료 후 5년간 발생성과에 대한 정기적 추적평

가를 실시하여 성과의 사후관리를 수행

- 국토교통과학기술진흥원의 성과활용 조사평가 전문가가 추적 성과 평가 실무를 담당하고 주관기관과 유기적으로 협력하여 평가를 실시함

사. 성과지표 체계

- 동 기술개발과제의 세부과제별 성과목표 달성여부를 확인할 수 있는 성과지표와 목표치를 도출하고, 성과지표 측정을 통해 성과를 관리함

- 하천제방 손상 탐지 및 보강 기술개발 연구단의 성과지표체계는 다음과 같음

<표 58> 하천제방 손상 탐지 및 보강 기술개발 연구단의 성과지표체계

세부 과제	성과목표		성과지표	측정방법	단 위	목표 치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	고해상도 위성영상 기반 제방 변화 탐지 및 제방관리 플랫폼 개발	1	제방손상 탐지 기술의 정확도	검증보고서	%	85	0.08	광역탐사 정확도 평가
		2	다목적 하천제방 플랫폼 사용자 검증	전문가평가	점	90	0.04	활용 적합성 평가
	SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발	3	3차원 제방 변위 측정의 정밀도 (3.5 cm/year)	시험적용평 가	cm /ye ar	3.5	0.08	광역탐사의 정밀도 평가
		4	제방 손상 탐지 정확도 (85%)	시험적용평 가	%	85	0.04	광역탐사의 정확도 평가
직접 전기비저 항에 의한 고해상도 /고심도 제방탐사 기술	제방 내부 손상 정밀 탐사를 위한 직접전기비저항 기술 개발	5	탐사 심도	현장 검증보고서	m	20	0.08	기술의 적용성
		6	최소 탐지 공동 규모	현장 검증보고서	cm	20	0.08	기술의 적용성
		7	탐사 신속성	현장 검증보고서	1회 /시 간	1	0.04	기술의 우수성
	제방 누수 지점 정밀 탐사를 위한 관입형 스마트 센싱기법 및 시스템 개발	8	센서 해상도	현장 검증보고서	cm	20	0.04	기술의 우수성
		9	센싱 시스템 경량화	무게 측정	kg	20	0.04	기술의 적용성
		10	센싱 신속성	현장 검증보고서	공/ 30 분	1	0.04	기술의 우수성
	정밀 탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발	11	정밀 영상화 기술 수준	전문가평가	점	90	0.04	기술의 적용성
		12	안정성 평가 시스템 정확도	현장 검증보고서	%	85	0.04	기술의 적용성

세부 과제	성과목표	성과지표		측정방법	단 위	목표 치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
미생물기 반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	미생물기반 제방 주입 재료 및 솔루션 개발	13	신재료 개발 건수	시제품	건	5	0.04	기술개발 여부
				특허등록	건	5	0.08	기술 실용화
		14	신재료 성능 평가	공인시험	건	5	0.04	기술 인증
				전문가평가	점	90	0.04	기술의 우수성
	미생물/바이오폴리머 제방 주입/혼합 공법 개발	15	주입/혼합공법 개발	현장 검증보고서	건	3	0.04	기술의 적용성
		16	공법 표준화	적용지침개 발	건	3	0.04	기술 실용화
	제방 내부 보강 기술 실규모 성능검증 및 실용화	17	실험시스템 구축	구축여부 및 구축보고서	건	1	0.04	기반 구축 여부
		18	실규모 성능 검증	검증보고서	건	10	0.08	기술의 우수성
		19	실용화 실적	기술이전	건	2	0.04	기술 실용화

6장. 소요 예산 및 인력

1절. 소요인력

1. 소요인력 산출근거

□ 소요인력은 동 사업의 유사사업인 ‘물관리연구개발사업’ 과 ‘수요대응형 물공급 서비스연구사업’ 의 인력을 분석하여 적용함

○ 세부기술의 인건비(국고, 민간 부담금 포함)를 토대로 연간 인건비 산출(연간 인건비 = 인건비/연구기간)

- 세부기술별 인건비는 유사과제 총 예산 대비 평균 인건비 비율로 산정된 36.8%의 비율을 적용함

○ 연간 인건비에서 직급별 참여 비율(박사 : 석사 : 학사)은 3:5:2로 가정하여 직급별 연간 인건비 산정(ex. 박사 직급의 연간 인건비 = 연간 인건비 × 0.5)

○ 인건비는 계약예규(기재부)의 ‘학술연구용역단가’ 에 따라 참여율 50%를 가정함

※ 인건비 산정기준 : '20년 학술연구용역단가(참여율 50% 기준) 책임급 3.3백만원/월, 연구원급 2.5백만원/월, 연구보조원급 1.7백만원

○ 세부기술별 직급별 연간 인력 수 = 세부기술별 직급별 연간 인건비/(학술연구용역단가 (참여율 50%)×12개월)

○ 세부기술별 총 소요인력 수 = 세부기술별 직급별 연간 인력 수 총합계 × 세부기술별 연구기간

2. 소요인력

□ 총 소요인력 : 624명 (연평균 125명)

<표 59> 동 사업 소요인력

(단위 : 명)

분류		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
하천제방 손상 탐사 및 보강 기술개발 연구단	1세부과제	52	67	92	74	52	336
	2세부과제	12	14	18	16	12	72
	3세부과제	16	22	30	24	16	108
	계	23	31	44	34	23	156

2절. 소요예산 산정

☐ 세부과제별 예산을 고려해 동 사업의 소요예산을 아래와 같이 산정함

<표 60> 동 사업 소요예산

(단위 : 백만원)

분류		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총계
하천제방 손상 탐사 및 보강 기술개발 연구단		4,300	5,600	7,640	6,160	4,300	28,000
	1세부과제	1,000	1,200	1,480	1,320	1,000	6,000
	2세부과제	1,350	1,800	2,520	1,980	1,350	9,000
	3세부과제	1,950	2,600	3,640	2,860	1,950	13,000

7장. 사전타당성 분석

1절. 정책적 타당성 분석

1. 상위계획과의 부합성

□ 제4차 과학기술기본계획을 비롯한 관련 국가 상위계획에 동 사업 추진에 대한 근거를 제시하고 있어 부합성이 높으며, 국가 과학기술정책에 따른 동 사업의 지원근거는 ‘적절’ 한 것으로 판단됨

○ 동 사업의 추진 근거가 되는 국가 상위계획은 국정운영 5개년 계획, 제4차 과학기술기본계획, 제 2차 국가기후변화 적응대책, 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획이 있음

○ 각 상위계획과의 부합성 검토결과는 다음과 같이 모두 부합하는 것으로 검토됨

<표 61> 제방 기술 관련 국가 상위계획과 부합성 검토 결과

계획명	부합성		
	낮음	보통	높음
국정운영 5개년 계획			○
제4차 과학기술기본계획			○
제2차 국가기후변화 적응대책			○
제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획			○

가. 국정운영 5개년 계획

□ 문재인정부의 국정운영 5개년 계획의 국민안전과 생명을 지키는 안심사회 구축 파트는 동 사업의 내용과 부합성이 높으며, 100대 국정과제 중 3개 과제가 동 사업과 관련성이 있는 것으로 판단됨

○ 국정운영 5개년 계획은 문재인정부 5년간의 정책집행 단계에서 정합성 및 일관성을 유지하고, 국정운영의 연속성을 확보하는 수단으로서 수립됨

- ‘국민의 나라 정의로운 대한민국’이라는 비전 하에, 5대 국정목표 및 20대 국정전략, 100대 국정과제로 구성됨

- 100대 국정과제 중 ‘(55) 안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축’, ‘(59) 지속가능한 국토환경 조성’, ‘(61) 신기후체제에 대한 건실한 이행체계 구축’ 과제가 동 사업과 관련이 있음
 - ‘(55) 안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축’ 국정과제에서는 각종 안전사고로부터 국민생명 보호 강화 추진을 위해 첨단기술을 활용한 대응체계 마련을 제시하고 있음
 - 동 사업에서 개발하는 AI기술, 위성영상 분석 기술, 비파괴 탐사기술, 친환경 소재기술 등 첨단기술을 활용하여 홍수피해를 저감하는 기술로 (55)번 국정운영과제에 해당하는 기술임
 - ‘(59) 지속가능한 국토환경 조성’ 국정과제에서는 안전한 물환경을 위해 이치수가 조화되는 하천을 조성할 것을 추진함
 - 동 사업에서 개발하는 기술은 손상이 우려되는 하천제방 시설을 탐지하여 보강하는 치수적 관점의 하천조성 기술임
 - 또한, 제방 보강 시 친환경 소재를 사용하여 우리가 이용하는 물의 생태와 환경적 측면을 고려하며, 운영기준은 이수적 관점도 고려되므로 이치수가 조화되는 하천조성 추진에 기여하는 기술임
 - ‘(61) 신기후체제에 대한 건실한 이행체계 구축’ 국정과제에서는 기후변화 리스크를 예측·관리하고, 피해를 최소화하는 안전사회를 구현을 추구하고 있음
 - 동 사업에서 개발하는 기술은 수자원위성을 활용하여, 주기적으로 모니터링한 결과에 기반하여 제방손상을 탐지하고 보강하는 기술임

나. 제4차 과학기술기본계획

- 제4차 과학기술 기본계획의 ‘과학기술로 모두가 행복한 삶 구현’의 내용이 홍수피해 저감을 추구하는 동 사업의 내용과 부합성이 높으며, 120개 중점과제 중 ‘복합재난 스마트 예측대응 기술’은 동 사업과 관련성이 있는 것으로 판단됨
- 「제4차 과학기술기본계획」은 각 부처 과학기술 관련 정책의 수립·추진방향을 제시하는 과학기술분야 최상위 계획으로, 과학기술로 국민 삶의 질을 높이고 인류사회 발전에 기여하는 것을 비전으로 함
 - 기본계획 실현을 위해 11개 분야(생명·보건의료, 에너지·자원, ICTSW, 건설·교통, 환경·기상, 기계·제조, 농림수산식품, 우주·항공·해양, 소재·나노, 국방, 재난안전)에 대한 4대 전략, 19개 중점추진과제 및 120개 중점과학기술을 제시
- 4대전략 중 ‘과학기술로 모두가 행복한 삶 구현’의 ‘안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현’ 과제에 제시된 내용이 동 사업과 관련이 있음
 - ‘안심하고 살 수 있는 안전한 사회 구현’ 과제에서는 사회적 위협에 효과적으로 대응하기 위한 기술개발 확대, 국민 안전복지 확대를 위한 IoT기반의 지능형 플랫폼 개발 등 안전사고 예방·대비 서비스 개발, 위치정보, 위성영상, 지능정보기술, 3D공간정보 등을 융합한 위협대비 통합예측기술 및 상황관리기술 개발을 제시하고 있음
 - 동 사업은 지역별 수위/수량 예측 및 AI기반 예측 정확도를 높이고, 위성영상 및 3D공간정보를 연계한 제방손상 탐지 기술을 개발하는 사업으로 제4차 과학기술기본계획의 방향성과 부합함
- 동 사업에서 개발하는 기술은 120대 중점과학기술 중 복합재난 스마트 예측·대응기술에 해당함
 - 기후변화에 따라 집중호우 발생 빈도가 증가하고 있으며, 기존 하천관리시설의 홍수대응 범위를 넘어서는 상황이 발생하고 있음
 - 또한, 홍수피해를 방지하기 위해 제방에 대한 점검 및 보강을 수행하고 있으나 육안점검 및 외부 보강 등의 한계로 제방의 구조적 불안정에 의한 붕괴 및 대규모 침수피해 발생
 - 동 사업에서 개발하는 하천제방 손상 탐사 및 보강기술은 AI, 자동화, 위성영상, 3D 공간정보, 비파괴 탐사 등 스마트 기술을 기반으로 실시간으로 발생하는 주변상황에 따라 최적 운영과 탐지를 도모하는 기술로 복합재난 스마트 예측·대응 기술에 해당함

<표 62> 제방 기술 관련 중점과학기술

대분류	중분류	120대 중점과학기술
...	...	...
재난안전	재난안전	복합재난 스마트 예측·대응기술
		재난 전주기 정보통신체계기술
		범죄·테러 통합 지능형 예측·대응시스템 기술
		재난현장 소방구조 장비·시스템기술
...	...	...

다. 제2차 국가기후변화 적응대책

□ 제2차 국가기후변화 적응대책의 수재해 대응전략은 동 사업의 내용과 부합성이 높으며, 16개 과제 중 3개 과제가 동 사업과 관련성이 있는 것으로 판단됨

- 제2차 국가기후변화 적응대책은 저탄소녹색성장기본법에 따른 법정 국가 적응대책으로 “기후변화 적응으로 국민이 행복하고 안전한 사회구축” 비전 하에 4대 정책부문과 16개 과제로 구성됨
- 16개 과제 중 수재해 대응과 관련하여 ‘기후영향 모니터링’, ‘취약지역·시설 관리’, ‘재난·재해 관리’를 제시하고 있으며, 동 사업은 실시간으로 하천의 수량과 수위를 계측하고, 제방붕괴가 우려되는 시설을 사전에 탐지하여 제방을 보강하는 기술개발을 내용으로 하고 있어, 제2차 국가기후변화 적응대책의 이행을 지원하는 기술임
 - 기후변화로 인한 생태계 및 건강 영향 모니터링을 위해 국토부에서는 첨단기술을 기반으로 하는 수자원 모니터링 과제를 설정함
 - 기후변화 취약지역·취약시설 피해 최소화를 위해 국토부의 역할로 재해예방사업의 일환으로 하천관리를 설정
 - 분산되어 있는 기존 재난시설물로는 대형화되는 재해대응에 한계가 있으며, 다양한 시설물 간 유기적 연계를 통한 종합적 재해예방이 필요함

라. 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획

- 제1차 국토교통과학기술 연구개발 종합계획의 수자원 관련 기술개발계획에 의거하여 동 계획이 추진되었으므로, 부합성이 높음
 - 국토교통과학기술 연구개발 종합계획은 국토교통과학기술에 관한 장기적·종합적 정책방향을 설정하고 중장기 투자전략을 정하는 최상위 법정 종합계획임
 - 4차 산업혁명에 따라 경제·산업구조의 근본적 변화에 대응하고 미래 신시장 선점, 전통적 국토교통 산업분야에 신기술을 결합한 고부가가치 산업으로 도약 계기 마련, 사회·환경 변화에 대응하여 각종 사회 문제에 대한 기술적 해법 제시 등의 필요성에 따라 수립됨
 - “혁신을 통한 성장, 사람을 위한 국토교통” 비전 하에 4대 추진전략과 12대 실천과제, 브랜드과제로 8대 혁신성장동력을 설정함
 - 동 계획에서는 ‘스마트 하천관리 시스템’, ‘노후 수리시설물 보수·보강’, ‘하천지역 건전성 확보’가 제시됨
 - 제방 기술은 ‘재난·재해 예방 안전기술 개발’ 세부전략의 전략목표 중 ‘실시간 수재해 관리 시스템’의 추진관점에서 개발되는 기술임

2. 사업 추진체제 및 추진의지

□ 동 사업은 국토교통과학기술 연구개발 종합계획에 상당부분 반영되어 있어 동 사업에 대한 주관부처의 추진의지가 높다고 판단됨

○ 국토교통부는 기존의 하천시설물 관리가 외형위주의 1회성 관리로 진행되었음을 감안하여 인공지능을 이용한 관리가 가능하도록 최첨단 친환경 관리 시스템을 마련하고자 함

- 4차 산업혁명에 따라 경제·산업구조의 근본적 변화에 대응하고 미래 신시장 선점, 전통적 국토교통 산업분야에 신기술을 결합한 고부가가치 산업으로 도약 계기 마련, 사회·환경 변화에 대응하여 각종 사회 문제에 대한 기술적 해법 제시 등의 필요성을 느끼고 이를 위해 관련 기술들을 개발하고 정책을 추진하려 함

□ '20년 8월 홍수 이후, 국토부의 긴급요청으로 기술영역을 확대한 범위에서 기획을 추진하여 도출된 과제로 부처의 추진의지가 매우 높은 기술임

○ 국토부의 요청에 따라 주관연구기관인 한국건설기술연구원은 새로운 기술아이템을 발굴하여 국토부와 지속적인 협의과정을 통해 연구단급 기술개발과제로 기획하였음

홍수피해 저감을 위한 제방 안정성 스마트 탐사 및 노후 제방 강화 기술

2021. 1. 한국건설기술연구원

1 현황 및 필요성

- 2020년 8월 장마기간 중 제방 붕괴 등으로 전국적으로 대규모 피해 발생
 - 사망 38명, 주택침수 8,985건, 이재민 9,834명, 도로/교량 피해 5,892건, 하천피해 2,694건 발생(행안부 피해 중간 집계)
 - 최근 제방 붕괴는 월류, 파이프, 구조물 접합부 누수 등 대부분 구조적 안정 문제로 발생
 - 섬진강, 금강, 낙동강 등 주요 하천 제방 붕괴로 대규모 침수 발생(남원시, 구례읍, 곡성읍 등 전국적인 시가지 침수 발생)

- 제방 붕괴 대응 기술 부재
 - 근본적 대책 수립을 위해 환경부 홍수대책기획단 등을 구성하였으나 홍수량 조절 외의 근본적인 구조적 대책 부재
 - 대응 기술 부족으로 정부가 직접 관리하는 국가하천에 대해서도 제방의 외관 점검 및 제방 증고 외의 대책 수립이 어려움

- 제체 내부 제체 내부 조사 및 탐사가 필요하나 현재 조사 및 분석 방법 부재
 - 해외의 경우, 정기적인 제방 모니터링 및 상세 점검(지반조사 등) 기준을 마련하여 시설물에 대한 취약성 평가 및 보수·보강 시행
 - * (네덜란드) 제체 지반특성, 제체 단면, 재료원 등을 고려한 유지보수 관리
(일본) 정기적 외관 점검 및 지반조사를 통한 상세 점검 시행(10년에 1회 이상)

[그림 130] 하천제방기술 관련 국토부 보고자료

3. 사업 추진상의 위험요인

가. 국고 조달 가능성

□ 동 사업은 기존 R&D 사업 종료로 발생하는 가용예산과 관련 일반사업 가용예산 전환을 통한 국고 재원조달 방안을 제시함

- 국토교통과학기술진흥원에서 관리하는 국토부의 연구개발과제 예산을 분석한 결과, '21년도에 추진 중에 있는 국토분야 과제 53건 개 중 '21년을 마지막으로 종료되는 과제는 19개이며, 해당 과제의 예산은 428억원임
- 동 사업과 직접적으로 관련되는 사업은물관리 연구사업이나, 물관리 연구사업은 일몰이 결정되어 하천 및 안전관련 과제는 별도의 계정으로 추진되고 있어, 물관리 연구사업의 범위로 한정하기 어려움이 있어, 국토분야 R&D과제단위에서 분석함
- '21년을 끝으로 종료되는 과제예산 규모는 428억원으로 신규과제 추진을 위한 여력이 있으며, 동 기술개발과제의 '22년도 예산 120억원은 조달이 가능할 것으로 판단됨

<표 63> KAIA '21년 종료과제 및 예산

구분	'21년도 협약대상 과제수 및 예산('21년 종료과제)	
	개수	예산(백만원)
건설기술연구	6	10,684
물관리연구	1	3,089
도시건축연구사업	6	12,498
주거환경연구사업	4	10,816
국토공간정보연구사업	2	5,784
총계	19	42,871

*자료 : KAIA 연구개발사업 시행계획(2020.12.)

2절. 기술적 타당성 분석

1. 문제 및 이슈도출의 적절성

가. 문제/이슈의 적절성

□ 동 사업에서 해결해야 문제/이슈는 돌발적 호우로 빈번하게 발생하는 침수와 제방 붕괴로 인한 인명과 재산 피해이며, 현 상황을 타개하기 위한 기술개발 시급성이 제시되었음

○ 문제/이슈는 환경분석을 통해 도출하였으며, 피해사례와 하천 시설에서 발생하는 피해액에 대한 통계자료에 근거하고 있음

- 재난연감에 따르면, '19년 호우와 태풍으로 인한 피해액은 2,144.29억원이며, 이중 하천에서 발생하는 피해액은 전체 21%인 450.22억원에 달함

<표 64> '19년 호우와 태풍으로 인한 피해

구분 \ 지역명				호우		태풍			
총이재민				세대/명	44	102	3,685	7,014	
인명	사망			명	0		18		
	실종			명	0		0		
	부상			명	0		22		
	계			명	0		40		
건물	주건물	유실, 전파		동	2		65		
		반파		동	4		207		
		침수		동	223		3,131		
	계			동	229		3,403		
	피해액			천원	355,144		9,825,034		
선박	동력	전파	척/톤	0	0.00		22	29.15	
		반파	척/톤	0	0.00		20	10.19	
	무동	전파	척/톤	0	0.00		1	1.00	
		반파	척/톤	0	0.00		0	0.00	
	계			척/톤	0	0.00		43	40.34
	피해액			천원	0		293,127		
농경지	전답			ha	0.18		898.49		
	답			ha	0.27		456.77		
	계			ha	0.45		1,355.26		
	피해액			천원	6,654		9,620,941		
농작물	전작			ha	25		1,754		
	답작			ha	1,093		2,595		
	기타			ha	429		139,454		
	계			ha	1,547		143,804		
공공시설	도로	도로	개소/m	22	610		464	17,200	
		교량	개소/m	0	0		8	164	
		피해액			천원	33,150		30,563,292	

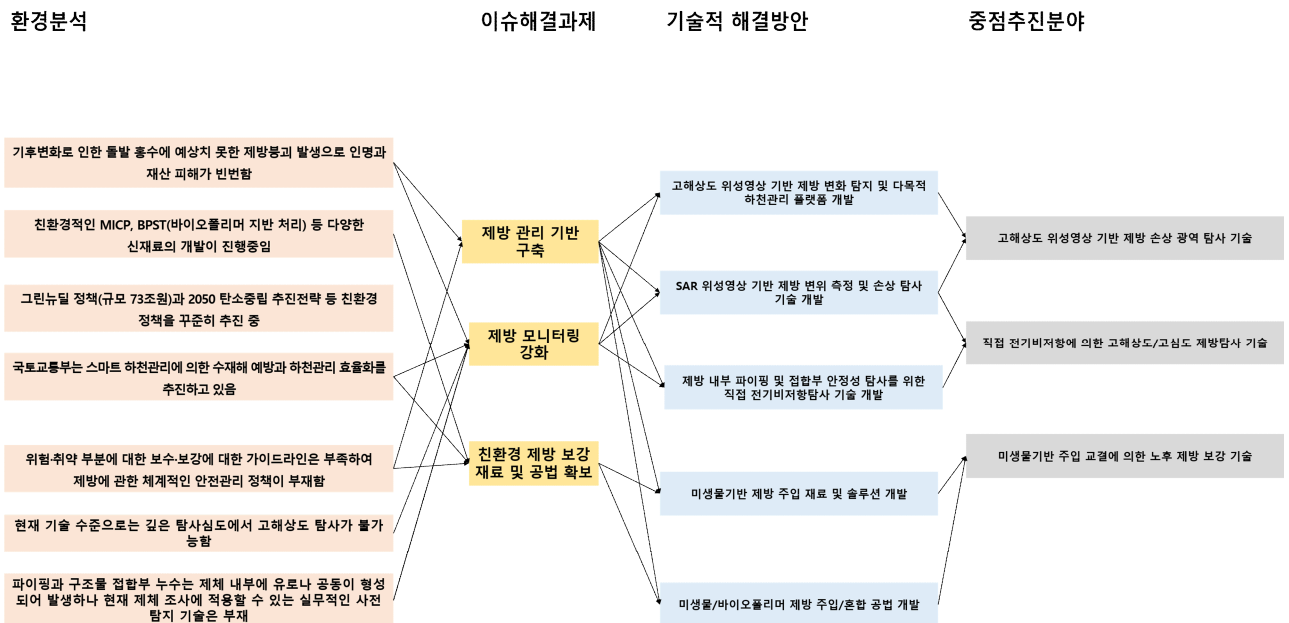
구분 \ 지역명		호우		태풍			
설	하천	하 천	개소/m	7	2,002	305	46,560
		피 해 액	천원	61,911		26,919,986	
	소하천	소 하 천	개소/m	16	1,739	527	42,793
		피 해 액	천원	480,829		17,559,276	
	수도	상하수도	개소	1		79	
		피 해 액	천원	1,000		3,315,170	
	항만	항만시설	개소	0		4	
		피 해 액	천원	0		243,157	
	어항	어항시설	개소	0		45	
		피 해 액	천원	0		4,707,574	
	학교	학교시설	개소	0		22	
		피 해 액	천원	0		65,817	
	철도	철 도	개소/m	0	0	2	20
		피 해 액	천원	0		71,392	
	수리	수리시설	개소	16		117	
		방 조 제	개소/m	0	68,373	1	5,847,511
		피 해 액	천원	0		0	
	사방	사 방	개소/ha	0	0.00	373	21,958.71
		임 도	개소/m	1	5.00	89	169.42
		피 해 액	천원	1,000		24,569,351	
	군시설	군 시 설	개소	1		37	
		피 해 액	천원	500		2,438,661	
	소규모	시설물	개소	56		982	
		피 해 액	천원	218,030		22,294,572	
	기타	기 타	개소	46		36,204	
		피 해 액	천원	137,995		16,445,018	
	피 해 액 소 계		천원	1,002,788		155,040,777	
사유시설	축대, 담장		개소/천원	1	500	82,001	0
	가 축		개소/천원	0	0	48,171	0
	축사, 잠사		개소/천원	86	30,204	345	1,881,302
	수산증양식		개소/천원	0	0	1,075	13,088,649
	어망, 어구		통/천원	0	0	133,970	1,216,805
	비닐하우스		ha/천원	3.76	42,238	7,653.18	9,671,272
	기타사유시설		개소/천원	21	213,301	23,111	12,140,298
	피 해 액 소 계		천원	286,243		37,998,326	
총 피해 액		천원	1,650,829		212,778,205		

나. 과학기술기반 문제/이슈 해결의 중요성 및 필요성

□ 하천제방에서 발생하는 홍수피해는 기술부족에서 기인한 부분이 있음

- 현재 광범위하게 구축되어 있는 하천제방의 파이핑현상으로 인한 붕괴는 사전탐지할 수 있는 기술이 미흡함
 - 현재 2km단위로 구축되어 있는 cctv만으로는 제방 내부에서 발생하고 있는 파이핑현상은 파악하기 어려움
 - 국가 전체 하천제방을 대상으로 상시적인 물리탐사를 추진하기에는 한계가 있음

□ 문제/이슈 해결과제 중 기술적 해결방안을 도출하여 중점추진영역을 설정하였음



[그림 131] 기술적 해결방안 및 중점추진영역

2. 사업목표의 적절성

가. 사업목표의 적절성

- ☐ 동 사업의 목표는 “스마트 탐사/보강으로 대규모 침수피해를 유발하는 제방 붕괴 원천 차단”으로, 사업 목표를 통해 제기된 문제의 해결 가능성이 명확하며 동 사업의 취지에 특화된 목표로 보여져 적절하다고 판단됨
- ☐ 동 사업에서는 홍수피해가 크게 발생하고 있는 하천시설 중 제방에서의 홍수피해를 줄이기 위한 내용으로 구성되어 있음
- ☐ 제방에서의 홍수피해를 줄이기 위한 해결수단으로 첨단 위성기술과 물리탐사기술을 연계하여 광범위한 탐사 및 국지적 탐사를 효과적으로 수행하고, 친환경 보강기술을 개발하고자 함
- ☐ 동 사업에서 추진하는 기술개발 내용을 볼 때에, 동 사업의 목표인 “스마트 탐사/보강으로 대규모 침수피해를 유발하는 제방 붕괴 원천 차단”은 해결하고자 하는 문제와 해결수단이 충분히 제시되었음

나. 성과지표의 적절성

- ☐ 동 사업은 제방붕괴 원천 차단을 위한 스마트 탐사 및 보강 기술 개발이란 연구단 목표를 제시하였으며, 이를 달성하기 위한 성과지표를 적절히 제시하였음
- ☐ 세부과제별 성과목표를 제시하고, 성과목표 달성여부를 확인할 수 있는 성과지표를 제시하였음
- ☐ 성과지표별로 목표치와 설정근거를 제시하였으며, 성과지표를 측정하기 위한 구체적인 방안을 제시하였음
- 하천제방 손상 탐지 및 보강 기술개발 연구단의 성과지표체계는 다음과 같음

<표 65> 하천제방 손상 탐지 및 보강 기술개발 연구단의 성과지표체계

세부 과제	성과목표	성과지표		측정방법	단 위	목표 치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술	고해상도 위성영상 기반 제방 변화 탐지 및 제방관리 플랫폼 개발	1	제방손상 탐지 기술의 정확도	검증보고서	%	85	0.08	광역탐사 정확도 평가
		2	다목적 하천제방 플랫폼 사용자 검증	전문가평가	점	90	0.04	활용 적합성 평가
	SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발	3	3차원 제방 변위 측정의 정밀도 (3.5 cm/year)	시험적용평 가	cm /ye ar	3.5	0.08	광역탐사의 정밀도 평가
		4	제방 손상 탐지 정확도 (85%)	시험적용평 가	%	85	0.04	광역탐사의 정확도 평가
직접 전기비저 항에 의한 고해상도 /고심도 제방탐사 기술	제방 내부 손상 정밀 탐사를 위한 직접전기비저항 기술 개발	5	탐사 심도	현장 검증보고서	m	20	0.08	기술의 적용성
		6	최소 탐지 공동 규모	현장 검증보고서	cm	20	0.08	기술의 적용성
		7	탐사 신속성	현장 검증보고서	1회 /시 간	1	0.04	기술의 우수성
	제방 누수 지점 정밀 탐사를 위한 관입형 스마트 센싱기법 및 시스템 개발	8	센서 해상도	현장 검증보고서	cm	20	0.04	기술의 우수성
		9	센싱 시스템 경량화	무게 측정	kg	20	0.04	기술의 적용성
		10	센싱 신속성	현장 검증보고서	공/ 30 분	1	0.04	기술의 우수성
	정밀 탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발	11	정밀 영상화 기술 수준	전문가평가	점	90	0.04	기술의 적용성
		12	안정성 평가 시스템 정확도	현장 검증보고서	%	85	0.04	기술의 적용성
미생물기 반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	미생물기반 제방 주입 재료 및 솔루션 개발	13	신재료 개발 건수	시제품	건	5	0.04	기술개발 여부
				특허등록	건	5	0.08	기술 실용화
		14	신재료 성능 평가	공인시험	건	5	0.04	기술 인증
				전문가평가	점	90	0.04	기술의 우수성
	미생물/바이오폴리머 제방 주입/혼합 공법 개발	15	주입/혼합공법 개발	현장 검증보고서	건	3	0.04	기술의 적용성
		16	공법 표준화	적용지침개 발	건	3	0.04	기술 실용화
	제방 내부 보강 기술 실규모 성능검증 및 실용화	17	실험시스템 구축	구축여부 및 구축보고서	건	1	0.04	기반 구축 여부
		18	실규모 성능 검증	검증보고서	건	10	0.08	기술의 우수성
		19	실용화 실적	기술이전	건	2	0.04	기술 실용화

다. 목표와 이슈 간 연관성

- 동 사업에서는 환경분석을 통해 파악한 핵심이슈와 이를 해결하기 위한 기술적 해결방안으로서 중점추진영역을 도출하였으며, 중점추진영역은 목표달성을 위해 추진하는 연구영역으로 설정하여 목표와 이슈 간 연관성은 높은 것으로 판단됨
- 앞서 “나. 과학기술기반 문제/이슈 해결의 중요성 및 필요성”에서 검토한 바와 같이 문제/이슈 해결과제 중 기술적 해결방안을 도출하여 중점추진영역을 설정하였음
- 또한, 수립된 중점추진분야는 목표달성을 위한 중점추진 연구영역으로 도출한 것으로 목표와 이슈는 연관성을 가짐

3. 세부활동 및 추진전략의 적절성

가. 세부활동 도출의 적절성

(1) 수요조사의 적절성

- 동 사업은 산학연 전문가를 대상으로 하는 기술수요조사를 토대로 동 기획연구의 방향에 부합하는 기술아이템을 도출하였으므로 적절한 것으로 보여짐
- 기술수요조사 시 동 기획의 목표와 기술분류체계를 제시하여 기획방향과 범위에 부합하는 기술아이템을 회신받음
- 기술수요조사는 수자원분야 전문가 pool을 대상으로 광범위하게 조사하였으며, 3주간의 수요조사기간을 두고 의견제안을 위한 충분한 기간을 제공하였음
 - 수자원분야 전문가 pool은 기획연구진, 외부전문가자문위원, 수자원분야 기획과정에서 수요조사에 응한 이력이 있는 전문가로 구성하였음
 - 기술수요조사 회신을 위한 독려활동을 통해 동 기술개발분야에 관심이 있는 전문가들로부터 최대한 의견을 회신받을 수 있도록 노력하였음

(2) 우선순위 설정과정의 적절성

- 사업목적 달성을 위한 3개 중점추진분야는 Top-down 방식으로 설정하였으며, 중점

추진분야별 연구내용 구성을 위한 기술아이템은 Bottom-up 방식으로 진행하고, 우선순위 평가를 통해 추진대상과제를 설정하였음

○ 우선순위 평가는 전문가위원회 서면평가와 핵심전문위원회 검토의 2단계로 추진되었음

- 전문가위원회 서면평가는 30인의 전문가위원회를 대상으로 후보과제별 목표부합성, 중복성, 기술개발실행가능성, 기술개발효과 측면에서 검토하였음
- 핵심전문위원회는 전문가위원회 서면평가 결과를 검토하고, 전문가위원회 서면평가 내용을 종합하여 추진대상과제를 선별하였음



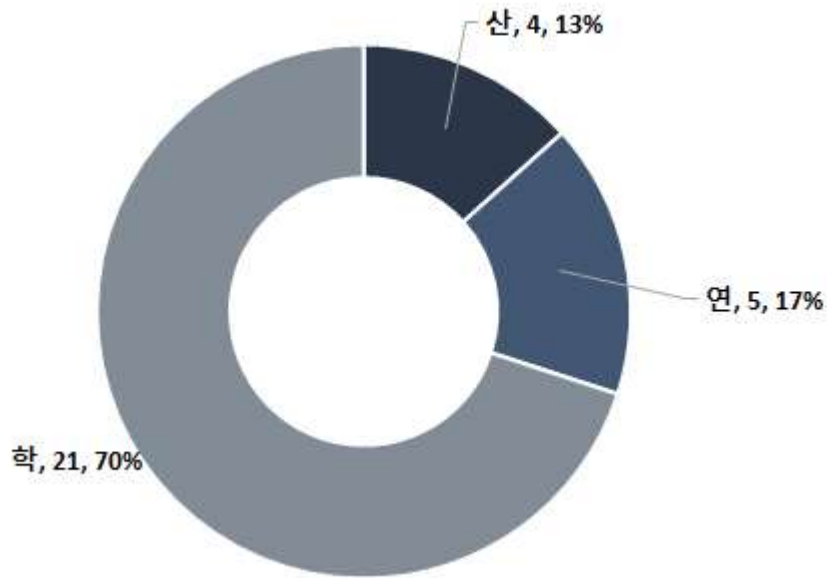
[그림 132] 추진대상과제 선정 절차

(3) 기획위원회 전문가 구성의 적절성

□ 기획위원회 전문가 구성은 대학이 70.0%, 연구기관이 16.7%, 기업이 13.3%이며, 수자원분야 전문가가 대학을 중심으로 분포해 있는 점을 고려하면, 전문가 구성은 적절하게 구성된 것으로 판단됨

○ 수자원분야를 포괄하는 과제인 ‘지속가능한 통합물관리 기술개발사업’의 전문가 산학연 분포 현황이 대학 54.9%, 연구기관 20.6%, 기업 20.0%, 기타공단 4.6%로 확인됨²⁵⁾

25) 지속가능한 통합물관리 기술개발사업, 환경부, 2020



[그림 133] 전문가구성 현황 분포

(4) 세부활동의 구체성 및 차별성

- 세부활동은 산학연전문가가 제안한 기술수요조사서 내용을 토대로 과제내용을 구성하고, 연차별 추진계획을 구체적으로 제시하였음
 - 세부과제별로 목표를 명확하게 설정하고, 세부과제별 구성기술별로 연차별 추진내용을 상세하게 제시하였음
 - 세부과제 추진과정에서 기존 기술성과 활용이 가능한 부분을 확인하고, 이를 구체적으로 어떻게 활용할 것인지 계획을 제시하였음
 - 최종적으로 산출되는 성과물이 무엇인지, 이 성과물은 어떻게 활용되고 과제관리가 이루어질 것인지를 구체적으로 제시하였음
 - 전체적은 연구개발 활동을 로드맵으로 제시하여 체계적으로 연구가 추진될 수 있을 것으로 보임
- 선행연구개발 과제와 차별성을 기술하였으며, 동 과제는 선행과제와 어떻게 차별화되는지 구체적으로 제시하였음

<표 66> 제방 분야 유사과제 현황 및 차별성

과제명(연도)	연구내용	본 과제와 차별성
다중시나리오 기반 재난대응 의사결정지원체계(DRiMSS)기술 개발	- 시설물 위험도 기반 재난대응 의사결정지원 통합엔진개발 - 재난의사결정 지원 제방취약도 평가체계 개발 - 고정밀 공간정보 기반 시설물별 Risk 정보 표출 시스템 개발 - 시설물 Risk 정보 확산시스템개발	- 탐사에 의한 제방 내부의 직접적인 안정성 평가 기술은 포함하지 않음 - 의사결정 및 정보확산 기법의 일부는 기초 자료로 활용 가능
하천조사 및 모니터링 특화 드론 플랫폼 기반 하천관리 기술 개발(2019-2023)	- 고기능 무인기 이용 하천조사 전문 드론 운영플랫폼 개발을 위한 요소기술 개발 및 테스트베드 운영을 통한 개발 기술 검증 - 현장조건 자율판단형 하천관리 드론 운영플랫폼 및 하천환경 예측 S/W - 드론 특화 수심 LiDAR 기반 하천지형 및 하상·하안·수위 변동 모니터링 기술 - 초분광 등 영상 기반 AI/CV 활용 현장 체감형 하천물리량 준실시간 분석 기술 - 하천조사/관리 최적화 드론	- 드론을 기반으로 한 하천지형 모니터링 기술 개발 - 위성영상을 이용한 자동탐지 기술은 포함되지 않음 - 초분광 영상 분석 기술 일부는 활용 가능
친환경 신소재를 이용한 고강도 제방 기술개발(2016-2021)	- 친환경 신소재를 활용한 제방 보강 기술 개발 - 하천 제방 보강에 적용가능한 바이오 신소재 개발 - 바이오 신소재를 활용한 제방 보강 기술 및 제품 개발 - 바이오 신소재를 활용한 제방 보강 기법의 안정성과 환경성 검증	- 바이오폴리머를 이용한 제방 보강 기술 개발 - 미생물결합 및 제체내부 보강 기술의 실용화는 포함되지 않음 - 바이오폴리머 적용 기술은 기반 기술로 연계 가능
하천 제방관련 선진기술 개발 (2001-2004)	- 제방 설계지침개발 - 불안정 제방에 대한 보강기법 개발 - 고규격 제방 및 완경사 제방 설계지침 개발 - 제방 안전진단 기기 및 기법 개발	- 제방 탐사 및 신소재를 이용한 보강기술 등을 포함하지 않음 - 제방 붕괴 분석 결과 등은 기초자료로 활용 가능

(5) 세부활동의 시간적 선후관계 적정성

□ 동 사업은 세부과제별 종합적 연계성 및 각 세부과제 내의 구성기술 간 연계성이 존재하며 시간적 선후관계도 적절하게 구성된 것으로 보여짐

○ 과제별 목표 시점 및 연관관계 등을 고려하여 로드맵을 아래와 같이 작성함



[그림 134] 제방 손상 스마트 탐사 및 보강 기술 연구단 기술로드맵

나. 세부활동과 사업목표 간 연계성

□ 동 사업의 세부활동과 사업목표 간의 연계성은 충분한 것으로 보여짐

○ 동 사업의 사업목표는 연구단목표를 통해 달성되고, 세부활동은 이를 달성하기 위한 연구내용으로 구성되었음

<표 67> 사업목표-세부활동간 연계성

사업목표	연구단목표	세부활동
스마트 탐사/보강으로 대규모 침수피해를 유발하는 제방 붕괴 원천 차단	- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술 - 직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술 - 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술	- 고해상도 위성영상 기반 제방 변화 탐지 및 다목적 하천관리 플랫폼 개발 - SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발
		- 제방 내부 파이핑 및 접합부 안정성 탐사를 위한 직접 전기비저항탐사 기술 개발 - 제방 누수 지점 정밀 탐사를 위한 관입형 스마트 센싱기법 및 시스템 개발 - 정밀 탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발 - 미생물기반 제방 주입 재료 및 솔루션 개발 - 미생물/바이오폴리머 제방 주입/혼합 공법 개발 - 제방 내부 보강 기술 실규모 성능검증 및 실용화

다. 추진전략의 적절성

- 동 사업 추진체계는 현재 국토교통과학기술진흥원에서 관리하는 과제와 동일한 추진체계로 구성되어 있어 과제추진 상 문제는 없을 것으로 보여짐
 - 동 사업 추진체계는 국토교통부의 위탁을 받아 국토교통과학기술진흥원에서 과제를 관리하며, 각 연구단별 선정된 참여기관이 각 세부과제를 수행하는 형태로 구성함
- 동 사업은 국토교통과학기술진흥원의 과제관리 프로세스에 따라 평가-관리-활용 3단계의 사업관리가 이루어질 계획임
 - 동 사업의 연구성과 활용은 정부의 「연구성과 관리 활용 기본계획」의 정책기조에 부합토록 활용체계를 운영할 예정임

<표 68> 사업추진절차

단계	프로세스		수행주체	내용
①평가	사업시행 공고		국토교통과학기술진흥원	- 사업시행 공고(사업안내서 및 과제제안요구서RFP포함)
	↓			
	과제신청 및 접수		국토교통부, 국토교통과학기술진흥원	- 연구기관 : 신규과제 연구개발계획서 작성 및 신청 - 국토교통과학기술진흥원 : 연구개발계획서 접수
	↓			
②관리	과제선정 및 평가		국토교통과학기술진흥원	- 사전검토 → 전문가평가(서면 발표평가) → 조정 및 협의
	↓			
	협약체결		국토교통과학기술진흥원	- 협약체결 - 사업비 지급
	↓			
③활용	성과 관리	사업 관리	국토교통과학기술진흥원(연중)	- 사업관리 - 단계평가(진도점검 및 중간평가) - 최종평가
	성과 활용	성과연계 및 확산	국토교통과학기술진흥원, 주관/참여기관	- 사업화 등 연구성과 활용(과제별 상이) - 국토교통과학기술진흥원 : 성과현황 및 활용보고서 관리 및 추적평가 실시 - 연구기관 : 성과보고 및 활용보고서 제출

3절. 경제적 타당성 분석

1. 경제성 분석 개요

- 경제적 타당성 분석은 국가연구개발사업의 비용(cost)과 편익(benefit)을 측정하고, 이에 따라 경제적 수익률(economic rate of return)을 계산함으로써 국가연구개발사업에 대한 경제적인 타당성 여부를 결정하는 분석 방법임
- 국가연구개발사업의 시행으로 인한 편익과 비용의 증가분을 각각 측정하여 해당 사업이 전체적으로 볼 때 순편익(net benefit)의 증가 또는 감소를 가져오는지를 평가함
- 경제적 타당성 분석은 비용편익비율(benefit-cost ratio)과 순현재가치(net present value) 그리고 내부수익률(internal rate of return : IRR) 등의 방법이 있으나, 예비타당성조사의 경제적 타당성 분석은 비용편익비율(benefit-cost ratio : B/C ratio)을 기본으로 활용함
- 비용편익비율이란 편익과 비용의 할인된 금액의 비율, 즉 미래에 발생될 비용과 편익을 현재 가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 것을 의미함
- 일반적으로 비용편익비율이 1보다 크면(비용편익비율 $\geq$ 1) 투자에 대한 경제적 타당성이 있다고 판단함

$$BCR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

B_t : t 시점의 편익, C_t : t 시점의 비용, r : 할인율, n : 분석기간

[그림 135] 비용편익 비율 산정식

* 출처 : 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침(제2-1판), 2016.11, KISTEP

2. 편익추정

가. 편익추정 개요

(1) 편익추정의 원칙

□ 연구개발사업의 편익은 원칙적으로 연구개발 활동의 결과로 직접적으로 나타나는 모든 긍정적 효과를 의미함

○ 연구개발사업의 편익추정은 미시적 수준에서 긍정적 효과를 구분하여 추정한 후, 거시적 수준에서 각각의 긍정적 효과를 적절하게 합산함

(2) 편익의 유형

□ 국가연구개발사업의 편익은 가치창출 편익과 비용절감 편익으로 구분 가능함

○ 가치창출 편익은 새로운 제품·서비스 개발을 통해 시장에서 해당 제품·서비스가 실제 거래되며 매출 및 부가가치가 발생하는 연구 사업에 반영함

○ 비용절감 편익은 기존 기술의 개선 및 개량, 새로운 생산 공정 기술의 개발, 대체요소 투입을 통해 생산의 효율성이 증가하여 산출비용이 감소하여 발생함

<표 69> 예비타당성조사 비용편익 분석 시 편익반영 항목

구분	예비타당성조사 비용편익 분석 시 편익 반영	예비타당성조사 비용편익 분석 시 편익 미반영
정(+)의 가치 증가	■ 부가가치 증대 - 신기술 적용을 통한 생산량 증가 ■ 기술거래 - 기술이전에 의한 로열티 수입	■ 과학기술 지식 (논문, 특허 등) ■ 과학기술자의 교육훈련 ■ 지역개발효과 ■ 지역산업구조 개편 ■ 생산유발효과 ■ 부가가치유발효과 ■ 고용유발효과 ■ 수입유발효과 ■ 수출유발효과 ■ 소득분배효과 ■ 취업유발효과
부(-)의 가치 감소	■ 생산비용저감 - 생산투입 자원 및 시간의 저감 - 연구기간, 출장횟수 등의 연구수행 비용저감 - 물류비용저감 ■ 피해비용저감 - 재난·재해·사고로 인한 피해 감소 ■ 질병비용저감 ■ 환경비용저감	

주 : 1) 논문이나 특허는 비용효과 분석으로 반영할 수 있음

2) 질병비용저감과 환경비용저감은 사업이 기여한 부분만의 산출과 이중계산 배제에 제약이 있을 경우 비용편익분석이 아닌 비용효과 분석으로 수행 가능

* 자료 : 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침, 한국과학기술기획평가원, 2019.

(3) 편익추정 방법

□ 가치창출편익은 시장수요접근법(market demand approach)에 기반하여 시장수요 추정을 통한 생산자 중심의 편익을 계산함

- 시장수요접근법에서는 해당 연구개발사업의 시행에 의한 미래 시장규모의 증가분에, 해당 연구개발사업의 기여로 창출된 직접적 편익을 한정시키기 위한 다양한 변수를 고려하여 편익을 산정함

<표 70> 시장수요접근법에 의한 편익 추정 수식

$$\text{편익} = \text{미래 시장규모} \times \text{사업기여율} \times \text{R\&D기여율} \times \text{R\&D사업화성공률} \times \text{부가가치율}$$

자료 : KISTEP, 예비타당성조사 수행세부지침, 2019

□ 비용절감편익은 생산비용을 절감시켜 얻을 수 있는 편익과 피해비용을 절감시켜 얻을 수 있는 편익으로 세분화함

- 생산비용절감 편익은 공정기술의 개선·개량·개발을 통해 기존 생산과정의 생산 효율성이 증가하여 동일한 양의 산출 비용이 낮아질 때 발생하는 편익임

<표 71> 생산비용절감 편익 추정 수식

$$\text{편익} = (\text{기존 기술에 의한 현재의 단위당 생산비용} - \text{신기술에 의한 미래의 단위당 생산비용 추정치}) \times \text{연간 국내 생산량}$$

자료 : KISTEP, 예비타당성조사 수행세부지침, 2019

- 피해비용절감 편익은 연구개발사업으로 개발된 기술을 적용하여 재난·재해, 사고, 질병 등으로 인해 발생하는 피해비용을 낮출 때 발생하는 편익임

<표 72> 피해비용절감 편익 추정 수식

$$\text{편익} = (\text{기존 피해비용} \times \text{신기술에 의한 미래의 피해비용 절감율}) \times \text{연간 피해발생 건수}$$

자료 : KISTEP, 예비타당성조사 수행세부지침, 2019

나. 편익항목 도출

- 동 사업의 사업목표와 기술개발효과를 고려하면 동 사업의 편익은 피해비용절감에 해당함
 - 동 사업은 홍수피해저감을 목표로 하천제방의 탐지 및 보강기술 개발을 연구내용으로 하고 있음
 - 동 사업을 통해 개발기술이 현장에 적용되면 붕괴가 우려되는 하천제방을 사전 탐지하여 보강함으로써 제방붕괴로 인한 홍수피해가 억제됨

다. 편익분석 방법

- 홍수피해비용 절감편익은 기술개발이 이루어지지 않았을 경우, 발생하는 홍수피해액으로 산정함
 - 국내 홍수 피해 관련 규모는 국내 호우 피해액과 호우 피해복구액, 태풍 피해액과 태풍 피해복구액을 모두 더한 값으로 산정하였으며, 이 중 동 사업이 해당되는 범위는 홍수 피해 중 하천 관련 피해로 산정함

홍수피해비용 절감 편익

$$B_{cc} = \sum_{T=2029}^{2040} \frac{(Nd + Ll) \times Md \times Dc \times Ra \times Ba \times Rf \times Tr}{(1+r)^{(T-2020)}}$$

- B_{cc} : 홍수피해비용 절감 편익
 Nd : 연평균 홍수 피해액
 Ll : 연평균 홍수 피해 복구액
 Md : 연평균 홍수 피해액 중 하천 피해 비중
 Dc : R&D 사업화 성공률
 Ra : R&D 기여율
 Ba : 사업기여율
 Rf : 홍수피해 저감율
 Tr : 기술적용률
 r : 이자율

라. 분석결과

□ 홍수피해 저감액은 1,110억원이며, 현재가치로 환산하면 567억원으로 추정됨

- 홍수피해 저감액은 연간 홍수피해액 평균과 연간 홍수피해 복구액의 평균을 더한 값에 하천 피해 비중을 곱하여 산정함
- 최근 10년간 호우와 태풍을 합친 홍수피해액 및 복구액은 총 10조 9,257억원에 달하며, 연평균 약 1조원 규모로 이 중 2,100억원 가량이 하천 및 소하천의 피해 규모로 동 사업과 유관할 것으로 추정됨
- '19년 재난연감에 따르면 '19년 호우와 태풍으로 인한 피해액은 214,429백만원이며, 이 중 하천 관련 피해액은 45,022백만원으로 21%에 해당함
- 따라서 홍수피해액 중 하천 관련 피해액을 21%로 산정함

<표 73> '19년 호우와 태풍으로 인한 피해

구분 \ 지역명				호우		태풍			
총이재민				세대/명	44	102	3,685	7,014	
인명	사망			명	0		18		
	실종			명	0		0		
	부상			명	0		22		
	계			명	0		40		
건물	주거물	유실, 전파		동	2		65		
		반파		동	4		207		
		침수		동	223		3,131		
	계			동	229		3,403		
	피해액			천원	355,144		9,825,034		
선박	동력	전파	척/톤	0	0.00		22	29.15	
		반파	척/톤	0	0.00		20	10.19	
	무동	전파	척/톤	0	0.00		1	1.00	
		반파	척/톤	0	0.00		0	0.00	
	계			척/톤	0	0.00		43	40.34
	피해액			천원	0		293,127		
농경지	전			ha	0.18		898.49		
	답			ha	0.27		456.77		
	계			ha	0.45		1,355.26		
	피해액			천원	6,654		9,620,941		
농작물	전작			ha	25		1,754		
	답작			ha	1,093		2,595		
	기타			ha	429		139,454		
	계			ha	1,547		143,804		
공공시설	도로	도로	개소/m	22	610		464	17,200	
		교량	개소/m	0	0		8	164	
		피해액	천원	33,150		30,563,292			
	하천	하천	개소/m	7	2,002		305	46,560	

구분 \ 지역명		호우		태풍	
	피 해 액	천원	61,911		26,919,986
	소하천	개소/m	16	1,739	527 42,793
	피 해 액	천원	480,829		17,559,276
	수도	개소	1		79
	피 해 액	천원	1,000		3,315,170
	항만	개소	0		4
	피 해 액	천원	0		243,157
	어항	개소	0		45
	피 해 액	천원	0		4,707,574
	학교	개소	0		22
	피 해 액	천원	0		65,817
	철도	개소/m	0	0	2 20
	피 해 액	천원	0		71,392
	수리	개소	16		117
	방 조 제	개소/m	0	68,373	1 5,847,511
	피 해 액	천원	0		0
	사방	개소/ha	0	0.00	373 21,958.71
	임 도	개소/m	1	5.00	89 169.42
	피 해 액	천원	1,000		24,569,351
	군시 설	개소	1		37
	피 해 액	천원	500		2,438,661
	소규모	개소	56		982
	피 해 액	천원	218,030		22,294,572
	기타	개소	46		36,204
	피 해 액	천원	137,995		16,445,018
	피 해 액 소 계	천원	1,002,788		155,040,777
사 유 시 설	축대, 담장	개소/천원	1	500	82,001 0
	가 축	개소/천원	0	0	48,171 0
	축사, 잠사	개소/천원	86	30,204	345 1,881,302
	수산증양식	개소/천원	0	0	1,075 13,088,649
	어망, 어구	통/천원	0	0	133,970 1,216,805
	비닐하우스	ha/천원	3.76	42,238	7,653.18 9,671,272
	기타사유시설	개소/천원	21	213,301	23,111 12,140,298
	피 해 액 소 계	천원	286,243		37,998,326
총 피 해 액		천원	1,650,829		212,778,205

- R&D 사업화 성공률은 환경부 상하수도 관련 R&D 사업의 전체 과제(40.8%)와 실증화 과제(77.9%)의 사업화 성공률 평균값을 적용하여 59%로 산정함²⁶⁾
- 사업기여율은 동 사업 투자규모를 국내 관련 R&D 전체 투자규모와 동 사업 투자규모를 합한 값으로 나눈 값인 7.9%로 산정함
 - 사업기여율은 미래 시점 기준의 연구개발활동 중 동 사업이 차지하는 비중만 적용하였으며, 아래와 같은 방식으로 계산함

사업기여율 = 동 사업 투자규모/(국내 관련 R&D 전체 투자규모(정부+민간) + 동 사업 투자규모)

- * 연평균 동 사업 규모(정부금) = 56억원
- * 유사 정부 R&D 연평균 사업비 = 최근 3년간('17~'19) 환경부, 국토교통부를 제외한 타 부처의 수자원 관리 관련 정부 R&D 연평균 투자액 = 221억원
- * 유사 민간 R&D 연평균 사업비(정부:민간 = 1:1.9²⁷⁾) = 430억원
- * 사업기여율 = 56억원/(56억원+430억원)+120억원) = 7.9%

- 홍수피해저감율은 전문가 인터뷰를 통해 100%로 산정함
 - 전문가 인터뷰에 의하면 동 기술이 적용된 하천에서는 홍수피해가 100% 저감될 것으로 예상됨
- 기술적용률은 사업 편익기간인 12년 동안 순차적으로 적용되어 100%가 되는 것으로 가정함
 - 연구개발 예비타당성조사에서는 편익의 발생기간을 편익기간으로 지칭함
 - 동 사업에서 편익 기간은 동 사업 관련 IPC(국제특허분류) 분야 특허인용수명 지수를 활용하여 기술수명기간(Technology Cycle Time, TCT)을 산출하여 이를 편익 기간으로 사용함

※ 특허인용수명 : 특정의 특허가 등록 이후 다른 특허에 의해 인용되는 기간을 의미함. 특허인용수명 지수는 후방인용(Backward Citation)에 기반한 특허인용수명의 평균, Q1, Q2(중앙값), Q3에 대한 통계값을 제시함. 특허 이와 같이 산출된 Q2는 TCT(Technology Cycle Time, 기술순환주기 또는 기술수명주기)라고 부름

26) 지속가능한 통합물관리 기술개발사업 예비타당성조사 보고서(2021)

27) 국과심심의를 거친 과학기술정보통신부의 '2019년도 정부연구개발투자방향 및 기준(안)' 을 보면 물관리분야 R&D의 민간투자 규모는 정부투자 1.9배인 것으로 제시됨

구분	기후·기상	대기	물관리	토양 및 생태계	폐기물	환경보건 및 예측	합계
정부투자(A)	1,686	849	679	369	716	1,799	6,099
민간투자(B)	140	2,298	1,320	1,123	846	492	6,219
B/A	0.1	2.7	1.944	3.0	1.2	0.3	1.0

<표 74> 동 사업 관련 IPC 분야 특허인용수명 지수

IPC	내용	평균값	Q1	Q2(중앙값)	Q3
E03B	취수, 집수, 또는 배수 설비 또는 그 방법	12.57	6	12	18

출처: 산업통상자원부, 기술가치평가 실무가이드, 2017.12

- 12년간 편익기간 내 기술이 순차적으로 하천에 적용될 것으로 가정하였으며, 이를 가정하였을 때의 적용률은 아래와 같음

<표 75> 기술 적용 범위

2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
8%	17%	25%	33%	42%	50%	58%	67%	75%	83%	92%	100%

- 총 홍수피해 저감액은 564억원이며, 현재가치로 환산하면 288억원으로 추정됨

<표 76> 제방 기술에 의한 홍수피해 저감액

구분	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	계
연간 평균 홍수피해액+ 피해복구액 (억원)	22,436	22,768	23,105	23,447	23,794	24,146	24,503	24,866	25,234	25,607	25,986	26,371	-
홍수피해중 하천비중	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	21%	-
사업화성공률	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	59%	-
R&D 기여율	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	35.4%	-
사업기여율	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	-
홍수피해저감율	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	-
기술적용률	8%	17%	25%	33%	42%	50%	58%	67%	75%	83%	92%	100%	-
편익	6	13	20	27	34	42	50	58	66	74	83	92	564
편익 현재가치	5	9	13	17	20	24	27	30	33	35	37	40	288

3. 비용 추정

□ 동 사업의 총 소요예산은 5년간 총 280억원이며, '21년 기준 현재는 245억원임

<표 77> 동 사업 소요예산

(단위 : 억 원)

분류	2022	2023	2024	2025	2026	합계
하천제방 손상 탐사 및 보강 기술개발 연구단	43.0	56.0	76.4	61.6	43.0	280.0
비용 총계	43.0	56.0	76.4	61.6	43.0	280.0
비용 현재가치	40.0	51.3	67.6	52.7	33.9	245.4

4. 경제성분석 결과

가. 비용 편익 분석 결과

□ 동 사업에 대한 비용편익 비율은 1.17로 도출되어, 사업의 예산규모 및 계획 기준으로 투입된 비용 대비 편익규모가 적절한 것으로 분석됨

<표 78> 동 사업의 비용편익분석 결과

(단위 : 억 원)

비용(현재가치)	편익(현재가치)	B/C Ratio
245.4	288.3	1.17

나. 민감도 분석 결과

□ 국가연구개발사업 예비타당성조사 수행 총괄지침에 따라 4.5%의 할인율을 적용하였으며, 사회적 할인율의 변화(±1% 수준)에 따른 비용편익 비율의 변동수준을 조사하였음

□ 사회적 할인율을 상하로 1.0%p씩 변화시켜 B/C 비율을 도출할 경우 사회적 할인율이 경제성 분석 결과에 다소 영향을 끼치는 것으로 나타남

<표 79> 동 사업의 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과

구분	할인율 3.5%	할인율 4.5%	할인율 5.5%
B/C 비율	1.32	1.24	1.05

부록. 세부과제별 RFP

과제명	(연구단)제방 손상 스마트 탐사 및 보강 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술 － 고해상도 위성영상 기반 제방 변화 탐지 및 다목적 하천관리 플랫폼 개발 － SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발 ○ 직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술 － 제방 내부 파이핑 및 접합부 안정성 탐사를 위한 직접 전기비저항탐사 기술 개발 － 제방 누수 지점 정밀 탐사를 위한 관입형 스마트 센싱기법 및 시스템 개발 － 정밀 탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발 ○ 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강 기술 － 미생물기반 제방 주입 재료 및 솔루션 개발 － 미생물/바이오폴리머 제방 주입/혼합 공법 개발 － 제방 내부 보강 기술 실규모 성능검증 및 실용화
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발의 필요성 ○ 국내 환경 측면의 필요성 － 2020년 8월 장마기간 중 제방 붕괴 등으로 전국적으로 대규모 피해 발생 － 사망 38명, 주택침수 8,985건, 이재민 9,834명, 도로/교량 피해 5,892건, 하천피해 2,694건 발생(행안부 피해 중간집계) － 최근 제방 붕괴는 월류, 파이핑, 구조물 접합부 누수 등 대부분 구조적 안정 문제로 발생 － 섬진강, 금강, 낙동강 등 주요 하천 제방 붕괴로 대규모 침수 발생(남원시, 구례읍, 곡성읍 등 전국적인 시가지 침수 발생) － 제방 붕괴 대응 기술 부재로 근본적 대책 수립을 위해 환경부 홍수대책기획단 등을 구성하였으나 홍수량 조절 외의 근본적인 구조적 대책 부재 － 대응 기술 부족으로 정부가 직접 관리하는 국가하천에 대해서도 제방의 외관 점검 및 제방 증고 외의 대책 수립이 어려움 － 제체 내부 제체 내부 조사 및 탐사가 필요하나 현재 조사 및 분석 방법 부재 － 국토부에서는 국가하천 제방에 대해 시추 조사 및 취약 제방 보강을 계획하고 있으나 대응에는 한계 － 시추 조사는 200 m 당 1 개소에 수행하므로 제체 내 결함부 파악 불가능 － 대부분의 제방 재료는 하천설계기준의 누수 저항성에 부적합한 재료이나 현실적인 개선 방법이 없어 제방 전면 개착 후 차수벽 설치 등을 계획 중임 ○ 국외 환경 측면의 필요성 － 해외의 경우, 정기적인 제방 모니터링 및 상세 점검(지반조사 등) 기준을 마련하여 시설물에 대한 취약성 평가 및 보수·보강 시행 중이나 제체 내부 조사 및 보강 등은 기술 개발이 진행 중 (네덜란드) 제체 지반특성, 제체 단면, 재료원 등을 고려한 유지보수 관리 (일본) 정기적 외관 점검 및 지반조사를 통한 상세 점검 시행(10년에 1회 이상) ☐ 기술동향 ○ 국내기술동향

- 국내에서는 Choung (2014)이 항공기를 활용하여 취득한 고해상도 영상 및 LiDAR 자료를 활용하여 제방 표면 재질 인식 및 손상 지역 탐지를 위한 자동화 기술을 개발하였으며, 본 기술을 활용하여 81~86% 정확도로 제방 표면 재질 인식 및 손상 지역 탐지가 가능함
- Choung (2015)은 제방 표면 재질 인식 및 손상 지역 탐지 자동화 기술을 활용하여 낙동강 유역에 위치한 제방의 구조 및 재질을 인식하였고, 콘크리트 등 포장 재질로 구성된 제방이 비포장 재질로 구성된 제방보다 안전성이 상대적으로 우수하다는 사실을 증명하였음
- ㈜지오씨엔아이(2014)에서는 항공사진과 LiDAR 자료를 활용한 제방 고정밀 매핑 기술을 개발하여 3차원 제방 데이터베이스를 구축하였음
- 우리나라는 차세대 중형위성 개발 사업으로 올해 3월에 광학센서를 탑재한 국토관측 위성 CAS500-1을 성공적으로 발사하여 운영 중에 있으며 2025년에 SAR 센서를 탑재한 수자원 위성을 발사할 계획을 가지고 있어 향후 수자원 및 하천 시설물 관리 업무에 위성 데이터의 활용이 증가할 것으로 기대됨
- ㈜지오씨엔아이(2018)는 국토부 연구과제를 통해 고정밀 공간정보 기반 하천 시설물 손상 위험 정보 시각화 및 피해 확산 플랫폼을 개발하였음
- ㈜지오씨엔아이(2021)는 환경부 연구과제를 통해 강우레이더 3차원 시각화 및 도시침수 플랫폼을 개발하였음
- 국토교통부에서 운영하는 RIMGIS (하천관리 지리정보시스템)과 환경부에서 운영하는 WAMIS (국가수자원관리 종합정보시스템)에서는 우리나라 주요 하천 및 제방 정보를 제공하고 있음
- 대표적인 물리조사는 방법은 탄성파를 이용한 탐사(Seismic Profiling), 직접 천공을 통한 탐사(Pilot Drilling), 전자기파를 이용한 탐사(GPR), 전기비저항을 이용한 탐사(TEPS) 등이 있음
- 그러나 기존 기술들은 상대적으로 큰 탐사 대상을 목표로 하거나 탐사 범위의 한계에 의해 탐사 해상도가 낮은 등의 단점이 있음
- 지반조사 및 탐사관련 국내외 기존장비는 중장비 혹은 정밀성이 미비한 소형장비 사용에 그침
- 유수지 측 제방 하단에 파이핑 현상이 발생한 부분을 약액주입(HGG)공법을 이용한 보강이 대부분임(신은철 et al., 2013).
- 최근 미생물 기반 바이오폴리머를 이용한 지반 보강 기술이 제시되고 있고, 특히 침식 저항력이 우수한 것으로 밝혀짐(Chang et al. 2015; 2019).
- 미생물/바이오폴리머 혼합재료를 활용한 지반보강 공법에 대한 연구는 전무함
- 소규모 실내실험을 통한 미생물/바이오폴리머 보강재의 주입특성 연구 수행되었으나, 중·대형 실내실험을 통한 연구는 부족한 실정임.
- 바이오폴리머 보강재를 활용한 제방 외부 보강을 위한 연구는 수행되었으나, 현장에서의 제방 내부 보강을 위한 미생물/바이오폴리머 혼합 주입공법 개발에 대한 연구는 수행된 적 없음
- 국외기술동향

- USGS (미국 지질조사국)는 NWIS를 통하여 미국 전역의 물관련 정보를 제공하는 웹 GIS 기반 하천정보 시스템을 운영하고 있음
- FEMA (미국 재난관리청)는 GIS 기반 재난관리시스템인 Hazus-MH를 구축하여 허리케인, 홍수 등 수재해에 대응하는 구조물에 대한 GIS 기반 위험도 지도를 제공함
- NOAA (미국 해양기상청)은 레이더 기반 강우추정을 통한 홍수관리시스템을 구축하여 운영하고 있음
- 도시지역과 같이 고정산란체가 많은 곳에서는 PSInSAR와 같은 고정산란체 활용 시계열 지표변위 관측 기법이 효과적임. 이에 따라 많은 연구에서 고정산란체를 활용하여 제방의 모니터링을 수행 (Dzer et al., 2019)
- 전기비저항 탐사 기술을 바탕으로 지하구조 탐사를 위한 다중 채널 등의 DAQ 시스템을 통해 영상화 및 3차원 탐사가 가능해짐.
- 또한 정밀한 모델링 등을 통해 전기비저항 탐사 기술의 활용도가 높아졌으며, 지하수, 탐사, 토목분야 등에 다양하게 적용 가능함
- 그러나 낮은 해상도와 고심도 탐사의 한계점이 있으며, 파이핑 탐사에도 적용하는 기술 또한 연구단계 수준임
- 스위스(Ecole Polytechnique)에서는 생물학적 매개 지반 보강공법을 이용한 지반 침식과 안정성 위험을 완화할 수 있는 생물학적 지반보강 기술을 연구 중이나 아직 실용화 단계에는 못미침.
- 중국 ZHEJIANG 대학에서 미생물 기반 보강재의 현장 주입 시 발생하는 부산물 제거 기술 등 기초 연구 수행되었으나, 미생물/바이오폴리머 혼합재료의 주입 및 노후 제방에 적용 연구는 전무함
- 미 공병단 연구개발센터에서 제방 응급 복구 기술 개발을 착수. 워터튜브를 이용한 응급복구 기술을 제시하고 실규모 실험을 진행하였음(2007)
- 폴리에스테르 및 폴리프로필렌 단섬유 보강토를 이용하여 보강한 제방의 파이핑 내성을 평가하였음(K.Furumoto et al., 2002).

3. 연구개발 내용

(1차년도)

- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
 - 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계
 - 다중시기 위성 SAR 영상 수집 및 처리
- 직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술
 - 직접-전기비저항 탐사시스템(DEPS)의 제방 적용기법 고안
 - 관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발
 - 실시간 제방 안정성 분석 시스템 구축을 위한 프로토타입 모델 개발
- 미생물 기반 주입/고결에 의한 제방 보강 기술
 - 신재료 특성 평가 및 발굴
 - 주입/혼합공법 영향인자 분석 및 보강재 후보군 도출
 - 제방 내부침식 모사를 위한 실험형 실험시스템 구축 핵심 요소 구축

(2차년도)

- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
 - － 고해상도 위성영상과 빅데이터 기반 하천 및 제방 데이터베이스 구축
 - － 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 다중시기 영상 적층기법
 - － 제방 변위 관측을 위한 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술
- 직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술
 - － 제체 내 공동, 유로 등을 탐사/해석할 수 있는 알고리즘 개발
 - － 관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발
 - － 실시간 제방 안정성 분석 시스템 핵심 요소 기술 개발
- 미생물 기반 주입/고결에 의한 제방 보강 기술
 - － 후보재료 도출 및 주입 효율성 평가/검증
 - － 미생물/바이오폴리머 보강재의 유동특성 및 영향인자 평가
 - － 실대형 제방 모형 내부침식 모사 실험시스템 구축

(3차년도)

- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
 - － 시계열 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐지 기술 개발
 - － 제방 변위 관측을 위한 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술
 - － 다중개구간섭기법을 활용한 위성 궤도 방향 지표변위 관측
- 직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술
 - － 탐사 알고리즘 개선을 통한 해석결과 신뢰도 향상
 - － 초소형 이미지 촬영기법 개발 및 융복합 센서 모듈 설계
 - － 실시간 제방 안정성 분석 시스템 자동화 및 고도화
- 미생물 기반 주입/고결에 의한 제방 보강 기술
 - － 최적재료 개발 및 선BPST-후MICP 주입을 위한 핵심 요소 도출
 - － 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 특성 평가 및 후보군 레시피 도출
 - － 생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가(1단계)

(4차년도)

- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
 - － 3차원 GIS 및 고해상도 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발
 - － 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발
 - － 3차원 제방 변위 측정
- 직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술
 - － 현장 환경조건을 고려한 실험 수행을 통한 탐사/해석 시스템 검증
 - － 제방 강도 및 강성 파악을 위한 융복합 센싱 기술 개발
 - － 실시간 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 기술 개발
- 미생물 기반 주입/고결에 의한 제방 보강 기술
 - － 주입액 검증 및 기법별 주입 기법 개발
 - － 미생물/바이오폴리머 주입공법 개발 및 예측 모델 개발
 - － 생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가(2단계)

(5차년도)

- 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술

- 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 및 다목적 하천관리 플랫폼 검증
- 딥러닝 기반 위성 SAR 광역 탐사에 따른 제방 손상 지역 분석
- 위성 SAR 영상 기반 제방 손상 탐사기술의 작업 절차 확립
- 직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술
 - 탐사시스템 시제품 제작 및 현장 적용을 통한 보완
 - 제방 강도 및 강성 파악을 위한 융복합 센싱 기술 개발
 - 실시간 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 및 검증
- 미생물 기반 주입/고결에 의한 제방 보강 기술
 - 기법별 주입 기법 검증 및 실용화
 - 미생물/바이오폴리머 주입효율 예측 프로그램 및 가이드라인 개발
 - 조건별 최적 생물학적 보강 공법 검증 및 기술 완성

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 제방의 존재 유무, 제방의 손상 여부, 데이터 획득 가능성을 고려하여 적절한 테스트베드 선정 및 시계열 고해상도 위성영상의 획득 계획 수립
- 연구의 년차별/단계별 실현 가능한 목표를 수립하고 그에 적합한 구체적인 추진전략 및 일정계획 수립
- 제방 손상 탐지 및 하천관리 플랫폼 관련 기 수행(종료과제) 및 현재 수행 중인 연구개발 결과와의 구체적인 연계, 통합 및 활용 방안을 연구 계획에 포함
- 개발 결과물의 논문 게재, SW 등록, 기술 이전, 특허 출원 등을 통해 개발 기술의 공인된 검증, 실수요처 기술이전 추진 및 현장 활용성 도모
- 기존 위성 SAR를 활용한 지표변위 관측 기법 관련 연구개발 과제 연구 결과와의 구체적인 연계 방법을 연구 계획에 포함
- 현장에서의 제방탐사 기술을 적용한 연구 수행 및 관련 수요처와의 업무협력 실시
- 본 연구는 제방관리 기술 실용화를 목표로 하며, 주 수요처(국토부, 환경부 등)의 의견을 지속적으로 수렴하여 현장 활용성을 극대화하는 형태로 성과 도출

□ 추진체계

- 국토부, 환경부 등 유관기관과의 협력을 통한 개발 기술의 실무 연계 활용방안 모색
- 산업계를 중심으로 핵심 기술을 개발하고, 추가적으로 필요한 세부 기술에 대해서는 관련 학계, 지자체, 공공기관 및 출연연으로부터 세부 기술 확보
- 지자체, 홍수통제소 등 제방 관리 관련 기관으로부터 제방의 안전성 현장 평가 자료 확보 및 실무 연계 방안 모색
- 국토부, 환경부, Kwater 등 하천관리 관련 기관으로부터 기존 하천관리 플랫폼의 특징, 구성, 장단점에 관한 자료 확보 및 실무 연계 방안 모색
- 실용화 목적의 연구개발을 위해 현장 실험 수행 및 데이터 확보
- 생물학적 지반보강 관련 전문 연구기관의 참여를 통해 연구 성공률을 높이고, 세계 최초·선도 연구 수행으로 연구의 파급력 강화

- 나노스케일의 결합메커니즘 규명과 다양한 역학적 거동 평가를 통해 현장 주입 후 거동과 지속성(내구성)을 정확하게 평가하여 기술의 신뢰성 확보
- 다수의 국제논문과 지적재산권 확보를 통해 국제적인 기술 우위를 점하고, 실규모 현장실험과 현장시공을 통해 기술의 완성도를 높임
- EFA, Hole Erosion Apparatus와 같은 실내실험에서부터 대형 수로시험기, 실규모 제방 모형실험과 같은 실험대형 검증으로 이어지는 연구를 통해 결과물의 실용화 및 상용화 가능성 극대화
- 새로운 MICP 접착액/영양액 개발, 바이오폴리머-점토 주입 재료 개발, 바이오폴리머-MICP 융합 기술 개발, MICP 하이드로겔 영양액 개발 분야 생물학적 지반보강 관련 선도 연구진의 참여를 통해 전문성 강화 및 연구의 최종 성공 가능성 향상
- 내부침식 또는 홍수 모사 시험 및 모니터링 연구와 모형 제방에 대한 생물학적 시공법 적용을 이원화하여 업무의 전문성 확보
- 건설기계·시공 관련 전문연구기관의 참여를 통한 현장 적용성 강화

5. 최종성과물

□ 주요 최종성과물

〈관련 연구의 연차별 성과물〉

- 1차년도
 - － 제방 유형별 손상 국내외 사례 조사 보고서
 - － 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐사 기술 국내외 사례 조사 보고서
 - － 시계열 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계도
 - － 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발 국내외 사례 조사 보고서
 - － 국내 주요 제방에 대한 위성 SAR 빅데이터 확보
 - － 국내 주요 제방에 대한 위성 SAR 차분간섭영상
- 2차년도
 - － WAMIS/RIMGIS 등으로부터 확보한 국내 주요 제방 및 하천 현황 정보
 - － 테스트베드 지역에서 확보한 시계열 고해상도 위성영상
 - － 위성영상/WAMIS/RIMGIS 를 활용하여 구축한 하천 및 제방 데이터베이스
 - － 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 알고리즘 설계도
 - － 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 다중시기 영상 적층 기법 개발
 - － 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 개발
- 3차년도
 - － 고해상도 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 고정밀 매핑 기술
 - － 시계열 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 손상 탐지 기술
 - － 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 프로토타입
 - － 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 개발
 - － 다중개구간섭기법을 활용한 제방의 위성 궤도방향 지표변위
- 4차년도

	- 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 모듈 개발 - 위성영상/빅데이터 기반 하천 및 제방 정보와 외부정보 연동 기술 - 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 (SW) - 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발 - 3차원 제방 변위 분석 및 제방 손상 지역의 변위 양상 확보 ○ 5차년도 - 시계열 위성영상 기반 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 검증 보고서 - 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 검증 보고서 및 사용자 매뉴얼 - 지자체 및 관련 기관 보급을 위한 지자체/기관별 하천관리 플랫폼 연계 방안 수립 계획 보고서 - 위성 SAR 지표변위 자료를 활용한 손상 제방 탐지 딥러닝 모델 - 위성 SAR 및 딥러닝 기법을 활용한 제방 손상 탐사 기술의 작업 절차
6. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2022년 ○월 ~ 2026년 ○월(○년 ○월) ○ 연구비 예산 : 280억원(정부출연금 : 280억원 이내)
7. 기 타	
	○ 기술 실용화 및 상용화 전략 제시 ○ 기술의 적용성, 경제성, 환경성 등의 분석 및 제시 ○ 현장 적용에 의한 기술 검증 방법 제시

과제명	(1세부)고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 기술
1. 연구개발 목표	○ 고해상도 위성영상 기반 제방 변화 탐지 및 다목적 하천관리 플랫폼 개발 － 고해상도 위성영상과 빅데이터 기반 하천 및 제방 데이터베이스 구축 － 시계열 고해상도 위성영상을 활용한 제방 손상 광역 탐사 기술 개발 － 3차원 GIS 및 고해상도 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발 ○ SAR 위성영상 기반 제방 변위 측정 및 손상 탐사 기술 개발 － 제방 변위 관측을 위한 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 (1 cm/year 정밀도) － 제방 변위 관측을 위한 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 (1 cm/year 정밀도) － 다중개구간섭기법을 활용한 위성 궤도 방향 지표변위 관측 － 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발 (3 cm/year 정밀도) － 3차원 제방 변위 측정 (3.5 cm/year 정밀도) － 딥러닝 기반 위성 SAR 광역 탐사에 따른 제방 손상 지역 분석 (탐지 정확도 85%)
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내 환경 측면의 필요성 － 최근 10년(2009~2018년)간 발생한 자연재난 피해액은 연평균 3,500억원에 달하며, 자연재난에 의한 제방 등 공공시설물의 피해액은 전체 피해액의 70%에 달할 정도로 큰 비중을 차지함 － 자연재난 및 재방 노후화로 인한 제방의 지속적인 손상 지역을 광역적으로 탐지하고 안전성을 지속적으로 모니터링함으로써 유지보수가 필요한 제방을 사전에 선정하고 방재계획을 수립함으로써 제방 붕괴로 인해 발생하는 피해를 최소화할 수 있음 － 최근 드론 탑재 고정밀 센서를 활용한 제방 손상 탐지 기술 개발 및 관련 연구가 수행되고 있으나 드론 이동체 특성으로 인해 지속적인 광역지역 탐사 업무를 수행하는데 많은 제약이 있어 제방 손상 광역 탐사 업무에 한계가 있음 － 시계열로 획득할 수 있는 공간 해상도 1m 이하의 고해상도 위성영상은 제방의 지속적인 손상 지역을 탐지하고 재난대응을 위한 제방 관리 체계 구축에 중요한 근거 자료로 활용될 수 있음 － 우리나라는 현재 운용 중인 다목적 실용 위성 KOMPSAT-3/3A/5와 올해 3월에 발사된 국토관측 위성 CAS500-1이 공간 해상도 1m 이하의 고해상도 위성영상을 정기적으로 제공할 수 있어 제방의 안전성에 관한 정량적인 정보 제공 및 지속적인 제방 관리 체계 구축에 활용될 수 있음 － 또한 3차원 GIS와 고해상도 위성영상을 접목하여 다목적 하천관리 플랫폼을 개발함으로써 현장 방문 없이 광역지역 하천 및 제방을 지속적으로 관리할 수 있어 제방 유지보수 의사결정을 지원할 수 있음 ○ 국외 환경 측면의 필요성 － 국제적으로도 기후 변화에 의하여 제방 모니터링을 위한 연구 다수 수행 － 다만, 위성 원격탐사를 기반으로 한 제방 모니터링 연구가 수행되고는 있으나 아직까지 그 기술적 어려움에 따라 제한적으로 적용중 － 주로 제방의 수직 지표변위에 대하여 위성레이더 기반 시계열 지표변위 관

□ 기술동향

- 측 기법을 적용하여 관측한 바 있으나, 실질적으로 더욱 큰 피해를 야기할 수 있는 수평 변위 양상에 대해서는 분석된 바 없음
- 제방의 3차원 지표변위 관측 기법을 개발함으로써 제방의 안정성에 대한 다각적인 해석이 가능할 것으로 예상
- 또한 이 기술은 국제 선도적으로 활용되어 신산업을 창출할 수 있을 것이라 판단되어 매우 중요함
- 국내기술동향
- 국내에서는 Choung (2014)이 항공기를 활용하여 취득한 고해상도 영상 및 LiDAR 자료를 활용하여 제방 표면 재질 인식 및 손상 지역 탐지를 위한 자동화 기술을 개발하였으며, 본 기술을 활용하여 81~86% 정확도로 제방 표면 재질 인식 및 손상 지역 탐지가 가능함
- Choung (2015)은 제방 표면 재질 인식 및 손상 지역 탐지 자동화 기술을 활용하여 낙동강 유역에 위치한 제방의 구조 및 재질을 인식하였고, 콘크리트 등 포장 재질로 구성된 제방이 비포장 재질로 구성된 제방보다 안전성이 상대적으로 우수하다는 사실을 증명하였음
- ㈜지오씨엔아이(2014)에서는 항공사진과 LiDAR 자료를 활용한 제방 고정밀 매핑 기술을 개발하여 3차원 제방 데이터베이스를 구축하였음
- 우리나라는 차세대 중형위성 개발 사업으로 올해 3월에 광학센서를 탑재한 국토관측 위성 CAS500-1을 성공적으로 발사하여 운영 중에 있으며 2025년에 SAR 센서를 탑재한 수자원 위성을 발사할 계획을 가지고 있어 향후 수자원 및 하천 시설물 관리 업무에 위성 데이터의 활용이 증가할 것으로 기대됨
- ㈜지오씨엔아이(2018)는 국토부 연구과제를 통해 고정밀 공간정보 기반 하천 시설물 손상 위험 정보 시각화 및 피해 확산 플랫폼을 개발하였음
- ㈜지오씨엔아이(2021)는 환경부 연구과제를 통해 강우레이더 3차원 시각화 및 도시침수 플랫폼을 개발하였음
- 국토교통부에서 운영하는 RIMGIS (하천관리 지리정보시스템)과 환경부에서 운영하는 WAMIS (국가수자원관리 종합정보시스템)에서는 우리나라 주요 하천 및 제방 정보를 제공하고 있음
- 국내에서는 위성레이더를 활용한 제방 지역의 지반침하 관측 연구가 진행된 바 없으나 시계열 지표변위 관측기법을 활용한 지반침하 관측 관련 연구는 다수 이루어짐
- 특히 매립지나 광산 등에서 발생하는 지표변위 양상이 분석된 바 있음
- 채굴이 끝난 폐광산이나 지하시설물 건설에 따라 발생한 지하 공동 지역에서 발생하는 장기적인 지반침하 역시 시계열 지표변위 관측 기법을 활용하여 다수 분석된 바 있음 (Jung et al., 2007)
- 한편, 연약지반 위에 매립되어 조성된 연안 매립지나 쓰레기 매립지와 같이 지속적으로 지반침하가 발생하는 지역에 대해 많은 연구에서 위성레이더를 활용하여 지반침하를 관측하고 있음 (Kim et al., 2005; Cho and Lee 2014; Baek and Jung, 2018; Baek et al., 2018; Park and Hong, 2020; Arip et al., 2020)
- 특히 3차원 지표 변위 관측 기술을 활용하여 연안 매립지의 바다 방향의 수

	평 지표변위 관측 연구가 최근 진행되고 있음 (Baek and Jung, 2018) ○ 국외기술동향 - Klemas (2009)는 고해상도 위성영상을 활용하여 2005년에 발생한 허리케인 카트리나에 의해 미국 뉴올리언스 지역의 제방이 붕괴 및 손상된 지역을 탐지하였음 - Bakula et al. (2020)은 드론 LiDAR 및 광학 센서를 활용하여 취득한 이중 센서 데이터를 활용하여 제방 손상 지역을 탐지하였음 - Mississippi Mineral Center (2021)는 IKONOS, Quikbird 등 고해상도 위성영상을 활용하여 미국 Mississippi 강 유역의 제방이 붕괴 및 손상된 지역을 탐지하기 위한 활용 기술을 개발하였음 - USGS (미국 지질조사국)는 NWIS를 통하여 미국 전역의 물관련 정보를 제공하는 웹 GIS 기반 하천정보 시스템을 운영하고 있음 - FEMA (미국 재난관리청)는 GIS 기반 재난관리시스템인 Hazus-MH를 구축하여 허리케인, 홍수 등 수재해에 대응하는 구조물에 대한 GIS 기반 위험도 지도를 제공함 - NOAA (미국 해양기상청)은 레이더 기반 강우추정을 통한 홍수관리시스템을 구축하여 운영하고 있음 - 도시지역과 같이 고정산란체가 많은 곳에서는 PSInSAR와 같은 고정산란체 활용 시계열 지표변위 관측 기법이 효과적임. 이에 따라 많은 연구에서 고정산란체를 활용하여 제방의 모니터링을 수행 (Dzer et al., 2019) - PSInSAR를 활용하였을 때 제방 상단의 콘크리트 구조에 대해서는 원활한 지표변위의 관측이 가능하였지만, 수풀로 덮인 제방 측면부 관측에 한계 - 이러한 사실을 미루어볼 때에 인공물로 덮인 제방에 대해서는 PSInSAR가 효과적으로 지표변위를 탐지할 수 있음 - 한편 흙이나 수목 등으로 덮인 지역에서는 유효한 분석이 어려움 - 분포산란체를 활용한 제방 모니터링 사례도 찾아볼 수 있음 (Cathleen et al., 2012) - 분포산란체를 활용했을 때에도 제방의 지표변위를 평가할 수 있을 것으로 보이지만 멀티룩 과정에서 해상도가 저하되므로 분석에 한계가 있음 - 한편, NASA JPL에서는 UAVSAR를 활용하여 제방의 안정성 평가한 바 있음 - GPS를 활용하여 상대지표변위만을 관측할 수 있는 영상레이더 한계 개선 - 보조적인 관측소에서 측정된 지표변위를 기준으로 활용하여 레이더를 활용한 지표변위 관측의 신뢰성을 향상할 수 있음
3. 연구개발 내용	(1차년도) ○ 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계 - 제방 유형별 손상 국내외 사례 조사 - 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐사 기술 국내외 사례 조사 - 시계열 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계 - 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발 국내외 사례 조사

- 다중시기 위성 SAR 영상 수집 및 처리
 - 위성 SAR 영상수집 및 촬영 환경 분석
 - 시간기선(Temporal baseline) 및 수직기선(Perpendicular baseline)을 고려한 위성 SAR 간섭쌍 선정
 - 위성 SAR 차분간섭영상 생성

(2차년도)

- 고해상도 위성영상과 빅데이터 기반 하천 및 제방 데이터베이스 구축
 - 테스트베드 선정 및 시계열 고해상도 위성영상 획득
 - WAMIS/RIMGIS 등으로부터 국내 주요 하천 및 제방 정보 획득
 - 위성영상 및 빅데이터(WAMIS/RIMGIS) 기반 국내 주요 하천 및 제방 데이터베이스 구축
 - 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 알고리즘 설계
- 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 다중시기 영상 적층기법
 - 위성 SAR 차분간섭영상의 지형 및 궤도 왜곡 저감
 - 위성 SAR 차분간섭영상 분류 및 최종 시계열 간섭쌍 결정
 - 다중시기 영상 스택킹을 통한 평균 지표변위 영상 제작
 - 관측 결과 분석 및 검증
- 제방 변위 관측을 위한 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술
 - 양질의 차분간섭영상 선정하여 초기 선형 지표변위 및 지형 왜곡 분석
 - 반복적인 대기오차 보정과 참조위상 보정에 따라 시계열 지표변위 개선
 - 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 및 검증

(3차년도)

- 시계열 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐지 기술 개발
 - 고해상도 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 고정밀 매핑 기술 개발
 - 시계열 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 손상 탐지 기술 개발
 - 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 프로토타입 개발
- 제방 변위 관측을 위한 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술
 - 위성 SAR 차분간섭영상 분석에 의한 기준 영상 결정
 - 영상 내의 안정적인 고정산란체 결정
 - 고정산란체의 선형 지표변위 및 지형 왜곡 분석
 - 대기 오차 저감 및 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 및 검증
- 다중개구간섭기법을 활용한 위성 궤도 방향 지표변위 관측
 - 아지무스 공통 주파수 필터에 의한 전시 및 후시 SLC (Single Look Complex) 제작
 - 전시 및 후시 간섭 영상 제작 및 궤도 및 지형 왜곡 저감
 - 위성 궤도 방향 지표 변위 관측 및 검증

(4차년도)

- 3차원 GIS 및 고해상도 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발

- 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 모듈 개발
- 위성영상/빅데이터 기반 하천 및 제방 정보와 외부정보 연동 기술 개발
- 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발
- 제방 변위 측정을 위한 다중개구간섭 기법의 적층 기법 개발
 - 위성레이더 간섭쌍들에 대한 잔여 전시 및 후시 간섭영상 생성
 - 전시 및 후시 간섭 적층 영상 생성
 - 초기 다중개구간섭 적층 영상 생성
 - 다중개구간섭 적층 영상의 이온층 및 궤도 왜곡 보정
 - 관측 품질 검증
- 3차원 제방 변위 측정
 - 상향 및 하향 궤도의 평균 지표변위 획득 (차분간섭기법 및 다중개구간섭 기법의 적층 기법 활용)
 - 위성 SAR 상향 및 하향 궤도 정보 및 촬영 정보 분석
 - 궤도 정보에 기반한 3차원 지표변위 복원
 - 제방의 3차원 변위 분석 및 제방 손상지역의 변위 양상 분석

(5차년도)

- 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 및 다목적 하천관리 플랫폼 검증
 - 시계열 위성영상 기반 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 검증
 - 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 검증 및 사용자 매뉴얼 작성
 - 지자체 및 관련 기관 보급을 위한 지자체/기관별 하천관리 플랫폼 연계 방안 수립
- 딥러닝 기반 위성 SAR 광역 탐사에 따른 제방 손상 지역 분석
 - 관측 결과로부터 이상 신호 지역 확인
 - 제방 손상지역 분석을 위한 학습용 AI 데이터 제작
 - 제방 변위 탐지 결과로부터 제방 손상 지역을 탐지하는 딥러닝 모델 개발
 - 모델 고도화 (Fine tuning) 및 탐지 성능 분석
- 위성 SAR 영상 기반 제방 손상 탐사기술의 작업 절차 확립
 - 제방의 유형별 자료처리 방법 포함
 - 고품질 차분간섭영상 선정을 위한 기준 정리
 - 제방 손상 위치의 신호적 특징 및 딥러닝 기법 적용방안 정리

4. 연구개발 추진방법

☐ 추진전략

- 제방의 존재 유무, 제방의 손상 여부, 데이터 획득 가능성을 고려하여 적절한 테스트베드 선정 및 시계열 고해상도 위성영상의 획득 계획 수립
- 연구의 년차별/단계별 실현 가능한 목표를 수립하고 그에 적합한 구체적인 추진전략 및 일정계획 수립
- 제방 손상 탐지 및 하천관리 플랫폼 관련 기 수행(종료과제) 및 현재 수행 중인 연구개발 결과와의 구체적인 연계, 통합 및 활용 방안을 연구 계획에

□ 추진체계	포함 ○ 개발 결과물의 논문 게재, SW 등록, 기술 이전, 특허 출원 등을 통해 개발 기술의 공인된 검증, 실수요처 기술이전 추진 및 현장 활용성 도모 ○ 기존 위성 SAR를 활용한 지표변위 관측 기법 관련 연구개발 과제 연구 결과와의 구체적인 연계 방법을 연구 계획에 포함 ○ 산업계를 중심으로 핵심 기술을 개발하고, 추가적으로 필요한 세부 기술에 대해서는 관련 학계, 지자체, 공공기관 및 출연연으로부터 세부 기술 확보 ○ 지자체, 홍수통제소 등 제방 관리 관련 기관으로부터 제방의 안전성 현장 평가 자료 확보 및 실무 연계 방안 모색 ○ 국토부, 환경부, Kwater 등 하천관리 관련 기관으로부터 기존 하천관리 플랫폼의 특징, 구성, 장단점에 관한 자료 확보 및 실무 연계 방안 모색 ○ 고해상도 위성영상, 제방 안전성, 다목적 하천관리 플랫폼 관련 산학연 전문가 자문단을 구성하여 연구의 기술적, 정책적, 경제적 추진방향 및 보완사항에 대한 지속적인 자문 ○ 고해상도 위성영상 자료의 지속적인 누적 및 취득 체계 구축 ○ 위성 SAR 및 제방 안전성 관련 전문가 자문단을 구성하여 연구의 기술적, 경제적, 정책적 추진방향을 지속적으로 바로 잡고 보완사항을 자문 ○ 본 연구에서는 대량의 다중궤도 시계열 위성 SAR 자료의 취득이 선행되어야 하므로 위성레이더 자료 취득 및 누적과 관련된 추진체계 제시가 필수적
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	<관련 연구의 연차별 성과물> ○ 1차년도 - 제방 유형별 손상 국내외 사례 조사 보고서 - 고해상도 위성영상 기반 제방 손상 탐사 기술 국내외 사례 조사 보고서 - 시계열 위성영상 기반 제방 손상 광역 탐사 알고리즘 설계도 - 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 개발 국내외 사례 조사 보고서 - 국내 주요 제방에 대한 위성 SAR 빅데이터 확보 - 국내 주요 제방에 대한 위성 SAR 차분간섭영상 ○ 2차년도 - WAMIS/RIMGIS 등으로부터 확보한 국내 주요 제방 및 하천 현황 정보 - 테스트베드 지역에서 확보한 시계열 고해상도 위성영상 - 위성영상/WAMIS/RIMGIS 를 활용하여 구축한 하천 및 제방 데이터베이스 - 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 플랫폼 알고리즘 설계도 - 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 다중시기 영상 적층 기법 개발 - 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 분포산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 개발

	○ 3차년도 - 고해상도 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 고정밀 매핑 기술 - 시계열 위성영상과 인공지능을 접목한 제방 손상 탐지 기술 - 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 프로토타입 - 제방 변위 관측을 위한 위성 SAR 고정산란체 기반 시계열 지표변위 관측 기술 개발 - 다중개구간삽기법을 활용한 제방의 위성 궤도방향 지표변위 ○ 4차년도 - 3차원 GIS 기반 다목적 하천관리 모듈 개발 - 위성영상/빅데이터 기반 하천 및 제방 정보와 외부정보 연동 기술 - 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 (SW) - 제방 변위 측정을 위한 다중개구간삽 기법의 적층 기법 개발 - 3차원 제방 변위 분석 및 제방 손상 지역의 변위 양상 확보 ○ 5차년도 - 시계열 위성영상 기반 제방 광역 손상 탐지 기술 정확도 검증 보고서 - 3차원 GIS 및 위성영상 기반 다목적 하천관리 플랫폼 검증 보고서 및 사용자 매뉴얼 - 지자체 및 관련 기관 보급을 위한 지자체/기관별 하천관리 플랫폼 연계 방안 수립 계획 보고서 - 위성 SAR 지표변위 자료를 활용한 손상 제방 탐지 딥러닝 모델 - 위성 SAR 및 딥러닝 기법을 활용한 제방 손상 탐사 기술의 작업 절차
6. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2022년 ○월 ~ 2026년 ○월(○년 ○월) ○ 연구비 예산 : 60억원(정부출연금 : 60억원 이내)
7. 기 타	
	○ 국토부, 환경부 등 관련 기관 시스템 구축 현황 및 활용 가능성을 조사하여 반영

과제명	(2세부)직접 전기비저항에 의한 고해상도/고심도 제방탐사 기술
1. 연구개발 목표	○ 제방 내부 파이핑 및 접합부 안정성 탐사를 위한 직접 전기비저항탐사 기술 개발 － 제방에 적합한 신속/경량 탐사 기술 － 타겟 구간(10m)에 대해 심도 20m 정밀 탐사 － 20cm 이상 규모의 유로/공동 파악 － 신속 탐사 : 1회 탐사/시간, 1회 해석/2시간 ○ 제방 누수 지점 정밀 탐사를 위한 관입형 스마트 센싱기법 및 시스템 개발 － 목표심도 2m 내외 / 20cm 내외의 센싱 해상심도 확보 － 휴대성 및 이동성 확보를 위한 20kg 수준의 시스템 설계 － 신속성 및 효율성 확보를 위한 1공/30분 내외의 실험 ○ 정밀 탐사 기반 제방 안정성 분석 시스템 개발 － 전기비저항 신속 4D 모니터링 및 정밀 영상화 기술 － 고해상 탐사 데이터 기반 제체 안정성 분석/평가 시스템
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발의 필요성 ○ 국내 환경 측면의 필요성 － 제체 내부에 발생하는 유로 및 공동 등의 결손에 의한 제방 붕괴 등의 피해 증가 － 파이핑과 구조물 접합부 누수는 제체 내부에 유로나 공동이 형성되어 발생하나 현재 제체 조사에 적용할 수 있는 실무적인 사전 탐지 기술은 부재 － 기존 지반 물리탐사 기술을 적용할 수 있으나 비용/시간에 비해 정확도가 보장되지 않음 － 기존의 지반조사 중장비는 탐사가능 심도(20m 내외)가 비교적 깊으나, 접근성의 한계로 댐 제방에 적용하기 어려움. 특히, 많은 구간 혹은 지점의 표층에 대한 정밀탐사가 요구되는 댐 제방의 경우, 1공/2시간 내외의 기존 지반조사 속도는 매우 비효율적임. 대표적인 기존 지반조사 장비인 표준관입시험기는 해머의 무게만 63.5kg으로, 부가적인 장비 및 시스템 포함시 ton 단위의 중장비임 (본 연구: 장비 및 시스템 포함 20kg 수준) － 장기적으로 물리탐사기법의 효율과 정확도 향상을 통해 제방 탐사에 활용하는 것이 적합 － 심도에 따른 함수비를 직접적으로 측정하는 장비 및 시스템 개발은 선행연구가 미비하며, 누수 및 유로구간을 추정하는데 효율적인 함수비 추정용 관입형 스마트 센싱기법의 개발을 통해 차별성을 극대화하고자 함. ○ 해외 환경 측면의 필요성 － 미국, 유럽, 중국 등에서는 전자기장 시험을 제방 파이핑 탐사에 적용하고 있으나 연구단계임 － 현재 기술 수준으로는 깊은 탐사심도에서 고해상도 탐사가 불가능함 － 본 연구에서는 전기비저항 탐사기법을 바탕으로 높은 해상도와 파이프 형태의 유로 등을 탐사할 수 있는 알고리즘 개발 및 제방 적용 탐사 시스템을

□ 기술동향	개발하고자 함 ○ 국내기술동향 - 지반조사를 통해서 획득되는 정보는 공간적, 시간적 제약, 해상도 저하 등에 의해 대략적인 지반의 특성을 가짐 - 터널 전방 및 지하매설물 탐사 등의 분야에서 지반 내 상태를 예측하는 기술들이 개발되고 있음 - 그 중에서 대표적으로 사용되는 방법은 탄성파를 이용한 탐사(Seismic Profiling), 직접 천공을 통한 탐사(Pilot Drilling), 전자기파를 이용한 탐사(GPR), 전기비저항을 이용한 탐사(TEPS) 등이 있음 - 그러나 기존 기술들은 상대적으로 큰 탐사 대상을 목표로 하거나 탐사 범위의 한계에 의해 탐사 해상도가 낮은 등의 단점이 있음 - 지반조사 및 탐사관련 국내외 기존장비는 중장비 혹은 정밀성이 미비한 소형장비 사용에 그침 - 이러한 현재 기술 수준으로는 제체내부에 발생한 유로 및 수로 하부 침하에 의한 공동 등을 탐지하기에는 해상도 및 비용의 측면에서 기술 적용성이 낮음 ○ 국외기술동향 - 전기비저항 탐사 기술을 바탕으로 지하구조 탐사를 위한 다중 채널 등의 DAQ 시스템을 통해 영상화 및 3차원 탐사가 가능해짐. - 또한 정밀한 모델링 등을 통해 전기비저항 탐사 기술의 활용도가 높아졌으며, 지하수, 탐사, 토목분야 등에 다양하게 적용 가능함 - 그러나 낮은 해상도와 고심도 탐사의 한계점이 있으며,파이핑 탐사에도 적용하는 기술 또한 연구단계 수준임
3. 연구개발 내용	(1차년도) ○ 직접-전기비저항 탐사시스템(DEPS)의 제방 적용기법 고안 - 유로 및 공동 등의 형태 및 크기를 고려한 제방 적용용 탐사기법 고안 - 제방(토사지반) 탐사를 위해 적합한 센서 및 센서시스템에 대한 고안 ○ 관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발 - 제방내 누수 지점 실시간 추정 기법 개발 - 심도별 함수비 측정을 위한 관입형 센서 모듈 설계 - borehole을 이용한 심도별 이미지 촬영 기술 개념 설계 ○ 실시간 제방 안정성 분석 시스템 구축을 위한 프로토타입 모델 개발 - 전기비저항 모니터링 자료획득 기술 개발 - 누수에 의한 점진적인 제체 내부 침식 모델 개발 - 보강재료의 공학적 특성을 반영하기 위한 재료 모델 개발 (2차년도) ○ 제체 내 공동, 유로 등을 탐사/해석할 수 있는 알고리즘 개발 - 유로의 형태 및 크기 탐사/해석할 수 있는 알고리즘 개발 - 수로 하부 침하에 의해 발생한 공동을 예측할 수 있는 알고리즘 개발

- 관입형 스마트 센싱기법 및 초소형 이미지 촬영기법 개발
 - － 관입형 스마트 센서 모듈 시제품 제작 및 성능 평가
 - － 성능 평가 및 시제품 개선
- 실시간 제방 안정성 분석 시스템 핵심 요소 기술 개발
 - － 전기비저항 모니터링 자동 자료처리 기술 개발
 - － 침투압-쇄굴 연계해석을 위한 개별요소법 및 유한체적법 연계 모델 개발
 - － 바이오 폴리머 주입재의 공학적 성능 모델링

(3차년도)

- 탐사 알고리즘 개선을 통한 해석결과 신뢰도 향상
 - － 다중 유로 및 공동에 대한 탐사가 가능하도록 알고리즘 개선
 - － 시기법을 이용한 다양한 유로의 형태 및 지장물에 대한 탐사 신뢰도 향상
- 초소형 이미지 촬영기법 개발 및 융복합 센서 모듈 설계
 - － 이미지 시각화를 통한 누수 및 유실 분석 기술 개발
 - － 융복합 센서 모듈 설계
- 실시간 제방 안정성 분석 시스템 자동화 및 고도화
 - － 전기비저항 모니터링의 시간적 변화 영상화를 위한 시간경과 역산 또는 4차원 역산 기술 개발
 - － 침투압-쇄굴 연계해석을 통한 유로 형성과정 모델링
 - － 역해석을 통한 제방 상태평가 기술 개발

(4차년도)

- 현장 환경조건을 고려한 실험 수행을 통한 탐사/해석 시스템 검증
 - － 현장 환경조건을 고려한 실험 수행을 통해 해석 결과 및 알고리즘 검증
 - － 제방용 최적의 센서 및 센서시스템 개발 및 검증
- 제방 강도 및 강성 파악을 위한 융복합 센싱 기술 개발
 - － 융복합 센싱 모듈 시제품 제작
 - － 현장 적용 및 성능 평가
- 실시간 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 기술 개발
 - － 전기비저항 모니터링 자료의 정밀 영상화 해석 기술 개발
 - － 제방 보강 전후 탐사결과/보강재료의 공학적 특성을 반영한 안정성 분석/평가 시스템 개발

(5차년도)

- 탐사시스템 시제품 제작 및 현장 적용을 통한 보완
 - － 실제 현장 적용을 통한 개발된 해석 프로그램의 신뢰도 등을 검증
 - － 검증을 바탕으로 탐사시스템에 대한 신뢰도 확보 및 시스템 개선
- 제방 강도 및 강성 파악을 위한 융복합 센싱 기술 개발
 - － 현장 적용 및 성능 평가
 - － 융복합 센싱기술 보완 및 실용화

○ 실시간 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 및 검증 – 제방 안정성 분석 시스템 현장 적용 및 검증	
4. 연구개발 추진방법	
☐ 추진전략	○ 단계별 목표를 수립하고, 그에 적합한 추진전략 및 일정계획 수립 ○ 개발결과물의 특허출원 등을 통한 실수요처 기술이전 추진 및 현장 활용성 도모 ○ 현장에서의 제방탐사 기술을 적용한 연구 수행 및 관련 수요처와의 업무협력 실시 ○ 본 연구는 제방관리 기술 실용화를 목표로 하며, 주 수요처(국토부, 환경부 등)의 의견을 지속적으로 수렴하여 현장 활용성을 극대화하는 형태로 성과 도출
☐ 추진체계	○ 참여연구기관 간 협력을 통한 기술 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 실용화 목적의 연구개발을 위해 현장 실험 수행 및 데이터 확보 ○ 국토부, 환경부 등 유관기관과의 협력을 통한 개발 기술의 실무 연계 활용방안 모색
5. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	〈관련 연구의 연차별 성과물〉 ○ 1차년도 – 직접 전기비저항 센싱 시스템 – 심도별 함수비 측정을 위한 관입형 센서 모듈 설계 – 제방 제체 내부 침식 시뮬레이션 모델 ○ 2차년도 – 직접 전기비저항에 의한 정밀 탐사/해석 알고리즘 – 정밀탐사 기반 공동 예측 알고리즘 – 관입형 스마트 센서 모듈 시제품 – 바이오 폴리머 주입재 재료모델 ○ 3차년도 – AI 기반 다중 유로 및 공동 탐사 알고리즘 – 관입형 스마트 센싱 시스템 개발(목표심도 1.5m, 센싱해상도 30cm, 무게 30kg, 탐사 속도 1공/60분) – 전기비저항 모니터링의 4D 영상화 기술 – 융복합 센서 모듈 설계 ○ 4차년도 – 직접 전기비저항 센싱 시스템 – 융복합 센싱 모듈 시제품 – 현장 성능 평가 결과 ○ 5차년도 – 제체 내부 정밀 탐사기술(탐사심도 20 m, 해상도 20 cm 급)

	- 관입형 스타트 센싱 시스템(목표심도 2m, 센싱해상도 20cm, 무게 20kg, 탐사 속도 1공/30분) - 직접 전기비저항 현장 성능 평가 결과
6. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2022년 ○월 ~ 2026년 ○월(○년 ○월) ○ 연구비 예산 : 90억원(정부출연금 : 90억원 이내)
7. 기 타	
	○ 예상성과 - 노후제방, 부적합 제방, 구조물 접합부 제방, 취약 지점 등의 제체 내부의 손상을 고심도/고해상도로 신속하게 탐사가 가능함 - 특히 측정된 전기비저항 값과 DEPS를 이용한다면 제방 내 유로 및 공동의 존재, 상태, 크기, 위치 등을 예측 ○ 기대효과 - 정밀탐사 기반 제방 안정성 분석 및 보강 대책 수립 가능 - DEPS 적용을 통해 제방 붕괴 등의 사고 예방이 가능하며, 이를 통해 피해 예방 및 경제적인 효과 발생

과제명	(3세부) 미생물기반 주입 고결에 의한 제방 보강 기술
1. 연구개발 목표	○ 미생물기반 제방 주입 재료 및 솔루션 개발 － 급속 안정화 및 차수를 위한 바이오폴리머-점토 혼합 지반 주입 재료(Biopolymer-clay grout) 개발 － 제체 내부 강도 지속성 증진을 위한 생물학적 촉진(Biostimulation) 및 미생물 첨가(Bioaugmentation) 기반 지반 고결용 접종액/영양액 신재료 개발 － 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP)-바이오폴리머(BPST) 융합 주입 재료 및 지반 보강 핵심 솔루션 개발 － 미생물 기반 탄산칼슘 고결 효율성 증진과 시공 단축을 위한 바이오폴리머 하이드로겔 기반 접종액/영양액 개발 ○ 미생물/바이오폴리머 제방 주입/혼합 공법 개발 － 노후 제방 성능향상을 위한 미생물/바이오폴리머 지반보강 혼합재료의 최적 주입기술개발 및 가이드라인 제시 ○ 제방 내부 보강 기술 실규모 성능검증 및 실용화 － 제방 내부침식 모사를 위한 실험형 실험시스템 구축 － 실험형 하천 제방 모사 시험시설을 이용한 생물학적 지반보강 기술 적용 및 성능 평가 － 현장 시공법 완성 및 실제 취약 제방 적용과 기술 완성
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발의 필요성 ○ 국내 환경 측면의 필요성 － 최근 정부에서는 그린뉴딜 정책(규모 73조원)과 2050 탄소중립 추진전략 등 친환경 정책을 꾸준히 추진 중임. 따라서 건설분야에서 이산화탄소 및 기후변화로 인한 재해 위험을 저감 친환경 재료·공법에 대한 관심 증대. － 국내 제방 및 수변지반구조물의 노후화로 인한 위험 증가에 대응할 수 있는 친환경 보강 기술의 확보가 시급한 실정임. － 기존 그라우팅 주입재의 환경 유해성 문제를 대체할 친환경 보강재료 개발 필요성 증대 － 미생물/바이오폴리머 기반 노후제방 내부보강을 위한 혼합 및 주입공법의 연구가 필요함 － 국내에서는 안전한 하천 제방 운영 및 관리를 위해 「하천제방의 유지보수 매뉴얼(국토교통부 2018)」을 마련하여 월류, 세굴, 침식 등에 대한 점검 및 평가 잦아지는 추세임. 그러나, 위험·취약 부분에 대한 보수·보강에 대한 가이드라인은 부족한 실정임. ○ 해외 환경 측면의 필요성 － 미국과 유럽 각국은 그린딜을 통해 권역 기후법을 제정하여, 기후 협정을 통해 유기적인 탄소저감을 모든 산업 분야에 걸쳐 추진 중에 있음. 특히 노르웨이에서는 2009년부터 저탄소 지속가능 개발을 목표로 하는 저탄소 개발 전략(LCDS)을 실시, 친환경·저탄소 건설재료 개발을 적극 권장하고 있음 － 기후변화로 인해 잦아진 호우와 홍수로 인해 제방과 댐 붕괴 사례가 급증하

□ 기술동향	고 있어 이에 대한 대안기술 수립 마련이 시급한 실정임 - 미국은 2016년 Green River SWIF를 통해 그린 리버의 노후화된 제방 시스템에 대해 지적, 이 프로젝트를 통해 그린 리버 일대 제방을 보수하고, 식생 및 홍수를 최소화 하는데 힘씀. 이를 통해 미국 내 제방의 노후화가 심각하고, 이를 개선하기 위해 많은 노력을 가하고 있다는 사실을 알 수 있음. - 영국 캠브리지 대학에서는 토사 제방의 접촉 침식을 완화하기 위해 MICP를 적용하여 실험을 하였음. 이를 통해 국외에서의 시도 이력 및 유망성을 확인함. ○ 국내기술동향 - 유수지 측 제방 하단에 파이핑 현상이 발생한 부분을 약액주입(HGG)공법을 이용한 보강이 대부분임(신은철 et al., 2013). - 최근 미생물 기반 바이오폴리머를 이용한 지반 보강 기술이 제시되고 있고, 특히 침식 저항력이 우수한 것으로 밝혀짐(Chang et al. 2015; 2019). - 미생물/바이오폴리머 혼합재료를 활용한 지반보강 공법에 대한 연구는 전무함 - 소규모 실내실험을 통한 미생물/바이오폴리머 보강재의 주입특성 연구 수행되었으나, 중·대형 실내실험을 통한 연구는 부족한 실정임. - 바이오폴리머 보강재를 활용한 제방 외부 보강을 위한 연구는 수행되었으나, 현장에서의 제방 내부 보강을 위한 미생물/바이오폴리머 혼합 주입공법 개발에 대한 연구는 수행된 적 없음 - 안동 하천 실험 센터에서는 제방의 붕괴를 방지하고 제방의 보강을 위해 새로운 재료인 바이오폴리머를 이용하였음(Ko and Kang, 2020). - 프루드 상사를 가정한 제방고에 따른 제방붕괴모형실험을 수행(김진만 et al., 2015)하여 제방고에 변화에 따른 제방붕괴 메커니즘, 붕괴연장, 제방붕괴각, 제방붕괴율 등을 제시하였음(김진만 et al., 2015) ○ 국외기술동향 - 토사 제방댐 및 제방의 내부침식 완화연구를 위해 미생물 기반 탄산염 고결(MICP)을 적용한 결과 강도는 증가하나, 차수 성능은 부족함을 확인함(Clara and Haigh, 2018). - 스위스(Ecole Polytechnique)에서는 생물학적 매개 지반 보강공법을 이용한 지반 침식과 안정성 위험을 완화할 수 있는 생물학적 지반보강 기술을 연구중이나 아직 실용화 단계에는 못미침. - 중국 ZHEJIANG 대학에서 미생물 기반 보강재의 현장 주입 시 발생하는 부산물 제거 기술 등 기초 연구 수행되었으나, 미생물/바이오폴리머 혼합재료의 주입 및 노후 제방에 적용 연구는 전무함 - 미 공병단 연구개발센터에서 제방 응급 복구 기술 개발을 착수. 워터튜브를 이용한 응급복구 기술을 제시하고 실규모 실험을 진행하였음(2007) - 폴리에스테르 및 폴리프로필렌 단섬유 보강토를 이용하여 보강한 제방의 파이핑 내성을 평가하였음(K.Furumoto et al., 2002).
3. 연구개발 내용	

(1차년도)

- 신재료 특성 평가 및 발굴
 - － 바이오폴리머-점토 혼합 조건별 특성 파악
 - － 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진 신재료 발굴
 - － 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP)-바이오폴리머(BPST) 교차 주입을 위한 실험시스템 구축
 - － 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진을 위한 하이드로겔 영양액 후보물질 발굴
- 주입/혼합공법 영향인자 분석 및 보강재 후보군 도출
 - － 미생물/바이오폴리머 주입/혼합공법 개발을 위한 영향인자 분석
 - － 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 공학적 특성 조사 및 분석
 - － 노후제방 성능향상을 위한 미생물/바이오폴리머 보강재 후보군 도출
- 제방 내부침식 모사를 위한 실대형 실험시스템 구축 핵심 요소 구축
 - － 문헌조사를 통한 세계 최고 수준 제방 내부침식 실험 규격 조사
 - － 소규모 수로를 이용한 제방 내부침식 모사법 검증
 - － 현장 모니터링 시스템 구축

(2차년도)

- 후보재료 도출 및 주입 효율성 평가/검증
 - － 바이오폴리머-점토 혼합 주입 후보재료 도출
 - － 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진을 위한 접종액 개발
 - － 선MICP-후BSPT 교차 주입 효율성 평가
 - － 하이드로겔 영양액의 MICP 고결 효율 검증
- 미생물/바이오폴리머 보강재의 유동특성 및 영향인자 평가
 - － 보강재의 유동특성 영향인자(표면접촉각, 점성, 계면장력, 젠타임 등)

평가

- － 보강재의 종류 및 농도에 따른 유동특성 영향인자 데이터베이스 구축
- － 2차원 마이크로 스케일의 미생물/바이오폴리머 유동특성 평가
- － 3차원 실내모형실험을 위한 보강재 후보군 레시피 도출
- － 3차원 실내모형실험을 통한 미생물/바이오폴리머 종류 및 농도에 따른

유동특성 평가

- 실대형 제방 모형 내부침식 모사 실험시스템 구축
 - － 대형 하천 수로 시험시설을 이용한 제방 모형 내부침식 시험시스템 완성 (내부계측, 수압계, 광섬유센서, 용존산소센서, 모관흡수센서 등)
 - － 제방 내부 침식 실시간 추적을 위한 3차원 모니터링 기법 완성 (영상분석, PIV 분석, 현장 비파괴 물리탐사 등)

(3차년도)

- 최적재료 개발 및 선BPST-후MICP 주입을 위한 핵심 요소 도출
 - － 바이오폴리머-점토 주입재료의 지반공학적 거동 평가 및 최적재료 도출
 - － 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진을 위한 영양액 개발
 - － 선BPST 주입 처리 사질토에 대한 MICP 주입 조건 평가
 - － 선BPST-후MICP 주입을 위한 최적 MICP 접종액/영양액 조건 도출
 - － 하이드로겔 영양액 MICP 고결 흙의 지반공학적 물성 평가

- 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 특성 평가 및 후보군 레시피 도출
 - － 개별/혼합 재료의 주입에 따른 보강지반 단기강도 성능 평가
 - － 주입공법으로 보강된 지반의 환경 영향에 따른 장기강도 성능 평가
 - － 개별/혼합 및 주입에 따른 보강지반 단기차수 성능 평가
 - － 주입공법으로 보강된 지반의 환경 영향에 따른 장기차수 성능 평가
 - － 주입공법 기반 최적의 미생물/바이오폴리머 보강재료 후보군 레시피 도출
- 생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가(1단계)
 - － 고위험 제방 모형에 대한 바이오폴리머-점토 주입 시공 후 실대형 내부침식 평가
 - － 선MICP-후BPST 주입 보강 제방에 대한 내부침식 평가
- (4차년도)
 - 주입액 검증 및 기법별 주입 기법 개발
 - － 대형 토조 및 실대형 제방 모형에 대한 바이오폴리머-점토 주입액 적용
 - － MICP 개량 접종액/영양액의 최적 주입 조건 도출
 - － 최적 선BPST-후MICP 주입 재료 및 조건 도출
 - － MICP 효율 극대화를 위한 최적 하이드로겔 영양액 완성
 - 미생물/바이오폴리머 주입공법 개발 및 예측 모델 개발
 - － 중·대형 실내모형실험을 통한 미생물/바이오폴리머 보강재 주입특성 평가 및 주입공법 개발
 - － 보강재 주입효율 예측을 위한 수치해석 모델 개발
 - － 2차/3차원 실내모형 실험과의 비교·분석을 통한 수치해석 모델 검증
 - 생물학적 보강 제방 모형에 대한 내부침식 평가(2단계)
 - － 접종액/영양액 개량된 MICP 보강 실대형 제방에 대한 내부침식 평가
 - － 하이드로겔 기반 영양액 적용된 MICP 보강 제방에 대한 내부침식 평가
 - － 선BPST-후MICP 주입 보강 제방에 대한 내부침식 평가
- (5차년도)
 - 기법별 주입 기법 검증 및 실용화
 - － 급속 차수·차폐 조건에 대한 바이오폴리머-점토 주입액 현장 적용 및 실용화 추진
 - － 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 극대화 접종액/영양액 신재료 검증 및 실용화 추진
 - － 최적 BPST-MICP 융합 주입 재료 검증 및 실용화 추진
 - － 미생물 기반 탄산칼슘 고결(MICP) 효율성 증진을 위한 하이드로겔 영양액 신재료 검증 및 실용화 추진
 - 미생물/바이오폴리머 주입효율 예측 프로그램 및 가이드라인 개발
 - － 중·대형 실내모형 실험과의 비교 분석을 통한 프로그램 검증 및 보완
 - － 중·대규모 실내실험을 통한 미생물/바이오폴리머 주입 성능 평가
 - － 현장 적용을 위한 주입간격, 주입압력 등 가이드라인 제시
 - 조건별 최적 생물학적 보강 공법 검증 및 기술 완성
 - － 제방 취약 조건별(광역침투, 부분침식 등) 최적 생물학적 보강 공법 평가

4. 연구개발 추진방법

- 추진전략
 - 단계별 목표 세분화를 통한 세분화된 연구개발범위, 일정계획 수정 및 정립
 - 생물학적 기반보강 관련 전문 연구기관의 참여를 통해 연구 성공률을 높이고, 세계 최초·선도 연구 수행으로 연구의 파급력 강화
 - 나노스케일의 결합메커니즘 규명과 다양한 역학적 거동 평가를 통해 현장 주입 후 거동과 지속성(내구성)을 정확하게 평가하여 기술의 신뢰성 확보
 - 다수의 국제논문과 지적재산권 확보를 통해 국제적인 기술 우위를 점하고, 실규모 현장실험과 현장시공을 통해 기술의 완성도를 높임
 - EFA, Hole Erosion Apparatus와 같은 실내실험에서부터 대형 수로시험기, 실규모 제방 모형실험과 같은 실험대형 검증으로 이어지는 연구를 통해 결과물의 실용화 및 상용화 가능성 극대화
 - 현장 시공·설계기술자 및 연구인력의 자문을 통한 미생물/바이오폴리머 주입재 현장 활용성 확보
 - 미생물/바이오폴리머 보강재 개발 연구팀과의 협업에 의한 최적의 보강재 후보군 선정 및 레시피 개발.
 - 노후 제방 보강업체와의 협업을 통해 현장 적용 가능한 주입공법 개발
 - 현장 특성에 맞는 미생물 기반 주입재료 개발을 통해 다양한 지반에 적용할 수 있는 친환경 신소재 보강공법을 개발할 수 있도록 다양한 범위를 설정
 - 실용화를 위해 다양한 지반조건을 가진 노후 제방 현장 적용을 위해 하천관리자 등과 협력체계를 구축하여 추진
- 추진체계
 - 새로운 MICP 접종액/영양액 개발, 바이오폴리머-점토 주입 재료 개발, 바이오폴리머-MICP 융합 기술 개발, MICP 하이드로겔 영양액 개발 분야 생물학적 기반보강 관련 선도 연구진의 참여를 통해 전문성 강화 및 연구의 최종 성공 가능성 향상
 - 국내외 전문가와의 네트워크 구축 및 자문 등으로 연차별, 단계별 개발 내용에 대한 객관적 평가 및 피드백을 통한 연구의 질적수준 향상
 - 기존 신소재제방연구단, 나노신소재 전문 연구진들의 참여를 통한 기술 개발의 연속성 확보 및 고도화 추진
 - 산업계 참여를 통한 개발될 주입 재료 및 공법의 타당성 확보
 - 세계 최고 수준의 실험대형 수리모형 연구가 가능한 전문 연구기관의 연구 수행으로 연구 효율 및 성과 극대화.
 - 내부침식 또는 홍수 모사 시험 및 모니터링 연구와 모형 제방에 대한 생물학적 시공법 적용을 이원화하여 업무의 전문성 확보
 - 건설기계·시공 관련 전문연구기관의 참여를 통한 현장 적용성 강화

5. 최종성과물

- 주요 최종성과물
 - 〈관련 연구의 연차별 성과물〉
 - 1차년도

- 바이오폴리머-점토의 화학적 결합 매커니즘 이론 완성
- MICP 주입, BPST-MICP융합 주입을 위한 실내 실험시스템
- 미생물/바이오폴리머 기반 보강재의 공학적 특성 데이터베이스 구축
- 미생물/바이오폴리머 기반 보강재 후보군 선정
- 실대형 제방모형의 내부침식 계측 시스템
- 2차년도
 - MICP 고결 효율성 증진을 위한 우수 접종액(미생물)
 - 최적 선MICP-후BPST 주입 조건 레시피
 - 미생물/바이오폴리머 유동특성 영향인자 데이터베이스 구축
 - 미생물/바이오폴리머 기반 보강재 주입 모델 개발
 - 실대형 제방모형의 내부침식 모사 실험법
- 3차년도
 - 최적 바이오폴리머-점토 주입재료
 - MICP 고결 효율성 증진을 위한 우수 영양액
 - 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 역학적 특성변화 예측 모델 개발
 - 미생물/바이오폴리머 보강 지반의 수리학적 특성변화 예측 모델 개발
 - 각 생물학적 보강 기술을 적용한 실대형 제방 내부침식 실증실험
- 4차년도
 - 바이오폴리머-점토 주입액 레시피 및 현장적용
 - 최종 MICP 효율성 증진을 위한 접종액/영양액 주입 레시피
 - 최적 선BPST-후MICP 주입 조건 레시피
 - 최적 하이드로겔 기반 영양액 신재료
 - 미생물/바이오폴리머 주입공법 개발
 - 미생물/바이오폴리머 보강재의 주입효율 예측 모델 개발
 - 각 생물학적 보강 기술을 적용한 실대형 제방 내부침식 실증실험 및 성능평가 결과
- 5차년도
 - 신재료 및 주입 레시피 완성
 - 현장 조건을 고려한 보강재의 주입효율 예측 프로그램 개발
 - 미생물/바이오폴리머 기반 보강재의 혼합 및 주입공법 활용 매뉴얼 개발
 - 현장 시공 및 모니터링 결과

6. 연구기간 및 지원예산

- ☐ 전 체
- 총 연구기간 : 2022년 ○월 ~ 2026년 ○월(○년 ○월)
 - 연구비 예산 : 130억원(정부출연금 : 130억원 이내)

7. 기 타

- 기술 실용화 및 상용화 전략 제시
- 기술의 적용성, 경제성, 환경성 등의 분석 및 제시
- 현장 적용에 의한 기술 검증 방법 제시

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통연구기획사업의 연구 결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.