

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 1.)

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(별첨1)										보안등급			
										일반[☒], 보안[]			
중앙행정기관명		국토교통부			사업명		사업명		국토교통연구기획사업				
전문기관명		국토교통과학기술진흥원			내역사업명		내역사업명		-				
공고번호		재공고-제25호			총괄연구개발 식별번호		총괄연구개발 식별번호		-				
					연구개발과제번호		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	-	
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@knowle dgeworks.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 문 >

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	○ 배수유역의 홍수피해 저감, 유역별 배수량을 고려한 하천 홍수제어, 배수시설 자동제어 기술 등으로 구성된 ICBM(IoT, Clouding, Big Data, Mobile) 기반 패키지형 배수시설 운영·관리 시스템 개발에 대한 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 · 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 ○ 기획 연구의 기술적 범위 - 배수구역 홍수피해 예측 및 배수(통)문 운영 기준 개발 · 선행시간 3시간 확보를 위한 배수구역 강우예측 정보 생산기술 개발 · 배수구역 홍수 평가를 위한 수위 산정 기술 개발 · 배수구역 특성을 고려한 배수(통)문 자동운영 기준 개발 - 하천시설의 스마트 운영을 위한 수위예측기법 개발(Micro-scale 하천 홍수위 계산 부정류 모형 개발) · 하천시설물 운영을 위한 외수위 예측정보생성 기술 개발 · 홍수위험도 저감을 위한 하천시설물 연계운영 모의기술 개발 - 배수시설 원격제어 기술 및 운영 의사결정 지원 시스템 개발 · 스마트 배수시설 통합 플랫폼 개발 · 스마트 배수시설 구축 및 운영 기술 개발
--	--	--

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 배수시설 자동제어 패키지 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)	배수시설물		스마트 하천관리		홍수피해 저감		ICBM		자동제어			
영문핵심어 (5개 이내)	drainage facility		smart river management		flood damage reduction		ICBM technology		automatic control			

210mm×297mm[(백상지(80g/m²) 또는 중질지(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	10
1절. 정책동향 분석	10
1. 국외 정책동향 분석	10
2. 국내 정책동향 분석	21
2절. 시장동향 분석	31
1. 국내 시장동향 분석	31
3절. 기술동향 분석	42
1. 국외 기술동향 분석	42
2. 국내 기술동향 분석	68
4절. 특허 및 논문 분석	86
1. 특허분석	86
5절. 국내외 논문 동향	136
1. 분석 개요	136
2. 분석 결과	138
6절. 기술수준조사	148

1. 개요	148
2. 기술수준분석 결과	149
7절. 기술수요조사	156
1. 개요	156
2. 조사 결과	157
8절. 인프라 현황분석	161
1. 연구인력 현황	161
2. 연구 기자재 인프라 현황	163
9절. 시사점	165
3장. 기술개발 전략	167
1절. 기술개발 추진방향	167
1. SWOT분석	167
2. 기술개발 추진방향 정립	168
2절. 비전 및 목표	170
1. 비전	170
2. 목표	171
3절. 중점추진분야	175
1. 중점추진분야 1 (배수시설 스마트 운영을 위한 유량 및 침수 예측 기술)	175
2. 중점추진분야 2 (배수시설 스마트 운영을 위한 수위예측 기술)	176
3. 중점추진분야 3(배수시설 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술)	177
4절. 연구개발과제 구성	178
1. 후보과제 설정	178
2. 중복성 검토	179
3. 우선순위 평가	181
4. 추진대상과제 선정	186
5절. 과제체계	187
1. 과제체계 설정	187

2. 세부과제 구성	188
3. 세부과제간 연계성	188
4장. 세부과제별 추진내용	189
1절. 배수문 운영자동화 기술개발 연구단	189
1. 추진배경 및 필요성	189
2. 목적 및 범위	189
3. 연구단 목표	191
4. 기술개발내용	192
5. 기술로드맵	209
5장. 추진전략	210
1절. 추진체계	210
2절. 사업관리 및 활용방안	212
1. 사업관리체계 및 프로세스	212
2. 단계별평가·관리 절차 및 기준	213
3. 성과관리계획	218
6장. 소요 예산 및 인력	222
1절. 소요인력	222
1. 소요인력 산출근거	222
2. 소요인력	222
2절. 소요예산 산정	223
7장. 사전타당성 분석	224
1절. 정책적 타당성 분석	224
1. 상위계획과의 부합성	224
2. 사업 추진체제 및 추진의지	229

3. 사업 추진상의 위험요인	230
2절. 기술적 타당성 분석	231
1. 문제 및 이슈도출의 적절성	231
2. 사업목표의 적절성	234
3. 세부활동 및 추진전략의 적절성	237
3절. 경제적 타당성 분석	244
1. 경제성 분석 개요	244
2. 편익추정	245
3. 비용 추정	252
4. 경제성분석 결과	252
부록. 세부과제별 RFP	253

표 목 차

<표 1> 하천관리사업 예산 추이	1
<표 2> 기술분류체계	6
<표 3> 캔사스 주 USGS 실시간 모니터링 시스템 측정항목 및 빈도	13
<표 4> Thames Estuary 2100계획의 주요 내용	19
<표 5> 배수제어 자동화 기술 관련 중점과학기술	24
<표 6> 국토교통과학기술 연구개발 종합계획의 4대 추진전략 및 전략목표	26
<표 7> 전국 배수시설 운영현황	27
<표 8> 태풍으로 인한 피해 및 복구비 현황(2010~2019)	31
<표 9> 우리나라에 영향을 미친 주요 태풍 현황(2000~2019)	32
<표 10> 호우로 인한 피해 및 복구비 현황(2010~2019)	34
<표 11> 국가하천 현황	35
<표 12> 댐 유지관리 사업 예산 추이	36
<표 13> 산업단지 완충저류시설 설치 사업 예산 추이	36
<표 14> 댐 안정성 치수능력 강화사업 및 댐 유지관리사업 예산 추이	37
<표 15> 하천관리사업 예산 추이	37
<표 16> 재난관리-안전관리 사업 예산 추이	38
<표 17> 지자체별 홍수재해 대응 관련 사업 예산 추이	38
<표 18> 최근 5년간('16~'20) 농림부 국가 홍수재해 대응 관련 사업 예산 현황	40
<표 19> 농림부 '20년 홍수 재해 대응 관련 사업 현황	40
<표 20> 배수자동화 관련 특허분석 개요	86
<표 21> 분야별 검색식	87
<표 22> 배수자동화 분야의 상위 12대 출원인 대분류별 특허 출원건수 분석	96
<표 23> 배수자동화 대분류-국가별 특허출원 추세	97
<표 24> 배수자동화 분야 시장진입 경쟁수준 분석	98
<표 25> 홍수량 예측 기술분야의 상위 13대 출원인 특허 출원건수 분석	106
<표 26> 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야의 상위 13대 출원인 특허 출원건수 분석	115
[표 27] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야의 상위 13대 출원인 특허 출원건수 분석	125
[표 28] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야의 상위 13대 출원인 특허 출원건수 분석	135
<표 29> 통합물관리 기술 논문분석 개요	136
<표 30> 홍수량 예측 기술 분야 기술수준조사 결과	151
<표 31> 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야 기술수준조사 결과	153
<표 32> 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 분야 기술수준조사 결과	154

<표 33> 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야 기술수준조사 결과	155
<표 34> 기술수요조사 분류	156
<표 35> 홍수량 예측 기술분야 기술아이템 목록	159
<표 36> 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 기술아이템 목록	159
<표 37> 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술분야 기술아이템 목록	160
<표 38> 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 기술아이템 목록	160
<표 39> 국내 수리구조물 관련 분야 종사자 수	161
<표 40> 토목공학 학과 연구개발비 중 수리구조물 관련 분야의 연구개발비가 차지하는 비중	162
<표 41> 국내 수리구조물 관련 분야 대학 연구인력 수	162
<표 42> 건설기술연구원의 수리구조물 관련 연구인력 현황	163
<표 43> 국내 하천시설물 관련 연구기자재 인프라 현황	163
<표 44> 연구개발 단계별 목표(배수시설 스마트 운영 시스템 개발)	174
<표 45> 중점추진분야 1 개요	175
<표 46> 중점추진분야 2 개요	176
<표 47> 중점추진분야 3 개요	177
<표 48> 중점추진분야별 후보과제	178
<표 49> 배수시설 분야 유사과제 현황 및 차별성	179
<표 50> 후보과제 리스트	182
<표 51> 중점추진분야별 우선순위 평가	184
<표 52> 중점추진분야별 추진대상과제	186
<표 53> 배수문 운영자동화 기술개발 연구단 세부과제 구성	188
<표 54> 배수자동화 사업 주체별 주요기능 및 역할	211
<표 55> 사업추진절차	212
<표 56> 사업추진절차	213
<표 57> 사업추진절차	214
<표 58> 배수자동화 사업 주체별 주요기능 및 역할	216
<표 59> 사업추진절차	217
<표 60> 배수시설 스마트운영 기술개발 연구단의 성과지표체계	221
<표 61> 동 사업 소요인력	222
<표 62> 동 사업 소요예산	223
<표 63> 배수제어 자동화 기술 관련 국가 상위계획과 부합성 검토 결과	224
<표 64> 배수제어 자동화 기술 관련 중점과학기술	227
<표 65> KAIA '21년 종료과제 및 예산	230
<표 66> '19년 호우와 태풍으로 인한 피해	231
<표 67> 배수시설 스마트운영 기술개발 연구단의 성과지표체계	235
<표 68> 배수시설 제방 분야 유사과제 현황 및 차별성	239

<표 69> 사업목표-세부활동간 연계성	242
<표 70> 사업추진절차	243
<표 71> 예비타당성조사 비용편익 분석 시 편익반영 항목	245
<표 72> 시장수요접근법에 의한 편익 추정 수식	246
<표 73> 생산비용절감 편익 추정 수식	246
<표 74> 피해비용절감 편익 추정 수식	246
<표 75> '19년 호우와 태풍으로 인한 피해	248
<표 76> 동 사업 관련 IPC 분야 특허인용수명 지수	251
<표 77> 기술 적용 범위	251
<표 78> 배수자동화로 인한 홍수피해 저감액	251
<표 79> 동 사업 소요예산	252
<표 80> 동 사업의 비용편익분석 결과	252
<표 81> 동 사업의 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과	252

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] 동 사업 기술 범위	6
[그림 4] 기획추진절차	8
[그림 5] 위험분석, 위험평가, 위험관리의 관계	11
[그림 6] NEP를 통해 설치된 David Pond Diversion	13
[그림 7] 미국 홍수 예보 시스템(AHPS)	14
[그림 8] RRM 프로그램 화면	15
[그림 9] SimDelta의 보, 제방 및 기타 수리 시설물 위험도 표출 예시	16
[그림 10] 홍수위험관리 싸이클	17
[그림 11] 영국의 홍수 및 수자원 관련 정책 거버넌스>	18
[그림 12] 수리 시설물의 데이터 기반 스톡 매니지먼트 사이클	20
[그림 13] 스마트 하천관리시스템 개념도	29
[그림 14] 스마트 하천관리시스템 적용 사례	29
[그림 15] 연도별 장마기 강수일수 및 강수량 추이	33
[그림 16] 미국 DFW 레이더망	43
[그림 17] NHD 유역식별번호 샘플	44
[그림 18] NHD 자료 제공 범위	44
[그림 19] NHD Plus 유역 속성정보 샘플	45
[그림 20] NWIS 자료 제공 지점	45
[그림 21] StreamStat	46
[그림 22] 미국 홍수 예보 시스템(AHPS)	47
[그림 23] 일본 하천재해정보시스템 메인화면	48
[그림 24] Informaster 스크린 화면	58
[그림 25] SWMMLive 개념도	58
[그림 26] Thames Barrier 가동보의 작동방식	61
[그림 27] 도네가와 하굿둑의 자동수문관리 시스템 개요도	62
[그림 28] Maeslantkering 하굿둑과 시스템개요도	63
[그림 29] 빅데이터 기반의 SOC 스마트 유지관리 개념도	67
[그림 30] Configuration of EWRG testbed at Geoje	68
[그림 31] 데이터 분석자료	69
[그림 32] 듀얼칼만필터 알고리즘	71
[그림 33] Probability density functions for GCMs and bias correction methods	71

[그림 34] RHDAPS 수계 감시 화면	72
[그림 35] 통합홍수예보시스템 체계도	73
[그림 36] RAR estimation 알고리즘	74
[그림 37] Structure of LSTM	75
[그림 38] . Flow chart of flash flood forecast on city · mountains · small river	76
[그림 39] Inundation probability distributions for quantile of 0.05 and 0.95	77
[그림 40] Neural Networks	79
[그림 41] ANN 및 SVM 기반 시계열 예측 모델을 이용한 국가지하수관측망 수위 예측 적용사례	81
[그림 42] 심층신뢰신경망 적용 배수지 수위 변화예측	81
[그림 43] 수중초음파장비를 이용한 조사	84
[그림 44] 광학카메라 및 소나 기반 수중구조물 점검시스템	85
[그림 45] 재난시나리오 기반 수변구조물 감시 및 안전도 확보를 위한 통합안전관리 플랫폼	85
[그림 46] 10년간('10~'19) 배수자동화 관련 특허 출원건수 추이	89
[그림 47] 국가별 연도별 특허 출원건수	90
[그림 48] 미국 연도별 특허 출원건수	90
[그림 49] 유럽 연도별 특허 출원건수	91
[그림 50] 일본 연도별 특허 출원건수	91
[그림 51] 중국 연도별 특허 출원건수	92
[그림 52] 한국 연도별 특허 출원건수	92
[그림 53] 배수자동화 분야의 기술분야별 출원 건수('10~'19년)	93
[그림 54] 배수자동화분야 기술성장단계	93
[그림 55] 기술성장곡선 개요	94
[그림 56] 배수자동화 분야의 국가별 기술성장단계	95
[그림 57] 배수자동화분야의 상위출원인	96
[그림 58] 홍수량 예측 기술 관련 분야의 연도별 특허 출원건수('10~'19)	99
[그림 59] 국가별 특허 출원건수	100
[그림 60] 미국의 홍수량 예측 기술 분야 특허 출원건수	100
[그림 61] 유럽의 홍수량 예측 기술분야 특허 출원건수	101
[그림 62] 일본의 홍수량 예측 기술분야 특허 출원건수	101
[그림 63] 중국의 홍수량 예측 기술 분야 특허 출원건수	102
[그림 64] 한국의 홍수량 예측 기술 분야 특허 출원건수	102
[그림 65] 기술분야별 출원건수	103
[그림 66] 기술성장곡선	104
[그림 67] 기술성장곡선 개요	104
[그림 68] 홍수량 예측 기술 분야의 국가별 기술성장곡선	105
[그림 69] 홍수량 예측 기술분야 상위출원인	106

[그림 70] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야 연도별 특허 출원건수	107
[그림 71] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 국가별 특허 출원건수	108
[그림 72] 미국의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수	108
[그림 73] 유럽의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수	109
[그림 74] 일본의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수	109
[그림 75] 중국의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수	110
[그림 76] 한국의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수	110
[그림 77] 기술분야별 출원 비중	111
[그림 78] 기술성장곡선	112
[그림 79] 기술성장곡선 개요	112
[그림 80] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야의 국가별 기술성장곡선	113
[그림 81] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 상위출원인	114
[그림 82] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야 연간 특허 출원건수	116
[그림 83] 국가별 특허 출원건수	117
[그림 84] 미국의 특허 출원건수	117
[그림 85] 유럽의 특허 출원건수	118
[그림 86] 일본의 특허 출원건수	118
[그림 87] 중국의 특허 출원건수	119
[그림 88] 한국의 특허 출원건수	119
[그림 89] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야 기술분야별 출원 비중	120
[그림 90] 기술성장곡선	121
[그림 91] 기술성장곡선 개요	121
[그림 92] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술 분야의 국가별 기술성장곡선	123
[그림 93] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야 상위출원인	124
[그림 94] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 연간 특허 출원건수	126
[그림 95] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 국가별 특허 출원건수	127
[그림 96] 미국의 특허 출원건수	127
[그림 97] 유럽의 특허 출원건수	128
[그림 98] 일본의 특허 출원건수	128
[그림 99] 중국의 특허 출원건수	129
[그림 100] 한국의 특허 출원건수	129
[그림 101] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 기술분야별 출원 비중	130
[그림 102] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 기술성장단계	131
[그림 103] 기술성장곡선 개요	131
[그림 104] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야의 국가별 기술성장곡선	133
[그림 105] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 상위출원인	134
[그림 106] 연도별 논문 게재건수	138

[그림 107] 국가별 논문 게재건수	139
[그림 108] 기술분야별 논문 게재 건수	139
[그림 109] 홍수량 예측 기술 분야 연도별 논문 게재건수	140
[그림 110] 홍수량 예측 기술분야 국가별 논문 게재건수	141
[그림 111] 홍수량 예측 기술분야 기술분야별 논문 게재건수	141
[그림 112] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 연도별 논문 게재건수	142
[그림 113] 국가별 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 논문 게재건수	143
[그림 114] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 기술분야별 논문 게재건수	143
[그림 115] 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술분야 연도별 논문 게재건수	144
[그림 116] 국가별 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술분야 논문 게재건수	145
[그림 117] 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술분야 기술분야별 논문 게재건수	145
[그림 118] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 연도별 논문 게재건수	146
[그림 119] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 국가별 논문 게재건수	147
[그림 120] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 기술분야별 논문 게재건수	147
[그림 121] 배수자동화 분야의 대분류별 기술수준·기술격차	150
[그림 122] 홍수량 예측 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차	151
[그림 123] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차	152
[그림 124] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차	154
[그림 125] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차	155
[그림 126] 응답자 현황 분포	157
[그림 127] 7대 기술분야별 기술수요 응답현황 분포	158
[그림 128] SWOT 분석 결과	167
[그림 129] 비전 및 목표	170
[그림 130] 이슈트리	175
[그림 131] 추진대상과제 선정 절차	181
[그림 132] 전문가구성 현황 분포	183
[그림 133] 배수문 운영자동화 기술개발 연구단 세부과제간 연계성	188
[그림 134] 배수시설 스마트 운영 체계 기술 구성도	190
[그림 135] 배수문 운영자동화 기술개발 연구단 기술로드맵	209
[그림 136] 배수자동화 사업 추진체계	211
[그림 137] 기술적 해결방안 및 중점추진영역	233
[그림 138] 목표 - 중점추진분야 - 문제/이슈 연계	236
[그림 139] 추진대상과제 선정 절차	238
[그림 140] 전문가구성 현황 분포	238
[그림 141] 배수문 운영자동화 기술개발 연구단 기술로드맵	241
[그림 142] 비용편익 비율 산정식	244

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 투자되었음

<표 1> 하천관리사업 예산 추이

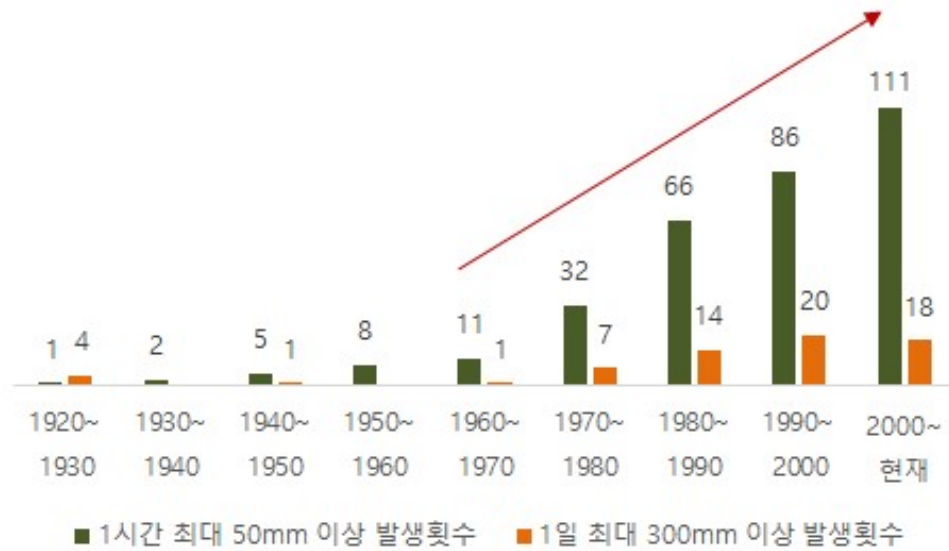
(단위 : 억원)

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

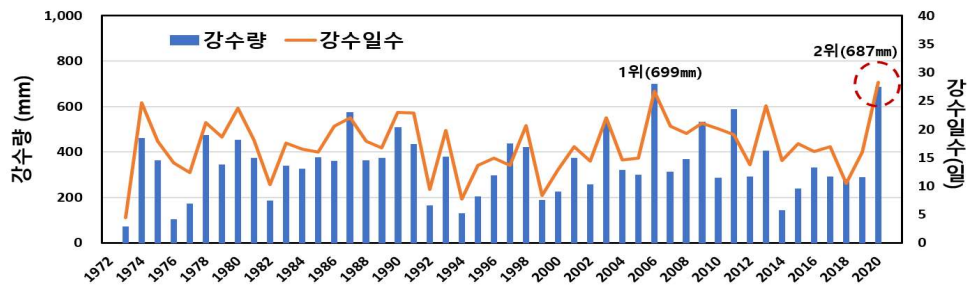
- 1950년대 이후로 지속적으로 지구의 기온이 상승하고 있으며 이와 관련된 기후 변화는 홍수와 같은 기후 변화를 야기함
- 또한, 도시화에 따라 불투수층이 증가함에 따라 홍수의 피해는 더욱 가중되고 있음
- 1시간 최대 50mm 이상의 집중호우는 2000년대 111건으로 과거 대비 급격하게 증가 중
- 특히 2017년 7월 청주, 인천, 부산지역에 집중호우로 인한 침수피해가 발생하였으며, 청주의 경우 지속시간별 누적강우 기준 100~500년 빈도의 집중호우가 발생함



[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 배수문 운영 미흡 등으로 발생하는 피해가 크게 발생하고 있음

2. 기획 필요성

가. 연구추진 필요성

□ 국토교통부에서는 신속한 재난 대응 및 안전 확보와 하천의 효율적인 유지·관리를 추구하고 있으며, 특히 ‘20년 홍수피해 이후, 배수시설 원격제어시스템 구축 관련 정책을 수립함

○ 현재 충청남도과 아산시 내 시범 수문관리 자동화 시스템을 구축 중이나, 단순히 수위를 기준으로 수문이 자동으로 개폐되도록 제어하는 전통적인 운영기준을 따르고 있음

□ 그러나, 배수시설 원격제어시스템 구축 관련 기술은 미흡한 상황임

○ 국내 홍수량 방류 및 상하류 수위조절은 계측자료 정확도 미흡, 분석모형의 한계, 인력에 의존한 의사결정 등으로 취약성이 존재함

- 호우 및 태풍발생시 댐 등 수공시설물 운영에 있어서 홍수량 방류 및 상하류 수위조절은 유역의 기상상황 및 예보, 하천 및 유역의 수리·수문학적 상태, 관리기관의 운영률 등을 종합적으로 판단하여 결정하여야 함

- 반면 현실은 계측자료의 시공간적 관측밀도 및 정확도 미흡, 분석모형의 실시간적 구동에 한계, 운영요원간 경험과 수준의 상이함으로 인하여 적시적이고 적절한 시설물운영의 의사 결정에 취약성이 잠재되어 있음

- 이러한 문제점은 단순히 기존 계측밀도를 제고하고 컴퓨터성능이나 분석모형의 해상도를 높이거나 운영요원의 교육훈련체계를 개선하는 것으로는 근본적으로 해결되기 어려운 한계가 있음

○ 고밀도의 정확한 계측은 기존의 과제에서 충족하지 못하고 있으며, 최신의 첨단센서와 IoT기술, 인공지능기반의 분석툴을 통하여 계측과 분석의 혁신이 가능하며, 이를 기반으로 신뢰성 있는 효과적인 정책수립과 SOC사업계획이 가능해짐

- 많은 선행 R&D 연구과제가 시행되었지만 현업의 활용도가 저조했는데, 여기에는 제한적이고 부정확한 계측에 의존하고 있는 것이 주요 원인이 되고 있음

- 인공지능기반의 지능형 빅데이터플랫폼을 통하여 하천 거동의 정확한 모니터링에 기반한 현상의 이해와 과학적 토대에 근거한 합리적 정책 의사결정이 가능해짐

- 기존에도 계측과 모델 개발이 이루어졌고 막대한 예산을 투입하여 수많은 SOC 재정사업이 진행되어 왔으나 국가수자원장기계획, 댐장기계획, 하천기본계획, 하천정비사업 등 상하위 국가계획과 SOC 사업이 상호간 연계되지 못하여 행정력과 국가예산 낭비를 초래

□ 시시각각 변화하는 하천지역 상황에 따라 유연하게 대응하기 위해서는 배수문의 운영

기준 및 자동제어와 하천제방에 대한 신속한 손상탐지 기술 확보가 이루어져야 함

나. 정부지원 필요성 및 당위성

- 국가하천 배수시설은 정부 및 지자체 관리시설로 공공조직에 의해 운영 및 관리되므로 정부차원의 표준, 안전, 정책방향과의 연계가 필수
 - 국가하천 배수시설은 정부 및 지자체의 예산이 투입되고 실제 운영 및 관리는 지자체에서 수행
 - 현재 배수시설 자동화 시스템은 정부의 표준화 지침에 따라 구축되고 있으며 세부적인 정보 및 운영에 대한 표준화도 진행 중임
 - 배수시설의 운영과 관리는 공공안전과 직결된 문제로 공공분야에서 표준화 및 안전을 고려한 기술 개발이 필수적임
 - 이상의 이유로 민간분야에서 개발된 기술이 배수시설 자동화 시스템에 적용되기는 현실적으로 불가능하며 정부지원에 의해 정부차원의 표준, 안전, 정책방향 등을 종합적으로 고려하여야 실제 현장 적용 가능
- 배수시설 운영 자동화 기술은 국가 기상 및 수문 정보 시스템과 연계된 종합적 기술개발이 필요하나 관련 업계가 영세하여 민간 주도의 기술 개발 불가능
 - 배수시설 자동화는 기상 레이더 및 국가 수문정보 데이터베이스와의 연계가 필수적이며 이를 활용한 예측 고도화 필요
 - 기존 배수시설 운영관련 업계는 수문 설비 관련 업체, 수문 자동화 업체, 일부 전산 업체 등이며 개별 시장규모가 협소하여 대부분 연구개발 여력이 부족한 영세 업체이며 시장을 주도하는 대형 업체가 없는 실정임
 - 운영 고도화 기술의 핵심부분은 정부의 홍수예경보시스템의 고도화와 연계된 부분으로 이 분야의 기술은 100% 정부 지원에 의한 공공분야에서 기술을 개발하고 있음
 - 즉, 국가 정보망과의 연계, 업계 실정, 기존 기술개발 현황 등을 종합적으로 고려하면 민간분야에서 배수시설 운영 자동화 기술을 개발하는 것은 매우 어려움

다. 연구추진 시급성

- 배수시설 자동화 사업의 조기 구축으로 2022년부터 시범운영이 예상되나 스마트 운

영 적용 여부는 불확실하여 조기 개발 및 적용 필요

- 배수시설 자동화 사업의 조기 완수로 2022년 시범운영 및 2023년 본격운영이 예상됨
- 그러나 수문의 자동개폐 외에 기상 및 수문 상황을 고려한 종합적인 스마트 운영 여부는 불확실하여 실제 운영은 인력에 의존한 운영체계가 적용될 것으로 예상됨
- 배수시설 자동화에 따른 홍수피해 효과를 극대화하기 위해서는 스마트 운영 기술의 적용이 필수적이므로 2022년부터 시범운영 단계에서 적용할 수 있는 기술 개발 시급

□ 악화되는 배수구역 침수 피해 대응 기술 부재

- 최근 기상 변화로 호우의 지속시간이 장기화되면서 배수구역의 잦은 침수 피해가 발생하나 내외수의 단순 비교에 의한 수문 제어로는 피해 저감 불가
- 호우 장기화에 대응하여 침수 피해 저감을 위해서는 기상, 유출, 수위 상황을 종합적으로 고려한 최적화 운영 기술이 시급함

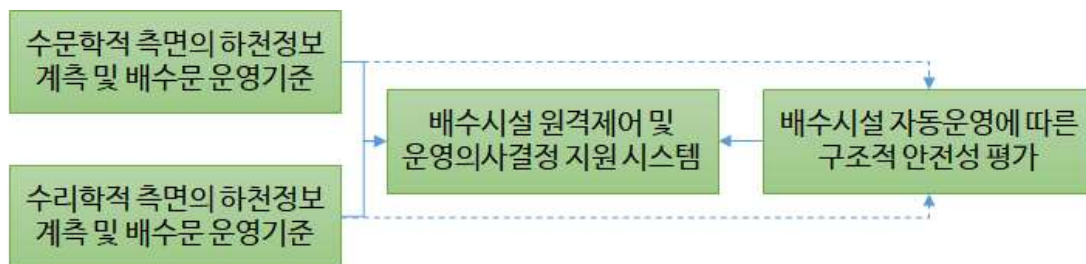
2절. 기획 추진 개요

1. 기획 범위

가. 기술의 정의

□ 홍수피해가 크게 발생하고 있는 배수시설의 운영기술을 기획범위로 함

- 수문학적 측면의 하천정보 계측 및 배수문 운영기준
- 수리학적 측면의 하천정보 계측 및 배수문 운영기준
- 배수시설 원격제어 및 운영의사결정 지원 시스템
- 배수시설 자동운영에 따른 구조적 안전성 평가



[그림 3] 동 사업 기술 범위

나. 기술분류체계

□ 동 사업의 기획 범위를 고려해 기술분류체계를 다음과 같이 수립함

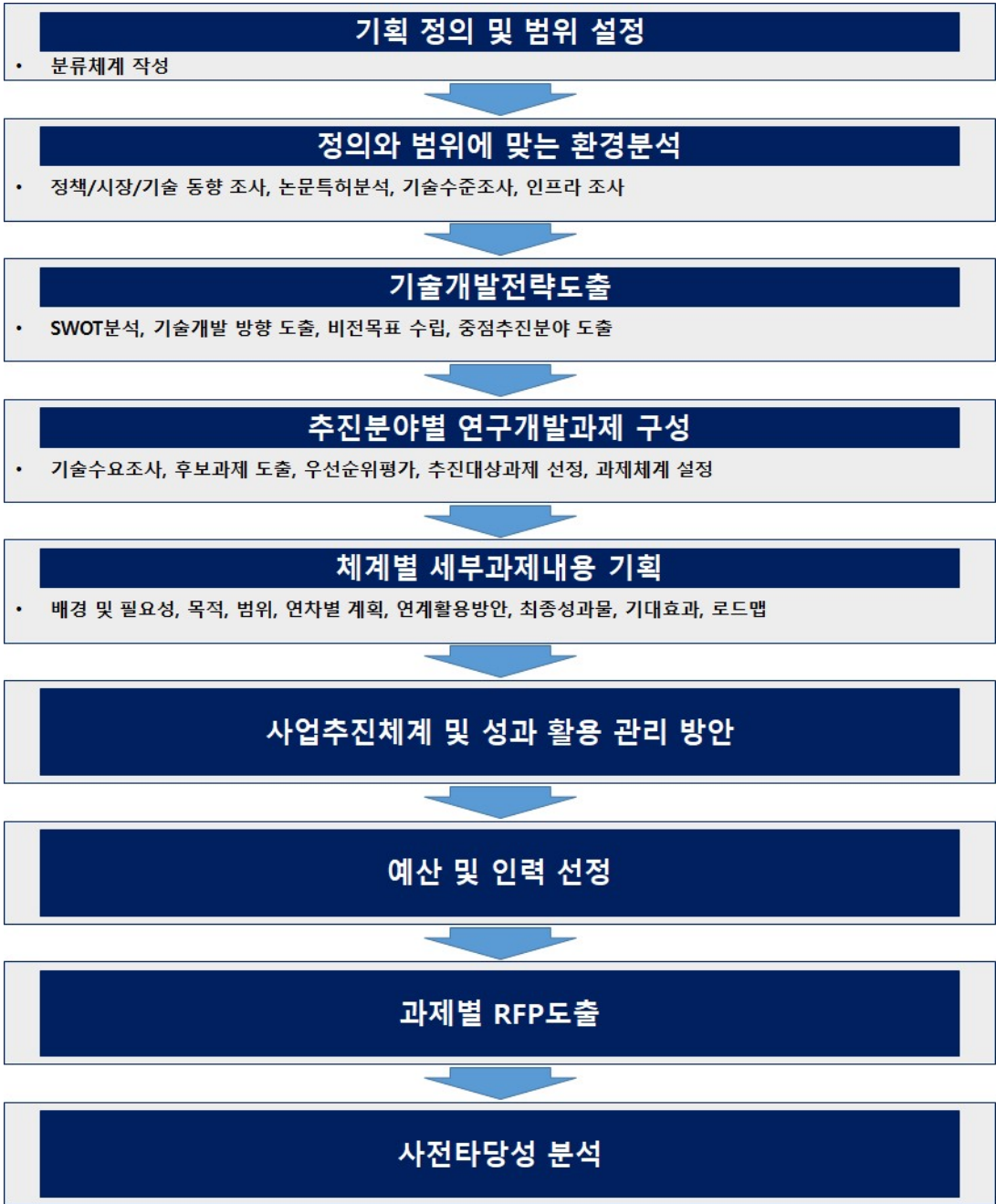
<표 2> 기술분류체계

대분류	중분류
A. 홍수량 예측 기술	A1. 선행시간 3시간 확보를 위한 강우예측 정보 생산기술 개발
	A2. 외수 유량 산정
	A3. CPS 기반 배수구역 홍수 모의
	A4. 빅데이터를 활용한 침수예측
	A5. 정보전이를 활용한 미계측구역 예측기술

대분류	중분류
B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술	B1. AI기반 하천 수위 예측기술
	B2. 물리기반 하천 수위 예측기술
	B3. 수위 예측을 위한 데이터리버(data river) 구축 기술
	B4. 배수역 소유역간 연계모형
C. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	C1. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험
	C2. 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술
	C3. 적응형 의사결정 기법
D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술	D1. IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술
	D2. IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술
	D3. 배수시설 구조적 안정성 확보 기술

2. 기획 추진절차

□ 다음과 같이 기획 추진 절차를 구성함



[그림 4] 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

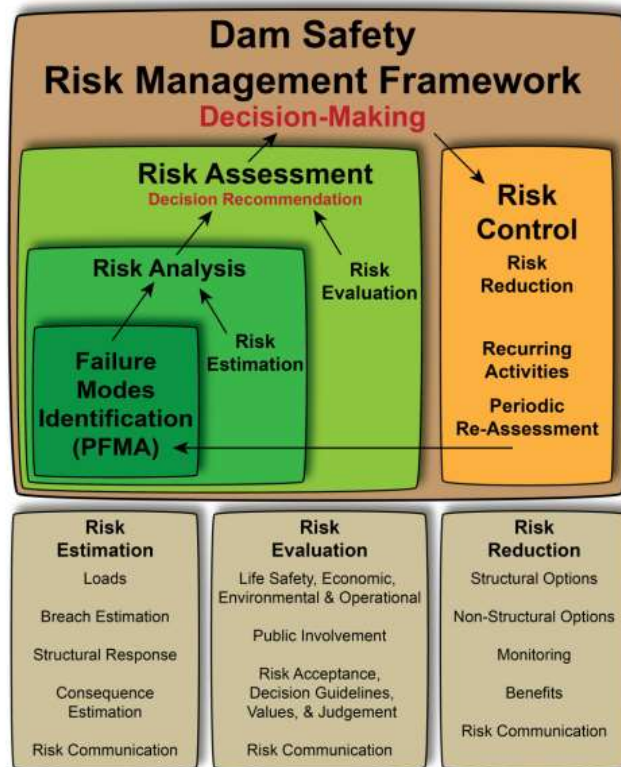
가. 미국

□ 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 제시함¹⁾

○ 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
- 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

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



[그림 5] 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 추진됨²⁾
 - 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 대비함³⁾
 - 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

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

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

□ 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) 툴을 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 6] 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 3> 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 첨단 IT기반의 유량 측정 · 모니터링 및 정보제공 기술을 중심으로 스마트 물관리 시스템 핵심기술 확보 연구에 주력하고 있음
- 미국은 대표적 물관리 기관인 개척국(USBR), 지질조사국(USGS), 테네시 유역관리청(TVA)이 참여하여 물관리 시스템을 운영하고 있음

- 미국은 홍수예보시스템을 위한 하천예보센터(River Forecast Center, RFC)를 만들어 기상예보국과 협동해 모든 하천에 모니터링 시스템을 형성함
- 미국 상무성(DOC) 및 미국해양대기관리처(NOAA) 산하 미국 기상청(NWS; National Weather Service)이 운영하며, 기상예보국과 협동하여 모든 하천에 모니터링 시스템을 구축, 실시간 수문예측자료 및 경보자료를 제공함
- 실시간 수문예측자료 및 경보자료를 제공하며 웹 기반의 하천 및 수문 예측 정보를 제공하는 홍수예보시스템(Advanced Hydrologic Prediction Service, AHPS)을 구축하여 홍수 및 가뭄에 대비 기간확보, 정확한 하천 예보 및 홍수 경보 등의 정보제공으로 수재해에 대한 인적, 경제적 피해를 감소시킴

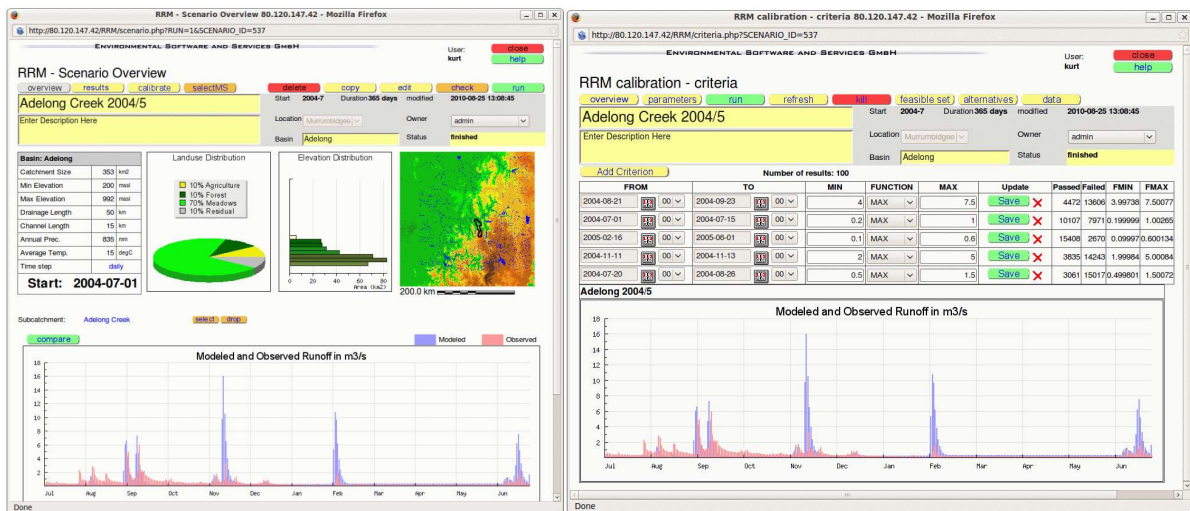


[그림 7] 미국 홍수 예보 시스템(AHPS)

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

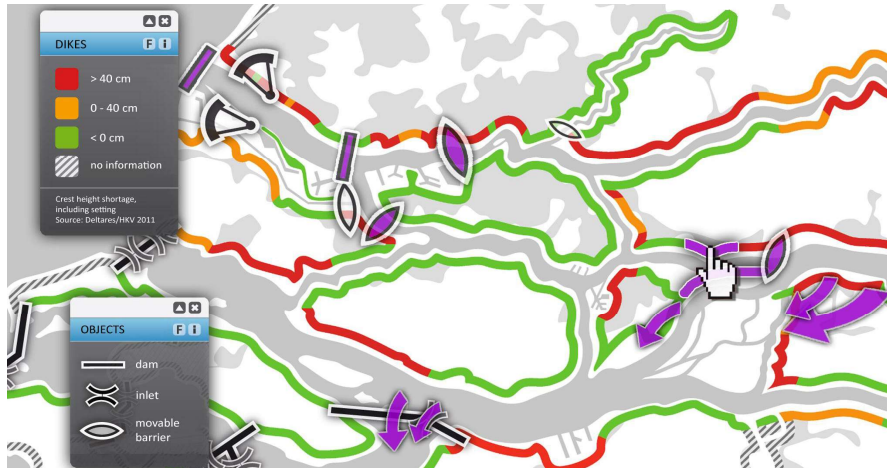
- 홍수정보 제공을 위하여 70여개의 다른 기상예보결과를 수집하여 분석/반영
- 유럽연합 내의 European Exchange Circle on Flood Forecasting(EXCIFF)에서는 수집된 자료를 이용하여 모의를 수행하고 수문자료를 모니터링함
- European Exchange Circle on Flood Mapping(EXCIMAP)은 EXCIFF에서 제공한 모의결과와 사전에 제작한 홍수지도와 비교하여 현재 홍수상황에 대한 자료를 축적함
- 유럽은 WaterWare(Water Resources Management Information System)를 통해 통합 정보의사결정시스템을 구축하여 수자원관리 문제를 해결하기 위한 데이터분석, 모델링, 의사결정지원 등 통합된 프레임を提供함
 - 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

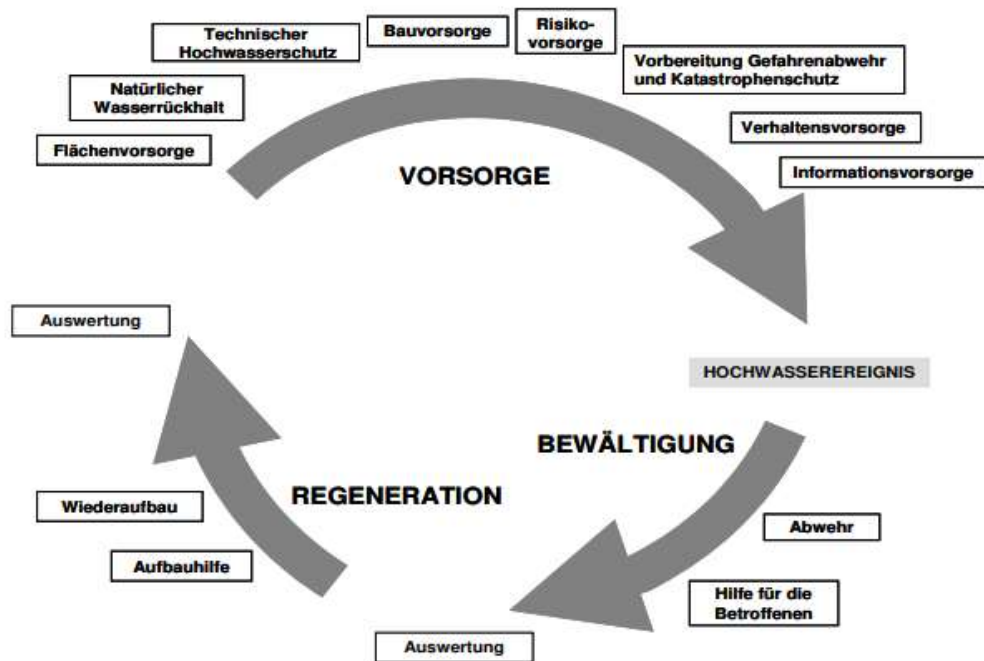


[그림 9] SimDelta의 보, 제방 및 기타 수리 시설물 위험도 표출 예시

- 독일은 연방정부의 물관련 실무그룹인 LAWA(Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser)를 중심으로 WFD 기반의 물관리 및 홍수 재해대응, 오염물질 관리 등을 수행함⁴⁾
 - 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 수행함⁵⁾
 - 홍수관련 지침에 따라 홍수 예방을 위한 preliminary flood risk assessment, flood risk maps, flood hazard maps를 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

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

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



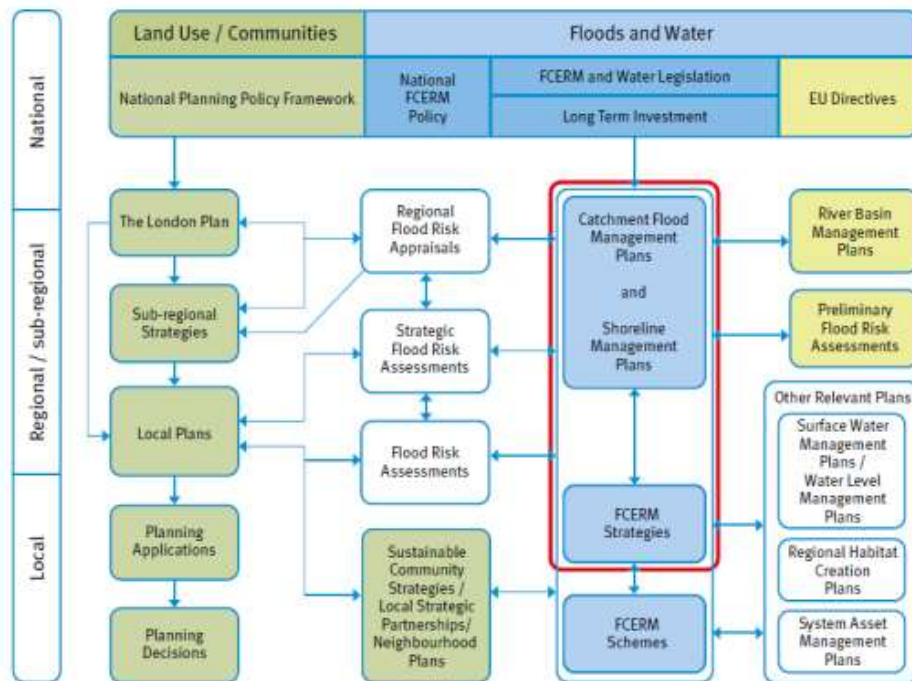
[그림 10] 홍수위험관리 사이클

* 자료 : 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 수행함⁶⁾
- 지방에서는 홍수 및 해안 침식 위기관리 정책(FCERM)에 기반하여 지속가능한 지역사회 유지의 관점에서 홍수위험 평가결과에 기반한 지역적 실천 계획을 수립함⁷⁾
 - 영국의 홍수 및 수자원 관련 정책의 추진 체계는 아래의 그림과 같이 구성됨

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

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



[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 추진함⁸⁾
 - 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
- 지역별 홍수 및 해안 침식 위기 대응 프로젝트로 동남부 템즈강 하구유역 중심의 프로젝트인 Thames Estuary 2100 Project가 처음으로 수립됨⁹⁾
 - 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 제시함¹⁰⁾

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

9) TE2100 Plan, EA, 2012.

10) TE2100 Plan, EA, 2012.

<표 4> 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 계획임¹¹⁾

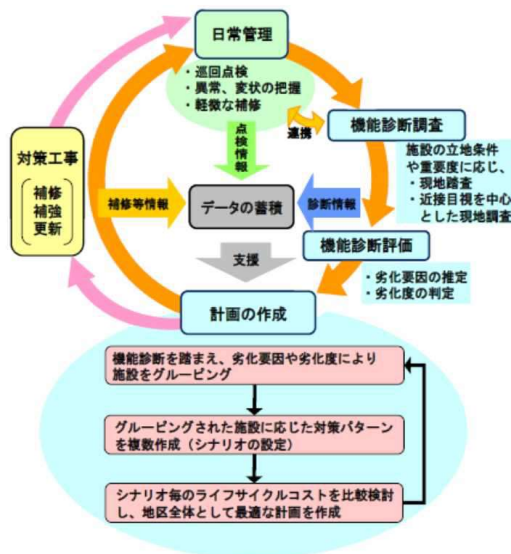
다. 일본

□ 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

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



[그림 12] 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 상호융통을 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, 우수제품등의 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, 4대 전략과 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 위험대비 통합예측기술 및 상황관리기술 개발을 제시함

□ 배수제어 자동화 기술 내용에 해당하는 ‘복합재난 스마트 예측·대응기술’을 120대 중점과학기술로 선정하였으며, 국가차원에서 중점투자 및 육성이 필요한 기술로 판단함

<표 5> 배수제어 자동화 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
...	...	...

(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’, ‘하천지역 건전성 확보’가 제시됨

○ 배수제어자동화 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 하천관리 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 “스마트 하천관리시스템 구축 사업”의 일환으로 배수시설 원격제어 시스템 사업의 마스터플랜 수립('21~'25) 중임

- 상습적인 내수침수 등에 대한 신속한 대응과 효율적인 유지관리를 위해 최신 ICT 기술을 적용한 배수시설 원격제어시스템 구축
 - 홍수 시 현장 CCTV를 통한 하천 실시간 모니터링, 수문 개폐와 예·경보 시스템을 구축하여 선제적 홍수관리 대응체계 운영
 - 홍수 등 재난상황 전반에 대한 관제를 통한 신속한 재난관리체계 구축으로 사전재해예방
- 수요조사 및 평가를 통해 강원 춘천시(북한강), 충남 서천군(금강) 등 14개 지자체를 선정하여 선도사업 진행 중

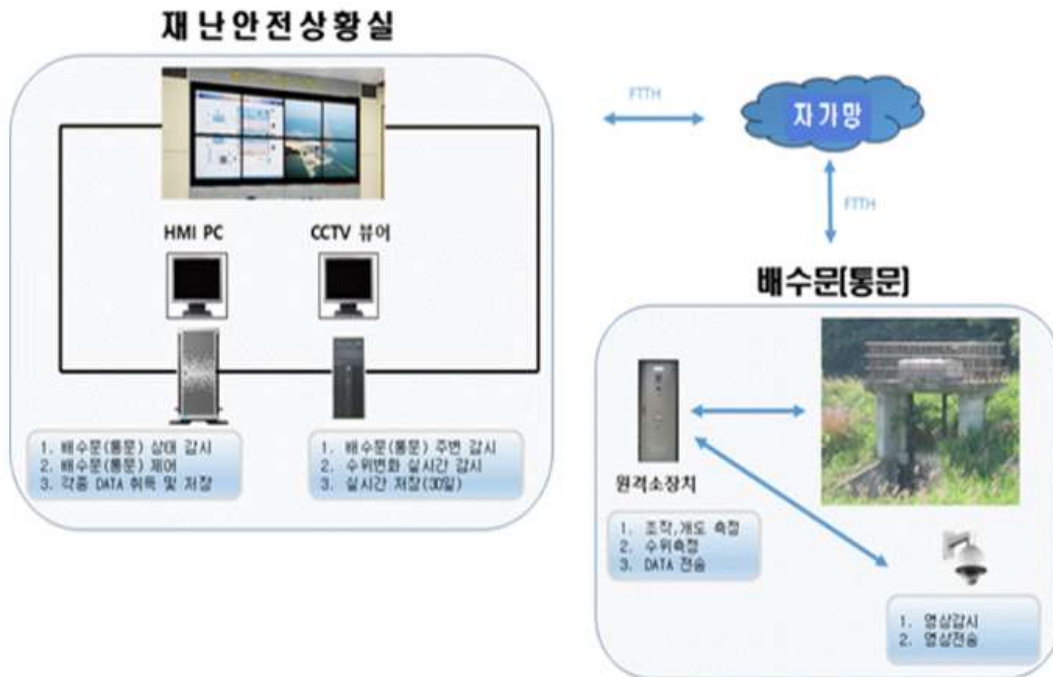
<표 7> 전국 배수시설 운영현황

구 분	계	대구시	강 원	충 북	충 남	전 북	전 남	경 북	경 남
해 당 시.군.구	14개 시.군.구	북 구 (금호강)	춘천시 (북한강)	청주시 (금 강) 옥천군 (금 강)	논산시 (금강 등) 서천군 (금 강)	완주군 (만경강) 전주시 (전주천)	나주시 (영산강) 화순군 (지석천)	경주시 (형산강) 구미시 (감 천)	김해시 (낙동강) 진주시 (남 강)
개소수	282	3	17	31	34	27	63	50	57

□ 국토교통부는 국가하천에 있는 수문 등 배수시설과 하천 수위를 실시간으로 모니터링하고 이를 원격 조작할 수 있도록 IoT기술을 적용한 ‘스마트 하천관리시스템 선도사업’을 추진 중임

- 최근 기후변화에 따라 집중호우의 빈도와 강도가 증가하고 있으며 특히, 올해는 역대 가장 많은 태풍이 우리나라에 영향을 주는 등 홍수위험이 크게 증가하고 있는 상황
- 이에 따라, 정부는 더욱 안전한 하천을 조성하기 위해 배수시설의 효율적 운영을 위해 스마트 하천관리시스템 도입을 추진 중임
 - 그 동안 배수시설 운영방식은 인근 지역주민을 민간 수문관리인으로 임명하고 민간수문관리인이 직접 현장에서 조작(수동 또는 전동)하는 방식이었음

- 기존 방식은 홍수관리에 체계적이지 못하였고 안전사고의 위험이 상존하였음
 - 수문관리인의 고령화, 전문성 부족, 피해 발생 시 불분명한 책임소재 등의 문제가 있었고, 특히 야간이나 기상악화 시 현장출동 과정에서 발생할 수 있는 안전사고 위험이 상존하였음
- '19년 충남 아산시에 약 14억원 규모의 시범사업을 추진하였으며, '25년까지 모든 국가하천 수문에 단계적으로 구축할 계획이었으나, 현재 범정부적으로 추진 중인 한국판 뉴딜정책의 일환으로 '22년까지 사업이 앞당겨 추진될 예정임
- 국토교통부는 '20년 7월 그린뉴딜, 디지털 뉴딜 등 관련 사업에 6,258억원을 투자하기로 하며 스마트홍수관리시스템 사업에 700억원을 추가로 편성하였고, 이에 따라 당초 계획보다 앞당겨('25년→' 22년) 사업을 완료하고 수재해 예방효과를 조기에 창출할 예정임
 - 국가하천 배수시설 자동·원격 제어시스템은 '20년부터 ' 22년까지 국가하천의 모든 배수시설(3,580개소)에 대한 구축을 목표로 추진하고, 국가하천 실시간 모니터링 체계는 '21년부터 ' 22년까지 국가하천 전 구간(3,600km)의 구축을 목표로 추진할 계획임
- 종합상황실 구축, 수문 자동화 설비 도입, CCTV 및 자동 수위계 설치, 수문과 상황실간 통신 연결 등을 주요 사업내용으로 함
- 광역자치단체와 지방국토관리청의 상황실과도 연계해 하천 수위와 배수시설 작동 상태를 함께 모니터링하는 등 하천 홍수 대응을 위한 3중의 안전장치를 마련할 계획임
- 이번 사업을 통해 신속한 수문 조작, 매뉴얼에 따른 체계적 수문 운영, 현장에서의 안전사고 방지, 주기적 수문 점검 등 다양한 효과를 기대함



[그림 13] 스마트하천관리시스템 개념도



[그림 14] 스마트 하천관리시스템 적용 사례

□ 국토교통부는 ‘22년까지 하천분야 한국판 뉴딜의 일환으로 국가하천 배수시설 자동·원격 제어시스템과 국가하천 실시간 모니터링 체계를 구축하여 수재해 예방과 하천관리 효율화를 추진함

○ 국토부는 ‘20년 7월 그린뉴딜, 디지털 뉴딜 등 관련 사업에 6,258억원을 투자하기로 하며 앞서 언급한 스마트홍수관리시스템 사업에 700억원을 추가로 편성하였고, 이에 따라 당초 계획보다 앞당겨(‘25년→’ 22년) 사업을 완료하고 수재해 예방효과를 조기에 창출할 예정

- 국가하천 배수시설 자동·원격 제어시스템은 ‘20년부터 ’ 22년까지 국가하천의 모든 배수시설(3,580개소, 하천 제방에 설치)에 대한 구축을 목표로 추진하고, 국가하천 실시간 모니터링 체계는 ‘21년부터 ’ 22년까지 국가하천 전 구간(3,600km)의 구축을 목표로 추진

- 이번 사업은 정부가 148개 지자체와 5개 지방국토관리청을 통해 지역사회에 대규모 예산을 단기간에 투입하여 추진하는 것으로, 지역 업체의 참여로 지역 경제 활성화와 일자리 창출에 크게 기여할 것으로 기대됨

- 국가하천 실시간 모니터링 체계는 국가하천에 하천관리용 CCTV를 설치*하고 지방국토관리청 상황실에서 현장 상황을 모니터링할 수 있는 시스템을 구축하여, 실시간 하천상황 파악과 데이터화(영상 확보)로 하천을 원격으로 관리·감독할 예정

- 전국 73개 국가하천 3,600km 양쪽 제방에 약 2km 간격으로 하천관리용 CCTV 설치

□ 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 8> 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 9> 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, 경기제외)
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,강원제외)
BOLAVEN,TEM BIN (볼라벤및덴빈)	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
PRAPIRROON (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)
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 전망됨¹²⁾

- 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 133회¹³⁾

- 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 피해가 발생함

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

12) 수자원 비전 2045, 국토교통부, 2016.7

13) 수자원 비전 2045, 국토교통부, 2016.7

- 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, 건물 등이 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 10> 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 11> 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 12> 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 13> 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 14> 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 15> 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 16>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 17> 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 배수시설 개선 등 홍수재해 대응사업은 농업생산기반정비사업에 포함되며, '20년 사업규모는 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 18> 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 19> 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

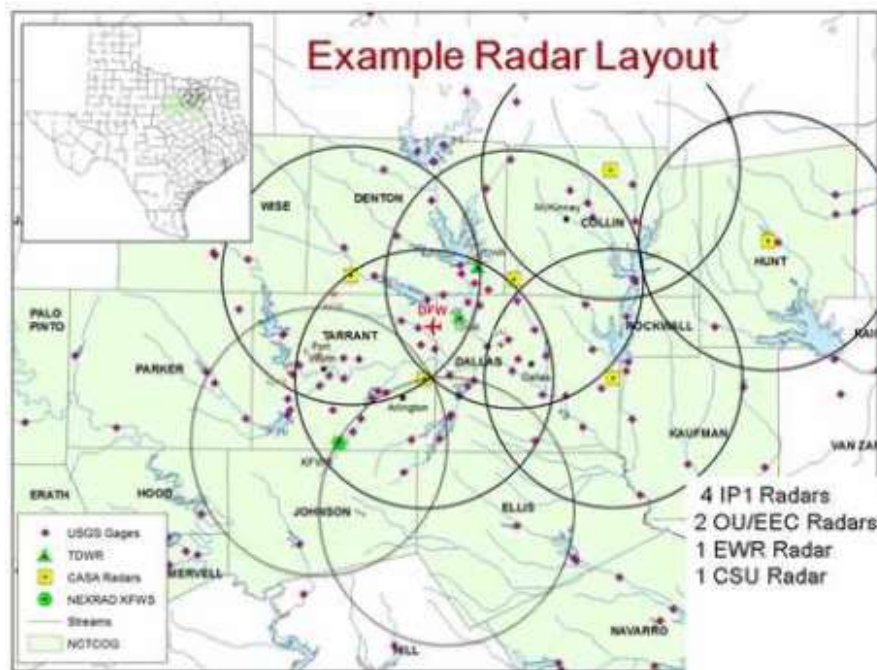
3절. 기술동향 분석

1. 국외 기술동향 분석

가. 홍수량 예측기술분야

- 미국은 홍수 예경보 시스템을 구축하기 위한 CASA(Collaborative Adaptive Sensing of the Atmosphere) 프로젝트를 추진하였고 아직 상용화 단계에는 도달하지 못했으나 지속적으로 데이터를 축적하고 있음¹⁴⁾
- CASA-ERC(Engineering Research Center)와 NCTCOG(North Central Texas Council of Government)는 거대 도심환경에서 개선된 기상재해 예경보 시스템 구축을 목적으로 공동 프로젝트를 추진하여 달라스/포트워스에 테스트베드(DFW)를 구축함
 - 1단계에서는 4개의 X-밴드 레이더를 배치하여 데이터를 획득함
 - 2단계에서는 OU/EEC 레이더 2대, EWR 레이더 1대, Ridgeline Instruments/CSU 레이더 1대를 추가하여 총 8대의 X-밴드 레이더로 레이더망을 구축함
 - 3단계에서는 구성 레이더 수를 16-20대로 확장시킬 계획임
- 동 프로젝트는 오кла호마에 소형 X-밴드 편파 레이더들로 이루어진 시험 관측망을 설치하여 서로 중첩되는 관측범위를 가지는 저비용 X-밴드 편파 레이더로 강우를 관측함
- 본격적인 상용화단계에는 도달하지 못하였으나, 연속성 있는 데이터를 축적하고 있음

14) 수문레이더 기반 홍수폭설재해 예측 및 경보 플랫폼 개발, 한국건설기술연구원, 2013. 12.



[그림 16] 미국 DFW 레이더망

* 자료 : 수문레이더 기반 홍수폭설재해 예측 및 경보 플랫폼 개발, 한국건설기술연구원, 2013. 12.

□ 중국은 악천후 조건에서 s-밴드와 c-밴드를 사용하기 위해 ADDA(Automated Dealiasing for Data Assimilation) 알고리즘을 도입함¹⁵⁾

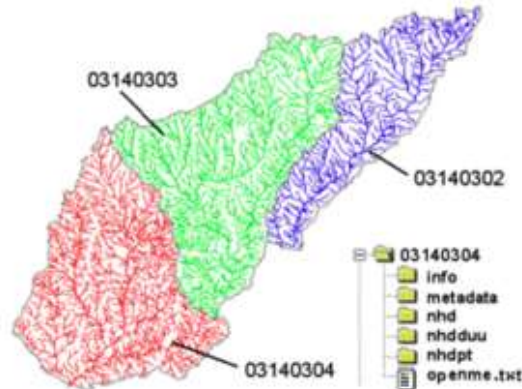
- 레이더 데이터 동화를 목표로 하는 레이더 방사형 속도 처리 알고리즘은 허리케인, 태풍 및 심부 대륙 대류의 악천후 조건에서 여러 S- 밴드 및 C- 밴드 레이더 관측을 사용하여 도입됨
- 중국의 CINRAD, 대만의 레이더 네트워크 및 미국의 NEXRAD (Next Generation Weather Radar)에서 지속적으로 관찰된 허리케인 2건, 태풍 2건 등에 적용함
 - 노이즈가 있는 데이터 제거 후, 적절한 방사형을 선택하고, 대류 영역을 보존함
 - 방위각 및 방사형 방향 모두에서 멀티 패스 처리를 실행하고, 오류 검사를 통해 최종 로컬 처리를 수행하는 데 사용되는 5 개의 모듈을 포함함

15) A Radar Radial Velocity Dealiasing Algorithm for Radar Data Assimilation and its Evaluation with Observations from Multiple Radar Networks, REMOTE SENSING | 11 (20): - OCT 2019

□ 첨단 IT 기반의 유량 측정·모니터링 및 정보제공 기술 현황은 아래와 같음

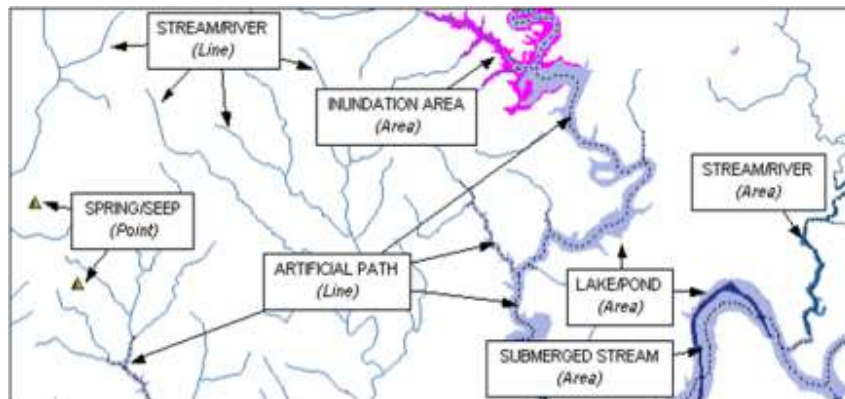
○ NHD(National Hydrography Dataset, <http://nhd.usgs.gov>)

- 미국 USGS가 제공하는 하천망 정보로 유역식별번호 (Hydrologic Unit Code) 8 자리 유역에 대해 구분하여 상세 하천망 정보를 제공하고 있음



[그림 17] NHD 유역식별번호 샘플

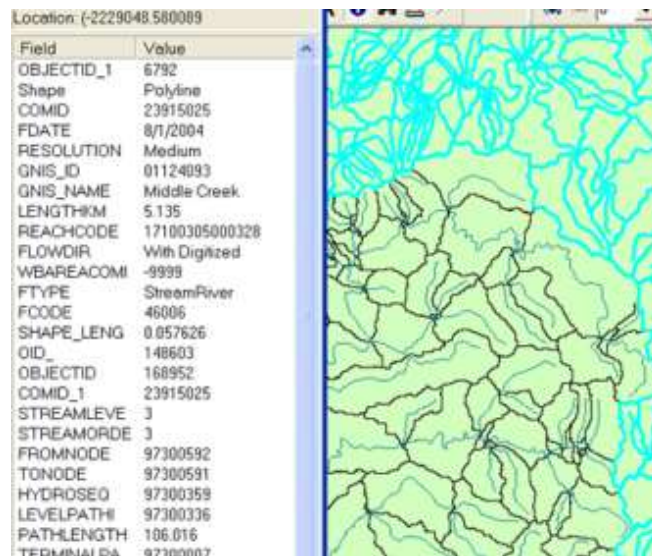
- 자연하천뿐만 아니라 호수, 인공수로, 범람지역 등의 하천 관련 정보도 추가 제공



[그림 18] NHD 자료 제공 범위

○ NHD(National Hydrography Dataset) Plus

- 미국 USGS와 EPA가 공동으로 제작한 웹기반의 하천 및 유역 공간 정보 시스템임
- NHD에서 제공하는 상세하천망에 추가하여 하천위치의 종방향 상대길이, 하천경사, 조도, 평균유속 등의 정보를 부가하여 제공하고 있음

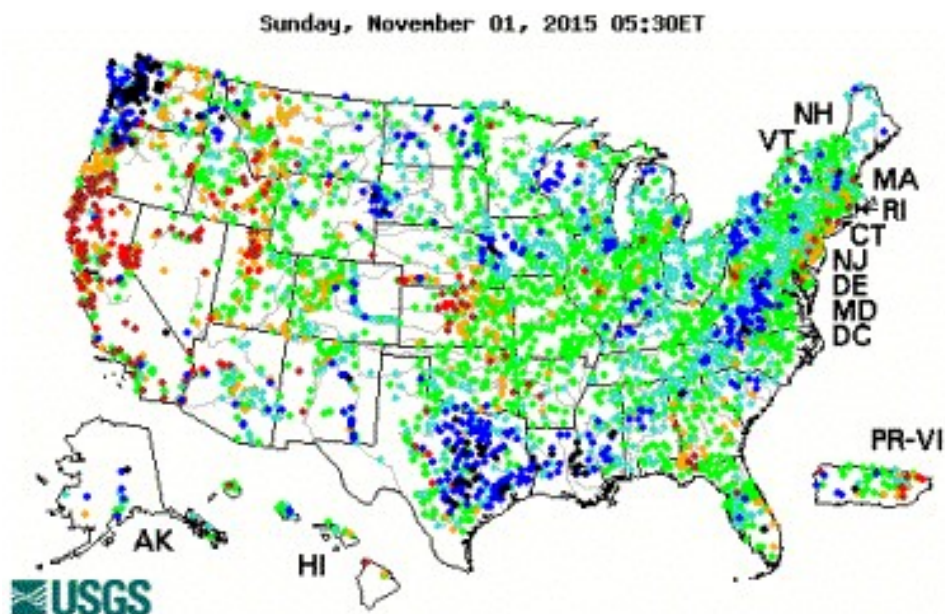


[그림 19] NHD Plus 유역 속성정보 샘플

- 모든 하천망에서 하천 세그먼트 별로 색인번호를 부여하였고 해당 하는 유역도 고유번호를 포함하며, 모든 정보는 GIS 기반으로 제작되며 대중에 전면 공개하고 있음

○ NWIS(National Water Information System, <http://waterdata.usgs.gov/nwis>)

- 전국의 하천에 위치한 1백 5십만 관측소에서 지난 100여 년간 유량, 수위, 지하수위 등 계측 정보를 누적하였고 실시간 정보까지 제공하는 정보화 시스템임

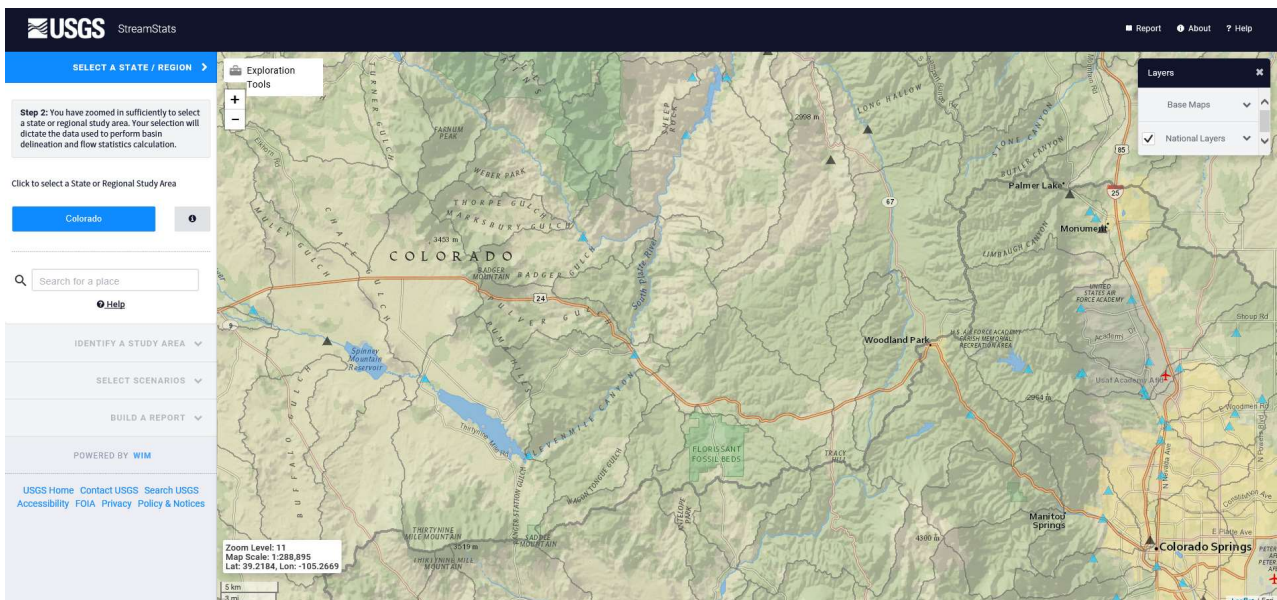


[그림 20] NWIS 자료 제공 지점

- 하천, 호수, 지하수, 수질, 용수에 정보까지 망라한 방대한 관측자료 제공 시스템임
- 우리나라 WAMIS와 비슷한 역할을 수행
- 웹기반으로 사이트 검색이 용이하며 관련 자료의 ASCII 포맷의 다운로드 기능제공
- 하천지형정보 및 2/3차원 계측 정보는 제공하지 않음

○ StreamStat(<http://water.usgs.gov/osw/streamstats/>)

- 웹 GIS 기반의 하천정보시스템으로 임의의 하천지점에서의 상류 유역을 능동적으로 제공하며 해당 지점에서의 수위 정보를 모델링을 통해 제공
- 수자원의 계획 및 관리 목적으로 수립됨



[그림 21] StreamStat

□ 미국은 홍수예보시스템을 위한 하천예보센터(River Forecast Center, RFC)를 만들어 기상예보국과 협동해 모든 하천에 모니터링 시스템을 형성함

○ 실시간 수문예측자료 및 경보자료를 제공하며 웹 기반의 하천 및 수문 예측 정보를 제공하는 홍수예보시스템(Advanced Hydrologic Prediction Service, AHPS)을 구축

- 홍수 및 가뭄에 대비 기간확보, 정확한 하천 예보 및 홍수 경보 등의 정보제공으로 수재해에 대한 인적, 경제적 피해를 감소시킴

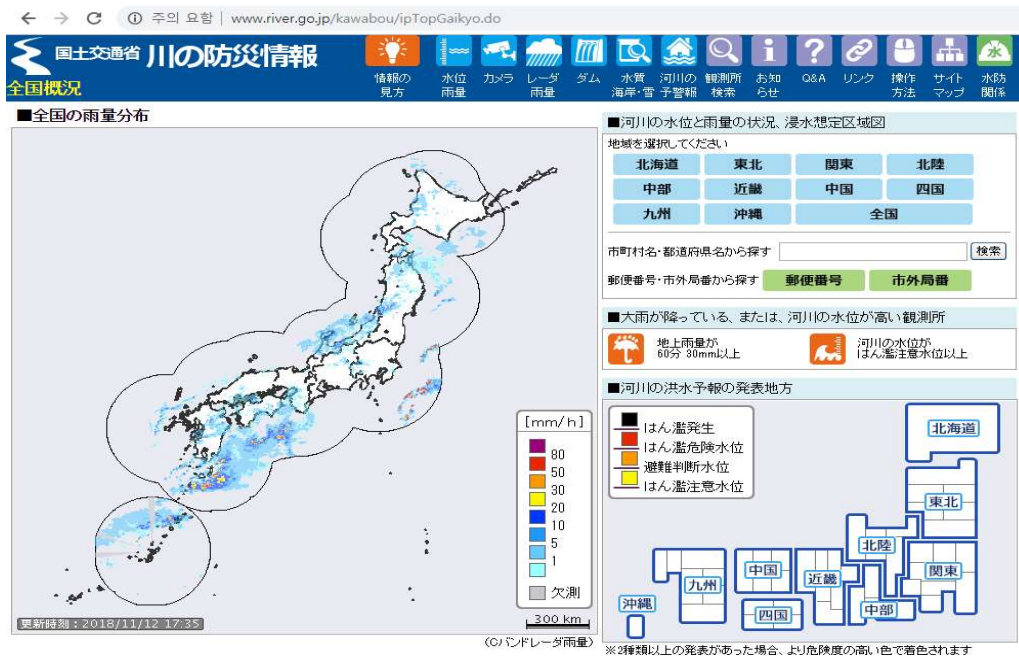


[그림 22] 미국 홍수 예보 시스템(AHPS)

- 미국의 대표적 물관리 기관인 개척국(USBR), 지질조사국(USGS), 테네시 유역관리청(TVA)은 각각 정확한 유량산정을 위한 모델을 개발하여 물관리 시스템을 운영함¹⁶⁾
 - 개척국(USBR)은 MMS(Modular Modeling System)를 이용하여 각 유역의 지점별 유량을 산정하고 있으며, 모니터링 결과는 WARSMP(Watershed & River Systems Management Program) 모형에 반영하여 물관리 시스템 운영에 활용함
 - 지질조사국(USGS)은 지점별 유량자료를 수집하고, 수집 자료는 유역 내 저수지 등 각종 시설물을 대상으로 RiverWare모델로 시뮬레이션하여 실질적 유출량을 산정함
 - 테네시유역관리청(TVA)은 개척국(USBR)과 유사한 방식을 적용하고 있으며, MMS 대신 WaterView를 이용하여 보다 정확한 유량을 산정함
- 유럽연합의 경우 WaterWare(Water Resources Management Information System)를 통해 통합정보의사결정시스템을 구축하여 수자원관리 문제를 해결하기 위한 데이터 분석, 모델링, 의사결정지원 등 통합된 프레임을 제공함
 - 네덜란드의 경우 “Digital Delta” 프로젝트를 시작하여 네덜란드 전체의 효율적인 물관리 및 홍수로부터의 재난관리를 위한 빅데이터 기반 물관리 체계를 구축하고 있음
 - 네덜란드 정부는 Deltares Science Institute, the University of Delft 및 IBM과 공동으로 Intelligent Water software 및 Smarter Water Resource Management solution 환경의 물관련 정보화 체계 구축 및 물관리 시스템 구축을 추진함

16) 스마트 시대의 물 산업 생태계 조망과 시사점, KISTEP, 2014.

- 일본 국토교통성 하천재해정보시스템(www.river.go.jp)에서는 홍수예보를 위한 하천 수위 정보 및 레이더 강우량, 우량/수위/수질/적설, 댐정보, 댐방류량 정보 등 하천 유관 정보를 온라인으로 제공함
- 상세 하상정보, 하천시설물 정보 등 하천 공간정보는 제공하지 않음



[그림 23] 일본 하천재해정보시스템 메인화면

- 일본의 Public Works Research Institute(PWRI)는 홍수 재해의 사회적, 경제적 특징을 평가하고 홍수 경감 정책의 홍수피해에 대한 영향 정도를 평가하기 위해 Risk and Policy Assessment Indicator(RPAI)를 개발하였음
- 이 지표는 홍수정책의 예산배분, 강수량, 피해액, 침수면적, 도시화율, 홍수에 대한 재산 취약성 등의 5년 이동평균자료를 이용함
- RPAI에 사용된 자료들은 국제기구 및 국가별 통계자료를 사용하였기 때문에 자료 취득이 쉽지만, 계산방법을 알지 못하여 결과값을 이해하기 어려운 한계가 있음

□ CaMa-Flood 라우팅이 대부분의 GHM에서 나타나지 않는 범람원 저장 및 역류 효과를 설명하는 피크 배출 시뮬레이션에서 라우팅 계획 선택의 중요성을 보여주기 위한 연구가 수행됨¹⁷⁾

○ 하천 경로 계획의 선택이 최대 배출량 시뮬레이션에 영향을 미치는 정도를 평가하기 위해 ISIMIP2a 프로젝트 내에서 관측 기후 데이터(1971-2010)에 의한 9개 GHM의 유출 및 배출 시뮬레이션을 사용함

○ 시뮬레이션 된 일일 배출량은 고유 하천 경로 계획을 사용하여 각 GHM에서 생성 된 배출량과 비교됨

- 각 GHM에 대해 두 가지 버전의 모의 배출을 벤치마크로 1701 GRDC 스테이션의 월간 및 일일 배출 관측치와 비교함

- CaMaFlood 라우팅은 범람원 저수지의 완충 능력에 의해 유발 된 것으로 추정되는 하천 최대 배출량의 일반적인 감소와 발생시 약 2 ~ 3주 지연을 보여줌

○ 이 연구는 이러한 프로세스의 명시적인 매개 변수화가 향후 영향 연구에서 필수적일 수 있다는 중요한 힌트를 제공

□ 소셜 기반 알고리즘으로 최적화 된 신경망을 사용한 홍수 라우팅 모델링에 관한 연구가 진행됨¹⁸⁾

○ 소셜 기반 알고리즘 (SBA)을 사용하여 인공 신경망 (ANN)을 훈련시키는 접근 방식을 설명함

- 이 접근법은 FF-SBA라고하는 Kheir Abad River의 홍수 라우팅 문제에 대한 피드 포워드 신경망 최적화를 보여줌

- 이를 위해 ANN 모델에서 입력 데이터의 수 및 유효 시간 지연은 초기에 입력 및 출력 시계열 간의 선형 상관 관계를 통해 결정되며 이후 피드 포워드 네트워크의 가중치는 SBA에 의해 최적화됨

- 최적화 알고리즘 및 통계 모델의 결과에 비해 이란의 Kheir Abad River에 대한 FF-SBA 모델은 더 많은 유연성과 정확성을 보여줌

17) The critical role of the routing scheme in simulating peak river discharge in global hydrological models, ENVIRONMENTAL RESEARCH LETTERS | 12 (7): - JUL 2017

18) Flood-routing modeling with neural network optimized by social-based algorithm, NATURAL HAZARDS | 82 (1): 1-24 MAY 2016

□ 입자 군집 최적화를 사용한 새로운 4 개 매개 변수 비선형 Muskingum 모델에 대한 매개 변수 추정에 관한 연구가 진행됨¹⁹⁾

○ Muskingum 모델은 하천 공학에서 홍수 경로 지정에 널리 사용되는 방법임

- 이 모델에는 추정해야하는 몇 가지 매개 변수가 존재하는데, 해당연구에선 새로운 형태의 비선형 Muskingum 모델의 매개 변수가 PSO (Particle Swarm Optimization) 알고리즘에 의해 추정됨

○ 4 개의 매개 변수가 있는 새로운 Muskingum 모델은 이란의 3개의 벤치마크 사례와 1개의 실제 사례에 적용되었음

○ 관찰 된 유출과 추정 된 유출 사이의 제곱 (SSQ) 또는 절대 (SAD) 편차의 합은 목적 함수로 간주되었으며, 결과는 새로운 Muskingum 모델이 더 복잡해졌지만 PSO 기술을 사용하는 이 모델은 특히 다중 피크 수위도에서 관찰 된 흐름에 대한 적합성을 향상시킬 수 있음을 보여줌

□ Top-View LiDAR 데이터와 Ground-View SfM 관측을 결합한 도시 홍수 모델링에 관한 연구가 진행됨²⁰⁾

○ 말레이시아 쿠알라룸푸르의 복잡한 도시 지역을 2003 년에 발생한 극심한 홍수 사건을 시뮬레이션하기 위한 연구지역으로 선택함

○ Top-View LiDAR 접근 방식을 사용하여 표준 LiDAR-DTM 및 특정지면보기 기능을 고려한 Filtered LiDAR-DTM의 두 가지 DTM을 생성함

- 일련의 지면 이미지에서 숨겨진 도시 기능을 감지하기 위해 SfM (Structure from Motion) 접근 방식을 사용함

○ 탑 뷰 LiDAR 데이터와 지면 뷰 SfM 관측을 결합하는 새로운 다중 뷰 접근 방식은 정확한 디지털 지형지도를 생성할 수 있는 가능성을 보여줌

- 향후, 이를 수치 도시 홍수 모델의 입력으로 사용할 수 있을 것으로 보임

19) Parameters Estimation for the New Four-Parameter Nonlinear Muskingum Model Using the Particle Swarm Optimization, WATER RESOURCES MANAGEMENT | 30 (7): 2143-2160 MAY 2016

20) Top-View LiDAR 데이터와 Ground-View SfM 관측을 결합한 도시 홍수 모델링,

□ 2015년 사우스 캐롤라이나 홍수 사례를 토대로 신속한 홍수 매핑을 위해 소셜 미디어를 활용하는 새로운 접근 방식연구가 진행됨²¹⁾

- 지리 공간 프로세스에서 Twitter 데이터를 활용하여 거의 실시간으로 홍수를 매핑하는 새로운 접근 방식의 연구가 진행됨
 - 양적 방법을 사용하여 홍수 관련 트윗의 시공간 패턴을 분석하여 트위터 활동이 홍수 현상과 어떻게 관련되어 있는지 더 잘 이해함
 - 트윗과 하천 게이지에서 도출된 수위 지점을 기반으로 연구 지역의 홍수 가능성을 매핑하기 위해 커널 기반 홍수 매핑 모델을 개발함
 - 확인된 트위터 활동 패턴은 홍수 모델 매개 변수의 가중치를 할당하는 데 사용되었고, 모델 출력을 공식 침수지도와 비교하여 모델의 타당성과 정확성을 평가함
- 제안된 접근 방식이 거의 실시간으로 홍수 상황에 대한 일관되고 비교 가능한 추정을 제공할 수 있음을 보여 줌
 - 의사결정 지원을 위해 홍수 이벤트 동안 상황 인식을 개선하는 데 도움이 될 것으로 보임

□ 홍수 위험 평가를 위한 지속적인 대규모 시뮬레이션 모델에 대한 연구가 진행됨²²⁾

- 강우 유출, 1D 하천망, 2D 배후 침수 및 피해 추정 모델을 포함한 연속 시뮬레이션 접근 방식을 기반으로 한 홍수 위험 평가가 대규모 집수 규모에서 실행 가능함을 입증하기 위한 연구가 진행됨
- RFM은 약 2700km의 강을 포함하는 엘베 집 수지의 독일 부분에 적용됨
 - 이 개념 증명 연구를 위해 1990-2003 년 동안 자료로 시뮬레이션을 수행하였음
 - 각 모듈에 불확실성이 도입되면 가능한 경우 관찰된 데이터로 결과가 평가됨
- 장기 기후 데이터에 의해 유도된 집수 과정, 침수 및 피해에 대한 대규모 시뮬레이션이 연속 시뮬레이션 프레임워크 내에서 실행 가능하다는 결론을 얻음

21) A novel approach to leveraging social media for rapid flood mapping: a case study of the 2015 South Carolina floods, CARTOGRAPHY AND GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE | 45 (2): 97-110 2018

22) Continuous, large-scale simulation model for flood risk assessments: proof-of-concept, JOURNAL OF FLOOD RISK MANAGEMENT | 9 (1): 3-21 MAR 2016

□ 홍수 가능성이 있는 지역매핑을 위한 다중 기준 분석 프레임워크에 관한 연구가 진행됨²³⁾

- 지리 정보 시스템 (GIS), 퍼지 논리 및 클러스터링 기술, 다중 기준 평가 방법을 통합 한 잠재적 홍수 지역을 매핑하기 위한 프레임워크를 제시함
 - 연구지역을 홍수 취약 지역의 5 가지 범주로 분류함
 - MCA (Multi-Criteria Analysis) 기술은 퍼지 분석 계층 프로세스 (AHP)로 구성되며 다양한 표준화 방법으로 향상시킴
 - 분류는 서로 다른 클러스터링 기술을 기반으로 하며 두 가지 접근 방식으로 적용됨
 - 첫 번째 접근 방식에서는 MCA 프로세스 전에 모든 기준을 정규화한 다음 클러스터링 기술을 적용하여 최종 홍수 취약 지역지도를 도출함
 - 두 번째 접근법에서 기준은 잠재적 홍수 취약 지역 매핑을 위한 MCA 프로세스 전후에 클러스터링됨

□ 글로벌 홍수 위험 매핑을 위한 프레임워크 개발 및 평가에 관한 연구가 진행됨²⁴⁾

- 글로벌 홍수 인식 시스템 (GloFAS)의 수 문학적 시뮬레이션에서 일일 하천 배출량의 장기 데이터 세트를 도출함
- Streamflow 데이터는 고해상도 하천 네트워크에서 축소되고 처리되어 2차원 유체 역학 모델로 수행되는 지역 홍수 침수 시뮬레이션에 대한 입력을 제공함
 - 강 네트워크를 따라 식별된 모든 홍수 취약 지역을 병합하여 30인치 해상도로 여러 반환 기간에 대한 대륙 홍수 위험지도를 만듦
- 시뮬레이션 된 홍수지도를 공식 위험지도 및 위성 이미지에서 탐지된 침수 지역의 모자이크와 비교하여 전 세계 여러 강 유역에서 방법론의 성능을 평가함
 - 평가 절차에는 다른 대규모 홍수 모델의 결과와의 비교도 포함시킴
- 홍수 모델링 프레임 워크의 여러 매개 변수 및 모델링 접근법에 대한 민감도를 추가로 조사하고 방법론의 강점, 한계 및 가능한 개선을 식별함

23) Multi-Criteria Analysis Framework for Potential Flood Prone Areas Mapping WATER RESOURCES MANAGEMENT | 29 (2): 399-418 Sp. Iss. SI JAN 2015

24) Development and evaluation of a framework for global flood hazard mapping, ADVANCES IN WATER RESOURCES | 94: 87-102 AUG 2016

□ 신속한 홍수 침수 매핑을 위한 정보소스인 소셜 미디어에 관한 연구가 진행됨²⁵⁾

- 이 연구는 홍수의 경우 침수 범위 및 수심을 포함하여 신속한 침수 매핑을 지원하기 위해 소셜 미디어 콘텐츠를 활용하는 방법론을 제안함
 - 목격자들이 소셜 미디어를 통해 제공하는 정보는 귀중한 정보원이며 보다 효과적인 방법으로 탐색해야 함
- 원격 감지 데이터와 같은 기존 데이터 소스에 비해 이러한 게시물의 빠른 가용성으로 인해 홍수의 영향을 받는 영역을 빠르게 확인할 수 있음
 - 문제는 많은 수의 게시물을 관리 가능한 양의 잠재적으로 유용한 침수 관련 정보로 필터링하고 적시에 게시물을 매핑 절차에 통합하는 것임
- 빠른 침수 매핑을 지원하기 위해 사진 링크를 포함하는 소셜 미디어 서비스에서 지리적 위치가 지정된 게시물을 필터링하는 도구인 “PostDistiller”를 개발하였고, 이 공간적으로 분산된 현장 정보는 수동으로 추가 탐색됨
- 2013년 6월 유럽 중부 홍수 동안의 적용 사례 연구에서 드레스덴시의 공간 홍수 패턴과 침수 깊이를 추론하기 위해 이 접근 방식의 활용을 평가함

□ SAR 이미지의 파라메트릭 임계값을 위한 계층적 분할 기반 접근 방식의 홍수 침수에 관한 연구가 진행됨²⁶⁾

- 이 방법은 홍수 매핑 알고리즘에 통합되어 홍수로 인한 분포 함수와 홍수로 인한 변화의 매개 변수화 능력을 평가할 수 있음
- 2007년 3회 강을 따라 홍수 사건에서 수집된 데이터 세트를 분석함
 - 보통 (ENVISAT-WS) 및 고해상도 (TerraSAR-X) 해상도의 SAR 이미지로 구성됨
 - 획득한 분류 정확도 및 타일의 수동 선택을 기반으로 한 방법으로 획득한 벤치마크와 성능 수준의 유사성은 새로운 방법의 유효성을 확인할 수 있음

25) Social media as an information source for rapid flood inundation mapping, NATURAL HAZARDS AND EARTH SYSTEM SCIENCES | 15 (12): 2725-2738 2015

26) A Hierarchical Split-Based Approach for Parametric Thresholding of SAR Images: Flood Inundation as a Test Case, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING | 55 (12): 6975-6988 DEC 2017

나. 스마트 운영을 위한 수위예측기술분야

□ 수위 관찰을 위한 딥러닝 기반 무인 감시 시스템과 관련된 연구가 진행됨²⁷⁾

- 원격 측정 스테이션과 모니터링 센터로 구성된 저가형 무인 감시 시스템을 개발함
 - 이 시스템은 지도 기반 웹 서비스는 물론 웹 플랫폼에서 강과 저수지의 실시간 수위 측정 값을 표시하는 데 필요한 비디오 카메라, 수위 분석기 및 무선 통신 라우터를 사용함
 - 무선 통신 라우터의 도움으로 수위 정보는 셀룰러 네트워크를 통해 인터넷에 연결된 서버로 전송됨

□ 메타 모델의 앙상블과 객관적 순차 샘플링을 기반으로 한 능동학습 가변 충실도 메타 모델링 접근법에 대한 연구가 진행됨²⁸⁾

- 높은 정확성과 낮은 비용 사이의 균형을 맞추기 위해 LF 및 HF 모델의 정보를 통합하는 것을 목표로 하는 능동 학습 가변 충실도 (VF) 메타 모델링 접근 방식에 대한 연구가 진행됨
- 제안된 VF 메타 모델링 접근법에서는 HF 모델과 LF 모델 간의 차이를 매핑하기 위해 메타 모델 앙상블을 기반으로 한 모델 융합 기술이 사용됨
 - HF 모델과 LF 모델 간의 차이 특성에 대해 이미 획득한 정보를 최대한 활용하기 위해 일반화된 객관적 순차 샘플링 전략에 기반한 능동적 학습 전략을 도입함

□ 다단계 홍수 예측 모델링을 위한 진화적 반복 ANFIS 탐색에 관한 연구가 진행됨²⁹⁾

- 다단계 예측을 위해 모델 매개 변수를 최적화하는 유전 알고리즘과 최소 제곱 추정기(GL)가 내장된 R-ANFIS (순환 적 적응 형 네트워크 기반 퍼지 추론 시스템)에 관한 연구가 진행됨
 - 제안된 방법 (R-ANFIS (GL))의 주요 장점은 강우와 유출 시리즈 사이의 비정상 과정의 특징을 포착하고 다단계 홍수 예측에서 발생하는 시간 지연 효과를 완화하는 데 있음
 - 모델의 신뢰성과 효과를 입증하기 위해 R-ANFIS (GL) 모델을 구현하여 유명한 벤치마크 혼란 시계열과 3개의 홍수 유입 시리즈에 대해 수평선 t+1에서 t+8까지의 다단계 예측을 수행함

27) Deep Learning-Based Unmanned Surveillance Systems for Observing Water Levels,

28) An active learning variable-fidelity metamodeling approach based on ensemble of metamodels and objective-oriented sequential sampling, JOURNAL OF ENGINEERING DESIGN | 27 (4-6): 205-231 APR-JUN 2016

29) Explore an evolutionary recurrent ANFIS for modelling multi-step-ahead flood forecasts, JOURNAL OF HYDROLOGY | 570: 343-355 MAR 2019

- 수치 및 실험 결과는 R-ANFIS (GL) 모델이 두 개의 비교 네트워크를 능가 할뿐만 아니라 홍수 시즈 동안 혼란스러운 시계열과 저수지 유입 사례 모두에 대한 다단계 예측의 정확도를 크게 향상 시켰음을 나타냄

□ 수리적 매개 변수 분포 및 요약 통계의 개선된 추정치를 사용한 Rosetta pedotransfer 모델의 가중치 재보정(Rosetta3)에 대한 연구가 진행됨³⁰⁾

- 수분 보유와 K-s 하위 모델을 하나로 통합하는 향상된 계층 적 pedotransfer 함수 (Rosetta3)에 대한 연구가 진행됨
- VG 곡선을 원래 보유 데이터에 맞추는 매개 변수 불확실성은 ANN 보정 절차에서 새 PTF에 의해 예측 된 매개 변수의 편향을 줄이기 위해 사용됨
 - Rosetta3에서 60 개 또는 100개에 비해 새 모델을 보정하는 데 1,000개의 부트 스트랩 복제본이 사용되었으므로 예측 된 매개 변수의 일 변량 및 이변량 확률 분포를 더 자세히 정량화 할 수 있음
- 수분 함량에 대한 제곱 평균 오차 (RMSE)가 완만하게 감소하는 동안 모체 전위 의존적 편향이 크게 감소했음을 보여줌

□ SRTM-1, ASTER GDEM v2 및 ICESat / GLAS 관찰을 혼합한 고품질의 원활한 DEM 생성에 관한 연구가 진행됨³¹⁾

- SRTM-1, ASTER GDEM v2 및 ICESat 레이저 고도계 데이터를 혼합한 완벽한 DEM 데이터 세트를 생성하는 방법에 관한 연구를 진행함
 - ASTER GDEM v2 데이터는 SRTM 보이드 채우기를 위한 고도 소스로 사용되고, 신뢰할 수 있는 충전소스를 얻기 위해 ICESat GLAS 포인트가 통합되어 인공 신경망 (ANN) 모델을 사용하여 보이드 영역 내 ASTER 데이터의 정확도를 향상시킴
 - 수정 후 SRTM-1 데이터의 보이드는 수정된 ASTER GDEM 값으로 채워지고 삼각 불규칙 네트워크 기반 델타 표면 채우기 (DSF) 방법을 사용하여 이들 사이의 수직 편향을 제거하며 마지막으로 적응형 이상치 필터가 모든 데이터 타일에 적용됨
- 2003년부터 2009년까지 수집된 ICESat 포인트는 제안된 방법의 효과를 검증하고 중국에서 글로벌 DEM 제품의 수직적 정확성을 평가하는데 사용되었으며, 데이터 평가를 위해 양쯔강 유역의 채널 네트워크도 추출한 바 있음

30) Weighted recalibration of the Rosetta pedotransfer model with improved estimates of hydraulic parameter distributions and summary statistics (Rosetta3), JOURNAL OF HYDROLOGY | 547: 39-53 APR 2017

31) High-quality seamless DEM generation blending SRTM-1, ASTER GDEM v2 and ICESat/GLAS observations, ISPRS JOURNAL OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING | 123: 20-34 JAN 2017

□ 기계 간 통신에서 빅 데이터 분석을 위한 효율적인 분할 및 정복 접근 방식에 대한 연구가 진행됨³²⁾

- 분할 및 정복 접근 방식을 활용하는 시스템 아키텍처의 데이터베이스의 데이터 블록 단위 수직 표현기능 추출 응용 프로그램의 문제를 공식화하는 특정 청원 전략에 관한 연구를 진행함
 - 아키텍처는 물리적 개체에서 처리 서버로 이동하며, 여기서 빅데이터 세트는 먼저 빠르게 처리 할 수 있는 여러 데이터 블록으로 변환 된 다음 동일한 소스에서 이러한 데이터 블록을 분류하고 재구성할 수 있음
 - 또한 데이터 블록은 머신 ID를 기반으로 순차적으로 집계되며 융합 알고리즘을 사용하여 데이터를 균등하게 분할하고, 마지막으로 결과는 사용자의 의사결정을 돕는 서버에 저장됨
- 제안된 시스템 아키텍처의 실행 가능성과 효율성은 3.2GHz 프로세서와 4GB 메모리를 사용하는 UBUNTU 14.04 LTS core (TM) i5 시스템의 Hadoop 단일 노드 설정에서 구현됨
- 연구결과는 제안된 시스템 아키텍처가 방대한 양의 위성 데이터에서 다양한 기능을 효율적으로 추출하는 것을 보여줌

□ 중국 북서부 헤이 허 유역의 관개 농업 지역에서 ASTER와 MODIS 이미지의 시공간적 융합을 기반으로 일일 증발산 매핑에 관한 연구가 진행됨³³⁾

- 시간 해상도가 높은 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 이미지와 ASTER (Advanced Space-borne Thermal Emission Reflectance Radiometer)를 융합하여 표면 에너지 균형 시스템 (SEBS)을 사용하여 90m 공간 해상도에서 연속적인 일일 ET를 추정
- 공간 해상도가 높은 이미지에서 센서의 시공간적 특성은 STARFM (Spatial and Temporal Adaptive Reflectance Fusion Model)을 사용하여 획득되었음
 - 이 접근 방식의 성능은 자동 기상 시스템 (AMS) 및 와류 공분산의 현장 관측을 사용하여 경작지, 주거, 삼림, 물, 고비 사막, 모래 사막, 사막 대초원 및 습지 지역으로 덮인 이기종 오아시스 사막 지역에서 검증됨
- MODIS와 ASTER의 시공간적 특성을 결합한 예측된 원격 감지 데이터를 기반으로 SEBS를 사용하여 추정된 표면 에너지 플럭스는 모든 토지 피복 유형, 특히 MAP 값이 9% 범위인 식생 지역에 대해 EC 시스템을 사용하여 관찰 된 표면 에너지 플럭스와 일치함

32) An efficient divide-and-conquer approach for big data analytics in machine-to-machine communication, NEUROCOMPUTING | 174: 439-453 Part A Sp. Iss. SI JAN 22 2016

33) Mapping daily evapotranspiration based on spatiotemporal fusion of ASTER and MODIS images over irrigated agricultural areas in the Heihe River Basin, Northwest China, AGRICULTURAL AND FOREST METEOROLOGY | 244: 82-97 OCT 15 2017

□ Lake Mead의 TSS 농도 모니터링을 위한 원격감지 기반 조기경보 시스템 개발에 관한 연구가 진행됨³⁴⁾

- 고해상도 원격감지 기반 모니터링 기술을 매일 사용하여 현재 캐스팅 및 예측 방법 제품군의 개발에 대한 연구가 이루어짐
 - 통합 데이터 융합 및 채굴 (IDFM) 기술을 적용하여 TSS 농도의 일일 Nowcasting을 위한 실시간 모니터링 시스템을 개발함
 - 외부 입력 (NARXNET) 모델이 있는 비선형 자기 회귀 신경망을 선택하고 IDFM 기술을 사용하여 시간에 따른 TSS 농도의 변화를 예측 분석에 적용함

□ 대륙 수준에서 운영 홍수 예측 계획을 구현하기 위한 대규모 수문학 모델의 기술 검토에 관한 연구가 진행됨³⁵⁾

- 수문학 모델 선택 지침을 제공하기 위해 24개의 대규모 모델에 대한 기술 검토를 제공하며, 운영 대륙 홍수 예측 시스템의 예로 유럽 홍수 인식 시스템 (EFAS)에 대한 적합성은 프로세스 설명, 해결 유연성, 입력 데이터 요구 사항, 코드 가용성 등을 기반으로 논의됨

□ 수치 기상 예측 모델, 데이터 동화 및 위성 기반 강우의 유용성에 관한 연구가 진행됨³⁶⁾

- 완전 분산된 다중 물리, 다중 규모 수문 및 수력 모델링 시스템인 WRF-Hydro는 기상 연구 및 예측 (WRF) 모델과 EUMETSAT에서 파생된 강수입력을 기반으로 숙련된 홍수 예측의 잠재력을 평가하는 데 사용됨
- 다중 센서 강수 추정치 (MPE)는 과거 연구와 유사하게 WRF 모델 시뮬레이션에서 3 차원 대기 데이터 동화 (3DVAR) 방식을 사용하면 모델 초기 조건과 관련된 WRF 모델 강수 예측 오류가 감소하는 것으로 나타남
- 전체적으로, WRF 침전으로 수 문학적 모델 보정을 수행 할 때 유출에 대한 제공 평균 오차가 22.2 % 감소함

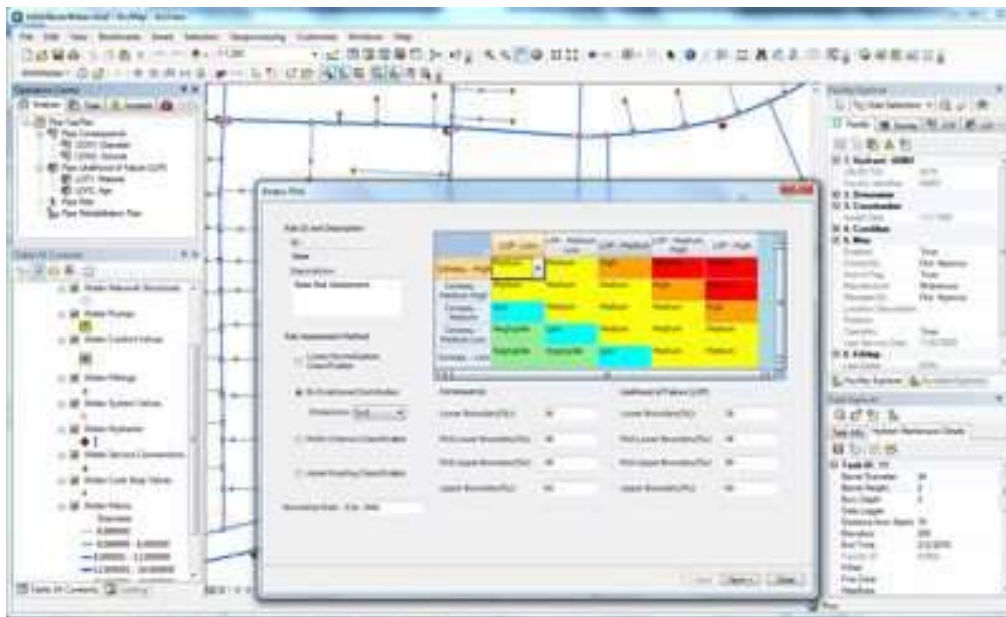
34) Developing the remote sensing-based early warning system for monitoring TSS concentrations in Lake Mead, JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT | 160: 73-89 SEP 1 2015

35) Technical review of large-scale hydrological models for implementation in operational flood forecasting schemes on continental level, ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE | 75: 68-76 Sp. Iss. SI JAN 2016

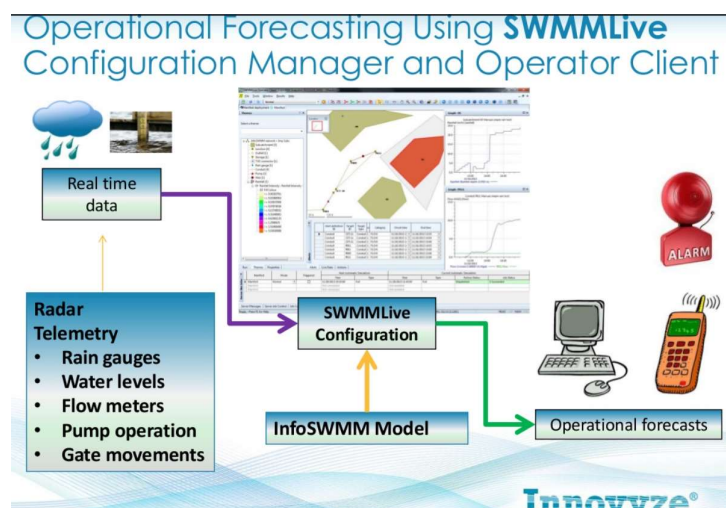
36) Calibration and evaluation of a flood forecasting system: Utility of numerical weather prediction model, data assimilation and satellite-based rainfall, JOURNAL OF HYDROLOGY | 523: 49-66 APR 2015

다. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야

- Innovyze사는 수자원 관리를 위한 실시간 제어/의사결정 시스템인 InfoMaster와 SWMMLive를 개발함³⁷⁾
- 이 시스템은 실시간 동작예측, 조기경보 및 방재, 수자원의 품질평가 및 오염예측, 녹색 LID 및 BMP 대안, 실시간 제어를 포함하는 위험평가가 가능함



[그림 24] Informaster 스크린 화면



[그림 25] SWMMLive 개념도

37) Oregon's Clean water service employs innovvze technology to support capital improvements, 워터월드(www.waterworld.com), 2016. 5. 5.

□ 데이터 기반 기술로 다단계 유입 예측을 모델링하기 위한 레이더 강우의 비선형 시공간 집중에 관한 연구가 진행됨³⁸⁾

- 시간 지연 문제를 완화하고 예측 정확도를 향상시키기 위해 유입 예측을 모델링하기 위해 레이더 강우의 시공간적 집중에 관한 연구를 진행함
- SOM (Self-Organizing Map)에서 얻은 하위 유역 분할을 기반으로 레이더 셀의 공간 집계를 수행 한 다음 2 단계 감마 테스트와 결합 된 적응 형 신경 퍼지 추론 시스템 (ANFIS) 모델에 의해 홍수 예측을 수행
- (2-GT) 최적의 중요하지 않은 강우 입력을 식별하는 절차. 대만 북부의 Shihmen 저수지가 사례 연구로 사용되며, 결과는 제안 된 방법이 일반적으로 1 ~ 4 시간 전 예측을 정확하게 할 수 있으며 예측 된 홍수 피크와 관찰 된 홍수 피크 사이의 지연 시간을 완화 할 수 있음을 보여줌

□ 인공위성 기반 강우 제품을 사용하여 실시간 홍수 예측을 위한 WNARX (외인성 입력) 동적 신경망 모델이 있는 웨이블릿 기반 비선형 자기 회귀에 관한 연구가 진행됨³⁹⁾

- 운영 흐름 예측에서 이러한 문제를 해결하기 위해 새로운 데이터 기반 모델, 즉 WNARX (Wavelet-based non-linear autoregressive with exogenous inputs)가 제안되고 다른 4 개의 데이터 기반 모델과 비교하여 평함
 - 외인성 입력 (ARMAX), 정적 인공 신경망 (ANN), 웨이블릿 기반 ANN (WANN) 및 외인성 입력을 사용한 동적 비선형 자기 회귀 (NARX) 모델이 있는 선형 자기 회귀 이동 평균을 평가함
 - 열대 우량 측정 임무 다 위성 강수 분석 (TMPA), 즉, TRMM 및 TRMM 실시간 (RT) 강우 제품의 입력 강우 제품의 품질을 통계적 평가를 통해 평가함
- 위성 강우 제품이 관측 된 강우와 중간 정도의 상관 관계를 나타내며 게이지 조정 TRMM 제품은 실시간 TRMM-RT 제품보다 성능이 뛰어난 것으로 나타남
- TRMM-RT의 유틸리티는 실시간으로 전파되는 유일한 강우 제품이기 때문에 실시간 홍수 예측 문제를 해결하며, TMPA 강우 제품이 포함된 WNARX 모델은 홍수가 발생하기 쉬운 집수지에서 홍수 예측 및 조기 경보를 제공하는 흥미로운 새로운 지평을 제공할 수 있음

38) A nonlinear spatio-temporal lumping of radar rainfall for modeling multi-step-ahead inflow forecasts by data-driven techniques, JOURNAL OF HYDROLOGY | 535: 256-269 APR 2016

39) A wavelet-based non-linear autoregressive with exogenous inputs (WNARX) dynamic neural network model for real-time flood forecasting using satellite-based rainfall products, JOURNAL OF HYDROLOGY | 539: 57-73 AUG 2016

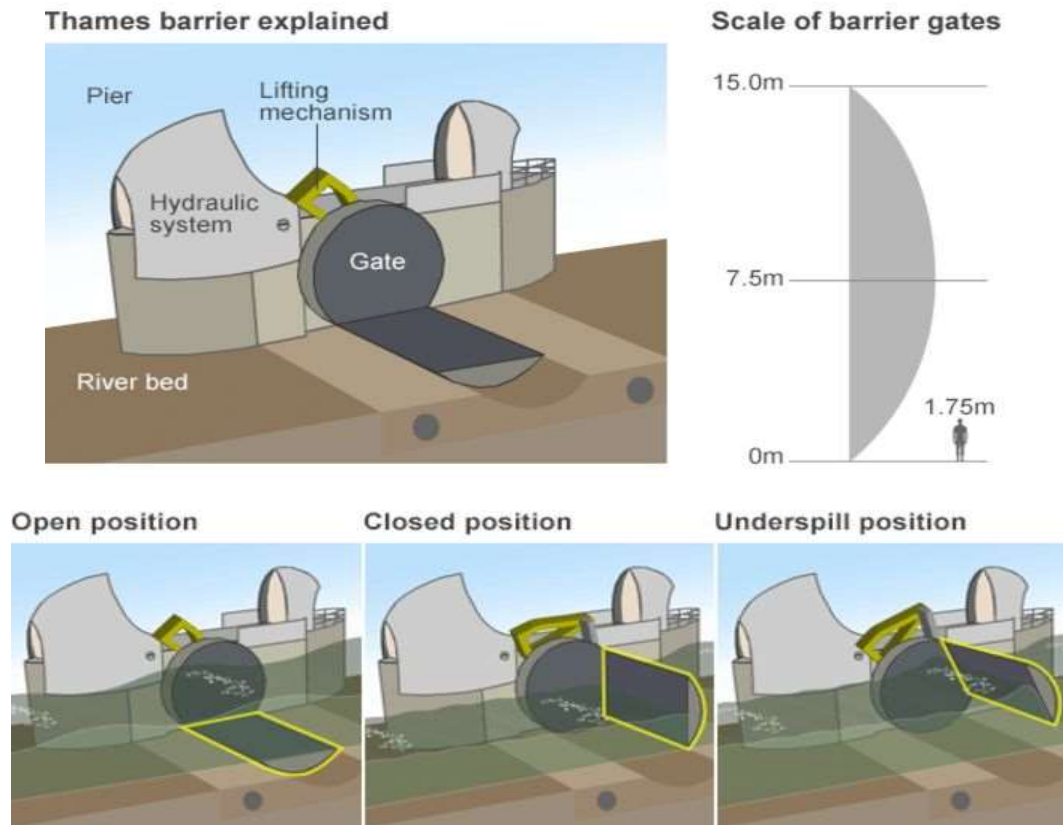
□ 결정론적 예측과 앙상블 예측을 이용한 센강 유역 다중 저수지 시스템의 최적 운영에 관한 연구가 진행됨⁴⁰⁾

- 결정론적 및 앙상블 일기 예보와 실시간 제어를 사용하여 프랑스 세느강 유역의 4개 저수지 시스템 운영 개선을 조사하는 연구가 진행됨
 - 현재 관리에서 각 저수지는 다른 저수지와 독립적으로 운영되며 역사적 수문학적 조건 하에서 홍수를 줄이고 저 유량을 유지하도록 설계된 규정된 규칙 곡선을 따르고 있음
 - 이러한 관리 시스템은 유입량이 계절 평균과 크게 다를 경우 비효율적이며 기후 변화로 인해 예상되는 극심한 이벤트 증가에 대처하기에는 더욱 부적절해질 수 있음
- 해당 연구에서는 이용가능해진 수치 일기 예보를 활용하여 저수지 운영을 개선하기 위한 중앙 집중식 실시간 제어 시스템을 개발함
- 제안된 관리 시스템은 최적화 기술, 모델 예측 제어 (MPC) 및 불확실성을 통합할 수 있는 최신 버전인 TB-MPC(트리 기반 모델 예측 제어)를 구현하여 각각 결정론적 및 앙상블 예측을 설명함
- 시뮬레이션 결과는 제안된 실시간 제어 시스템이 비 예측 관리 전략을 크게 능가하며 앙상블을 통한 예측 불확실성을 명시적으로 고려하면 예측 부정확으로 인한 성능 손실을 보상할 수 있음을 보여줌

□ 템즈 강 하류에 위치하고 있는 Thames Barrier는 고정보 4개와 Rotary segment 방식의 가동보 6개로 이루어져 있는 수문으로, 주로 홍수 방어(flood defense)의 목적으로 이용되고 있지만 염수 차단용으로도 사용됨

- 수문의 총 길이는 약 520 m이며, 영국 동부의 북해(North Sea)에서 발생하는 폭풍해일과 타 지역에 비해 크게 나타나는 조위편차 (고조 평균 15 m, 저조 평균 7 m의 수심) 등의 원인으로 빈번하게 발생하던 홍수를 방지하기 위한 목적으로 1982년에 완공됨
- Thames Barrier는 일반적으로 상류에 비해 하류 수심이 2 m 이상 상승하는 경우 가동보가 작동하여 홍수를 방어하는 기능을 함
 - 방어를 위해 6개의 가동보가 닫히는 시간은 약 90분 정도 소요되며, 조위나 폭풍해일의 발생에 따라 변하는 수위에 대응하여 수문을 열고 닫아 수문 후방의 수위를 비슷하게 유지시킴
 - 계절별로 0.1 m에서 0.4 m의 범위 내에서 차이가 생기도록 수위를 유지함

40) Optimal Operation of the Multireservoir System in the Seine River Basin Using Deterministic and Ensemble Forecasts, JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT | 142 (1): - JAN 2016

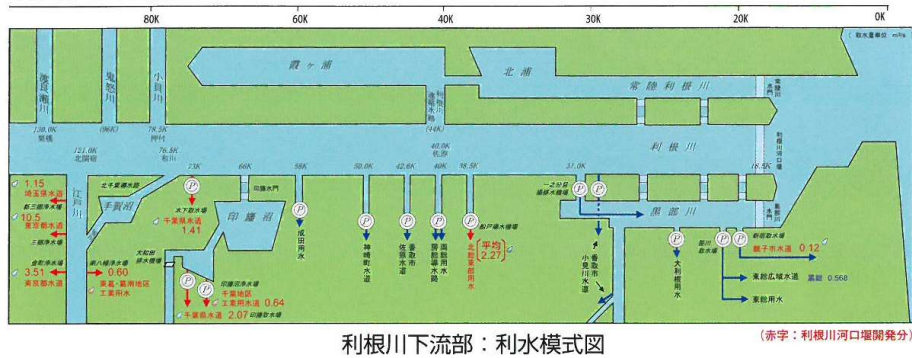


[그림 26] Thames Barrier 가동보의 작동방식

* 자료 : Tom de Castella (2014.2), "How does the Thames Barrier stop London flooding?". BBC News)

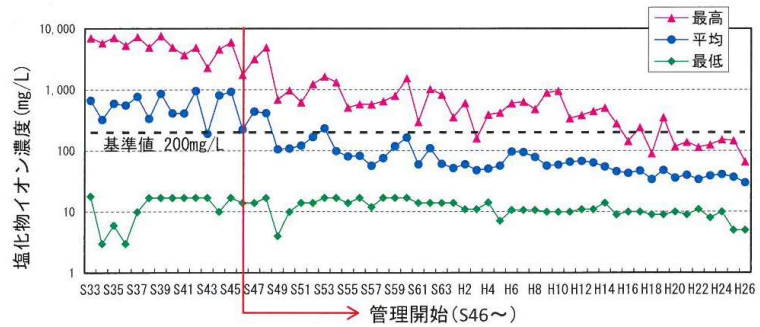
- Thames Barrier가 1982년에 완공된 이후로는 조위편차에 의한 홍수가 단 한 건도 발생하지 않았음
 - 기후변화에 의한 해수면 상승 시나리오를 고려하여 미래 해수면 상승에 따른 홍수 발생을 추가적으로 대비하였다는 점에서 타 수문들과 차이점을 보임
 - 영국 연구진의 최근 연구 결과에 따르면 동 수문은 2060-70년경까지의 해수면 상승에도 폭풍해일이나 조위편차에 의한 홍수를 충분히 방어할 수 있을 것으로 기대됨
- 일본 도네가와 하굿둑은 상류 유입량, 내부 염분도, 상하류 수위 등을 고려하여 자동시스템에 기반하여 종합적으로 수문을 운영 중임
- 염분도는 실시간으로 관측되는 염분도(하굿둑 상·하류 10개소, 상·중·하 계측), 수위, 유량을 종합적으로 검토하여 자동적으로 관리되고 있으며, 하굿둑 내의 염분도에 따라 3단계 염분조절 수문조작을 시행함

河口からの距離



●塩害防除の効果

香取市小見川取水場は、河口から27km地点にあります。香取市水道の実績によると、取水地点の塩化物イオン濃度の値が、概ね水道用水(原水)の基準値である200mg/l以下になっています。



[그림 27] 도네가와 하굿둑의 자동수문관리 시스템 개요도

- 네덜란드의 Maeslantkering 하굿둑은 상시 양방향 통수가 이뤄지고 있으며, 폭풍해일 및 염수피해 제어를 위해 Decision and Supporting System(BOS)를 통해 자동으로 수문을 제어하고 있음
- Maeslantkering 하굿둑은 Europoortkering 프로젝트의 일환으로 Delta Works의 마지막 단계에서 설치되었으며 로테르담 항구의 범람 및 주변도시와 농지에 대한 홍수방어를 목적으로 설치됨
- 운영제어에는 무인 자동화 시스템인 Decision and Supporting System(BOS)이 사용되고 있음



[그림 28] Maeslantkering 하굿둑과 시스템개요도

□ 일본의 Hitachi그룹은 정보제어 기술을 통해 배수 컨트롤 시스템과 물운용 계획 시스템을 실용화함⁴¹⁾

- 실시간 관망 해석(distribution network analysis) 시뮬레이션에 의해 배수펌프 송출 압력(delivery pressure)을 적절한 값으로 유지하는 배수 컨트롤 시스템을 구축함
 - 소비전력이나 환경 부하를 최적화할 수 있는 물운용 계획 시스템을 실용화함
 - 상하수도 솔루션 실현을 위한 정보제어 플랫폼인 신형 컨트롤러 XR1000을 개발 중임
- XR1000은 중소규모 시스템 전용으로 중앙 감시제어 조작 클라이언트와 서버의 기능을 1대로 통합한 시스템임
- 사업 광역화에 따른 한정된 인원에 의한 다수의 설비 유지관리 업무를 효율화하는 시스템인 AQUAMAX Web을 개발함

41) 社會の安全・安心に貢献する水環境ソリューション(사회 안전·안심에 공헌하는 물 환경 솔루션, 日立評論(히타치평론), 2013. 8. 28.

□ 다중 저수지 시스템의 실시간 홍수완화 작업을 위한 다목적 최상의 타협 결정 모델에 관한 연구를 진행함⁴²⁾

- 다중 저수지 시스템에서 실시간 다중 목표 홍수 운영에 대한 의사 결정 문제를 해결하기 위해 다중 목표 최상의 타협 의사 결정 모델 (MoBCDM)을 개발함
- 유틸리티 기능은 의사 결정자의 선호도를 정량적으로 표현하는데 사용되며, 문제를 변환하기 위해 의사 결정 참여자 (수 문학자 및 저수지 관리자)의 선호도와 함께 퍼지 분석 계층 프로세스 (FAHP) 및 세분화 및 평균화 (Seg / Ave)도 채택됨
- 스칼라 최적화로 차등 진화 (DE) 알고리즘은 최상의 타협 솔루션을 얻기 위해 구현됨
 - 2개의 저수지와 3개의 홍수 통제 지점을 포함하는 Shiguan River Basin (중국)의 다목적 홍수 운영 문제가 사례 연구로 사용됨
 - 4개의 과거 홍수 운영 시나리오는 현재 운영 규칙을 비교하기 위해 수행되고, 분석 결과 MoBCDM이 3개의 홍수 다운스트림 제어 지점에서 최대 유량 감소 측면에서 모든 운영 시나리오를 능가한다는 것을 보여줌
- 또한 MoBCDM 실행은 실시간 구현에서 매우 효율적이며 MoBCDM에서 사용하는 가중치 계수도 FAHP에서 계산된 고해상도를 얻을 수 있음

□ 불확실성 하에서 비정상 흐름기록에 대한 수문학적 위험분석 연구가 진행됨⁴³⁾

- 하천 흐름 기록의 비정상성을 해결하기 위해 중국 삼협 지역의 가장 큰 지류 중 하나인 Xiangxi River에 대한 수문학적 위험 분석 프레임워크 관련된 연구가 진행됨
 - 1989년 부트스트랩 테스트와 결합된 CUSUM 접근법을 통해 50년 흐름 기록의 변화 지점으로 확인함
 - 50년 시계열과 식별된 변화 지점 이후의 기록에 대해 각각 연간 최고 흐름 빈도 분석을 수행함
- 그 결과, 비정상성을 고려하면 Xingshan Station의 최대 홍수의 복귀 기간이 실제로 증가 할 것으로 나타남
- 수문학적 비정상성과 불확실성에 대한 중요한 통찰력을 제공했으며 제안된 프레임워크는 중국과 전세계의 다른 많은 강에서 엔지니어링 설계 및 위험 관리를 위한 과학적 기반을 제공함

42) A Multi-Objective Best Compromise Decision Model for Real-Time Flood Mitigation Operations of Multi-Reservoir System, WATER RESOURCES MANAGEMENT | 30 (10): 3363-3387 AUG 2016

43) Hydrologic Risk Analysis for Nonstationary Streamflow Records under Uncertainty,

□ 불완전한 주저 퍼지 언어 선호 관계를 기반으로 한 그룹 의사결정 방법을 사용한 자연재해 위험평가에 관한 연구가 진행됨⁴⁴⁾

- 가산적 일관된 주저 퍼지 언어 선호 관계의 몇 가지 속성을 논의하고, 불완전한 주저 퍼지 언어 선호 관계, 정규화된 주저 퍼지 언어 선호 관계 및 수용 가능한 주저 퍼지 언어 선호 관계를 정의하는 연구를 진행
- 불완전한 주저 퍼지 언어 선호 관계를 가진 집단 의사결정을 위한 알고리즘이 제공되며, 홍수 재난 위험 평가에 대한 사례 연구를 통해 모델을 설명함

□ 앙상블 기반 수문 예측을 이용한 저수지 실시간 운영을 위한 2단계 정량적 홍수 위험 분석 방법에 관한 연구가 진행됨⁴⁵⁾

- 예측 수평선 포인트를 사용하여 미래 시간을 예측 리드 타임과 예상치 못한 시간의 두 단계로 나누는 방법이 개발됨
 - 예측 리드 타임 내의 위험은 예측 시나리오의 실패 횟수를 기반으로 계산되고 예측되지 않은 시간의 위험은 설계 홍수 수위 도와 함께 저수지 라우팅을 사용하여 추정함
- 결과적으로 전체 시나리오 수에 대한 장애 시나리오 수 (임계 값 초과)의 비율을 정의하여 전체 홍수 위험을 정량화하는 2 단계 위험 분석 방법이 설정됨
- 중국의 Three Gorges Reservoir가 사례 연구로 선택되었으며, 여기에서는 앙상블 기반 수문 예측을 생성하기 위해 매개 변수 및 강수 불확실성이 수행됨
- 두 가지 저수지 운영 계획, 즉 과거 운영 및 시나리오 최적화가 홍수 위험 및 수력 발전 수익 분석과 함께 평가되었으며, 함께 제안된 방법은 수용 가능한 홍수 위험으로 수력 발전을 크게 향상시킬 수 있음을 발견함

44) Nature Disaster Risk Evaluation with a Group Decision Making Method Based on Incomplete Hesitant Fuzzy Linguistic Preference Relations, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH | 15 (4): - APR 2018

45) A two-stage method of quantitative flood risk analysis for reservoir real-time operation using ensemble-based hydrologic forecasts, STOCHASTIC ENVIRONMENTAL RESEARCH AND RISK ASSESSMENT | 29 (3): 803-813 MAR 2015

라. 구조적 안정성 확보 및 성능유지기술분야

□ 최근의 수공구조물의 안전성 관리는 “Risk-Based Management” 에서 “Risk-Informed Management” 로 전환되고 있으며 세계 주요 선진국에서 실무매뉴얼 개발과 심층 분석이 이루어지고 있음

○ 사물 인터넷 기반의 설해 홍수 조기 정보 통합 정보 시스템에 관한 연구가 진행됨⁴⁶⁾

- 지리 정보학, 사물 인터넷 (IoT) 및 클라우드 서비스를 기반으로 한 설해 홍수 조기 정보에 대한 통합 접근 방식을 제시함
 - IoT의 인프라 및 장치, 클라우드 정보웨어 하우스, 관리 도구, 애플리케이션 및 서비스와 같은 주요 구성 요소로 구성되며 사례 연구 결과는 IIS를 사용하여 홍수 예측 및 의사결정의 효과를 향상시킬 수 있음을 보여줌
- 본 연구에서 구현된 프로토타입 시스템은 수자원 관리의 다른 작업에서도 설해 홍수 조기 정보에서 다중 소스 정보의 획득, 관리 및 공유에 유용함
 - 전문 사용자와 대중은 정보 관리 및 서비스를 위한 서버이자 클라이언트이고 또한 IIS는 자원 관리 및 환경 과학 분야에서 e-Science의 예비 프레임워크를 제공함
- 본 연구는 효과적인 리소스 및 환경 관리를 위해 IIS에 대한 체계적인 접근 방식의 중요한 중요성을 강조함

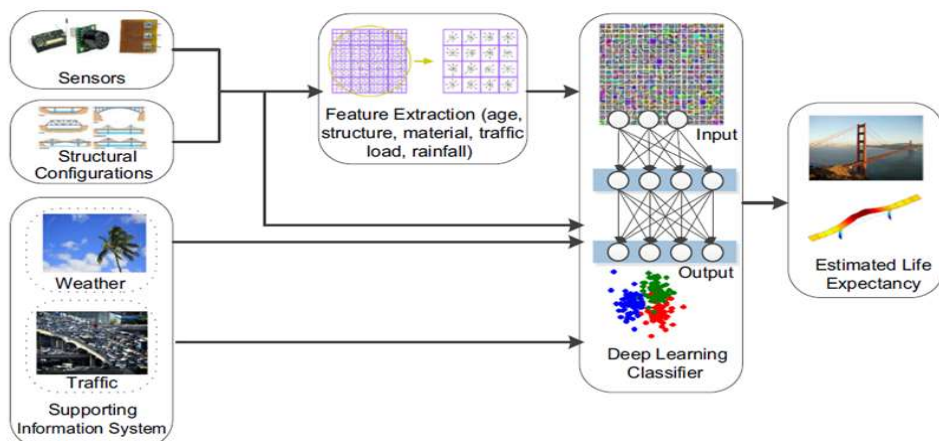
○ 퇴적지에서 '빅 데이터'를 지질학적으로 이해하기 위한 연구가 진행됨⁴⁷⁾

- '빅 데이터'에서 지질학적 통찰력을 추출하기 위한 간단하면서도 강력한 도구로서 MDS (Multidimensional Scaling), GPA (Generalized Procrustes Analysis) 및 개별 차이 스케일링 (INDSCAL, '3-way MDS'알고리즘 유형)을 개발함
 - Namib Sand Sea의 데이터 세트를 테스트 사례로 사용하여 MDS를 사용하여 5 개의 서로 다른 출처 프로록시에 대한 16 개의 유체 및 바람 모래 샘플 간의 유사점과 차이점을 시각화하여 5 개의 서로 다른 '구성'을 만드는 방법을 보여줌
 - 이러한 구성은 GPA 알고리즘에 공급 될 수 있으며,이를 변환, 회전, 크기 조정 및 반영하여 함께 고려되는 모든 데이터에 대한 '합의보기'를 추출 또는 5 개의 프로록시를 INDSCAL로 공동 분석 할 수 있음

46) An integrated information system for snowmelt flood early-warning based on internet of things, INFORMATION SYSTEMS FRONTIERS | 17 (2): 321-335 Sp. Iss. SI APR 2015

47) Making geological sense of 'Big Data' in sedimentary provenance, CHEMICAL GEOLOGY | 409: 20-27 AUG 20 2015

- INDSCAL은 1 개가 아닌 2 개의 좌표 세트로 데이터를 맞추며, GPA에서 생성 된 그래픽 출력과 매우 유사한 '그룹 구성'과 가능한 '소스 가중치' 그룹 구성에 지질학적 의미를 부여하는 데 사용됨
 - Namib 연구의 경우 세 가지 방법은 출처 및 수력 분류 효과의 조합에 의해 모래 구성이 결정되는 퇴적물 라우팅 시스템의 상세하고 일관성 있는 그림을 보여줌
- 실시간 환경 센서 데이터 : 웹 서비스를 이용한 수질 응용에 관한 연구가 진행됨⁴⁸⁾
- 환경 센서를 웹 서비스로 노출하는 새로운 기술의 증가하는 가용성과 사물 인터넷 (IoT)의 최근 혁신에 따라 이러한 서비스의 병합을 기반으로 구축 된 아키텍처를 제시함
 - IoT 분야의 최근 개발을 활용함으로써 환경 과학은 실시간 데이터 사용에서 상당한 이득을 얻을 수 있음
 - 해당 연구에서는 제한된 센서 네트워크 리소스의 사용을 최적화하기 위해 적응형 샘플링 알고리즘이 성공적으로 배포된 수문학의 사용 사례를 설명함
- 미국은 SOC구조물의 상태를 실시간으로 모니터링하고, 환경요인 분석 및 빅데이터 분석을 통해 구조물의 건전도를 평가하는 시스템을 개발 중임⁴⁹⁾
- 기존 SOC 구조물의 조건 및 상태와 날씨 및 상재 하중 등의 교통량 데이터를 기반으로 함
 - 계측 센서를 통해 SOC 구조물의 상태를 실시간 모니터링하여, 특성 추출기법을 통해 구조물의 노후화 정도, 재료상태 및 환경적 요인에 의한 변화를 감지하여 분석함
 - 빅데이터 분석 (딥러닝)을 통해 구조물에 치명적인 요소를 판단하여 건전도를 평가함



[그림 29] 빅데이터 기반의 SOC 스마트 유지관리 개념도

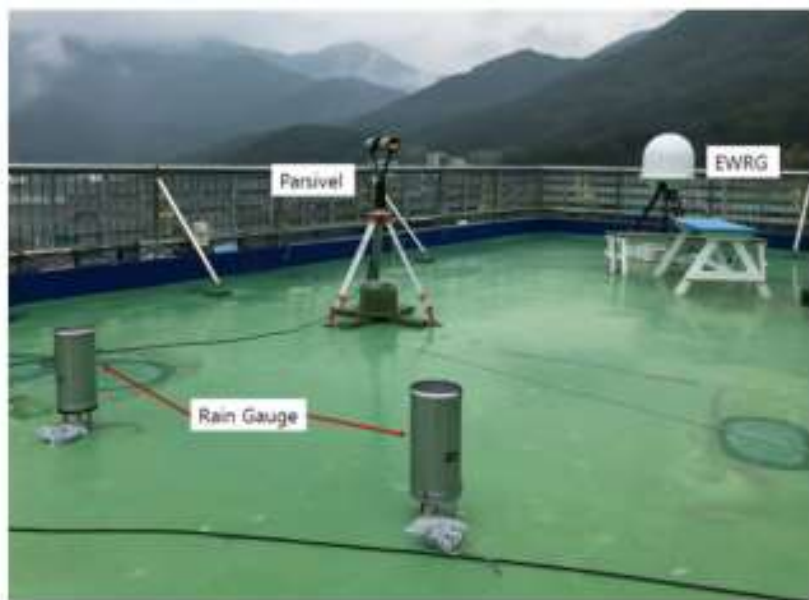
48) Real-time environmental sensor data: An application to water quality using web services, ENVIRONMENTAL MODELLING & SOFTWARE | 84: 505-517 OCT 2016

49) Yu Liang et al. (2016.02). "Big data-enabled multiscale serviceability analysis for aging bridges", Digital Communications and Networks.

2. 국내 기술동향 분석

가. 홍수량 예측기술분야

- 기상 데이터 및 텍스트 기반 비정형 정보를 활용하여 예측 알고리즘의 정확도를 높일 필요가 있으며 인공지능(AI)을 활용한 홍수량 및 홍수위 분석 기술을 개발하여 디지털 트윈기반의 배수문 운영 의사결정을 지원 할 수 있는 홍수관리 시스템 구축이 필요함
- 전파강수계의 다중 고도 관측 데이터를 사용한 면적 평균 강수량 추정 방법을 개발하였으며, 이를 이용해 IoT기반의 실시간 계측데이터를 모니터링하는 기술을 개발함⁵⁰⁾
 - 소형 전파강수시스템은 K 대역 이중 편파 기술을 사용하여 매우 짧은 거리를 관측하는 소형 레이더이며, 면적 평균 강우 추정 방법은 관측 거리와 시간이 매우 짧기 때문에 관측 범위에서 강우 변동이 작다는 가정을 기반함
 - 본 연구에서 개발된 전파강수계를 기존 우량계, 파시벨 등과 비교하여 국내 여러 지점에서 비교 관측한 결과 넓은 면적에 대한 면적 강수량의 동시 측정이 가능한 것으로
 - 본 연구에서 개발된 전파강수계와 강우 추정 방법을 적용할 경우 기존 우량계로 측정할 수 없는 넓은 면적에 대한 우량을 정확도 높게 측정 가능한 것으로 나타남



[그림 30] Configuration of EWRG testbed at Geoje

50) 전파강수계의 다중 고도각 자료를 이용한 면적 평균 강우 추정 기법, J. Korea Water Resource. Assoc. Vol. 53, No. 6 (2020), pp. 417-425

- 시공간적으로 연속적인 강수량 관측이 가능한 기상레이더 자료를 이용하여 유역단위 면적평균 강수량을 산정하고 이를 PRMS 모형의 입력 자료로 활용하여 유출량을 평가함⁵¹⁾
- 레이더 강수량의 편의 오차를 해결하기 위하여 G/R Ratio 기법을 적용하여 유역별로 레이더 강수량을 보정하였으며, 레이더 강수량을 이용한 유출특성은 Thiessen 면적강수량을 이용한 유출의 통계적 특성을 현실적으로 재현함

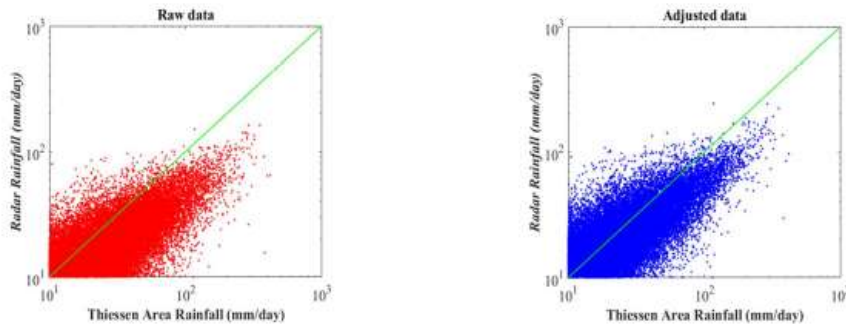


Fig. 5. Scatter plot of weather radar rainfall by G/R ratio method before correction and after correction against the Thiessen area rainfall

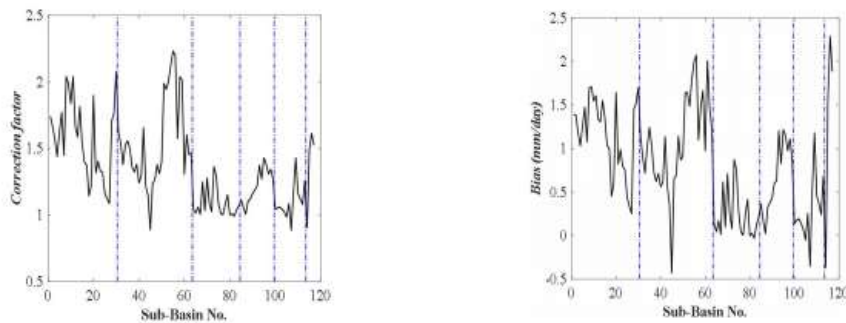


Fig. 6. Comparison of correction factor and bias (mm/day) over all of the sub-basin

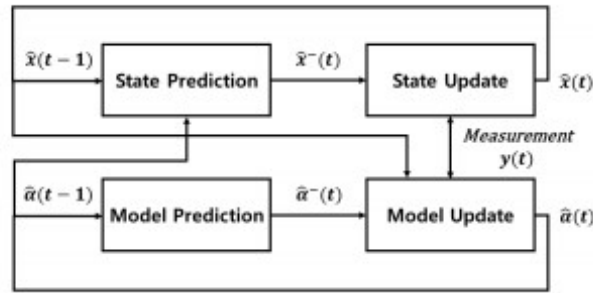
[그림 31] 데이터 분석자료

- 기상청 방재기상정보시스템은 기관 간 정보 공유 활용을 위한 기상예보시스템으로 빅데이터와 기상분석기술을 적용한 클라우드 환경에서 기상정보를 공동으로 활용할 수 있도록 2015년부터 서비스를 시작하였음
- 태풍, 호우, 대설, 폭염 등 11개 항목에 대한 위험기상 감시와 일기도, 보조분석도, 예측 및 관측하는 통합기상 분석 기능을 포함하고 있음
- 국민안전처에서 2014년에 개발한 스마트재난상황관리시스템(Smart Big Board)에서는 유관기관의 다양한 재난정보를 연계·표출하여 하나의 지도위에 통합, 효과적으로 재난 상황 모니터링을 지원하고 있음
- 현장 중심의 상황관리 기능과 전문 분석정보, 사용자 맞춤형 기능을 포함

51) 레이더 강수량과 PRMS 모형을 이용한 유출량 평가, J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 53, No. 7 (2020), pp. 493-505

- 재난정보로는 광역적으로 기상정보, 위성 및 레이더 영상, 조위정보와 국지적으로 국가교통센터, 홍수통제소, 경찰청 CCTV, SNS 등과 현장 상황 파악을 위해 모바일, UAV를 통한 실시간 동영상 및 현장사진 등을 포함
 - 전방위적 재난모니터링을 통해 신속 정확한 상황관리 및 의사결정을 지원함
- 국토관측센서 기반 광역 및 지역 수재해 감시·평가·예측 기술 개발을 통해 다양한 정보에 기반한 수재해 감시 및 예측 기술을 개발 중에 있음
 - 종합적 분석을 통해 물관련 재해 예측의 정확도 향상, SRA(Satellite, Radar, AWS)에 기반한 한반도 주변의 가뭄, 건천화, 홍수재해 등 물관련 재해 실시간 감시, 평가, 예측시스템 구축, X-net 기반 국지 관측 기상/수문정보를 이용한 지역 수재해 대응기술 개발을 목표로 함
 - 국토관측센서 기반 수문 인자 및 정보 생성기술 개발
 - 물안보 강화를 위한 선제적 가뭄/하천건천화 평가 및 예측기술 개발
 - 수해 경감을 위한 맞춤형 홍수재해 평가 및 예측기술 개발
 - 빅데이터 기반 Glocal(Global+Local) 수자원 정보서비스 플랫폼기술 개발
- 듀얼칼만필터를 이용하여 이중편파 레이더 강우의 편의를 실시간으로 보정할 수 있는 기술이 개발되었으며, 레이더 등 다양한 대기 관측 및 수문 관측 자료가 실시간으로 이용 가능해지고 있고 이러한 자료를 물리모형과 융합하여 활용한다면 단기 강우 및 홍수량 예측을 동시에 개선할 수 있음⁵²⁾
 - 듀얼칼만필터는 기존의 칼만필터와 달리 두 개의 시스템(상태추정시스템, 모형추정시스템)이 동시에 가동되면서 실시간으로 상태변수가 예측되고 강우강도 추정치에 보정계수를 적용함으로써 편의보정이 이루어지며, 보정계수는 듀얼칼만필터의 상태-공간모형에 의해 실시간으로 예측됨
 - 강우가 집중되다가 강도가 약해지는 경우, 이와 반대로 강우가 적게 발생하다가 증가되는 경우에 대해서 모두 적절한 보정계수 예측 결과가 나타나 전통적인 칼만필터로 예측하기 어려운 부분을 듀얼칼만필터로는 적절히 예측할 수 있음을 확인함

52) 듀얼칼만필터를 이용한 이중편파 레이더 강우의 실시간 편의보정, J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 53, No. 3 (2020), pp. 201-214



[그림 32] 듀얼칼만필터 알고리즘

- RCP 4.5를 사용하여 전망기간(2011-2100년)의 월 강수량을 산정하고, 산정된 강수량을 토대로 표준 편차와 1분위와 3분위의 변위값(inter-quartile range, IQR)을 산정하여 GCM과 편이보정방법으로 기준을 나누어 변동성을 정량화하여 불확실성을 비교하는 연구가 수행됨⁵³⁾
- 과거기간의 편이보정방법과 GCM 선정 방법에 따라 전망기간의 강수 형태도 다르게 산정될 수 있다는 결과를 도출하였으며, 과거기간의 편이보정 방법과 GCM 선정 방법의 중요성을 확인

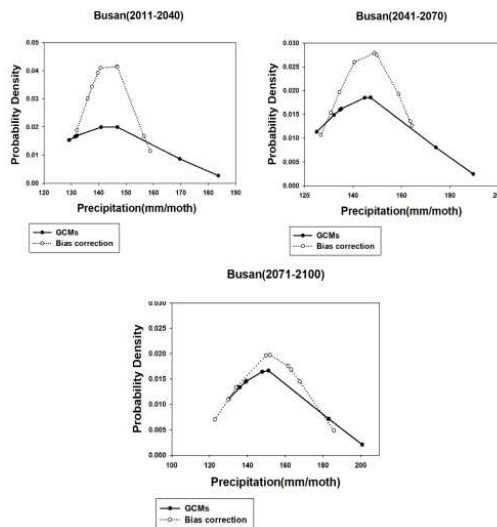


Fig. 3. Probability density functions for GCMs and bias correction methods

[그림 33] Probability density functions for GCMs and bias correction methods

53) 강수량예측에서 편이보정방법과 GCM 선택에 대한 불확실성 비교, J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 53, No. 4 (2020), pp. 249-258

○ K-Water에서는 댐-보 운영기술과 ICT를 접목하여 실시간으로 댐-보 운영과 지표수 관리를 위한 수자원정보시스템을 구축함⁵⁴⁾

- 전국의 17개 다목적댐, 14개 용수전용댐, 2개 홍수조절용댐, 16개 다기능 보의 안정적 운영과 물관리를 위한 DB중심 웹기반 시스템을 구축하였으며, K-water에서 운영 중임
- 실시간수자원정보시스템(RHDAPS)에 표출되는 수위, 유입·방류량, 강수량, 수질 등의 수문 자료는 댐-보 관측소에서 1분 단위로 계속되어 수집되고 있음
 - 수집된 1분 단위의 원시자료는 실시간으로 웹에 제공되며, 데이터베이스화 처리되어 10분, 30분, 시간, 일 단위로 상세조회가 가능함
- 실시간 모니터링을 통해 수계별로 분류된 댐과 보의 수위, 수위에 영향을 주는 댐들의 현황을 종단도를 통해 분석하고 댐·보의 수문방류상태 등을 파악하고 있음

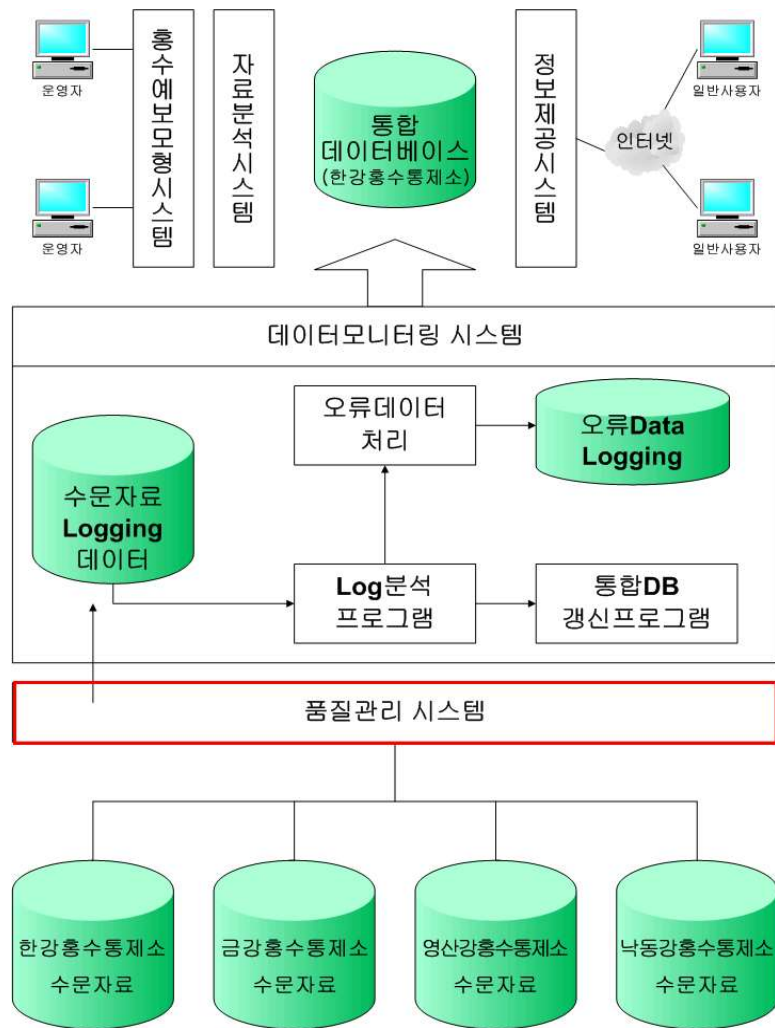


[그림 34] RHDAPS 수계 감시 화면

○ 홍수통제소별로 각기 상이하게 개발된 홍수예경보시스템을 단일화하고 과학적인 홍수예보를 통한 홍수 피해 최소화를 목적으로 통합홍수예경보시스템을 개발함

- 시스템 주이용 대상자는 홍수통제소 홍수예보 담당자이며, 국가 행정망을 통한 내부 웹페이지를 통한 C/S 시스템임
- 하천표출시스템에 분석 정보를 제공함
- 시스템 구성도는 아래 그림과 같음

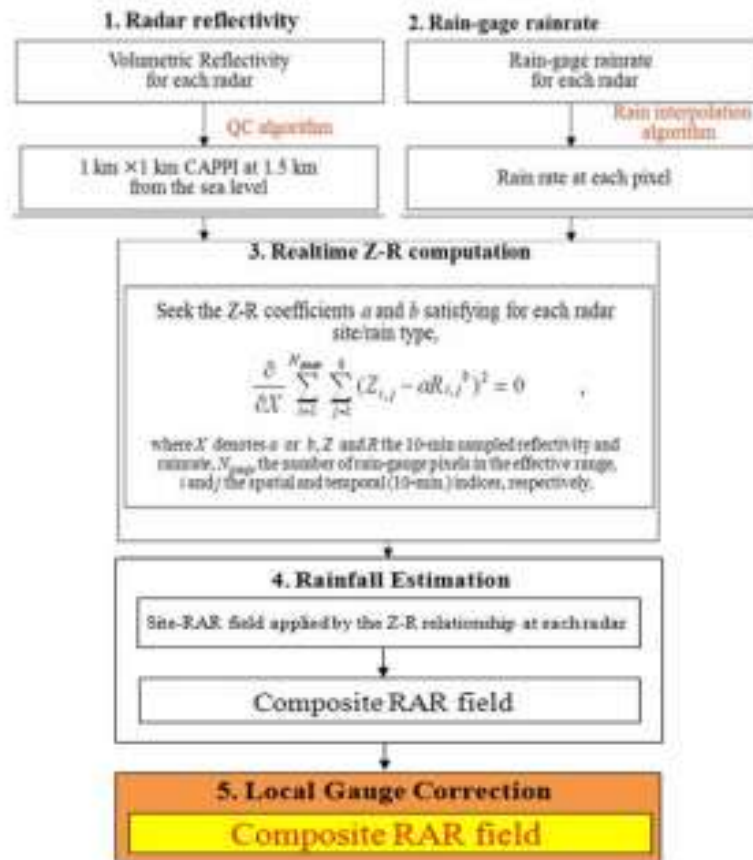
54) 물과 미래-2015 세계 물의 날 자료집, 국토교통부·k-water, 2015



[그림 35] 통합홍수예보시스템 체계도

- 산지지형 댐 유역에서 강우의 시공간적 변동성과 이에 따른 홍수량의 정확한 분석을 통해 홍수 시 댐 유입량의 정확한 산정 등에 활용할 목적으로 홍수 유출모의 연구를 수행⁵⁵⁾
 - 국내 산지지형을 대표하며, 타 댐 유역에 비해 비교적 수문(수위/유량)관측소와 자료가 많은 용담시험유역에 기상레이더 강수량 추정 값(RAR)을 적용해 연구를 수행함
 - 모의에는 최근 5년(2014~2018년) 동안 발생한 비교적 독립적인 총 8개의 홍수사상을 적용하였으며, 모형은 HEC-GeoHMS와 ModClark 방법을 통해 분포형 강우를 적용할 수 있는 비교적 간단한 모형인 HEC-HMS를 활용함
 - 해당 과정에서 레이더 강수량의 모형적용을 위해 NCL 및 Python 기반의 자료처리 스크립트 프로그램을 개발하여 활용함

55) 기상레이더 강수량 추정 값의 댐 유역 홍수 유출모의 적용, J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 53, No. 3 (2020), pp. 155-166



[그림 36] RAR estimation 알고리즘

- 서울시립대학교 교수진은 구글에서 제공하는 딥러닝 오픈소스 라이브러리인 텐서플로우 (TensorFlow)를 활용하여 LSTM모형을 구축하고 금강 상류에 위치한 용담다목적댐의 유입량을 예측함⁵⁶⁾
 - 최근 데이터 예측 방법으로 인공지능망(Artificial Neural Network, ANN)분야에 대한 관심이 높아졌으며, 그 중 시계열 데이터 예측에 특화된 LSTM(Long Short-Term Memory)모형이 수문 시계열자료의 예측방법으로도 활용되고 있음
 - 분석 자료로는 WAMIS에서 제공하는 용담댐의 2006년부터 2018년까지의 시간당 유입량 자료를 사용하였으며, 예측된 유입량과 관측 유입량의 비교를 통하여 평균제곱오차(RMSE), 평균절대오차(MAE), 용적오차(VE)를 계산하고 모형의 학습변수에 따른 정확도를 평가

56) 딥러닝을 활용한 다목적댐 유입량 예측, J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 53, No. 2 (2020), pp. 97-105

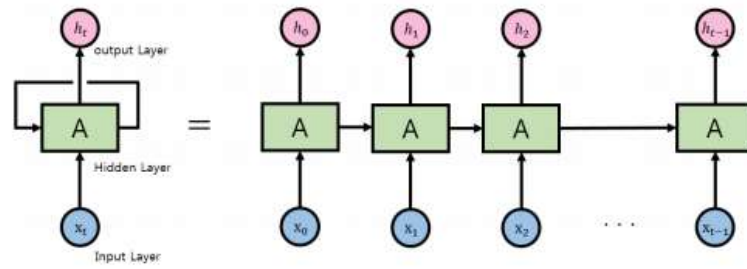
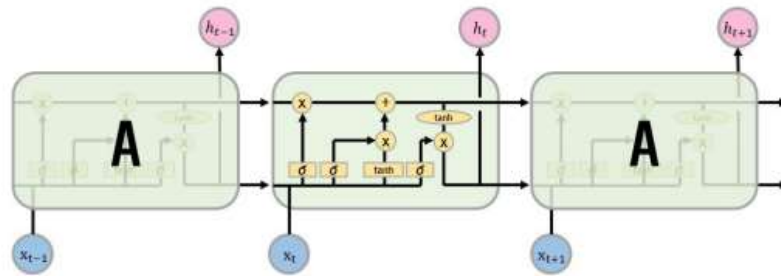


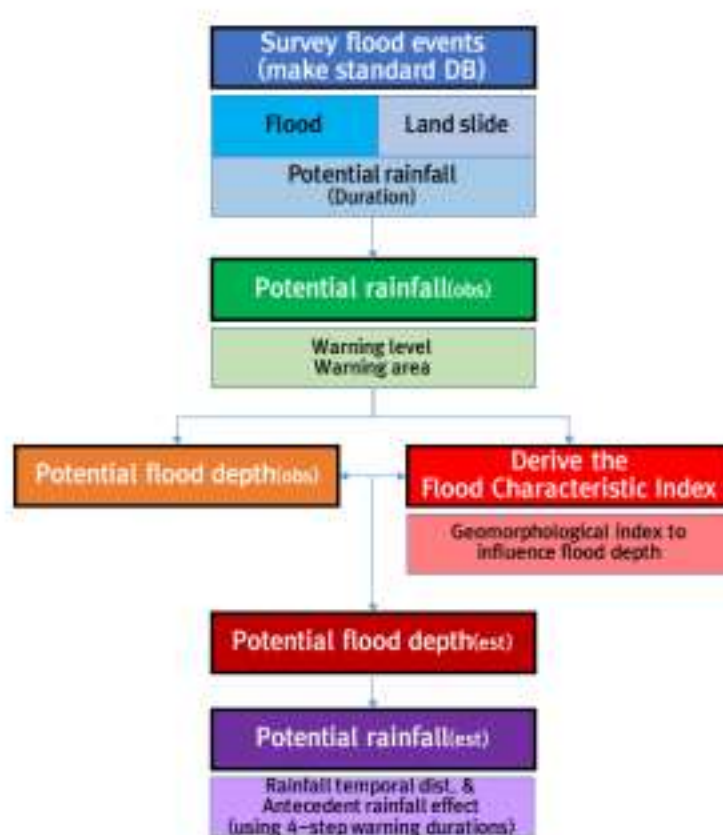
Fig. 1. Structure of RNN



[그림 37] Structure of LSTM

- 한국건설기술연구원은 돌발홍수연구센터에서 구축한 돌발홍수 예측 시스템을 설명하고 2019 년도에 발생한 수재해 사례를 분석하여 전국 도시 · 산지 · 소하천 돌발홍수 예측 시스템의 예측 정확도를 검증함 57)
- 한강홍수통제소에서는 강우레이더 강우강도를 초단기 예측 모델인 McGill Algorithm for Precipitation-nowcast by Lagrangian Extrapolation (MAPLE) 알고리즘의 입력 자료로 활용 하여 초단기 예측 강수 자료를 생산하고 있음
- 한국건설기술연구원의 돌발홍수연구센터는 한강홍수통제소에서 생산하고 있는 초단기 예 측 강수 자료를 입력 자료로 하여 돌발홍수 예측 시스템을 구축하였고 2019년부터 동네규 모의 1시간 전 돌발홍수 정보를 제공함

57) 전국 도시 · 산지 · 소하천 돌발홍수예측 시스템 개발 및 정확도 평가, J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 53, No. 3 (2020), pp. 225-236



[그림 38] . Flow chart of flash flood forecast on city-mountains-small river area in Korea

- 비슬산 이중편파 Radar 자료와, GPM 위성자료 및 21개 (Korea Meteorological Administration, KMA) 지상강우자료를 활용하여 분포형 강우-유출 모형(KIneMatic wave STOrM Runoff Model2, KIMSTORM2)을 이용해 남강댐 유역(2,293 km²)을 대상으로 유출해석을 수행⁵⁸⁾
- 모형의 유출 해석은 2016년 10월 5일 02:00~09:00 총 8시간 동안 최대강우강도 33 mm/hr, 유역평균 총 강우량 82 mm이 발생한 태풍 차바(CHABA)를 대상으로 하였으며, Radar 및 GPM 자료와 조건부합성(Conditional Merging, CM) 기법을 적용한 Radar (CM-corrected Radar) 및 GPM (CM-corrected GPM) 자료를 각각 활용하여 결과를 비교

58) 조건부합성 기법과 KIMSTORM2 분포형 수문모형을 이용한 GPM 위성 강우자료 및 Radar 강우자료의 홍수모의 평가

- 유출 결과는 결정계수(Determination coefficient, R²), Nash-Sutcliffe의 모형효율계수(NSE) 및 유출용적지수(Volume Conservation Index, VCI)를 산정하였고, 그 결과 CM-corrected Radar, GPM 자료가 평균 R²는 0.96, NSE의 경우 0.96, 유출용적지수(VCI)는 1.03으로 가장 우수한 결과를 나타냄

○ 세종대학교 교수진은 도시하천의 홍수위험지역을 대상으로 확률적 홍수위험 평가 연구를 수행함⁵⁹⁾

- 홍수와 관련된 지형적 영향요인인 고도, 경사, 유출곡선지수, 하천까지 거리를 예측변수로 하여 하천 주변 침수 예상지역을 설명하기 위해 모형의 학습데이터로 100년 빈도 홍수위험 지도를 사용하여 모형을 통해 대상 지역 전체에 대하여 침수위험도를 확률적으로 제시함
- 연구 대상 지역은 격자로 변환하여 Bayesian Logistic 회귀분석을 수행하여 각 격자별로 홍수영향요인이 침수 여부를 설명하는 모형을 구축



Fig. 4. 100-year inundation probability map



Fig. 5. Inundation probability distributions for quantile of 0.05 and 0.95

[그림 39] Inundation probability distributions for quantile of 0.05 and 0.95

59) 다중 Logistic 회귀분석을 통한 침수지역의 확률적 도출, J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 53, No. 2 (2020), pp. 121-129

○ 미계측 유역의 기후변화 영향평가를 위한 수문모형 매개변수의 지역회귀분석 적용연구가 이루어짐⁶⁰⁾

- 개념적 강우-유출모형으로 많이 사용되고 있는 개념적 수문모형인 GR4J의 매개변수에 대해 미계측 유역의 특성을 고려한 변수들을 이용하여 회귀식을 구하고 그 적용성을 평가
- 이를 통해 미계측 유역의 유량 시계열 자료를 생성할 수 있었다. 또한 IPCC에서 발간한 AR5의 RCP 4.5 시나리오를 적용하여 미래 유출량을 산정

나. 스마트 운영을 위한 수위예측기술분야

□ 기존에 홍수 예측에만 국한되었으나, 사주의 거동으로 배수문 막힘이나 배수문 개폐 장애 등으로 내수침수가 발생하므로, 이를 사전에 예측하여 배수문 주변에 구조적 대책을 수립하는 등의 기술이 개발되고 있음

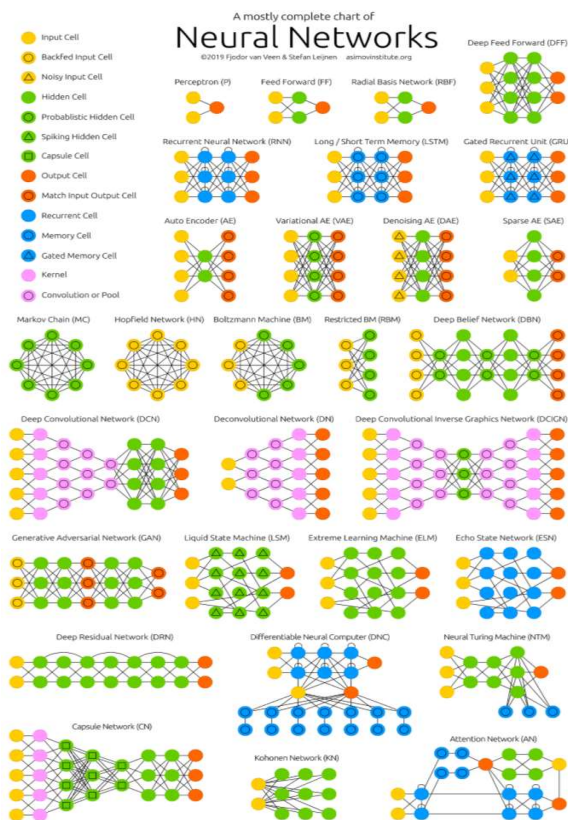
○ 딥러닝 등 머신러닝 기술에 대한 전 세계적인 관심을 중심으로, 오픈소스 라이브러리 등 공유 기반 머신러닝 기술 개발 환경에 의해 수많은 머신러닝 활용 기술이 동시다발적으로 발전하고 있음⁶¹⁾

- 머신러닝 모형들은 방식에 따라 크게 지도학습(Supervised learning), 비지도학습(Unsupervised learning) 및 강화학습(Reinforcement learning) 등으로 구분할 수 있으며, 계열 예측 모형 개발은 주로 지도학습 방식의 머신러닝을 통해 수행될 수 있음
- 대표적인 지도학습 기반 머신러닝 기법으로는 의사결정트리(Decision tree), KNN(K-nearest neighbor), SVM(Support Vector Machine), 신경망(Neural Network) 등이 있으며, 이들 중 신경망은 입/출력 및 모형 구성의 다양성으로 인해 최근 가장 활발하게 이용되고 있음
- 최근 모형의 학습 데이터의 형태, 소요시간, 모형 적용의 정확도 등 주요 달성목적에 따라 신경망 모형의 종류가 다양해지고 있으며, 개발 모형의 특성을 파악하여 가장 적합한 신경망 모형을 선택하는 것은 점차 어려워지고 있음

60) 미계측 유역의 기후변화 영향평가를 위한 수문모형 매개변수의 지역회귀분석 적용, 2017

61) 강두선

- 또한 신경망의 핵심 역할을 수행하는 은닉층의 구성에 있어, 가장 적합한 은닉층의 넓이(뉴런 개수) 및 깊이(층수)를 결정하는 것은 모형의 신속성과 정확성에 모두 영향을 미치므로 이러한 규모를 결정하는 문제 또한 머신러닝 Model Tuning에 매우 중요한 요소로 논의되고 있음
- 한편 앞서 제시한 바와 같이, 개발 모형의 목적에 부합하는 신경망 모형의 선택과 구성 이후, 예측 모형(특히, 단기 예측)의 경우 지속적으로 모형을 학습시켜 시간적 변동성을 고려하면서 학습 수준을 적절히 유지하기 위해 학습 데이터의 기간과 갱신 주기를 최적화하는 등의 Model Tuning 기술이 요구됨



✓ Deep Feedforward Network (DFN)

가장 기본적인 신경망 구조

✓ Recurrent Neural Network (RNN)

은닉층 간 연결을 통해 데이터간 종속성 고려

✓ Long Short-Term Memory (LSTM)

은닉층 내 선별 데이터의 보존/소멸 고려

✓ Convolutional Neural Network (CNN)

뉴런 연결구조 완화를 통한 연산 효율 고려

✓ Deep Residual Network (DRN)

은닉층간 skip connection 구조를 통한 딥러닝 구조의 연산 효율 고려

✓ Generative Adversarial Network (GAN)

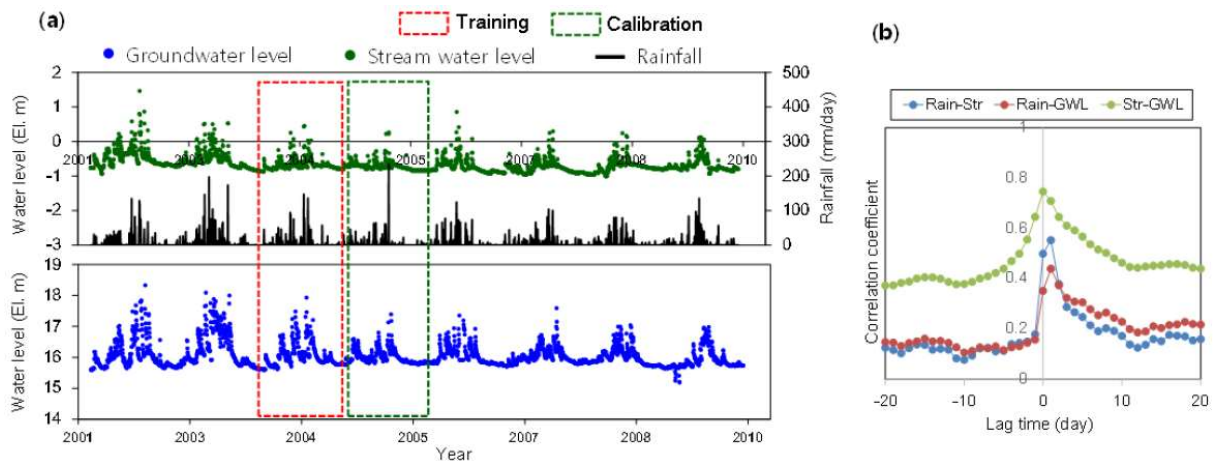
신경망 경쟁 구조를 통한 연산 정확도 고려

[그림 40] Neural Networks

□ IoT, 예측기 기반 플랫폼 개발 및 관련 시스템의 확대에 데이터 획득, 생산, 그리고 관리에 드는 유지관리 비용이 기하급수적으로 증대되고 있으나, 향후 가치가 있는 핵심데이터 기반의 하천수위 예측 기술개발을 통해 유지관리의 효율적 추진 및 달성이 필요함

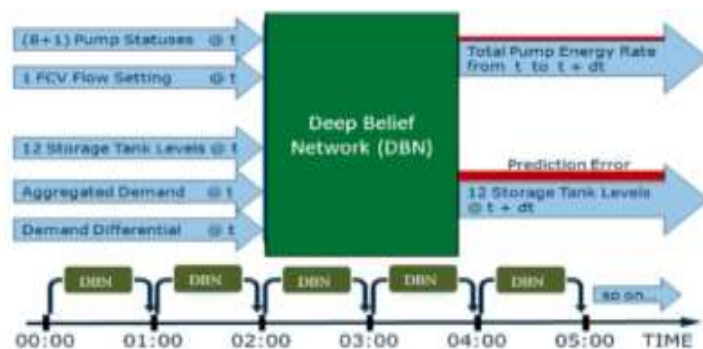
○ 국내에서 머신러닝 기술을 적용하여 강우 및 하천수위를 예측한 연구 사례들은 주로 아래와 같은 기법에 의해 수행되어 국내 연구논문 등을 통해 제시된 바 있음

- 다층전방향신경망과 역전파 알고리즘을 활용한 장기 강우 예측
- 다층신경망과 역전파 알고리즘을 활용한 면적강우량 산정
- 인공신경망 이론을 이용한 강우-유출 해석 모형 개발
- 신경망 알고리즘과 역전파 기법, Fletcher-Reeves, BFGS (Broyden - Fletcher - Goldfarb and Shanno) 알고리즘을 활용한 홍수위 예측 (강원도 원통)
- 인공신경망 역전파 기법을 사용한 홍수기 댐 유입량 예측 (낙동강 남강댐 유역)
- EDRNNM(Elman Discrete Recurrent Neural Networks Model) 개발을 통한 홍수위 예측 및 FFNNM(Feed-Forward Neural Network Model) 개발 모형과의 비교 (낙동강 위천 유역)
- 인공신경망과 유전자 알고리즘을 결합한 단기간 하천수위 예측 (감천유역 선산 서위표지점)
- 웨이블릿 패킷변환과 신경망 (WPANN, Wavelet Packet-based artificial neural network) 결합모형을 활용한 하천 유출량 및 수위 예측 모형 개발 및 적용성 분석 (안동댐 유역)
- 인공신경망과 SVM(Support Vector Machine)을 활용한 지하수위 시계열 예측 모형 개발 및 국가지하수관측망 216개소의 적용
- 텐서플로우(Tensorflow) 다중선형회귀모형 및 RNN-LSTM(Long Short-Term Memory) 모형을 활용한 하천수위 예측 및 적용성 평가 (금강분류 옥천관측소)



[그림 41] ANN 및 SVM 기반 시계열 예측 모델을 이용한 국가지하수관측망 수위 예측 적용사례

- 국내 물관리 분야에서도 인공지능(빅데이터 기반 지식생성 및 표현, 인공지능망을 이용한 시계열 예측, 드론과 딥러닝을 이용한 영상분석 등)을 적용한 사례가 증가하고 있음
- 국내 수도사업장 1,280개 센서를 분석한 결과, 전체 309,716,000개의 데이터 중 3,247,000개의 결측자료 발생(결측률 1.059%)
 - LSTM기법을 적용한 시계열 수도 자료의 오결측 검출·정제를 통해 검출데이터 정확도 100% 확보
- 수처리 공정에서 약품투입은 기계 제조사별 자동화 프로그램이 다양하게 존재하며, 대부분 운영자의 경험에 의해 수동 투입하고 있으나 인공지능 기법을 적용하여 2011년도 약 25% 약품 주입량을 절감
- 딥러닝 알고리즘(심층신뢰신경망, Deep Belief Network)을 적용한 배수지 수위 변화 예측으로 ANN 대비 배수지 수위 예측 정확도 향상(약 2%) 및 자가 특징추출에 의한 계산 시간 감소(기존 대비 1/13)를 달성



[그림 42] 심층신뢰신경망 적용 배수지 수위 변화예측

다. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야

- '20년까지 능동형 하천정보 운영을 통한 다차원 하천관리 체계 구축 및 활용기술 개발을 통해 하천시설물·수자원·기상·방재 등 하천 통합 정보를 활용한 하천시설물 생애주기 관리 기술, 사용자 맞춤형 하천정보 제공 기술 개발을 추진 중임
 - 세부 과제 내용으로는 하천환경 평가·의사결정 시스템 개발, 하천관리 시스템 개발, 생애주기별 업무지원 및 알림이 가능한 지능형 시스템 개발이 추진됨
 - 국가하천·지방하천 대상 정량화된 DB를 활용한 하천환경 평가기술 개발, 하천이용 확대를 위한 친수정보 생산 및 관리기술 개발, 하천환경관리 의사 결정시스템 개발
 - 신개념 3D GIS 개발 기반 하천관리 시스템 구축, 상용 GIS 엔진 기술을 탈피한 신개념 'Suitable 3D GIS' 개발 기반 하천관리 시스템 개발
 - 기존의 하천정보 시스템이 정보의 나열 또는 단순 제공하는 한계를 극복하고 하천관리업무 지원 및 의사결정 지원정보를 가공하여 제공하는 예방적 하천관리 시스템, 하천 시설 및 공간정보에 대한 기본 정보뿐만 아니라 현황 및 통계자료 작성이 가능하고 생애주기별 업무 지원 및 알림까지 가능한 지능형 시스템의 개발
 - 하천 시설물의 생애주기 별 관리 기술 개발을 통한 시설물 안전확보, 유지관리 기술의 체계화, 기존 RIMGIS 등 하천관리시스템 개선 기술 제공, 유역종합치수계획이나 수자원장기종합계획 수립 등에 필요한 면단위 하천환경, 친수 정보 확보 및 체계화 기술 개발을 통해 기존 지점단위 정보제공 한계 극복 등이 기대됨
- 충청남도에서는 「수문관리 자동화 시스템」을 선도사업으로 시군에 우선 실시하여 그 성과에 대한 확산을 통해 전천후로 안전하게 관리되어야 하는 물관리시설물(수문, 펌프, 제진기 등)의 실시간 점검과 시설물의 자율적 판단 및 제어를 통해 신속한 초동 대응을 도모함 62)
 - 첨단기술을 활용하여 IoT 기반의 재난관리가 가능할 수 있도록 자동화시스템을 구축
 - 원격제어장치를 통하여 데이터 전송과 수문제어 및 수문개폐, 수문주위 상황에 대한 모니터링이 동시에 수행
 - 이를 활용하여 실시간 현황 및 홍수량과 홍수위 예측을 통해 위험이 감지되는 경우 모바일을 통해 현장 지원 및 문자발송이 가능함

62) 충남연구원 IoT기반 지방관리하천 수문자동화 확대방안, 2019

- 수리 수문 현황 및 운영결과를 데이터베이스에 저장하여 운영자료에 대한 빅데이터 활용이 가능해짐으로써, 과학적인 수문운영 의사결정을 가능하게 하고, 홍수관리능력 강화와 수문 관리 운영계획을 제공할 수 있음
- 충남도가 도비와 시군비를 투입하여 선도적으로 추진한 「수문관리자동화 시스템」이 IoT 기술을 활용한 지능형 하천방재관리시스템 구축기반 마련과, 지구단위 하천에 대한 사업 확대를 통하여 지능형 하천방재관리시스템을 완성할 수 있을 것으로 기대

라. 구조적 안정성 확보 및 성능유지기술분야

- 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
- 과학기술정보통신부는 시설물의 내외부에 초소형 센서를 부착하여 시설물을 모니터링할 수 있는 스마트 스트럭처 센서네트워크 시제품을 개발하여 현재 현장 검증 추진 중에 있음⁶³⁾
 - 기존 센서 응답값에 기반하여 이상 여부를 판단하던 수동형 방법을 향상시킴
 - 통합적 모니터링 시스템을 구현함으로써 시설물의 안전조치, 유지관리 조치를 자동화함
- 국토교통부는 재난 시나리오 기반 수변 구조물 감시 및 안전도 확보를 위한 통합 안전관리 플랫폼을 개발함⁶⁴⁾
 - 시설물 안전도 정보제공을 목적으로 실시간 안전도 평가 시스템을 개발함
 - 위험도 평가 및 시설물 재해정보 제공을 목적으로 다중시나리오 기반 재난 대응 의사결정 지원시스템을 구축함
 - 피해 평가 및 복구 의사 결정 지원을 목적으로 원스톱 수변 구조물 피해복구 통합시스템 운영을 추진함
- 한국수자원공사는 국가차원의 수리구조물 성능고도화 및 U-Dam Safety 기술전략 방안 연구를 수행함⁶⁵⁾

63) 미래창조과학부 (2011~2015). 건축/대형구조물의 안전관리를 위한 내외피용 IT기반 고정밀도 패치/임플란트 시스템 기술 개발 RFP.

64) 국토교통부 (2015). 재난시나리오 기반 수변구조물 통합안전관리 기술개발 연구단 브로셔

65) 국가차원의 수리구조물 성능고도화 및 U-Dam Safety 기술전략 방안, 한국수자원공사, 2009.12.

- 친환경 저비용 댐·제방 보강기술, 댐 시설물 통합안전관리시스템 구축 및 운영기술 확보, 위험도 통합 해석 수리구조물 안전관리 의사결정 시스템 구축 등을 추진함

- 친환경 저비용 댐·제방 보강기술 개발에서는 세굴, 침투, 침식, 월류 그리고 구조물 접속부 등의 안정성을 고려한 고규격 제방, 수퍼제방 축조기술 개발을 추진함

- 댐 시설물 통합안전관리시스템 구축 및 운영기술 확보에서는 광섬유센서 등의 첨단센서를 이용한 실내외 계측 검증시험, 실제적용을 통한 하천제방 계측시스템 구축 및 자동 계측시스템 구현 등을 추진함

- 위험도 통합해석 수리구조물 안전관리 의사결정 시스템 구축에서는 실험형 시뮬레이션 및 수치해석 기법을 통한 수리시설물의 안정성 검증, 수리구조물 별 취약영역에 유비쿼터스·ICT 기술을 우선 적용하여 시범운영을 통한 표준화된 적용 방법 개발 등을 추진함

○ 한국시설안전공단은 사이드스캔 소나장비를 이용하여 수중 콘크리트 표면 주변 하상의 상태를 점검하고 있음⁶⁶⁾

- 수중에서 견인되는 구조물의 좌우측에 각각 1개의 초음파 송수신 초음파센서를 장착하고 이를 견인하면서 실시간으로 하상면의 상태를 관측, 분석함

- 소나는 토우피쉬라는 영상취득장치로 고도센서, 수심센서, Motion 센서가 부착되어 있으며 토우피쉬에서 감지되는 자료는 취득된 영상과 외부에서 취득된 GPS 자료와 함께 저장되고 분석됨



[그림 43] 수중초음파장비를 이용한 조사

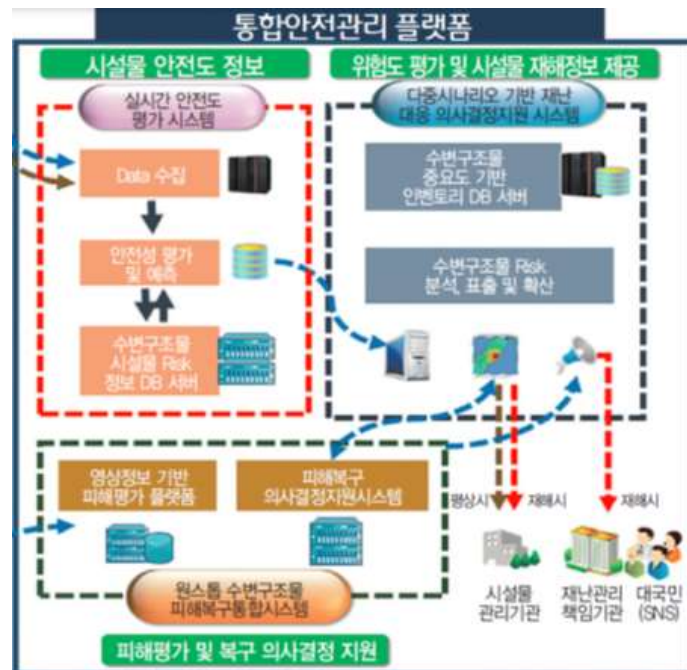
* 자료 : 사회기반시설 안전 및 유지관리 성과와 향후 발전방안 연구, 한국시설안전공단, 2015. 12.

66) 사회기반시설 안전 및 유지관리 성과와 향후 발전방안 연구, 한국시설안전공단, 2015. 12.

- 한국해양과학기술진흥원은 광학카메라 및 소나 기반 수중구조물 상태 진단 및 유지관리용 기계화 장비 상용화를 추진 중임⁶⁷⁾
- 현장 검증 실험 후 상용화를 추진할 계획임



[그림 44] 광학카메라 및 소나 기반 수중구조물 점검시스템



[그림 45] 재난시나리오 기반 수변구조물 감시 및 안전도 확보를 위한 통합안전관리 플랫폼

67) 한국해양과학기술진흥원 (2011~2016). 항만시설물 점검용 핵심플랫폼 개발(두배시스템).

☐ 기계학습 기반의 예측정보 활용기술 개발 및 선진국형 안전관리 체계 도입 필요

- 극한 수재해 대응 노후 수리시설물 성능개선 기술개발을 통해 극한 수재해 대비 하천 시설물 안전성 확보를 위한 진단·관리 기술 및 하천수의 효율적 이용을 위한 취·방류수 예측 관리 기술을 개발 중에 있음
- 노후된 하천구조물의 개선을 위한 대안으로 다단식 다기능 하단배출식 가동보 수문시스템의 개발을 통해 기존 하천구조물의 수질오염 문제와 더불어 고유기능인 이수·치수적 능력 증대를 도모함
- 극한 수재해에 취약한 노후 수리시설물의 경제적 보수·보강 위한 성능개선 및 공사원가 절감형 소재·공법을 개발함

4절. 특허 및 논문 분석

1. 특허분석

가. 분석개요

- ☐ 배수자동화 관련 4개 대분류 15개 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> 배수자동화 관련 특허분석 개요

분석대상	내용
기술	배수자동화 관련 4개 대분류 15개 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 하

여 영문 검색식을 작성하여 검색하였음

- 4개의 대분류는 홍수량 예측 기술, 스마트 운영을 위한 수위예측 기술, 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술, 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술로 구성됨

<표 21> 분야별 검색식

대분류	중분류	검색식
A. 홍수량 예측 기술	A1. 선행시간 3시간 확보를 위한 강우예측 정보 생산기술 개발	((("radar" or "weather radar" or "rain radar") and ("Precipitation merging" or ("data assimilation") or ("Machine learning") or ("deep learning") or ("Convolutional Neural Network") or ("quantitative precipitation forecast" or QPF or "precipitation forecasting" or "precipitation prediction" or "numerical weather prediction"))) and "weather" and PD>2009 ((("레이더" or "기상레이더" or "강우레이더") and ("예측 강수" or ("자료 동화") or ("머신러닝") or ("딥러닝") or ("합성곱 신경망") or ("정량적 강수 예측" or QPF or "강수 예측" or "실황 예측"))) and "기상" and PD>2009
	A2. 외수 유량 산정	("Flood routing" or "Rainfall-runoff simulation" or "Data-driven flood forecast" or "Flood warning system" or "Storage function method") and PD>2009
	A3. CPS 기반 배수구역 홍수 모의	((("flood simulation" and ("cyber physical systems" or "Digital twins" or "geographic imagery"))) or ("Flood model" or "Physics based Integrated hydrological-hydraulic" or "paddy area"))) and PD>2009
	A4. 빅데이터를 활용한 침수예측	("Flood Inundation" or ("Hydrologic" and "hydraulic" and "Model") or ("flood" and ("big data" or "deep learning")))) and PD>2009
	A5. 정보전이를 활용한 미계측유역 예측기술	((("Hydrolog*" and "Regionaliz*") or ("Satellite" and "flood" and "area" and "detection") or ("Radar" and "rainfall" and "downscal*") or ("Geomorph*" and "hydrograph") or ("Deep-learning" and "land" and "parameteriz*"))) and PD>2009
B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술	B1. AI기반 하천 수위 예측기술	((("water level" and "forecast" and "real time") or "Model fusion technology" or ("AI" and "water level" and "forecast") or ("Water level" and "data generation" and "technology") or ("Small data" and "water level"))) and PD>2009 ((("수위" and "예측" and "실시간") or "모델융합기술" or ("인공지능" and "수위" and "예측") or ("수위" and "자료생성" and "기술") or ("스몰데이터" and "수위"))) and PD>2009
		((("hydraulic" and "fidelit*" and "technology") or "tensor processing unit" or "hydraul* performance graph" or ("Data Assimilation" and "Artificial" and "Neural Network") or ("superfast" and "water stage" and "prediction"))) and PD>2009
	B2. 물리기반 하천 수위 예측기술	((("유압" and "충실도" and "기술") or "텐서처리장치" or

대분류	중분류	검색식
		"수리거동곡선" or ("자료동화" and "인공" and "신경망") or ("초고속" and "수위" and "예측")) and PD>2009
	B3. 수위 예측을 위한 데이터리버(data river) 구축 기술	((("Data" and "River") AND ("Digital Sieve" OR "Data Fusion" OR "Data Forensic"))) and PD>2009 (("데이터" and "하천") AND ("디지털 체가름" OR "데이터 퓨전" OR "데이터 복원")) and PD>2009
	B4. 배수역 소유역간 연계모형	("flood" and ("Data Assimilation" or ("Parameter" AND "calibration") or ("Ensemble" AND "repair analysis") or ("Data-based" and "prediction"))) and PD>2009 ("홍수" and ("자료동화" or ("매개변수" AND "검보정") or ("앙상블" AND "수리해석") or ("자료기반" and "예측"))) and PD>2009
C. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	C1. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험	((("smart" OR "real time") and ("flood" and "control system")) or ("Integration system" and "real time" and "data" and "forecast")) and pd>2009 (((("스마트" OR "실시간") and ("홍수" and "관리시스템")) or ("통합시스템" and "실시간" and "정보" and ("예보" or "예측")))) and pd>2009
	C2. 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술	((("smart" OR "real time") and ("flood" and "control system")) or ("Integration system" and "real time" and "data" and "forecast") or ("automated" and "drainage system")) or "drainage effect analysis" or ("integrated" and "flood" and "management system")) and pd>2009
	C3. 적응형 의사결정 기법	("flood" and ("Adaptive decision making" or "Ensemble scenarios" or "Decision making algorithm" or "Flood risk reduction" or "Water retention measures" or "Life-cycle management" or "risk analysis" or "flood map" or "multi-criteria decision")) and pd>2009 ("홍수" and ("적응형 의사결정" or "앙상블 시나리오" or "의사결정 알고리즘" or "홍수 위험도 저감" or "저류지 활용" or "전주기 관리" or "위험성 평가" or "홍수범람도" or "다기준 의사결정")) and pd>2009
D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술	D1. IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술	((("Multi-spectral" and "image" and "river survey") or ("big data" and "hydraul*") or ("IoT sens*" and "hydraul*" and "hydrology"))) and pd>2009
	D2. IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술	("water gate" and ((("remote control" or "automatic control" or "unmanned full automation" or "smart flood control" or "automatic sliding gate control" or "strain sensing using fiber optics" or "seepage flow monitoring" or "vertical and lateral displacement sensor" or "progressive slope failure" or "blowout" or ("Potential Failure Modes Analysis" or "PFMA")))) and

대분류	중분류	검색식
		pd>2009
		("수문" and ((("원격제어" or "자동제어" or "무인 완전자동화" or "스마트 홍수관리" or "수문자동화" or "광섬유 변형률 센서" or "침투 모니터링" or "수평수직거동센서" or "progressive slope failure" or "blowout" or ("Potential Failure Modes Analysis" or "PFMA")))) and pd>2009
	D3. 배수시설 구조적 안정성 확보 기술	(("water" and ((("debris control" or "debris removal") or ("smart levee") or ("monitoring" and "scour" and "deposition" and "water gate")))) and pd>2009 ("물" and ((("부유물 제어" or "부유물 제거") or ("스마트 제방") or ("모니터링" and "세굴" and "퇴적" and "수문")))) and pd>2009

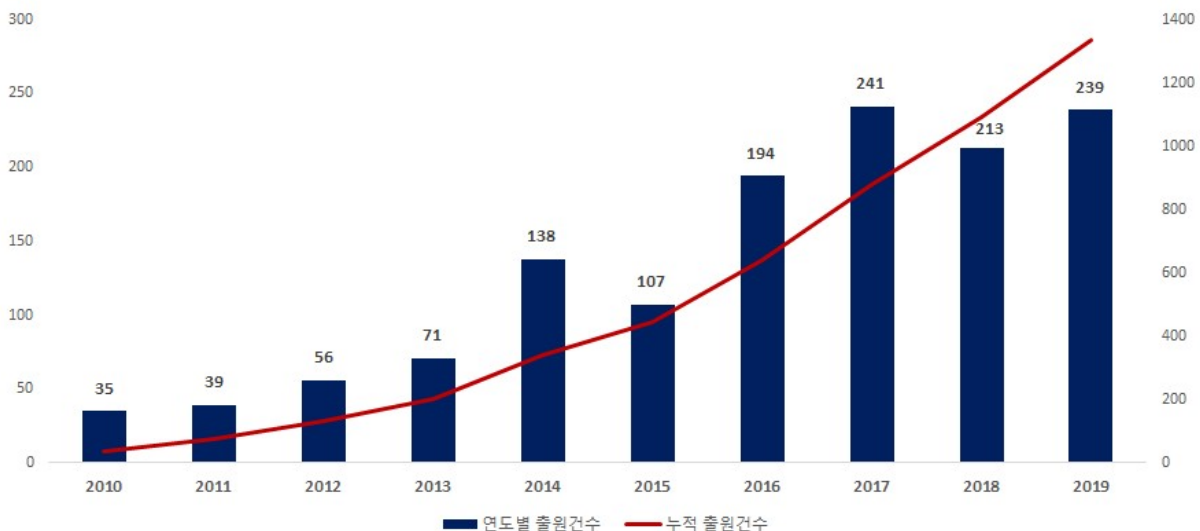
나. 분석결과

(1) 특허 출원 추이

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

○ 배수자동화 관련 특허는 분석 대상 기간 동안 총 1,333건이 출원됨

○ '14년 연간 출원 건수가 세 자리수 대로 진입한 이후 '15년에 소폭 감소하는 추세를 보였으나, 이후 전반적으로 연간 출원 건수가 200 중반대를 유지 중임

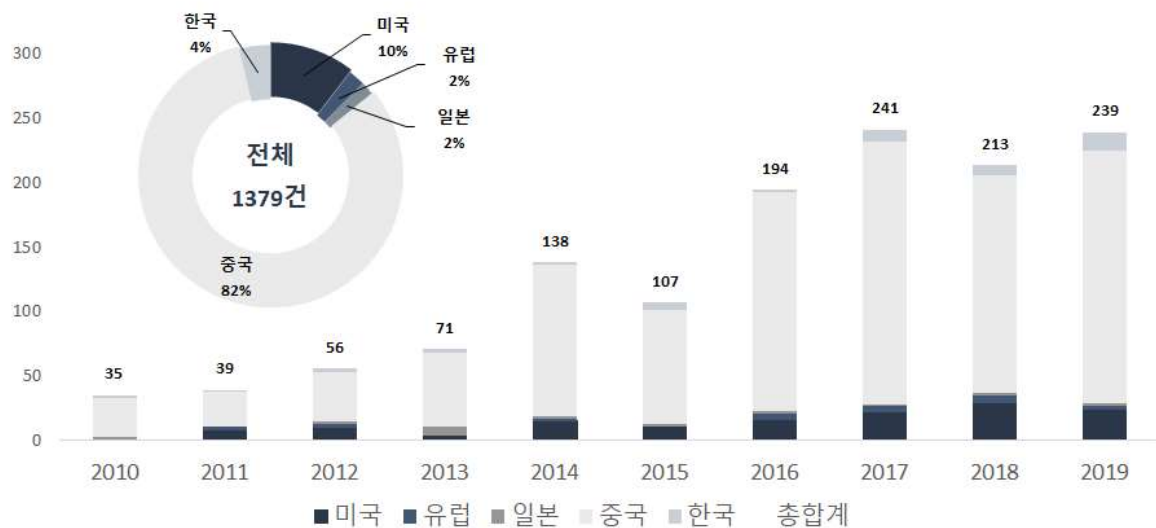


[그림 46] 10년간('10~'19) 배수자동화 관련 특허 출원건수 추이

□ 배수자동화 분야의 국가별 특허 출원건수 조사 결과, 중국(1,093건, 82%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남

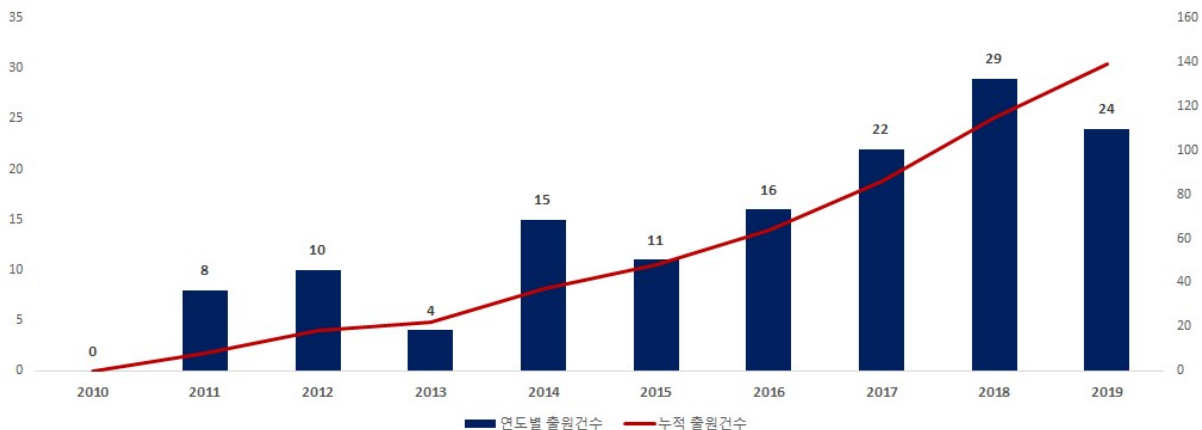
○ 다음으로 미국(139건, 10%), 한국(51건, 4%) 순으로 분석됨

○ 중국의 연간 특허 출원이 지속적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 한국의 경우 분석 대상 기간 동안 꾸준히 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남



[그림 47] 국가별 연도별 특허 출원건수

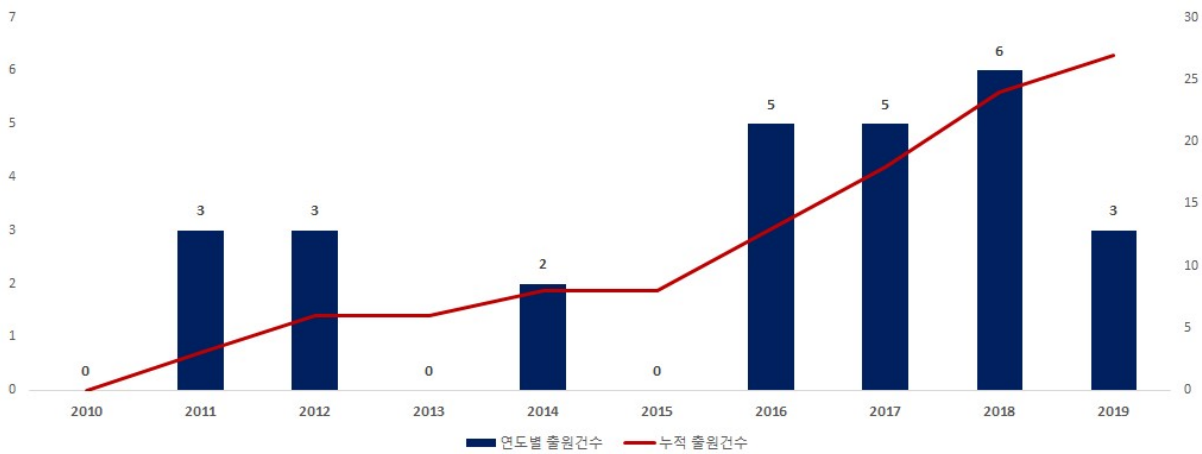
○ 미국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 139건으로 조사되었으며, 전반적으로 증가하는 추세를 나타냄



[그림 48] 미국 연도별 특허 출원건수

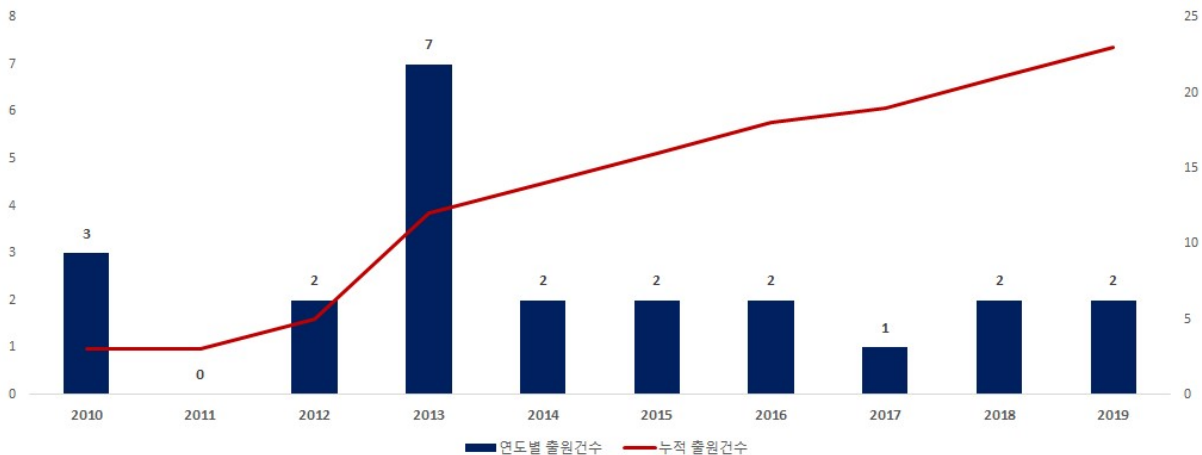
○ 유럽의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 27건으로 조사되었으며, 특허 출원건수는

전반적으로 연 10개 이하를 기록하고 있고 출원건수가 아예 없는 연도도 존재함



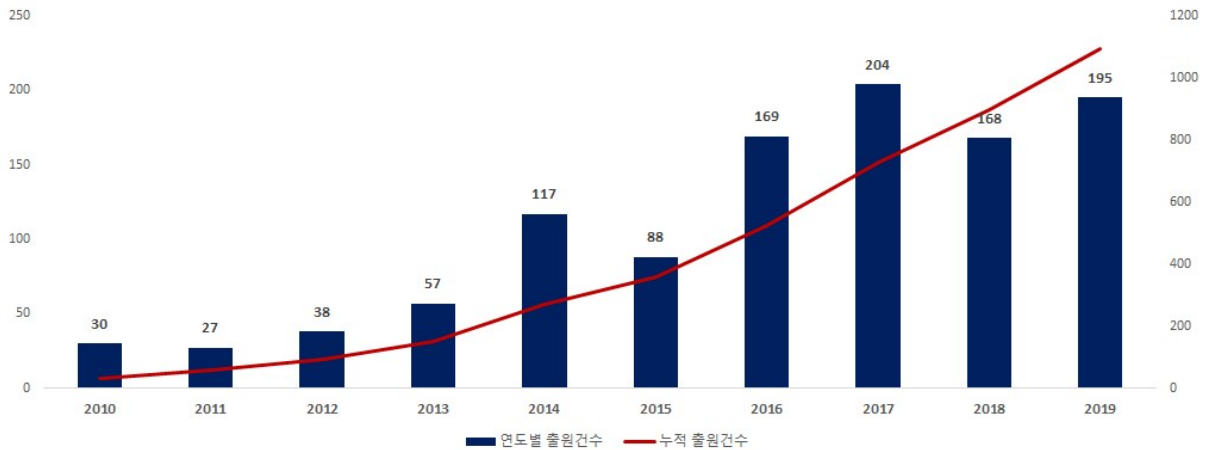
[그림 49] 유럽 연도별 특허 출원건수

- 일본의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 23건으로 조사되었으며, '13년 7건으로 가장 많은 특허를 출원하였고 그 외 연도에는 매년 1~2개 정도의 특허를 출원중임



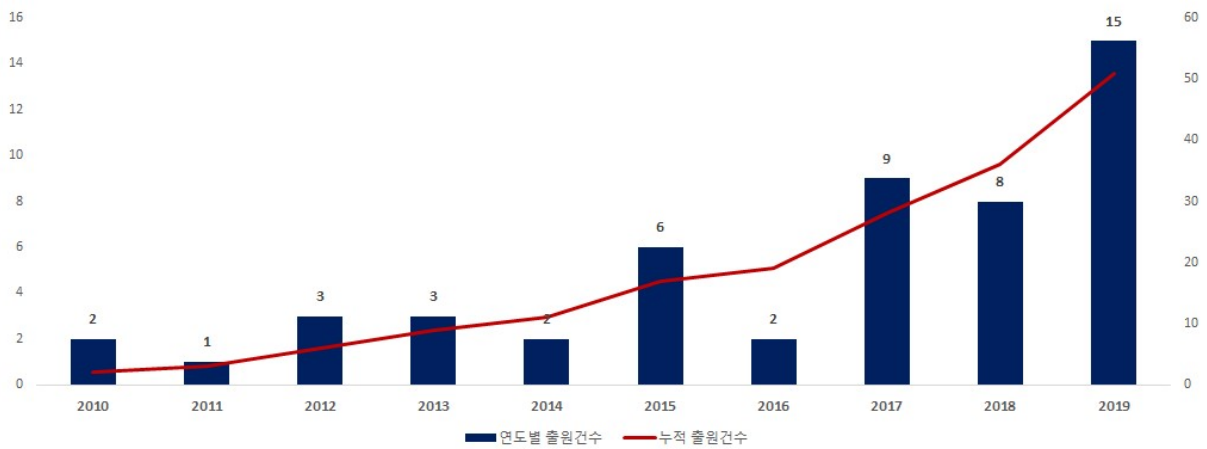
[그림 50] 일본 연도별 특허 출원건수

- 중국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 1,093건으로 조사되었으며, 전반적으로 증가 추세이고 국가들 중 가장 많은 특허를 출원하고 있음



[그림 51] 중국 연도별 특허 출원건수

- 한국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 51건으로 조사되었으며, '19년 크게 출원건수가 크게 늘어남

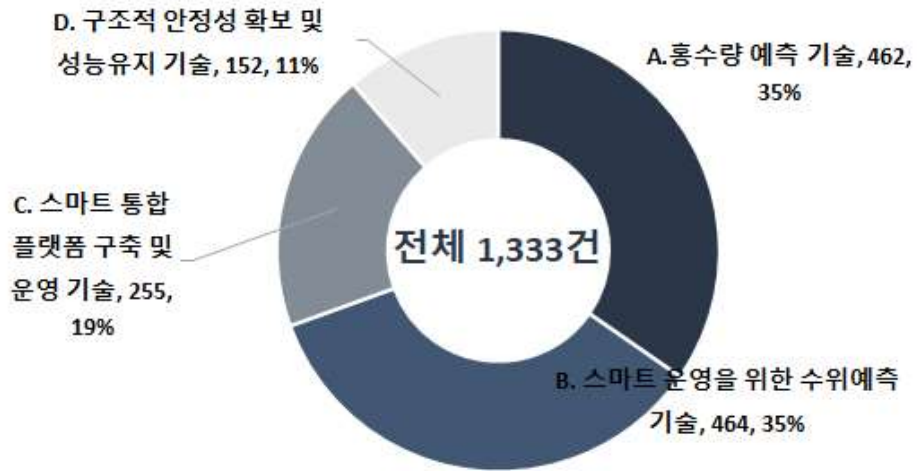


[그림 52] 한국 연도별 특허 출원건수

(2) 기술분야별 출원 비중

- 분석 대상 기간 동안 기술분야별 출원 비중 분석결과, 스마트운영을 위한 수위예측 기술의 출원 건수가 464건(35%)로 가장 많은 것으로 나타남

- 이어서 홍수량 예측기술(462건, 35%), 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영기술(255건, 19%) 순으로 나타남

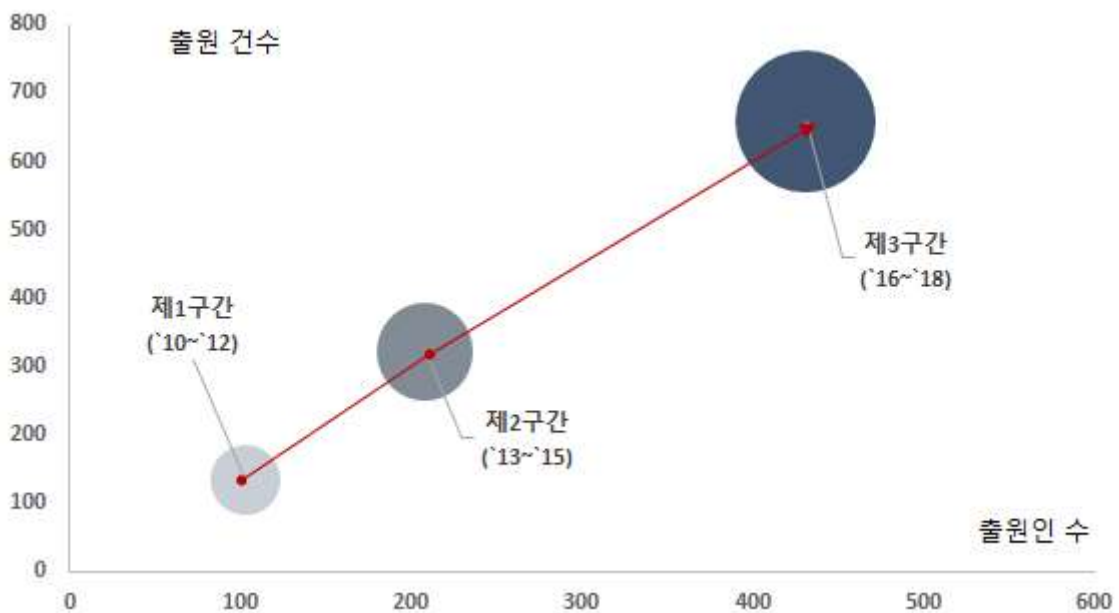


[그림 53] 배수자동화 분야의 기술분야별 출원 건수('10~'19년)

(3) 기술성장단계

□ 배수자동화 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

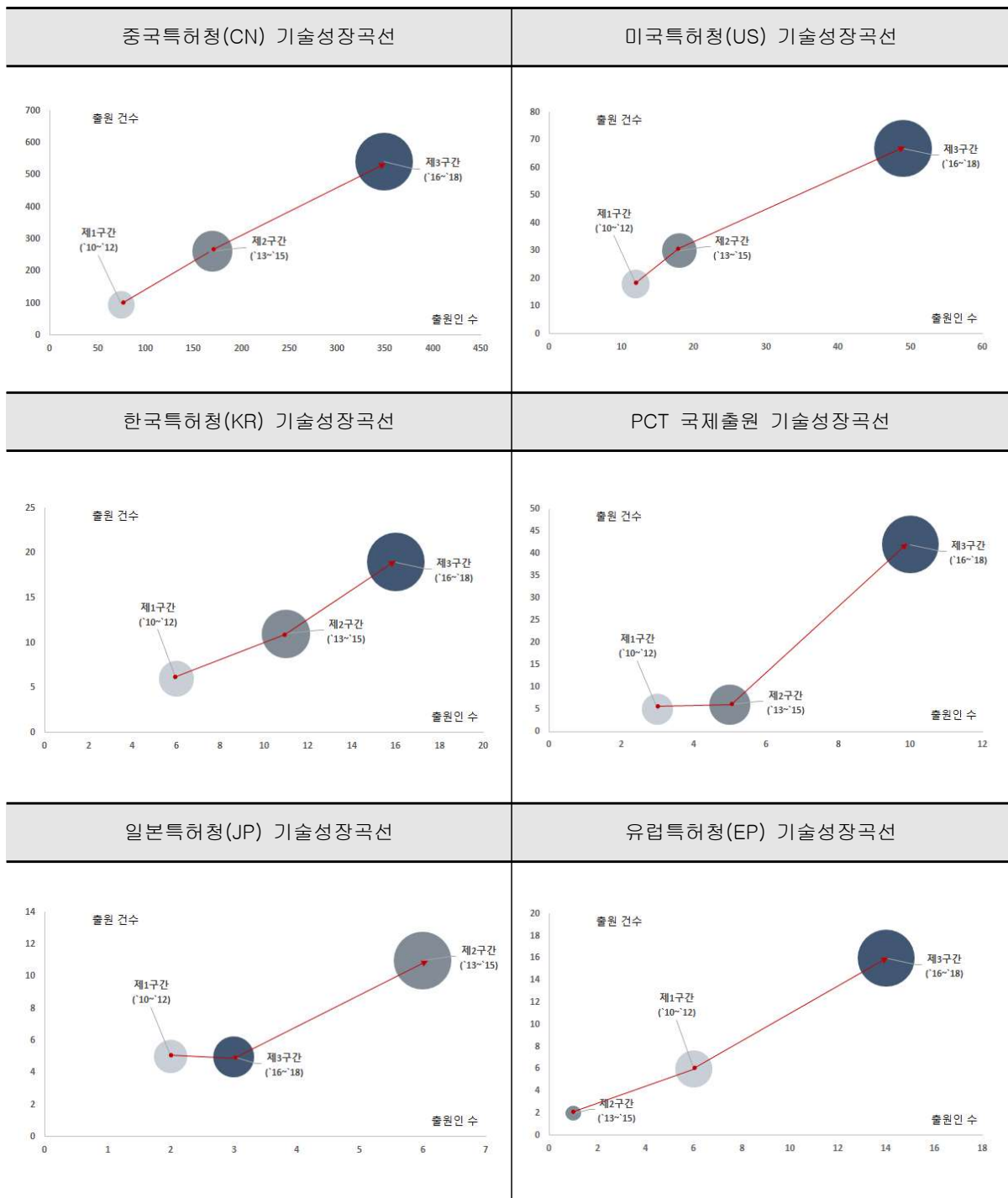


[그림 54] 배수자동화분야 기술성장단계



[그림 55] 기술성장곡선 개요

- 중국 특허의 경우 출원인수와 출원건수가 모두 급격히 늘어나는 성장기로 분석됨
- 미국 특허청의 경우 제2구간~제3구간 사이에서 출원인은 증가하나 출원건수가 소폭 증가하는 성숙기로 분석됨
- 한국은 전구간에서 출원건수와 출원인수가 증가하는 성장기 단계 사이에 위치하는 것으로 분석됨
- PCT 국제출원은 제2구간~제3구간에서 출원건수와 출원인수가 증가하는 성장기 단계 사이에 위치하는 것으로 분석됨
- 일본 특허는 제2구간~제3구간에서 출원건수와 출원인수가 증가하는 성장기 단계 사이에 위치하는 것으로 분석됨
- 유럽 특허는 전구간에서 출원건수와 출원인수가 증가하는 성장기 단계 사이에 위치하는 것으로 분석됨



[그림 56] 배수자동화 분야의 국가별 기술성장단계

(4) 상위출원인

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

○ 배수자동화 분야의 상위 12대 출원인 분석 결과, UNIV HOHAI(중국)가 가장 많은 66건을 출원함



[그림 57] 배수자동화분야의 상위출원인

○ 상위 12위 중 중국 국적 출원인이 11개, 미국 출원인 국적 출원인이 1개 조사됨

<표 22> 배수자동화 분야의 상위 12대 출원인 대분류별 특허 출원건수 분석

순위	출원인명	A	B	C	D	총합계	국적
1	UNIV HOHAI	11	26	20	9	66	중국
2	UNIV WUHAN	5	25	2	2	34	중국
3	WUHAN SHENGYU DRAINAGE SYSTEM CO LTD	0	0	24	0	24	중국
4	CN INST WATER RESOURCES & HYDR	6	15	2	0	23	중국
5	UNIV NANJING	12	6	1	1	20	중국
6	CHINA INST WATER RESOURCES & HYDROPOWER RES	10	8	2	0	20	중국
7	UNIV CHINA	4	6	4	4	18	중국
8	UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH	7	3	7	0	17	중국
9	INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION	6	2	8	0	16	미국
10	UNIV TIANJIN	4	1	8	1	14	중국
11	UNIV XI AN	6	5	1	0	12	중국
12	UNIV ZHEJIANG	6	6	0	0	12	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

(5) IP 부상도 분석

- 추세선을 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> 배수자동화 대분류-국가별 특허출원 추세

특허 청	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
PCT				
미국				
유럽				
일본				
중국				
한국				

(6) 시장 경쟁수준 분석

□ 시장진입 경쟁수준 분석을 위한 지수인 허쉬만 허핀달 지수(HHI)를 비교한 결과, 4개 분야 모두 시장 진입 가능성이 높은 수준으로 분석됨

○ HHI 지수는 상위 4개사 점유율(CR3)의 거듭제곱으로 산출되며, 각 대분류의 상위 3개사 점유율은 7.02~19.78로 조사됨

○ 4개 대분류의 HHI 지수는 0.0049~0.0391로 산출되었으며, 이는 독과점 여부의 기준이 되는 $HHI=0.25$ 에 미치지 못하는 수치로 독과점 상태가 없어 비교적 시장 진입이 용이한 상태인 것으로 판단됨

<표 24> 배수자동화 분야 시장진입 경쟁수준 분석

분야	상위 3개사 특허수	전체특허수	상위 3개사의 분야별 특허 점유율(CR3)	상위 3개사 점유율 (CR3) 백분위	HHI
A. 홍수량 예측 기술	33	470	7.02	0.070213	0.00493
B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술	66	482	13.69	0.136929	0.01875
C. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	53	268	19.78	0.197761	0.039109
D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술	28	171	16.37	0.163743	0.026812

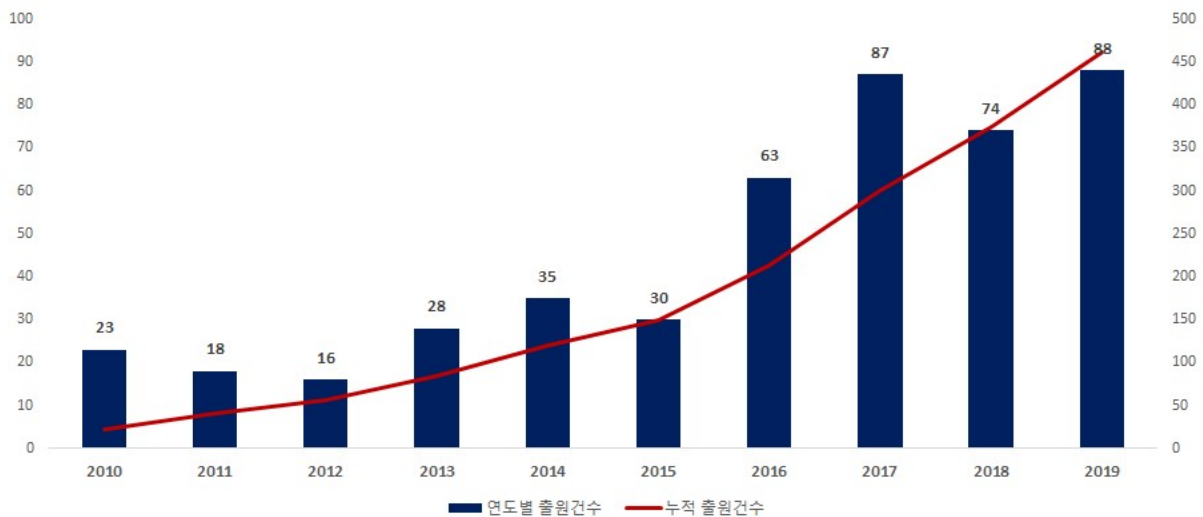
다. A. 홍수량 예측 기술

(1) 특허 출원 추이

□ 10년 간 홍수량 예측 기술 관련 특허 건수는 지속적인 증가 추세를 보이는 것으로 분석됨

○ 홍수량 예측 기술 관련 특허는 분석 대상 기간 동안 총 462건이 출원됨

○ '16년 연간 출원 건수가 전년대비 두 배 이상 증가한 이후 꾸준히 추세 유지중임

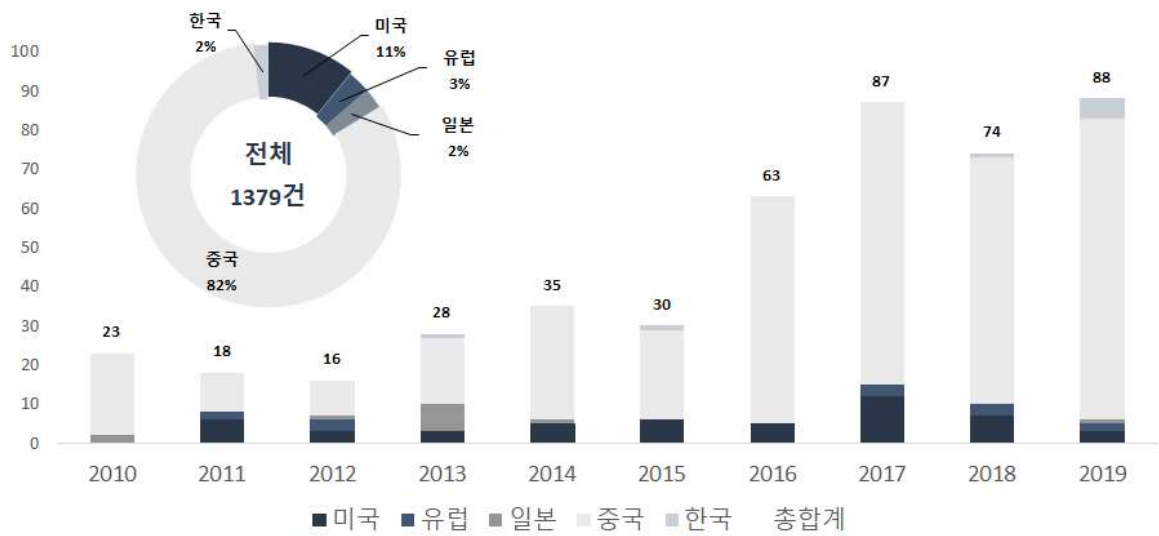


[그림 58] 홍수량 예측 기술 관련 분야의 연도별 특허 출원건수('10~'19)

□ 홍수량 예측 기술 분야의 국가별 특허 출원건수 조사 결과, 중국(379건, 82%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남

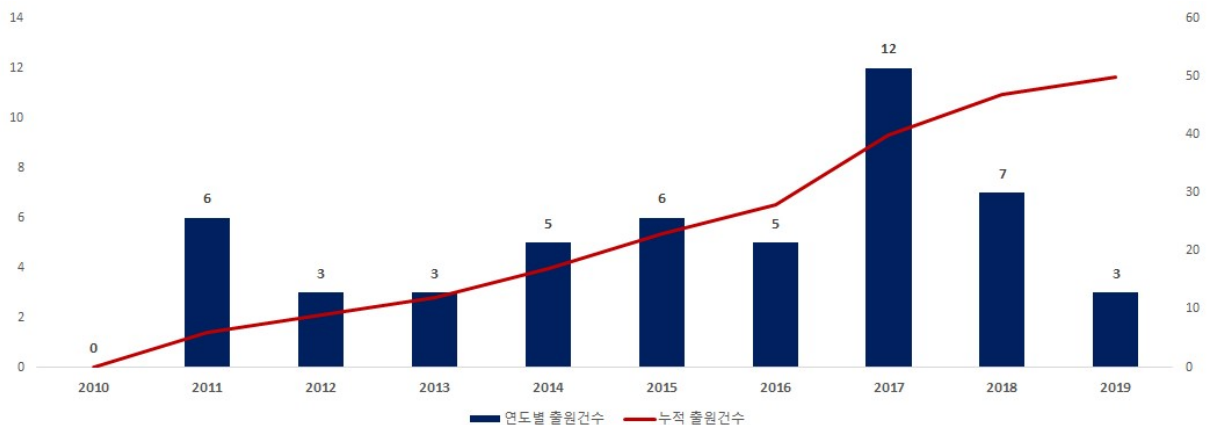
○ 중국 다음으로 미국(50건, 11%), 유럽(13건, 3%) 순으로 분석됨

○ 중국의 연간 특허 출원이 지속적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 한국의 경우 '19년 5건(전체 기간 특허 출원건수 중 과반 이상)의 특허를 출원한 것으로 나타남



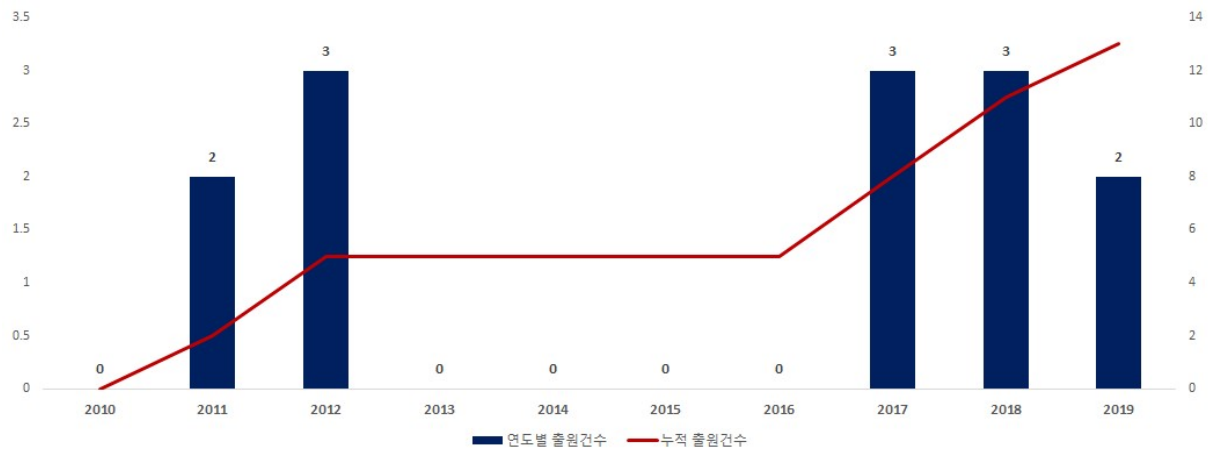
[그림 59] 국가별 특허 출원건수

- 미국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 50건으로 조사되었으며, 전반적으로 일정한 출원건수를 유지하다 '17년에 12건으로 평년 대비 2배의 특허를 출원함



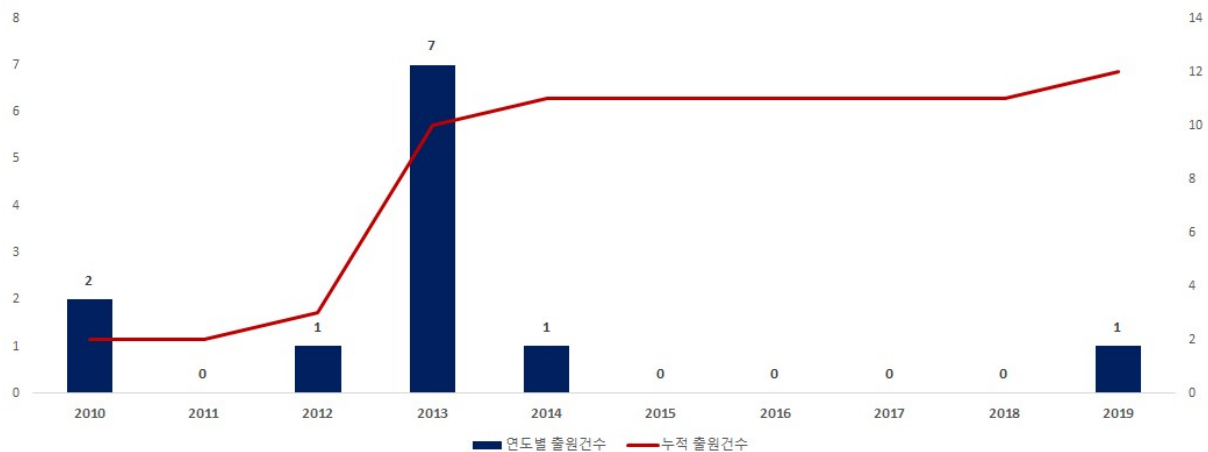
[그림 60] 미국의 홍수량 예측 기술 분야 특허 출원건수

- 유럽의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 13건으로 조사되었으며, '13년부터 '16년까지 관련 특허를 출원하지 않음



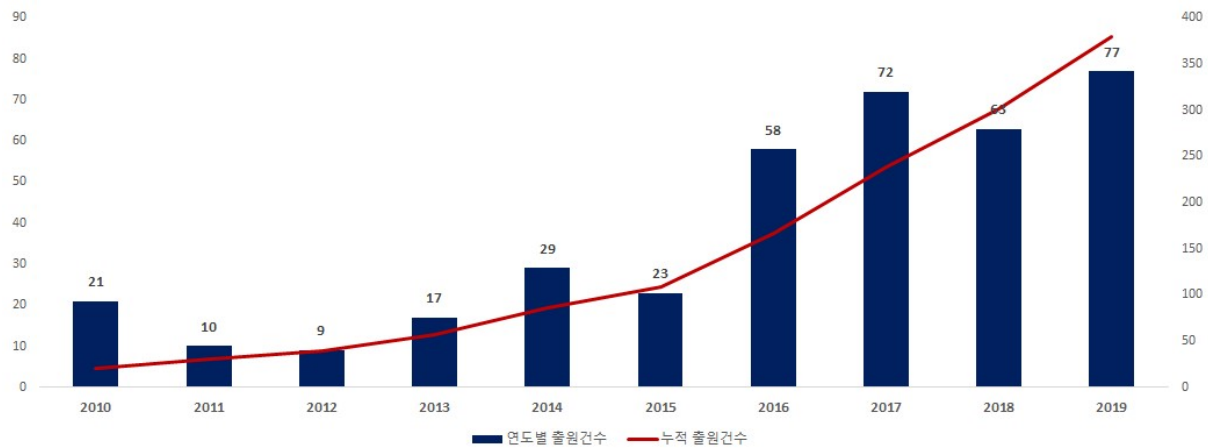
[그림 61] 유럽의 홍수량 예측 기술분야 특허 출원건수

- 일본의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 12건으로 조사되었으며, '13년 7건으로 전체 출원건수의 과반을 출원하였다가 그 이후 거의 특허를 출원하지 않고 있음



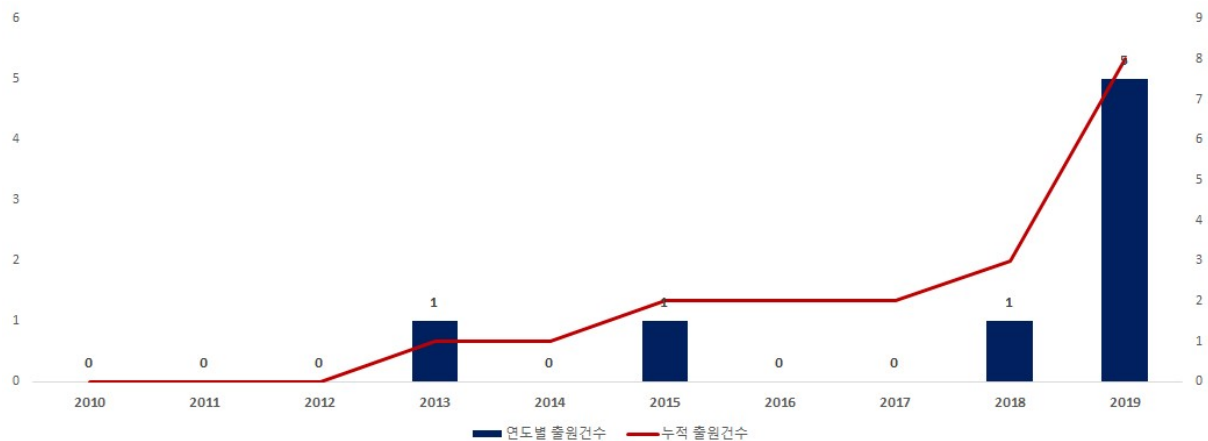
[그림 62] 일본의 홍수량 예측 기술분야 특허 출원건수

- 중국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 379건으로 조사되었으며, 전반적으로 증가 추세를 나타냄



[그림 63] 중국의 홍수량 예측 기술 분야 특허 출원건수

- 한국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 8건으로 조사되었으며, '19년에 5건을 출원하여 전체 출원건수 중 과반이 넘는 출원건수를 기록함

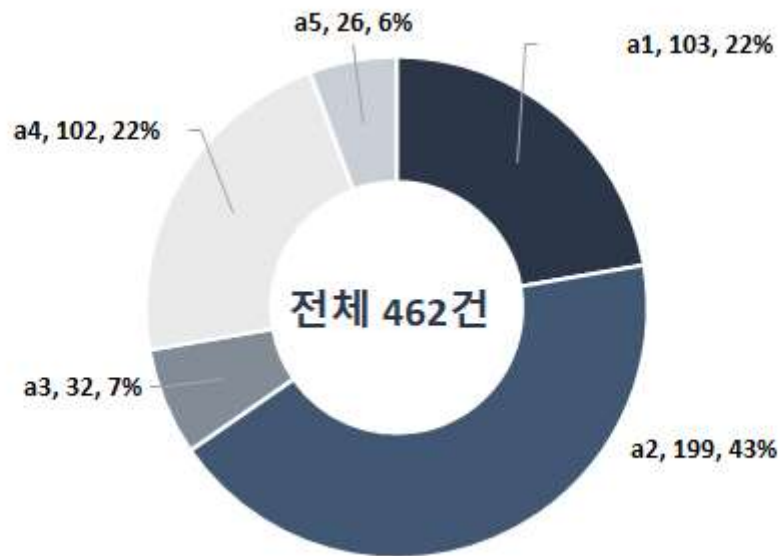


[그림 64] 한국의 홍수량 예측 기술 분야 특허 출원건수

(2) 기술분야별 출원 비중

- 분석 대상 기간 동안 기술분야별 출원 비중 분석결과, A2의 출원 건수가 199건 (43%)로 가장 많은 것으로 나타남

- 이어서 A1(103건, 22%), A4(102건, 22%) 순으로 나타남

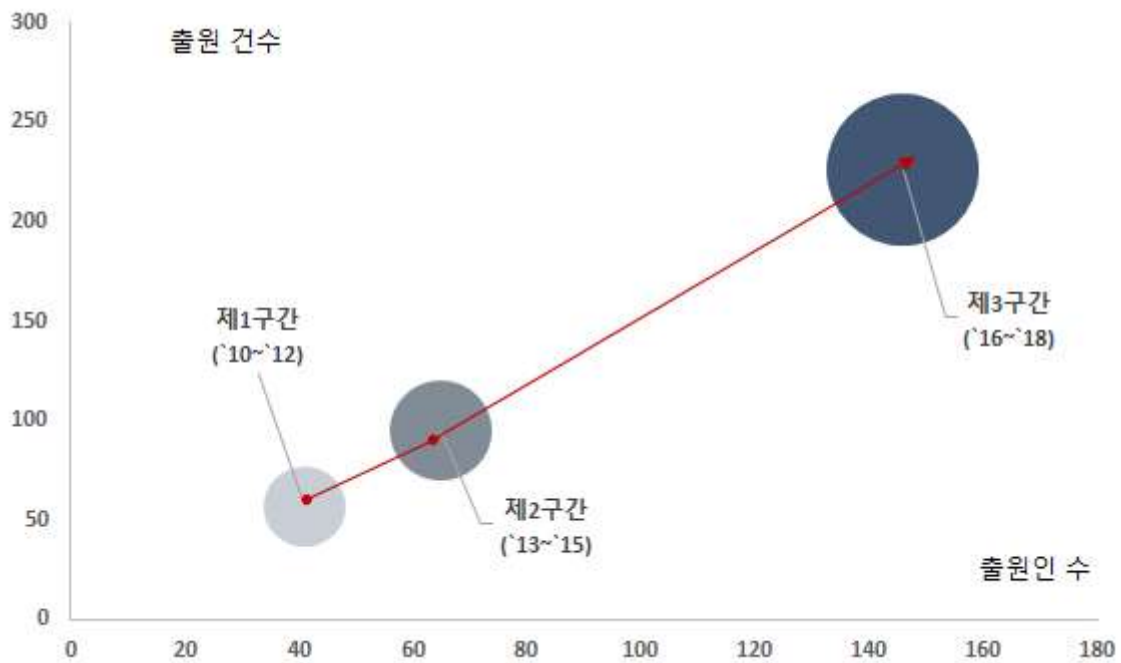


[그림 65] 기술분야별 출원건수

- A1. 선행시간 3시간 확보를 위한 강우예측 정보 생산기술 개발
- A2. 외수 유량 산정
- A3. CPS 기반 배수구역 홍수 모의
- A4. 빅데이터를 활용한 침수예측
- A5. 정보전이를 활용한 미계측구역 예측기술

(3) 기술성장단계

- **홍수량 예측 기술 분야는 특허출원건수와 출원인수가 모두 증가하는 성장기 단계로 분석됨**
- 전체 특허청 총괄 분석 결과, 제2구간~제3구간('13~'18) 사이에서 출원인 및 출원건수가 급증한 것으로 나타남



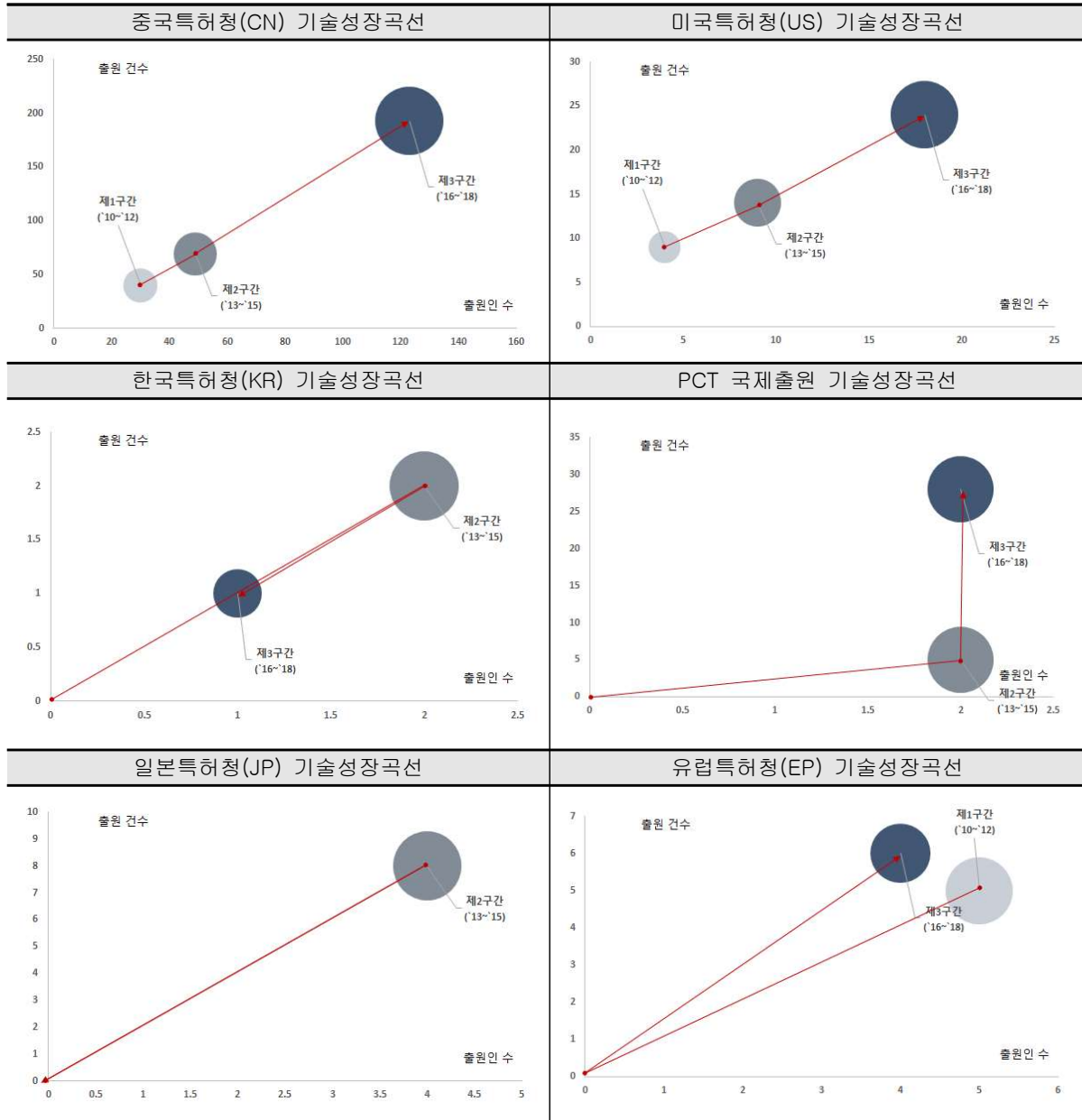
[그림 66] 기술성장곡선



[그림 67] 기술성장곡선 개요

- 중국 특허의 경우 제2구간에서 제3구간으로 넘어갈 때 급격한 성장세가 눈에 띈
- 미국 특허청의 경우 전반적으로 전구간에서 성장세를 보임
- 한국 특허는 제2구간에서 출원활동이 이뤄지지 않다가 제3구간에서 다시 출원활동을 재개함
- PCT 국제출원은 제2구간~제3구간에서 출원인수 대비 출원건수가 급격히 성장하는 모습을 보임
- 일본 특허는 제2구간에서만 출원활동이 이뤄지다 제3구간에서 다시 출원활동이 이뤄지지 않음

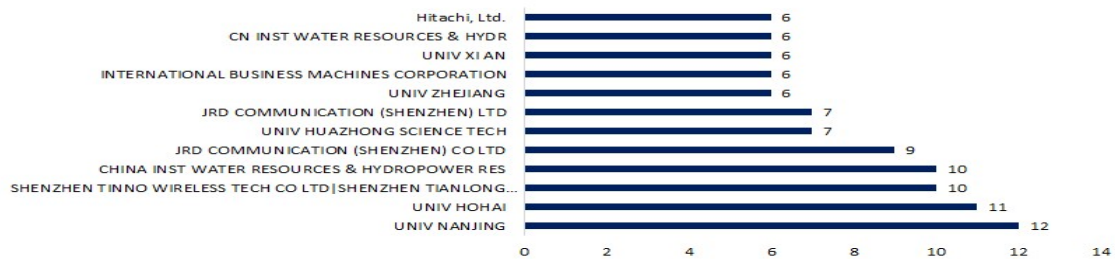
- 유럽 특허는 제2구간에서 출원활동이 이뤄지지 않다가 제3구간에서 다시 출원활동을 재개함



[그림 68] 홍수량 예측 기술 분야의 국가별 기술성장곡선

(4) 상위출원인

- 상위출원인은 해당 분야에 대한 특허 출원을 누가 많이 했는지 살펴보기 위한 지표로, 어떤 사람이나 연구기관이 관련 연구개발을 활발히 진행하고 있는지를 파악하는데 목적이 있음
- 홍수량 예측 기술 기술분야의 상위 12대 출원인 분석 결과, UNIV NANJING(중국)이 가장 많은 12건을 출원함



[그림 69] 홍수량 예측 기술분야 상위출원인

- 상위 12위 중 중국 국적 출원인이 10개, 일본·미국 출원인 국적 출원인이 각각 1개씩 조사됨

<표 25> 홍수량 예측 기술분야의 상위 13대 출원인 특허 출원건수 분석

순위	출원인명	A1	A2	A3	A4	A5	총합계	국적
1	UNIV NANJING	8	2		1	1	12	중국
2	UNIV HOHAI		2	1	4	4	11	중국
3	SHENZHEN TINNO WIRELESS TECH CO LTD		10				10	중국
4	CHINA INST WATER RESOURCES & HYDROPOWER RES	5	1	2	2		10	중국
5	JRD COMMUNICATION (SHENZHEN) CO LTD		9				9	중국
6	UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH	1	4		1	1	7	중국
7	JRD COMMUNICATION (SHENZHEN) LTD		7				7	중국
8	UNIV ZHEJIANG		3	1	2		6	중국
9	INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION		6				6	미국
10	UNIV XI AN		1		3	2	6	중국
11	CN INST WATER RESOURCES & HYDR	1		1	3	1	6	중국
12	Hitachi, Ltd.		6				6	일본

- A1. 선행시간 3시간 확보를 위한 강우예측 정보 생산기술 개발
- A2. 외수 유량 산정
- A3. CPS 기반 배수구역 홍수 모의
- A4. 빅데이터를 활용한 침수예측
- A5. 정보전이를 활용한 미계측구역 예측기술

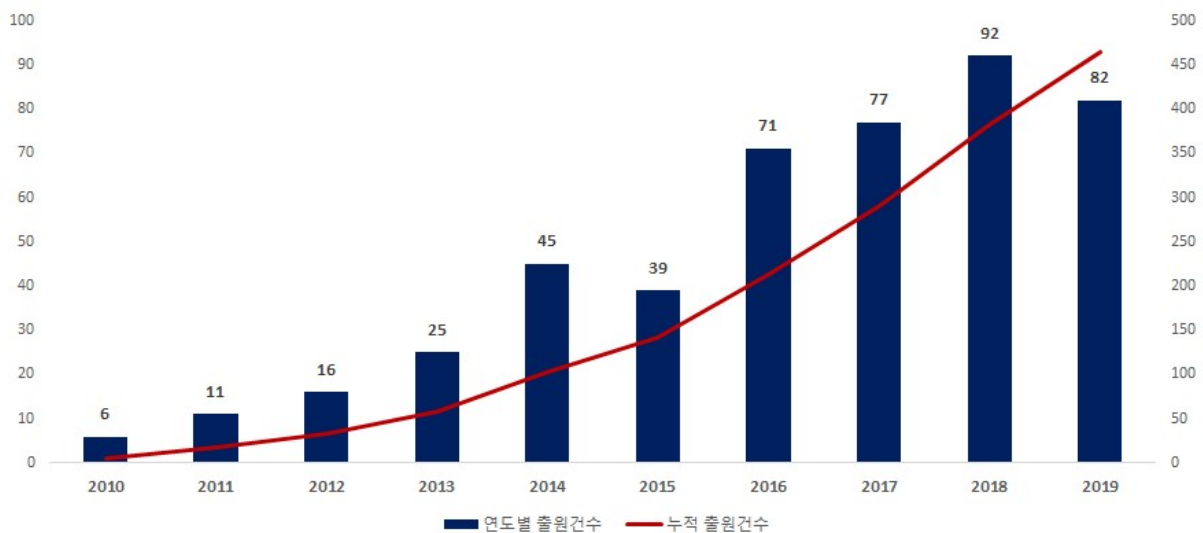
라. B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술

(1) 특허 출원 추이

□ 10년 간 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 관련 특허 건수는 지속적인 증가 추세를 보이는 것으로 분석됨

○ 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 관련 특허는 분석 대상 기간 동안 총 464건이 출원됨

○ 연간 출원건수가 전반적으로 증가추세를 보이고 있으며, '19년엔 전년대비 소폭 줄어들음

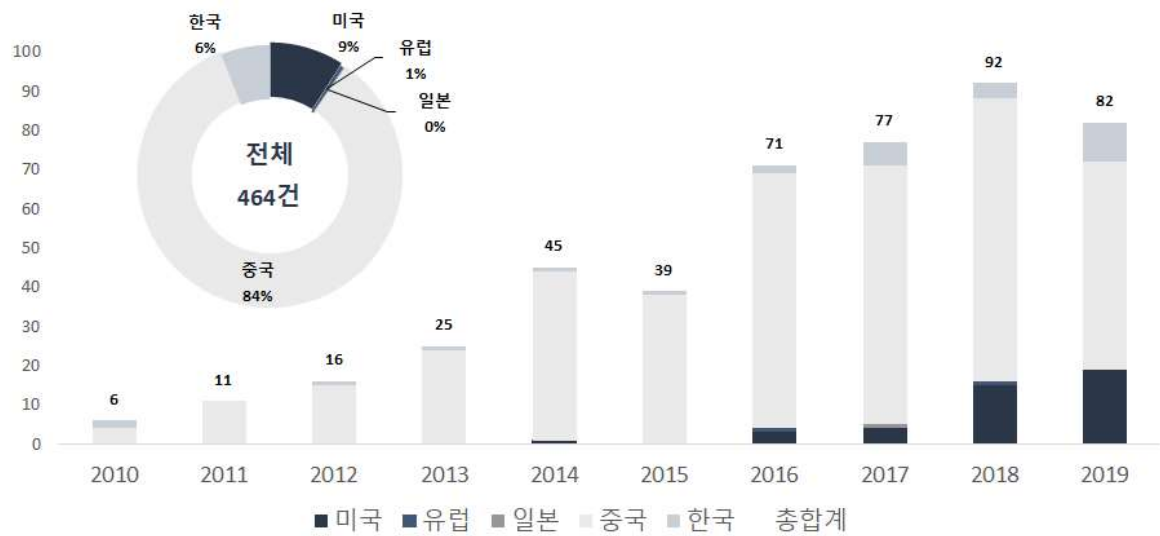


[그림 70] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야 연도별 특허 출원건수

□ 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야의 국가별 특허 출원건수 조사 결과, 중국(391건, 84%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남

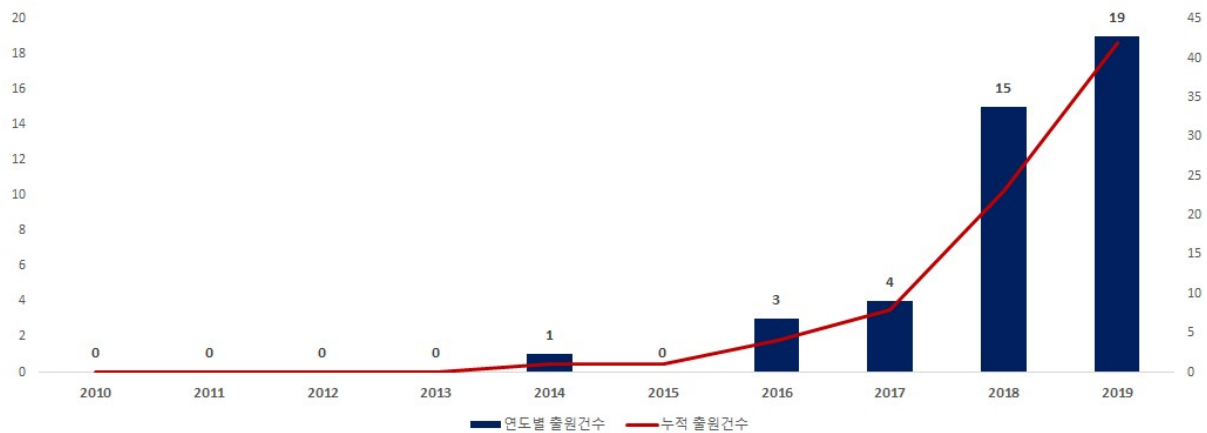
○ 중국 다음으로 미국(42건, 9%), 한국(28건, 6%) 순으로 분석됨

○ 중국의 연간 특허 출원이 지속적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 한국의 경우 분석 대상 기간 동안 '11년을 제외하고 꾸준히 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남



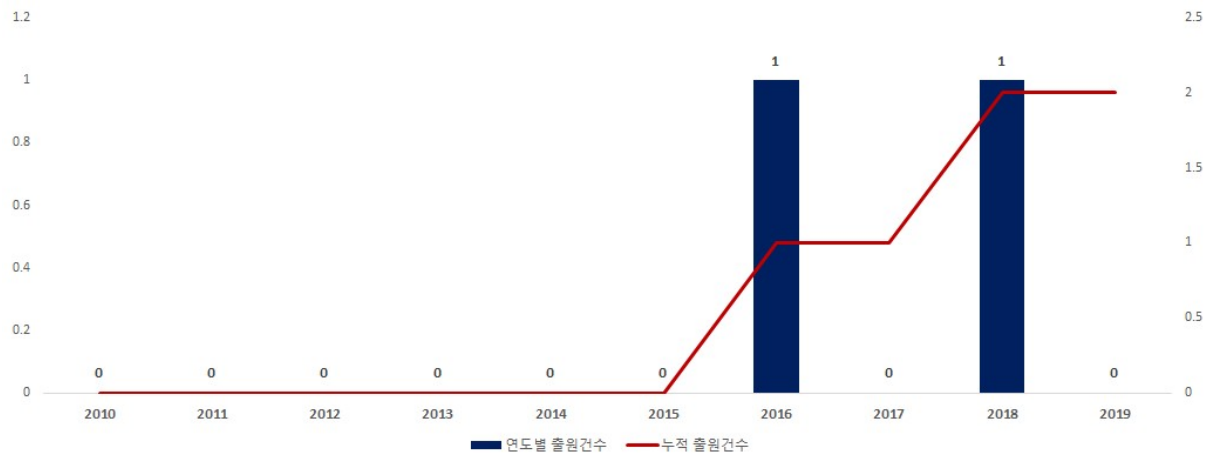
[그림 71] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 국가별 특허 출원건수

- 미국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 42건으로 조사되었으며, '18년 이후 전년 대비 폭발적으로 증가하는 추세를 나타냄



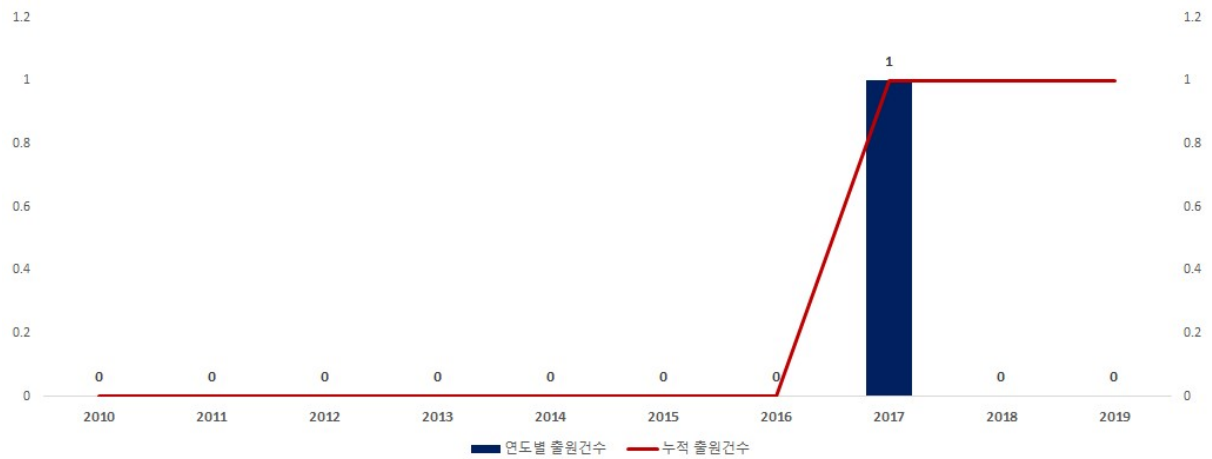
[그림 72] 미국의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수

- 유럽의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 2건으로 조사되었으며, '16년과 '18년에 한 건씩 출원함



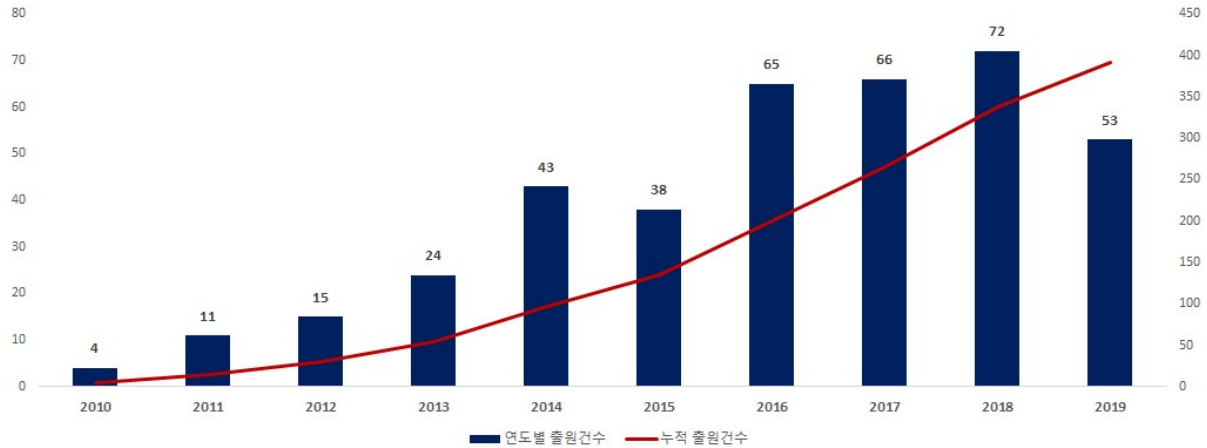
[그림 73] 유럽의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수

○ 일본의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 1건으로 조사되었으며, '17년에 출원 됨



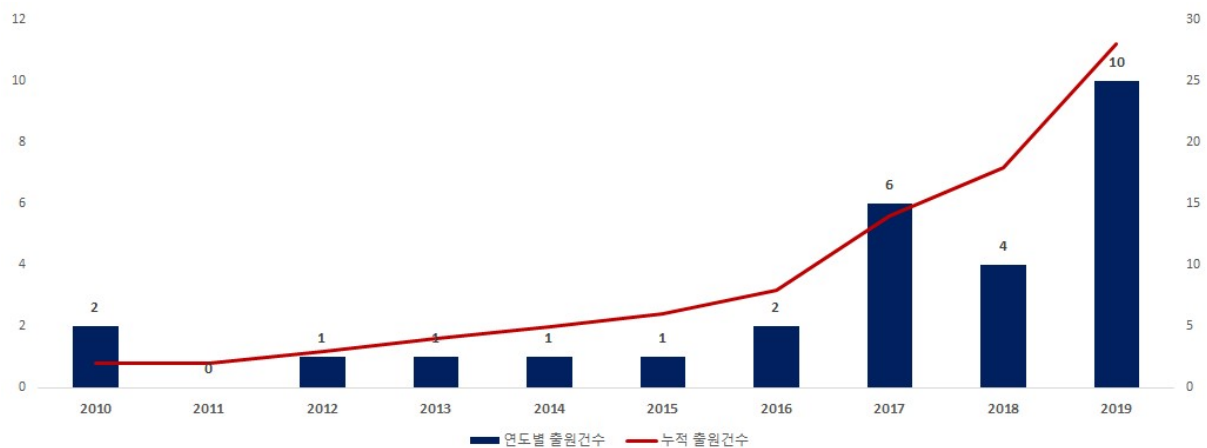
[그림 74] 일본의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수

- 중국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 391건으로 조사되었으며, 전반적으로 증가추세를 보이고 있으나 '19년엔 전년 대비 출원건수가 소폭 감소함



[그림 75] 중국의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수

- 한국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 28건으로 조사되었으며, 최근 '17년 6건을 출원해 전년대비 3배의 특허를 출원한 후 '19년 10건의 특허를 출원함

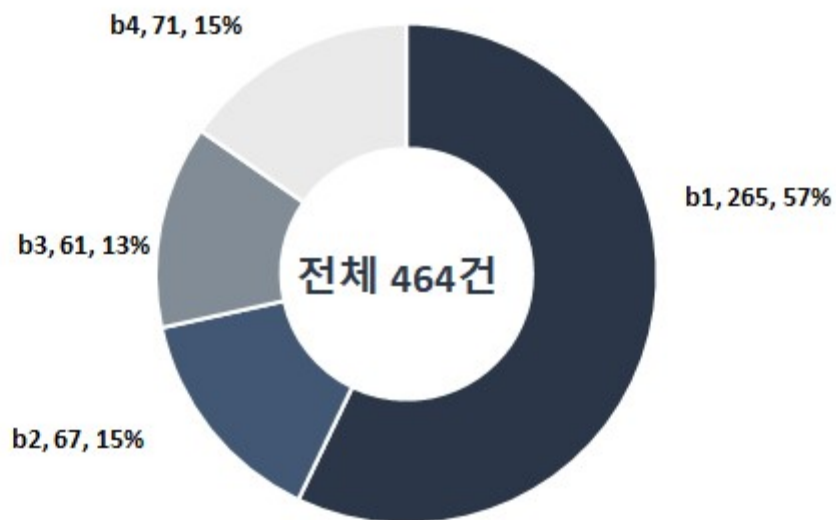


[그림 76] 한국의 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 특허 출원건수

(2) 기술분야별 출원 비중

□ 분석 대상 기간 동안 기술분야별 출원 비중 분석결과, B1의 출원 건수가 265건 (57%)로 가장 많은 것으로 나타남

○ 이어서 B4(71건, 15%), B2(67건, 15%) 순으로 나타남



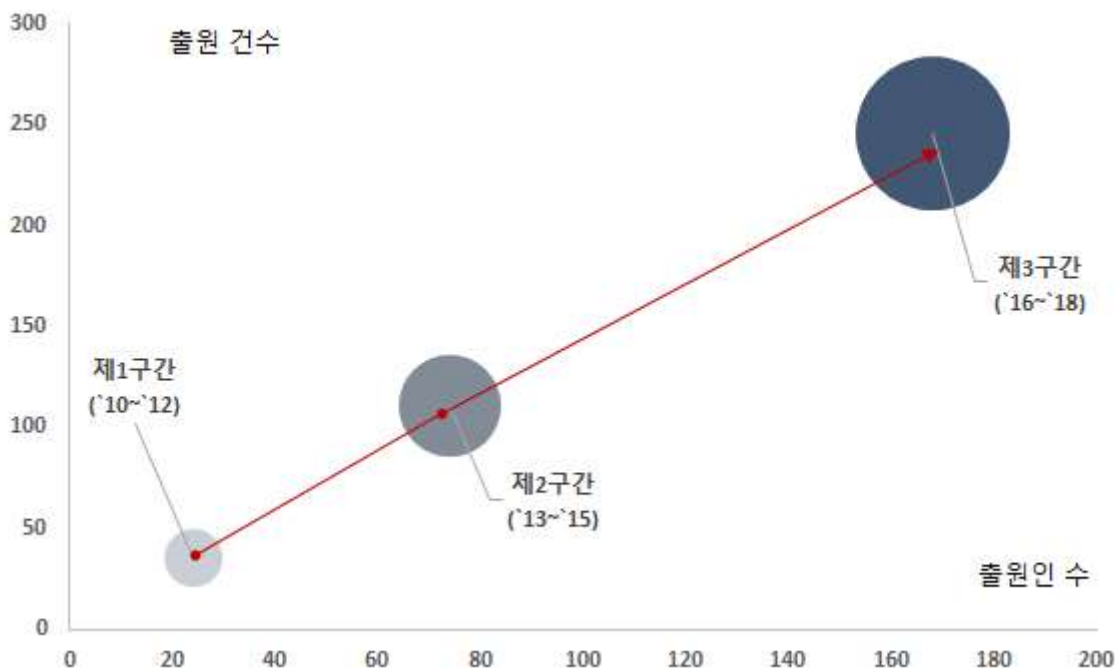
[그림 77] 기술분야별 출원 비중

- B1. AI 기반 하천 수위 예측기술
- B2. 물리기반 하천 수위 예측기술
- B3. 수위 예측을 위한 데이터리버(Data River) 구축 기술
- B4. 배수역 소유역간 연계모형

(3) 기술성장단계

□ 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야는 특허출원건수와 출원인수가 모두 증가하는 성장기 단계로 분석됨

○ 전체 특허청 총괄 분석 결과, 제2구간~제3구간('13~'17) 사이에서 출원인 및 출원건수가 급증한 것으로 나타남



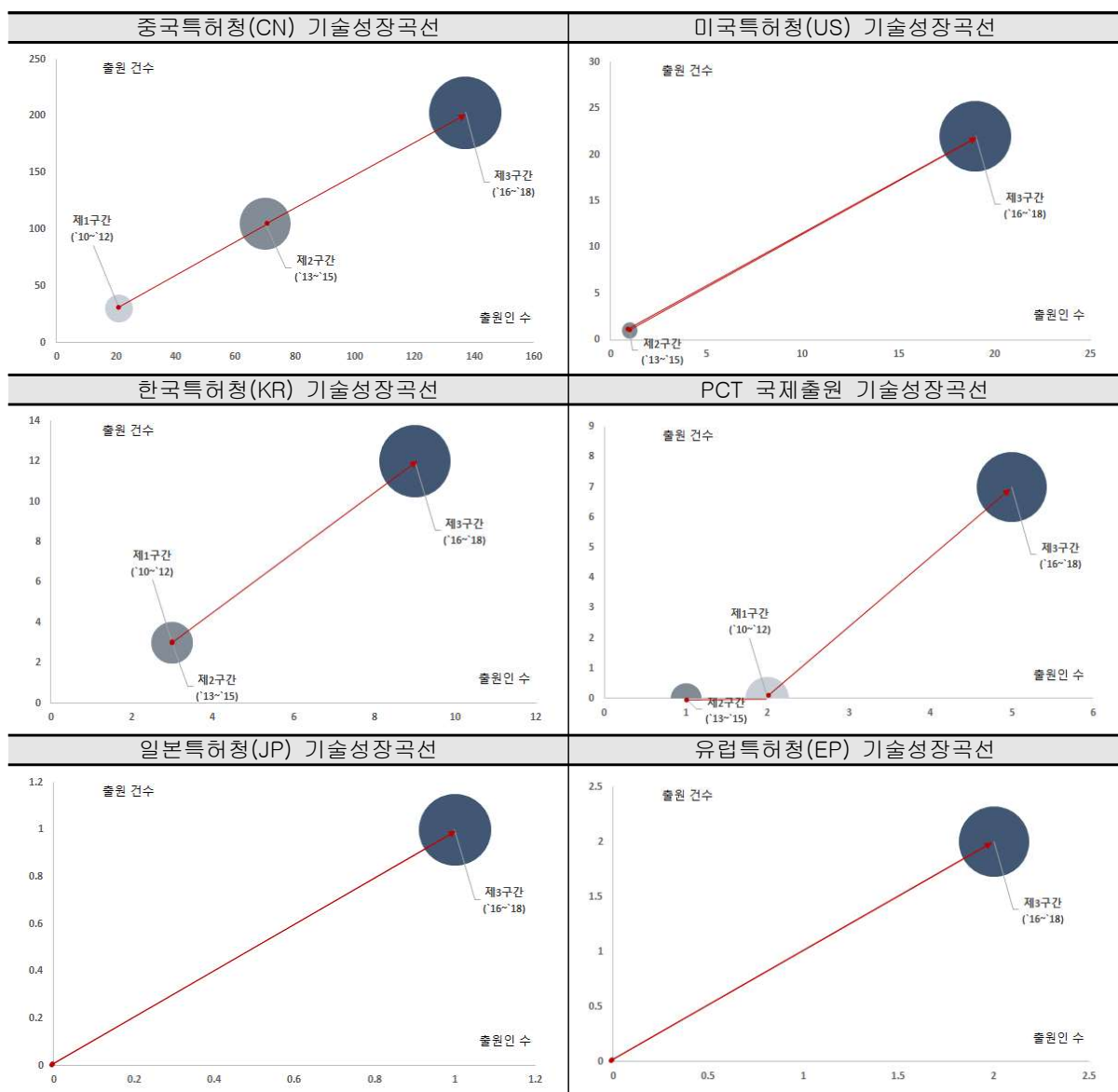
[그림 78] 기술성장곡선



[그림 79] 기술성장곡선 개요

○ 중국 특허의 경우 전구간에서 출원인 수와 출원건수가 급격히 늘어나는 성장기로 분석됨

- 미국 특허청의 경우 제2구간~제3구간 사이에서 출원인 수와 출원건수가 급격히 늘어나는 성장기로 분석됨
- 한국은 제2구간~제3구간 사이에서 출원건수와 출원인수가 급격히 증가하는 성장기 단계 사이에 위치하는 것으로 분석됨
- PCT 국제출원은 제1구간~제2구간에서는 출원인수가 감소하였지만, 제3구간에서 출원건수와 출원인수가 모두 급증하는 성장세를 보임
- 일본과 유럽 특허는 제 3구간에서만 출원활동이 일어남



[그림 80] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야의 국가별 기술성장곡선

(4) 상위출원인

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

□ 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 기술분야의 상위 12대 출원인 분석 결과, UNIV HOHAI(중국)가 가장 많은 26건을 출원함

○ 삼성전자주식회사는 9건을 출원하여 상위 12대 출원인에 포함됨



[그림 81] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 상위출원인

○ 상위 12위 중 중국 국적 출원인이 7개, 한국과 일본 국적 출원인이 각각 1개씩, 미국 국적 출원인이 3개 조사됨

<표 26> 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야의 상위 13대 출원인 특허 출원건수 분석

순 위	출원인명	B1	B2	B3	B4	총합계	국적
1	UNIV HOHAI	15		3	8	26	중국
2	UNIV WUHAN	14		4	7	25	중국
3	CN INST WATER RESOURCES & HYDR	6			9	15	중국
4	삼성전자주식회사		10			10	한국
5	Microsoft Technology Licensing, LLC		9			9	미국
6	UNIV CENTRAL SOUTH	1		6	2	9	미국
7	CHINA INST WATER RESOURCES & HYDROPOWER RES	4	1	1	2	8	중국
8	FUJIAN STRONG SOFTWARE CO LTD	7				7	중국
9	UNIV SHANDONG	5	1			6	미국
10	UNIV NANJING	2		4		6	중국
11	UNIV ZHEJIANG	5		1		6	중국
12	UNIV CHINA		1	1	4	6	일본

B1. AI 기반 하천 수위 예측기술

B2. 물리기반 하천 수위 예측기술

B3. 수위 예측을 위한 데이터리버(Data River) 구축 기술

B4. 배수역 소유역간 연계모형

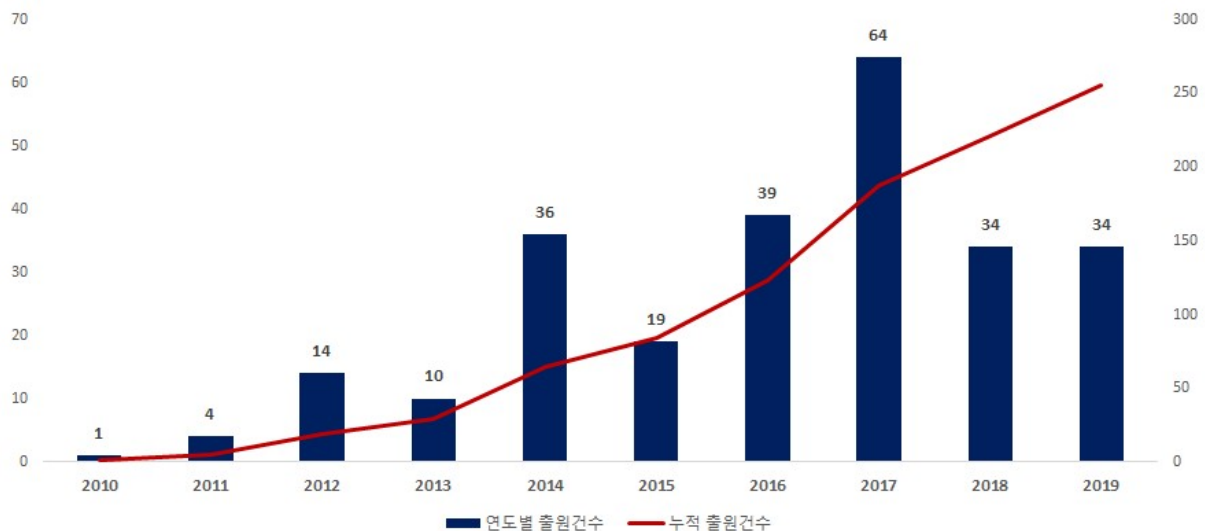
마. C. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술

(1) 특허 출원 추이

□ 10년 간 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술 관련 특허 건수는 지속적인 증가 추세를 보이는 것으로 분석됨

○ 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술 관련 특허는 분석 대상 기간 동안 총 255건이 출원됨

○ '15년 19건과 '17년 64건을 제외하고는 '14년 이후 연간 출원건수를 30건대에서 유지하고 있음

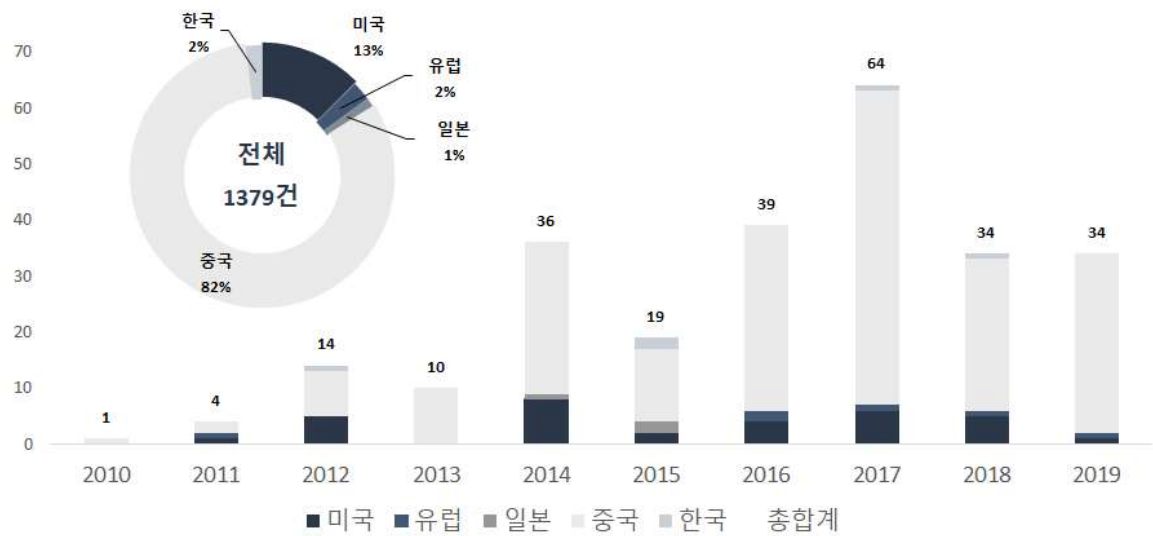


[그림 82] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야 연간 특허 출원건수

□ 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술 분야의 국가별 특허 출원건수 조사 결과, 중국(209건, 82%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남

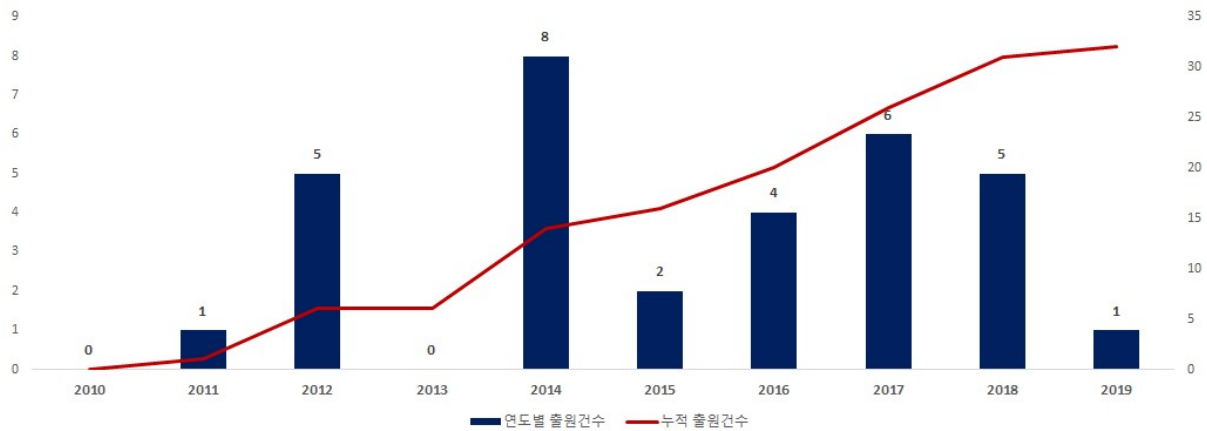
○ 중국 다음으로 미국(32건, 13%), 유럽(6건, 2%) 순으로 분석됨

○ 중국의 연간 특허 출원이 지속적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 한국의 경우 조사기간 중 5건의 특허를 출원한 것으로 나타남



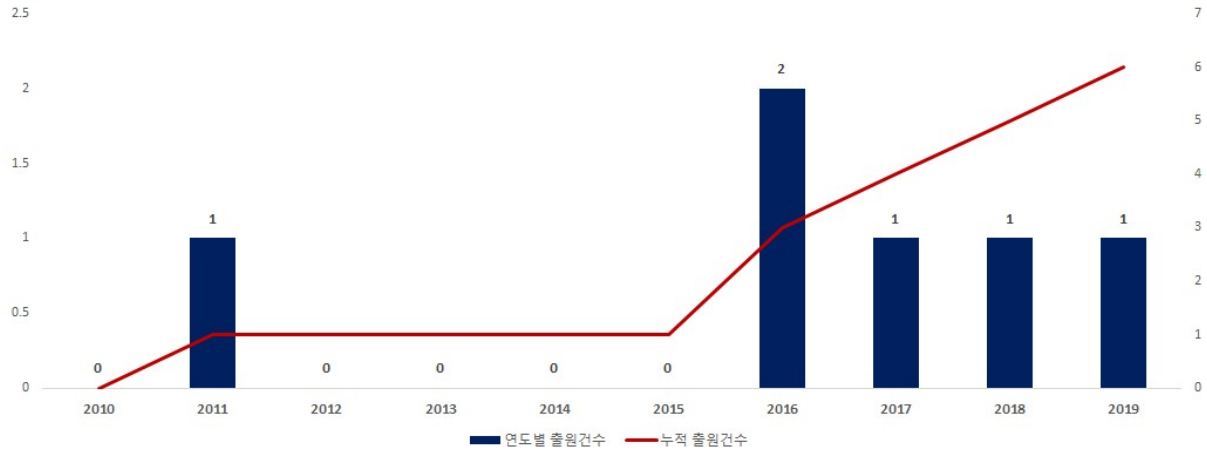
[그림 83] 국가별 특허 출원건수

- 미국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 32건으로 조사되었으며, '19년 1건으로 최근 출원이 저조함



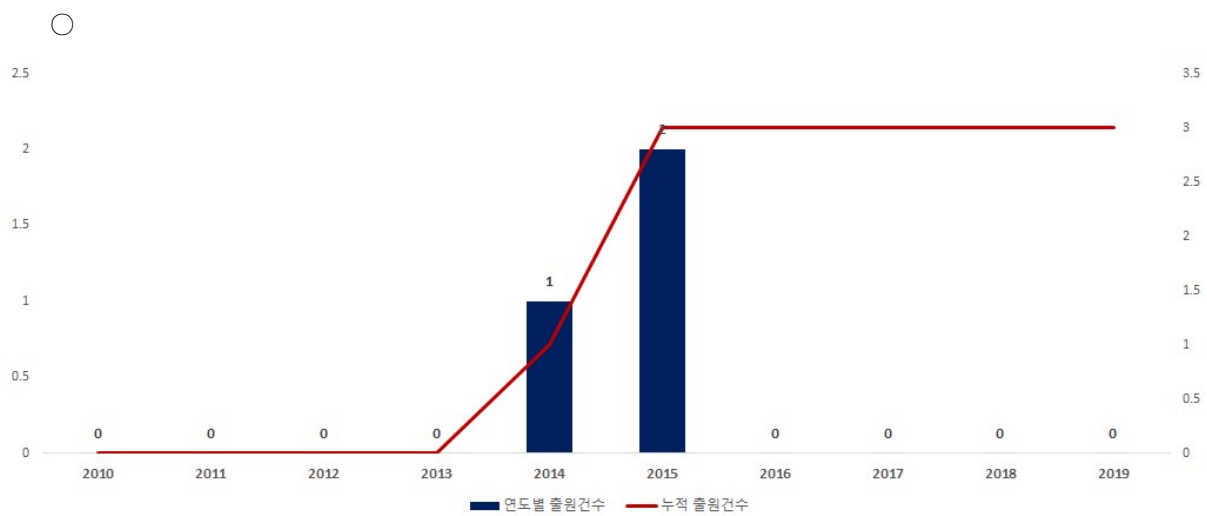
[그림 84] 미국의 특허 출원건수

- 유럽의 특허 출원건수는 분석 대상 기간동안 총 6건으로 조사되었으며, '12년부터 '15년까지는 한 건도 출원되지 않음



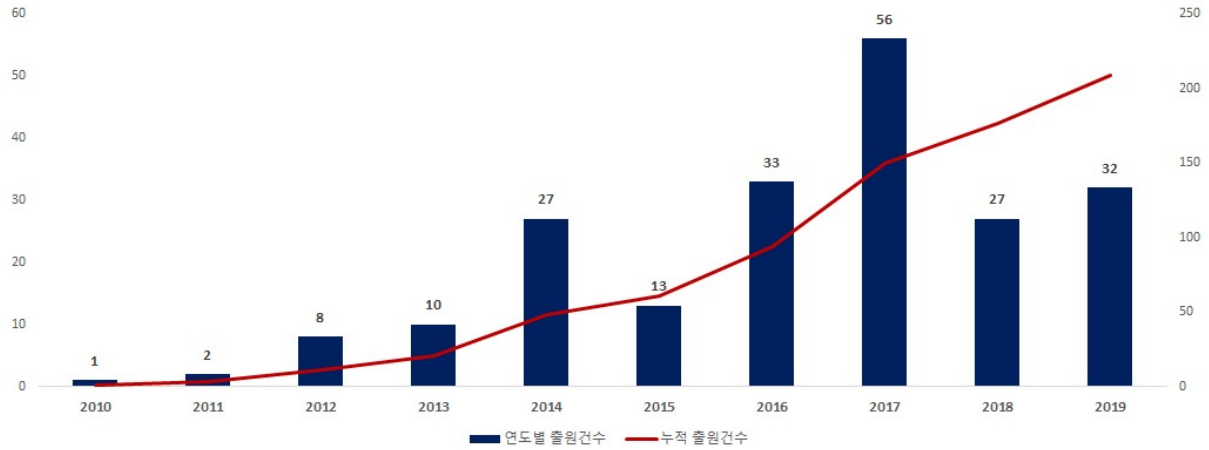
[그림 85] 유럽의 특허 출원건수

- 일본의 특허 출원건수는 분석 대상 기간동안 총 3건으로 조사되었으며, '14년 1건과 '15년 2건 외에는 출원되지 않음



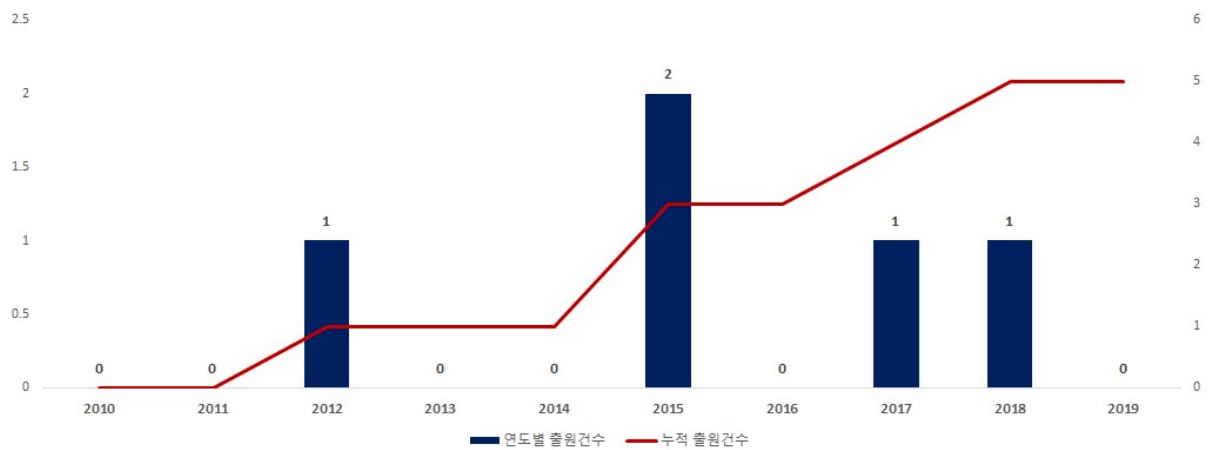
[그림 86] 일본의 특허 출원건수

- 중국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 209건으로 조사되었으며, '17년 56건을 출원한 이후 그 절반정도의 출원건수를 유지중임



[그림 87] 중국의 특허 출원건수

- 한국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 5건으로 조사되었으며, '12년, '17년, '18년 1건과 '15년 2건 외에는 출원되지 않음

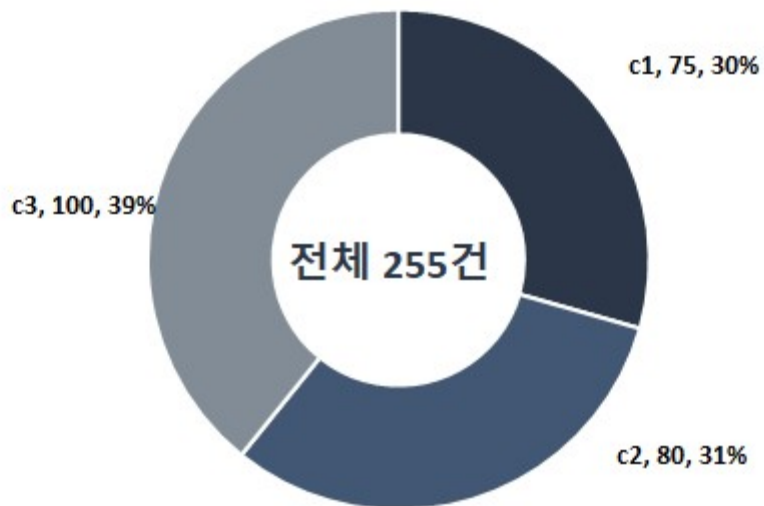


[그림 88] 한국의 특허 출원건수

(2) 기술분야별 출원 비중

□ 분석 대상 기간 동안 기술분야별 출원 비중 분석결과, C3의 출원 건수가 100건 (39%)로 가장 많은 것으로 나타남

○ 이어서 C2(80건, 31%), C1(75건, 30%) 순으로 나타남



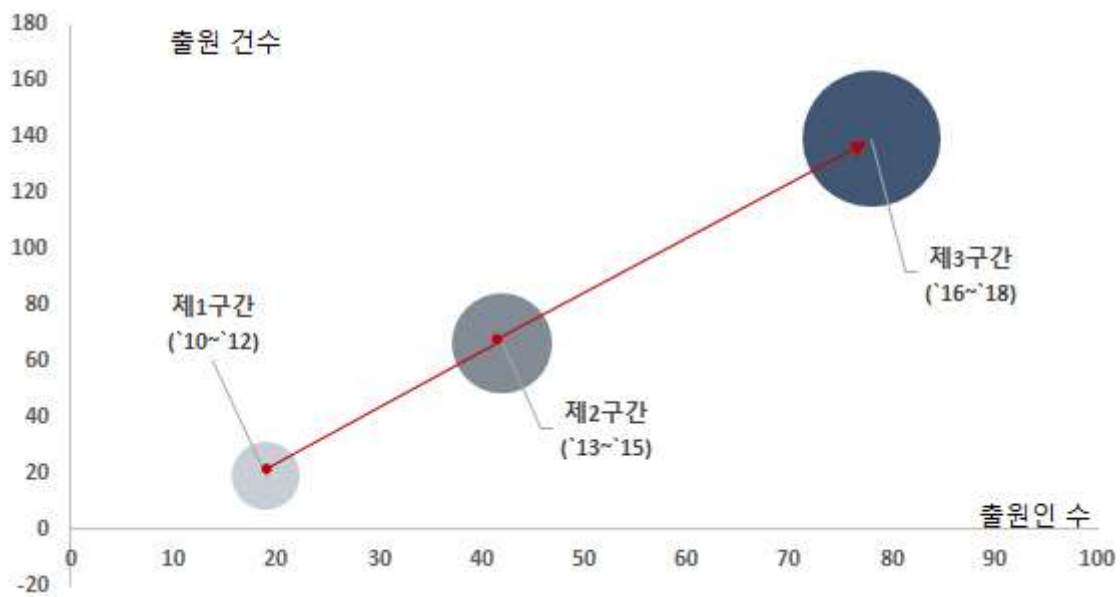
[그림 89] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야 기술분야별 출원 비중

- C1. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험
- C2. 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술
- C3. 적응형 의사결정 기법

(3) 기술성장단계

□ 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술 분야는 특허출원건수와 출원인수가 모두 증가하는 성장기 단계로 분석됨

○ 전체 특허청 총괄 분석 결과, 제2구간~제3구간('13~'19) 사이에서 출원인 및 출원건수가 급증한 것으로 나타남



[그림 90] 기술성장곡선



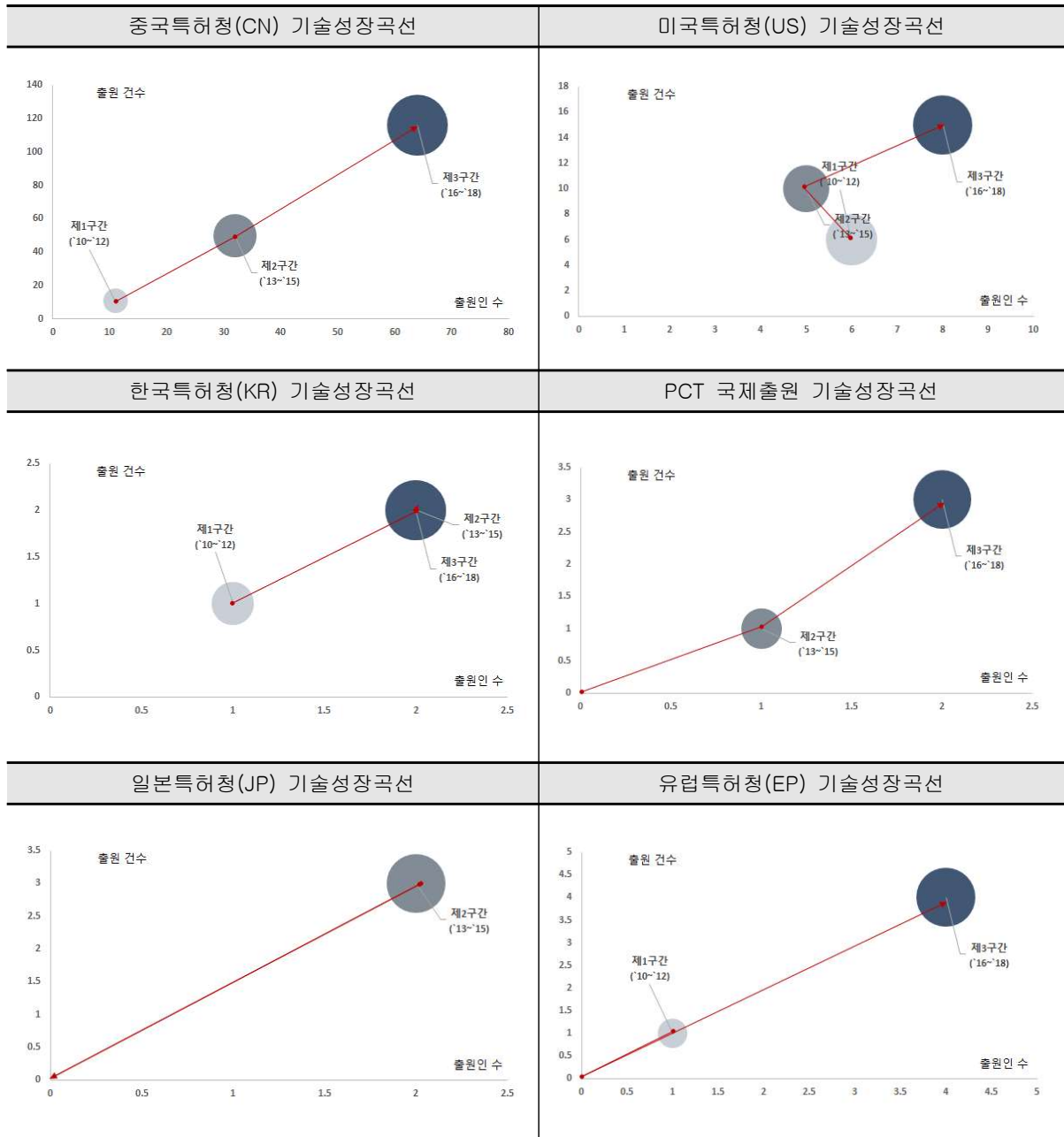
[그림 91] 기술성장곡선 개요

○ 중국 특허의 경우 전 구간에서 출원인 수와 특허 출원건수가 급격히 늘어나는 성장기로 분석됨

○ 미국 특허청의 경우 제1구간~제2구간에서 출원인수는 감소하였지만 출원건수가 증가하

였고, 제3구간에서는 출원인수와 출원건수가 모두 증가하는 성장기로 분석됨

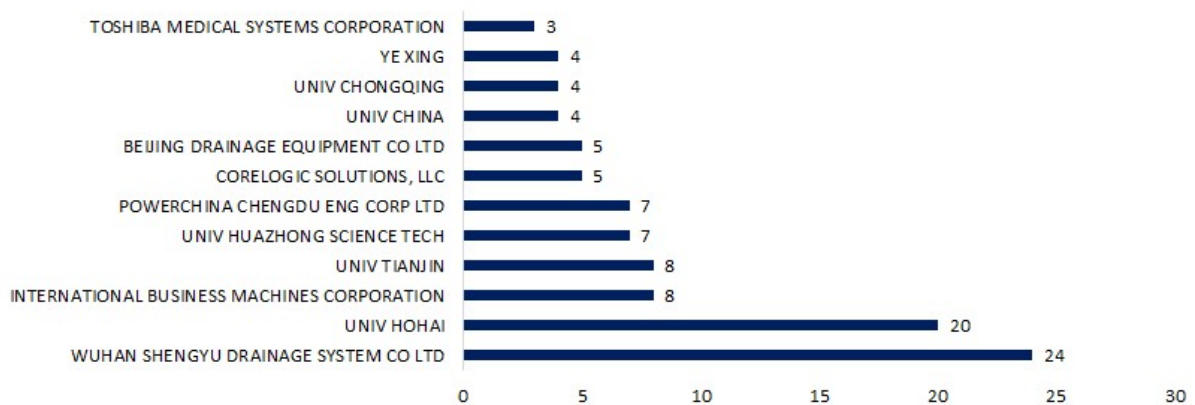
- 한국 특허의 경우 제1구간~제2구간에서는 성장하였으나, 제2구간~제3구간의 차이가 없어 성숙기로 분석됨
- PCT 국제출원은 제2구간~제3구간에서 비교적 급성장세가 관측되며, 성장기로 분석됨
- 일본 특허는 제2구간에서만 활동양상을 보이며 제3구간에서 쇠퇴기에 접어든 것으로 분석됨
- 유럽 특허는 제1구간~제2구간에서 쇠퇴기를 겪다 제3구간에서 회복한 것으로 분석됨



[그림 92] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술 분야의 국가별 기술성장곡선

(4) 상위출원인

- 상위출원인은 해당 분야에 대한 특허 출원을 누가 많이 했는지 살펴보기 위한 지표로, 어떤 사람이나 연구기관이 관련 연구개발을 활발히 진행하고 있는지를 파악하는데 목적이 있음
- 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술 기술분야의 상위 12대 출원인 분석 결과, WUHAN SHENGYU DRAINING SYSTEM CO LTD(중국)가 가장 많은 24건을 출원함



[그림 93] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야 상위출원인

- 상위 12위 중 중국 국적 출원인이 9개, 미국 국적 출원인이 2개, 일본 국적 출원인이 1개로 조사됨

[표 27] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술분야의 상위 13대 출원인 특허 출원건수 분석

순위	출원인명	C1	C2	C3	총합계	국적
1	WUHAN SHENGYU DRAINAGE SYSTEM CO LTD	6	18		24	중국
2	UNIV HOHAI	11	1	8	20	중국
3	INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION			8	8	미국
4	UNIV TIANJIN			8	8	중국
5	UNIV HUAZHONG SCIENCE TECH		1	6	7	중국
6	POWERCHINA CHENGDU ENG CORP LTD			7	7	중국
7	CORELOGIC SOLUTIONS, LLC			5	5	미국
8	BEIJING DRAINAGE EQUIPMENT CO LTD	5			5	중국
9	UNIV CHINA	2		2	4	중국
10	UNIV CHONGQING	2	2		4	중국
11	YE XING			4	4	중국
12	TOSHIBA MEDICAL SYSTEMS CORPORATION			3	3	일본

C1. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험

C2. 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술

C3. 적응형 의사결정 기법

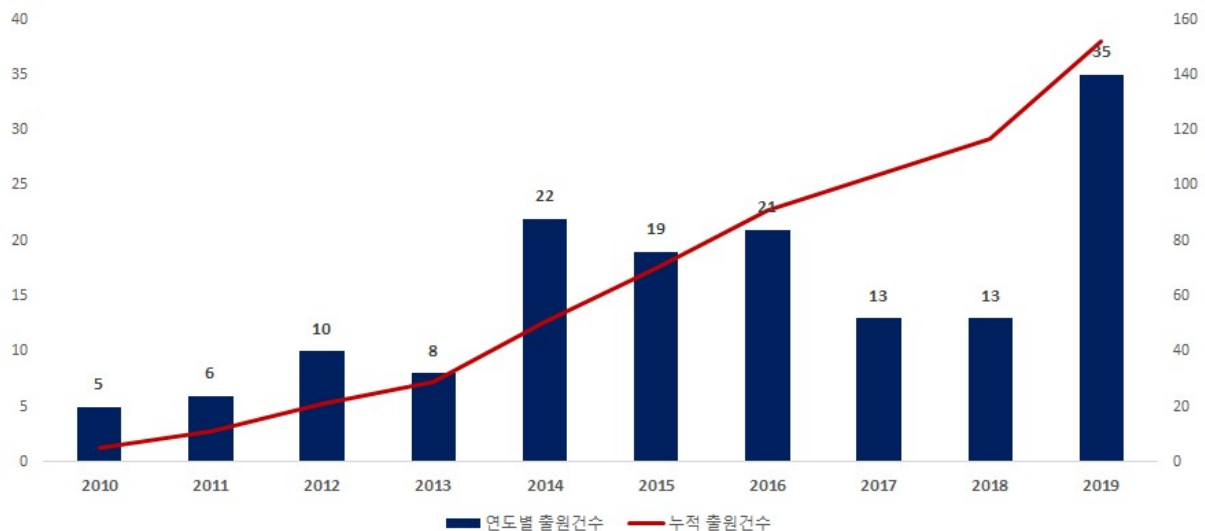
바. D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술

(1) 특허 출원 추이

□ 10년 간 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 관련 특허 건수는 지속적인 증가 추세를 보이는 것으로 분석됨

○ 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 관련 특허는 분석 대상 기간 동안 총 152건이 출원됨

○ '14년 연간 출원 건수가 20건을 넘은 뒤 정체기를 겪다 '19년 35건으로 조사 기간 중 가장 많은 특허가 출원됨

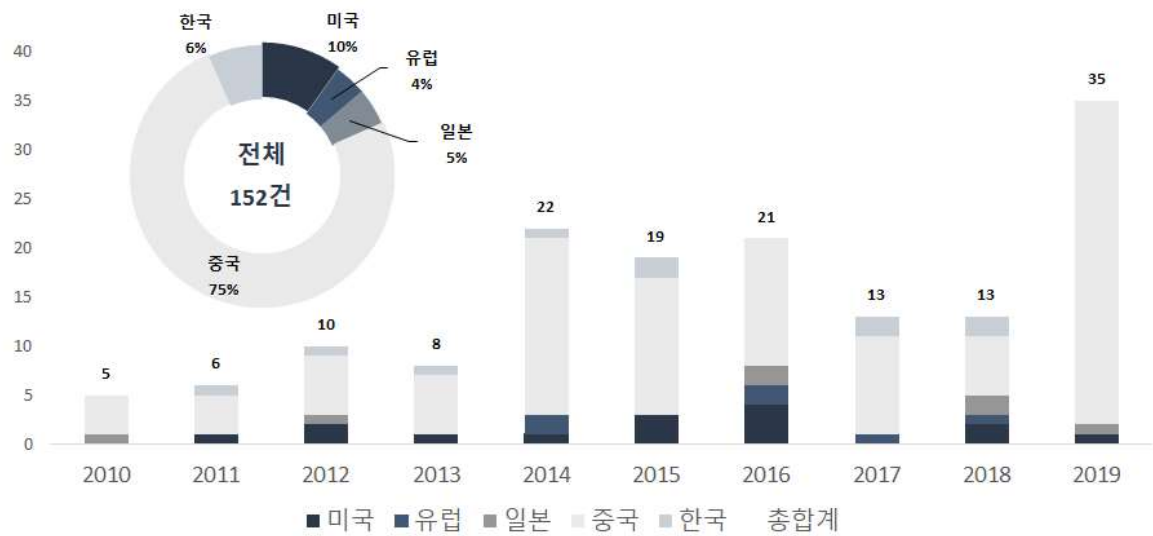


[그림 94] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 연간 특허 출원건수

□ 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야의 국가별 특허 출원건수 조사 결과, 중국(114건, 152%)이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타남

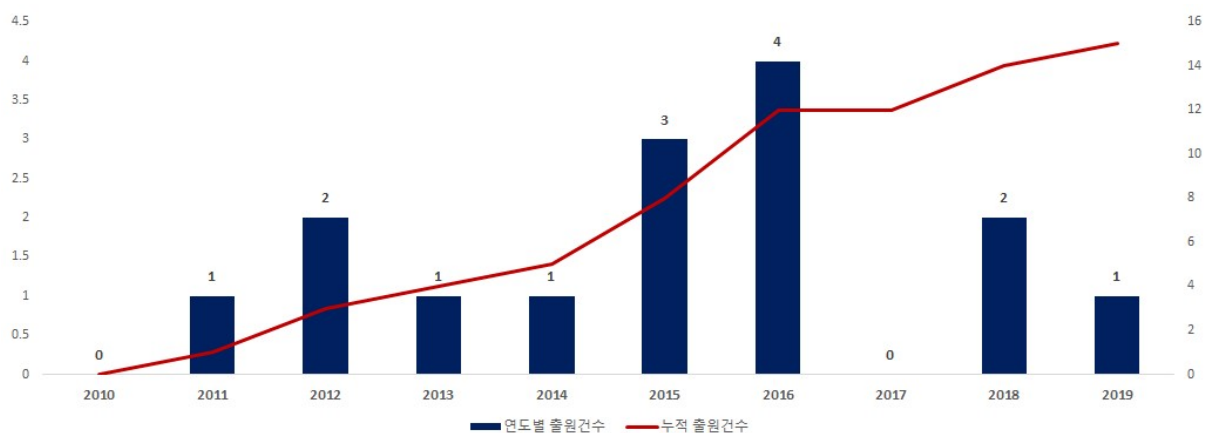
○ 중국 다음으로 미국(15건, 10%), 한국(10건, 6%) 순으로 분석됨

○ 중국의 연간 특허 출원이 지속적으로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 한국의 경우 분석 대상 기간 동안 일부 년도를 제외하고는 꾸준히 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남



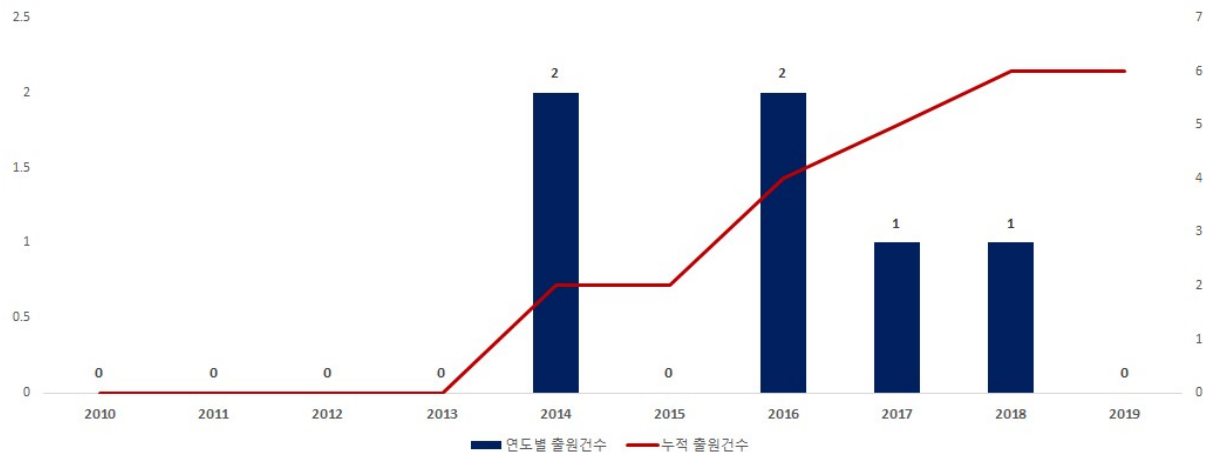
[그림 95] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 국가별 특허 출원건수

- 미국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 15건으로 조사되었으며, '16년까지는 전반적으로 증가하는 추세를 나타냈으나 이후 추세가 꺾임



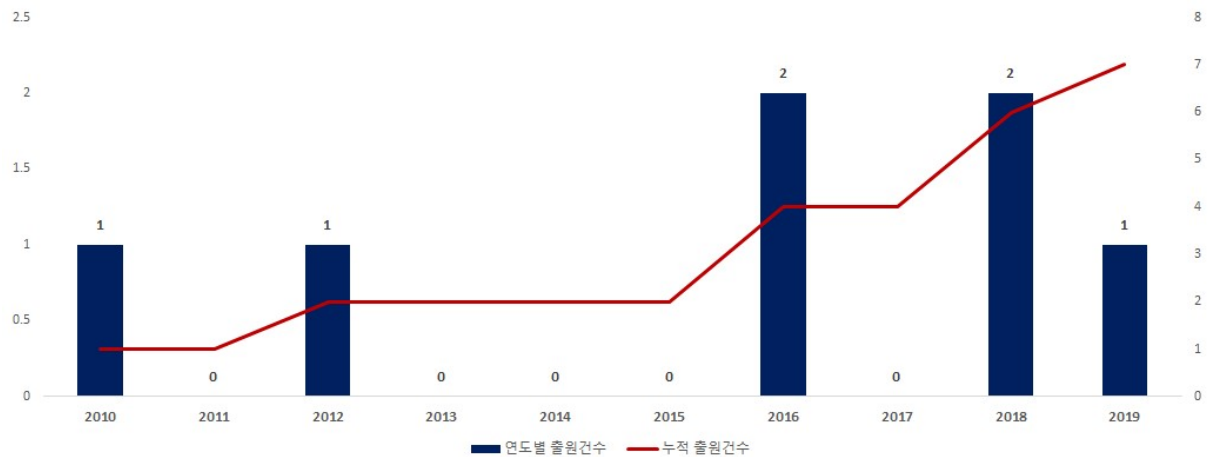
[그림 96] 미국의 특허 출원건수

- 유럽의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 6건으로 조사되었으며, '14년과 '16년에 각각 2건씩의 특허를 출원함



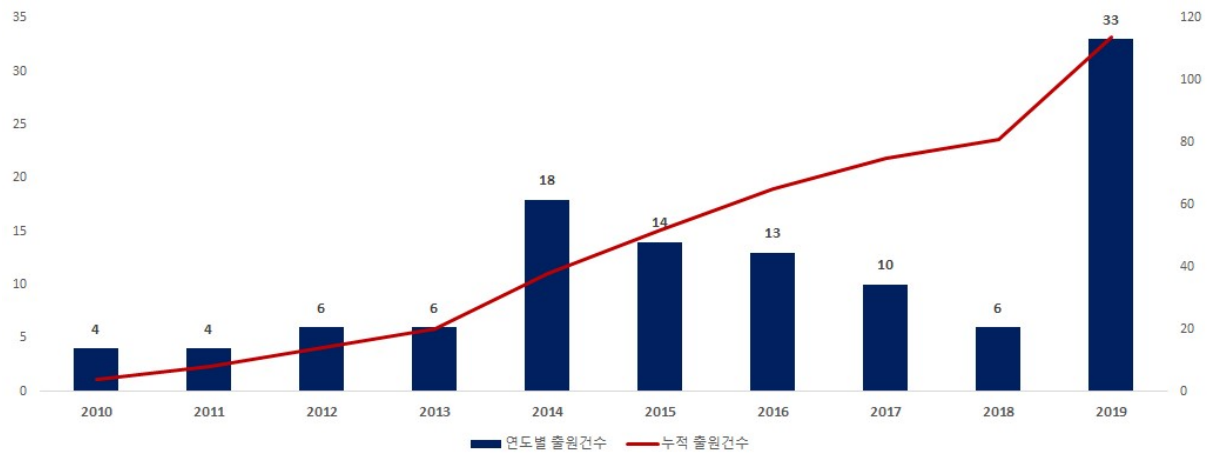
[그림 97] 유럽의 특허 출원건수

- 일본의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 7건으로 조사되었으며, 간헐적으로 특허를 출원하고 있는 것으로 보임



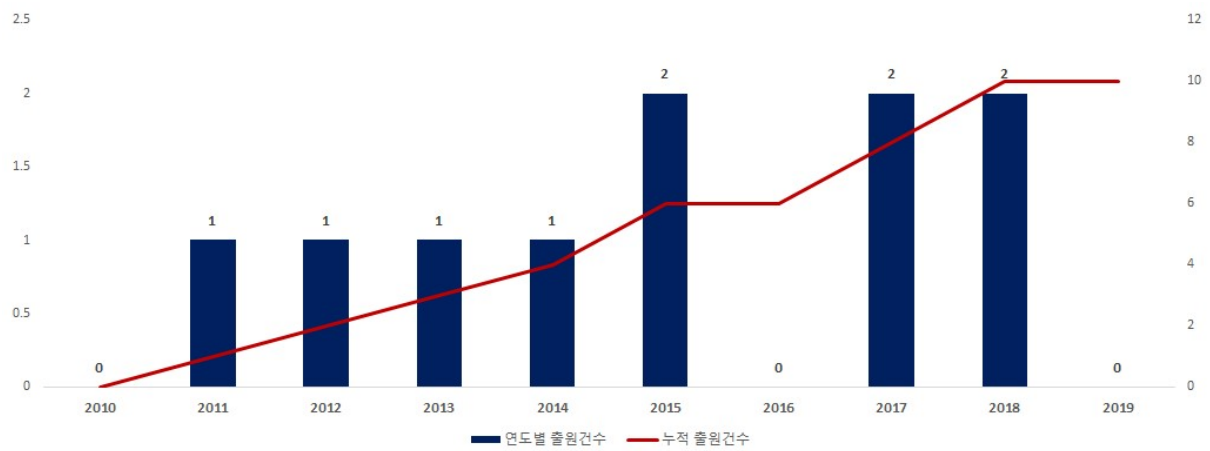
[그림 98] 일본의 특허 출원건수

- 중국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 114건으로 조사되었으며, '19년 33건의 특허를 출원하며 조사기간 내 가장 많은 특허를 출원함



[그림 99] 중국의 특허 출원건수

○ 한국의 특허 출원건수는 분석 대상 기간 동안 총 10건으로 조사되었으며, ‘16년과 ‘19년을 제외하고는 1~2건의 특허를 꾸준히 출원함

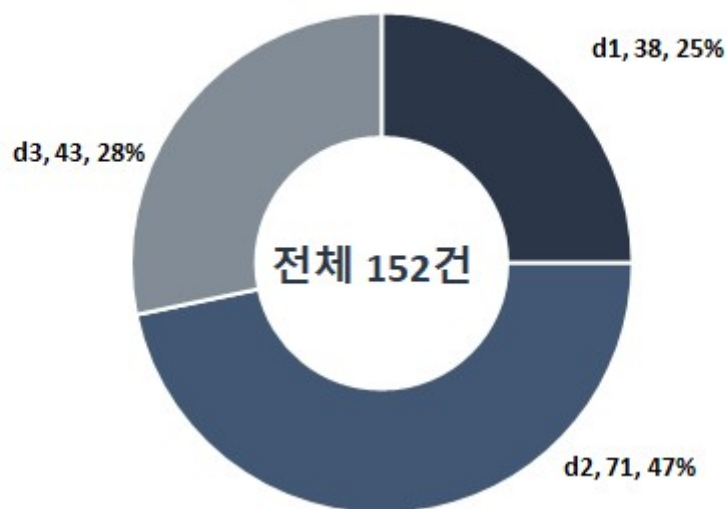


[그림 100] 한국의 특허 출원건수

(2) 기술분야별 출원 비중

□ 분석 대상 기간 동안 기술분야별 출원 비중 분석결과, D2의 출원 건수가 71건 (47%)로 가장 많은 것으로 나타남

○ 이어서 D3(43건, 28%), D1(38건, 25%) 순으로 나타남



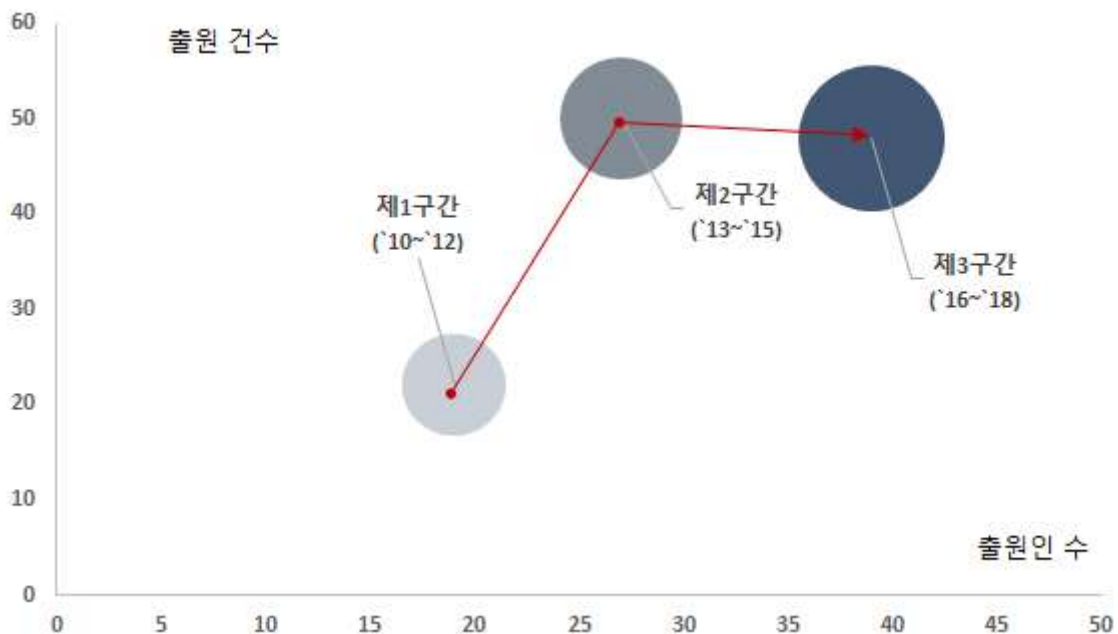
[그림 101] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 기술분야별 출원 비중

- D1. IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술
- D2. IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술
- D3. 배수시설 구조적 안정성 확보 기술

(3) 기술성장단계

□ 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야는 특허출원건수와 출원인수가 증가하는 성숙기 단계로 분석됨

○ 전체 특허청 총괄 분석 결과, 제1구간~제2구간('10~'15) 사이에서 출원인 및 출원건수가 급증하였으나 제3구간('16~'18)으로 접어들며 출원건수의 증가세가 꺾여 성숙기에 접어든 것으로 분석됨



[그림 102] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 기술성장단계



[그림 103] 기술성장곡선 개요

○ 중국 특허의 경우 제1구간~제2구간('10~'15) 사이에서 출원인 및 출원건수가 급증하였

으나 제3구간('16~'18)으로 접어들며 출원건수가 감소, 성숙기에 접어든 것으로 분석됨

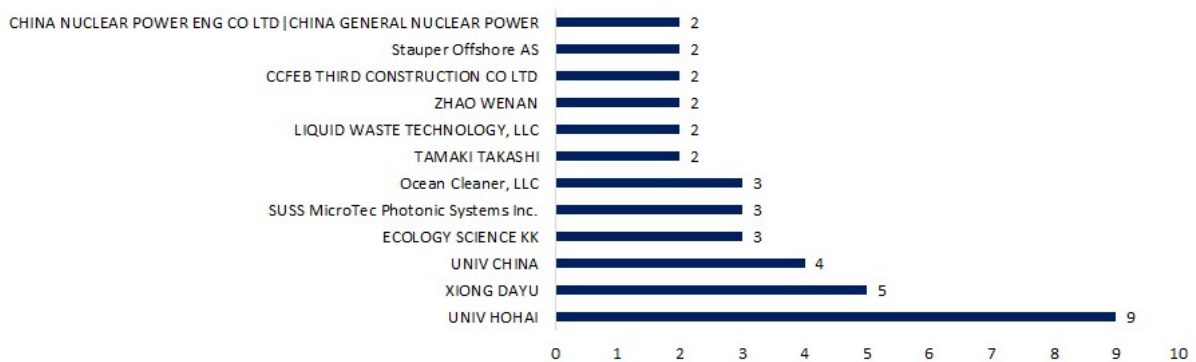
- 미국 특허청의 경우 전구간에서 출원인수와 출원건수가 증가하는 성장기로 분석됨
- 한국은 제1구간~제2구간에서 성장세를 보였으나 제2구간과 제3구간이 동일해 성숙/쇠퇴기에 접어든 것으로 분석됨
- PCT 국제출원은 출원인수가 고정된 상태로, 출원건수가 감소하다 증가하는 추세로 돌아서 아직 태동기에서 머무르는 것으로 분석됨
- 일본 특허는 제2구간에서 확인된 활동이 없으며, 제3구간에서 다시 출원건수와 출원인수가 늘어나는 것으로 태동기로 분석됨
- 유럽 특허는 출원인과 출원건수가 증가하는 성장기로 분석됨



[그림 104] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야의 국가별 기술성장곡선

(4) 상위출원인

- 상위출원인은 해당 분야에 대한 특허 출원을 누가 많이 했는지 살펴보기 위한 지표로, 어떤 사람이나 연구기관이 관련 연구개발을 활발히 진행하고 있는지를 파악하는데 목적이 있음
- 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 기술분야의 상위 12대 출원인 분석 결과, UNIV HOHAI(중국)가 가장 많은 9건을 출원함



[그림 105] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 상위출원인

- 상위 12위 중 중국 국적 출원인이 6개, 미국·일본 출원인 국적 출원인이 각각 4개, 2개씩 조사됨

[표 28] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야의 상위 13대 출원인 특허 출원건수 분석

순위	출원인명	D1	D2	D3	총합계	국적
1	UNIV HOHAI	1	8		9	중국
2	XIONG DAYU		5		5	중국
3	UNIV CHINA	4			4	중국
4	ECOLOGY SCIENCE KK			3	3	일본
5	SUSS MicroTec Photonic Systems Inc.			3	3	미국
6	Ocean Cleaner, LLC			3	3	미국
7	TAMAKI TAKASHI			2	2	일본
8	LIQUID WASTE TECHNOLOGY, LLC			2	2	미국
9	ZHAO WENAN		2		2	중국
10	CCFEB THIRD CONSTRUCTION CO LTD			2	2	중국
11	Stauper Offshore AS			2	2	미국
12	CHINA NUCLEAR POWER ENG CO LTD CHINA GENERAL NUCLEAR POWER		2		2	중국

D1. IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술

D2. IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술

D3. 배수시설 구조적 안정성 확보 기술

5절. 국내외 논문 동향

1. 분석 개요

☐ 목적

- 배수자동화 분야 기술개발추이, 최근 연구개발 동향 분석 등을 위해 논문게재 동향을 분석하여 동 사업의 추진방향 도출시 활용

☐ 분석대상

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

<표 29> 통합물관리 기술 논문분석 개요

분석대상	내용
기술	배수자동화 기술 4개 대분류 · 15개 중분류 기술
DATA	Thomson DB(Web of Science) 등재 논문
적용기간	발간일 기준 2009.1.1.~2019.12.31.
분석항목	논문 게재 추이, 분야별 게재비중
활용 DB	Thomson DB (www.thomsoninnovation.com)

☐ 관련 논문은 전문가의 의견을 바탕으로 특허 검색식과 동일하게 설정하고, Thomson의 검색엔진을 활용하여 검색함

- 배수자동화 논문 검색을 위한 대분류는 특허와 동일하게 '1. 홍수량 예측 기술', '2. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술', '3. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술', '4. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술'로 설정함

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

- 4개의 대분류는 홍수량 예측 기술, 스마트 운영을 위한 수위예측 기술, 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술, 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술로 구성됨

중점추진분야(대분류)	세부연구분야(중분류)	검색식
A. 홍수량 예측 기술	A1. 선행시간 3시간 확보를 위한 강우예측 정보 생산기술 개발	ALL=((("weather radar" or "rain radar") and ("Precipitation merging" or "data assimilation" or "Machine learning" or "deep learning" or "Convolutional Neural Network" or "quantitative precipitation forecast" or QPF or "precipitation forecasting" or "precipitation prediction" or "numerical weather prediction")));TF<=2010 and>=2019;
	A2. 외수 유량 산정	ALL=((("Flood routing" or "Rainfall-runoff simulation" and "Data-driven flood forecast" and "Flood warning system" and "Storage function method")));TF<=2010 and>=2019;
	A3. CPS 기반 배수구역 홍수 모의	ALL=((("flood simulation" and ("cyber physical systems" or "Digital twins" or "geographic imagery")) or ("Flood model" or "Physics based Integrated hydrological-hydraulic" or "paddy area")));TF<=2010 AND>=2019;
	A4. 빅데이터를 활용한 침수예측	all=("Flood Inundation" and (("Hydrologic" and "hydraulic" and "Model") or "mapping") or ("flood inundation" and ("big data" or "deep learning")));TF<=2010 AND>=2019;
	A5. 정보전이를 활용한 미계측구역 예측기술	all=((("Hydrologic Variable Regionalization") or ("Satellite" and "flooded area detection") or ("Radar" and "rainfall" and "downscaling") or ("Geomorphology" and "hydrograph") or ("Deep-learning" and "land parameteriz*")));tf<=2010 AND>=2019;
B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술	B1. 시 기반 하천 수위 예측기술	all=((("water level" and "forecast" and "real time") or "Model fusion technology" or ("AI" and "water level" and "forecast") or ("Water level" and "data generation" and "technology") or ("Small data" and "water level")));tf<=2010 AND>=2019;
	B2. 물리 기반 하천 수위 예측기술	all=((("hydraulic" and "fidelit*" and "technology") or "tensor processing unit" or "hydraul* performance graph" or "Data Assimilation" and "Artificial" and "Neural Network") or ("superfast" and "water stage" and "prediction")));tf<=2010 AND>=2019;
	B3. 수위 예측을 위한 데이터리버(data river) 구축 기술	all=((("Data" and "River") AND ("Digital Sieve" OR "Data Fusion" OR "Data Forensic")));tf<=2010 AND>=2019;
	B4. 배수역 소유역간 연계모형	all=("flood" and ("Data Assimilation" or "Parameter calibration" or "Ensemble repair analysis" or ("Data-based" and "prediction")));tf<=2010 AND>=2019;
C. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	C1. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험	all=((("smart" OR "real time") and ("flood" and "control" and "system")) or ("Integration" and "system" and "real time" and "data" and "forecast")));tf<=2010 AND>=2019;
	C2. 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술	all=((("smart" OR "real time") and ("flood" and "control" and "system")) or ("Integration" and "system" and "real time" and "data" and "forecast") or ("automated" and "drainage system") or "drainage effect analysis" or ("integrated" and "flood" and "management system")));tf<=2010 AND>=2019;
	C3. 적응형 의사결정 기법	all=("flood" and "algorithm" and ("Adaptive decision making" or "Ensemble scenarios" or "Decision making algorithm" or "Flood risk reduction" or "Water retention measures" or "Life-cycle management" or "risk analysis" or "flood map" or "multi-criteria decision")));tf<=2010 AND>=2019;
D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술	D1. IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술	all=((("Multi-spectral" and "image" and "river" and "survey") or ("big data" and "hydraul*") or ("IoT" and "sens*" and "hydraul*" and "hydrolog*") or ("river" and "sens*" and "iot") or ("water" and "sens*" and "iot")));tf<=2010 AND>=2019;
	D2. IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술	all=("water" and "sens*" and ("remote control" or "automatic control" or "unmanned full automation" or "smart flood control" or "automatic sliding gate control" or "strain sensing using fiber optics" or "seepage flow monitoring" or "vertical and lateral displacement sensor" or "progressive slope failure" or "blowout" or ("Potential Failure Modes Analysis" or "PFMA"))));tf<=2010 AND>=2019;
	D3. 배수시설 구조적 안정성 확보 기술	all=("water" and (("debris" and "control" and "removal") or ("smart levee" or ("monitoring" and "scour" and "deposition" and "water gate")));tf<=2010 AND>=2019;

2. 분석 결과

가. 총괄 분석

□ (논문게제추이) 배수자동화 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 전반적으로 증가 추세를 보이고 있음

○ 전반적으로 증가 추세를 보이고 있으며, '16년에 전년대비 소폭 하락한 이후 지속적 상승 그래프를 그리고 있음

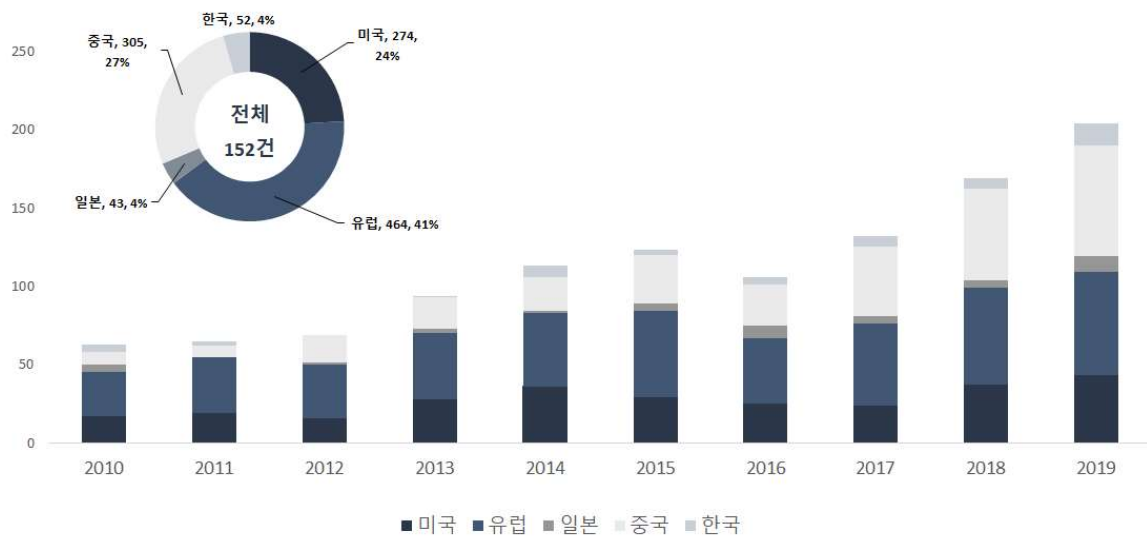


[그림 106] 연도별 논문 게재건수

□ (국가별현황) 국가별 배수자동화 관련 논문 게재 건수는 유럽,미국,중국,한국,일본 순으로 나타남

○ 유럽이 464건(41%)로 가장 많은 논문을 게재하였으며 다음으로 중국이 305건(27%)를 게재함

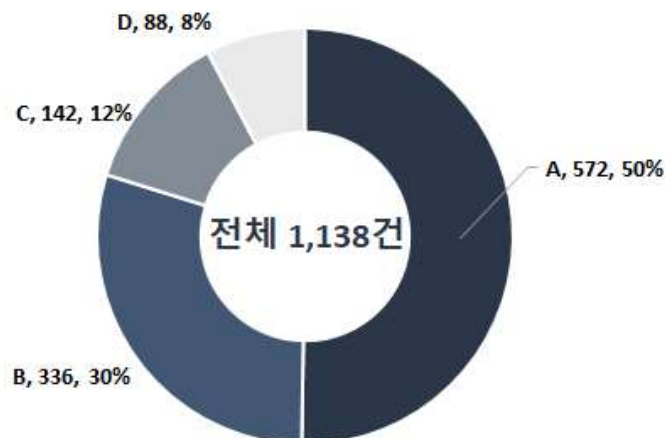
○ 한국의 총 논문 게재 건수는 분석 대상 기간 동안 52건으로 조사되었으며, '12년을 제외하고 매 년 꾸준히 논문을 게재함



[그림 107] 국가별 논문 게재건수

□ (기술분야별) 배수자동화 분야의 최근 10년 간 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

나. A. 홍수량 예측 기술

□ (논문게제추이) 홍수량 예측 기술 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 전반적으로 증가 추세를 보이고 있음

○ '19년 96건의 논문이 게재되었으며, 분석 대상 기간 동안 가장 많은 논문이 게재됨

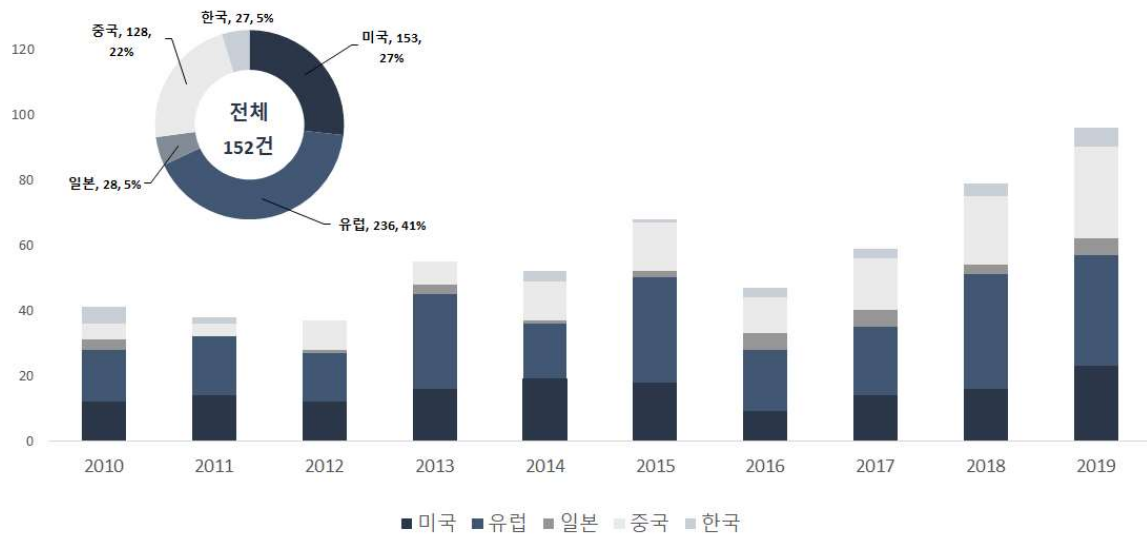


[그림 109] 홍수량 예측 기술 분야 연도별 논문 게재건수

□ (국가별현황) 국가별 홍수량 예측 기술 관련 논문 게재 건수는 유럽,미국,중국,일본,한국 순으로 나타남

○ 유럽이 236건(41%)로 가장 많은 논문을 게재하였으며 다음으로 미국이 153건(27%)를 게재함

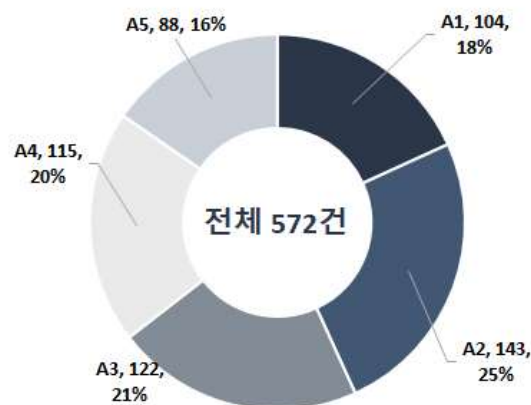
○ 한국의 총 논문 게재 건수는 분석 대상 기간 동안 27건으로 조사되었으며, '12년과 '13년을 제외하고는 꾸준히 논문을 게재함



[그림 110] 홍수량 예측 기술분야 국가별 논문 게재건수

□ (기술분야별) 홍수량 예측 기술 분야의 최근 10년 간 중분류 기술분야별 게재 비중 분석 결과, ‘A2’ 분야에서 가장 많은 143건(25%)의 논문이 게재되고 있음

○ ‘A3’ 분야의 경우 122건(21%)의 논문이 게재되었으며, ‘A5’ 분야에서는 가장 적은 88건(16%)의 논문이 게재됨



[그림 111] 홍수량 예측 기술분야 기술분야별 논문 게재건수

- A1. 선행시간 3시간 확보를 위한 강우예측 정보 생산기술 개발
- A2. 외수 유량 산정
- A3. CPS 기반 배수구역 홍수 모의
- A4. 빅데이터를 활용한 침수예측
- A5. 정보전이를 활용한 미계측유역 예측기술

다. B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술

□ (논문게제추이) 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 전반적으로 증가 추세를 보이고 있음

○ '19년 53건의 논문이 게재되었으며, 분석 대상 기간 동안 가장 많은 논문이 게재됨

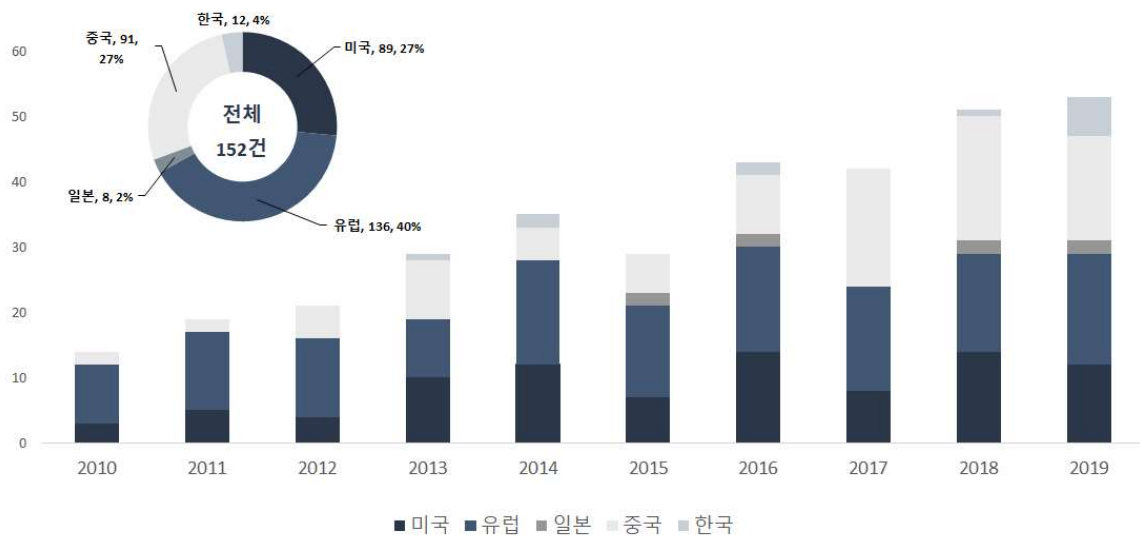


[그림 112] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 연도별 논문 게재건수

□ (국가별현황) 국가별 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 관련 논문 게재 건수는 유럽,중국,미국,한국,일본 순으로 나타남

○ 유럽이 136건(40%)로 가장 많은 논문을 게재하였으며 다음으로 중국이 91건(27%)를 게재함

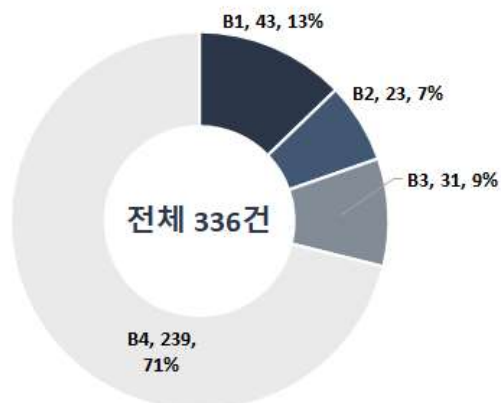
○ 한국의 총 논문 게재 건수는 분석 대상 기간 동안 12건으로 조사되었으며, '19년 6건의 논문을 게재하며 전체 조사기간 중 절반의 논문이 게재됨



[그림 113] 국가별 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 논문 게재건수

□ (기술분야별) 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야의 최근 10년 간 중분류 기술 분야별 게재 비중 분석 결과, ‘B4’ 분야에서 가장 많은 239건(71%)의 논문이 게재되고 있음

○ ‘B1’ 분야의 경우 43건(13%)의 논문이 게재되었으며, ‘B2’ 분야에서는 가장 적은 23건(7%)의 논문이 게재됨



[그림 114] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 기술분야별 논문 게재건수

- B1. AI 기반 하천 수위 예측기술
- B2. 물리기반 하천 수위 예측기술
- B3. 수위 예측을 위한 데이터리버(Data River) 구축 기술
- B4. 배수역 소유역간 연계모형

라. C. 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술

□ (논문게재추이) 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 전반적으로 증가 추세를 보이고 있음

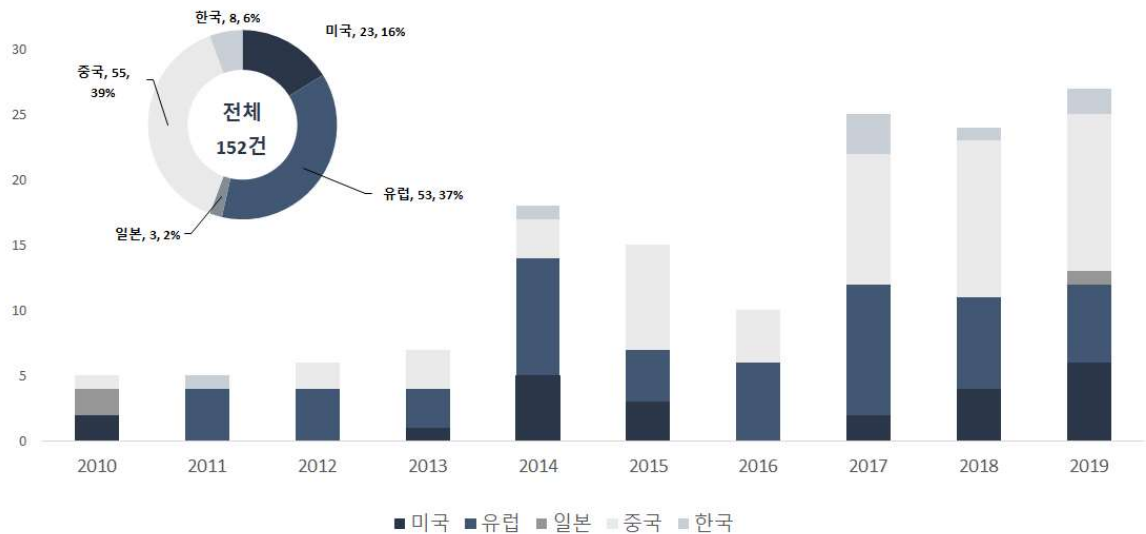
○ '14년 이후 소폭 감소하다 '17년 전년대비 2배가 넘는 수의 논문이 게재되었으며, '19년 분석 대상 기간 중 가장 많은 수의 논문이 게재됨



[그림 115] 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술분야 연도별 논문 게재건수

□ (국가별현황) 국가별 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술 관련 논문 게재 건수는 중국,유럽,미국,한국,일본 순으로 나타남

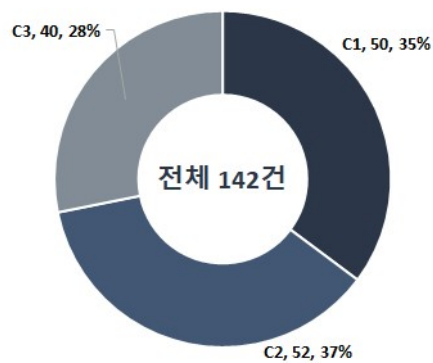
- 중국이 55건(39%)로 가장 많은 논문을 게재하였으며 다음으로 유럽이 53건(37%)을 게재함
- 한국의 총 논문 게재 건수는 분석 대상 기간 동안 8건으로 조사되었으며, '17년 3건의 논문을 게재한 것이 분석 대상 기간 중 가장 많은 수의 논문을 게재한 것으로 조사됨



[그림 116] 국가별 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술분야 논문 게재건수

□ (기술분야별) 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술분야의 최근 10년 간 중분류 기술분야별 게재 비중 분석 결과, ‘C2’ 분야에서 가장 많은 52건(37%)의 논문이 게재되고 있음

○ ‘C1’ 분야의 경우 50건(35%)의 논문이 게재되었으며, ‘C3’ 분야에서는 가장 적은 40건(28%)의 논문이 게재됨



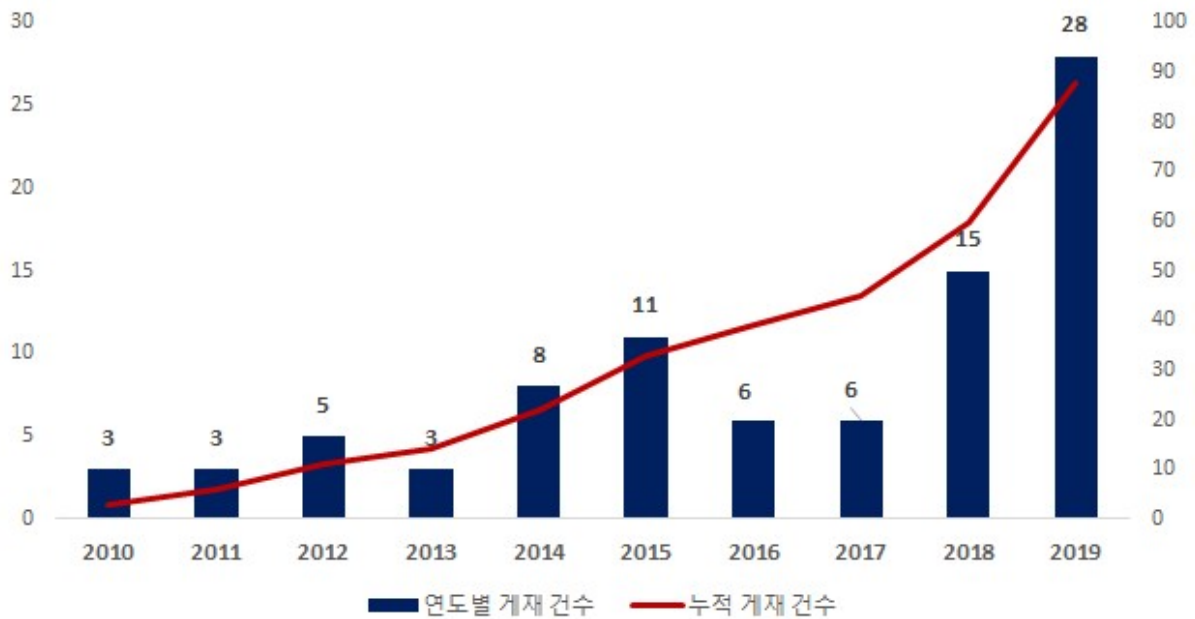
[그림 117] 스마트 통합플랫폼 구축 및 운영 기술분야 기술분야별 논문 게재건수

- C1. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험
- C2. 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술
- C3. 적응형 의사결정 기법

마. D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술

□ (논문게제추이) 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 전반적으로 증가 추세를 보이고 있음

○ ‘19년 분석 대상 기간 중 가장 많은 수의 논문(28건)이 게재됨

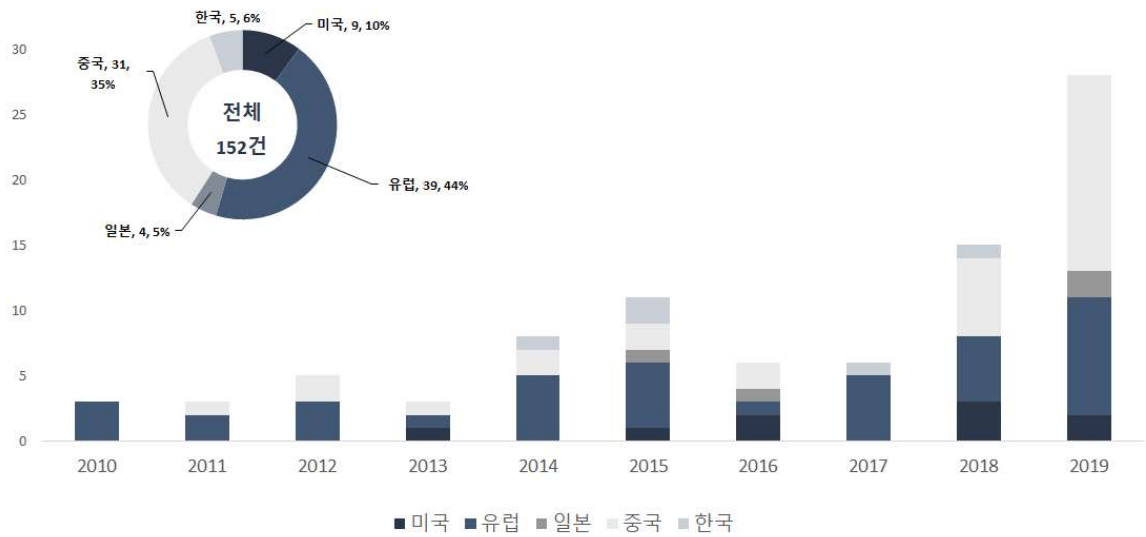


[그림 118] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 연도별 논문 게재건수

□ (국가별현황) 국가별 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 관련 논문 게재 건수는 유럽,중국,미국,한국,일본 순으로 나타남

○ 유럽이 39건(44%)로 가장 많은 논문을 게재하였으며 다음으로 중국이 31건(35%)을 게재함

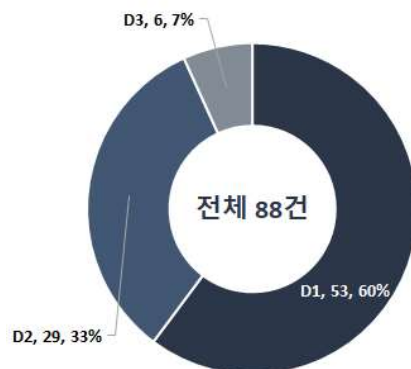
○ 한국의 총 논문 게재 건수는 분석 대상 기간 동안 5건으로 조사되었으며, ‘14년부터 ‘18년까지 1~2개의 논문을 게재함



[그림 119] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 국가별 논문 게재건수

□ (기술분야별) 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야의 최근 10년 간 중분류 기술분야별 게재 비중 분석 결과, ‘D1’ 분야에서 가장 많은 53건(60%)의 논문이 게재되고 있음

○ ‘D2’ 분야의 경우 29건(33%)의 논문이 게재되었으며, ‘D3’ 분야에서는 가장 적은 6건(7%)의 논문이 게재됨



[그림 120] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 기술분야별 논문 게재건수

- D1. IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술
- D2. IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술
- D3. 배수시설 구조적 안정성 확보 기술

6절. 기술수준조사

1. 개요

- 동 사업의 범위에 맞는 기술 분야의 국내 기술수준을 확인하기 위해 자체적으로 관련 전문가 대상 델파이 조사를 실시하여 최고기술보유국 대비 국내 기술 수준 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
 - 배수자동화 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 변동계수⁶⁸⁾가 0.5 이하를 만족함에 따라 2차 설문조사에 조사 종료

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

- 기술별로 표본크기 $n=10$ 이상이면, 결과값에 미치는 영향은 통계적으로 제한적인 것으로 인정(2015 기술수준평가, KISTEP)되므로 동사업의 기술수준조사의 표본수는 충분한 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

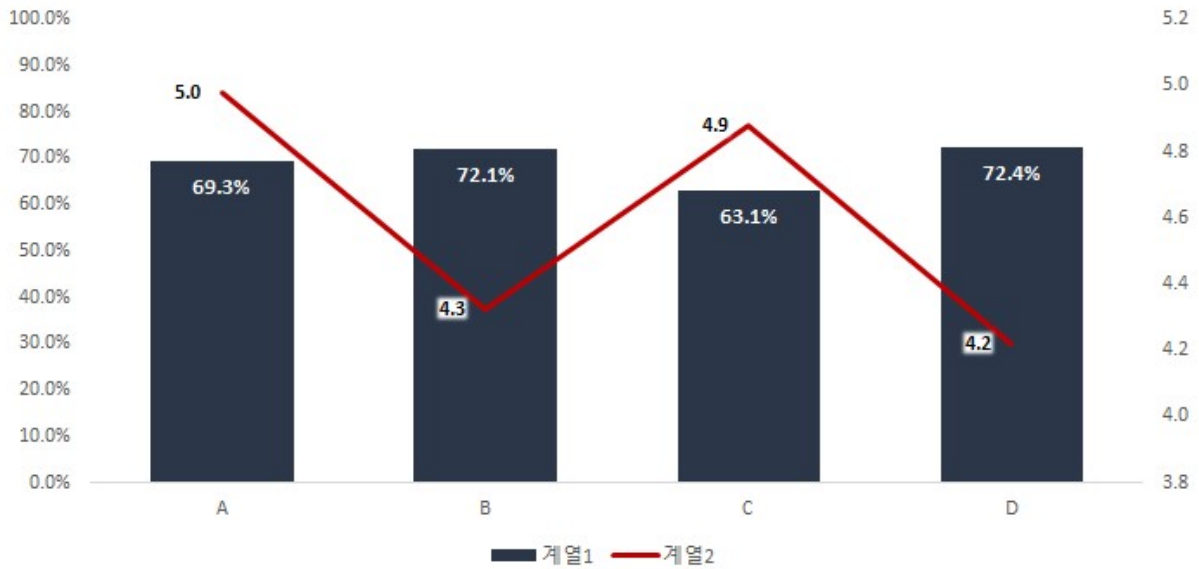
- (기술범위) “홍수량 예측”, “수위예측”, “스마트 통합플랫폼 구축 및 운영”, “구조적 안정성 확보 및 성능유지” 총 4가지 기술

2. 기술수준분석 결과

가. 총괄 분석

□ (총괄 결과) ‘21년 배수자동화 분야에 대한 기술수준 조사 결과 현재 최고기술국은 미국으로, 국내 기술수준은 최고기술국 대비 평균 69.2% 수준

- 세계 최고 기술 보유국은 미국으로, 우리나라와의 기술격차는 4.6년으로 조사됨
- 4개 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, 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야의 기술격차가 4.3년으로 가장 작은 것으로 조사됨



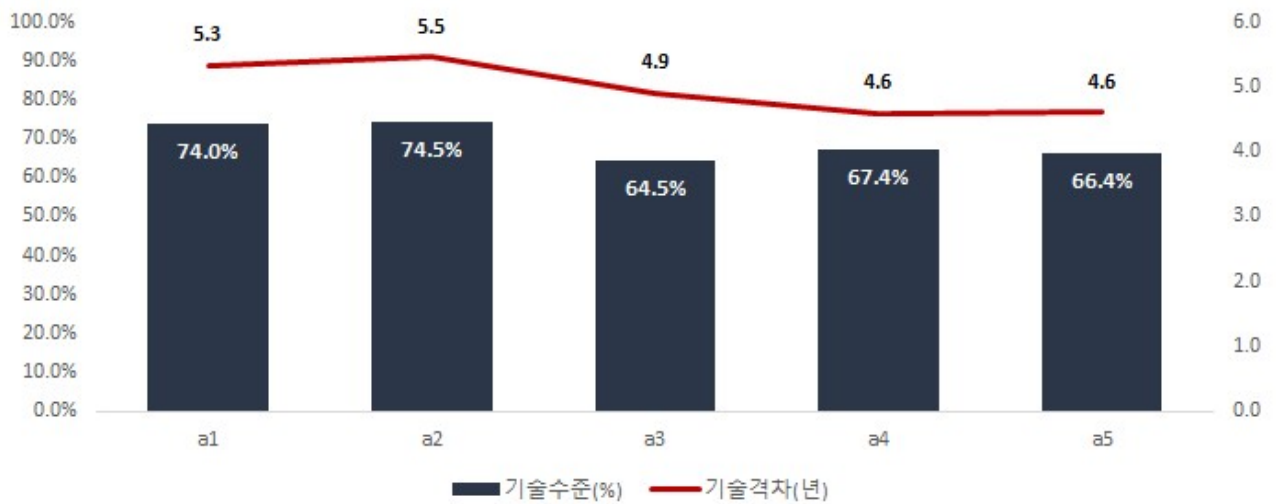
[그림 121] 배수자동화 분야의 대분류별 기술수준·기술격차

- 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

나. 세부 분야별 분석

(1) 홍수량 예측 기술 분야

- '21년 홍수량 예측 기술 분야의 세계 최고 기술 보유국은 미국이며, 평균 기술 수준은 69.3%, 평균 기술격차는 5년으로 추격단계에 있는 것으로 조사됨
- 중분류 기술분야별 분석 결과 외수 유량 산정 분야 기술수준이 74.5%로 가장 높으며, CPS 기반 배수구역 홍수 모의 분야 기술수준이 64.5%로 가장 낮음
- 기술격차는 정보전이를 활용한 미세측유역 예측기술 분야와 빅데이터를 활용한 침수예측 분야가 4.6년으로 가장 낮으며, 외수 유량 산정 분야가 5.5년으로 가장 높음



[그림 122] 홍수량 예측 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차

A1 : 선행시간 3시간 확보를 위한 강우예측 정보 생산기술 개발

A2 : 외수 유량 산정

A3 : CPS 기반 배수구역 홍수 모의

A4 : 빅데이터를 활용한 침수예측

A5 : 정보전이를 활용한 미계측유역 예측기술

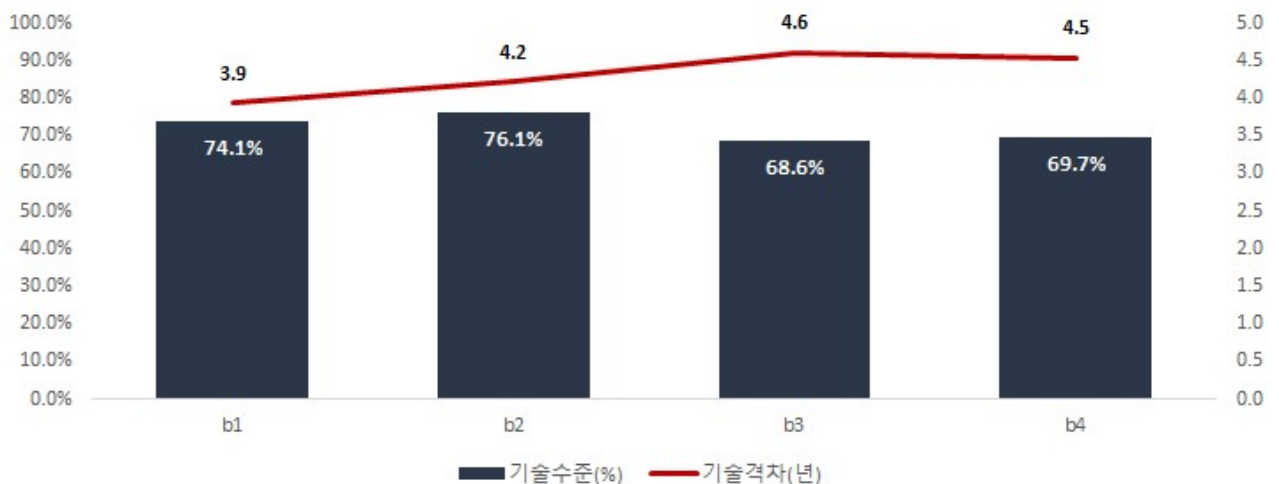
<표 30> 홍수량 예측 기술 분야 기술수준조사 결과

대분류	중분류	최고 기술 보유국	최고기술 보유국 대비 우리나라 기술 수준	
			기술수준(%)	기술격차(년)
홍수량 예측 기술	선행시간 3시간 확보를 위한 강우예측 정보 생산기술 개발	미국	74.0	5.3
	외수 유량 산정	미국	74.5	5.5
	CPS 기반 배수구역 홍수 모의	미국	64.5	4.9
	빅데이터를 활용한 침수예측	미국	67.4	4.6
	정보전이를 활용한 미계측유역 예측기술	유럽	66.4	4.6

(2) 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야

□ ‘21년 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야의 세계 최고 기술 보유국은 미국이며, 평균 기술수준은 72.1%, 평균 기술격차는 4.3년으로 추격단계에 있는 것으로 조사됨

- 중분류 기술분야별 분석 결과 물리기반 하천 수위 예측기술 분야 기술수준이 76.1%로 가장 높으며, 수위 예측을 위한 데이터 리버(Data River) 구축 기술 분야 기술수준이 68.6%로 가장 낮음
- 기술격차는 AI기반 하천 수위 예측기술 분야가 3.9년으로 가장 낮으며, 수위 예측을 위한 데이터 리버(Data River) 구축 기술 분야가 4.6년으로 가장 높음



[그림 123] 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차

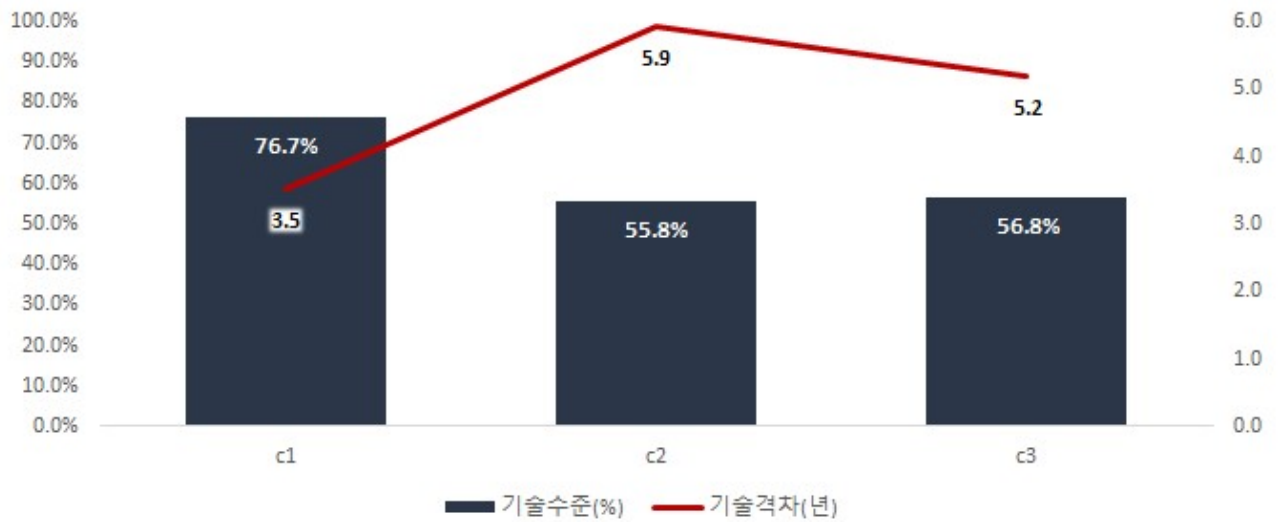
- B1 : AI기반 하천 수위 예측기술
- B2 : 물리기반 하천 수위 예측기술
- B3 : 수위 예측을 위한 데이터 리버(Data River) 구축 기술
- B4 : 배수역 소유역간 연계모형

<표 31> 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 분야 기술수준조사 결과

대분류	중분류	최고 기술 보유국	최고기술 보유국 대비 우리나라 기술 수준	
			기술수준(%)	기술격차(년)
스마트 운영을 위한 수위예측 기술	AI기반 하천 수위 예측기술	미국	74.1	3.9
	물리기반 하천 수위 예측기술	미국	76.1	4.2
	수위 예측을 위한 데이터 리버(Data River) 구축 기술	미국	68.6	4.6
	배수역 소유역간 연계모형	미국	69.7	4.5

(3) 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 분야

- ‘21년 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 분야의 세계 최고 기술 보유국은 미국이며, 평균 기술수준은 63.1%, 평균 기술격차는 4.9년으로 추격단계에 있는 것으로 조사됨
- 중분류 기술분야별 분석 결과 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험 분야 기술수준이 76.7%로 가장 높으며, 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술 분야 기술수준이 55.8%로 가장 낮음
- 기술격차는 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험 분야가 3.9년으로 가장 낮으며, 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술 분야가 5.9년으로 가장 높음



[그림 124] 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차
 C1 : 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험
 C2 : 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술
 C3 : 적응형 의사결정 기법

<표 32> 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 분야 기술수준조사 결과

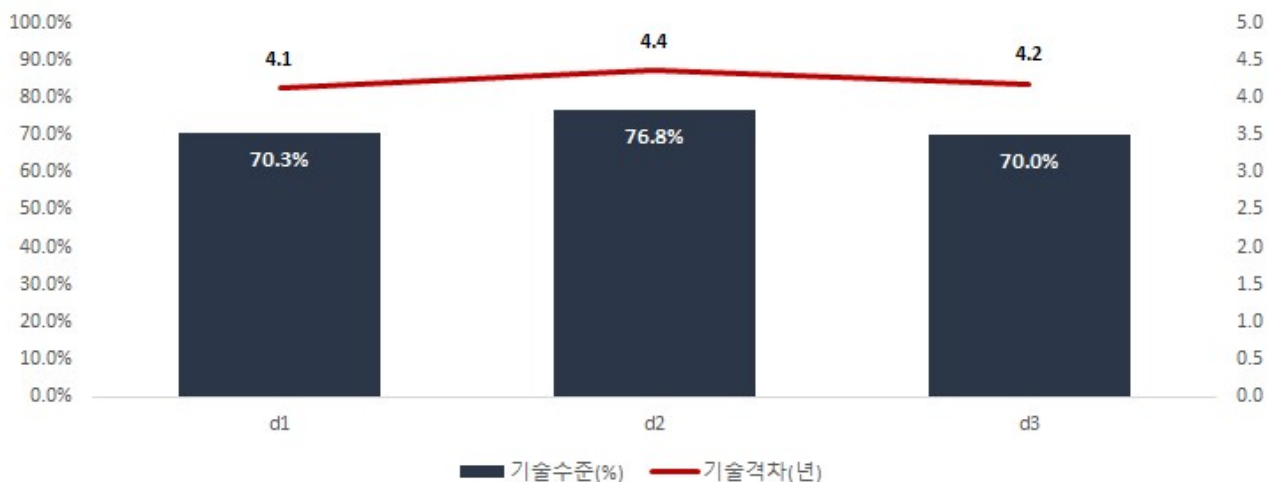
대분류	중분류	최고 기술 보유국	최고기술포유국 대비 우리나라 기술 수준	
			기술수준(%)	기술격차(년)
스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험	미국	76.7	3.5
	배수문 자동제어를 위한 고도화 기술	유럽	55.8	5.9
	적응형 의사결정 기법	미국	56.8	5.2

(4) 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야

□ '21년 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야의 세계 최고 기술 보유국은 미국이며, 평균 기술수준은 72.4%, 평균 기술격차는 4.2년으로 추격단계에 있는 것으로 조사됨

○ 중분류 기술분야별 분석 결과 IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술 분야 기술 수준이 76.8%로 가장 높으며, 배수시설 구조적 안정성 확보 기술 분야 기술수준이 70.0%로 가장 낮음

○ 기술격차는 IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술 분야가 4.1년으로 가장 낮으며, IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술 분야가 4.4년으로 가장 높음



[그림 125] 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야의 중분류별 기술수준·기술격차

D1 : IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술

D2 : IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술

D3 : 배수시설 구조적 안정성 확보 기술

<표 33> 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술 분야 기술수준조사 결과

대분류	중분류	최고 기술 보유국	최고기술포유국 대비 우리나라 기술 수준	
			기술수준(%)	기술격차(년)
구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술	IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술	미국	70.3	4.1
	IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술	미국	76.8	4.4
	배수시설 구조적 안정성 확보 기술	미국	70.0	4.2

7절. 기술수요조사

1. 개요

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

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

<표 34> 기술수요조사 분류

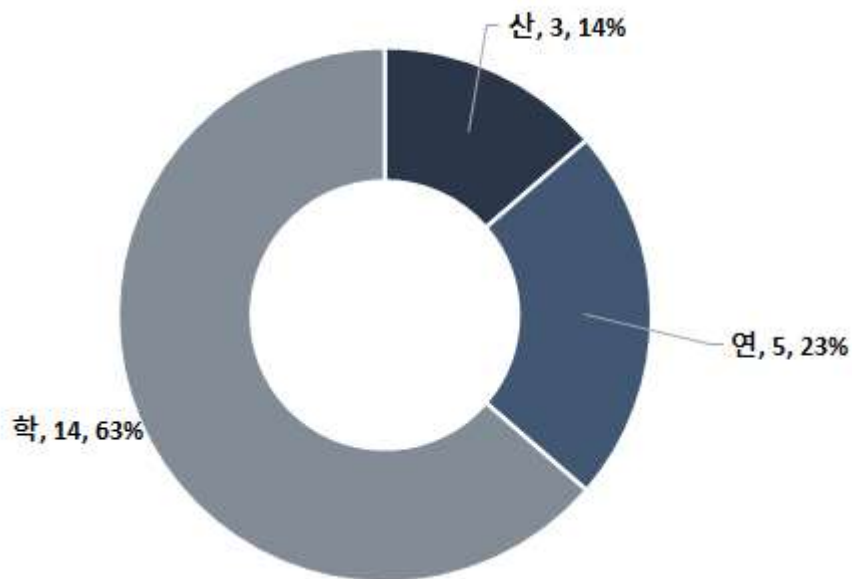
대분류	중분류
A. 홍수량 예측 기술	A1. 선행시간 3시간 확보를 위한 강우예측 정보 생산기술 개발
	A2. 외수 유량 산정
	A3 . CPS 기반 배수구역 홍수 모의
	A4. 빅데이터를 활용한 침수예측
	A5, 정보전이를 활용한 미계측유역 예측기술
B. 스마트 운영을 위한 수위예측 기술	B1. AI기반 하천 수위 예측기술
	B2. 물리기반 하천 수위 예측기술
	B3. 수위 예측을 위한 데이터 리버(Data River) 구축 기술
	B4. 배수역 소유역간 연계모형
C. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	C1. 스마트 통합 플랫폼 구축 및 시험
	C2. 배수문 자동제어를 위한 고도화 기술
	C3. 적응형 의사결정 기법
D. 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술	D1. IoT 센서 기반 실시간 수리/수문 센싱 및 분석 기술
	D2. IoT 센서 기반 실시간 시설물 상태점검 기술
	D3. 배수시설 구조적 안정성 확보 기술

2. 조사 결과

가. 기술수요조사 회신 응답기관별 분포

□ 기술수요조사서는 총 22건이 회신되었으며, 이에 대해 분석함

○ 응답자 현황 분포는 대학이 63%, 연구기관이 23%, 기업이 14%임

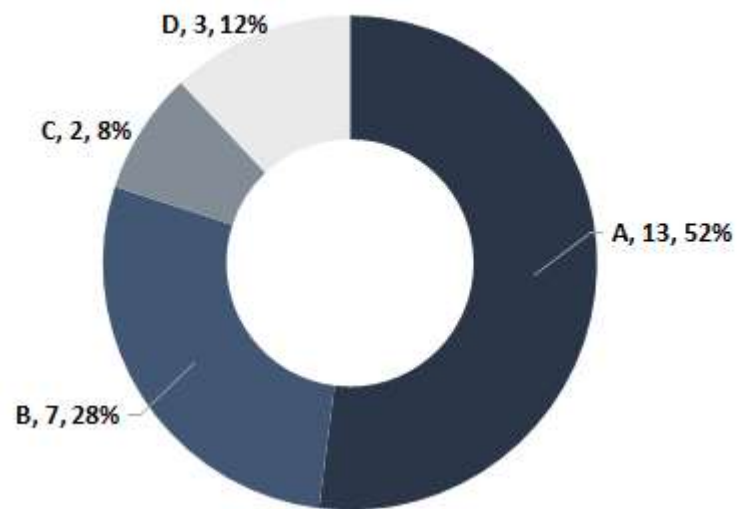


[그림 126] 응답자 현황 분포

나. 4대 기술분야별 기술수요 응답현황 분포

□ 4대 기술분야별 기술수요조사서 회신분포는 홍수량 예측 기술분야가 52%로 가장 많이 회신됨

○ 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야가 28%로 그 뒤를 이었으며, 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술과 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술분야가 각각 12%와 8%로 적게 회신됨



[그림 127] 7대 기술분야별 기술수요 응답현황 분포

- 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

다. 분야별 기술수요조사 결과

(1) 홍수량 예측 기술

☐ 홍수량 예측 기술분야 기술아이템 13건의 목록은 아래와 같음

<표 35> 홍수량 예측 기술분야 기술아이템 목록

연 번	기술아이템 명
1	ICT/ICBM 기반 이·치수를 고려한 농업용 저수지 운영 시스템 개발 및 적용
2	농경지 침수방지를 위한 ICT기반 실시간 모니터링 및 배수시설 개선 기술개발
3	배수구역 강우-홍수 단기예측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술
4	디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발
5	정보 전이를 통한 미세측 소규모 배수구역의 홍수량 산정
6	강우레이다와 유역의 다양한 고유특성을 적용한 표준 강우(P)-수위(H) 관계모델개발및이를통한배수시설관리지원시스템구축
7	실시간 hyper-local 강우 예측 기술
8	비정형 기상 정보와 유량, 유속 시계열 데이터를 활용한 머신러닝 기반 이상 사건 검출 및 하천 수위 예측 알고리즘 개발
9	Multi-Sensing 자료 기반 강우 예측 및 홍수 예.경보 기술개발
10	OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발
11	컴퓨터 비전, IoT 및 인공지능 기술 기반 수문/기상 자료 분석 및 예측 알고리즘
12	빅데이터 기반 원격탐사 지형자료를 활용한 실시간 3차원 침수예측시스템 개발
13	배수시설의 안전한 자동제어를 위한 이상강우 대응 AI 기반 병합 강우예측 정보 및 극치강우 시나리오 생산 기술 개발

(2) 스마트 운영을 위한 수위예측 기술

☐ 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 기술아이템 7건의 목록은 아래와 같음

<표 36> 스마트 운영을 위한 수위예측 기술분야 기술아이템 목록

연 번	기술아이템 명
1	디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발
2	High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발
3	비정형 기상 정보와 유량, 유속 시계열 데이터를 활용한 머신러닝 기반 이상 사건

연번	기술아이템 명
	검출 및 하천 수위 예측 알고리즘 개발
4	선행시간 확보를 위한 스몰데이터 기반 실시간 하천수위 예측 기술
5	OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발
6	배수시설물 운영을 위한 하천지형 제어 기술
7	컴퓨터 비전, IoT 및 인공지능 기술 기반 수문/기상 자료 분석 및 예측 알고리즘

(3) 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술

- ☐ 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술분야 기술아이템 2건의 목록은 아래와 같음

<표 37> 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술분야 기술아이템 목록

연번	기술아이템 명
1	재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발
2	디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발

(4) 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술

- ☐ 구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술분야 기술아이템 4건의 목록은 아래와 같음

<표 38> 구조적 안정성 확보 및 성능유지 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	OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발
3	컴퓨터 비전, IoT 및 인공지능 기술 기반 수문/기상 자료 분석 및 예측 알고리즘
4	배수시설의 안전한 자동제어를 위한 이상강우 대응 AI 기반 병합 강우예측 정보 및 극치강우 시나리오 생산 기술 개발

8절. 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 조사됨⁶⁹⁾

○ 종합건설(수자원) 분야의 종사자 수는 7,919.1명으로 조사되었으며, 연구직은 전체 종합 건설(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 39> 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 조사됨⁷⁰⁾

○ 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 연구개발활동 조사>에서 산출한 물관리 분야의 연구개발비 비중을 적용함⁷¹⁾

69) 환경부 물시장종합정보센터 통계자료, '19.1 검색 기준

70) 교육부 교육통계서비스 통계자료, '19.1 검색 기준

71) 2013 국토교통분야 연구개발활동조사, 2015.9, 국토교통과학기술진흥원

<표 40> 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 41> 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 조사됨⁷²⁾

- 동 연구원에서 수리구조물 관련 연구개발을 수행하는 인력은 국토보전연구본부 소속으로 조사됨

- 동 본부에서는 첨단 기술 기반 수재해 대응 기술, 지속가능한 수자원 및 하천관리 기술, 물환경 개선 및 하천 복원 등 국토보존 기술 개발을 수행함

72) 한국건설기술연구원 홈페이지, '20년 기준

<표 42> 건설기술연구원의 수리구조물 관련 연구인력 현황

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

□ K-Water 연구원의 하천시설물 관련 연구인력은 14인으로 조사됨⁷³⁾

- K-water 연구원에서 하천시설물 관련 연구개발을 수행하는 인력은 물인프라·에너지 연구소 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

<표 43> 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

73) 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

9절. 시사점

□ 현재 국토교통부는 많은 예산을 투입하여 국가 하천시설에 대한 안전을 강화하고 관리시스템을 구축하려 노력하고 있음

○ 국토교통부는 “스마트 하천관리시스템 구축 사업”의 일환으로 배수시설 원격제어시스템 사업의 마스터플랜 수립('21~'25) 중임

- 국토교통부는 국가하천에 있는 수문 등 배수시설과 하천 수위를 실시간으로 모니터링하고 이를 원격 조작할 수 있도록 IoT기술을 적용한 ‘스마트 하천관리시스템 선도사업’을 추진 중임

- 국토교통부는 ‘22년까지 하천분야 한국판 뉴딜의 일환으로 국가하천 배수시설 자동·원격 제어시스템과 국가하천 실시간 모니터링 체계를 구축하여 수재해 예방과 하천관리 효율화를 추진함

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

○ 해외의 경우 친환경·첨단기술등을 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

- 인공위성 기반 강우 제품을 사용하여 실시간 홍수 예측을 위한 WNARX (외인성 입력) 동적 신경망 모델이 있는 웨이블릿 기반 비선형 자기 회귀에 관한 연구가 진행됨

- 중국은 악천후 조건에서 s-밴드와 c-밴드를 사용하기 위해 ADDA(Automated Dealiasing for Data Assimilation) 알고리즘을 도입함

○ 국내의 경우 홍수량 예측기술분야는 꾸준히 연구되어 오고 있으며, 기상 데이터 및 텍

스트 기반 비정형 정보를 활용하여 예측 알고리즘의 정확도를 높일 필요가 있으며 인공지능(AD)을 활용한 홍수량 및 홍수위 분석 기술을 개발하여 디지털 트윈기반의 배수문 운영 의사결정을 지원 할 수 있는 홍수관리 시스템 구축이 필요함

- 기존에 홍수 예측에만 국한되었으나, 사주의 거동으로 배수문 막힘이나 배수문 개폐 장애 등으로 내수침수가 발생하므로, 이를 사전에 예측하여 배수문 주변에 구조적 대책을 수립하는 등의 기술이 개발되고 있음
- IoT, 계측기 기반 플랫폼 개발 및 관련 시스템의 확대로 데이터 획득, 생산, 그리고 관리에 드는 유지관리 비용이 기하급수적으로 증대되고 있으며, 향후 가치가 있는 핵심 데이터 기반의 하천수위 예측 기술개발을 통해 유지관리의 효율적 추진 및 달성이 필요함
- 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

□ 배수자동화 관련 기술은 전반적으로 미국이 최고수준을 선점하고 있으며, 국내의 배수자동화 관련 기술수준은 전반적으로 최고기술국 대비 60~70%대이고 이는 추격 구간에 해당해 선진기술의 모방 및 개량이 가능한 수준으로 분석됨

- 특허와 논문 모두 제방 손상 추정구간 정밀검측용 고효율/고심도 융복합 기술 분야와 미생물기반 주입 교결에 의한 노후 제방 보강기술 분야의 활동이 많음
- 10년 간 배수자동화 관련 관련 특허 출원 건수는 지속적인 증가 추세를 보이는 것으로 분석되며, 출원 건수는 중국이 가장 많은 것으로 나타남
- 배수자동화 관련 최근 10년간 논문 게재 건수는 전반적으로 증가 추세를 보이고 있으며, 국가별 배수자동화 관리 관련 논문 게재 건수는 유럽,중국,미국,한국,일본 순으로 나타남

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)
		레이더 관측 성능이 현저히 높아졌으며, 위성의 수도 급격히 증가 중임	관측 빅데이터가 축적되고 인공지능 및 통신 기술이 급격히 발전하고 있음에도 이를 활용한 레이더 기반 홍수 관리 활용 기술 개발은 미진
기회 (O)	- 최근 그린뉴딜 정책(규모 73조원)과 2050 탄소중립 추진전략 등 친환경 정책을 꾸준히 추진 중 - 국토교통부는 '22년까지 국가하천 배수시설 자동 원격 제어시스템과 국가하천 실시간 모니터링 체계를 구축하여 수재해 예방과 하천관리 효율화를 추진하고 있음	SO전략(강점기회)	WO전략(약점기회)
		선행 1시간 예측제어 및 선행 3시간 침수정보제공 시스템 개발	AI 기반 상하류 연계 및 예측 운영을 위한 배수시설 통합 플랫폼 개발
위협 (T)	기후변화로 인한 돌발적 홍수에 예상치 못한 배수구역의 침수로 인명과 재산 피해가 빈번함	ST전략(강점위협)	WT전략(약점위협)
		레이더 자료 분석 고도화를 통한 돌발 홍수 예측 기술 개발 및 활용	레이더 기반 예측 고도화 기술 개발 및 홍수관리 적용 활성화 정책 추진

[그림 128] SWOT 분석 결과

2. 기술개발 추진방향 정립

□ 홍수저감 정책방향을 고려한 추진방향 도출

- 배수시설 자동제어는 그린뉴딜사업의 일환으로 국가하천 배수시설에 대한 자동 및 원격 제어 사업이 진행 중이며 2022년 완료가 예상됨
- 본 과제의 기획 후 연구개발 기간을 고려하면 배수시설 자동제어 사업 완료 후 기술개발이 진행될 것으로 예상되므로 그린뉴딜사업으로 조성된 자동제어 시스템과의 연결성을 고려하여 고도화에 집중하는 것이 홍수저감 정책의 일관성 측면에서 효율적이며 실현 가능성이 높음
- 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 침수피해로 이를 저감하는 것이 시급성과 중요성이 높으며, 이를 실질적으로 해결할 수 있는 방향으로 핵심 기술 도출 필요
- 최근의 대규모 침수 피해는 내수배제 불량과 제방파괴(월류 및 침투 파괴) 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 제시하여야 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

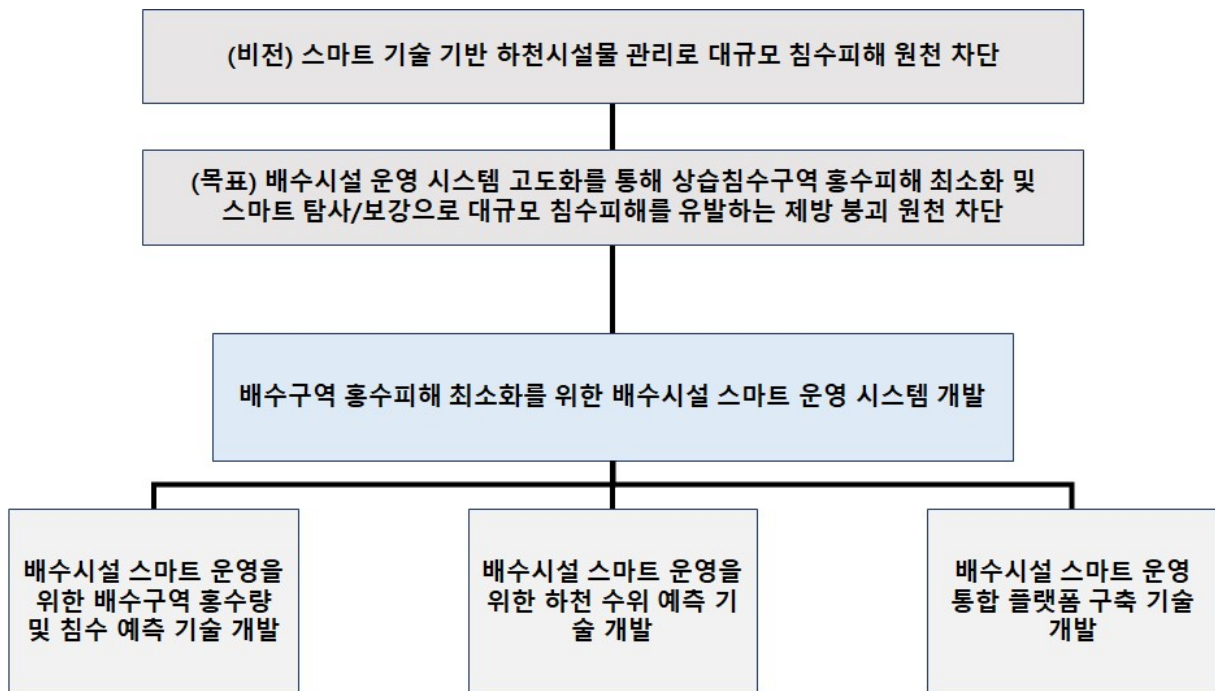
2절. 비전 및 목표

1. 비전

□ 동 사업의 비전은 ‘스마트 기술 기반 하천시설물 관리로 대규모 침수피해 원천 차단’이며, 체계도는 아래와 같음

○ 국민의 안전에 직결되는 대규모 침수피해 저감을 위해 스마트 기술 기반의 하천시설물 관리 기술을 개발하고자 함

- 배수시설 운영 시스템 고도화를 통해 상습침수구역 홍수피해 최소화



[그림 129] 비전 및 목표

2. 목표

가. 총괄 목표

☐ 배수구역 홍수피해 최소화를 위한 배수시설 스마트 운영 시스템 개발

- AI 기반 상하류 연계 및 예측 운영을 위한 배수시설 통합 플랫폼 개발
- 선행 1시간 예측제어 및 선행 3시간 침수정보제공 시스템 개발

나. 단계별 목표

(1) 배수구역 홍수피해 최소화를 위한 배수시설 스마트 운영 시스템 개발

☐ 1차년도

- 홍수량/침수 예측, 수위 예측, 통합 플랫폼 개발 등의 기반 기술 및 세부 요소 기술 개발
 - 레이더 강수량 정량적 관측 정확도 향상 기술 개발 (관측 대비 $100\pm5\%$ 수준)
 - 수자원 위성 빅데이터 분류/통합 기술 개발
 - 원격탐사 빅데이터 기반 배수구역 내 상태분석 기술 개발
 - 경험적 비정형데이터(X-data 등) 및 관측기반 정형데이터 (수문+기상) 통합구축
 - High Fidelity 하천수위 예측 기술 방법론 정립
 - 배수문 운영 자료조사 및 디지털 표준체계 구축
 - 배수문 홍수 대응 시뮬레이션 시나리오 개발

☐ 2차년도

- 홍수량/침수 예측, 수위 예측, 통합 플랫폼 개발 등의 세부 요소 기술의 고도화 단계
 - AI 기반 초단기 예측 강수량 생산 기술 개발 (1시간 예측 정확도 90% 이상)
 - 국내 미계측 유역에 적용할 수 있는 GIUH 산정법 구축

- 수자원 위성 빅데이터 기반 딥러닝 모형 침수예측 기술 개발
- 비정형데이터의 활용성제고를 위한 데이터 융합(Data Fusion) 모형 개발
- High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 개발
- 디지털 트윈 기반 스마트 배수문(Gate) 운영지원 플랫폼 설계 및 프로토타입 개발
- 클라우드를 활용한 홍수위, 홍수량 분석 시스템 설계
- AR/VR을 활용한 시나리오별 배수문 홍수 대응 콘텐츠 개발

□ 3차년도

- 홍수량/침수 예측, 수위 예측, 통합 플랫폼 개발 등의 개별 기술의 핵심 기술 완성 단계로 개별 기술의 독립적 모듈화 단계
 - AI 기반 초단기 예측 강수량 최적 병합 및 정량적 정확도 향상 기술 개발 (3시간 예측 정확도 80% 이상)
 - 수자원 위성 빅데이터 기반 포인트 클라우드 기법 기술 개발
 - GPU 기반 실시간 침수분석용 메타모델 개발
 - Ourdata System를 활용한 지점 수위예측을 위한 알고리즘 개발
 - High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 고도화
 - 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼 개발
 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 구축 및 가시화 엔진 개발
 - 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석 GUI 개발

□ 4차년도

- 홍수량/침수 예측, 수위 예측, 통합 플랫폼 등의 개별 기술간 상호 연동 모듈 개발 및 검증
 - 강우-배수구역특성-홍수위험 관계 유도 및 지수화 기술 개발
 - 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출 및 정량화 기술 개발
 - 배수시설 운영시나리오별 배수구역 3차원 침수위험지도 생성 기술 개발
 - AI 기반의 표준유역 단위 내 수위예측 및 침수예보 체계 개발
 - High Fidelity 하천수위 예측 기술의 중소규모 테스트베드 적용
 - 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼 고도화
 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 고도화

□ 5차년도

- 완성된 요소기술을 통합 플랫폼에 탑재하여 검증/보완하여 시스템 완성
 - 배수구역 홍수위험 지수 테스트베드 실증 및 미계측 배수구역 전이 적용 기술 개발
 - 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출기술 검증 및 고도화
 - 3차원 침수위험지도시스템 예측력 평가 및 테스트베드 검증
 - AI 기반 모형 및 High Fidelity 하천수위 예측 연계 운영 기법 개발
 - 통합플랫폼 모듈 탑재 및 적용
 - 플랫폼 현장 적용을 통한 테스트베드 시험운영 및 개선
 - 자율운영시스템과 연계를 통한 긴급대응 상황 대처 및 보완

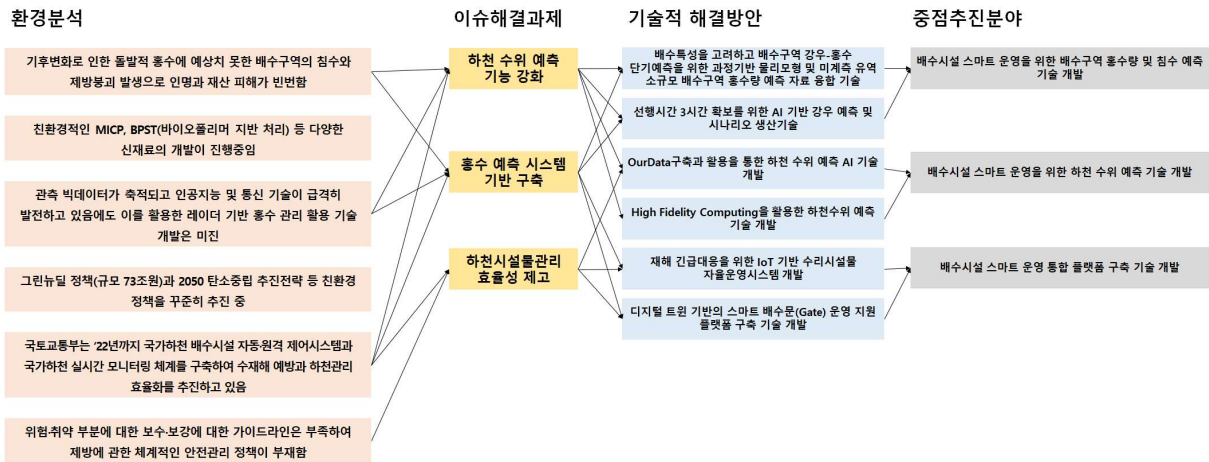
<표 44> 연구개발 단계별 목표(배수시설 스마트 운영 시스템 개발)

	1단계(1차년도)	2단계(2차년도)	3단계(3차년도)	4단계(4차년도)	5단계(5차년도)
단계별 목표	기반 기술 및 세부 요소 기술 개발	세부 요소 기술의 고도화	개별 기술의 핵심 기술 완성 단계로 개별 기술의 독립적 모듈화	개별 기술간 상호 연동 모듈 개발 및 검증	통합 플랫폼에 탑재하여 검증/보완하여 시스템 완성
주요 추진 내용	-레이더 강수량 정확도 향상 -위성 빅데이터 분류/통합 기술 개발 -원격탐사 빅데이터 기반 배수 구역 내 상태분석 기술 개발 -비정형 데이터 및 정형데이터 통합구축 -High Fidelity 하천수위 예측 기술 방법론 정립 -배수문 운영 디지털 표준체계 구축 -배수문 홍수 대응 시나리오 개발	-초단기 예측 강수량 생산 기술 개발 -미계측 유역 GIUH 산정법 구축 -딥러닝 모형 침수예측 기술 개발 -데이터 융합모형 개발 -High Fidelity 하천수위 알고리즘 개발 -플랫폼 설계 및 프로토타입 개발 -홍수위, 홍수량 분석 시스템 설계 -활용한 시나리오별 홍수 대응 콘텐츠 개발	-초단기 예측 강수량 최적 병합 기술 개발 -위성 포인트 클라우드 기법 기술 개발 -실시간 침수분석용 메타모델 개발 -AI 수위예측 알고리즘 개발 -하천수위 예측 기술 알고리즘 고도화 -배수문 운영지원 플랫폼 개발 -운영지원 시스템 구축 및 가시화 엔진 개발 -홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석 GUI 개발	-침수 특징인자 추출 및 정량화 기술 개발 -3차원 침수위험지도 생성 기술 개발 -AI 기반수위예측 및 침수예보체계 개발 -하천수위 예측 기술의 중소규모 테스트베드 적용 -배수문 운영지원 플랫폼 고도화 -차원 운영지원 시스템 고도화	-미계측 배수구역 전이 적용 기술 개발 -침수 특징인자 추출기술 검증 및 고도화 -침수위험지도시스템 예측력 평가 및 테스트베드 검증 -AI-물리모형 수위 예측 연계 운영 기법 개발 -통합플랫폼 모듈 탑재 및 적용 -테스트베드 시험운영 및 개선 -긴급대응 상황 대처 및 보완

3절. 중점추진분야

□ 동 사업의 중점추진분야를 도출하기 위해 이슈트리를 작성하였음

- 환경분석 결과를 토대로 이슈를 확인하고, 이를 해결하기 위한 해결과제를 도출함
- 이슈해결과제 중 기술적 해결방안을 도출함
- 기술적해결방안을 연구영역별로 묶어서 중점추진분야를 도출함



[그림 130] 이슈트리

1. 중점추진분야 1 (배수시설 스마트 운영을 위한 유량 및 침수 예측 기술)

□ 배수시설 스마트운영을 위한 유량 및 침수 예측 기술의 개요는 아래와 같음

<표 45> 중점추진분야 1 개요

구분	설명
개념	- 배수구역(배수시설로 보호되는 지역)의 침수 가능성을 예측하기 위하여 관련 정보(강수량, 유출량, 지형)를 분석하여 예측하는 기술 - 실시간으로 유출량과 침수정보를 예측하여 통합 플랫폼에 전달 - 불확실한 기상 상황에서 침수피해 저감을 위해서 최대한 정확한 정보 생성 필요
목표	- 선행시간 3시간 확보를 위한 AI 기반 강우 예측 및 시나리오 생산 기술(선행시간 3시간, 정확도 80% 이상) - 배수구역 강우-홍수 단기예측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술 - 정보전이를 활용한 미계측유역 소규모 배수구역의 홍수량 예측 - 배수시설 특성을 고려한 인공지능 기반 침수예측 기술 개발(침수예측 정확도

	70% 이상)
주요 내용	▪ AI와 지상 강수량 기반 강우레이더 관측변수 편차 실시간 추정 및 최적 보정 기술 개발 ▪ 침수예측 정확도 향상을 위한 수자원 위성 빅데이터 통합기술 개발 ▪ 원격탐사 빅데이터 기반 배수구역 내 상태분석 기술 개발 ▪ 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 AI 기반 초단기 예측 강수량 생산 기술 개발 ▪ 국내 미계측 유역에 적용할 수 있는 GIUH 산정법 구축 ▪ 수자원 위성 빅데이터 실시간 데이터 퓨전 기술 개발 ▪ 수자원 위성 빅데이터 기반 딥러닝 모형 침수예측 기술 개발 ▪ AI 기반 초단기 예측 강수량 최적 병합 ▪ 수자원 위성 빅데이터 기반 포인트 클라우드 기법 기술 개발 ▪ GPU 기반 실시간 침수분석용 메타모델 개발 ▪ 강우-배수구역특성-홍수위험 관계 유도 및 지수화 기술 개발 ▪ 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출 및 정량화 기술 개발 ▪ 배수시설 운영시나리오별 배수구역 3차원 침수위험지도 생성 기술 개발 ▪ 배수구역 홍수위험 지수 테스트베드 실증 및 미계측 배수구역 전이 적용 기술 개발 ▪ 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출기술 검증 및 고도화 ▪ 3차원 침수위험지도시스템 예측력 평가 및 검증

2. 중점추진분야 2 (배수시설 스마트 운영을 위한 수위예측 기술)

□ 배수시설 스마트운영을 위한 수위 예측 기술의 개요는 아래와 같음

<표 46> 중점추진분야 2 개요

구분	설명
개념	▪ 배수구역의 침수방지를 위해 배수문의 개폐여부를 예측하고 결정하기 위하여 필요한 하천의 상하류 수위 및 배수구역의 수위를 예측하는 기술 ▪ 실시간 예측 수위 정보를 통합 플랫폼에 전달 ▪ 배수구역의 피해 최소화를 위해서는 신속하고 정확한 수위 예측 필요 ▪ 물리모형 고도화, AI 및 빅데이터 기반 예측모형 등의 연계를 통한 예측
목표	▪ 텍스트 기반 경험적 비정형데이터(X-data)와 정형데이터 융합 기술 개발 ▪ OurData 기반 예측오차 10% 이내의 AI 수위 예측 모형 개발 ▪ HPG-2D 연계 물리기반 하이브리드형 예측 모형 개발 ▪ 수위 예측 정확도 향상을 위한 Model Tuning 기술 개발 ▪ TPU를 활용한 초고속 수위 예측기술 개발
주요 내용	▪ 경험적 비정형데이터(X-data 등) 및 관측기반 정형데이터 (수문+기상) 통합구축 ▪ 비정형데이터의 활용성제고를 위한 데이터 융합(Data Fusion) 모형 개발 ▪ High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 개발 및 고도화 ▪ Ourdata System를 활용한 지점 수위예측을 위한 알고리즘 개발 ▪ AI 기반의 표준유역 단위 내 수위예측 및 침수예보 체계 개발 ▪ AI 기반 모형 및 High Fidelity 하천수위 예측 연계 운영 기법 개발 ▪ 최적 수치격자 기반 초고속 고효율 하천수위해석 기술 검증

	▪ 하천 분류 제방 통문·통관을 따른 물의 유출입과 이에 따른 수위 및 흐름거동 예측 ▪ 통합플랫폼 탑재 및 적용성 평가
--	--

3. 중점추진분야 3(배수시설 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술)

□ 배수시설 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술의 개요는 아래와 같음

<표 47> 중점추진분야 3 개요

구분	설명
개념	▪ 배수시설 관리자가 배수시설의 최적운동을 위해 모니터링, 시나리오 분석, 제어 등을 수행하는 통합 플랫폼 ▪ 현재와 예측 수문 정보를 이용하여 배수문 운영에 따른 침수피해를 분석하여 최적 제어 방안을 실시간으로 생성 및 자율 제어
목표	▪ 재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발 ▪ 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발
주요 내용	▪ 배수문 운영 자료조사 및 디지털 표준체계 구축 ▪ AR/VR 기반 배수문 홍수 대응 시뮬레이션 시나리오 개발 ▪ AR/VR을 활용한 시나리오별 배수문 홍수 대응 콘텐츠 개발 ▪ 클라우드를 활용한 홍수위, 홍수량 분석 시스템 설계 ▪ 디지털 트윈 기반 스마트 배수문(Gate) 운영지원 플랫폼 설계 및 프로토타입 개발 ▪ 배수문 운영자료 DB 구축 및 유관기관 수문자료연계(기상, 수위, 유량 등) ▪ 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 구축 및 가시화 엔진 개발 ▪ 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석 GUI 개발 ▪ 자율 운영시스템과 연계 및 실시간 운영자료 DB 구축 ▪ 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼 고도화 ▪ 배수문 운영지원 플랫폼 현장 적용 및 보완 ▪ 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 실시간 현장 운영자료 분석 및 보완 ▪ 자율운영시스템과 연계를 통한 긴급대응 상황 대처 및 보완

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 배수시설 자동제어 관련 기술아이템을 확보함

○ 확보된 기술아이템별 연구 목표 및 내용을 고려하여 기술분야를 재분류함

○ 중점추진분야별 후보과제 구성은 다음과 같음

<표 48> 중점추진분야별 후보과제

중점추진분야	후보과제
홍수량 예측 기술	배수구역 강우-홍수 단기예측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술
	정보 전이를 통한 미계측 소규모 배수구역의 홍수량 산정
	강우레이다와 유역의 다양한 고유특성을 적용한 표준 강우(P)-수위(H) 관계모델개발및이를통한배수시설관리지원시스템구축
	실시간 hyper-local 강우 예측 기술
	Multi-Sensing 자료 기반 강우 예측 및 홍수 예.경보 기술개발
	컴퓨터 비전, IoT 및 인공지능 기술 기반 수문/기상 자료 분석 및 예측 알고리즘
	빅데이터 기반 원격탐사 지형자료를 활용한 실시간 3차원 침수예측시스템 개발
	배수시설의 안전한 자동제어를 위한 이상강우 대응 AI 기반 병합 강우예측 정보 및 극치강우 시나리오 생산 기술 개발
스마트 운영을 위한 수위예측 기술	비정형 기상 정보와 유량, 유속 시계열 데이터를 활용한 머신러닝 기반 이상 사건 검출 및 하천 수위 예측 알고리즘 개발
	OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발
	High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발
	선행시간 확보를 위한 스몰데이터 기반 실시간 하천수위 예측 기술
스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	ICT/ICBM 기반 이-치수를 고려한 농업용 저수지 운영 시스템 개발 및 적용
	디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발
	재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발
	디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발
구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술	농경지 침수방지를 위한 ICT기반 실시간 모니터링 및 배수시설 개선 기술개발
	배수시설물 운영을 위한 하천지형 제어 기술

2. 중복성 검토

□ 배수시설 관련 유사 및 중복 과제를 검토하였으며 해당사항은 없음

○ 배수시설 분야의 유사과제 현황은 다음과 같음

<표 49> 배수시설 분야 유사과제 현황 및 차별성

과제명(연도)	연구내용	본 과제와 차별성
도시홍수 재해관리 기술 (2003-2008)	도시하천, 배수계통 설계, 종횡단 구조물, 생태수리 기초이론 및 해석 기술연구 / 도시 홍수예경보의 문제점 파악 및 기본이론 확립 / 도시홍수 재해경감 기술조사 및 개발방향 설정, 실험계획 수립 / 도시홍수 방어계획 및 관리를 위한 요소기술 및 개념 정립 / 도시홍수 처리를 위한 제방, 방수로, 저류지 수리모형 제작 및 기초실험, 도시 유역내 홍수유출 저감시설의 설계기초 정립 / 도시홍수 방어계획 및 관리를 위한 응용기술 개발 및 기술의 최적화 방안 / 도시홍수 방어계획 및 관리를 실용화 기술 및 통합기술개발	- 유출모형 개발, 배수펌프장 운영 프로그램 개발 등 유사 분야가 있으나 선행시간 확보, 펌프시설이 없는 경우의 운영 등은 포함되지 않음 - 국가하천의 배수시설 자동운영에 적용 가능한 기술요소는 없음
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

과제명(연도)	연구내용	본 과제와 차별성
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

3. 우선순위 평가

가. 개요

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

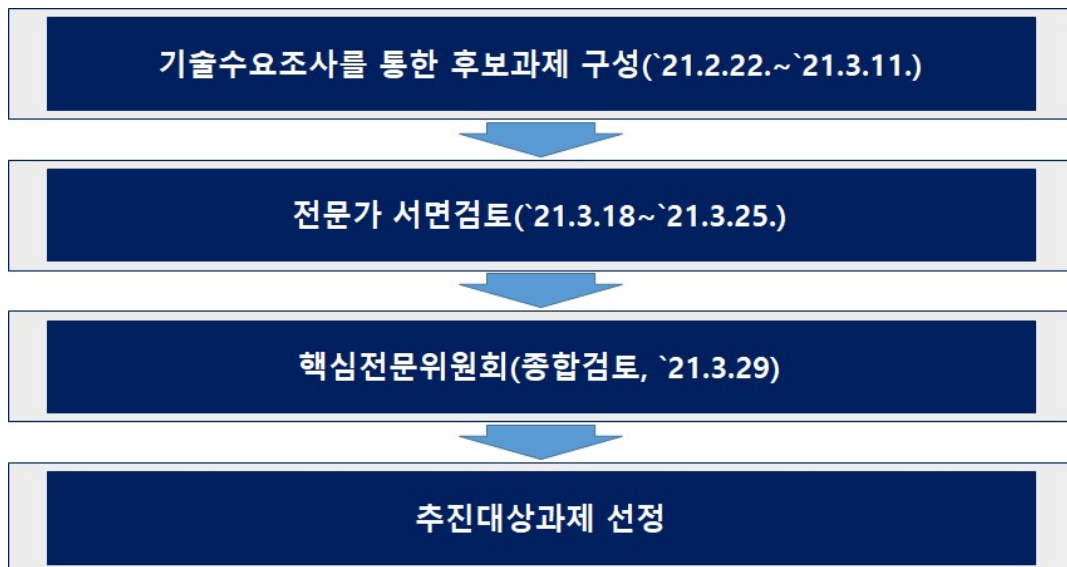
○ 평가대상 : 배수자동화 분야 산·학·연 전문가

○ 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 131] 추진대상과제 선정 절차

○ 조사내용

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

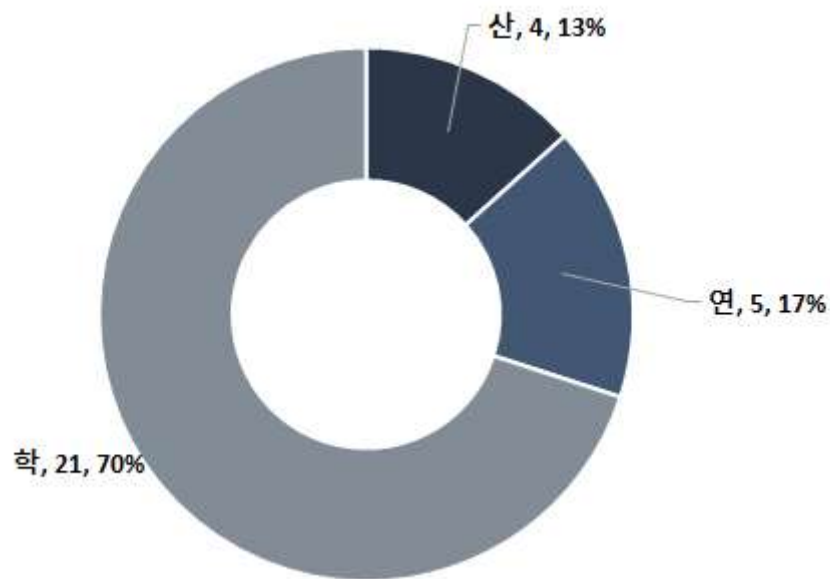
<표 50> 후보과제 리스트

중점추진분야	후보과제
홍수량 예측 기술	배수구역 강우-홍수 단기예측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술
	정보 전이를 통한 미계측 소규모 배수유역의 홍수량 산정
	강우레이다와 유역의 다양한 고유특성을 적용한 표준 강우(P)-수위(H) 관계모델개발 및 이를 통한 배수시설관리지원시스템구축
	실시간 hyper-local 강우 예측 기술
	Multi-Sensing 자료 기반 강우 예측 및 홍수 예.경보 기술개발
	컴퓨터 비전, IoT 및 인공지능 기술 기반 수문/기상 자료 분석 및 예측 알고리즘
	빅데이터 기반 원격탐사 지형자료를 활용한 실시간 3차원 침수예측시스템 개발
	배수시설의 안전한 자동제어를 위한 이상강우 대응 AI 기반 병합 강우예측 정보 및 극치강우 시나리오 생산 기술 개발
스마트 운영을 위한 수위예측 기술	비정형 기상 정보와 유량, 유속 시계열 데이터를 활용한 머신러닝 기반 이상 사건 검출 및 하천 수위 예측 알고리즘 개발
	OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발
	High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발
	선행시간 확보를 위한 스몰데이터 기반 실시간 하천수위 예측 기술
스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	ICT/ICBM 기반 이·치수를 고려한 농업용 저수지 운영 시스템 개발 및 적용
	재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발
	디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발
구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술	농경지 침수방지를 위한 ICT기반 실시간 모니터링 및 배수시설 개선 기술개발
	배수시설물 운영을 위한 하천지형 제어 기술

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 132] 전문가구성 현황 분포

□ 중점추진분야별 우선순위평가 결과 6개 중점추진분야의 16개 후보과제가 선정됨

<표 51> 중점추진분야별 우선순위 평가

중점추진분야	후보과제	우선순위 평가(정성평가)	검토결과
홍수량 예측 기술	배수구역 강우-홍수 단기에측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술	배수구역에 특화된 예측모형으로 플랫폼 구성에 필수 모형	추진
	정보 전이를 통한 미계측 소규모 배수유역의 홍수량 산정	플랫폼 구성에 필수적인 홍수량 산정 모형	추진
	강우레이다와 유역의 다양한 고유특성을 적용한 표준 강우(P)-수위(H) 관계모델개발 및 이를 통한 배수시설관리지원시스템구축	- 연구기간 내 성공 가능성이 낮으며 제안된 아이템과 일부 중복 - 목표부합성을 고려하여 보완 추진	조정추진
	실시간 hyper-local 강우 예측 기술	- 선행시간 확보를 위해 필요한 기술이나 제안된 아이템과 중복 - 목표부합성을 고려하여 보완 추진	조정추진
	Multi-Sensing 자료 기반 강우 예측 및 홍수 예.경보 기술개발	강우예측으로 제안된 아이템과 중복이며 홍수예경보 기술은 목표부합성이 낮음	미추진
	컴퓨터 비전, IoT 및 인공지능 기술 기반 수문/기상 자료 분석 및 예측 알고리즘	연구목표가 타아이템과 중복	미추진
	빅데이터 기반 원격탐사 지형자료를 활용한 실시간 3차원 침수예측시스템 개발	침수정보 제공을 위한 필수적인 아이템	추진
	배수시설의 안전한 자동제어를 위한 이상강우 대응 AI 기반 병합 강우예측 정보 및 극치강우 시나리오 생산 기술 개발	- 선행시간 확보를 위한 필수적인 기술 - 목표부합성을 고려하여 '선행시간 3시간 확보를 위한 AI 기반 강우 예측 및 시나리오 생산 기술'로 보완	조정추진

중점추진분야	후보과제	우선순위 평가(정성평가)	검토결과
스마트 운영을 위한 수위예측 기술	비정형 기상 정보와 유량, 유속 시계열 데이터를 활용한 머신러닝 기반 이상 사건 검출 및 하천 수위 예측 알고리즘 개발	타 수위 예측 아이템과 목표에서 중복되므로 조정 후 추진	조정 추진
	OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발	스마트 수위 예측의 핵심 기술로 목표 부합성이 높음	추진
	High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발	고정확도 하천수위 예측을 위한 요소 기술로 목표부합성이 높음	추진
	선행시간 확보를 위한 스물 데이터 기반 실시간 하천수위 예측 기술	타 수위 예측 아이템과 목표에서 중복되므로 조정 후 추진	조정 추진
스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	ICT/ICBM 기반 이·치수를 고려한 농업용 저수지 운영 시스템 개발 및 적용	농업용 저수지 운영은 본 기획의 범위가 아님	미추진
	재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발	스마트 제어를 위한 핵심 기술로 목표 부합성이 높음	추진
	디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발	플랫폼 구축의 핵심 내용으로 목표 부합성이 높음	추진
구조적 안정성 확보 및 성능유지 기술	농경지 침수방지를 위한 ICT 기반 실시간 모니터링 및 배수시설 개선 기술개발	기술적용을 위해 배수시설 자동화 사업 외에 추가적인 하드웨어 설치가 필요한 연구로 목표 부합성이 낮음	미추진
	배수시설물 운영을 위한 하천지형 제어 기술	기술 적용을 위해 배수시설 자동화 사업 외에 추가적인 하드웨어 설치가 필요하여 목표 부합성이 낮음	미추진

4. 추진대상과제 선정

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

○ 선정된 최종 추진대상과제는 다음과 같음

<표 52> 중점추진분야별 추진대상과제

중점추진분야	추진대상과제
홍수량 예측 기술	선행시간 3시간 확보를 위한 AI 기반 강우 예측 및 시나리오 생산 기술
	배수구역 강우-홍수 단기예측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술
	정보전이를 활용한 미계측유역 소규모 배수구역의 홍수량 예측기술
	빅데이터 기반 원격탐사 지형자료를 활용한 실시간 3차원 침수예측시스템 개발
스마트 운영을 위한 수위예측 기술	OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발
	High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발
스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술	재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발
	디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발

5절. 과제체계

1. 과제체계 설정

- 동 연구개발과제의 추진체계는 세부과제간 연계성을 고려하여 배수시설 자동 제어 기술개발 연구단으로 추진함
 - 본 기획의 목적은 홍수피해 저감을 위한 대규모 침수피해 차단기술로 도출된 중점추진 분야는 배수시설 고도화 분야임
 - 배수문 운영자동화 관련 중점추진분야로는 홍수량 예측 기술, 스마트 운영을 위한 수위 예측 기술, 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술이 있음
 - 이들 중점추진분야의 성과물은 상호 연계활용되며, 이를 하나의 연구단으로 추진하는 것이 효과적임
 - 홍수량 예측기술과 스마트 운영을 위한 수위예측 기술은 배수시설 운영의사결정을 위한 배수구역 및 하천의 정보를 제공함
 - 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영기술은 예측기술에서 제공된 정보를 기반으로 자율적인 최적운영 시스템 구축 기술을 개발함

2. 세부과제 구성

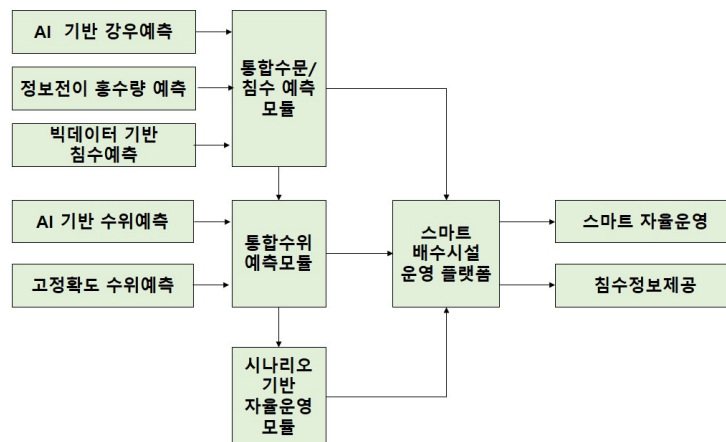
□ 아래와 같이 연구단별 세부과제를 구성함

<표 53> 배수시설 운영자동화 기술개발 연구단 세부과제 구성

구분	과제명
1세부과제	홍수량 예측 기술
1구성기술	선행시간 3시간 확보를 위한 AI 기반 강우 예측 및 시나리오 생산 기술
2구성기술	배수구역 강우-홍수 단기에측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술
3구성기술	정보전이를 활용한 미계측구역 소규모 배수구역의 홍수량 예측기술
4구성기술	빅데이터 기반 원격탐사 지형자료를 활용한 실시간 3차원 침수예측시스템 개발
2세부과제	스마트 운영을 위한 수위예측 기술
1구성기술	OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발
2구성기술	High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발
3세부과제	스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술
1구성기술	재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발
2구성기술	디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발

3. 세부과제간 연계성

□ 연구단별 세부과제의 성과물은 상호연계되며, 세부과제별 성과물의 연계관계는 다음과 같음



[그림 133] 배수시설 운영자동화 기술개발 연구단
세부과제간 연계성

4장. 세부과제별 추진내용

1절. 배수시설 운영자동화 기술개발 연구단

1. 추진배경 및 필요성

☐ 예상치 못한 배수구역의 침수 발생으로 인명과 재산 피해 빈번

- 배수시설 수문 작동 지연 등으로 주거지 및 농경지 침수 피해 발생 빈번
- 배수시설 시스템 고도화를 통한 침수 예측으로 인명 및 재산 피해 최소화 필요

☐ 관리자의 육안에 의한 현장 제어로 홍수시/야간 등의 신속 대응이 어려워 침수 피해 발생

- 국토부 배수시설 자동화 사업으로 국가하천 배수시설의 자동/원격 제어 추진 중
- 아산시 등 기 자동화 시설이 완비된 경우에도 시스템에 대한 신뢰도 부족, 비전문가에 의한 운영 등으로 수동으로 운영
- 지자체별 종합상황실을 구축하여 지자체 공무원 대응 예상되며 이 경우 내외수 비교에 의한 단순제어 외의 전문적 대응 불가
- 배수시설 내 홍수피해 최소화를 위해서는 기상 변화 상황, 내외수의 변화특성, 침수예측 등을 고려한 종합적 대응 필요
- 관측정보와 예측정보에 의한 신뢰도 있는 시스템 고도화를 통해 운영의 전문성 확보 필요

2. 목적 및 범위

가. 목적

☐ 배수시설 운영 시스템 고도화를 통한 배수구역 홍수피해 최소화

- 배수시설 스마트 운영을 위한 배수구역 홍수량 및 침수 예측 기술 개발
- 배수시설 스마트 운영을 위한 하천 수위 예측 기술 개발
- 배수시설 스마트 운영 통합 플랫폼 구축 기술 개발

나. 기술범위

□ 배수시설 스마트 운영을 위한 배수구역 홍수량 및 침수 예측 기술 개발

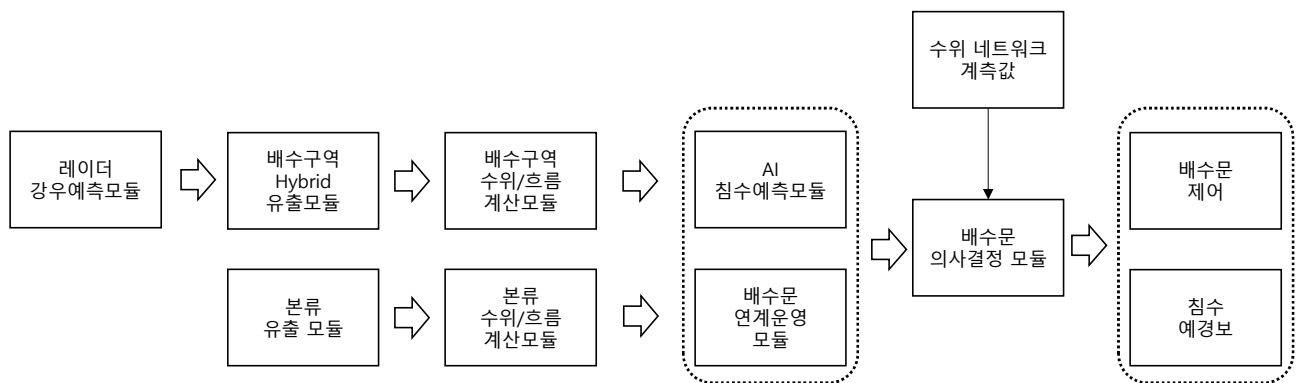
- 선행시간 3시간 확보를 위한 강우 예측 기술
- 통합플랫폼 적용을 위한 배수구역 강우-유출 모형
- 미계측 소유역 배수구역 홍수량 예측기술
- 원격탐사 기반의 배수구역 실시간 3차원 침수예측기술

□ 배수시설 스마트 운영을 위한 하천 수위 예측 기술 개발

- AI와 빅데이터 기반의 배수시설 운영을 위한 상하류 수위 예측 기술
- 배수시설 운영을 위한 신속/고정확도 수위 예측 기술

□ 배수시설 스마트 운영 통합 플랫폼 구축 기술 개발

- 관측정보와 예측정보에 의한 배수시설 자율제어 기술
- 관측, 예측, 의사결정, 제어, 모니터링 등 배수시설의 스마트 운영 플랫폼 구축 기술



[그림 134] 배수시설 스마트 운영 체계 기술 구성도

3. 연구단 목표

□ 배수시설 스마트 운영을 위한 배수구역 홍수량 및 침수 예측 기술 개발(선행 3시간 강우 정확도 80%, 실시간 침수 예측 정확도 70%)

○ 선행시간 3시간 확보를 위한 AI 기반 강우 예측 및 시나리오 생산 기술

- AI 기반의 강우레이더와 수치기상예측 정보 병합 및 실증 기술 개발을 통한 강우예측 선행시간 확대 및 정량적 정확도 향상(선행시간 3시간, 정확도 80% 이상)

○ 배수구역 강우-홍수 단기예측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술

○ 정보전이를 활용한 미계측유역 소규모 배수구역의 홍수량 예측

- 미계측 소유역 지형 정보 기반 순간단위도에 의한 홍수량 예측 기술 개발

○ 배수시설 특성을 고려한 인공지능 기반 침수예측 기술 개발

- 빅데이터 수집/처리 기술, 딥러닝 기반 침수예측 기술, 하이퍼파라미터 최적화 기술, 3차원 침수구역 매핑 시각화 기술 등 개발
- 실시간 침수예측 정확도 70% 이상 확보

※ 침수 예측 정확도 70%는 선행 3시간 기준 배수구역 침수발생지점 예측 부합 여부로 평가

□ 배수시설 스마트 운영을 위한 하천 수위 예측 기술 개발(계산 시간 10분 이내 정확도 90% 실시간 수위 예측)

○ OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발

- 텍스트 기반 경험적 비정형데이터(X-data)와 정형데이터 융합 기술 개발
- OurData 기반 예측오차 10% 이내의 AI 수위 예측 모형 개발

○ High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발

- HPG-2D 연계 물리기반 하이브리드형 예측 모형 개발
- 수위 예측 정확도 향상을 위한 Model Tuning 기술 개발
- TPU를 활용한 초고속 수위 예측기술 개발

□ 배수시설 스마트 운영 통합 플랫폼 구축 기술 개발

- 재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발
- 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발

4. 기술개발내용

가. 1세부과제

(1) 배경 및 필요성

- 현재 침수예측 시스템은 예측 오류의 가능성이 항상 존재하며, 침수피해에 대한 선제적 대응 방안 마련을 통해 그 피해를 최소화함으로써 피해액 및 복구액을 줄일 수 있는 기술 개발이 시급함
- 2020년 섬진강 등, 홍수예측 미숙으로 대규모 홍수피해 전국적 발생(사망 45명, 실종 12명, 이재민 6,946명, 시설피해 34,209건)
- 레이더 관측 성능은 현저히 높아졌으나 다양한 활용 및 실증 체계 미비로 홍수 관리에 레이더 자료 활용은 미흡하고 노력 또한 소극적
- 예측강우 시나리오의 현실 재현성 결여 및 실시간 예측 강우의 큰 불확실성으로 인해 풍수해 관리시스템 활용성 저하 초래
- 관측 빅데이터가 축적되고 인공지능 및 통신 기술이 급격히 발전하고 있음에도 이를 활용한 레이더 기반 홍수 관리 활용 기술 개발은 미진
- 미세측 소규모 배수지역의 경우 매개변수 검보정을 통한 수리·수문 홍수추적모델 적용이 어렵기 때문에 가용한 지형정보를 토대로 홍수량 산정 방법이 요구됨
- 사후복구 중심의 수재해관리 정책을 급변하는 수재해 양상에 효과적으로 대응하기 위해 정보통신기술(ICT), 지리정보시스템(GIS), 인공위성 및 원격탐사(RS), 인공지능 등 첨단 과학기술을 적극적으로 활용한 침수예측 기술 중심의 연구개발이 필요함
- 미국의 NOAA에서는 레이더와 다중센서 및 AI 기술을 활용하는 테스트베드를 구축해 돌발홍수 및 집중호우 해석 및 예측 기술 개발 중
- 미항공우주국 NASA에서는 돌발홍수예경보 한계점을 개선하기 위해 아이오와에 홍수센터를 설립해 고품질의 강수량 및 토양수분 데이터를 수집하고 관리하는 플랫폼 네트워크를 구축 운영 중

- 미국, 일본은 최근에 인공지능과 다양한 수문관측 센서를 접목하여 홍수예측의 정확도를 높이고, ICT 기술 선점 및 안전에 빈틈없는 선진형 홍수예경보 체계 구축을 위해 투자 집중
- 후진국, 개발도상국 내 홍수에 직접적으로 노출된 지역에는 강우-유출 계측자료가 부족하여 수리·수문 모형 기반의 홍수대비시스템 구축이 어려움
- 최근 10년 동안 발사 및 발사 예정 중인 인공위성의 수는 약 1,229기로 위성활용 서비스 시장은 더욱 확대될 것으로 예상되며, 향후 2024년까지 수자원 등 다양한 분야에서 위성정보의 수요가 증가할 것으로 예측됨
- 미국, 유럽, 일본 등 선진국가에서는 ICT, 위성, GIS 등 첨단 기술을 접목하여 유역 전체를 하나의 유기체로 통합 관리함으로써 효율성, 지속가능성 측면의 시너지를 극대화 되도록 유역 단위로 재난관리체계를 구축함
- 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 원격탐사 자료를 활용한 인공지능 기반 침수예측 기술을 개발하여 도시계획 및 재난관리를 위해 시범 적용 중이나, 국내에는 현재 시작 단계로 기술 개발 촉진이 필요함

(2) 세부과제 목표

☐ 선행시간 3시간 확보를 위한 AI 기반 강우 예측 및 시나리오 생산 기술

- AI 기반의 강우레이더와 수치기상예측 정보 병합 및 실증 기술 개발을 통한 강우예측 선행시간 확대 및 정량적 정확도 향상(선행시간 3시간, 정확도 80% 이상)

☐ 배수구역 강우-홍수 단기예측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술

☐ 정보전이를 활용한 미계측유역 소규모 배수구역의 홍수량 예측

- 미계측 소유역 지형 정보 기반 순간단위도에 의한 홍수량 예측 기술 개발

☐ 배수시설 특성을 고려한 인공지능 기반 침수예측 기술 개발

- 빅데이터 수집/처리 기술, 딥러닝 기반 침수예측 기술, 하이퍼파라미터 최적화 기술, 3차원 침수구역 매핑 시각화 기술 등 개발
- 실시간 침수예측 정확도 70% 이상 확보

(3) 연차별 추진계획

□ 1차년도

- 폭우 시 배수시설의 실시간 자동제어를 위한 레이더 강수량 정량적 관측 정확도 향상 기술 개발 (배수구역 관측 우량계 대비 $100\pm5\%$ 수준)
 - 강우레이더 관측변수 간 상관관계 실시간 추정 및 정상성 판단 기술 개발
 - AI와 지상 강수량 기반 강우레이더 관측변수 편차 실시간 추정 및 최적 보정 기술 개발
- 자료가 가용한 국내 유역의 지형특성 및 순간단위도 취합 및 정리
 - WAMIS에서 제공하는 유역 평균 강수량과 유량관측자료를 통해 표준유역 단위 순간 단위도를 도출 및 정리.
 - 순간단위도를 구한 표준유역 지형 특성 정보를 기반으로 지형에 따른 순간단위도 변화 분석
- 수자원 위성 빅데이터 분류/통합 기술 개발
 - 수자원 위성 지형자료 및 수문인자 분류기술 개발
 - 침수예측 정확도 향상을 위한 수자원 위성 빅데이터 통합기술 개발
- 원격탐사 빅데이터 기반 배수구역 내 상태분석 기술 개발
 - 배수구역 침수/정상 상태분석 기술 개발

□ 2차년도

- 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 AI 기반 초단기 예측 강수량 생산 기술 개발 (배수구역 평균 1시간 예측 정확도 90% 이상)
 - 강우레이더 기반 앙상블 초단기 강우 예측 모형 개발
 - 강우레이더 및 AI 기반 앙상블 QPF 생산 기술 개발
- 국내 미계측 유역에 적용할 수 있는 GIUH 산정법 구축
 - 유역 면적, 형상계수, 경사 등 유역 지형 특성에 따른 GIUH 내 경험상수 변화 분석

- 홍수량 추적에 한반도 대상 GIUH 산정법 적용 가능성 평가
- 수자원 위성 빅데이터 실시간 데이터 퓨전 기술 개발
 - 빅데이터(수문, 지형자료, 각종 이미지 등) 실시간 수집/처리 모듈 개발
 - 실시간 빅데이터 퓨전 분석 기술 개발
- 수자원 위성 빅데이터 기반 딥러닝 모형 침수예측 기술 개발
 - 침수예측 성능 향상을 위해 딥러닝 모형 하이퍼파라미터 최적화 기술 개발
 - 침수특징인자를 고려한 하이브리드 딥러닝 침수예측 기술 개발

□ 3차년도

- 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 AI 기반 초단기 예측 강수량 최적 병합 및 정량적 정확도 향상 기술 개발 (배수구역 평균 3시간 정량적 예측 정확도 80% 이상)
 - 강우레이더 QPF 및 초단기 NWP AI 기반 최적 병합 기술 개발
 - 강우레이더 QPF 및 초단기 NWP 병합 AI 기반 실시간 보정 기술 개발
- Fractal scaling의 적용성 평가
 - 정리 취합한 지형-순간단위도 정보 내 Fractal 특성 분석 및 자연 유역과 동일한 Self-similarity 관측여부 평가
- 수자원 위성 빅데이터 기반 포인트 클라우드 기법 기술 개발
 - LiDAR 기반 포인트 클라우드 데이터 습득 기술 개발
 - 지형자료의 3차원 형상정보 구축 기술 개발
- GPU 기반 실시간 침수분석용 메타모델 개발
 - GPU 기반 실시간 침수해석 모형 개발
 - 침수분석용 메타모델 개발

□ 4차년도

- 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 강우-배수구역특성-홍수위험 관계 유도 및 지수화 기술 개발

- 배수구역특성을 고려한 병합 예측강수 기반 배수구역 홍수위험 해석 및 지수 산정 기술 개발
- 초과강우에도 안전한 배수시설 비상 운영 계획 수립을 위한 최적 초과강우 시나리오 생산
- 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출 및 정량화 기술 개발
 - 주요 침수특징인자 추출 기술 개발
 - 침수예측 정확도 향상을 위한 침수분석용 주요인자 불확실성 분석기법 개발
- 배수시설 운영시나리오별 배수구역 3차원 침수위험지도 생성 기술 개발
 - 3차원 침수위험구역 실시간 매핑을 위한 시각화 기술 개발
 - 침수피해 의사결정체계 구축을 위한 구글엔진 기반 실시간 3차원 침수위험지도시스템 개발

□ 5차년도

- 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 배수구역 홍수위험 지수 테스트베드 실증 및 미세측 배수구역 전이 적용 기술 개발
 - 배수구역 홍수위험 지수 테스트베드 실증 및 미세측 배수구역 전이 적용 기술 개발
 - 초과강우 시나리오 적용성 평가 및 활용 기술 개발
- 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출기술 검증 및 고도화
 - 개발 요소기술 정확도 평가기법 제시
 - 개발 요소기술 검증 및 고도화
- 3차원 침수위험지도시스템 예측력 평가 및 테스트베드 검증
 - 개발 요소기술 예측력 평가방법 제시
 - 개발 요소기술의 테스트베드 검증 및 고도화

(4) 기존 기술성과 연계활용 방안

- 기상청 기상레이더에 비해 강우의 정량적 정확도가 높은 환경부 강우레이더

관측 및 예측 자료 적극 활용(필요시 기상청 자료 병행 활용)

- ☐ 환경부에서 개발한 강우레이더 실시간 보정 및 예측 강수 병합 기술 연계 활용 및 AI 기술을 접목하여 고도화하고 예측 선행 시간 연장 및 정확도 제고
- ☐ 환경부에서 개발한 국지 돌발홍수예측 시스템(골든타임 연구단) 연계 활용 (도시·산지 배수구역 포함 동(면) 행정구역)
- ☐ 환경부 홍수예보, 국토부 하천관리, 행안부(지자체) 풍수해 관리 시스템과 연계하여 연구 개발 기술 활용성 극대화
- ☐ IHP시험유역 등 기존 유역 중에서 집중적인 관측이 이루어진 유역을 대상으로 하여 testbed구축
- ☐ 개발된 연구 결과물의 특허출원을 통한 실수요처 기술이전 추진 및 현장 활용성 도모
- ☐ 추후 개발 예정인 수자원 위성에서의 관련 데이터 및 정보를 적극적으로 활용 가능한 기술 실용화를 최종 목표로 하며, 주 수요처의 의견을 지속적으로 수렴하여 활용성을 극대화하는 형태로 성과 도출

(5) 최종성과물

☐ 1차년도

- AI 기반 강우레이더 관측변수 실시간 편의 보정 및 QPE 생산 시스템
- 지형 특성을 기준 세분화된 유역 구간 별 대표 순간단위도
- 침수예측 정확도 향상을 위한 수자원 위성 빅데이터 통합기술 개발
- 배수구역 침수/정상 상태분석 기술 개발

☐ 2차년도

- 강우레이더 기반 양상블 초단기 강우 예측 모형 및 AI 기반 양상블 QPF 생산 시스템

- 한반도 지형 대응 GIUH 모형
- 빅데이터(수문, 지형자료, 각종 이미지 등) 실시간 수집/처리 모듈 개발
- 침수특징인자를 고려한 하이브리드 딥러닝 침수예측 기술 개발

☐ 3차년도

- 강우레이더 QPF와 초단기 NWP의 AI 기반 최적 병합 시스템
- Fractal scaling 적용성 평가
- GPU 기반 실시간 침수분석용 메타모델 개발

☐ 4차년도

- 배수구역 홍수위험 해석 모형 및 지수 산정 시스템
- 3차원 침수위험지도 생성 기술 개발

☐ 5차년도

- AI 기반 예측강우 및 초과강우 시나리오 생산 매뉴얼
- 3차원 침수위험지도 예측력 평가 결과

(6) 기대효과

- ☐ 기후변화에 의한 배수시설 침수피해에 선제적 대응으로 상습침수지역인 배수 구역의 홍수 안전성 확보
- ☐ 배수시설 선행시간 3시간 침수예측으로 인명 피해 방지 및 침수 피해 최소화
- ☐ 최적화된 배수시설 스마트 운영으로 배수문 작동 미숙에 의한 침수 피해 방지
- ☐ 관측정보와 예측정보에 의한 통합플랫폼 구축으로 배수시설 운영의 전문성 확보

- 빅데이터와 AI 기반의 홍수 재해 대응 핵심 기술 확보로 기후변화에 대응하는 국내 재난 대응 기술 발전 제고

나. 2세부과제(배수시설 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 개발)

(1) 배경 및 필요성

- 하천 분류 제방의 통문·통관을 따른 물의 유출입과 이에 따른 수위 및 흐름 거동 예측은 이수나 치수의 측면에서 매우 중요하나 이에 대한 연구는 미진하고, 해외 사례와 비교하여 우리나라도 자연재해에 대해 적극적으로 대처방안을 마련하여 정밀하고 정확도 높은 예·경보를 위한 기술 개발 촉진 필요
- 배수시설은 구조는 간단하나 대상구간이 넓어 관리 코스트가 많이 발생하며, 배수시설 운영과 연계한 하천 수위를 정확하게 예측하지 못하는 경우 치수(외수범람, 제방 안전성, 파제, 호안), 작황 등의 측면에서 치명적인 피해 발생
- 정보통신기술(ICT)을 활용하여 수문의 상태(CCTV) 및 수위(자동 수위계)를 실시간 파악 및 AI 기술로 수위를 예측하여 수문을 원격 개폐 기술 개발 필요
- 정밀·정확한 수위 예측으로 수자원의 효율적 활용과 재산피해 감소 기대
- 디지털 인프라 구축 (OurData 기반의 예측 시스템 개발)을 통한 공공부문 신규 시장 창출 및 사후 관리 시스템 개발 지원 가능성 향상 등 경제 활성화 기대
- 논문과 특허 기술 경쟁력을 분석하여 물리기반 하천수위 예측 기술의 선도국가를 분석한 결과 미국, 중국, 유럽, 일본 순으로 나타났으며 미국과 한국의 기술격차는 10년, 국내 기술수준은 70% 수준인 것으로 예측됨
- 미국의 경우 1950년 이후부터 홍수를 포함한 자연재해로 인한 피해 대응을 위해 능동적으로 대처하였고 현재, 연방 비상 관리국(Federal Emergency Management Agency, FEMA)을 두어 전략적으로 홍수피해에 대한 사전 및 사후관리를 구체화시키고 있음
- 일본의 경우에도 최근 빈발하고 있는 자연재해 등에 대응하기 위해 위험도 기준 예측 기법을 고해상도로 개선하고 최근에 발생한 예경보 실적을 바탕으로 예·경보의 정확성 및 적절성을 꾸준히 검토 및 보완하여 정확도를 향상시키고 있음
- 네덜란드의 경우 국토의 대부분이 해수면 아래에 있어 홍수의 위협이 잦은 편인데, 사회나 국가 단위로 물관리에 빅데이터를 유용하게 활용하는 디지털델타 프로젝트(Digital

Delta Project)를 수행하고 있음

(2) 세부과제 목표

☐ OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발

- 텍스트 기반 경험적 비정형데이터(X-data)와 정형데이터 융합 기술 개발
- OurData 기반 예측오차 10% 이내의 AI 수위 예측 모형 개발

☐ High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발

- HPG-2D 연계 물리기반 하이브리드형 예측 모형 개발
- 수위 예측 정확도 향상을 위한 Model Tuning 기술 개발
- TPU를 활용한 초고속 수위 예측기술 개발

(3) 연차별 추진계획

☐ 1차년도

- 경험적 비정형데이터(X-data 등) 및 관측기반 정형데이터 (수문+기상) 통합구축
 - 경험적 비정형데이터(X-data) 구축
 - 정형데이터(수문관측데이터+기상관측데이터) 확보
- High Fidelity 하천수위 예측 기술 방법론 정립
 - 하천수위 예측모형 입출력자료 상세 설계
 - HPG 모형 알고리즘 설계

☐ 2차년도

- 비정형데이터의 활용성제고를 위한 데이터 융합(Data Fusion) 모형 개발
 - 비정형데이터의 정량화 기술 개발
 - X-data와 정형데이터를 융합할 수 있는 데이터 융합(Data Fusion) 기술 개발

○ High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 개발

- TPU를 활용 하천수위 예측기술 연산속도 개선
- 수치격자 해상도에 따른 computing 결과의 dependency 분석
- HPG-2D 연계 물리기반 하이브리드형 예측 모형 연계

□ 3차년도

○ Ourdata System를 활용한 지점 수위예측을 위한 알고리즘 개발

- Ourdata를 활용한 LSTM 모형 기반의 지점 수위 예측 알고리즘 개발
- 지점별 특성을 고려한 수위 예측 알고리즘의 정확도 및 신뢰도 검증

○ High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 고도화

- 수치격자 해상도에 따른 computing 결과의 효율성 극대화
- DA를 활용한 모형의 정확도 개선
- High Fidelity 하천수위 예측 프로토타입 모형(본류구간 10km 1 시간 내 수위 예측, 격자 자동 생성, 고수부지/식생 등 주요 에너지 손실 계산) 개발

□ 4차년도

○ AI 기반의 표준유역 단위 내 수위예측 및 침수예보 체계 개발

- 기술 적용 대상지 선정 및 시험 적용
- 적용결과 평가 및 기법 개선

○ High Fidelity 하천수위 예측 기술의 중소규모 테스트베드 적용

- 최적 수치격자 기반 초고속 고효율 하천수위해석 기술 검증
- 하천 본류 제방 통문·통관을 따른 물의 유출입과 이에 따른 수위 및 흐름거동 예측

□ 5차년도

○ 통합플랫폼 연계 운영 및 실용화

- AI 기반 모형 및 High Fidelity 하천수위 예측 연계 운영 기법 개발

- 통합플랫폼 모듈 탑재 및 적용
- 연계 운영/평가/개선을 통한 실용화

(4) 기존 기술성과 연계활용 방안

- ☐ 연차별 연구 내용에 맞는 목표를 달성하고 그에 적합한 추진전략 및 체계를 수립
- ☐ 실무차원의 배수문 자동제어 현장에 적용할 실용화 전략(On-Off) 수립
- ☐ 기 개발된 기술 및 현재 개발 중인 기술과 관련하여 본 기술과의 연계, 보완, 활용방안 제시
- ☐ 특허출원, 기술이전 등을 통해 본 기술의 검증 및 접근성 향상
- ☐ 데이터 관련 4차산업 기술 개발 범위 확장 및 수자원 산업 현장 적용을 위한 설명서 및 플랫폼 제공
- ☐ 유관 기관과 협력을 통해 실제 현장에서의 활용성을 극대화할 수 있도록 업무 배분 및 관련 법체제의 정합성 정비
- ☐ 미세측 지류하천과 본류하천을 포함하여 공간적 제약을 극복하고, CCTV 영상, 스마트센싱, AI 예측값 등과의 자료동화를 통해 정확성을 향상하며, CPU 기반 침수 예측모형에 비해 계산속도가 85배 빠른 TPU 활용하여 신속하게 하천 수위를 예측할 수 있는 기술 개발
- ☐ 물리기반 모형의 근본 골격은 유지한 채 운영 플랫폼을 대폭 개선하는 기술로 연계가 가능함
- ☐ 시공간적으로 제약이 많아 적용성이 떨어졌던 2차원 침수해석 모형의 한계점 극복
- ☐ 물리기반 모형으로 예측함에도 불구하고 계산속도를 대폭 향상하여 신속한 결과 도출

- ☐ 수리학적 모형 모듈은 AI 기반 1차원 모듈과 High Fidelity 기반 2차원 모형으로 구성하며 통합플랫폼 상에는 전체 본류 구간에 1차원 모듈을 구성하며 배수시설 포함 상하 수 km 구간에 2차원 모형 모듈을 구성함. 해당 배수시설 모의 시 2차원 모형을 모의할 수 있도록 구성함. 기본 체계는 통합홍수예보시스템을 기본으로 함.
- ☐ 시차에 적합한 과거의 문제점 보완·보유 기록 보전, 현재의 배수문 상황 및 제원 정보 파악, 미래의 세부 지침 및 유지관리 등 지속적인 연구 추진으로 핵심 기술 확보
- ☐ 참여연구기관과의 협력을 통해 기술의 연계성 및 성능 확대 확보
- ☐ 현장 적용 목적으로 기술에 대해 산학연과의 공동연구 추진
- ☐ 수자원 분야뿐 아니라 데이터 등 다양한 분야의 전문가 활용 및 실제 현장에서 업무를 수행한 해당 시설 관리인 등을 모집하여 본 기술의 교육 및 보완사항에 대해 현장의견 반영

(5) 최종성과물

☐ 1차년도

- 비정형데이터(X-data 등) 및 정형데이터 구축
- 하천수위 예측모형 입출력구조 및 HPG 모형 알고리즘 개발

☐ 2차년도

- 비정형데이터의 정형화 기술 개발 및 데이터 융합(Data Fusion) 모형 개발
- High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 개발

☐ 3차년도

- OurData 및 LSTM 모형 기반의 지점 수위 예측 알고리즘 개발
- High Fidelity 하천수위 예측 프로토타입 모형 개발

☐ 4차년도

- AI 기반의 표준유역 단위 내 수위예측 및 침수예보 체계 개발
- High Fidelity 하천수위 예측 모형 적용 및 평가

☐ 5차년도

- AI 기반 모형 및 High Fidelity 하천수위 예측 연계 운영 모델 개발
- 통합플랫폼 모듈 탑재 및 평가

(6) 기대효과

- ☐ 배수시설 수위 예측 정확도와 속도의 비약적 향상으로 홍수피해저감 효과 제고
- ☐ AI 기반 모형과 물리기반 모형의 연계 운영으로 악천후 상황에서의 정보손실 최소화
- ☐ AI 기반 모형과 물리기반 모형의 연계 운영 관련 요소 기술 및 핵심 기술 확보로 홍수예정보 및 도시침수 등에 관련 기술 확산

다. 3세부과제(스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 개발)

(1) 배경 및 필요성

- ☐ IoT기반의 실시간 계측데이터를 모니터링하고, 물리모델 및 인공지능(AI)을 활용한 홍수량 및 홍수위 분석기술을 개발하여 디지털 트윈기반의 배수문 운영 의사결정을 지원 시스템 구축이 필요함
- 정부는 한국형 뉴딜 프로젝트 일환으로 하천 분야 SOC 디지털화 사업추진 중이며 신속한 재난·재해 대응과 효율적인 하천관리를 위하여 국가하천 내 스마트 홍수관리 시스템 구축을 추진하고 있음
- 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼을 구축하여 현실 세계와 가상세계를 준수

시간 동기화하여 배수문 운영 시뮬레이션을 통한 의사결정 지원체계 구축이 필요함

- 배수시설의 운영이 마을 이장 또는 인근 지역주민을 민간 수문관리인으로 임명하여 민간 수문관리인이 직접 현장에서 수동으로 조작하는 방식으로 사고 위험성 크고 근무자 역량 중심의 운영관리로 인한 지속적인 사고 발생으로 안정적인 운영체계 구축 필요함
- 수문관리인의 고령화, 전문성 부족, 피해 발생 시 불분명한 책임소재 문제 발생 및 야간, 기상악화 시 현장출동 과정에서 발생할 수 있는 안전사고 위험이 높음 (2019 양천구 빗물 저류 배수시설 사고)
- 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문 운영지원 플랫폼을 구축하여 강수량, 홍수위 등에 따른 수위 변화를 시각적인 시뮬레이션을 통해 피해 상황을 미리 예측하여 피해지역 사전대비 가능
- 신속하고 체계적인 수문 조작 및 운영, 현장에서의 안전사고 방지 및 예방, 주기적인 수문 점검, 홍수 및 침수피해 감소 등 다양한 효과를 얻을 수 있음
- 국내의 디지털 트윈 기술력은 미국의 약 80% 수준으로 현재 대부분의 수리·수문 분석시스템은 GIS 기반의 웹 시스템으로 운영 중이기에 현 운영 시스템을 활용하여 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문 운영지원 플랫폼 구축하기엔 한계가 존재하여 고해상도 건물/ 인프라 모델자료 활용이 가능한 클라우드 기반 디지털 트윈 플랫폼 구축이 필요함
- 기존산업에 4차 산업기술을 융합하여 스마트화가 세계적으로 확산 중이며, 재난, 재해 분야에도 클라우드, 디지털 트윈 그리고 인공지능 기술을 융합 하여 선제적 기술 확보로 물산업 신성장 동력 확보가 필요함

(2) 세부과제 목표

- ☐ 재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발
- ☐ 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발

(3) 연차별 추진계획

- ☐ 1차년도
 - 배수문 운영 자료조사 및 디지털 표준체계 구축

- 배수문 운영시스템 국내외 사례 조사
- 하천 지형데이터 인벤토리 구축(DEM, 수치지형도, 정사영상 지형자료)
- 시설물 3D 가상모델 구축(배수문, 보, 교량 등 시설물 자료구축) 및 데이터 디지털화를 위한 표준체계 구축
- AR/VR 기반 배수문 홍수 대응 시뮬레이션 시나리오 개발

□ 2차년도

- 디지털 트윈 기반 스마트 배수문(Gate) 운영지원 플랫폼 설계 및 프로토타입 개발
 - IoT기반 배수문 운영 통합 DB 설계 및 구축
 - 드론을 활용한 현장조사 및 3차원 지형자료 구축
 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 프로토타입 개발
 - 클라우드를 활용한 홍수위, 홍수량 분석 시스템 설계
 - AR/VR을 활용한 시나리오별 배수문 홍수 대응 콘텐츠 개발

□ 3차년도

- 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼 개발
 - 배수문 운영자료 DB 구축 및 유관기관 수문자료연계(기상, 수위, 유량 등)
 - 드론을 활용한 현장조사 및 시설물 3차원 객체 정보 구축
 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 구축 및 가시화 엔진 개발
 - 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석 GUI 개발

□ 4차년도

- 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼 고도화
 - 자율 운영시스템과 연계 및 실시간 운영자료 DB 구축
 - 드론을 활용한 지형 및 객체 정보 분석기술 고도화
 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 고도화
 - 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석시스템 고도화

☐ 5차년도

☐ 플랫폼 현장 적용을 통한 테스트베드 시험운영 및 개선

- 배수문 운영지원 플랫폼 현장 적용 및 보완
- 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 실시간 현장 운영자료 분석 및 보완
- 자율운영시스템과 연계를 통한 긴급대응 상황 대처 및 보완

(4) 기존 기술성과 연계활용 방안

☐ 디지털 플랫폼은 GIS 기반 엔진의 장·단점을 조사하고 장래 확장성 및 유지 관리 등을 고려하여 오픈소스 기반의 엔진으로 구축하고 테스트베드 지역의 정밀 하천정보 및 시설물 정보는 드론 영상을 활용하여 구축함

☐ 3차원 공간정보, 드론, 정사영상 및 관측·시뮬레이션 결과의 3차원 가시화를 위한 UI(User Interface) 및 플랫폼을 개발함

☐ 통합 운영 DB를 구축하고 IoT 기반의 실시간 계측자료를 기반으로 홍수분석 시뮬레이션 수행 및 3차원 분석결과 가시화 기술을 개발함

☐ 시스템 통합은 홍수통제소에서 운영하는 통합홍수예보시스템 체계를 기본으로 하여 수문자료처리, 오류 데이터 처리, 강우레이더 자료처리, NWP 자료처리, 수문학적 모형 모듈, 수리학적 모형 모듈 등을 연계하며, 예측 결과를 DEM 기반의 침수모듈에서 표출함. 여기에 예측제어에 의한 수리학적 모의 기능을 추가하며 통합시스템 내에 제어모듈을 구성함.

(5) 최종성과물

☐ 1차년도

☐ AR/VR 기반 배수문 홍수 대응 시뮬레이션 시나리오 개발

☐ 2차년도

☐ IoT기반 배수문 운영 통합 DB 설계 및 구축

- 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 프로토타입 개발
- AR/VR을 활용한 시나리오별 배수문 홍수 대응 콘텐츠 개발

□ 3차년도

- 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 구축 및 가시화 엔진 개발
- 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석 GUI 개발

□ 4차년도

- 자율 운영시스템과 연계 및 실시간 운영자료 DB 구축
- 의사결정 모듈 개발 및 적용

□ 5차년도

- 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문 운영지원 플랫폼 실용화

(6) 기대효과

- 하천수위 및 홍수량 예측을 기반으로 스마트 배수문 운영지원 플랫폼을 구축하여 재난·재해에 선제적 대응이 가능함으로써 하천 배수구역의 침수피해 60% 이상 절감 기대

※ 배수구역 침수 피해에 대한 정확한 통계자료는 없으나, 수문 운영 미숙에 의한 침수 피해의 유형은 수문미작동, 수문관리소홀, 하천 수위급상승, 배수구역 수위급상승, 원인 미상 등임. 스마트 플랫폼 구축으로 3시간 선행 시간 확보로 하천 수위급상승, 배수구역 수위급상 등 2가지 유형에 원천적 대응이 가능하며 수문미작동 및 수문관리 소홀 등 2가지 유형에 부분적 대응이 가능하므로 최소 60% 이상의 피해 절감 가능

- 배수문 주변의 하천 및 제방 주변을 대상으로 3차원 공간정보를 구축하고 디지털 트윈 시각화 기술을 활용함에 따라 2D 수준의 분석결과 가시화 기술을 3D로 입체화함으로써 시뮬레이션 분석 및 시설물 유지관리 고도화를 실현하여 하천유지관리 비용 절감 및 활용도 제고

5. 기술로드맵

□ 과제별 목표 시점 및 연관관계 등을 고려하여 로드맵을 도출함



[그림 135] 배수시설 운영자동화 기술개발 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 활용업무 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 136] 배수자동화 사업 추진체계

<표 54> 배수자동화 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 55> 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

2. 단계별평가·관리 절차 및 기준

가. 선정평가

- 전문기관인 국토교통과학기술진흥원이 연구과제 공고에서 최종선정에서 협약
까지 전반적인 주관기관 선정 업무를 수행

<표 56> 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 전주기적 온라인 연구실적 및 성과정보 모니터링 시스템을 구축·운영

<표 57> 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 질적/양적 달성도, 연구계획 변경내용, 실용화 점검결과 반영내용, 연구비 집행실적 및 이월 신청 등
↓	
연구과제 평가단 구성	- 전문가 중심의 연구과제 평가단 구성 (이해관계인 제척)

프로세스	내용
[국토교통과학기술진흥원]	
↓	
중간(단계) 평가 실시 [국토교통과학기술진흥원]	- 해당단계 실적평가 및 다음단계 계획 검토
↓	
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 전달기관 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 정량평가 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, 배수자동화 사업의 목적 달성을 통한 사회경제적 기여도를 평가

<표 58> 배수자동화 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 59> 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 전인

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, 공공구매협의회 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

- (성능목표 실검증) 목표 정확도 등 목표 사양에 대한 달성 여부를 현장 적용 및 활용도를 고려하여 실검증

- 강우/홍수량/침수 등의 예측 정확도는 현장 시험 유역 선정 등과 시제품 수준의 시스템을 구축하여 실제 강우 사상에서의 정확도를 평가하는 검증보고서 작성과 전문가 평가를 통해 검증
- 수위 예측 정확도는 기존 수위 관측망을 활용한 주요지점 수위 관측결과와 시제품 수준의 예측 시스템 구축 후 실제 홍수시의 수위 관측결과와 비교를 통해 시스템의 적용성과 정확도를 실검증
- 통합플랫폼은 시험 유역에 대한 시험 시스템을 구축하여 실제 홍수기에 시험 운영을 통해 시스템의 신뢰성을 검증보고서와 전문가 평가를 통해 실검증
- (공인시험 및 전문가) 외부공인시험이 가능한 사양에 대해서는 공인시험성적서를 확인하고 외부공인시험이 불가능한 사양은 객관적인 전문가 평가단을 구성하여 검증

라. 성과활용

- (특허 및 상용화 전략) 기술개발 단계에서 기술적용을 위한 구체적인 사업화 전략을 수립하여 성과활용 측면을 고려한 특허 및 상용화 전략 관리 수행
- 성과활용을 위해서는 국토부, 환경부, 지자체 등 수요처의 기존 시스템과 연계성 및 운영 용이성을 확보하여야 하므로 연구 초기부터 수요처와 활용방안에 대한 협의 및 기존 시스템과의 연계전략 수립에 의해 관리 수행
- 통합플랫폼은 민간기업 기술 이전에 의한 성과 활용방안이 필요하므로 기술완성도 확보와 기술 이전을 위한 특허 및 상용화 전략 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 추적평가를 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
- 배수시설 스마트운영 기술개발 연구단의 성과지표체계는 다음과 같음

<표 60> 배수시설 스마트운영 기술개발 연구단의 성과지표체계

세부 과제	성과목표		성과지표	측정방법	단 위	목표 치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
배수시설 스마트 운영을 위한 배수구역 홍수량 및 침수 예측 기술 개발	선행시간 3시간 확보를 위한 강우 예측 기술	1	평균1시간 강우 예측 정확도	정확도 평가	%	90	0.10	예측정보의 실용성
		2	강우-구역특성-홍수위험 지수의 신뢰도	검증보고서	건	1	0.05	예측정보의 활용성
	통합플랫폼 적용을 위한 배수구역 강우유출 모형	3	다중 자료 융합 기술	등재 논문	건	1	0.05	기술의 완성도
		4	배수구역 단기에측모형개발	검증보고서	건	1	0.10	기술의 적용성
	미계측 소유역 배수구역 홍수량 예측기술	5	미계측 GIUH 기법의 신뢰도	검증보고서	건	1	0.05	실무 적용성
		6	Fractal Scaling 적용성	등재 논문	건	1	0.05	실무 적용성
	원격탐사 기반의 배수구역 실시간 3차원 침수예측기술	7	빅데이터 기반 침수구역 맵핑기술	등재 논문	건	2	0.05	기술의 우수성
		8	침수예측 정확도	정확도 검증 보고서	%	70	0.10	기술의 적용성
배수시설 스마트 운영을 위한 하천 수위 예측 기술 개발	SI와 빅데이터 기반의 배수시설 운영을 위한 상하류 수위 예측 기술	9	정형/비정형 데이터 융합기술 개발	프로그램 등록	건	2	0.05	기술 개발 여부
			데이터 융합기술 검증	등재논문	건	2	0.05	기술의 적용성
		10	OurData 기반 예측오차	검증보고서	%	10	0.05	기술의 적용성
	배수시설 운영을 위한 신속/고정확도 수위 예측 기술	11	모형 개발	프로그램 등록	건	2	0.05	기술개발 여부
			모형 검증	등재논문	건	2	0.05	기술의 적용성
		12	수위예측 정확도 및 신속성	검증보고서	건	1	0.10	기술의 적용성
배수시설 스마트 운영 통합 플랫폼 구축 기술 개발	관측정보와 예측정보에 의한 배수시설 자율제어 기술	13	자율운영시스템 개발	프로그램 등록	건	2	0.05	기술개발 여부
			자율운영시스템 검증	검증보고서	건	1	0.10	기술의 적용성
	관측 예측, 의사결정 제어, 모니터링 등 배수시설의 스마트 운영 플랫폼 구축 기술	14	운영지원플랫폼 구축 기술 개발	프로그램 등록	건	2	0.05	기술개발 여부
			운영지원플랫폼 검증	검증보고서	건	1	0.10	기술의 적용성

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 : 288명 (연평균 57.6명)

<표 61> 동 사업 소요인력

(단위 : 명)

분류		1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	합계
배수시설 운영 자동화 기술 개발 연구단	1세부과제	41	58	80	66	43	288
	2세부과제	22	31	43	37	23	156
	3세부과제	9	12	17	13	9	60
	계	11	14	20	16	11	72

2절. 소요예산 산정

☐ 세부과제별 예산을 고려해 동 사업의 소요예산을 아래와 같이 산정함

<표 62> 동 사업 소요예산

(단위 : 백만원)

분류		1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	총계
배수시설 고도화 기술 개발 연구단		3,450	4,800	6,680	5,520	3,550	24,000
	1세부과제	1,800	2,600	3,600	3,100	1,900	13,000
	2세부과제	750	1,000	1,400	1,100	750	5,000
	3세부과제	900	1,200	1,680	1,320	900	6,000

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 63> 배수제어 자동화 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 견실한 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 조성을 추진함
 - 동 사업에서 개발하는 기술은 손상이 우려되는 하천제방 시설을 탐지하여 보강하고, 홍수 피해를 줄일 수 있는 새로운 운영기준에 따라 배수문 운영을 자동 제어하므로 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 견실한 이행체계 구축’ 국정과제에서는 기후변화 리스크를 예측·관리하고, 피해를 최소화하는 안전사회를 구현을 추구하고 있음
 - 동 사업에서 개발하는 기술은 기후변화에 따라 실시간으로 급변하는 상황에 대응할 수 있도록 실시간 수위, 수량 계측 및 예측결과에 따라 배수문을 운영기준을 수립하여 자동제어하고, 수자원위성을 활용하여, 매일 주기적으로 모니터링한 결과에 기반하여 제방손상을 탐지하고 보강하는 기술임

나. 제4차 과학기술기본계획

- 제4차 과학기술 기본계획의 ‘과학기술로 모두가 행복한 삶 구현’의 내용이 배수자동화를 통해 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 위험대비 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 배수문을 운영하고 있으나, 인적자원이 경험을 기준으로 배수문을 개폐하고 있으며, 배수문 개폐과정에서 사고발생 위험도 존재하고, 각종 시설물은 침수에 영향을 주어 복합적으로 재난이 발생하고 있음
 - 동 사업에서 개발하는 배수문 운영자동화 기술과, 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 64> 배수제어 자동화 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 일환으로서 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

- 배수제어자동화 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 물관리 및 홍수피해 관리가 소극적이고 수동적인 방식으로 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

□ 국토부는 스마트하천관리시스템 구축사업을 추진하며, 동 기술개발과제의 성과물 적용을 고려하고 있는 것으로 보임

○ 스마트하천관리시스템 구축사업의 일환으로 배수시설 원격제어 시스템 사업의 마스터플랜이 수립되어 선도사업이 추진되고 있는 상황임

○ 현재 실시간 강우와 하천 수위 및 수량 계측정보를 토대로 운영기준을 재정립하는 기술은 부재한 상황으로 현재는 현장이 아닌 원격에서 제어할 수 있는 시스템 구축관점으로 추진되고 있음

○ 원격제어시스템이 구축되어 자동제어 기반이 조성되고, 홍수피해 저감을 위해 최적으로 운영할 수 있는 기준 정립과 자동제어가 가능한 동 기술개발과제 성과를 적용하면 첨단기술 접목, 안전, 재해저감을 추구하는 정부의 정책추구방향에 부합한 사업추진이 가능해짐

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 65> 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 배수구역 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

- 국토교통부의 “국가하천 배수시설 자동·원격제어시스템 및 국가하천 실시간 모니터링 체계 구축사업”에서는 관리자의 육안에 의한 현장 제어로 홍수시/야간 등의 신속 대응이 어려워 침수 피해 및 안전사고 발생 위험이 높은 상황을 사업추진배경으로 제시함

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

<표 66> '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	
농	전작		ha	25		1,754	

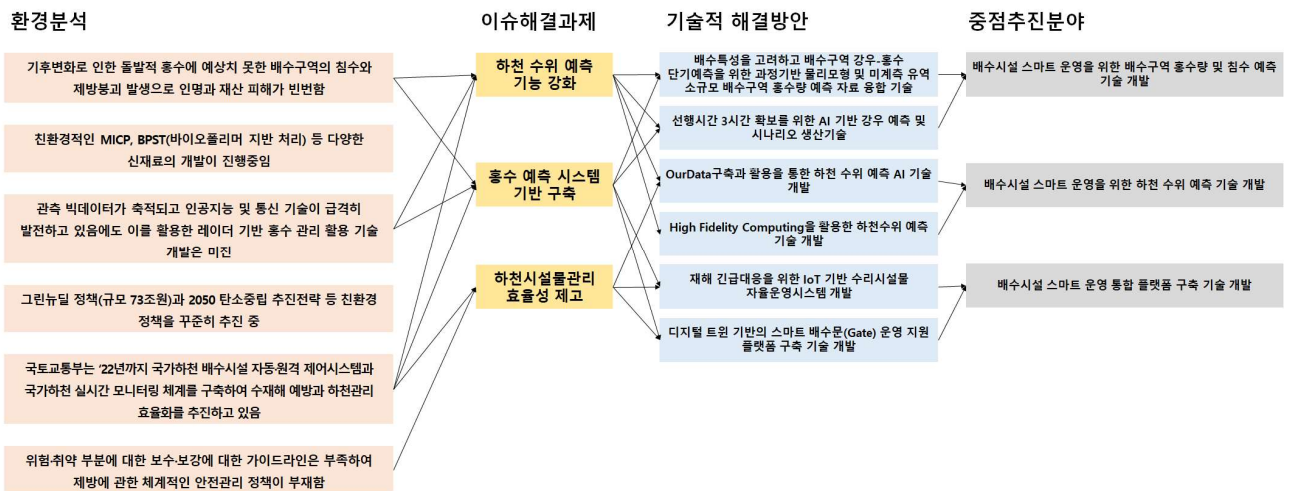
구분 \ 지역명			호우		태풍		
작 물	답 작	ha	1,093		2,595		
	기 타	ha	429		139,454		
	계	ha	1,547		143,804		
공 공 시 설	도로	도 로	개소/m	22	610	464	17,200
		교 량	개소/m	0	0	8	164
		피 해 액	천원	33,150		30,563,292	
	하천	하 천	개소/m	7	2,002	305	46,560
		피 해 액	천원	61,911		26,919,986	
	소하 천	소 하 천	개소/m	16	1,739	527	42,793
		피 해 액	천원	480,829		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	
	군시 설	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	
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		

나. 과학기술기반 문제/이슈 해결의 중요성 및 필요성

□ 배수문에서 발생하는 홍수피해는 기술부족에서 기인한 부분이 있음

○ 배수지역과 상류지역의 강우량, 수량, 수위에 대한 예측 정확도가 높아지면 배수문에서 발생하는 침수피해의 사전예측 정확도가 높아지며, 최적의 운영기준을 수립하여 홍수피해를 저감할 수 있음

□ 문제/이슈 해결과제 중 기술적 해결방안을 도출하여 중점추진영역을 설정하였음



[그림 137] 기술적 해결방안 및 중점추진영역

2. 사업목표의 적절성

가. 사업목표의 적절성

- 동 사업의 목표는 “배수시설 운영시스템 고도화를 통해 상습 침수구역 홍수피해 최소화”로, 사업 목표를 통해 제기된 문제의 해결 가능성이 명확하며 동 사업의 취지에 특화된 목표로 보여 적절하다고 판단됨
- 동 사업에서는 홍수피해가 크게 발생하고 있는 하천시설 중 배수문의 홍수피해를 줄이기 위한 내용으로 구성되어 있음
- 배수문에서의 홍수피해를 줄이기 위한 해결수단으로 배수문 주변의 수리정보와 수문정보 실시간 계측결과를 토대로 보다 정확한 홍수를 예측하고, 배수문의 운영기준 정립과 자율제어 시스템 고도화를 내용으로 하고 있음
- 동 사업에서 추진하는 기술개발 내용을 볼 때에, 동 사업의 목표인 “배수시설 운영시스템 고도화를 통해 상습 침수구역 홍수피해 최소화”는 해결하고자 하는 문제와 해결수단이 충분히 제시되었음

나. 성과지표의 적절성

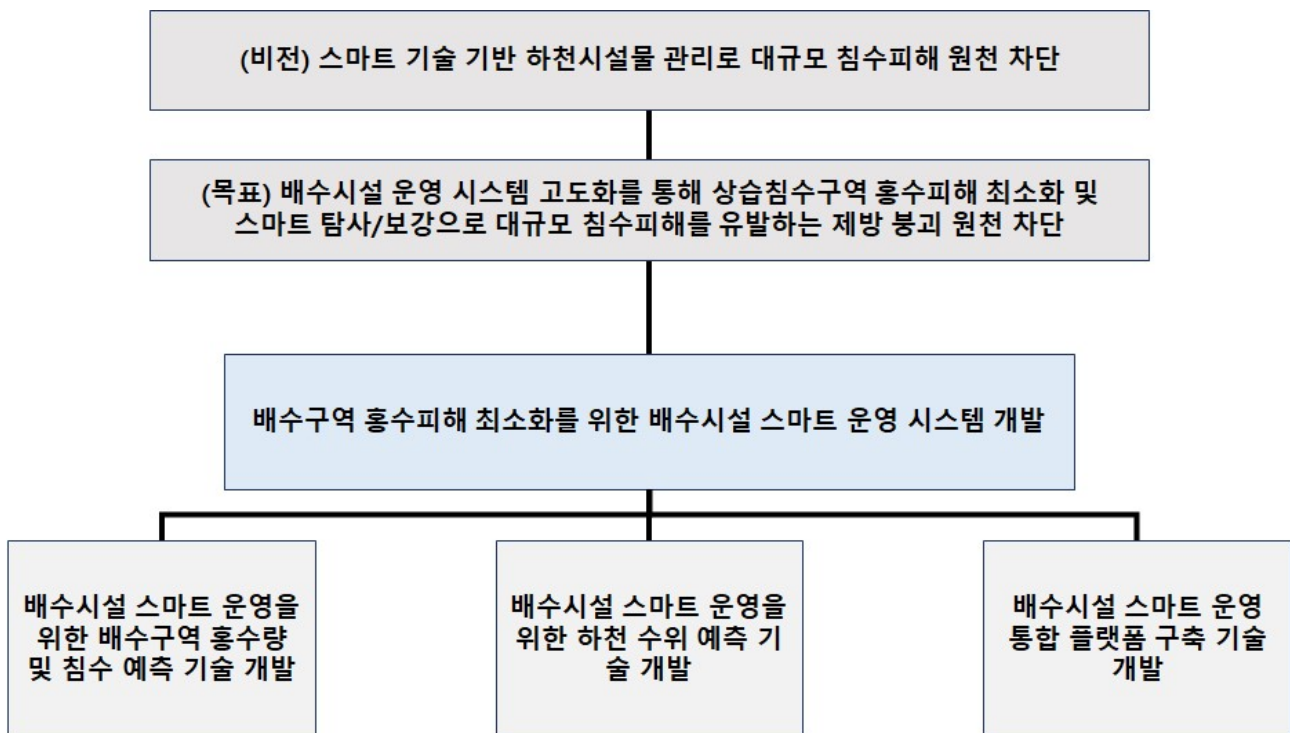
- 동 사업은 배수구역 홍수피해 최소화를 위한 배수시설 스마트 운영 시스템 개발이란 연구단 목표를 제시하였으며, 이를 달성하기 위한 성과지표를 적절히 제시하였음
- 세부과제별 성과목표를 제시하고, 성과목표 달성여부를 확인할 수 있는 성과지표를 제시하였음
- 성과지표별로 목표치와 설정근거를 제시하였으며, 성과지표를 측정하기 위한 구체적인 방안을 제시하였음
 - 배수시설 스마트운영 기술개발 연구단의 성과지표체계는 다음과 같음

<표 67> 배수시설 스마트운영 기술개발 연구단의 성과지표체계

세부 과제	성과목표	성과지표		측정방법	단 위	목표 치	가중치 (0~1)	목표치 설정근거
배수시설 스마트 운영을 위한 배수구역 홍수량 및 침수 예측 기술 개발	선행시간 3시간 확보를 위한 강우 예측 기술	1	평균1시간 강우 예측 정확도	정확도 평가	%	90	0.10	예측정보의 실용성
		2	강우-구역특성-홍수위험 지수의 신뢰도	검증보고서	건	1	0.05	예측정보의 활용성
	통합플랫폼 적용을 위한 배수구역 강우유출 모형	3	다중 자료 융합 기술	등재 논문	건	1	0.05	기술의 완성도
		4	배수구역 단기에측모형개발	검증보고서	건	1	0.10	기술의 적용성
	미계측 소구역 배수구역 홍수량 예측기술	5	미계측 GIUH 기법의 신뢰도	검증보고서	건	1	0.05	실무 적용성
		6	Fractal Scaling 적용성	등재 논문	건	1	0.05	실무 적용성
	원격탐사 기반의 배수구역 실시간 3차원 침수예측기술	7	빅데이터 기반 침수구역 맵핑기술	등재 논문	건	2	0.05	기술의 우수성
		8	침수예측 정확도	정확도 검증 보고서	%	70	0.10	기술의 적용성
배수시설 스마트 운영을 위한 하천 수위 예측 기술 개발	시와 빅데이터 기반의 배수시설 운영을 위한 상하류 수위 예측 기술	9	정형/비정형 데이터 융합기술 개발	프로그램 등록	건	2	0.05	기술 개발 여부
			데이터 융합기술 검증	등재 논문	건	2	0.05	기술의 적용성
		10	OurData 기반 예측오차	검증보고서	%	10	0.05	기술의 적용성
	배수시설 운영을 위한 신속/고정확도 수위 예측 기술	11	모형 개발	프로그램 등록	건	2	0.05	기술개발 여부
			모형 검증	등재 논문	건	2	0.05	기술의 적용성
		12	수위예측 정확도 및 신속성	검증보고서	건	1	0.10	기술의 적용성
배수시설 스마트 운영 통합 플랫폼 구축 기술 개발	관측정보와 예측정보에 의한 배수시설 자율제어 기술	13	자율운영시스템 개발	프로그램 등록	건	2	0.05	기술개발 여부
			자율운영시스템 검증	검증보고서	건	1	0.10	기술의 적용성
	관측, 예측, 의사결정 제어 모니터링 등 배수시설의 스마트 운영 플랫폼 구축 기술	14	운영지원플랫폼 구축 기술 개발	프로그램 등록	건	2	0.05	기술개발 여부
			운영지원플랫폼 검증	검증보고서	건	1	0.10	기술의 적용성

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



[그림 138] 목표 - 중점추진분야 - 문제/이슈 연계

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

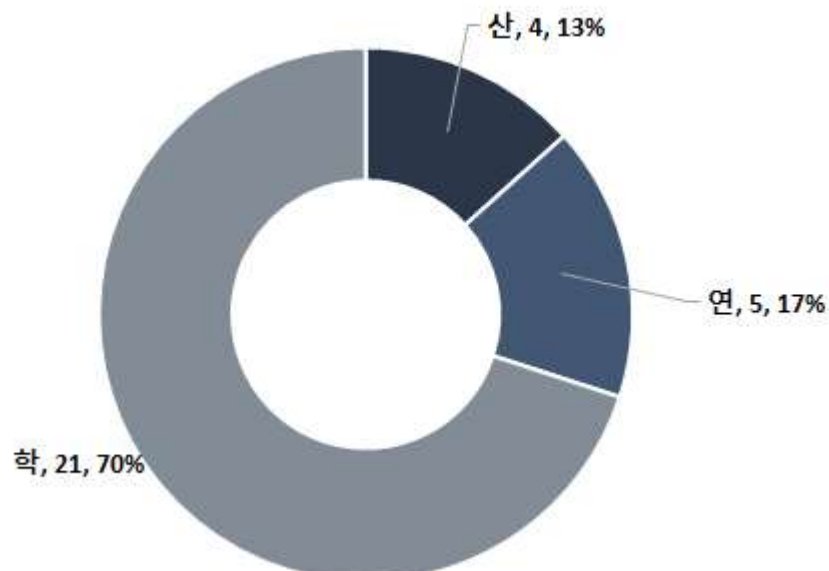
- 사업목적 달성을 위한 3개 중점추진분야는 Top-down 방식으로 설정하였으며, 중점추진분야별 연구내용 구성을 위한 기술아이템은 Bottom-up 방식으로 진행하고, 우선순위 평가를 통해 추진대상과제를 설정하였음
- 우선순위 평가는 전문가위원회 서면평가와 핵심전문위원회 검토의 2단계로 추진되었음
 - 전문가위원회 서면평가는 30인의 전문가위원회를 대상으로 후보과제별 목표부합성, 중복성, 기술개발실현가능성, 기술개발효과 측면에서 검토하였음
 - 핵심전문위원회는 전문가위원회 서면평가 결과를 검토하고, 전문가위원회 서면평가 내용을 종합하여 추진대상과제를 선별하였음



[그림 139] 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 확인됨⁷⁴⁾



[그림 140] 전문가구성 현황 분포

74) 지속가능한 통합물관리 기술개발사업, 환경부, 2020

(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
- 전체적인 연구개발 활동을 로드맵으로 제시하여 체계적으로 연구가 추진될 수 있을 것으로 보임
- ☐ 선행연구개발 과제와 차별성을 기술하였으며, 동 과제는 선행과제와 어떻게 차별화되는지 구체적으로 제시하였음

<표 68> 배수시설 제방 분야 유사과제 현황 및 차별성

과제명(연도)	연구내용	본 과제와 차별성
도시홍수 재해관리 기술 (2003-2008)	도시하천, 배수계통 설계, 중형단 구조물, 생태수리 기초이론 및 해석 기술연구 / 도시 홍수예경보의 문제점 파악 및 기본이론 확립 / 도시홍수 재해경감 기술조사 및 개발방향 설정, 실험계획 수립 / 도시홍수 방어계획 및 관리를 위한 요소기술 및 개념 정립 / 도시홍수 처리를 위한 제방, 방수로, 저류지 수리모형 제작 및 기초실험, 도시 유역내 홍수유출 저감시설의 설계기초 정립 / 도시홍수 방어계획 및 관리를 위한 응용기술 개발 및 기술의 최적화 방안 / 도시홍수 방어계획 및 관리를 실용화 기술 및 통합기술개발	- 유출모형 개발, 배수펌프장 운영 프로그램 개발 등 유사 분야가 있으나 선행시간 확보, 펌프시설이 없는 경우의 운영 등은 포함되지 않음 - 국가하천의 배수시설 자동운영에 적용 가능한 기술요소는 없음

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

(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 141] 배수시설 운영자동화 기술개발 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 69> 사업목표-세부활동간 연계성

사업목표	연구단목표	세부활동
배수시설 운영 시스템 고도화를 통해 상습침수구역 홍수피해 최소화 및 스마트 탐사/보강으로 대규모 침수피해를 유발하는 제방 붕괴 원천 차단	- 배수시설 스마트 운영을 위한 배수구역 홍수량 및 침수 예측 기술 개발 - 배수시설 스마트 운영을 위한 하천 수위 예측 기술 개발 - 배수시설 스마트 운영 통합 플랫폼 구축 기술 개발	- 선행시간 3시간 확보를 위한 AI 기반 강우 예측 및 시나리오 생산 기술 - 배수구역 강우-홍수 단기예측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술 - 정보전이를 활용한 미계측유역 소규모 배수구역의 홍수량 예측 - 배수시설 특성을 고려한 인공지능 기반 침수예측 기술 개발
		- OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발 - High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발
		- 재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발 - 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발

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 70> 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 142] 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 71> 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 72> 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 73> 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 74> 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 배수문 운영 자동제어 개발을 연구내용으로 하고 있음
- 동 사업을 통해 개발기술이 현장에 적용되면 배수문 주변의 수리수문계측 결과를 토대로 홍수예측 정확도를 높이고, 사전에 홍수에 대비하여 배수문을 운영할 수 있음

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

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

- 배수자동화로 인한 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 75> '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	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		
공공	도로	도로	개소/m	22	610		464	17,200	
		교량	개소/m	0	0		8	164	

구분 \ 지역명		호우		태풍	
시설	피 해 액	천원	33,150		30,563,292
	하천	개소/m	7	2,002	305 46,560
	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
	방조제	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
	임도	개소/m	1	5.00	89 169.42
	피 해 액	천원	1,000		24,569,351
	군시설	개소	1		37
	피 해 액	천원	500		2,438,661
사유시설	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
	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
사유시설	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 산정함⁷⁵⁾
- 사업기여율은 동 사업 투자규모를 국내 관련 R&D 전체 투자규모와 동 사업 투자규모를 합한 값으로 나눈 값인 15.6%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) = 240억원
- * 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 = 1:1.976) = 430억원
- * 사업기여율 = 120억원/(221억원+430억원)+120억원) = 6.9%

- 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

75) 지속가능한 통합물관리 기술개발사업 예비타당성조사 보고서(2021)

76) 국가심의를 거친 과학기술정보통신부의 '2019년도 정부연구개발투자방향 및 기준(안)' 을 보면 물관리분야 R&D의 민간투자 규모는 정부투자자의 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 76> 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 77> 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%

- 배수자동화로 인한 총 홍수피해 저감액은 489.6억원이며, 현재가치로 환산하면 250.0억으로 추정됨

<표 78> 배수자동화로 인한 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%	-
사업화성공 률	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	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	69%	-
홍수피해저 감율	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	56	114	174	235	299	364	430	499	570	643	717	794	4896
편익 현재가치	37	71	102	131	157	181	203	224	242	259	274	287	2166

3. 비용 추정

☐ 동 사업의 총 소요예산은 5년간 총 240억원임

<표 79> 동 사업 소요예산

(단위 : 억 원)

분류	2022	2023	2024	2025	2026	합계
배수시설 고도화 기술 개발 연구단	34.5	48.0	66.8	55.2	35.5	240.0

4. 경제성분석 결과

가. 비용 편익 분석 결과

☐ 동 사업에 대한 비용편익 비율은 1.19으로 도출되어, 사업의 예산규모 및 계획 기준으로 투입된 비용 대비 편익규모가 적절한 것으로 분석됨

<표 80> 동 사업의 비용편익분석 결과

(단위 : 억 원)

비용(현재가치)	편익(현재가치)	B/C Ratio
210	250	1.19

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 81> 동 사업의 할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과

구분	할인율 3.5%	할인율 4.5%	할인율 5.5%
B/C 비율	1.34	1.19	1.06

부록. 세부과제별 RFP

과제명	(연구단)배수시설 스마트 운영 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 배수시설 스마트 운영을 위한 배수구역 홍수량 및 침수 예측 기술 개발 － 선행시간 3시간 확보를 위한 AI 기반 강우 예측 및 시나리오 생산 기술 － 배수구역 강우-홍수 단기에측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술 － 정보전이를 활용한 미계측유역 소규모 배수구역의 홍수량 예측 － 배수시설 특성을 고려한 인공지능 기반 침수예측 기술 개발 ○ 배수시설 스마트 운영을 위한 하천 수위 예측 기술 개발 － OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발 － High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발 ○ 배수시설 스마트 운영 통합 플랫폼 구축 기술 개발 － 재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발 － 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발의 필요성 ○ 국내 환경 측면의 필요성 － 예상치 못한 배수구역의 침수 발생으로 인명과 재산 피해 빈번 － 배수시설 수문 작동 지연 등으로 주거지 및 농경지 침수 피해 발생 빈번 － 배수시설 시스템 고도화를 통한 침수 예측으로 인명 및 재산 피해 최소화 필요 － 관리자의 육안에 의한 현장 제어로 홍수시/야간 등의 신속 대응이 어려워 침수 피해 발생 － 국토부 배수시설 자동화 사업으로 국가하천 배수시설의 자동/원격 제어 추진 중 － 아산시 등 기 자동화 시설이 완비된 경우에도 시스템에 대한 신뢰도 부족, 비전문가에 의한 운영 등으로 수동으로 운영 － 지자체별 종합상황실을 구축하여 지자체 공무원 대응 예상되며 이 경우 내외수 비교에 의한 단순제어 외의 전문적 대응 불가 － 배수시설 내 홍수피해 최소화를 위해서는 기상 변화 상황, 내외수의 변화특성, 침수예측 등을 고려한 종합적 대응 필요 － 관측정보와 예측정보에 의한 신뢰도 있는 시스템 고도화를 통해 운영의 전문성 확보 필요 ○ 해외 환경 측면의 필요성 － 미국의 NOAA에서는 레이더와 다중센서 및 AI 기술을 활용하는 테스트베드를 구축해 돌발홍수 및 집중호우 해석 및 예측 기술 개발 중 － 미항공우주국 NASA에서는 돌발홍수예경보 한계점을 개선하기 위해 아이오와에 홍수센터를 설립해 고품질의 강수량 및 토양수분 데이터를 수집하고 관리하는 플랫폼 네트워크를 구축 운영 중 － 미국, 일본은 최근에 인공지능과 다양한 수문관측 센서를 접목하여 홍수예측의 정확도를 높이고, ICT 기술 선점 및 안전에 빈틈없는 선진형 홍수예경보 체계 구축을 위해 투자 집중 － 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 원격탐사 자료를 활용한 인공지능 기반

□ 기술동향

- 침수예측 기술을 개발하여 도시계획 및 재난관리를 위해 시범 적용 중이나, 국내에는 현재 시작 단계로 기술 개발 축진이 필요함
- 일본의 경우에도 최근 빈발하고 있는 자연재해 등에 대응하기 위해 위험도 기준 예측기법을 고해상도로 개선하고 최근에 발생한 예경보 실적을 바탕으로 예·경보의 정확성 및 적절성을 꾸준히 검토 및 보완하여 정확도를 향상시키고 있음
- 네덜란드의 경우 국토의 대부분이 해수면 아래에 있어 홍수의 위협이 잦은 편인데, 사회나 국가 단위로 물관리에 빅데이터를 유용하게 활용하는 디지털델타 프로젝트(Digital Delta Project)를 수행하고 있음
- 국내의 디지털 트윈 기술력은 미국의 약 80% 수준으로 현재 대부분의 수리·수문 분석시스템은 GIS 기반의 웹 시스템으로 운영 중이기에 현 운영 시스템을 활용하여 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문 운영지원 플랫폼 구축하기엔 한계가 존재하여 고해상도 건물/인프라 모델자료 활용이 가능한 클라우드 기반 디지털 트윈 플랫폼 구축이 필요함
- 기존산업에 4차 산업기술을 융합하여 스마트화가 세계적으로 확산 중이며, 재난, 재해 분야에도 클라우드, 디지털 트윈 그리고 인공지능 기술을 융합하여 선제적 기술 확보로 물산업 신성장 동력 확보가 필요함
- 국내기술동향
 - (레이더 강우추정 기술)강우레이더 실시간 편파변수 조정 강우추정 기술(한국건설기술연구원, 강우추정 정확도 80% 수준, 최고기술 보유국 미국 대비 85% 수준)
 - (3시간 강우예측 기술)예측강수 병합 및 재산정 기법(한국건설기술연구원, 3시간 강우예측 정확도 55% 수준, 최고기술 보유국 미국 대비 70%)
 - (1시간 돌발홍수예측 기술)국지 돌발홍수 예측시스템(한국건설기술연구원, 1시간 돌발홍수 예측 정확도 80% 수준, 최고기술 보유국 미국 대비 90%)
 - 최근 수행된 연구과제(내외수 연구단, 골든타임 연구단 등)에서는 원격탐사 정보를 활용하여 침수예측 기술을 개발하기 위해 제안되었으나, 2025년 개발 예정인 수자원 위성(각종 수재해 정보, 수문인자, 지형자료 등)을 적극적으로 활용하여 배수구역 내 배수시설 특성을 고려한 침수예측 기술은 부재하며, 해당 기술 개발이 필요함
 - 국내에서 수행된 유사 연구사업인 골든타임연구단에서는 레이더 관측 자료를 기반하여 대부분 동네규모 또는 하천의 홍수예측 기술 개발에 목적을 두고 있으며 이를 배수구역에 적용하기에는 기술적으로 부족한 상황임
 - 기존 기술인 물리 기반 침수예측 기술은 침수모의시 계산 시간이 오래 소요되며, 계산시간을 단축하고 정확도 향상을 위해 수자원 위성을 활용한 빅데이터 기반 침수예측 기술이 필요함
 - 국내 원격탐사 빅데이터를 활용하여 배수구역 내 침수예측 및 3차원 침수 위험지도시스템을 개발한 사례는 전무하며, 관련 기술 또한 아직까지 개발된 바 없음
 - 국외의 최근 연구 동향이 인공지능과 다양한 수문관측 센서를 접목하여 홍수 예측의 정확도를 높이고 ICT기술 선점 등의 연구에 집중을 하는 반면 우리나라의 경우, 중소하천 유역 및 도시 지역에서의 실시간 홍수 또는 침수

예보 기능이 부재한 상황

- 과학 기술 정보 통신부와 한국지능정보사회진흥원에서 추진 중인 ‘국가 인프라 지능 정보화 하천·댐 유역관리 실증사업’을 통해 3D 디지털 트윈 기반으로 하천·댐·제방 등 유역관리를 위한 플랫폼을 구축하여 수해 및 홍수 예방, 물관리 효율성 제고 사업추진 중임
- 국외기술동향
 - (레이더 강우추정 기술)강우레이더 실시간 강수추정 기술(미국 NWS, 강우추정 정확도 95% 수준)
 - (3시간 강우예측 기술)예측강수 병합 및 재산정 기법(미국 NWS, 3시간 강우예측 정확도 80% 수준)
 - (3시간 돌발홍수예측 기술)국지 돌발홍수 예측시스템(미국 NWS, 3시간 돌발홍수 예측 정확도 80% 수준)
 - 미국, 영국, 일본 등 여러 선진국에서는 원격탐사 자료를 활용한 자료동화 기술을 적용하여 수문현상에 대한 지식과 모형, 기술 및 관측자료의 최적연계를 가능하게 하고 있으며, 이를 기반으로 최적 침수예측 기술을 개발하기 위한 연구가 수행되고 있음
 - 미국은 National Aeronautics and Space Administration (NASA)는 Applied Sciences Program (ASP)을 통해 수자원 관리를 위한 각종 의사결정 시스템을 지원하며, 이는 NASA의 각종 원격탐사 자료를 바탕으로 운영되고 있음
 - 영국은 국토 및 도시계획을 수행할 때 도시의 홍수위험 안전성 확보를 위한 홍수 예측기술, 홍수 위험도 평가기법 등을 원격탐사 자료를 활용하여 개발하고 있음
 - 미국의 NASA와 일본의 Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)가 협업을 통해 TRMM, GPM을 운용하고 있으며, 이를 바탕으로 생산되는 강우 자료와 MODIS 등의 관측자료를 통합하여 도시 침수예측 기술을 개발하고 재난관리에 활용하고 있음
 - 미국은 빅데이터 솔루션 기업인 IBM이 데이터 처리와 분석을 위한 소프트웨어를 공급하여 홍수방지와 물의 경제적 활용을 위한 프로젝트를 진행하고 있음
 - 하천수위 예측 혹은 수리학 분야에 TPU를 적용한 연구는 전무한 실정이며, 2018년 ICCS(International Conference on Computational Science) 학술대회 내의 SOFTMAC (Simulation Of Flow and Transport: Modeling, Algorithms and Computation) 워크숍 세션에서 아래와 같이 멀티 하드웨어를 활용한 이종 병렬계산 분야가 향후 각광을 받을 것으로 예측
 - 미국, 독일, 영국 등 주요국은 정부 주도의 디지털 트윈 기반 국가 혁신 프로젝트를 추진하며 경쟁력 강화 및 국가기반 플랫폼 창출 기반 마련
 - 유럽집행위원회(EC, European Commission)는 실시간으로 홍수와 관련된 비상사태에 대한 경고 및 모니터링을 위해 사용되는 앱, 소프트웨어, 센서 등을 개발하도록 지원함. 또한 홍수관리 및 예방을 위한 연구 혁신에 지속적으로 투자하고 있음.
 - 영국은 국가 인프라를 디지털 트윈으로 구현 추진 중이며 런던, 맨체스터

같은 영국의 도시들을 3D 모델로 구축하여 교통, 날씨, 환경, 재해정보 등을 실시간 데이터를 연동하여 도시 운영을 효율화함

3. 연구개발 내용

(1차년도)

- 배수시설 스마트 운영을 위한 홍수량 및 침수 예측 기술 개발
 - － 폭우 시 배수시설의 실시간 자동제어를 위한 레이더 강수량 정량적 관측 정확도 향상 기술 개발 (배수구역 관측 우량계 대비 $100 \pm 5\%$ 수준)
 - － 자료가 가용한 국내 유역의 지형특성 및 순간단위도 취합 및 정리
 - － 수자원 위성 빅데이터 분류/통합 기술 개발
 - － 원격탐사 빅데이터 기반 배수구역 내 상태분석 기술 개발
- 배수시설 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 개발
 - － 경험적 비정형데이터(X-data 등) 및 관측기반 정형데이터 (수문+기상) 통합구축

－ High Fidelity 하천수위 예측 기술 방법론 정립

- 배수시설 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 개발
 - － 배수문 운영 자료조사 및 디지털 표준체계 구축
 - － 배수문 홍수 대응 시뮬레이션 시나리오 개발

(2차년도)

- 배수시설 스마트 운영을 위한 홍수량 및 침수 예측 기술 개발
 - － 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 AI 기반 초단기 예측 강수량 생산 기술 개발 (배수구역 평균 1시간 예측 정확도 90% 이상)
 - － 국내 미계측 유역에 적용할 수 있는 GIUH 산정법 구축
 - － 수자원 위성 빅데이터 실시간 데이터 퓨전 기술 개발
 - － 수자원 위성 빅데이터 기반 딥러닝 모형 침수예측 기술 개발
- 배수시설 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 개발
 - － 비정형데이터의 활용성제고를 위한 데이터 융합(Data Fusion) 모형 개발
 - － High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 개발
- 배수시설 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 개발
 - － 디지털 트윈 기반 스마트 배수문(Gate) 운영지원 플랫폼 설계 및 프로토타입 개발

－ 클라우드를 활용한 홍수위, 홍수량 분석 시스템 설계

－ AR/VR을 활용한 시나리오별 배수문 홍수 대응 콘텐츠 개발

(3차년도)

- 배수시설 스마트 운영을 위한 홍수량 및 침수 예측 기술 개발
 - － 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 AI 기반 초단기 예측 강수량 최적 병합 및 정량적 정확도 향상 기술 개발 (배수구역 평균 3시간 정량적 예측 정확도 80% 이상)
 - － Fractal scaling의 적용성 평가
 - － 수자원 위성 빅데이터 기반 포인트 클라우드 기법 기술 개발
 - － GPU 기반 실시간 침수분석용 메타모델 개발

- 배수시설 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 개발
 - Ourdata System를 활용한 지점 수위예측을 위한 알고리즘 개발
 - High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 고도화
 - 배수시설 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 개발
 - 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼 개발
 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 구축 및 가시화 엔진 개발
 - 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석 GUI 개발
- (4차년도)
- 배수시설 스마트 운영을 위한 홍수량 및 침수 예측 기술 개발
 - 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 강우-배수구역특성-홍수위험 관계 유도 및 지수화 기술 개발
 - 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출 및 정량화 기술 개발
 - 배수시설 운영시나리오별 배수구역 3차원 침수위험지도 생성 기술 개발
 - 배수시설 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 개발
 - AI 기반의 표준유역 단위 내 수위예측 및 침수예보 체계 개발
 - High Fidelity 하천수위 예측 기술의 중소규모 테스트베드 적용
 - 배수시설 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 개발
 - 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼 고도화
 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 고도화
 - 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석시스템 고도화
- (5차년도)
- 배수시설 스마트 운영을 위한 홍수량 및 침수 예측 기술 개발
 - 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 배수구역 홍수위험 지수 테스트베드 실증 및 미계측 배수구역 전이 적용 기술 개발
 - 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출기술 검증 및 고도화
 - 3차원 침수위험지도시스템 예측력 평가 및 테스트베드 검증
 - 배수시설 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 개발
 - AI 기반 모형 및 High Fidelity 하천수위 예측 연계 운영 기법 개발
 - 통합플랫폼 모듈 탑재 및 적용
 - 연계 운영/평가/개선을 통한 실용화
 - 배수시설 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 개발
 - 플랫폼 현장 적용을 통한 테스트베드 시험운영 및 개선
 - 현장 운영자료 분석 및 보완
 - 자율운영시스템과 연계를 통한 긴급대응 상황 대처 및 보완

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

- 기상청 기상레이더에 비해 강우의 정량적 정확도가 높은 환경부 강우레이더 관측 및 예측 자료 적극 활용(필요시 기상청 자료 병행 활용)
- 환경부에서 개발한 강우레이더 실시간 보정 및 예측 강수 병합 기술 연계 활용 및 AI 기술을 접목하여 고도화하고 예측 선행 시간 연장 및 정확도

제고

- 환경부에서 개발한 국지 돌발홍수예측 시스템(골든타임 연구단) 연계 활용 (도시·산지 배수구역 포함 동(면) 행정구역)
 - 환경부 홍수예보, 국토부 하천관리, 행안부(지자체) 풍수해 관리 시스템과 연계하여 연구 개발 기술 활용성 극대화
 - IHP시험구역 등 기존 구역 중에서 집중적인 관측이 이루어진 구역을 대상으로 하여 testbed구축
 - 개발된 연구 결과물의 특허출원을 통한 실수요처 기술이전 추진 및 현장 활용성 도모
 - 추후 개발 예정인 수자원 위성에서의 관련 데이터 및 정보를 적극적으로 활용 가능한 기술 실용화를 최종 목표로 하며, 주 수요처의 의견을 지속적으로 수렴하여 활용성을 극대화하는 형태로 성과 도출
 - 미계측 지류하천과 본류하천을 포함하여 공간적 제약을 극복하고, CCTV 영상, 스마트센싱, AI 예측값 등과의 자료동화를 통해 정확성을 향상하며, CPU 기반 침수 예측모형에 비해 계산속도가 85배 빠른 TPU 활용하여 신속하게 하천 수위를 예측할 수 있는 기술 개발
 - 물리기반 모형의 근본 골격은 유지한 채 운영 플랫폼을 대폭 개선하는 기술로 연계가 가능하도록 구축
 - 디지털 플랫폼은 GIS 기반 엔진의 장·단점을 조사하고 장래 확장성 및 유지관리 등을 고려하여 오픈소스 기반의 엔진으로 구축하고 테스트베드 지역의 정밀 하천정보 및 시설물 정보는 드론 영상을 활용하여 구축함.
 - 3차원 공간정보, 드론, 정사영상 및 관측·시뮬레이션 결과의 3차원 가시화를 위한 UI(User Interface) 및 플랫폼을 개발함.
 - 통합 운영 DB를 구축하고 IoT 기반의 실시간 계측자료를 기반으로 홍수분석 시뮬레이션 수행 및 3차원 분석결과 가시화 기술을 개발함.
- 추진체계
- 실용화 목적의 연구개발 사업임을 감안하여 산학연 공동연구 추진방안 모색
 - 국토부, 환경부, 행안부 등 유관기관과의 협력을 통한 니즈 도출 및 개발 기술의 실무 연계 활용 방안 다각도 모색
 - 관련 업계 전문가 자문단을 구성하여 본 연구의 정책적, 기술적, 경제적 추진방향 및 보완사항에 대한 자문
 - 홍수량 산정 실무를 다루는 설계회사 등과 긴밀한 협력을 통해 활용성이 높은 성과를 창출
 - 수자원 분야뿐 아니라 데이터 등 다양한 분야의 전문가 활용 및 실제 현장에서 업무를 수행한 해당 시설 관리인 등을 모집하여 본 기술의 교육 및 보완사항에 대해 현장의견 반영
 - 필요시 유럽, 일본, 미국 등 선진국과의 기술교류, 국외 전문가, 전문기관 활용하며, 국내 전문가 간담회, 공청회 등을 통해 기술개발전략에 대한 공감대 형성 및 의견 수렴
 - 테스트베드 하천정보 및 현장 시설물 조사는 드론측량 전문 업체를 활용하여 표준화 및 조사 수행하고, 하천구역의 항공 영상 및 지형자료는

국토지리정보원의 고해상도 영상 자료를 기반으로 디지털 트윈 체계를 구축함.

- 디지털트윈 운영지원 플랫폼은 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발 세부연구과제의 실시간 배수문 운영 데이터를 연계하여 통합DB를 구축하고 홍수량, 홍수위 예측을 위한 분석 플랫폼을 구축함.
- 이벤트 발생 시 디지털 트윈 플랫폼을 활용하여 홍수위 분석 및 시뮬레이션을 통한 홍수피해 사전 예측 및 예방 체계를 구축함

5. 최종성과물

□ 주요

최종성과물

〈관련 연구의 연차별 성과물〉

- 1차년도
 - AI 기반 강우레이더 관측변수 실시간 편의 보정 및 QPE 생산 시스템
 - 지형 특성을 기준 세분화된 유역 구간 별 대표 순간단위도
 - 침수예측 정확도 향상을 위한 수자원 위성 빅데이터 통합기술 개발
 - 배수구역 침수/정상 상태분석 기술 개발
 - 비정형데이터(X-data 등) 및 정형데이터 구축
 - 하천수위 예측모형 입출력구조 및 HPG 모형 알고리즘 개발
 - AR/VR 기반 배수문 홍수 대응 시뮬레이션 시나리오 개발
- 2차년도
 - 강우레이더 기반 양상불 초단기 강우 예측 모형 및 AI 기반 양상불 QPF 생산 시스템
 - 한반도 지형 대응 GIUH 모형
 - 빅데이터(수문, 지형자료, 각종 이미지 등) 실시간 수집/처리 모듈 개발
 - 침수특징인자를 고려한 하이브리드 딥러닝 침수예측 기술 개발
 - 비정형데이터의 정형화 기술 개발 및 데이터 융합(Data Fusion) 모형 개발
 - High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 개발
 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 프로토타입 개발
 - AR/VR을 활용한 시나리오별 배수문 홍수 대응 콘텐츠 개발
- 3차년도
 - 강우레이더 QPF와 초단기 NWP의 AI 기반 최적 병합 시스템
 - Fractal scaling 적용성 평가
 - GPU 기반 실시간 침수분석용 메타모델 개발
 - OurData 및 LSTM 모형 기반의 지점 수위 예측 알고리즘 개발
 - High Fidelity 하천수위 예측 프로토타입 모형 개발
 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 구축 및 가시화 엔진 개발
 - 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석 GUI 개발
- 4차년도
 - 배수구역 홍수위험 해석 모형 및 지수 산정 시스템
 - 3차원 침수위험지도 생성 기술 개발
 - AI 기반의 표준유역 단위 내 수위예측 및 침수예보 체계 개발
 - High Fidelity 하천수위 예측 모형 적용 및 평가

	- 자율 운영시스템과 연계 및 실시간 운영자료 DB 구축 - 의사결정 모듈 개발 및 적용 ○ 5차년도 - AI 기반 예측강우 및 초과강우 시나리오 생산 매뉴얼 - 3차원 침수위험지도 예측력 평가 결과 - AI 기반 모형 및 High Fidelity 하천수위 예측 연계 운영 모델 개발 - 수위 예측 모듈 통합플랫폼 탑재 및 평가 - 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문 운영지원 플랫폼 실용화
6. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2022년 ○월 ~ 2026년 ○월(○년 ○월) ○ 연구비 예산 : 240억원(정부출연금 : 240억원 이내)
7. 기 타	
	○ 본 연구사업의 제안 시 연구결과의 최종이용자 그룹(국토부, 환경부, 지자체 등)의 니즈(needs)와 활용성을 조사하여 반영해야 함

과제명	(1세부)배수시설 스마트 운영을 위한 홍수량 및 침수 예측 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 선행시간 3시간 확보를 위한 AI 기반 강우 예측 및 시나리오 생산 기술 - AI 기반의 강우레이더와 수치기상예측 정보 병합 및 실증 기술 개발을 통한 강우예측 선행시간 확대 및 정량적 정확도 향상(선행시간 3시간, 정확도 80% 이상) ○ 배수구역 강우-홍수 단기에측을 위한 과정기반 물리모형 및 자료 융합 기술 ○ 정보전이를 활용한 미계측유역 소규모 배수구역의 홍수량 예측 - 미계측 소유역 지형 정보 기반 순간단위도에 의한 홍수량 예측 기술 개발 ○ 배수시설 특성을 고려한 인공지능 기반 침수예측 기술 개발 - 빅데이터 수집/처리 기술, 딥러닝 기반 침수예측 기술, 하이퍼파라미터 최적화 기술, 3차원 침수구역 매핑 시각화 기술 등 개발 - 실시간 침수예측 정확도 70% 이상 확보
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	☐ 연구개발의 필요성 ○ 국내 환경 측면의 필요성 - 2020년 섬진강 등, 홍수예측 미숙으로 대규모 홍수피해 전국적 발생(사망 45명, 실종 12명, 이재민 6,946명, 시설피해 34,209건) - 레이더 관측 성능은 현저히 높아졌으나 다양한 활용 및 실증 체계 미비로 홍수 관리에 레이더 자료 활용은 미흡하고 노력 또한 소극적 - 예측강우 시나리오의 현실 재현성 결여 및 실시간 예측 강우의 큰 불확실성으로 인해 풍수해 관리시스템 활용성 저하 초래 - 관측 빅데이터가 축적되고 인공지능 및 통신 기술이 급격히 발전하고 있음에도 이를 활용한 레이더 기반 홍수 관리 활용 기술 개발은 미진 - 미계측 소규모 배수지역의 경우 매개변수 검보정을 통한 수리·수문 홍수추적모델 적용이 어렵기 때문에 가용한 지형정보를 토대로 홍수량 산정 방법이 요구됨 - 사후복구 중심의 수재해관리 정책을 급변하는 수재해 양상에 효과적으로 대응하기 위해 정보통신기술(ICT), 지리정보시스템(GIS), 인공위성 및 원격탐사(RS), 인공지능 등 첨단 과학기술을 적극적으로 활용한 침수예측 기술 중심의 연구개발이 필요함 - 현재 침수예측 시스템은 예측 오류의 가능성이 항시 존재하며, 침수피해에 대한 선제적 대응 방안 마련을 통해 그 피해를 최소화함으로써 피해액 및 복구액을 줄일 수 있는 기술 개발이 시급함 ○ 국외 환경 측면의 필요성 - 미국의 NOAA에서는 레이더와 다중센서 및 AI 기술을 활용하는 테스트베드를 구축해 돌발홍수 및 집중호우 해석 및 예측 기술 개발 중 - 미항공우주국 NASA에서는 돌발홍수예경보 한계점을 개선하기 위해 아이오와에 홍수센터를 설립해 고품질의 강수량 및 토양수분 데이터를 수집하고 관리하는 플랫폼 네트워크를 구축 운영 중 - 미국, 일본은 최근에 인공지능과 다양한 수문관측 센서를 접목하여 홍수예측의 정확도를 높이고, ICT 기술 선점 및 안전에 빈틈없는 선진형 홍수예경보 체계 구축을 위해 투자 집중 - 후진국, 개발도상국 내 홍수에 직접적으로 노출된 지역에는 강우-유출 계측자료가 부족하여 수리·수문 모형 기반의 홍수대비시스템 구축이 어려움

□ 기술동향

- 최근 10년 동안 발사 및 발사 예정 중인 인공위성의 수는 약 1,229기로 위성활용 서비스 시장은 더욱 확대될 것으로 예상되며, 향후 2024년까지 수자원 등 다양한 분야에서 위성정보의 수요가 증가할 것으로 예측됨
- 미국, 유럽, 일본 등 선진국가에서는 ICT, 위성, GIS 등 첨단 기술을 접목하여 유역 전체를 하나의 유기체로 통합 관리함으로써 효율성, 지속가능성 측면의 시너지를 극대화되도록 유역 단위로 재난관리체계를 구축함
- 미국, 유럽, 일본 등 선진국에서는 원격탐사 자료를 활용한 인공지능 기반 침수예측 기술을 개발하여 도시계획 및 재난관리를 위해 시범 적용 중이나, 국내에는 현재 시작 단계로 기술 개발 촉진이 필요함
- 국내기술동향
 - (레이더 강우추정 기술)강우레이더 실시간 편파변수 조정 강수추정 기술(한국건설기술연구원, 강우추정 정확도 80% 수준, 최고기술 보유국 미국 대비 85% 수준)
 - (3시간 강우예측 기술)예측강수 병합 및 재산정 기법(한국건설기술연구원, 3시간 강우예측 정확도 55% 수준, 최고기술 보유국 미국 대비 70%)
 - (1시간 돌발홍수예측 기술)국지 돌발홍수 예측시스템(한국건설기술연구원, 1시간 돌발홍수 예측 정확도 80% 수준, 최고기술 보유국 미국 대비 90%)
 - 최근 수행된 연구과제(내외수 연구단, 골든타임 연구단 등)에서는 원격탐사 정보를 활용하여 침수예측 기술을 개발하기 위해 제안되었으나, 2025년 개발 예정인 수자원 위성(각종 수재해 정보, 수문인자, 지형자료 등)을 적극적으로 활용하여 배수구역 내 배수시설 특성을 고려한 침수예측 기술은 부재하며, 해당 기술 개발이 필요함
 - 국내에서 수행된 유사 연구사업인 골든타임연구단에서는 레이더 관측 자료를 기반하여 대부분 동네규모 또는 하천의 홍수예측 기술 개발에 목적을 두고 있으며 이를 배수구역에 적용하기에는 기술적으로 부족한 상황임
 - 기존 기술인 물리 기반 침수예측 기술은 침수모의시 계산 시간이 오래 소요되며, 계산시간을 단축하고 정확도 향상을 위해 수자원 위성을 활용한 빅데이터 기반 침수예측 기술이 필요함
 - 국내 원격탐사 빅데이터를 활용하여 배수구역 내 침수예측 및 3차원 침수 위험지도시스템을 개발한 사례는 전무하며, 관련 기술 또한 아직까지 개발된 바 없음
- 국외기술동향
 - (레이더 강우추정 기술)강우레이더 실시간 강수추정 기술(미국 NWS, 강우추정 정확도 95% 수준)
 - (3시간 강우예측 기술)예측강수 병합 및 재산정 기법(미국 NWS, 3시간 강우예측 정확도 80% 수준)
 - (3시간 돌발홍수예측 기술)국지 돌발홍수 예측시스템(미국 NWS, 3시간 돌발홍수 예측 정확도 80% 수준)
 - 미국, 영국, 일본 등 여러 선진국에서는 원격탐사 자료를 활용한 자료동화 기술을 적용하여 수문현상에 대한 지식과 모형, 기술 및 관측자료의 최적연계를 가능하게 하고 있으며, 이를 기반으로 최적 침수예측 기술을 개발하기 위한 연구가 수행되고 있음
 - (미국) National Aeronautics and Space Administration (NASA)는

	Applied Sciences Program (ASP)을 통해 수자원 관리를 위한 각종 의사결정 시스템을 지원하며, 이는 NASA의 각종 원격탐사 자료를 바탕으로 운영되고 있음 - (영국) 국토 및 도시계획을 수행할 때 도시의 홍수위험 안전성 확보를 위한 홍수 예측기술, 홍수 위험도 평가기법 등을 원격탐사 자료를 활용하여 개발하고 있음 - (일본) 미국의 NASA와 일본의 Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)가 협업을 통해 TRMM, GPM을 운용하고 있으며, 이를 바탕으로 생산되는 강우자료와 MODIS 등의 관측자료를 통합하여 도시 침수예측 기술을 개발하고 재난관리에 활용하고 있음
3. 연구개발 내용	(1차년도) ○ 폭우 시 배수시설의 실시간 자동제어를 위한 레이더 강수량 정량적 관측 정확도 향상 기술 개발 (배수구역 관측 우량계 대비 $100 \pm 5\%$ 수준) - 강우레이더 관측변수 간 상관관계 실시간 추정 및 정상성 판단 기술 개발 - AI와 지상 강수량 기반 강우레이더 관측변수 편차 실시간 추정 및 최적 보정 기술 개발 ○ 자료가 가용한 국내 유역의 지형특성 및 순간단위도 취합 및 정리 - WAMIS에서 제공하는 유역 평균 강수량과 유량관측자료를 통해 표준유역 단위 순간단위도를 도출 및 정리. - 순간단위도를 구한 표준유역 지형 특성 정보를 기반으로 지형에 따른 순간단위도 변화를 분석 ○ 수자원 위성 빅데이터 분류/통합 기술 개발 - 수자원 위성 지형자료 및 수문인자 분류기술 개발 - 침수예측 정확도 향상을 위한 수자원 위성 빅데이터 통합기술 개발 ○ 원격탐사 빅데이터 기반 배수구역 내 상태분석 기술 개발 - 배수구역 침수/정상 상태분석 기술 개발 (2차년도) ○ 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 AI 기반 초단기 예측 강수량 생산 기술 개발 (배수구역 평균 1시간 예측 정확도 90% 이상) - 강우레이더 기반 앙상블 초단기 강우 예측 모형 개발 - 강우레이더 및 AI 기반 앙상블 QPF 생산 기술 개발 ○ 국내 미계측 유역에 적용할 수 있는 GIUH 산정법 구축 - 유역 면적, 형상계수, 경사 등 유역 지형 특성에 따른 GIUH 내 경험상수 변화 분석 - 홍수량 추적에 한반도 대상 GIUH 산정법 적용 가능성 평가 ○ 수자원 위성 빅데이터 실시간 데이터 퓨전 기술 개발 - 빅데이터(수문, 지형자료, 각종 이미지 등) 실시간 수집/처리 모듈 개발 - 실시간 빅데이터 퓨전 분석 기술 개발 ○ 수자원 위성 빅데이터 기반 딥러닝 모형 침수예측 기술 개발 - 침수예측 성능 향상을 위해 딥러닝 모형 하이퍼파라미터 최적화 기술 개발

- 침수특징인자를 고려한 하이브리드 딥러닝 침수예측 기술 개발
(3차년도)

- 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 AI 기반 초단기 예측 강수량 최적 병합 및 정량적 정확도 향상 기술 개발 (배수구역 평균 3시간 정량적 예측 정확도 80% 이상)

- 강우레이더 QPF 및 초단기 NWP AI 기반 최적 병합 기술 개발
- 강우레이더 QPF 및 초단기 NWP 병합 AI 기반 실시간 보정 기술 개발
- Fractal scaling의 적용성 평가

- 정리 취합한 지형-순간단위도 정보 내 Fractal 특성 분석 및 자연 유역과 동일한 Self-similarity 관측여부 평가

- 수자원 위성 빅데이터 기반 포인트 클라우드 기법 기술 개발

- LiDAR 기반 포인트 클라우드 데이터 습득 기술 개발

- 지형자료의 3차원 형상정보 구축 기술 개발

- GPU 기반 실시간 침수분석용 메타모델 개발

- GPU 기반 실시간 침수해석 모형 개발

- 침수분석용 메타모델 개발

(4차년도)

- 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 강우-배수구역특성-홍수위험 관계 유도 및 지수화 기술 개발

- 배수구역특성을 고려한 병합 예측강수 기반 배수구역 홍수위험 해석 및 지수 산정 기술 개발

- 초과강우에도 안전한 배수시설 비상 운영 계획 수립을 위한 최적 초과강우 시나리오 생산

- 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출 및 정량화 기술 개발

- 주요 침수특징인자 추출 기술 개발

- 침수예측 정확도 향상을 위한 침수분석용 주요인자 불확실성 분석기법 개발

- 배수시설 운영시나리오별 배수구역 3차원 침수위험지도 생성 기술 개발

- 3차원 침수위험구역 실시간 매핑을 위한 시각화 기술 개발

- 침수피해 의사결정체계 구축을 위한 구글엔진 기반 실시간 3차원 침수위험지도시스템 개발

(5차년도)

- 폭우 시 배수시설 실시간 자동제어를 위한 배수구역 홍수위험 지수 테스트베드 실증 및 미계측 배수구역 전이 적용 기술 개발

- 배수구역 홍수위험 지수 테스트베드 실증 및 미계측 배수구역 전이 적용 기술 개발

- 초과강우 시나리오 적용성 평가 및 활용 기술 개발

- 수자원 위성 빅데이터 기반 침수특징인자 추출기술 검증 및 고도화

- 개발 요소기술 정확도 평가기법 제시

- 개발 요소기술 검증 및 고도화

- 3차원 침수위험지도시스템 예측력 평가 및 테스트베드 검증

- 개발 요소기술 예측력 평가방법 제시

- 개발 요소기술의 테스트베드 검증 및 고도화

4. 연구개발 추진방법	
□ 추진전략 □ 추진체계	○ 기상청 기상레이더에 비해 강우의 정량적 정확도가 높은 환경부 강우레이더 관측 및 예측 자료 적극 활용(필요시 기상청 자료 병행 활용) ○ 환경부에서 개발한 강우레이더 실시간 보정 및 예측 강수 병합 기술 연계 활용 및 AI 기술을 접목하여 고도화하고 예측 선행 시간 연장 및 정확도 제고 ○ 환경부에서 개발한 국지 돌발홍수예측 시스템(골든타임 연구단) 연계 활용 (도시·산지 배수구역 포함 동(면) 행정구역) ○ 환경부 홍수예보, 국토부 하천관리, 행안부(지자체) 풍수해 관리 시스템과 연계하여 연구 개발 기술 활용성 극대화 ○ IHP시험유역 등 기존 유역 중에서 집중적인 관측이 이루어진 유역을 대상으로 하여 testbed구축 ○ 개발된 연구 결과물의 특허출원을 통한 실수요처 기술이전 추진 및 현장 활용성 도모 ○ 추후 개발 예정인 수자원 위성에서의 관련 데이터 및 정보를 적극적으로 활용 가능한 기술 실용화를 최종 목표로 하며, 주 수요처의 의견을 지속적으로 수렴하여 활용성을 극대화하는 형태로 성과 도출 ○ 실용화 목적의 연구개발 사업임을 감안하여 산학연 공동연구 추진방안 모색 ○ 국토부, 환경부, 행안부 등 유관기관과의 협력을 통한 니즈 도출 및 개발 기술의 실무 연계 활용 방안 다각도 모색 ○ 관련 업계 전문가 자문단을 구성하여 본 연구의 정책적, 기술적, 경제적 추진방향 및 보완사항에 대한 자문 ○ 홍수량 산정 실무를 다루는 설계회사 등과 긴밀한 협력을 통해 활용성이 높은 성과를 창출 ○ 필요시 유럽, 일본, 미국 등 선진국과의 기술교류, 국외 전문가, 전문기관 활용하며, 국내 전문가 간담회, 공청회 등을 통해 기술개발전략에 대한 공감대 형성 및 의견 수렴
5. 최종성과물	
□ 주요 최종성과물	〈관련 연구의 연차별 성과물〉 ○ 1차년도 － AI 기반 강우레이더 관측변수 실시간 편의 보정 및 QPE 생산 시스템 － 지형 특성을 기준 세분화된 유역 구간 별 대표 순간단위도 － 침수예측 정확도 향상을 위한 수자원 위성 빅데이터 통합기술 개발 － 배수구역 침수/정상 상태분석 기술 개발 ○ 2차년도 － 강우레이더 기반 양상블 초단기 강우 예측 모형 및 AI 기반 양상블 QPF 생산 시스템 － 한반도 지형 대응 GIUH 모형 － 빅데이터(수문, 지형자료, 각종 이미지 등) 실시간 수집/처리 모듈 개발

	- 침수특징인자를 고려한 하이브리드 딥러닝 침수예측 기술 개발 ○ 3차년도 - 강우레이더 QPF와 초단기 NWP의 AI 기반 최적 병합 시스템 - Fractal scaling 적용성 평가 - GPU 기반 실시간 침수분석용 메타모델 개발 ○ 4차년도 - 배수구역 홍수위험 해석 모형 및 지수 산정 시스템 - 3차원 침수위험지도 생성 기술 개발 ○ 5차년도 - AI 기반 예측강우 및 초과강우 시나리오 생산 매뉴얼 - 3차원 침수위험지도 예측력 평가 결과
6. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2022년 ○월 ~ 2026년 ○월(○년 ○월) ○ 연구비 예산 : 130억원(정부출연금 : 130억원 이내)
7. 기 타	
	○ 환경부, 국토부, 행안부 등 관계기관 요구 사항 조사 반영

과제명	(2세부)배수시설 스마트 운영을 위한 수위예측 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ OurData구축과 활용을 통한 하천 수위 예측 AI 기술 개발 － 텍스트 기반 경험적 비정형데이터(X-data)와 정형데이터 융합 기술 개발 － OurData 기반 예측오차 10% 이내의 AI 수위 예측 모형 개발 ○ High Fidelity Computing을 활용한 하천수위 예측 기술 개발 － HPG-2D 연계 물리기반 하이브리드형 예측 모형 개발 － 수위 예측 정확도 향상을 위한 Model Tuning 기술 개발 － TPU를 활용한 초고속 수위 예측기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내 환경 측면의 필요성 － 하천 본류 제방의 통문·통관을 따른 물의 유출입과 이에 따른 수위 및 흐름거동 예측은 이수나 치수의 측면에서 매우 중요하나 이에 대한 연구는 미진 － 배수시설은 구조는 간단하나 대상구간이 넓어 관리 코스트가 많이 발생하며, 배수시설 운영과 연계한 하천 수위를 정확하게 예측하지 못하는 경우 치수(외수범람, 제방 안전성, 파제, 호안), 작황 등의 측면에서 치명적인 피해 발생 － 정보통신기술(ICT)을 활용하여 수문의 상태(CCTV) 및 수위(자동 수위계)를 실시간 파악 및 AI 기술로 수위를 예측하여 수문을 원격 개폐 기술 개발 필요 － 정밀·정확한 수위 예측으로 수자원의 효율적 활용과 재산피해 감소 기대 － 디지털 인프라 구축 (OurData 기반의 예측 시스템 개발)을 통한 공공부문 신규 시장 창출 및 사후 관리 시스템 개발 지원 가능성 향상 등 경제 활성화 기대 ○ 해외 환경 측면의 필요성 － 논문과 특허 기술 경쟁력을 분석하여 물리기반 하천수위 예측 기술의 선도국가를 분석한 결과 미국, 중국, 유럽, 일본 순으로 나타났으며 미국과 한국의 기술격차는 10년, 국내 기술수준은 70% 수준인 것으로 예측됨 － 미국의 경우 1950년 이후부터 홍수를 포함한 자연재해로 인한 피해 대응을 위해 능동적으로 대처하였고 현재, 연방 비상 관리국(Federal Emergency Management Agency, FEMA)를 두어 전략적으로 홍수피해에 대한 사전 및 사후관리를 구체화시키고 있음 － 일본의 경우에도 최근 빈발하고 있는 자연재해 등에 대응하기 위해 위험도 기준 예측기법을 고해상도로 개선하고 최근에 발생한 예경보 실적을 바탕으로 예·경보의 정확성 및 적절성을 꾸준히 검토 및 보완하여 정확도를 향상시키고 있음 － 네덜란드의 경우 국토의 대부분이 해수면 아래에 있어 홍수의 위험이 잦은 편인데, 사회나 국가 단위로 물관리에 빅데이터를 유용하게 활용하는 디지털델타 프로젝트(Digital Delta Project)를 수행하고 있음 － 해외 사례와 비교하여 우리나라도 자연재해에 대해 적극적으로 대처방안을 마련하여 정밀하고 정확도 높은 예·경보를 위한 기술 개발 촉진 필요

□ 기술동향

- 국내기술동향
 - 국내 비정형자료를 이용한 연구는 최근 들어 활발해졌으며 수자원 관련 분야에서는 비정형자료의 활용이 매우 드문 실정임
 - 또한 국외의 최근 연구 동향이 인공지능과 다양한 수문관측 센서를 접목하여 홍수 예측의 정확도를 높이고 ICT기술 선점 등의 연구에 집중을 하는 반면 우리나라의 경우, 중소하천 유역 및 도시 지역에서의 실시간 홍수 또는 침수 예보 기능이 부재한 상황
 - AI의 급속한 발전으로 사회 전반에 변화를 받아들이기 위해 정부는 AI 강국으로의 목표를 2030년까지 디지털 경쟁력 세계 3위, 관련 경제 효과 455억 원 창출 등 3대 분야의 9대전략과 100대 실행과제를 발표하였고 과학기술정보통신부는 인공지능(AI)국가전략을 발표하기도 함
 - 기존 연구에서는 단일 배수시설이 하천의 이수나 침수에 미치는 영향을 구조물을 중심으로 국부적으로 분석한 연구가 대다수를 차지하므로, 미계측 지류하천을 포함하고, 자료동화를 통해 정확성을 향상하며, TPU를 활용하여 계산 속도를 개선한 하천수위 예측기술의 개발이 절실함
 - 배수시설의 local한 수리학적 영향 분석, 유역대상 홍수저감기술 등을 아우르는 융복합 기술 개발에 연구는 미흡
- 국외기술동향
 - 국외의 경우, 홍수 지역을 찾기 위해 대표적인 비정형자료인 SNS를 활용하거나 SNS를 실시간으로 감지할 수 있는 프로그램을 개발하는 등 비정형자료의 활용이 다양하게 이루어지고 있음
 - 글로벌 AI 지수에 따르면 미국이 100%, 중국이 85.8% 그리고 우리나라가 80.9%로 최고 수준 국가인 미국 대비 81% 수준으로 1.8년의 격차가 존재함
 - 또한 미국은 빅데이터 솔루션 기업인 IBM이 데이터 처리와 분석을 위한 소프트웨어를 공급하여 홍수방지와 물의 경제적 활용을 위한 프로젝트를 진행하고 있음
 - 하천수위 예측 혹은 수리학 분야에 TPU를 적용한 연구는 전무한 실정이며, 2018년 ICCS(International Conference on Computational Science) 학술대회 내의 SOFTMAC (Simulation Of Flow and Transport: Modeling, Algorithms and Computation) 워크숍 세션에서 아래와 같이 멀티 하드웨어를 활용한 이중 병렬계산 분야가 향후 각광을 받을 것으로 예측

3. 연구개발 내용

(1차년도)

- 경험적 비정형데이터(X-data 등) 및 관측기반 정형데이터 (수문+기상) 통합구축
 - 경험적 비정형데이터(X-data) 구축
 - 정형데이터(수문관측데이터+기상관측데이터) 확보
- High Fidelity 하천수위 예측 기술 방법론 정립
 - 하천수위 예측모형 입출력자료 상세 설계

- HPG 모형 알고리즘 설계

(2차년도)

- 비정형데이터의 활용성제고를 위한 데이터 융합(Data Fusion) 모형 개발
 - 비정형데이터의 정량화 기술 개발
 - X-data와 정형데이터를 융합할 수 있는 데이터 융합(Data Fusion) 기술 개발
- High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 개발
 - TPU를 활용 하천수위 예측기술 연산속도 개선
 - 수치격자 해상도에 따른 computing 결과의 dependency 분석
 - HPG-2D 연계 물리기반 하이브리드형 예측 모형 연계

(3차년도)

- Ourdata System를 활용한 지점 수위예측을 위한 알고리즘 개발
 - Ourdata를 활용한 LSTM 모형 기반의 지점 수위 예측 알고리즘 개발
 - 지점별 특성을 고려한 수위 예측 알고리즘의 정확도 및 신뢰도 검증
- High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 고도화
 - 수치격자 해상도에 따른 computing 결과의 효율성 극대화
 - DA를 활용한 모형의 정확도 개선
 - High Fidelity 하천수위 예측 프로토타입 모형 개발

(4차년도)

- AI 기반의 표준유역 단위 내 수위예측 및 침수예보 체계 개발
 - 기술 적용 대상지 선정 및 시험 적용
 - 적용결과 평가 및 기법 개선
- High Fidelity 하천수위 예측 기술의 중소규모 테스트베드 적용
 - 최적 수치격자 기반 초고속 고효율 하천수위해석 기술 검증
 - 하천 본류 제방 통문·통관을 따른 물의 유출입과 이에 따른 수위 및 흐름거동 예측

(5차년도)

- 통합플랫폼 연계 운영 및 실용화
 - AI 기반 모형 및 High Fidelity 하천수위 예측 연계 운영 기법 개발
 - 통합플랫폼 모듈 탑재 및 적용
 - 연계 운영/평가/개선을 통한 실용화

4. 연구개발 추진방법

- ☐ 추진전략
 - 연차별 연구 내용에 맞는 목표를 달성하고 그에 적합한 추진전략 및 체계를 수립
 - 실무차원의 배수문 자동제어 현장에 적용할 실용화 전략(On-Off) 수립

☐ 추진체계	○ 기 개발된 기술 및 현재 개발 중인 기술과 관련하여 본 기술과의 연계, 보완, 활용방안 제시 ○ 특허출원, 기술이전 등을 통해 본 기술의 검증 및 접근성 향상 ○ 데이터 관련 4차산업 기술 개발 범위 확장 및 수자원 산업 현장 적용을 위한 설명서 및 플랫폼 제공 ○ 유관 기관과 협력을 통해 실제 현장에서의 활용성을 극대화할 수 있도록 업무배분 및 관련 법체제의 정합성 정비 ○ 미계측 지류하천과 본류하천을 포함하여 공간적 제약을 극복하고, CCTV 영상, 스마트센싱, AI 예측값 등과의 자료동화를 통해 정확성을 향상하며, CPU 기반 침수 예측모형에 비해 계산속도가 85배 빠른 TPU 활용하여 신속하게 하천 수위를 예측할 수 있는 기술 개발 ○ 물리기반 모형의 근본 골격은 유지한 채 운영 플랫폼을 대폭 개선하는 기술로 연계가 가능하도록 구축 ○ 시공간적으로 제약이 많아 적용성이 떨어졌던 2차원 침수해석 모형의 한계점 극복 ○ 물리기반 모형으로 예측함에도 불구하고 계산속도를 대폭 향상하여 신속한 결과 도출 ○ 시차에 적합한 (과거의 문제점 보완 · 보유 기록 보전, 현재의 배수문 상황 및 제원 정보 파악, 미래의 세부 지침 및 유지관리 등) 지속적인 연구 추진으로 핵심 기술 확보 ○ 참여연구기관과의 협력을 통해 기술의 연계성 및 성능 확대 확보 ○ 현장 적용 목적으로 기술에 대해 산학연과의 공동연구 추진 ○ 수자원 분야뿐 아니라 데이터 등 다양한 분야의 전문가 활용 및 실제 현장에서 업무를 수행한 해당 시설 관리인 등을 모집하여 본 기술의 교육 및 보완사항에 대해 현장의견 반영
5. 최종성과물	
☐ 주요 최종성과물	<관련 연구의 연차별 성과물> ○ 1차년도 - 비정형데이터(X-data 등) 및 정형데이터 구축 - 하천수위 예측모형 입출력구조 및 HPG 모형 알고리즘 개발 ○ 2차년도 - 비정형데이터의 정형화 기술 개발 및 데이터 융합(Data Fusion) 모형 개발 - High Fidelity 하천수위 예측 기술 알고리즘 개발 ○ 3차년도 - OurData 및 LSTM 모형 기반의 지점 수위 예측 알고리즘 개발 - High Fidelity 하천수위 예측 프로토타입 모형 개발

	○ 4차년도 - AI 기반의 표준유역 단위 내 수위예측 및 침수예보 체계 개발 - High Fidelity 하천수위 예측 모형 적용 및 평가 ○ 5차년도 - AI 기반 모형 및 High Fidelity 하천수위 예측 연계 운영 모델 개발 - 통합플랫폼 모듈 탑재 및 평가
6. 연구기간 및 지원예산	
☐ 전 체	○ 총 연구기간 : 2022년 ○월 ~ 2026년 ○월 (5년 ○월) ○ 연구비 예산 : 50억원 (정부출연금 : 30억원 이내)
7. 기 타	
	○ 본 연구사업의 제안 시 연구결과의 최종이용자 그룹(국토부, 환경부, 지자체, 홍수통제소 등)의 니즈(needs)와 연계성을 조사하여 반영

과제명	(3세부) 배수시설 스마트 통합 플랫폼 구축 및 운영 기술 개발
1. 연구개발 목표	○ 재해 긴급대응을 위한 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발 ○ 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문(Gate) 운영 지원 플랫폼 구축 기술 개발
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발의 필요성	○ 국내 환경 측면의 필요성 - 정부는 한국형 뉴딜 프로젝트 일환으로 하천 분야 SOC 디지털화 사업추진 중이며 신속한 재난·재해 대응과 효율적인 하천관리를 위하여 국가하천 내 스마트 홍수관리 시스템 구축을 추진하고 있음 - 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼을 구축하여 현실 세계와 가상세계를 준실시간 동기화하여 배수문 운영 시뮬레이션을 통한 의사결정 지원체계 구축이 필요함 - 배수시설의 운영이 마을 이장 또는 인근 지역주민을 민간 수문관리인으로 임명하여 민간 수문관리인이 직접 현장에서 수동으로 조작하는 방식으로 사고 위험성 크고 근무자 역량 중심의 운영관리로 인한 지속적인 사고 발생으로 안정적인 운영체계 구축 필요함 - 수문관리인의 고령화, 전문성 부족, 피해 발생 시 불분명한 책임소재 문제 발생 및 야간, 기상악화 시 현장출동 과정에서 발생할 수 있는 안전사고 위험이 높음 (2019 양천구 빗물 저류 배수시설 사고) - IoT기반의 실시간 계측데이터를 모니터링하고, 물리모델 및 인공지능(AI)을 활용한 홍수량 및 홍수위 분석기술을 개발하여 디지털 트윈기반의 배수문 운영 의사결정을 지원 시스템 구축 필요함 - 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문 운영지원 플랫폼을 구축하여 강수량, 홍수위 등에 따른 수위 변화를 시각적인 시뮬레이션을 통해 피해 상황을 미리 예측하여 피해지역 사전대비 가능 • 신속하고 체계적인 수문 조작 및 운영, 현장에서의 안전사고 방지 및 예방, 주기적인 수문 점검, 홍수 및 침수피해 감소 등 다양한 효과를 얻을 수 있음 ○ 국외 환경 측면의 필요성 - 국내의 디지털 트윈 기술력은 미국의 약 80% 수준으로 현재 대부분의 수리·수문 분석시스템은 GIS 기반의 웹 시스템으로 운영 중이기에 현 운영 시스템을 활용하여 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문 운영지원 플랫폼 구축하기엔 한계가 존재하여 고해상도 건물/인프라 모델자료 활용이 가능한 클라우드 기반 디지털 트윈 플랫폼 구축이 필요함 - 기존산업에 4차 산업기술을 융합하여 스마트화가 세계적으로 확산 중이며, 재난, 재해 분야에도 클라우드, 디지털 트윈 그리고 인공지능 기술을 융합하여 선제적 기술 확보로 물산업 신성장 동력 확보가 필요함
□ 기술동향	○ 국내기술동향 - 과학 기술 정보 통신부와 한국지능정보사회진흥원에서 추진 중인 ‘국가 인프라 지능 정보화 하천·댐 유역관리 실증사업’을 통해 3D 디지털 트윈

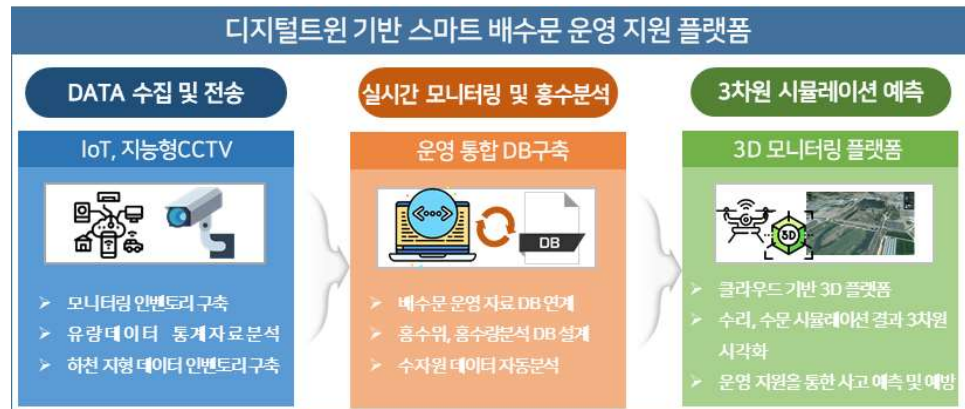
	기반으로 하천·댐·제방 등 유역관리를 위한 플랫폼을 구축하여 수해 및 홍수 예방, 물관리 효율성 제고 사업추진 중임 - 국토교통부소관 연구개발사업으로 동남아시아의 지속적인 홍수해 및 집중호우로 인한 홍수피해 최소화를 위해 클라우드 기반 동남아시아 맞춤형 홍수분석 시스템 개발함 - o 국외기술동향 - 미국, 독일, 영국 등 주요국은 정부 주도의 디지털 트윈 기반 국가 혁신 프로젝트를 추진하며 경쟁력 강화 및 국가기반 플랫폼 창출 기반 마련 - 유럽집행위원회(EC, European Commission)는 실시간으로 홍수와 관련된 비상사태에 대한 경고 및 모니터링을 위해 사용되는 앱, 소프트웨어, 센서 등을 개발하도록 지원함. 또한 홍수관리 및 예방을 위한 연구 혁신에 지속적으로 투자하고 있음. - 영국은 국가 인프라를 디지털 트윈으로 구현 추진 중이며 런던, 맨체스터 같은 영국의 도시들을 3D 모델로 구축하여 교통, 날씨, 환경, 재해정보 등을 실시간 데이터를 연동하여 도시 운영을 효율화함
3. 연구개발 내용	- o (1차년도) 배수문 운영 자료조사 및 디지털 표준체계 구축 - 배수문 운영시스템 국내외 사례 조사 - 하천 지형데이터 인벤토리 구축(DEM, 수치지형도, 정사영상 지형자료) - 시설물 3D 가상모델 구축(배수문, 보, 교량 등 시설물 자료구축) 및 데이터 디지털화를 위한 표준체계 구축 - AR/VR 기반 배수문 홍수 대응 시뮬레이션 시나리오 개발 - o (2차년도) 디지털 트윈 기반 스마트 배수문(Gate) 운영지원 플랫폼 설계 및 프로토타입 개발 - IoT기반 배수문 운영 통합 DB 설계 및 구축 - 드론을 활용한 현장조사 및 3차원 지형자료 구축 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 프로토타입 개발 - 클라우드를 활용한 홍수위, 홍수량 분석 시스템 설계 - AR/VR을 활용한 시나리오별 배수문 홍수 대응 콘텐츠 개발 - o (3차년도) 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼 개발 - 배수문 운영자료 DB 구축 및 유관기관 수문자료연계(기상, 수위, 유량 등) - 드론을 활용한 현장조사 및 시설물 3차원 객체 정보 구축 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 구축 및 가시화 엔진 개발 - 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석 GUI 개발 - o (4차년도) 디지털 트윈 기반의 배수문 운영지원 플랫폼 고도화 - 자율 운영시스템과 연계 및 실시간 운영자료 DB 구축 - 드론을 활용한 지형 및 객체 정보 분석기술 고도화 - 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 고도화 - 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석시스템 고도화 - o (5차년도) 플랫폼 현장 적용을 통한 테스트베드 시험운영 및 개선

- 배수문 운영지원 플랫폼 현장 적용 및 보완
- 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 실시간 현장 운영자료 분석 및 보완
- 자율운영시스템과 연계를 통한 긴급대응 상황 대처 및 보완

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

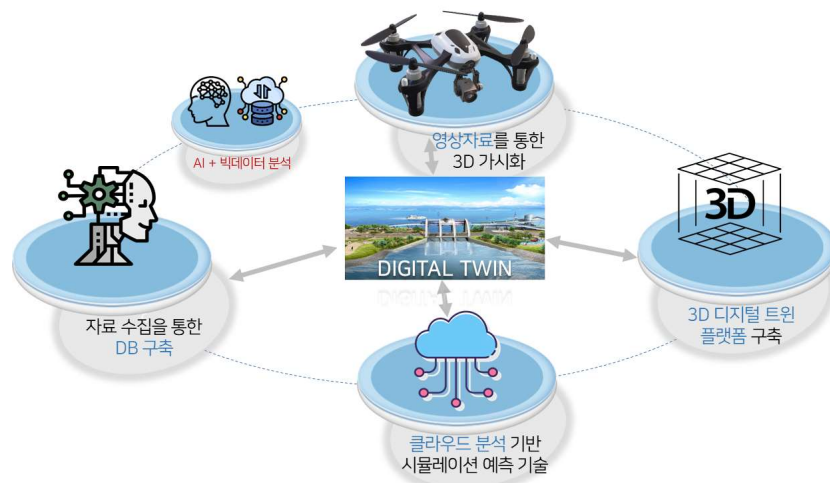
- 디지털 플랫폼은 GIS 기반 엔진의 장·단점을 조사하고 장래 확장성 및 유지관리 등을 고려하여 오픈소스 기반의 엔진으로 구축하고 테스트베드 지역의 정밀 하천정보 및 시설물 정보는 드론 영상을 활용하여 구축함.
- 3차원 공간정보, 드론, 정사영상 및 관측·시뮬레이션 결과의 3차원 가시화를 위한 UI(User Interface) 및 플랫폼을 개발함.
- 통합 운영 DB를 구축하고 IoT 기반의 실시간 계측자료를 기반으로 홍수분석 시뮬레이션 수행 및 3차원 분석결과 가시화 기술을 개발함.



<스마트 배수시설 운영지원 플랫폼 운영(안)>

□ 추진체계

- 테스트베드 하천정보 및 현장 시설물 조사는 드론측량 전문 업체를 활용하여 표준화 및 조사 수행하고, 하천유역의 항공 영상 및 지형자료는 국토지리정보원의 고해상도 영상 자료를 기반으로 디지털 트윈 체계를 구축함.
- 디지털트윈 운영지원 플랫폼은 IoT 기반 수리시설물 자율운영시스템 개발 세부연구과제의 실시간 배수문 운영 데이터를 연계하여 통합DB를 구축하고 홍수량, 홍수위 예측을 위한 분석 플랫폼을 구축함.
- 이벤트 발생 시 디지털 트윈 플랫폼을 활용하여 홍수위 분석 및 시뮬레이션을 통한 홍수피해 사전 예측 및 예방 체계를 구축함



〈스마트 배수시설 운영지원 플랫폼 추진체계〉

5. 최종성과물

□ 주요

최종성과물

〈관련 연구의 연차별 성과물〉

- 1차년도
 - － AR/VR 기반 배수문 홍수 대응 시뮬레이션 시나리오 개발
- 2차년도
 - － IoT기반 배수문 운영 통합 DB 설계 및 구축
 - － 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 프로토타입 개발
 - － AR/VR을 활용한 시나리오별 배수문 홍수 대응 콘텐츠 개발
- 3차년도
 - － 디지털 트윈 기반의 3차원 운영지원 시스템 구축 및 가시화 엔진 개발
 - － 클라우드 기반 홍수위, 홍수량 시뮬레이션 분석 GUI 개발
- 4차년도
 - － 자율 운영시스템과 연계 및 실시간 운영자료 DB 구축
 - － 의사결정 모듈 개발 및 적용
- 5차년도
 - － 디지털 트윈 기반의 스마트 배수문 운영지원 플랫폼 실용화

6. 연구기간 및 지원예산

□ 전 체

- 총 연구기간 : 2022년 ○월 ~ 2026년 ○월(○년 ○월)
- 연구비 예산 : 60억원(정부출연금 : 60억원 이내)

7. 기 타

- 본 연구사업의 제안 시 연구결과의 최종이용자 그룹(국토부, 환경부, 지자체 등)의 니즈(needs)를 조사하여 반영해야 함

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.