

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

국토교통기술사업화지원사업 제4차 연도 최종 보고서

R&D / 19TBIP-C111520-04

(견고덕31p)

ICT기반 기후변화 대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼 개발 최종보고서

2020. 01.23.

주관연구기관 / 노아에스앤씨(주)
공동연구기관 / 한국건설기술연구원
공동연구기관 / 강원대학교
공동연구기관 / 부경대학교

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'ICT기반 기후변화 대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼 개발'(연구개발 기간 : 2016.04.27. ~ 2019.10.31) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2020. 1. 23.

주관연구기관명 : 노아에스앤씨(주) (대표자) 양동민 (인)
공동연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 한중현 (인)
공동연구기관명 : 강원대학교 삼척산학협력단 (대표자) 변형기 (인)
공동연구기관명 : 부경대학교 산학협력단 (대표자) 서용철 (인)

주관연구기관책임자: 양동민
공동연구기관책임자: 강성규
공동연구기관책임자: 김병식
공동연구기관책임자: 김상단

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	19TBIP-C111 520-04	해당 단계 연구 기간	2019.01.01. - 2019.10.31	단계구분	4/4
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화지원사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	ICT기반 기후변화 대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼 개발			
연구책임자		해당단계 참여연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	해당단계 연구비	정부: 185,000천원 민간: 124,000천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계: 309,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 명 내부: 명 외부: 명	총 연구비	정부:1,613,000천원 민간:1,076,020천원 정부외: 천원 상대국: 천원 계:2,689,020천원
연구기관명 및 소속 부서명	노아에스앤씨(주)			참여기업명	
공동연구	한국건설기술연구원 강원대학교 부경대학교			강성규 김병식 김상단	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반 등급
-------------------------	-------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	7	4				3					

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

보고서 면수

요약문

연구의 목적 및 내용	○ 홍수위험성 평가를 위한 데이터 자동화 기술 및 통합플랫폼 개발 ○ 기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가기법 개발 ○ 기후변화 시나리오 공간상세화 및 생성기술 개발 ○ 홍수위험도기반 피해최소화를 위한 의사결정기법 개발				
연구개발성과	○ 국토교통부에서 시행중인 재해취약성 분석 제도를 기반으로 분석에 필요한 지표 제공부터 현재 및 미래 취약성 분석을 자동으로 수행할 수 있는 기후변화 대응 홍수 위험성 평가 시스템 개발 ○ 기존의 1-0 방식의 홍수범람 기술을 벗어나 홍수추적이 가능한 기술개발 ○ Scale-invariance 기법을 이용한 기후변화 시나리오에 따른 전국 주요 60개 지점의 미래 확률강우량 변화율 산정 ○ 다양한 기준을 비교, 평가하여 최적 대안 선정이 가능한 의사결정 알고리즘 개발·시범적용 및 라이브러리(홍수방어 대안 및 적용사례) 구축				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 위험성 평가 관련 연구 및 사업 등에 적용하여 데이터 구축 및 분석과정에서의 불필요한 시간을 최소화함으로써 기존산업의 기술적 진보 및 시장활성화 파급 효과 기대 ○ 빅데이터에 관한 기술 및 관련 직종의 사회적 관심도가 증가하고 있는 추세에 맞춰, 데이터 가공 및 분석 등의 관련 산업 시장 성장에 활력을 제공하는 파급 효과 기대 ○ 홍수위험도 및 다양한 평가기준을 반영할 수 있도록 개발된 의사결정기법은 도시계획 및 홍수방어계획에 활용 가능 ○ 지점별 미래 극한강우 시나리오(확률강우량) 생산방법을 정립함으로써 기후변화의 영향을 고려한 수공구조물의 설계와 같은 방재계획 수립 등 다양한 분야에 기반이 될 것으로 기대				
국문핵심어 (5개 이내)	기후 변화	수재해	홍수위험평가	의사결정지원	플랫폼
영문핵심어 (5개 이내)	Climate change	Water related disaster	Flood risk assessment	Decision support	Platform

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	1
가. 사업화 대상기술의 개요	1
나. 연구개발대상의 국내외 현황	10
다. 연구개발과제의 필요성	53
2. 연구수행내용 및 성과	57
가. 연구개발 추진전략 · 방법 및 추진체계	57
나. 연구수행내용 및 결과	58
다. 연구수행의 개발성과	156
3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	160
가. 최종성과 목표 및 내용	160
나. 연구개발의 창의성 · 혁신성 등	161
다. 최종성과 목표 달성도 및 자체평가	167
4. 연구개발성과의 활용 계획 등	172
가. 연구개발성과의 활용방안	173
나. 사업화 추진 방안	176
붙임. 참고 문헌	180

1. 연구개발과제의 개요

가. 사업화 대상기술의 개요

(1) 사업화 대상기술 정의

신청분야 (택 1)	③ 국토교통 안전기술 사업화					
기술명	기후변화로 인한 대규모 수재해 대응 기술					
과제분류	신제품개발(), 기존제품개선(O), 신공정/공법개발(), 기존공정/공법개선(), 기타()					
권리구분	특허권					
지식 재산권명	지아이에스 기반의 홍수방어 시스템 및 그 방법					
권리자 (발명자)	성명	노아에스앤씨 주식회사	법인 등록번호	211-87-80100	비 고	
	주소	서울특별시 금천구 가산디지털1로 196, 에이스테크노타워 10차 1205호 (가산동)				

□ 개발배경



개발배경

- 최근 기후변화로 이상홍수가 빈번하게 발생하고 있으며, 피해규모가 대형화 추세
- 대형화된 수재해에 대응하기 위해 구조물 중심으로 용량을 키워 대응하는 것은 경제적, 심미적 측면에서 한계가 있음
- 이러한 대규모 수재해에 대응하기 위해서는 사전예방 및 대비차원에서 위험지역 및 시설을 사전에 파악하고, 위험특성을 고려한 맞춤형 정책 및 대책이 효과적임
- 특히, 구조적 대책과 병행하여 ICT, IOT 기술 등을 활용한 모니터링, 대피체계 수립, 도시계획적 대책(토지이용, 기반시설·건축물 활용) 등의 비구조적 대책을 도시공간별 위험특성에 맞추어 제시하는 것이 필요
- 이에, 2005~2010년까지‘이상기후에 대비한 시설기준 강화’과제를 수행하면서 「지아이에스 기반 홍수방어 시스템」을 개발하였고, 기술 고도화를 통해 「기후변화대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼」 개발 및 사업화 예정

※ 발주기관 : 국토교통과학기술진흥원 / 주관기관 : 한국건설기술연구원

□ 보유기술의 정의

- 기술명 : 지아이에스 기반 홍수방어 시스템(특허등록번호 : 01-1315121)
- 정 의 : 데이터 표준화 기술을 통해 지표별 DB를 구축하여, 하천유역단위 홍수위험성을 평가하고, 조건수렴기반(서바이벌 방식) 홍수방어 최적대안(구조적, 비구조적) 의사결정 지원 시스템



보유기술 개발내용 및 핵심개념

□ 보유기술 주요내용

- 극한 강우사상 빈도, 홍수위험지역, 홍수피해규모, 홍수예상지역, 공시지가, 인구밀도 등 홍수위험성 평가를 위한 원시데이터 분석을 통한 표준화 수행
- 격자기반 소유역단위 위험성 평가 및 주요 취약시설과 홍수범람도 표출
- 기상학적, 지형학적, 사회·경제적 등 지표별 사용자 가중치 설정을 통한 취약성 분석과 홍수위험성을 상대적으로 평가
- 조건수렴기반(서바이벌 방식) 홍수방어 최적 대안(구조적, 비구조적) 선정을 통한 하천 중심의 의사결정 지원

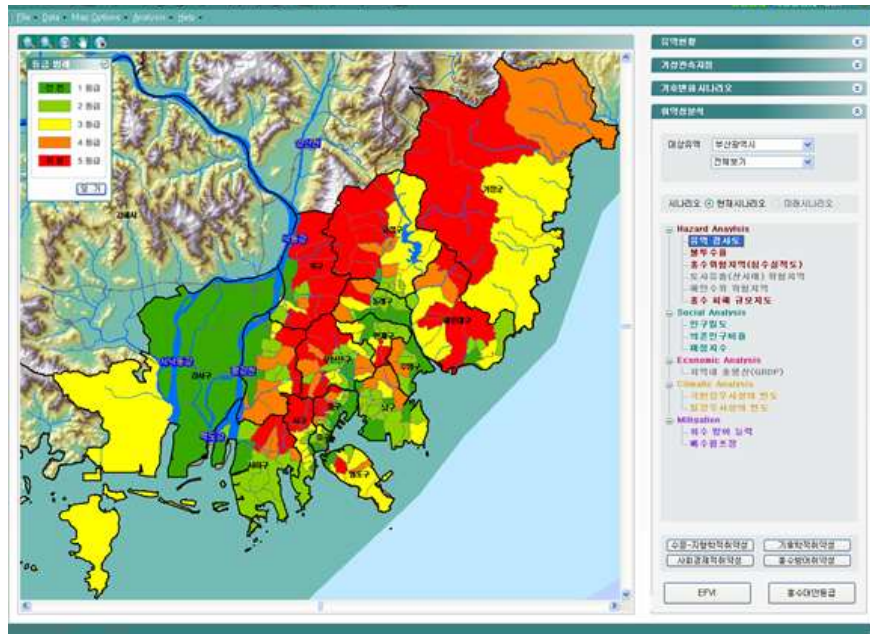


보유기술 내용

□ 보유기술 세부내용

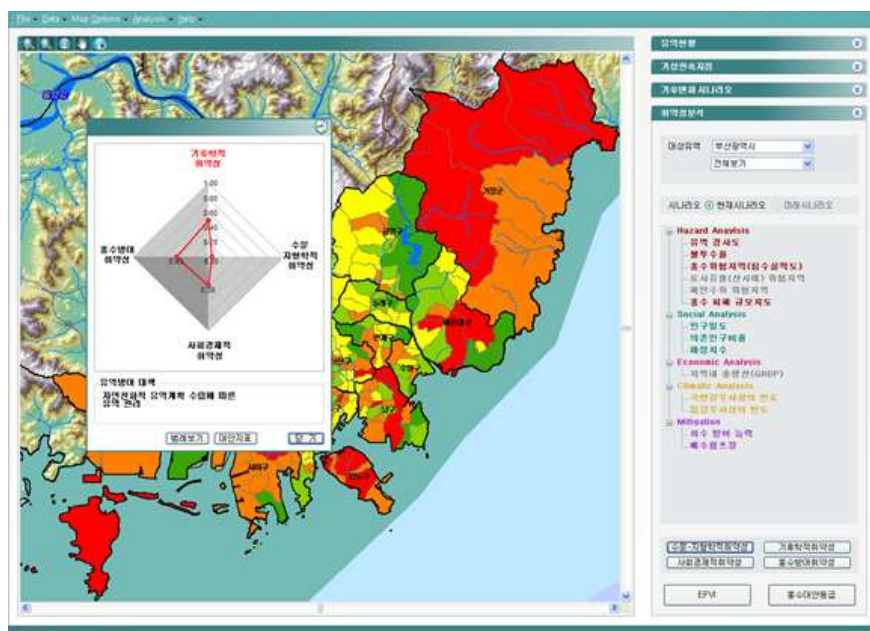
- 「지아이에스 기반 홍수방어 시스템」은 크게 4단계로 정의되며 각 단계별 내용은 다음과 같음

- 1단계 : 격자로 구분된 영역마다 취약성 지표를 중첩하여 부여하는 단계



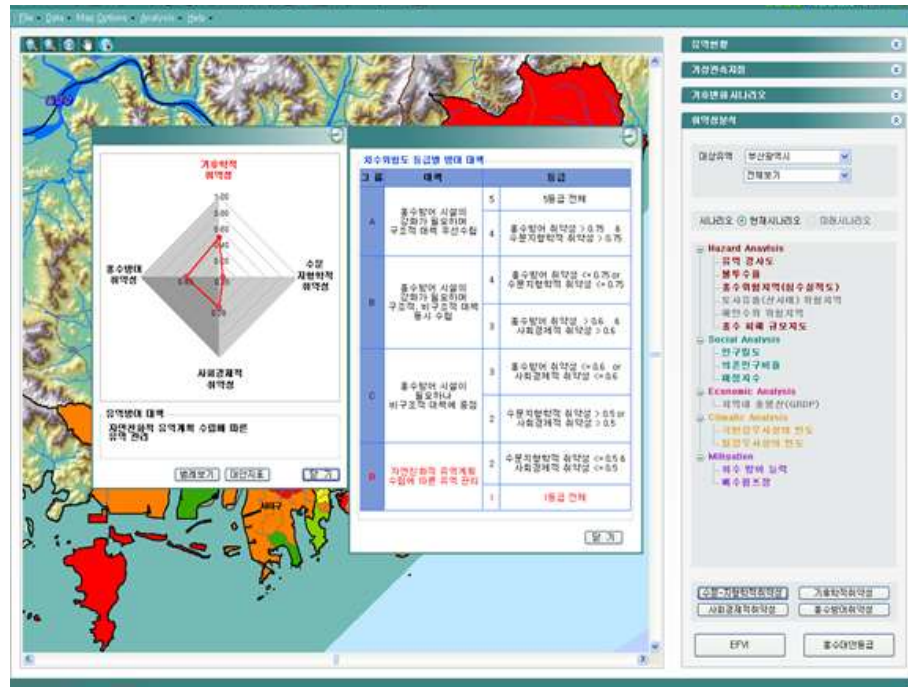
취약성 분석을 위한 지표입력

- 2단계 : 중첩된 취약성 지표를 이용하여 등급을 정하는 단계



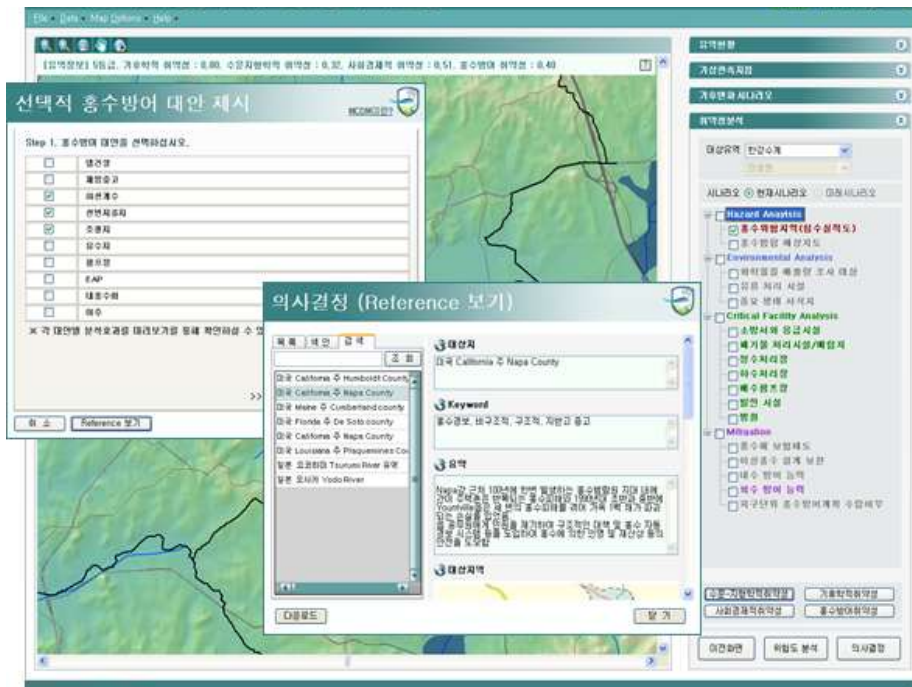
취약성 분석결과를 통한 등급부여

- 3단계 : 등급별 대응방안을 제시하는 단계



등급별 대응방안 제시

- 4단계 : 대응방안을 서바이벌 방식의 조건 수렴여부에 따라 최적 대안을 설정하는 단계



최적의사결정 대안설정

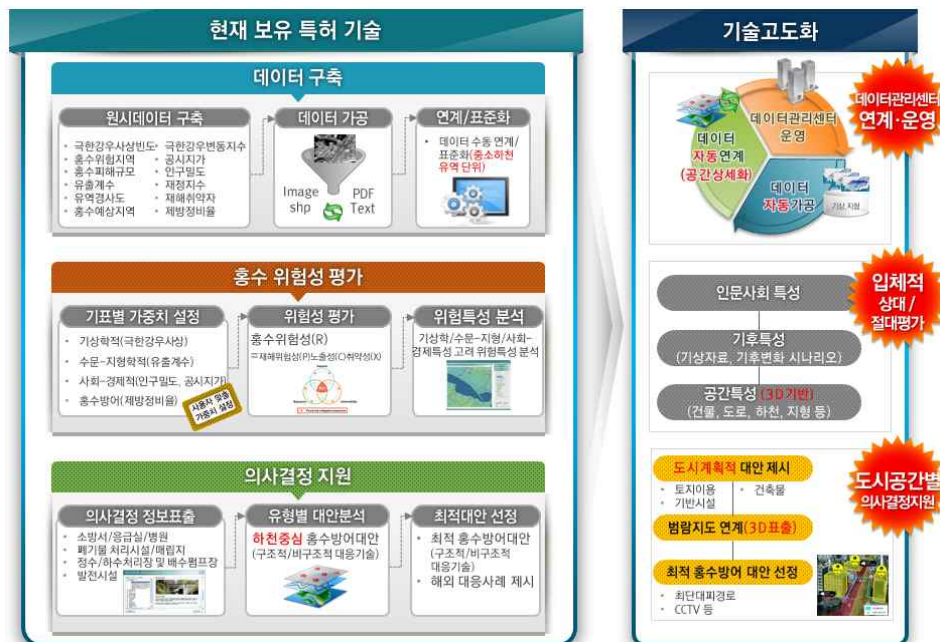
(2) 사업화 대상기술의 설명

□ 대상기술의 정의

- 기술명 : 기후변화대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼
- 정 의 : 데이터 자동추출 및 제공기술과 연계한 도심지 공간(읍면동, 집계구)의 대규모 홍수위험성 평가를 수행, 공간 위험특성을 고려한 구조적·비구조적 대책, 최적대안 의사결정 지원 Web기반 플랫폼

□ 대상기술 특징

- 기존 데이터 구축기술을 메타데이터 생성, 데이터 자동연계, 공간상세화를 통해 데이터 구축기술 고도화 및 데이터관리센터 연계 운영
- 기존 지표별 가중치설정을 통한 상대적 위험성 평가에서 자연·인문·사회특성, 기후특성, 공간 특성을 고려한 공간별 위험성의 입체적 상대 및 절대평가(V-world 연계)
- 공간내 취약시설, 인구 등 다양한 정보를 위치기반 표출
- 상세 공간단위별(집계구 등) 위험특성을 고려한 구조적, 비구조적(도시계획적 대책 포함) 최적 대안 제시
- 위험성 평가 모듈, 의사결정 지원모듈 기반으로 한 홍수위험성 평가 및 의사결정 지원 통합플랫폼 구축

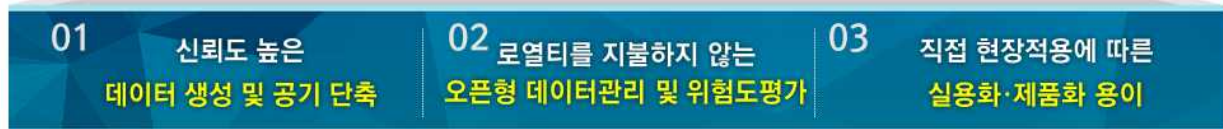


대상기술 사업화를 위한 보유기술 고도화

“ICT기반 기후변화대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼”



활용도 높은 오픈형 기술개발에 따른 단기간 내 제품의 실용화 및 현장적용 가능



대상기술의 우수성·독창성·활용성

(가) 기술의 우수성

□ 최신 분석 데이터 제공 및 비용·시간 절감

- 기존 데이터 가공 과정은 Arc-GIS를 활용하여, 사용자가 직접 가공·구축
- 기존 시스템인 CCGIS(국립환경과학원), VESTAP(국가기후변화적응센터) 등은 행정 구역단위 공간 범위를 중심으로 데이터를 제공하고 있으나 업데이트에 한계
- 본 기술은 데이터 관리센터에서 데이터를 자동 추출 및 자동 갱신하여 제공함으로써 일관된 품질유지 및 신뢰성 확보
- 따라서, 데이터 가공·구축에 소요되는 비용과 시간을 절감

□ 상세화된 공간 위험성 분석 결과 제공

- 기존 관련 기술에서 분석하는 데이터는 하천유역, 시군구 및 읍면동 이지만, 본 기술에서는 새로이 인구센서스 집계구 단위(인구 500명 기준으로 보통 읍면동의 1/23 크기)의 공간단위까지의 데이터를 구축·제공하여 세밀한 공간별 위험성 분석 가능

□ 데이터 구축-위험성 평가-의사결정 지원 통합 플랫폼 구축

- 기존의 개별적인 위험성 평가 tool(CCGIS, LCCGIS, VESTAP 등)과 달리, 기후변화를 고려한 기상자료, 위험성 평가를 위한 데이터 수집 및 가공, 위험성 평가 결과에 대한 해석 및 적절한 대안을 제시하는 의사결정까지 모든 과정을 하나의 통합 플랫폼을 통해 수행함으로써 관련 제도에 따른 사업 수행시 공기를 단축시키는 우수성이 있음

□ Open-GIS 기반 시스템 개발

- 위험성 평가시 현업에서 주로 사용되는 Arc-GIS 등과 같이 로열티가 필요한 상용 프로그램과 달리 본 기술은 Open-GIS를 활용한 국산시스템으로써 사용에 대한 별도의 로열티 지불이 필요 없어 비용 절감

(나) 기술의 독창성

□ 데이터 표준화 및 자동갱신 통한 최신 데이터 제공

- 매년 또는 주기적으로 갱신되는 국가공인 데이터들을 플랫폼을 통해 자동으로 수집 및 가공하여 제공함으로써 사용자가 매번 데이터를 가공·갱신 하는 과정을 단축시킬 수 있음

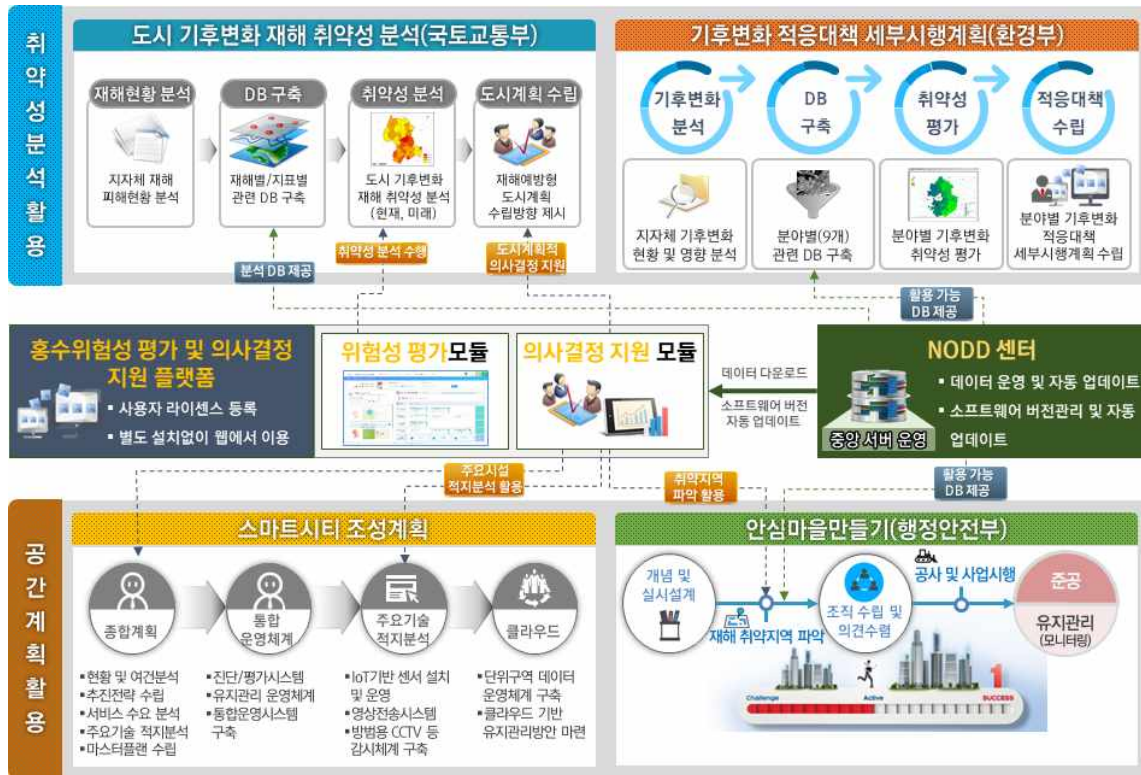
□ 하천 및 도심지 수재해 위험성 평가

- 기존 특허 또는 관련 기술들이 하천중심의 홍수방어 중심의 기술이었다면, 본 기술은 하천 유역뿐만 아니라 도심지 중심의 수재해 대응 기술로써의 기술요구 패러다임을 충족시키는 독창적 기술임

□ On/Off-line 기반 최신 데이터 및 프로그램 유지관리 제공

- 상용화된 프로그램들의 대다수가 off-line 기반의 전문가용 프로그램 이었다면, 본 기술은 기초 데이터만 제공하는 것도 가능하며, On-line 기반 시스템의 주기적인 업데이트 및 활용 데이터들의 자동 갱신 등 구매이후에도 데이터와 방법론의 변화에 능동적으로 대처가 가능한 제품임

(다) 기술의 활용성



기술의 활용 방안

□ 단기간 제품화를 통해 현장에 직접 적용

- 기존 보유기술(소프트웨어)을 기반(70% 연계)으로 사용자 편리성을 고려한 추가연구 및 고도화를 통해 단기간내 제품화 및 실용화 가능
- 국토부에서는 “도시 기후변화 재해취약성분석”후 도시기본계획 및 관리계획 수립하도록 제도화(국토계획법 20조, 27조)하고 있어 바로 지자체를 대상으로 기술의 현장 적용이 가능함
- 환경부에서는 지자체를 대상으로 “기후변화 적응 세부시행계획”수립을 의무화 (녹색성장기본법)하고 있으며, 공공기관을 대상으로는 권장하고 있어 실무에서 필요한 기초 데이터 제공 등을 통해 현장 적용이 가능함
- 지자체의 도시계획, 스마트시티 조성계획, 안심마을 만들기 계획수립 시 위험지역 및 위험시설을 고려한 계획수립 컨설팅 지원

□ 표준화된 데이터 제공 신산업 창출

- 정부에서 제공하는 공인된 통계자료, GIS자료, 도면자료, 연보 등의 각 자료들에 대한 표준화된 데이터를 필요로 하는 산업, 학계, 연구기관 등을 대상으로 데이터를 제공하는 신산업 창출에 기여

나. 연구개발대상의 국내외 현황

■ 국가연구개발사업 유사연구 검토

- 2000년대 이후 국토교통부 외 국민안전처, 환경부 등의 주요 부처를 대상으로 기후변화, 홍수위험성 및 취약성 평가, 의사결정지원, DB 자동화 및 플랫폼 개발의 키워드로 총 25건의 사업을 검토

■ 국내외 관련 기술 특허 동향

- 2000년대 이후 한국, 미국 등 수재해 선진국을 대상으로 유사연구와 같은 키워드로 국내 10건, 국외 7건의 특허내용을 검토

■ 시장분석 및 사업화 전망

- 국내외 수자원 분야 시장성 분석을 통해 '16~'18년까지 향후 3년 수자원분야

(1) 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

(가) 국가연구개발사업 유사연구 검토

국가연구개발사업 유사연구 현황

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고	분류
국토교통부	물관리연구사업	기후변화 대비 극한홍수 적응기술	4.6	2014~2019	위험성 평가
국토교통부	건설교통기술지역 특성화사업	제주지역 기후변화 적응을 위한 통합수자원 관리기술 개발	34.3	2014~2018	플랫폼 (DB 자동화)
국토교통부	국토교통기술지역 특성화사업	제주지역 홍수피해 저감을 위한 최적 대응기술 개발	8.6	2014~2018	위험성 평가
국토교통부	국토교통연구기획	다차원 하천공간기반의 국민생활	0.8	2016	플랫폼

부처명	사업명	과제명	예산	비 고	분류
	사업	밀착형 하천 및 유역 재해평가와 관리기술개발 기획			(DB 자동화) / 의사결정지원
국토교통부	도시건축연구사업	도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발	79.0	2011~2015	플랫폼 (DB 자동화)
국토해양부	건설기술혁신사업	차세대 홍수방어기술 개발	153.2	2008~2013	플랫폼 (DB 자동화) / 의사결정지원
국립재난안 전연구원	용역과제	한반도 재난 위험도 평가 및 대응기술 개발	7.2	2014	위험성 평가
국립재난안 전연구원	용역과제	자연재난 위험도 평가 및 예측기술 개발	7.2	2015	위험성 평가
국민안전처	자연재해예측및저 감연구개발사업	풍수해 직접·간접피해를 고려한 피해 산정 및 예측 기술개발	20.0	2015~2020	플랫폼 (DB 자동화)
국민안전처	자연재해예측및저 감연구개발사업	기후변화 적응을 위한 연안도시지역별 복합원인의 홍수 취약성 평가기술 개발 및 대응 방안 연구	11.0	2015~2019	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가 / 의사결정지원
국민안전처	재난안전기술개발 구축사업	실시간 대피안내를 위한 실내센서기반 동적 대피 유도시스템 개발	0.6	2014~2016	플랫폼 (DB 자동화) / 의사결정지원
소방방재청	자연재해저감기술 개발사업	지능형 CCTV 재난활용 및 사전경고 대응기술 개발	6.5	2011~2014	플랫폼 (DB 자동화)
소방방재청	자연재해저감기술 개발사업	복합위험요소에 대한 수방시설물의 재해위험 진단기술개발	7.5	2010~2013	위험성 평가
소방방재청	자연재해저감기술 개발사업	대규모 하천정비에 따른 자연재해 환경변화 및 방재체계 재구축	16.9	2010~2012	위험성 평가
소방방재청	자연재해저감기술	도시홍수 위험성 평가 및 통합관리방안	1.8	2011	위험성 평가

부처명	사업명	과제명	예산	비 고	분류
	개발사업	개발			
소방방재청	방재기술연구개발	소하천 범람모의 및 위험도분석 시스템 구축	7.3	2010~2011	플랫폼 (DB 자동화) / 의사결정지원
교육부	이공학개인기초연구지원	수재해 통합 공간정보구축을 통한 피난경로 배분 지원 시스템(MUFESS) 개발	0.4	2015~2018	플랫폼 (DB 자동화) / 의사결정지원
미래창조과학부	중견연구자지원	기후변화에 의한 자연재해 대응 시스템 구축	25.0	2010~2014	플랫폼 (DB 자동화)
농촌진흥청	농업기후변화적응 체계구축	해수면 상승 농경지 영향평가 시스템 구축 및 해수면 상승에 따른 농경지 범람 피해 평가	5.2	2014~2016	위험성 평가
안전행정부	복합사회적재난대 응기술개발	미래재난예측방법론 개발 및 주요 재난 유형별 시나리오 개발	2.8	2013~2016	플랫폼 (DB 자동화)
안전행정부	방재기술연구개발	풍수해 취약성 평가시스템 개발	3.7	2011~2013	위험성 평가
환경부	기후변화대응 환경기술개발사업	기후변화 영향 및 취약성 통합평가 기반기술	31.2	2014~2021	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가
환경부	차세대에코이노베 이션기술개발	기후변화에 따른 건강영향 평가 적응 기술 및 정책지원 시스템 개발	16.8	2011~2016	의사결정지원
환경부	기후변화대응 환경기술개발사업	저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회·경제 변화 시나리오 개발	5.2	2013~2016	플랫폼 (DB 자동화)
환경부	기후변화대응 환경기술개발사업	사회 경제 시나리오를 고려한 기후변화 통합취약성 평가체계 개발	4.7	2012~2013	위험성 평가

□ **기후변화 대비 극한홍수 적응기술 - 국토교통부(2016)**

- (목표) 기후변화에 적응 가능한 국가 수자원관리 기술개발 및 글로벌 수자원 산업 기반 구축
- (연구내용) 기후변화에 대비하여 용수공급 안정성 확보, 시설물 대책, 적응대책 수립, 취약성 통합평가 시스템 개발 연구
 - 극한 홍수 시나리오 상황에서 국내 주요 댐 및 용수공급 안전도평가
 - 유역홍수저감 시설물의 기후변화 적응 실행 프레임워크 개발
 - 기후변화 상황에서 유역별 취약성의 종합적 평가 및 효율적 적응전략을 수립할 수 있는 통합 평가시스템 개발

□ **제주지역 기후변화 적응을 위한 통합수자원 관리기술 개발 - 국토교통부(2016)**

- (목표) 제주지역 기후변화 대응을 위한 물관리 및 수재해 저감기술 개발
- (연구내용) 제주도 수문지질 관련 자료 표준화 및 통합DB 구축
 - 각 공공기관에서 보유하고 있는 수문지질 관련 각종 자료를 GIS 시스템에서 범용 가능하도록 표준화
 - 관정허가 자료, 양수시험 자료, 지하수위 및 수질조사자료 등의 표준화 DB 구축
 - 용수이용에 따른 물수지 산정 고도화 기술 개발
 - 기후변화에 대응 종합 수자원 평가기술 개발
 - 기후변화에 따른 수문현상 변화와 산업용수이용에 따른 해수침투영향 평가기술

□ **제주지역 홍수피해 저감을 위한 최적 대응기술 개발 - 국토교통부(2016)**

- (목표) 제주도 강우 및 유출 특성을 고려한 홍수 예·경보시스템 개발 및 최적화된 설계 홍수량 산정 기술 개발
- (연구내용) 선행강우 조건에 따른 홍수 예·경보 시나리오 작성과 저류지의 홍수저감 효과 분석 기술 개발
 - 저류지 유출·입량 관측 및 결과 분석
 - 현장관측자료 기반 저류지 홍수저감 효과 결과 도출
 - 제주도에 적합한 홍수피해 지역 예측 및 홍수취약성 평가 기술 개발
 - 제주도 최적 설계홍수량 산정지침 개발

□ **다차원 하천공간기반의 국민생활 밀착형 하천 및 유역 재해평가와 관리기술개발 기획 - 국토교통부(2016)**

- (목표) ICT 기술을 활용하여 하천 및 유역 재해평가와 관리기술 개발을 위한 구체적인 추진 전략을 수립하여 동향 및 기술 조사 분석, 핵심기술 유도, 연구수행 인프라 구축, 연구 개발 추진 전략, 연구 수행 방안과 방법, 주요 연구내용, 연구 성과의 활용 방안 및 기대효과 등이 망라된 국가연구개발사업 계획서 제시

- (연구내용) 수자원, 기상, 방재, 환경, 국토지반, 하천시설물 등 각각 독립적으로 다원화되어 입체적이고 체계적이지 못한 현재 수자원 정보 체계를 하천관리자, 관련 연구자, 국민 등 수요자 중심으로 하천기능을 통합·연계하는 시스템으로 구축하기 위한 기획연구
 - 최신 기술을 이용한 하천공간기반 하천관리 시스템을 구축
 - 하천 및 유역정보의 통합관리를 위한 새로운 데이터베이스를 도출하고 표준화
 - 수요자 중심의 의사결정 및 공간관리·재해관리·시설물관리 등 운영시스템 개발
 - ICT 관련 현재 및 미래기술 분석 등을 수행하여 국가 수자원 클라우드 서비스 체계가 구현될 수 있는 연구 기획
 - 다차원 하천공간기반 하천관리 시스템 개발
 - 하천·유역정보 공동활용을 위한 표준 플랫폼 개발
 - 시스템의 웹 서비스 개방을 위한 Open API 기반 정보제공체계 구축
 - 3차원 형상정보모델 개념의 다차원 하천공간정보체계를 활용한 정보 표준모델 마련 및 정보표준 프레임워크 연구
 - 하천관리영역별 하천·유역 재해평가 및 의사결정체계, 시설물 관리시스템 개발

□ 도시 기후변화 폭우재해 적응 안전도시 기술 개발 - 국토교통부(2015)

- (목표) 도시 기후변화 폭우재해 예측시스템 개발
- (주요내용) 유역 내 홍수와 산사태가 동시에 발생할 때 재해취약지역을 예측하는 시스템 개발 연구로 도시설계기술을 개발하여 유역 내 상중하류의 특성, 도시특성, 계획의 위계와 범위를 고려한 계획특성에 맞는 적용방안을 마련
 - 기후변화 폭우재해적응 도시설계기술을 통합하여 기후변화 폭우재해 예측시스템 구축
 - 기후변화적응 한국형 도시설계기술을 결합한 기후변화 적응 안전도시 시스템을 구축하고 파일럿 테스트 실시

□ 차세대홍수방어기술개발 - 국토해양부(2013)

- (목표) 차세대 홍수방어 시스템 구축을 위한 정보화 전략계획 수립
- (연구내용) 차세대 홍수방어 시스템 구축을 위한 정보화 전략계획 수립을 위하여 실시한 홍수예·경보 시스템 및 분포형 홍수유출 개발
 - 홍수에 대한 사전대응체계를 시스템화, 한국형 AHPS(가칭 KAHPS)시스템 개발
 - 실시간으로 홍수예측정보를 표출하여 홍수재난대응 담당자의 의사결정지원
 - 지자체의 소요를 반영하며 표준을 준수하는 홍수방재업무 및 대민지원 시스템 구축
 - 우리나라의 지형 및 기상조건에 적합한 분포형 홍수유출시스템(돌발홍수예보) 개발
 - 한국형 선진수문예측시스템설계 가이드라인 제시
 - GIS 표준(OGC)을 반영한 WebGIS 설계 및 구축

□ 한반도 재난 위험도 평가 및 대응기술 개발 - 국립재난안전연구원(2014)

- (목표) 한반도 재난 위험도 평가 체계 구축
- (연구내용) 위험도(Risk)를 위해성(Hazard), 노출성(Exposure), 취약성(Vulnerability)의 공통함수로 정의하여 재난별로 평가 지표를 구성하고 등급별 위험도를 제시함
 - IPCC 제5차 보고서의 위험성 개념과 부합되도록 분석 하위 지표를 설정하여 위험도를 평가하였으며, 현재 및 미래로 구분하여 기후변화 시나리오 반영
 - 전국 230개 지자체를 대상으로 재난별 위험도 평가 지표를 구성하고, 지자체간 재난별 상대적 위험을 평가하여 등급별 위험도를 제시

□ 자연재난 위험도 평가 및 예측기술 개발 - 국립재난안전연구원(2015)

- (목표) 지역별 재난위험도 평가를 통한 지자체 재난위험저감 의사결정 지원
- (연구내용) 위험도(Risk)를 위해성(Hazard), 노출성(Exposure), 취약성(Vulnerability)의 공통함수로 정의하여 재난별로 평가 지표를 구성하고 등급별 위험도를 제시하였으며, 저감능력 반영하여 위험도를 도출함
 - IPCC 제5차 보고서의 위험성 개념과 부합되도록 분석 하위 지표를 설정하여 위험도를 평가하였으며, 현재 및 미래로 구분하여 기후변화 시나리오 반영
 - 전국 230개 지자체를 대상으로 재난별 위험도 평가 지표를 구성하고, 지자체간 재난별 상대적 위험을 평가하여 등급별 위험도를 제시
 - 가중치에 의해 현재와 미래의 위해성, 노출성, 취약성 지수를 도출하고, 최종 위험도를 산정함

□ 풍수해 직접·간접피해를 고려한 피해 산정 및 예측 기술개발 - 국민안전처(2016)

- (목표) 풍수해 피해에 대한 실질적 복구비 산정 및 재해정보 서비스 정책지원을 위해 재해기본 통계 구축과 풍수해 직접·간접 피해를 고려한 피해 산정 및 예측기술 개발
- (연구내용) 피해 예측지도 공간정보 표준 데이터 모델 개발과 피해 예측지도 DB 구축
 - GIS 기반 공간분석을 위한 DB 항목 도출
 - 호우피해예측지도 작성 및 피해 예측지도 공간정보 표준 데이터 모델 설계
 - 피해 예측지도 공간정보 표준 데이터 모델 개발
 - 풍수해 피해 예측지도 작성 표준 지침 작성

□ 기후변화 적응을 위한 연안도시지역별 복합원인의 홍수 취약성 평가기술 개발 및 대응 방안 연구 - 국민안전처(2016)

- (목표) 기후변화에 따른 연안도시 재해예측 및 관리시스템 개발
- (연구내용) 연안도시 홍수취약성평가관리시스템을 개발하기 위한 연구로 주요 내용으로는 관련 DB 구축, 지표에 의한 연안재해 취약성 평가, 구조적 대책 제시, 재해정보 조회로 구분됨

- 시스템은 지형도, 행정경계, 위치정보가 포함된 GIS기반 표출시스템
- 시군구단위, 평면적 상대적인 위험성 평가
- DB는 사용자 직접 가공·구축
- 취약성 평가는 연안재해와 관련한 재해를 대상으로 지표를 통한 취약성 평가

□ 실시간 대피안내를 위한 실내센서기반 동적 대피 유도시스템 개발 - 국민안전처 (2016)

- (목표) 실내 재난/재해 발생 시에 인명피해 최소화를 목적으로 하는 실시간 대피안내를 위한 실내센서기반 동적 대피 유도시스템 개발
- (연구내용) 센서를 이용하여 건물내의 인원상황을 감지하고 취득 정보를 기반으로 최적 대피경로를 산출 및 대피방향안내 및 실시간 모니터링
 - 동적으로 실내 인원상황을 감지하고 대피 유도 안내가 가능한 센서를 통해 실제 건물 내 센서 네트워크를 구축함
 - 취득 정보 기반 최적 대피경로 산출 알고리즘 개발
 - 산출된 대피경로에 따라 음성 및 LED센서를 통해 대피방향 안내 및 대피상황 실시간 모니터링이 가능한 동적 대피 유도시스템 개발
 - 실제 건축물 적용 후 모델링, 대피안내 실험 등 시스템 적용 가능성 평가·분석

□ 지능형 CCTV 재난활용 및 사전경고 대응기술 개발 - 소방방재청(2014)

- (목표) VMS, NVR 시스템에 수위분석 프로그램 개발 및 NDMS 시스템 활용한 수위분석 프로그램 개발
- (연구내용) 영상분석에 대한 VMS, NVR 시스템에 영상분석설정 정보 및 자료의 전달 및 전송 프로그램 개발
 - NDMS시스템을 활용한 수위분석 적용가능성 검토
 - 무센서 기반 하에 영상을 통하여 수위분석프로그램 적용
 - 수위시스템 영상 분석 설정 프로그램 개발 및 NDMS 연계 적용

□ 복합위험요소에 대한 수방시설물의 재해위험 진단기술개발 - 소방방재청(2013)

- (목표) 복합위험요소를 고려한 재해위험지수의 개발 및 지역별 수방시설 재해예측 모델의 구축
- (연구내용) 수방시설물에 대한 위험인자(위험성요소, 노출성요소, 취약성요소, 긴급대응요소)를 분석하고 수방시설물 재해위험진단기술 개발하여 지역별 수방시설 재해예측 모델의 구축
 - 도출된 수방시설물 위험인자를 고려한 재해위험지수의 개발
 - 수방시설물에 대한 시설물 위험도 표준 개념의 수립
 - 대상지역에 대한 재해위험도 작성 및 평가
 - 개발된 재해위험도 지수를 이용한 복합위험요소에 적합한 재해예측 모델 개발

□ 대규모 하천정비에 따른 자연재해 환경변화 및 방재체계 재구축 - 소방방재청(2012)

- (목표) 기후변화에 따른 중소하천 자연재해 취약성 평가 및 기후변화 대응 방재체계 재구축 및 중소유역 치수안전도 평가시스템 구축
- (연구내용) 기후변화에 따른 자연재해위험지구 영향 평가 및 대응 방재체계 구축
 - 대규모 하천정비에 따른 중소하천 기후변화 대응능력 평가
 - 대규모 수리시설물 운영이 중소하천 재해환경에 미치는 영향 분석
 - 대규모 하천정비 후 극한홍수 발생시 중소하천의 홍수분담 능력 분석
 - 대규모 하천정비와 기후변화에 따른 치수안전도 평가 요소기술 개발
 - 중소유역 치수안전도 평가시스템 구축

□ 도시홍수 위험성 평가 및 통합관리방안 개발 - 소방방재청(2011)

- (목표) 대도시 인구밀집 지역의 기상이변 등에 의한 홍수에 대한 도시홍수 위험성 종합평가 및 통합관리 방안 개발
- (연구내용) 홍수 위험성의 3대 요소 홍수위해성(hazard), 취약성(vulnerability), 노출성(exposure)에 대한 평가 방안 제시
 - 위험성 평가에 따른 도시홍수 위험성 종합관리 방안 도출
 - 기후변화 등 이상기후에 대비한 도시홍수 위험 통합관리 시스템 구축방안 제시

□ 소하천 범람모의 및 위험도분석 시스템 구축 - 소방방재청(2011)

- (목표) 소하천 유역의 재해 발생 대비 관리 기술 개발 및 IT기반 홍수재난대응기술 제시
- (연구내용) GIS 기반 표출시스템을 통한 소하천 유역 홍수재난대응기술 제시를 위해 DB 구축, 홍수범람 모의, 홍수위험성 분석 등을 실시하여 홍수 예·경보 시스템과 연계
 - 소하천 GIS, 수문정보, 위성영상자료 DB 구축
 - 소하천 범람모형 개발 및 적용을 통한 GIS 기반 범람모의 표출시스템 개발
 - 홍수위험성 분석시스템 개발을 통한 국가하천 홍수 예·경보시스템과 연계
 - 방재정책수립 지원

□ 수재해 통합 공간정보구축을 통한 피난경로 배분 지원 시스템(MUFESS) 개발 - 교육부(2016)

- (목표) 수재해 발생시 피난자를 가장 빠르고 안전하게 유도하는 통합 시스템 개발
- (연구내용) 실물 피난실험과 데이터 구축을 병행하여 대피 소요시간 예측과 경로 배분 알고리즘, 공간정보의 통합기술, 미시적 공간범위에서의 재난수요예측 기술 개발 등을 통해 MUFESS(Micro Urban Flooding Evacuation Support System)를 지자체에서 활용 가능한 형태로 개발하고자 함

- 통합 수재해 DB 기반의 수재해 발생 시 대피경로 할당 모델 개발하천 및 유역정보의 통합관리를 위한 새로운 데이터베이스를 도출하고 표준화
- 수재해 대피소 위치선정 및 대피수요 산정 지원 모델 개발
- MUFESS시스템 기능 ① 대피소 의사결정지원 ② 대피 수요예측 지원 ③ 대피경로 할당 및 결정 ④ 수재해 정보지도 ⑤ 수재해 대응 피난 유도 가이드라인 및 지침

□ 기후변화에 의한 자연재해 대응 시스템 구축 - 미래창조과학부(2014)

- (목표) 기후변화를 고려할 수 있는 강우생성모형을 개발 및 GIS/RS 기반의 적설 정보시스템 개발과 홍수취약성을 개선할 수 있는 최적대응방안 마련
- (연구내용) 기후변화에 따른 자연재해를 예측하고 대응하기 위한 시스템 구축
 - 기후변화에 따른 국내의 강우 시공간 변화 특성 분석 및 강우의 시간변화특성을 고려할 수 있는 강우생성모형 제시
 - 인공위성영상과 지상 기상자료를 이용한 적설지역 추출 및 적설심 공간자료 구축기법 개발을 통한 강설자료 및 GIS/RS를 이용한 과거 적설피해지역 분석기법 개발
 - 기후변화로 인한 수리학적, 지반공학적 원인에 따른 위험도 평가
 - 실시간 기상예보자료와 Heuristic 유출 모형을 사용한 저수지 운영모형개발

□ 해수면 상승 농경지 영향평가 시스템 구축 및 해수면 상승에 따른 농경지 범람 피해 평가 - 농촌진흥청(2016)

- (목표) IPCC 해수면 상승 시나리오에 따른 우리나라 전체 농경지에 대한 잠재적 범람 피해 정도 예측
- (연구내용) 우리나라 해안 농경지(간척지 포함) 피해이력 조사 및 침수범람 예측
 - 우리나라 해안 농경지 범람 모형 신뢰도 조사
 - 해수면 상승, 태풍해일, 조석 중첩한 우리나라 해안 농경지(간척지 포함) 침수범람 예측

□ 미래재난예측방법론 개발 및 주요 재난 유형별 시나리오 개발 - 안전행정부(2016)

- (목표) 통계적 방법을 토대로 한국 실정에 맞는 재난 예측모형을 구축하여 재난관련 정책 수립시 적절한 대응전략 도모 및 재난 위험성완화와 경제적 손실을 저감하기 위한 미래재난예측시스템 구축
- (연구내용) 비정형 데이터, 기술자료, 논문 등을 통한 정보 수집으로 미래재난예측분석 시스템을 구축하며, 이를 통해 미래재난 핵심동인 및 트렌드를 도출함
 - 자연재해, 인적재난, 사회적 재난과 관련된 비정형 데이터, 기술자료, 논문 등의 자료 수집 가능한 도메인과 서버간의 연계방식 설계
 - 미래재난예측분석시스템의 구축 방안 및 웹 플랫폼 개발 방안 수립

□ 풍수해 취약성 평가시스템 개발 - 안전행정부(2013)

- (목표) 낙동강 수계 소하천 위험성 평가시스템 개발 및 기존 홍수 위험성 평가시스템 개선
- (연구내용) 낙동강 수계 소하천 위험성 평가시스템을 위해 필요한 DB를 구축하고 대리변수 가중치 방법을 적용
 - 낙동강 수계 소하천 평가 대리변수 DB 수집 및 분석
 - 평가방법 적용을 통한 낙동강 수계 소하천 위험성 평가
 - 홍수 위험성 평가시스템 개선 및 평가 분석기능 개선
 - 웹서비스 처리속도 및 사용성 개선

□ 기후변화 영향 및 취약성 통합평가 기반기술 - 환경부(2016)

- (목표) 기후변화를 고려한 부문별 취약성 통합평가 모형 구축을 위한 기반 및 활용기술 개발
- (연구내용) 부문별 기후정보 포함 공동활용 DB구축을 위한 기초 모듈 및 기본 설계·계획 모형 개발
 - 해수면 상승 영향 및 취약성 통합평가 모형 개발 체계 구축
 - 생체량크기모형 체계구축 및 모듈 개발
 - 통합평가 모형 입력자료 DB 구축 및 통합 전산시스템 구축 기본계획 연구
 - 기후자료 상세화 및 관련 DB 시스템 구축
 - 폭염, 대기오염, 매개체 질환 및 수인성 전염 질환의 건강 영향 및 취약성 평가 예측 모형 개발
 - 역학 통계 자료를 이용한 한반도 이상기후 현상 진단 및 미래 이상기후 취약성 평가
 - 이상기후 현황 분석 DB 구축 및 시공간 상세화 자료 표출 시스템 설계 및 시스템 프로토타입 개발

□ 기후변화에 따른 건강영향 평가 적용 기술 및 정책지원 시스템 개발 - 환경부(2016)

- (목표) 기후변화로 인한 건강영향평가와 적용기술의 개발 및 정책적 지원을 위한 시스템 개발
- (연구내용) 정책지원시스템 요구사항 분석 및 건강영향평가를 위한 DB 구축과 정책지원 시스템 개발
 - 오존/자외선, 기상이변으로 인한 건강영향평가 및 DB 구축
 - 건강영향 평가예측 툴박스 및 통합 건강영향 평가 기능 개발
 - 기상이변 및 오존/자외선의 지자체 단위 적용기술 개발
 - 건강영향 정책지원시스템 기능 수정안 도출

□ 저탄소 기후변화 적응 사회를 위한 사회·경제 변화 시나리오 개발 - 환경부(2016)

- (목표) RCP시나리오와 사회경제 시나리오 연계 및 적응능력 정량화 스토리라인에 따른 부문별 정량화 된 시나리오 개발 및 공간 상세화 수행

○ (연구내용) RCP 시나리오별 스토리라인의 주요 지표 변화에 대한 가정을 반영해 사회경제 시나리오 개발

- RCP8.0 / RCP6.0 / RCP4.5에 대한 기후 및 비기후정책 시나리오 개발
- 인구 부문, 경제 및 산업구조 변화, 토지이용 변화 시나리오 개발
- 취약성 평가를 위한 기타 사회경제 지표 시나리오 개발

□ 사회 경제 시나리오를 고려한 기후변화 통합취약성 평가체계 개발 - 환경부(2013)

○ (목표) 미래의 사회경제적 변화를 고려한 시나리오에 기반하고 부문간 상호 연계성을 고려한 통합적 취약성 평가 체계 구축

○ (연구내용) 국가 온실가스 감축목표를 고려, 감축 시나리오와 연계한 사회·경제 시나리오 개발

- 취약성 평가를 위한 주요 사회 경제 지표 선정
- 지표간 상관성을 고려한 중장기 전망 방법론 개발
- 부문간(재해, 농업, 보건, 산림, 해양 등) 기후변화 취약성 상호 연관성 분석
- 상호 연관성을 반영한 수평적 통합 취약성 평가 체계 개발
- 시범 적용 결과를 활용한 수직·수평 통합적 취약성 평가 체계 구축

(나) 사업화과제의 차별화 방안

□ 기존 국가연구개발사업의 한계점

○ 「데이터 자동화 기술 및 플랫폼 분야」

- 데이터 구축 및 가공 방법은 제시되어 있지 않으며, 관련 시스템의 경우 사용자가 직접 가공·구축하며 활용
- 분석 최소공간범위가, 대부분 행정구역(시군구, 읍면동) 으로 구분하여 세밀한 공간 위험성분석에 한계가 있음
- 상용 소프트웨어(Arc-GIS) 기반 분석을 권장함
- 평가결과는 1차원적인 평면적 상대 위험성 평가만을 전산화함

○ 「취약성 및 위험성 평가 분야」

- 1차원적 지표에 의한 평면적 상대평가이고, 위험/취약지역내 시설 등 정보파악이 어려움
- 기후변화 시나리오에 따른 기상자료 생성과 사용자 분석이 어려움
- 취약성 및 위험성 평가 결과는 수치화하여 행정구역별로 제시하며, 이에 따른 평가 결과 해석은 제공하지 않음

○ 「의사결정지원 분야」

- 기존 취약성/위험성 관련 시스템은 행정구역별 상대적 평가결과만 제공하고 취약/위험지역에 대한 대응방향, 대응기술 등의 의사결정 지원 기능이 부재함

□ 사업화과제의 차별화 방안

○ 「데이터 자동화 기술 및 플랫폼 분야」

- 데이터 유형에 따른 연계 자동화를 통해 사용자가 원하는 DB 추출 및 표준화, 공간정보로의 변환이 가능하여 사용자 맞춤형 지표 자동 생성이 가능함
- 수정 및 추출 등의 데이터 편집이 가능하며, 데이터 표준화 및 정규화 기술이 탑재된 데이터 관리센터에서 제공하는 데이터를 활용하여 평가 결과에 대한 일관된 품질 유지 및 신뢰성 확보
- 분석 최소공간범위를 시군구, 읍면동, 집계구 등 다양한 공간범위를 사용자가 선택하여 평가할 수 있으며, 세밀한 공간단위 위험성 분석이 가능함
- OPEN 소스 기반 GIS 기술을 활용하여 이용자의 접근성을 향상시키고, 고가의 공간정보분석프로그램(Arc GIS) 라이선스 비용 절감이 가능한 통합플랫폼임
- 데이터 구축, 위험성 평가, 최적대안제시의 모든 과정을 하나의 통합플랫폼으로 수행하며, 데이터와 방법론의 변화에 능동적으로 대처가 가능

○ 「취약성 및 위험성 평가 분야」

- 국토교통부가 개발 제공하는 V-World와 연계한 3D기반 입체적 상대평가 및 절대평가가 가능함
- 단순히 공간단위별 평가 외 공간 내 취약시설, 인구 등 다양한 정보를 위치기반 표출제공

○ 「의사결정지원 분야」

- 상세공간단위별(집계구 등) 위험특성을 고려한 구조적, 비구조적 대책 제시
- 재해예방형 도시계획 수립을 지원하기 위해 공간단위별 도시계획적 대책 및 토지이용대책, 기반시설 활용 대책 건축물 대책을 제시

(2) 국내외 관련 기술 특허 동향

국내외 관련 기술 특허 현황

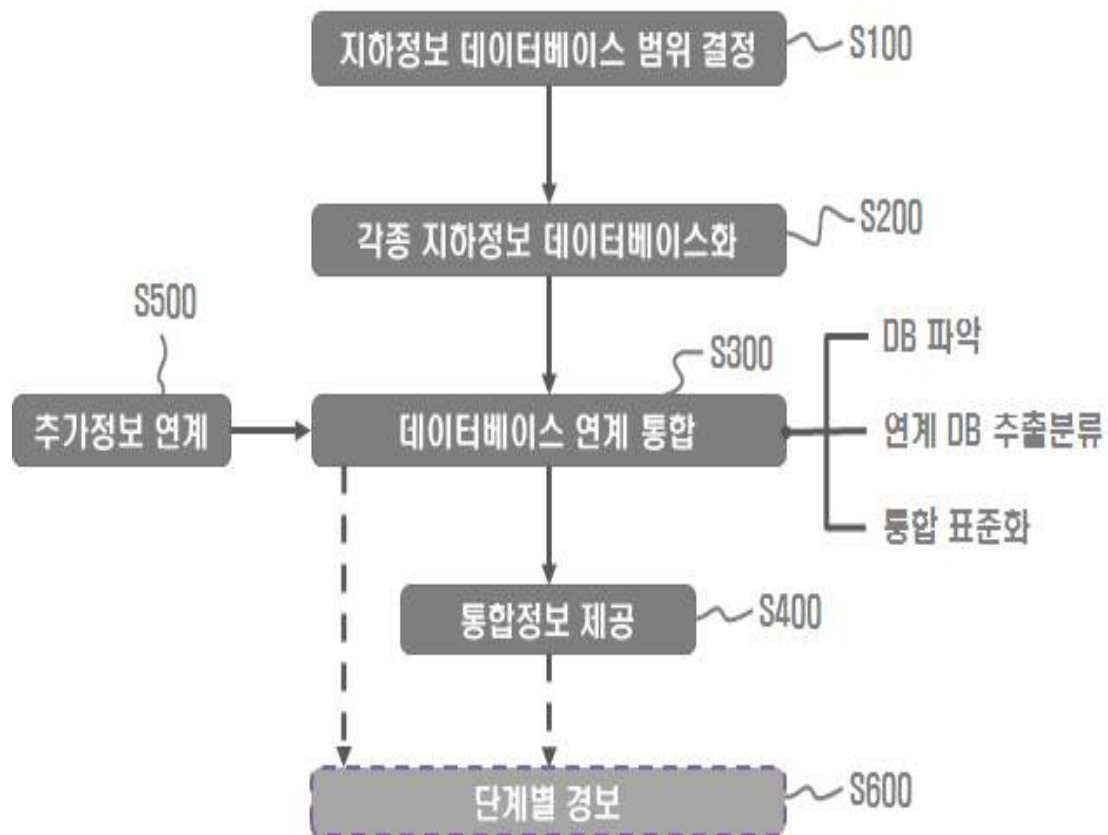
국가	특허출원번호	특허명	공고일자	분류
대한 민국	KR2014-0037572	국토지하정보 실시간 연계기반의 지진방재를 위한 통합정보 구축시스템 및 그의 구축 방법	2015.10.08.	플랫폼 (DB 자동화)
	KR2014-0056513	제방의 위험도 평가 방법 및 그에 적합한 평가 시스템	2015.11.20.	플랫폼 (DB 자동화) / 의사결정지원
	KR2013-0025128	화산재해 대응 시스템	2014.09.16.	의사결정지원
	KR2011-0060482	광산지리정보시스템을 이용한 지반침하 위험도 평가 시스템	2013.02.22.	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가
	KR2012-0085738	지반조사성과의 D B 생성 자동화가 가능한 지반조사 표준서식 기반의 지반정보 전산화방법 및 이를 이용한 전산화시스템	2013.07.22.	플랫폼 (DB 자동화)
	KR2012-0143297	공간통계학 및 기후변화를 고려한 침수 취약성 분석 시스템 및 방법	2013.08.23.	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가 / 의사결정지원
	KR2012-0154589	다기준 홍수위험도 평가방법	2013.12.13.	위험성 평가 / 의사결정지원
	KR2012-0047992	홍수 취약성 평가를 위한 퍼지 탐시스 접근방법	2013.12.20.	위험성 평가
	KR2012-0044730	기후변화 취약성 평가 시스템 및 그 방법	2012.11.14.	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가 /

국가	특허출원번호	특허명	공고일자	분류
				의사결정지원
	KR2009-0085523	G I S 기반 기후변화 영향평가 시스템 및 그 방법	2010.03.31.	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가
미국	US7280920 B1	Method and Apparatus for Forecasting Earthquakes and Making Informed Risk Management Decisions	2007.08.09.	의사결정지원
	US2004-0236676 A1	Disaster Risk Assessment System, Disaster Risk Assessment Support Method, Disaster Risk Assessment Service Providing System, Disaster Risk Assessment Method, and Disaster Risk Assessment Service Providing Method	2004.12.25.	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가 / 의사결정지원
	US2015-0019262 A1	Method and System for Generating a Flash Flood Risk Score	2015.01.15	위험성 평가
	US2014-0007244 A1	Systems and Methods for Generating Risk Assessments	2014.01.02.	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가
	US2014-0229420 A1	Systems and Methods for Quantifying Flood Risk	2014.01.04.	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가
	US2013-0325545 A1	Assessing Scenario-Based Risks	2013.12.05.	위험성 평가
	US7917292 B1	Systems and Methods for Flood Risk Assessment	2011.03.29.	플랫폼 (DB 자동화) / 위험성 평가

(가) 국내 기술 특허 동향

□ 국토지하정보 실시간 연계기반의 지진방재를 위한 통합정보 구축시스템 및 그의 구축 방법(KR2014-0037572)

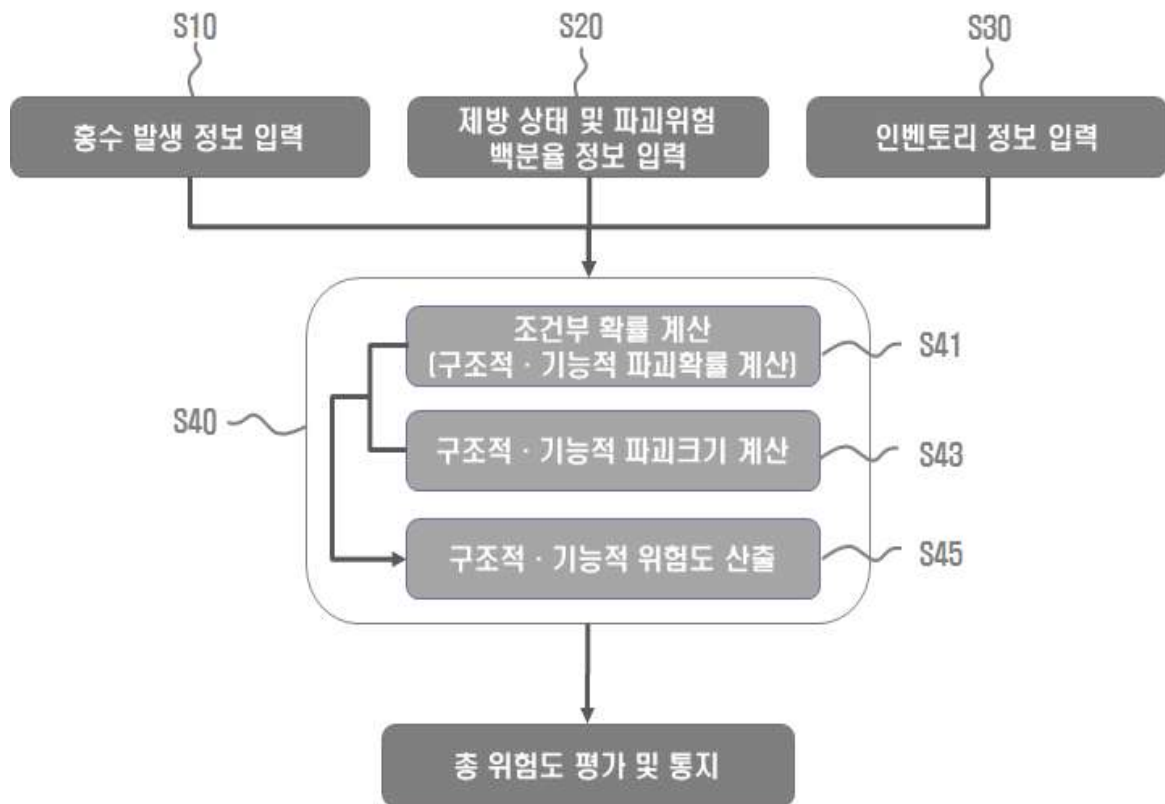
- (목표) 지진방재 통합정보 시스템을 구축하기 위한 국토지하정보 실시간 연계체계 구축 및 구축 방법 개발
- (주요내용) 지진방재를 위한 통합정보 구축시스템은 실시간으로 DB를 연계하고 DB구축 자동화 기능을 통해 국토지하정보라는 범위 내의 통합정보를 제공
 - 각종 지하정보에 대한 GIS 기반 통합 DB를 구축함
 - 3D 시각화 모듈 탑재를 통한 지하 공간 3D 지도 표출 및 정보제공
 - 지진방재 관련 비상대처계획, 지침 등의 기준을 이용한 단계별 경보제공



통합정보 구축시스템 단계별 절차도

□ 제방의 위험도 평가 방법 및 그에 적합한 평가 시스템(KR2015-0129487)

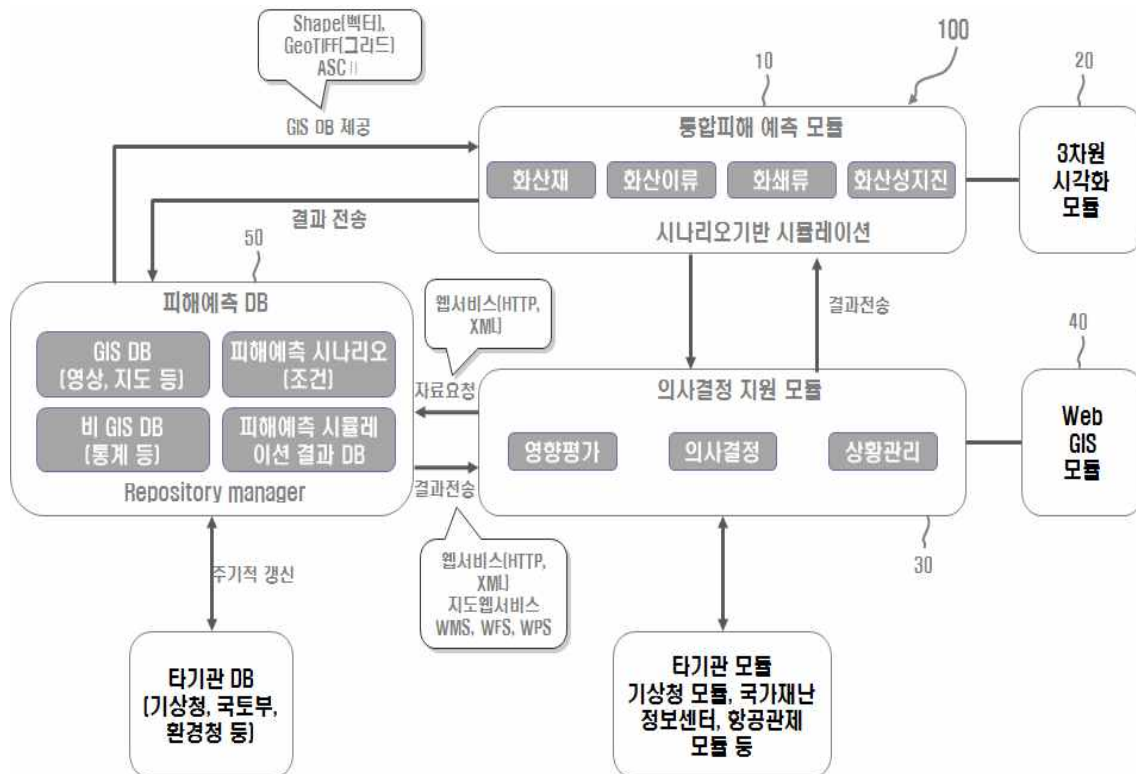
- (목표) 홍수 상황에서 수로 관련 주요 시설물인 제방의 위험도를 평가할 수 있는 평가 방법과 그에 적합한 평가시스템을 개발
- (주요내용) 제방시설물에 발생하는 기능적 파괴 및 구조적 파괴에 대한 피해발생 확률을 계산하고 반복적으로 구현할 수 있도록 하는 체계화된 제방 위험도 평가 방법 및 평가 시스템 개발
 - 분석 대상은 제방시설물이며, 홍수 발생 정보, 제방 상태, 인벤토리 등의 정보를 입력하여 위험도 평가를 수행함
 - 구조·기능적 파괴확률 및 크기를 계산하는 모듈을 이용하여 위험도 산정함
 - 제방 붕괴에 영향을 주는 요인 및 제방 상태를 고려하여 홍수데이터, 시나리오데이터 등 사용자가 원하는 정보 입력이 가능함
 - 홍수수위, 제방높이, 구조·기능적 파괴 확률 등의 입력자료를 활용하여 구조·기능적 위험도를 판정함



제방 위험도 평가 시스템 구성도

□ 화산재해 대응 시스템(KR2013-0025128)

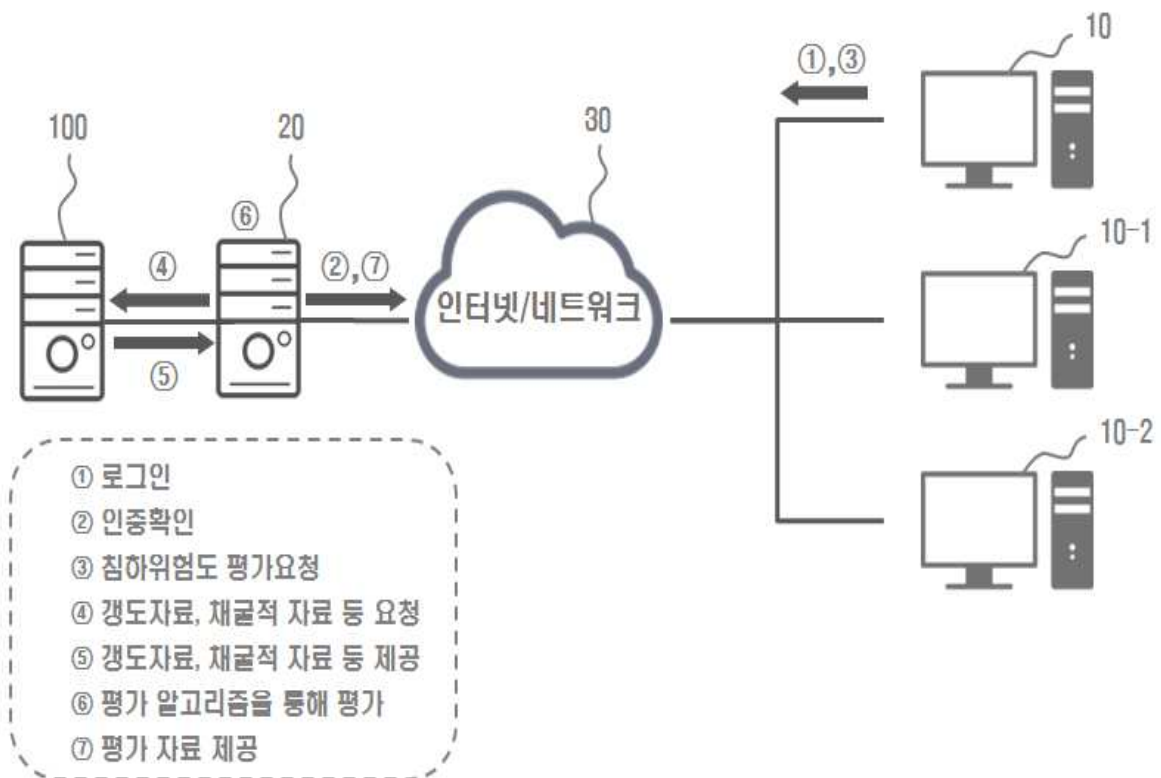
- (목표) 화산재해에 대해 신속히 대응 및 조치할 수 있는 화산재해 대응 시스템 개발
- (주요내용) 화산재해 대응 시스템은 주요기능을 지원하는 모듈과 기초데이터 제공을 위한 피해예측 데이터베이스로 이루어져 있으며, 주요모듈로는 통합 피해예측 모듈과 3차원 시각화모듈, 의사결정지원모듈이 있음
 - 분석은 우리나라를 대상으로 하며, 화산 종류별 피해 시나리오를 시스템에 탑재함
 - 3차원 시각화 모듈을 이용한 3차원 공간상에 가시화한 지도 표출
 - GIS 공간분석기법을 통해 피해영향평가, 피난지도 작성, 피난지도 표출 등의 기능을 수행함



화산재해 대응시스템 구성도

□ 광산지리정보시스템을 이용한 지반침하 위험도 평가 시스템(KR2011-0060482)

- (목표) 광산지리정보시스템의 갱도에 관한 정보 등을 근거로 하여 지반침하 예측 및 대응이 가능하도록 하는 광산지리정보시스템을 이용한 지반침하 위험도 평가 시스템 개발
- (주요내용) 광산지리정보시스템의 갱도심도 정보만을 사용하여 기간 및 일반 시설물이나 인명의 피해를 초래하는 지반침하 예측 및 평가
 - 갱도심도 정보만을 고려하여 지반침하 위험도 평가를 수행하며 분석범위는 시군구임
 - 위험도 평가 알고리즘에 반영하여 지반침하 예측모듈을 통해 위험도를 평가함
 - 입력 식 데이터를 사용하여 데이터편집 및 원하는 데이터사용이 가능함



지반침하 위험도 평가 시스템의 구성도

□ 지반조사성과의 DB생성 자동화가 가능한 지반조사 표준서식 기반의 지반정보 전산화 방법 및 이를 이용한 전산화시스템(KR2012-0085738)

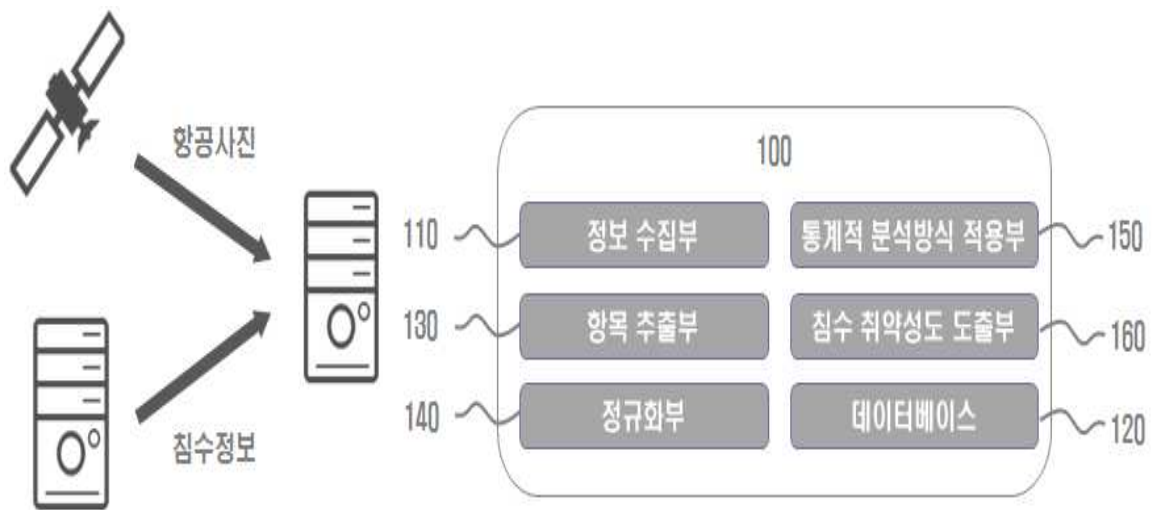
- (목표) 건설현장에서 지반조사 성과를 지반조사 표준서식으로 작성하는 경우, 전산화 작업을 거치지 않고 바로 지반정보 입력 DB로 변환 할 수 있도록 함으로써 기존 지반정보 입력시스템의 한계성인 입력 효율성, 입력시간 정감 등을 제공 하는데 목적이 있음
- (주요내용) 지반조사성과의 DB생성 자동화 및 자동화가 가능한 지반정보 전산화 방법 및 시스템을 개발함
 - DB는 프로젝트정보(사업명, 발주처, 공사기간 등), 지형지질정보(지형 및 지질 특성 등), 시추공정보(일반정보, 지층정보 등)으로 구성됨
 - DB생성 자동화는 입력단계, 오류검사단계, 변환단계로 순차적으로 진행되며, 표준서식에 의해 입력된 DB는 추가 입력 없이 시스템 내에서 자동으로 구축됨
 - 최종 입력된 데이터는 GIS기반의 전산화시스템에서 개략적인 정보와 위치정보를 테이블 형태로 제공함
 - 일괄적인 데이터 처리가 가능하고 필요한 데이터 검색 및 출력할 수 있으며, 기타 데이터와의 호환이 가능함



지반조사 전산화시스템의 구조도

□ 공간통계학 및 기후변화를 고려한 침수 취약성 분석 시스템 및 방법
(KR2012-0143297)

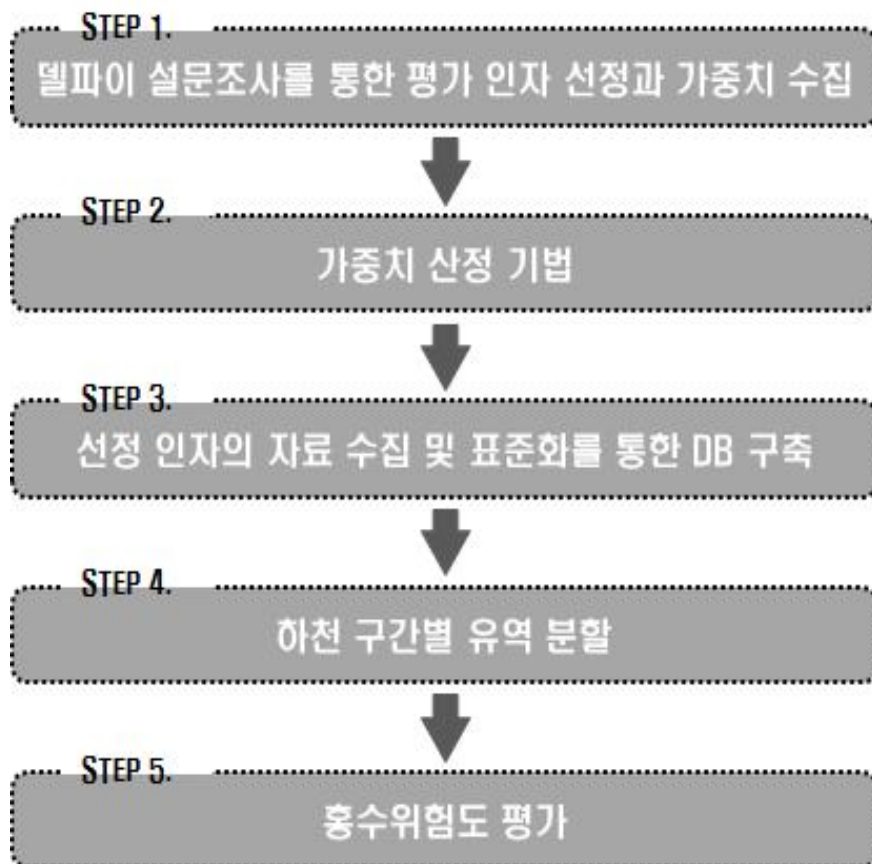
- (목표) 공간통계학 및 기후변화를 고려한 실제 침수 취약성 분석 시스템 및 방법을 개발하여, 공간 통계적 모델 활용 및 기후변화를 고려한 침수 취약성을 평가함
- (주요내용) 공간 통계 모델을 적용한 침수 취약성도의 다양한 효과를 실제 지역 공간 계획에서 고려 할 수 있는 구체적인 방법론과 이에 대한 적용
 - 평가 단위는 시군구이며, 최종자료(일 최대 강수량, 침수지역, 경사, 지질, 고도, 불투수면적, 홍수조절능력 등)를 도출하여 공간통계학 모델에 적용함
 - 통계분석을 통해 각 침수 발생과 관련된 항목간 비교 결과를 GIS기반의 공간 정보에서 표출함
 - 상향식 접근법 및 지역 기반의 지표들을 바탕으로 시스템에서 적응능력을 평가하는 방법으로 지역특성을 반영할 수 있으며, 분석지역에 대한 공간 통계학 모델을 적용한 침수 취약성도를 작성하는 것이 가능함



침수 취약성 분석 시스템의 구조도

□ 다기준 홍수위험도 평가방법(KR2012-0154589)

- (목표) 경제, 사회, 환경적 관점의 홍수 영향요소와 사회분야에서 발생하는 다양한 연관작용을 반영하고, 하천에 구간을 설정하여 이에 따른 홍수위험도를 평가함으로써 보다 객관적이고 신뢰도 높은 결과를 기대할 수 있는 다기준 홍수위험도 평가방법을 개발
- (주요내용) 경제와 사회 및 환경적 관점에서 홍수 영향 요소와 사회적 연관작용을 반영한 홍수위험도 평가방법을 제공
 - 평가 단위는 유역단위이며, 하천을 중심으로 구간을 설정하고 하천과 직간접으로 영향을 주고 받는 유역에 대하여 지점 또는 면 형태의 DB를 구축함
 - 홍수위험도는 가중합계법과 Fuzzy TOPSIS 방법 등을 Arc-GIS를 이용하여 평가함
 - 하천구간을 평가함으로서 하천관리 및 방어계획 등 치수 정책 수립에 지원 가능함



다기준 홍수위험도 평가방법의 절차도

□ 홍수 취약성 평가를 위한 퍼지 탑시스 접근방법(KR2012-0047992)

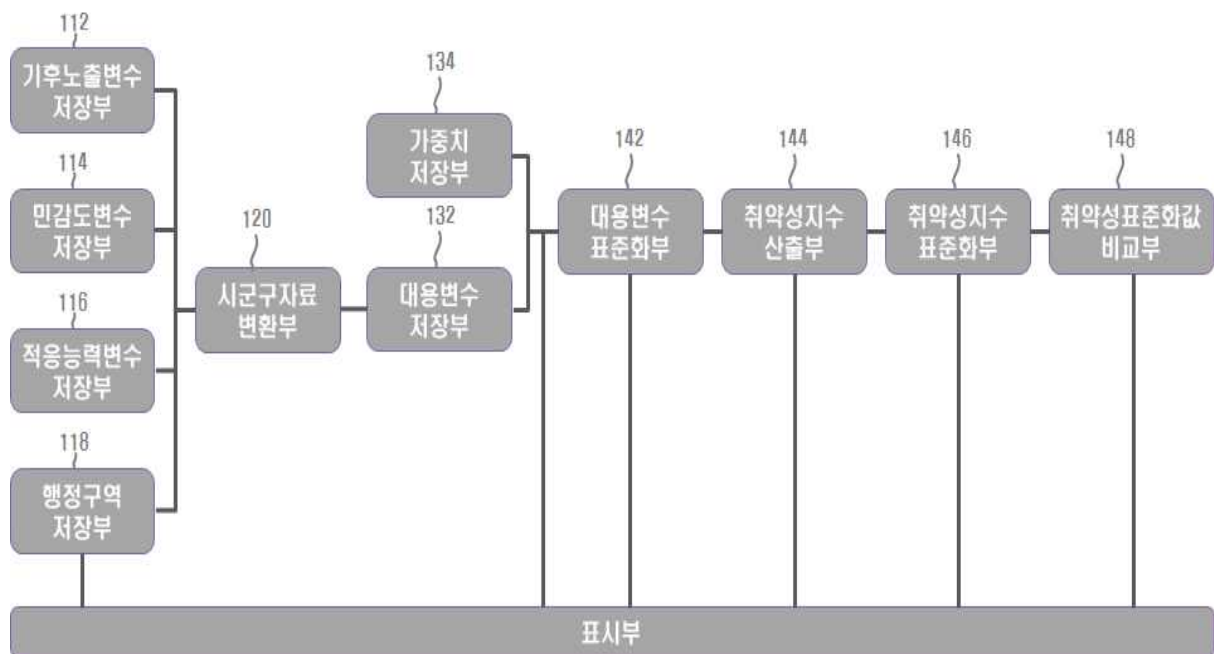
- (목표) 불확실성 요소들을 고려하여 홍수 취약성을 정량화하기 위해 퍼지(Fuzzy) 개념을 반영하여 지역별 취약성을 산정하면서 신뢰성 있는 방법 제시 및 홍수 취약성 평가를 위한 퍼지 탑시스 접근방법을 제공함
- (주요내용) 홍수 위험성 평가를 위한 퍼지 탑시스 접근방법으로 홍수 취약성을 정량화하기 위해 퍼지 개념을 반영한 지역별 취약성 산정
 - 평가단위는 시군구이며, 국립환경과학원(2012)에서 델파이조사를 통해 도출한 민감도 9개, 적응능력 7개, 기후노출 5개, 총 21개의 최종 대응변수를 사용함
 - 퍼지 탑시스 접근방법은 대응변수 및 가중치 결정, 대응변수 값의 히스토그램 확인 및 표준화(최대값, 최저값, 최빈값), 삼각퍼지수변환, 삼각퍼지수 표준화 작업 후 사용프로그램(Excel) 및 알고리즘을 코딩한 프로그램을 사용하여 홍수 취약성 평가를 수행함



퍼지 탑시스 접근방법 단계별 절차도

□ 기후변화 취약성 평가 시스템 및 그 방법(KR2012-0044730)

- (목표) 기후변화에 따른 영향을 나타내는 변수인 기후노출 변수를 활용한 취약성 평가 방법 및 시스템 개발
- (주요내용) 기후노출 변수를 보건, 산림, 생태계, 농업, 물관리, 해양/수산, 재해 부문별로 세분화하여 지표 표준화 작업을 통한 행정구역별 취약성도를 CCGIS의 지리정보와 함께 제공함
 - 평가단위는 시군구단위이며, 기후노출 변수, 민감도 변수, 적응능력 변수 또는 취약성 지수, 취약성 지수 표준화 값을 포함하여 취약성 평가를 수행함-
 - 지자체 적응대책 세부시행계획 수립을 지원하기 위해 CCGIS(Climat Change adaptation toolkit based on GIS : GIS기반 기후변화 취약성 평가도구)를 활용하여 전국을 대상으로 한 기후변화 취약성 평가를 실시함
 - 각 부문별(보건, 산림, 생태계, 농업, 물관리, 해양/수산, 재해)로 2차에 걸친 델파이 조사를 통하여 기후노출, 민감도, 적응능력 등 카테고리 내의 세부 대응변수에 대한 가중치를 도출하여 적용함



기후변화 취약성 평가 시스템 구조도

□ GIS기반 기후변화 영향평가 시스템 및 그 방법(KR2009-0085523)

- (목표) 기후 변화에 따른 적응 대책 마련 및 기후변화와 이에 따른 대기변화 및 사회/경제/지리정보를 수집 및 연계하여 각 부문별 전문가가 기후영향평가를 효율적으로 수행 할 수 있는 인터페이스 시스템 개발
- (주요내용) 선정된 기상 기후 및 대기환경 예보 모델 결과를 분야별 전문가들이나 일반 국민들이 쉽게 접근할 수 있도록 그래픽화 하기 위한 GIS 기반의 기후변화 예측결과와 영향평가 모델의 인터페이스 시스템을 구축함
 - 분석범위는 시군구 단위로 기후자료, 대기환경자료, 행정구역자료, 인문정보자료를 활용하여 기후변화에 따른 영향평가를 수행함
 - 격자자료와 시군구 자료 등의 DB를 직접 입력하고 대상 시군구에 대하여 격자별로 계산한 뒤 GIS기반의 CCGIS 시스템을 이용하여 분석결과를 제공함
 - 분석결과는 16개 부문에 대한 기후변화 영향인자 및 지역별 기후, 대기환경 예측정보 및 사회, 경제, 지리정보임

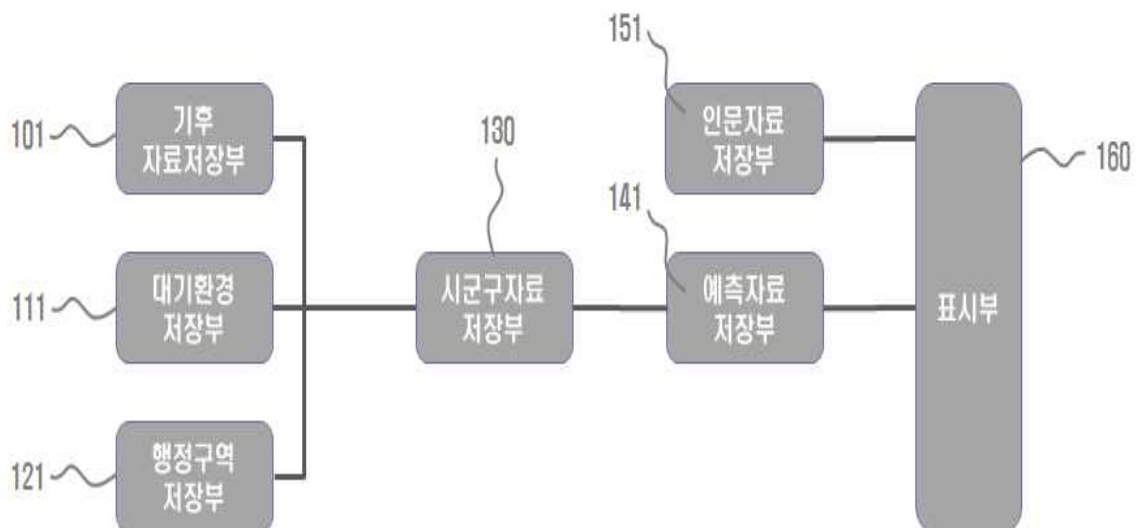


그림 1-21. 기후변화 영향평가 시스템 구조도

(나) 국외 기술 특허 동향

□ Method and Apparatus for Forecasting Earthquakes and Making Informed Risk Management Decisions

(지진 예측 및 위험 관리 결정을 위한 방법 및 도구) (US7280920B1)

- (목표) 사용자가 다양한 시간 및 공간 범위의 지진 예측 분석 결과를 확인할 수 있는 방법을 개발하여 적절한 지진 위험 관리 결정을 지원하는데 목적이 있음
- (주요내용) 과거 지진 DB를 자동으로 구축하여 지진 발생 가능성과 규모를 산정하고 표출하는 시스템 개발
 - 전 지구를 대상으로 분석이 가능하며, 평가단위는 도시임
 - 최근 40년간 지구에서 발생한 모든 지진을 과거 DB로 구축하고, 지속적으로 발생하는 지진 데이터는 자동으로 DB 구축
 - 지진파 속도, 조수, 유발요소 등의 인자를 활용한 지진 예측 시스템 모듈을 탑재함
 - 위치기반 공간정보자료를 이용하여 지진 피해를 예측하고 대피경로 등 대응기법을 제공함

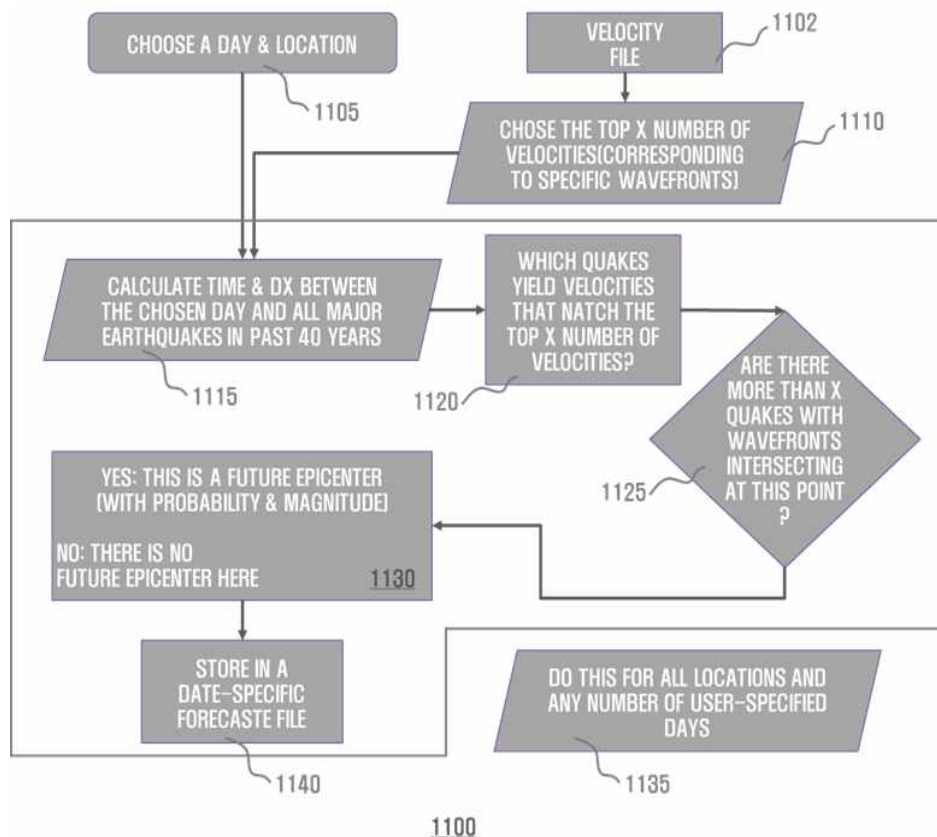


그림 1-22. 지진위험관리 결정 방법 구조도

□ Disaster Risk Assessment System, Disaster Risk Assessment Support Method, Disaster Risk Assessment Service Providing System, Disaster Risk Assessment Method, and Disaster Risk Assessment Service Providing Method (재해 위험 조사시스템, 재해 위험평가방법, 재해위험 평가서비스 제공시스템, 재해 위험평가 방법 및 서비스 제공방법) (US2004-0236676)

- (목표) 재해(지진)발생시 직접손실 및 경제적 손실에 대하여 시스템을 통해 평가결과 정보를 관리 및 제공함
- (주요내용) 재해발생시 예상되는 손실 총량에 따른 보험료 산정금액을 제공하며, 재해 위험평가방법을 통하여 사용자에게 재해정보 및 재해대책에 필요한 비용을 산정하여 제공함
 - 지진재해 발생 전후의 공간정보를 비교하여 격자의 점단위로 피해액을 산정하고 분석 단위는 지역(도시)단위까지 분석함
 - 기 구축된 물리적, 사회적, 경제적 손상, 손실 등의 지표를 이용하여 직접손실 및 경제적 손실을 평가함
 - 2D 시각화 모듈이 탑재되어 있어 셀 단위 수정이 가능하며 2D 지도를 표출함

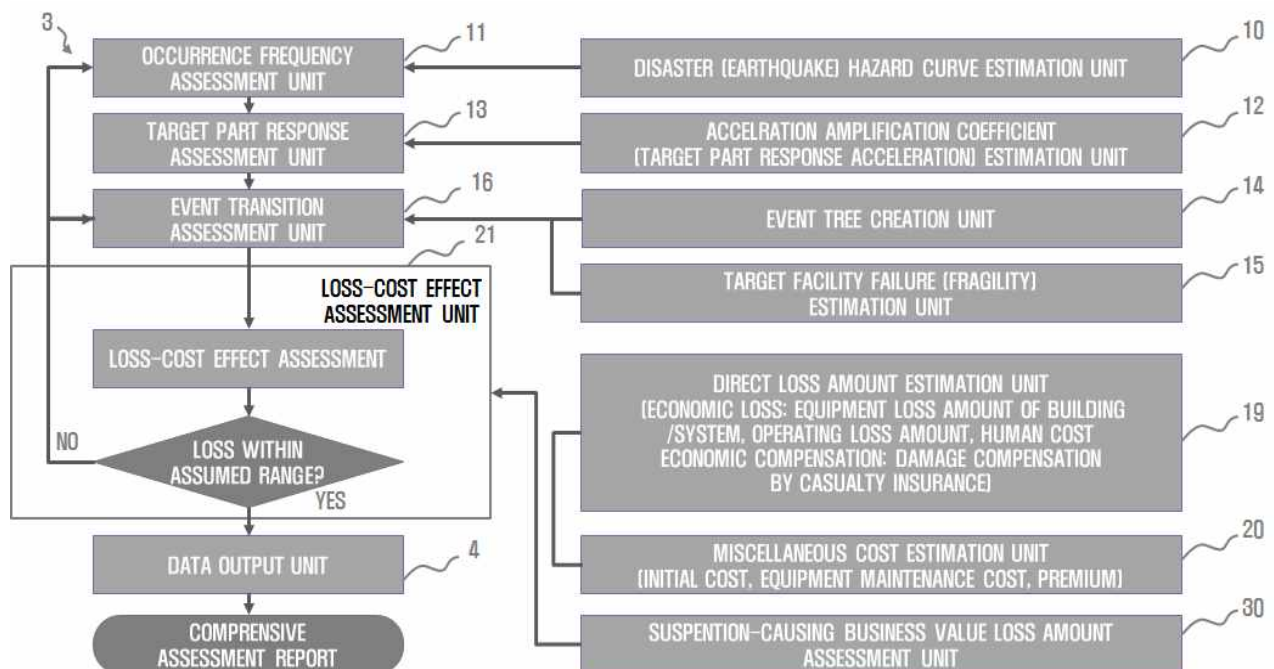


그림 1-23. 손실평가 시스템 구조도

□ Method and System for Generating a Flash Flood Risk Score

(돌발홍수 위험점수를 생성하기 위한 방법과 시스템) (US2015-0019262)

- (목표) 유역에 대한 홍수의 위험성을 예측하기 위한 시스템과 방법 구축
- (주요내용) 유역 수문 특성, 지표면 특성, 기상 특성 등 다양한 요인을 고려하여 지역에 대한 홍수의 위험을 예측함
 - 분석단위는 유역이며, 결과는 2D 모듈을 이용하여 표출됨
 - 속성위치(주소 지정), 공간위치(위도, 경도), 참조위치(좌표계)등의 기구축된 DB를 이용하여 공간 설정이 가능함
 - 홍수 위험점수 분석을 통한 투자 계량, 계산 적용 등 추정값 제공
 - 수문특성, 토지이용, 홍수위험도 등을 고려한 돌발홍수 위험점수 생성

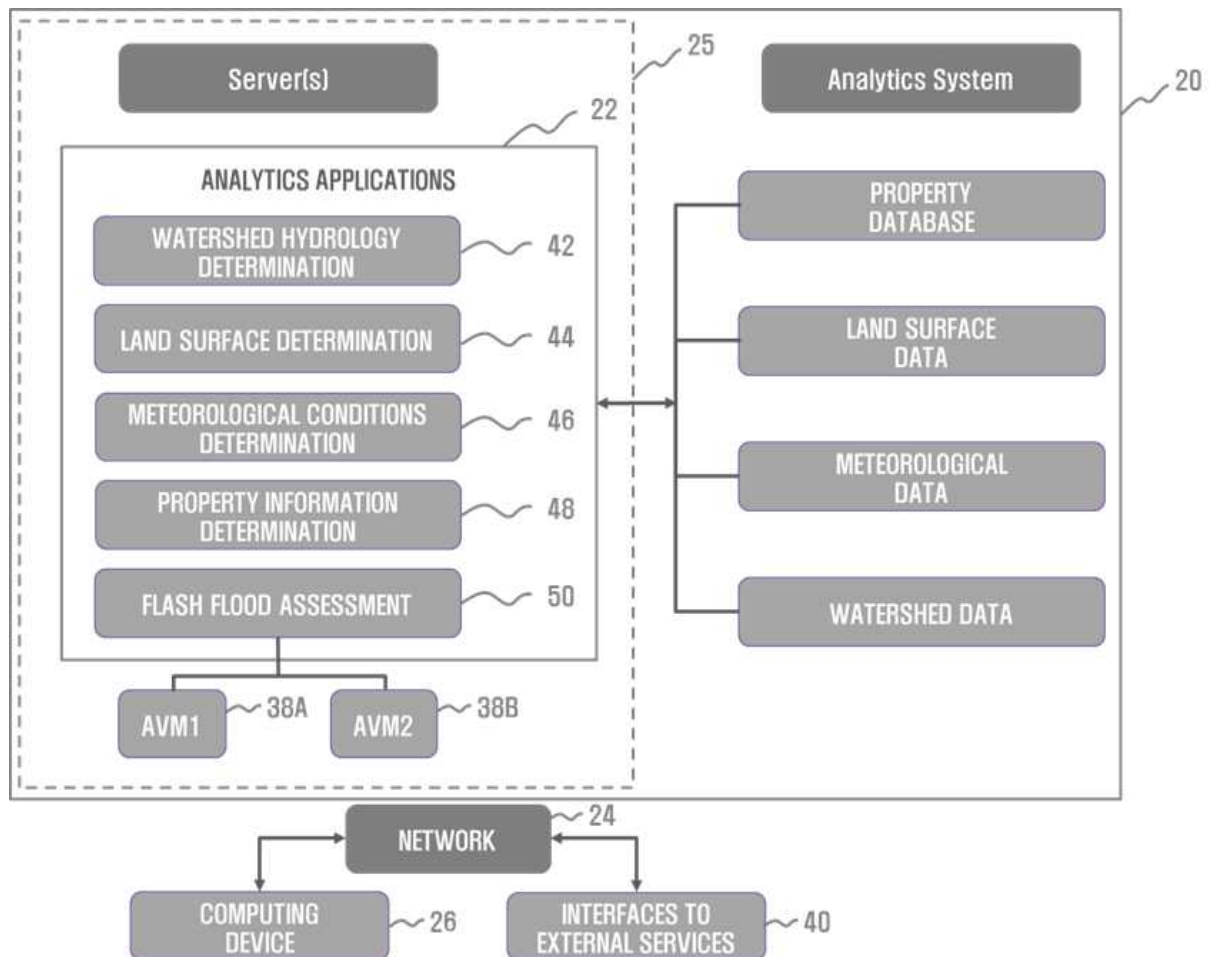


그림 1-24. 돌발홍수 위험성 예측 시스템 절차도

□ Systems and Methods for Generating Risk Assessments

(위험 평가 생성을 위한 시스템 및 방법) (US20140007244)

- (목표) 위험성평가를 위한 데이터 처리방법 및 시스템 개발
- (주요내용) 홍수, 지진, 토네이도와 같은 환경적인 위험과 테러, 무질서 등 사회적인 위험이 사회에 미치는 위험성을 평가하기 위한 방법 및 시스템 개발
 - 홍수, 지진, 토네이도 등의 환경적인 위험과 테러, 무질서 등 사회적인 위험에 대한 DB를 시스템에 탑재하며, 이 밖의 위험요소에 대한 DB는 직접 입력함
 - 분석 단위는 국가부터 마을까지이며, 사용자의 선택에 따라 결과가 표출됨

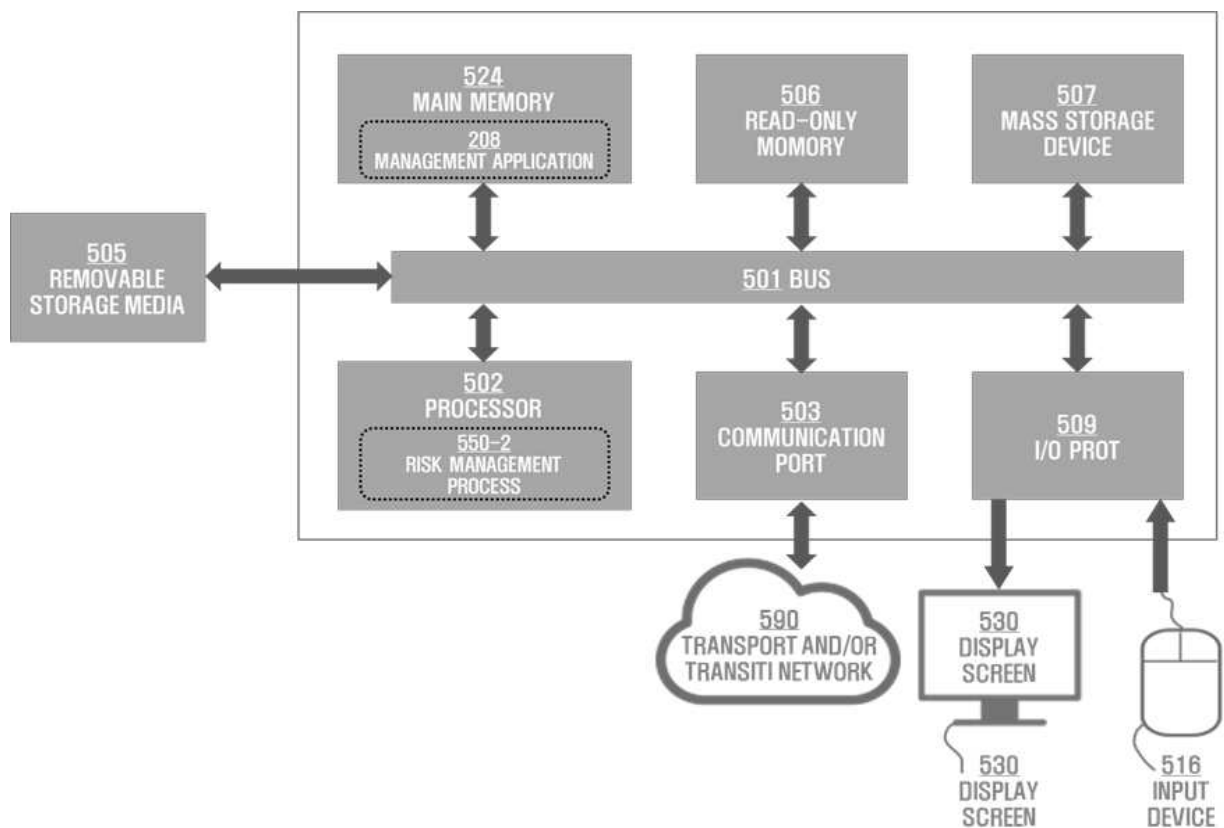


그림 1-25. 위험평가생성을 위한 시스템 구조도

□ Systems and Methods for Quantifying Flood Risk

(홍수위험을 정량화하기 위한 시스템 및 방법) (US20140229420)

- (목표) 홍수위험에 대한 정량화를 위해 지점의 위험 점수를 산정하고 위험구역 선정
- (주요내용) 미국연방비상관리국(FEMA)에서 제공하는 빈도별(100년, 500년) 홍수범람도와 DEM을 중첩하여 하천 지점별 홍수위험을 점수로 산정한 후 홍수에 대한 특성을 파악하여 위험구역을 선정
 - 분석 단위는 하천이며, 하천 지점의 속성정보(고도, 인접 지역 재산 등)를 통해 홍수위험에 대한 특성을 결정하고 이에 따른 홍수 위험 점수를 산정함
 - 분석결과는 미국내 자연재해로 인한 피해발생시 물리적 피해에 대한 구체적인 복원 및 복구 비용 정보를 공공기관 및 (재)보험회사에 제공함
 - 제공된 정보는 피해보상 및 자연재해 종합 정책을 수립하는데 활용함

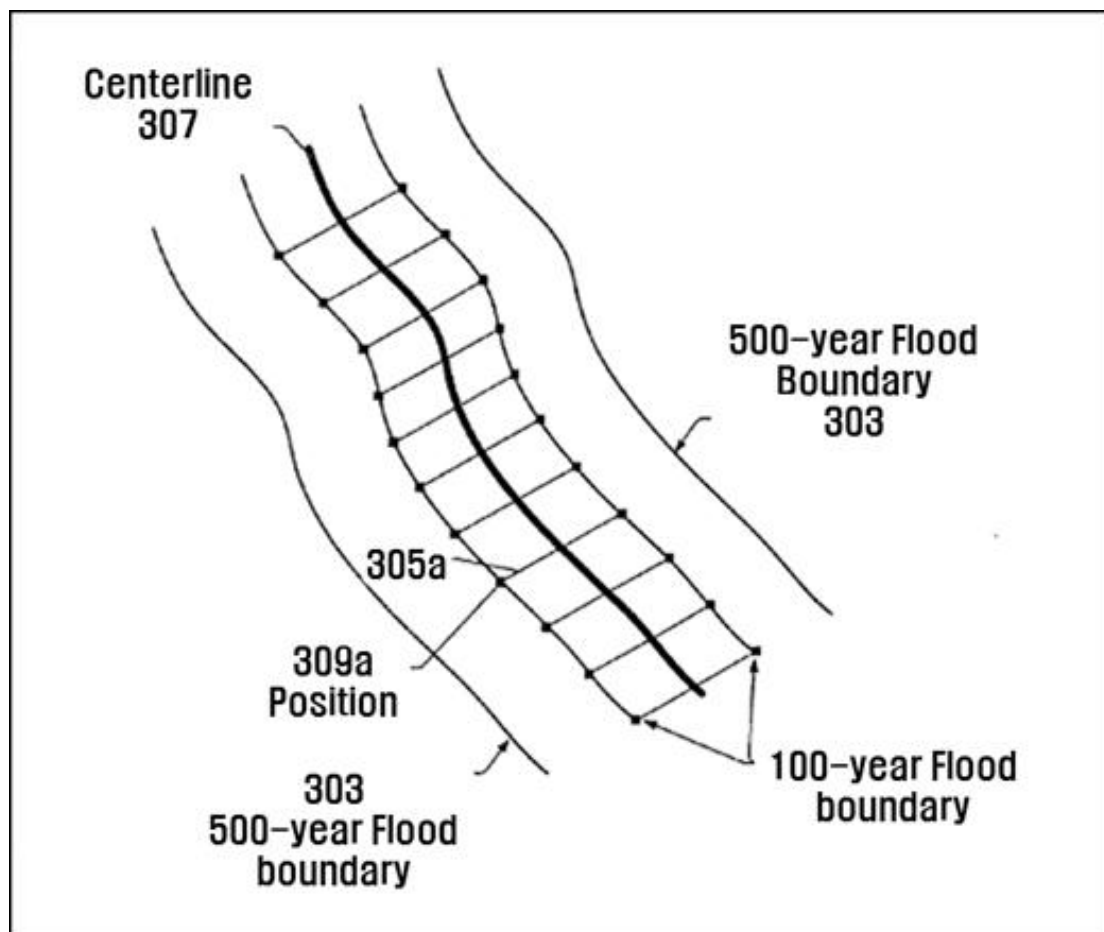


그림 1-26. 홍수위험 정량화 시스템의 대표도

□ **Assessing Scenario-Based Risks (시나리오 기반 위험 평가) (US2013/0325545)**

- (목표) 시나리오 기반 위험 평가방법 개발
- (주요내용) 시나리오기반 위험평가는 지진, 해일 등 자연재해와 집단 간의 충돌, 해킹 등 사회적 재난에 대한 시나리오를 생성하고 이를 기반으로 자연재해 및 사회적 재난이 사회에 미치는 위험을 평가함
 - DB의 입력범위는 해당 재해/재난의 발생확률, 재해/재난 발생 시 피해발생확률, 피해 경감대책의 경감율, 수복을 위한 경제적인 능력으로 구분됨
 - GUI를 통해 사용자가 재해/재난의 종류를 선택하여 입력할 수 있으며, 입력한 정보를 바탕으로 위험도가 평가됨
 - 시각화 모듈은 따로 구축되어 있지 않으며, 사회의 범주는 국가에서부터 마을단위까지로 사용자가 선택할 수 있음

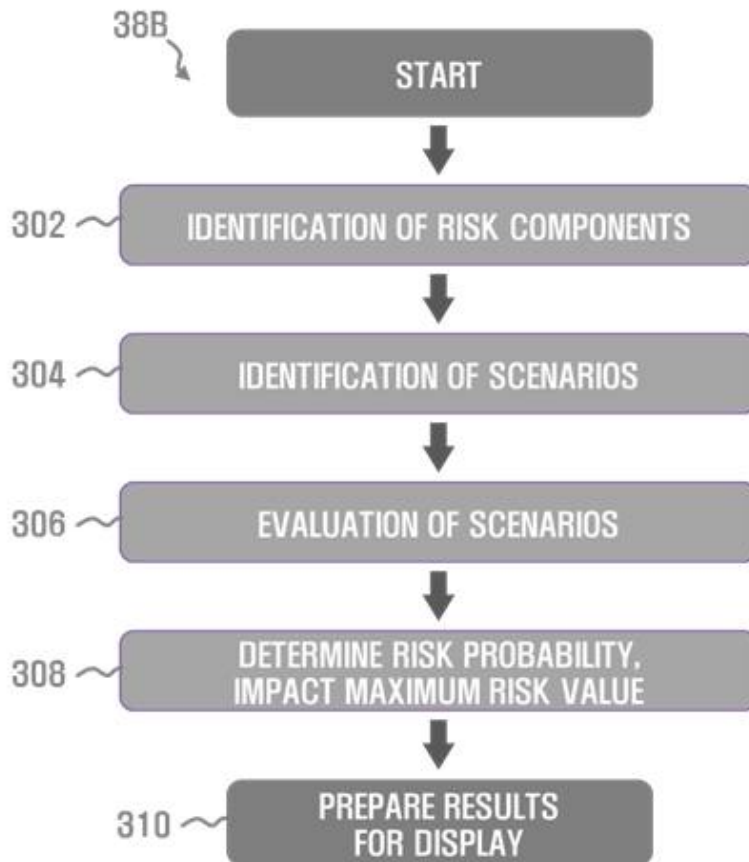


그림 1-27. 시나리오 기반 위험 평가 절차도

□ Systems and Methods for Flood Risk Assessment

(초과 위험 평가를 위한 시스템과 그 방법) (US007917292B1)

- (목표) 특정 지점에 대해 수위 곡선 및 통계분포를 활용하여 홍수 위험성을 평가하고 웹 서비스를 통해 결과물을 제공함
- (주요내용) 빈도에 따른 홍수 범람도에서 수위곡선을 산출하여 홍수 위험성 평가를 수행하며, 생된 DG를 관리할 수 있는 홍수 위험성 평가시스템을 개발함
 - 평가범위는 하천단위로 홍수위험성 평가를 수행하고 지리정보와 중첩을 통하여 웹서비스를 통하여 사용자에게 정보를 제공함
 - FEMA, 지자체, (재)보험회사 등으로부터 제공받은 특정 지점을 지오코드화하여 좌표계로 사용하며, 수위-빈도 곡선과 수위-피해곡선을 활용하여 해당 지점의 위험성을 평가함
 - 통계분포를 적용하여 특정 지역의 연평균 손실량을 산정하며, 사용자에게 홍수 위험성 평가 보고서를 제공함
 - FEMA Flood zone map, 수위-빈도곡선, 피해-빈도곡선, 연평균 피해, PML, 홍수 위험 평가 순위, 과거 재난에 대한 보고서를 작성하여 웹 서비스를 통해 제공함

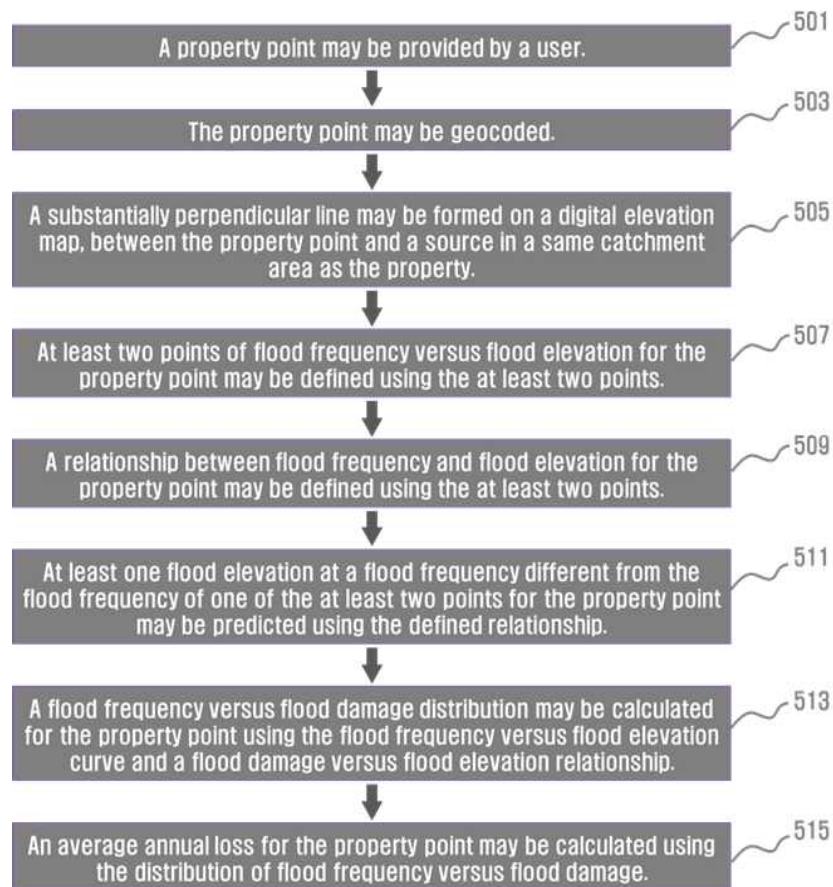


그림 1-28. 초과위험 평가를 위한 시스템 절차도

□ 국내외 기술 수준 비교

○ 「데이터 자동화 기술 및 플랫폼 분야」

- 데이터 표준화, 자동화 기술은 국내외 대부분 기술수준이 높지 않고 연구개발이 시작단계임
- 국내는 주로 GIS 기반의 플랫폼을 사용하고 평가결과를 평면적으로 가시화하며 데이터구축 자동화 기술은 미비한 상태임
- 지반 및 지진, 화산재해 관련기술은 3D로 평가결과를 가시화하며 DB 자동화 기술을 보유하고 있지만, 수재해 관련 기술은 전무한 상태임
- 국외는 개별기능(데이터구축 및 자동화, 의사결정기법 등)위주의 특허기술 다수

○ 「위험성 및 취약성 분야」

- 국외는 다양한 분야에서 위험성/취약성 평가기술이 개발되고 있으며, 우리나라 역시 최근 제도화로 인해 활발해 지고 있는 추세
- 국내는 위험성 및 취약성 평가의 단위를 유역별, 시군구 등 큰 공간단위로 분석이 이루어지고 있지만, 국외는 인구센서스 집계구의 작은 공간단위까지 분석함

○ 「의사결정기법 분야」

- 국외는 의사결정기법의 기술수준이 상당히 개발되어, 위험 및 취약 지역에 구조적, 비구조적인 대책 결정을 지원
- 국내는 국외에 비해 평가 또는 분석에만 그치고 의사결정 지원기술은 미흡하며, 일부 구조적 대책 중심으로 기술개발이 이루어짐

(3) 국내외 시장분석 및 사업화 전망

(가) 국내 시장분석

□ 수자원분야 투자 계획의 감소

○ 2014년도 수자원분야에 2조 3,830억원의 정부예산이 투자되었으며, 2018년도에는 1조 6,630억원이 투자될 예정임¹⁾

○ 정부의 2014년 이후 국내 수자원분야 투자는 연평균 8.6%비율로 지속적으로 감소할 전망이다

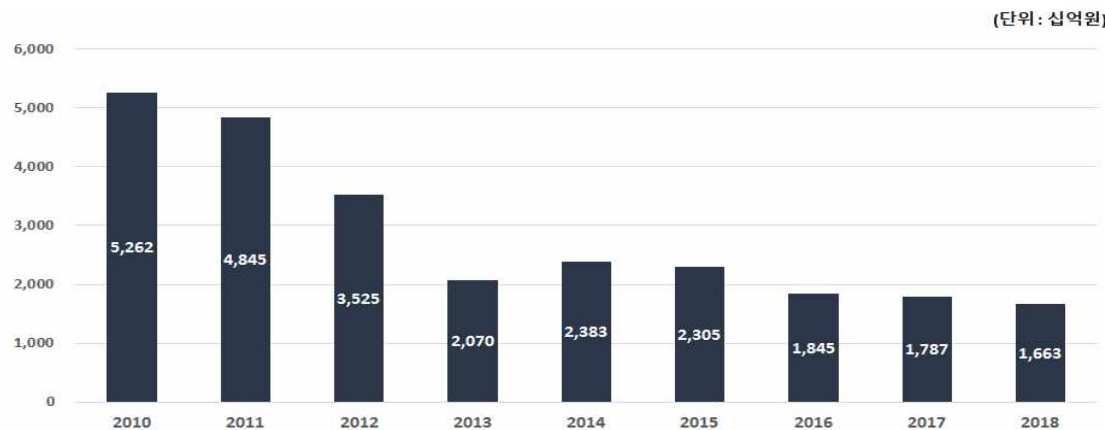


그림 1-29. 국내 수자원분야 투자계획

자료 : 2009~2018 국가재정운용계획, 기획재정부, 2015.

○ '최근 10년간(2004~2013)의 국내 평균 물 관련 재해 피해액을 분석한 결과, 물관련 재산 피해액은 2008년 698억원에서 2012년 10,718억원으로 증가하는 추세임²⁾

○ 국내 자연재해 대부분 피해는 호우, 태풍에 의한 홍수피해임

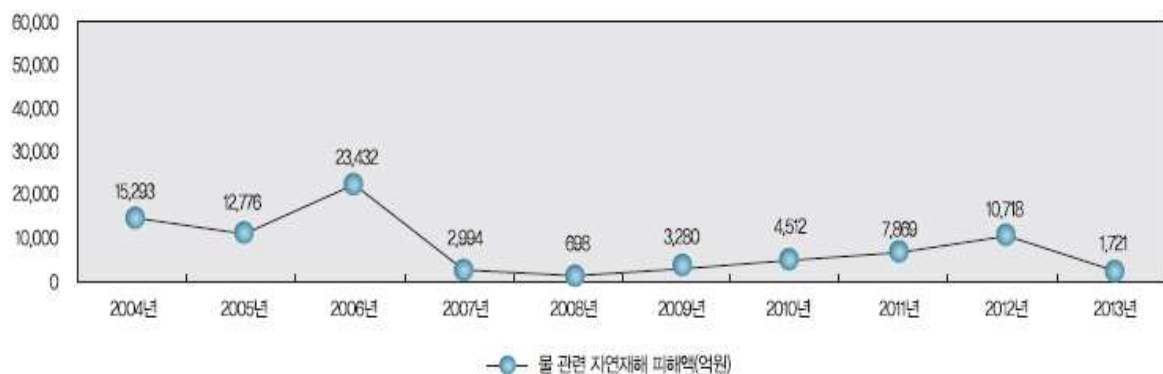


그림 1-30. 수재해 피해액 현황(2004~2013년)

자료 : 물과 미래-2015 세계 물의 날 자료집, 국토교통부·k-water, 2015

1) 2009~2018 국가재정운용계획, 기획재정부, 2015

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

표 1-11. 연도별 재해 피해액 규모

(단위 : 억원)

연도		태풍	호우	대설	강풍	풍랑	합계
2004	가	4,245	2,672	8,376	-	-	15,293
	나	3,416	2,150	6,739	-	-	12,305
2005	가	1,686	4,284	6,693	113	-	12,776
	나	1,385	3,520	5,500	93	-	10,498
2006	가	142	22,990	62	169	69	23,432
	나	118	19,063	52	140	57	19,430
2007	가	1,913	517	88	82	394	2,994
	나	1,609	435	74	69	331	2,518
2008	가	9	636	40	12	-	697
	나	9	581	36	11	-	637
2009	가	-	2,798	140	77	264	3,279
	나	-	2,549	128	70	241	2,988
2010	가	1,824	1,911	701	2	74	4,512
	나	1,725	1,808	663	2	70	4,268
2011	가	2,163	5,228	475	-	3	7,869
	나	2,183	5,276	480	-	3	7,942
2012	가	9,876	387	200	263	-	10,726
	나	10,037	384	204	267	-	10,892
2013	가	17	1,581	113	9	-	1,720
	나	17	1,581	113	9	-	1,720
합계	가	21,875	42,995	16,890	728	805	83,293
	나	20,498	37,347	13,989	662	703	73,199

* 가의 피해액은 2013년 환산가격기준임 / 나 의 피해액은 당해연도 가격 기준임

자료 : 소방방재청 중앙재난안전대책본부, 재해연보 2012, 2013

□ 취약성/위험성 평가 수요의 증가 및 시장성 확대

- 환경부('12.12)와 국토교통부('15.1)는 법 제정을 통해 지자체 의무사항으로 환경정책 및 도시계획 수립 시 취약성 평가를 실시하여 반영하도록 함
- (국토교통부) 도시계획수립 시 기초조사의 하나로 지자체 의무 기초조사 중 하나인 재해 취약성분석을 실시하여 도시계획수립·변경 과정에서 시 각 부문별 계획에 결과를 반영하여야 함
 - (법적근거) 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제 20조(도시·군기본계획 수립을 위한 기초조사 및 공청회), 제27조(도시·군관리계획의 입안을 위한 기초조사 등)
 - (수립주기) 도시군·기본계획, 도시군·관리계획 수립을 위한 기초조사 내용으로서 5년 주기로 실시
- (환경부) 기후변화 적응대책 세부시행계획 내 부문별·지역별 기후변화의 영향과 취약성 평가에 관한 사항을 포함하여 기후변화 적응대책을 수립하여야 함
 - (법적근거) 「저탄소 녹색성장 기본법」 제 48조(기후변화 영향평가 및 적응대책의 추진) <신설 2015. 1. 6.>
 - (수립주기) 기후변화 적응대책 세부시행계획 내 포함된 사항으로 5년 단위로 수립·시행
- 전체 지자체는 국토교통부 및 환경부의 취약성 평가 의무화에 따라 5년마다 취약성 평가를 실시하여야 하므로 취약성 평가 수요가 증가하고, 시장 규모가 확대됨
- 이에 따라 2008년부터 2015년까지 취약성 평가 용역은 2013년을 기점으로 용역건수와 계약금이 지속적으로 증가하는 경향임

표 1-12. 연도별 취약성 평가 관련 용역건수 및 계약금

구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
용역 건수	2	1	5	4	2	6	16	18
계약금 (천원)	94,148	164,560	364,690	1,182,294	685,000	521,028	1,083,689	1,471,517

자료 : 조달청(<http://www.g2b.go.kr>)



그림 1-31. 연도별 취약성 평가 관련 용역건수 및 계약금 추이

- 기후변화 적응대책의 수립 및 이행주체는 「공공기관의 운영에 관한 법률」에 의한 공공기관 및 「지방공기업법」의 지방공기업 중 기후변화 영향에 따른 피해가 클 것으로 예측되는 공공시설 등을 보유·관리하는 기관으로 공공기관 25개, 지방공기업 52개가 해당됨
- 각 지방자치단체 및 공공기관은 취약성 평가를 5년 주기로 의무 수행하여야 하므로 취약성 평가에 대한 수요는 지속적으로 증가할 전망이며, 시장 규모도 확대될 것으로 예상됨

표 1-13. 기후변화 적응대책 수립 대상기관

구분	합계	해당 공공기관
공공기관	25	-
전력시설 (발전소, 변전소 등)	7	한국전력공사, 한국중부발전, 한국서부발전, 한국남동발전, 한국동서발전, 한국남부발전, 한국수력원자력
유류·자원 관리시설 (석유·가스시설 등)	4	한국석유공사, 한국가스공사, 한국광물자원공사, 대한석탄공사
교통·도시기반시설 (도로, 철도, 항공, 항만 등)	9	인천국제공항공사, 한국공항공사, 부산항만공사, 인천항만공사, 울산항만공사, 여수광양항만공사, 한국도로공사, 한국철도공사, 한국철도시설공단
환경시설 (매립지, 하수처리장, 국립공원 등)	3	한국환경공단, 국립공원관리공단, 수도권매립지관리공사
용수공급시설 (저수지, 댐 등)	2	한국수자원공사, 한국농어촌공사
지방공기업	52	-
전력시설 (발전소, 변전소 등)	1	제주에너지공사
교통·도시기반시설 (도로, 철도 등)	30	서울메트로, 서울도시철도공사, 부산교통공사, 대구도시철도공사, 인천교통공사, 광주도시철도공사, 대전도시철도공사, 경기평택항만공사, 광역 도시개발공사 16개(SH, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 경기, 강원, 충북, 충남, 전북, 전남, 경북, 경남, 제주), 광역 시설공단 6개(서울, 부산, 대구, 인천, 대전, 울산)
환경시설 (하수처리장 등)	12	광역 환경공단 4개(부산, 대구, 인천, 광주), 광역 직영기업 8개(부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 세종, 제주)
상수도시설	9	광역 직영기업 9개(서울, 부산, 대구, 인천, 광주, 대전, 울산, 세종, 제주)

*회색배경은 2016년도 대책수립 1차 대상기관, 그 외는 2017년도 대책수립 2차 대상기관

자료 : 공공기관 기후변화 적응대책 수립지침 및 수립지원 연구, 한국환경정책·평가연구원(KEI), 2015

(나) 국외 시장분석

- 전세계적으로 1990년 이후 2012년까지 홍수, 태풍, 가뭄 등 수재해 관련 피해액은 약 1조 4,000억 달러 수준이며, 미주대륙에서 피해가 가장 큰 것으로 조사됨³⁾
 - 미주대륙의 수재해 관련 피해액은 1990~2012년간 약 7,000억 달러 수준으로 조사됨
 - 아시아대륙의 수재해 관련 피해액은 약 5,000억 달러, 유럽지역은 약 2,000억 달러로 조사됨

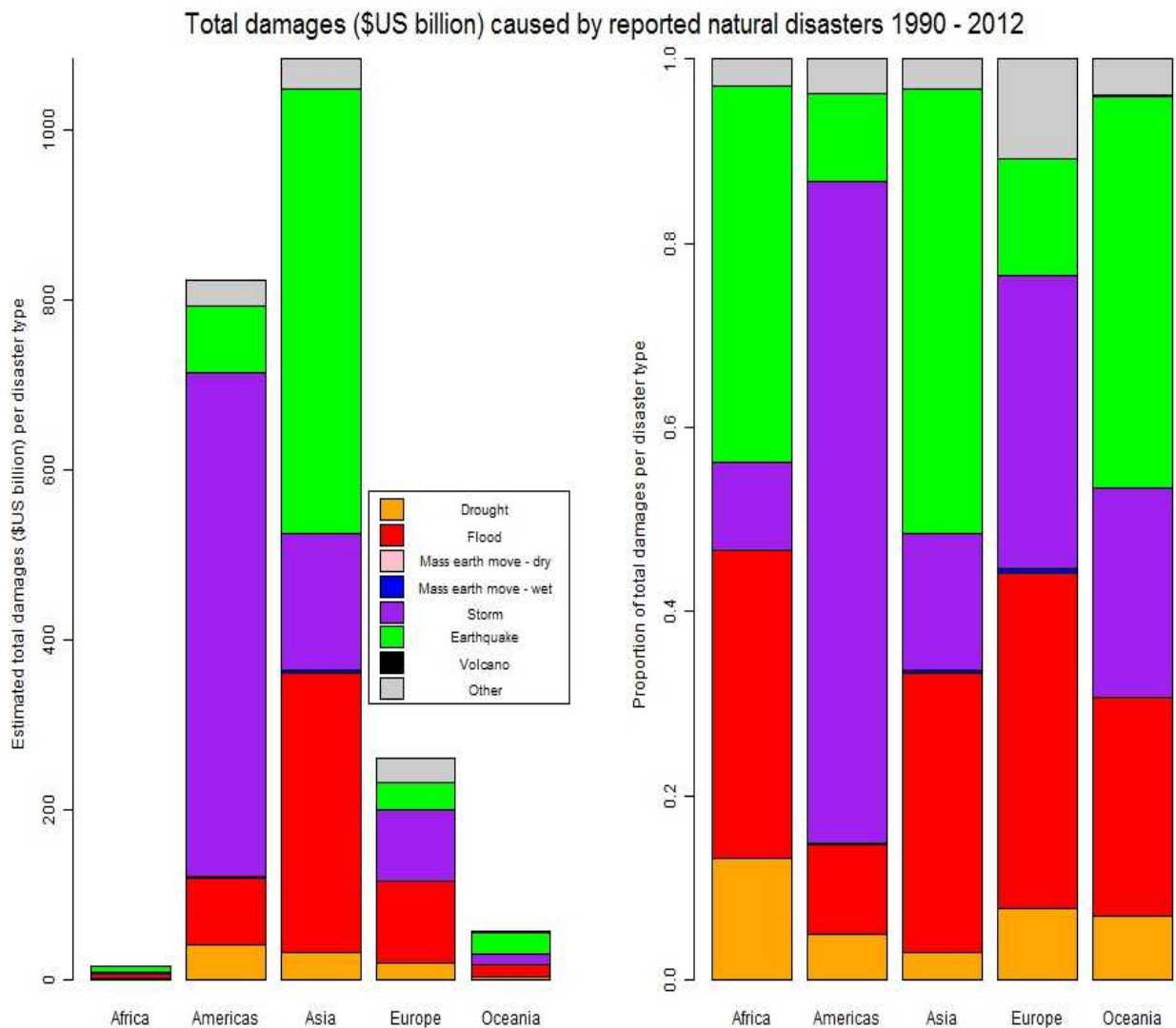


그림 1-32. 대륙별 수재해 관련 피해액

자료: EM-DAT The International Disaster Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters - CRED, 2013

3) EM-DAT The International Disaster Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters
- CRED, 2013

- 각 국가별로 홍수 범람 피해에 대응하고 추가적인 피해를 사전에 방지하기 위해 하천 정비 사업을 적극적으로 추진 중에 있음
- 대만은 중요하천 환경건립 프로젝트를 통해 2009년부터 2020년까지 대만 내 26개 하천을 중심으로 보강 공사를 실시 중에 있으며, 약 129억 달러를 투입할 계획임⁴⁾
 - 중요하천 환경건립 프로젝트를 통해 하천 재난정비 및 환경 개선을 추진하며, 이외에도 후산댐 공정 프로젝트, 댐 갱신 및 개선 프로젝트, 그먼댐 방류터널 공정프로젝트 등을 추진 중에 있음
- 일본은 2014년 대규모 침수가 발생하였던 도쿠시마현과 고치현에서의 추가 재해 방지를 위한 하천 재해 방지 사업과 재해 발생이 예측되는 사이타마현 등에서 치수 안전도를 향상시킬 수 있는 예방적 하천 정비 사업에 '15년 약 31억 달러를 투입할 예정임⁵⁾
- 알제리는 수도 알제에서 동쪽으로 약 320km 떨어진 콘스탄틴시를 지나는 루멜강과 부메르즈그강의 총 11.72km 구간에서 저수로를 정비하고 수변부지에 수변공원, 산책로, 자전거도로 등을 건설하는 하천정비 사업에 1억 9200만 달러 투자를 계획함⁶⁾
- 영국은 동남부 템즈강 하구유역 중심으로 Thames Estuary 2100 Project를 추진하여 홍수 및 해안 침식에 대응하기 위한 홍수방어시설과 방조제 건설 계획을 수립함⁷⁾
 - 프로젝트는 2001년부터 100년간 3단계의 사업이 추진되며 1단계(2010~2035년)에 약 17억 달러, 2단계(2035~2070년)에 약 20억 달러, 3단계(2070~2100년)에 약 68억~79억 달러를 투입할 계획임
- 인도네시아는 유역단위의 홍수 대책을 위해 찌타루무강 상류 지천에서의 홍수 대책 사업에 약 3,200만 달러와 세마랑 지역 홍수 대책 사업에 약 1억 3000만 달러 등 하천 분야의 대규모 정비 프로젝트를 추진 및 계획 중에 있음⁸⁾
- 그 외 세계 각국의 기후변화로 인한 홍수예방 및 관리 관련 발주현황은 다음과 같음

4) 대만, 70년 만의 가뭄에 수자원산업정책 변화 예고, globalwindow 홈페이지(<http://www.globalwindow.org/>), 2015.05.11

5) 平成 27 年度 水管理・国土保全局關係予算配分概要, 국토교통성, 平成 27 年 4 月

6) 대우건설, 알제리 콘스탄틴 하천정비사업 수주, 뉴스와이어, 2014.11.03

7) TE2100 plan, EA, 2012

8) 하천 분야 대규모 프로젝트(인도네시아의 사례), 일본 국토교통성 홈페이지(<http://www.mlit.go.jp/>), 2015.06.17. 검색

표 1-14. 해외 홍수예방 및 관리 관련 발주 현황

연도	발주금액 (억 US\$)	발주국
2008	7.33	멕시코, 도미니카 공화국, 세인트루시아, 방글라데시
2009	1.25	예멘, 페루
2010	7.34	인도, 중앙아프리카공화국, 볼리비아, 콜롬비아, 아르헨티나
2011	0.3	벨리즈, 베네수엘라
2012	111.9	베트남, 스리랑카, 태국
2013	5.04	토고, 중국, 카메룬, 브라질모잠비크, 트리니다드토바고
2014	3.24	브라질
합계	136.4	-

* '해외조달시장정보시스템' 내용을 기초로 작성, 홍수 예방, 물관리를 포함한 전체 발주금액

자료 : 도시 지하방수로 설계·시공·운영기술 개발계획, 국토교통부·국토교통과학기술진흥원, 2014

- '14~'18 국가재정운용계획에서는 '18년도 수자원분야 투자계획을 1조 6,630억원으로 수립
- GWI의 Global Water Market 2014에서 전망한 물산업(수자원)시장에 CAGR을 적용하여 외삽하면, '18년 국외 산업시장 규모는 6,890억 달러로 추정
- 국내 수자원분야 시장의 경우 '15년부터 향후 감소추세이나, 국외의 경우 지속적으로 증가할 것으로 전망

표 1-15. 국내외 수자원분야 사업 전망

(국내단위 : 억원, 국외단위 : 백만달러)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
국내	52,620	48,450	35,250	20,700	23,830	23,050	18,450	17,870	16,630
국외	488,700	510,200	532,600	556,000	580,400	605,800	632,400	660,100	689,000



그림 1-33. 국내외 수자원 사업화 전망

(4) 종합결론

○ 기존 국가 연구 개발사업 검토를 통한 시사점

- 데이터 유형에 따른 연계 자동화를 통해 DB 추출 및 표준화 기술개발과 데이터 표준화 및 정규화 기술이 탑재된 관리센터에서 제공되는 **일관된 품질유지 및 신뢰성 확보 필요**
- 공간 내 취약시설, 인구 등 다양한 정보를 V-World와 연계 표출 및 제공, 3D 기반 입체적 상대 및 절대적 위험성 평가 필요
- 공간단위별(집계구 등) 위험특성을 고려한 **구조적/비구조적 대책 제시** 및 도시계획 수립을 지원하기 위해 **공간단위별 도시계획 대책을 지원하기 위한 의사결정 지원기술 필요**

○ 국내외 기술 수준비교를 통한 시사점

- 국내 수재해 관련 DB 구축 자동화 기술이 미비하며, **평가결과의 가시화 향상 및 데이터 품질관리**를 위한 데이터 자동화 기술 필요
- 위험성/취약성 평가의 **정확도 향상과 활용성 제고**를 위하여 **인구센서스 집계구의 작은 공간단위까지의 분석 필요**
- 구조적 대책 중심의 기술에서 **비구조적대책을 함께 고려한** 취약지역에 대책수립의 **의사결정 지원 필요**

○ 국내외 시장분석을 통한 시사점

- 기술여건 변화에 따른 V-world 기반 3D 시장 확대와 **공공데이터의 활용을 통한** 기술개발이 필요
- 유료 SW 활용에 따른 Open-Source 기반 SW 개발이 저조하며, 활용성과 실용성의 증대를 위해서는 **Open-Source를 기반으로 한 개발 필요**
- 수재해 피해 증가에 따른 **예방의 필요성이 증가되고** 있으며, 예방 대책을 지원하기 위한 **의사결정 지원 필요**

□ SWOT분석을 통한 시사점

- (Strength, 강점) 기술여건 변화에 따라 V-world 기반 3D 시장의 확대 및 재해분야 유망 기업 선정으로 인해 공공데이터 활용 가능
 - V-world 기반 3D 시장의 확대로 표출기능의 개발 가능
 - Open-GIS 기반 기술을 활용으로 접근성 확대
 - 국민안전처 ‘공공데이터 활용 예비유망기업 : 재난안전부문’선정
- (Weakness, 약점) Open-source 기반 SW개발 투자가 저조, 데이터 구축 기술이 대부분 DB 표준화에 집중됨
 - 유료 License SW의 대중적 활용에 따른 Open-source 기반 SW개발 투자 저조
 - 기존 데이터 구축 기술은 DB 표준화에 집중되어 있어 DB 구축 자동화 기술 미흡
- (Opportunities, 기회) 수재해 피해 증가에 따른 사전 예방의 필요성 증대 및 정책수립에 따른 수요 증가
 - 수재해 피해 2008년 698억 원에서 2012년 10,718억 원으로 증가함에 따라 사전 예방의 필요성 증대
 - 국토교통부 ‘도시 기후변화 재해취약성분석’, 환경부 ‘기후변화 적응대책 세부시행계획’ 수립 의무화로 위험성 평가의 수요 증가 및 관련 시장의 확대
- (Threats, 위협) 국내 수자원 분야 시장 축소 및 사후 복구 위주 업무 형태
 - 국외의 수재해 방재 사업 적극 추진과 대비하여 국내 2014년 이후 수자원(수재해) 분야 투자 지속적 감소 전망으로 시장 축소
 - 예방(Planning)/대비 업무보다는 재해발생 사후 복구 위주의 업무 형태로 사전 예방적 대비 미흡



그림 1-34. 사업화기술의 SWOT 분석

다. 연구개발과제의 필요성

(1) 현재 및 최종 기술 수준

□ 현재 보유기술 수준

- 건설교통 R&D 기술단계별 실용화 추진전략 수립에 관한 연구 최종보고서(2012, 국토해양부)를 참고하여 보유 기술(지아이에스 기반의 홍수방어 시스템 및 그 방법)의 수준을 분석한 결과 TRL 6으로 분석됨

- 국토교통 R&D 유형별 기술성숙도(Technology Readiness Level,TRL) 정의

국가R&D사업 조사·분석 (국가과학기술위원회)		국토교통 R&D 사업			
단계	정의 (OECD)	TRL 단계		단계별 정의	
기초 연구	특수한 응용 또는 사업을 직접적 목표로 하지 않고, 자연현상 및 관찰 가능한 사물에 대한 새로운 지식을 획득하기 위하여 최초로 행해지는 이론적 또는 실험적 연 구	기초 연구	1	【기초실험】 기본원리발견	• 기초이론 정립 단계
			2	【개념정립】 기술개념과 적용분야의 확립	• 기술개발 개념 정립 및 아이디어에 대한 특허 출원 단계
응용 연구	기초연구의 결과 얻어진 지식 을 이용하여 주로 실용적인 목적과 목표 아래 새로운 과 학적 지식을 획득하기 위한 독창적인 연구	실험	3	【기본성능검증】 분석과 실험을 통한 기술개념 검증	• 실험실 환경에서 실험 또는 전산 시뮬레이션을 통해 기본 성능이 검증될 수 있는 단계 • 개발하려는 부품 또는 시스템의 기본 설계도면을 확보하 는 단계 등
			4	【부품/시스템 성능검증】 연구실 환경에서의 Working Model 개발	• 시험샘플을 제작하여 핵심성능에 대한 평가가 완료된 단계 • 3단계에서 도출된 다양한 결과 중에서 최적의 결과를 선택 하는 단계 • 컴퓨터 모사가 가능한 경우 최적화를 완료하는 단계
개발 연구	기초·응용연구 및 실제경험으 로부터 얻어진 지식을 이용하 여 새로운 제품 및 장치를 생산하 거나 이미 생산 또는 설치된 것 을 실질적으로 개선하기 위한 체계적인 연구	시 제 품	5	【장치/시스템 시제품 제작】 유사 환경에서의 Working Model 검증	• 확정된 공법/재료/시스템의 실험실 시제품 제작 및 성능 평가가 완료된 단계 • 개발 대상의 생산을 고려하여 설계하나 실제 제작한 시제 품 샘플은 1~수개 미만인 단계 • 경제성을 고려하지 않고 기술의 핵심성능으로만 볼 때, 실제로 판매가 될 수 있는 정도로 목표 성능을 달성한 단계
			6	【시제품 성능평가】 유사 환경에서의 프로토타입 개발	• 파일럿 규모(복수 개 ~ 양산규모의 1/10 정도)의 시제품 제작 및 평가가 완료된 단계 • 파일럿 규모 생산품에 대해 생산량, 생산용량, 생산수율, 불량률 등 제시 • 파일럿 생산을 위한 대규모 투자가 동반되는 단계 • 생산기업이 수요기업 적용환경에 유사하게 자체 현장 테스트를 실시하여 목표성능을 만족시킨 단계 • 성능평가 결과에 대해 가능하면 공인인증 기관의 성적서 확보
		실 용 화	7	【시제품 신뢰성평가】 실제 환경에서 시제품 데모	• 실제 환경에서 성능 검증이 이루어지는 단계 • 장치 및 재료개발의 경우 수요업체에서 직접 파일럿 시제 품을 현장 평가성능뿐만 아니라 신뢰성에 대해서도 평가 • 가능하면 KOLAS 인증기관 등의 신뢰성 평가 결과 제출 등
			8	【시제품 인증】 상용제품 시험평가 및 신뢰성 검증	• 표준화 및 인허가 취득 단계
-	실용화/기술이전사업	양산	9	【사업화】 상용제품생산	• 본격적인 양산 및 사업화 단계

□ 최종 기술 수준

구분		표기	계획	단계별 설명	
기초연구 단계	TRL 1	□		TRL 1	이론적 연구단계
	TRL 2	□		TRL 2	기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	□		TRL 3	실험적 증명 단계
	TRL 4	□		TRL 4	실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	□		TRL 5	유사환경 시험 단계
	TRL 6	■	2016년 현재	TRL 6	유사환경 기술시험 단계
실용화 단계	TRL 7	▣	1단계 2016 ~ 2018년	TRL 7	실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	▣	2단계 2018 ~ 2020년	TRL 8	시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	▣	3단계 2020 ~ 2022년	TRL 9	현장적용/사업화 단계

(2) 추가 연구개발 필요성

고품질 서비스 및 안정적 사업수행을 위한

“ 추가 연구개발 필요성 ”

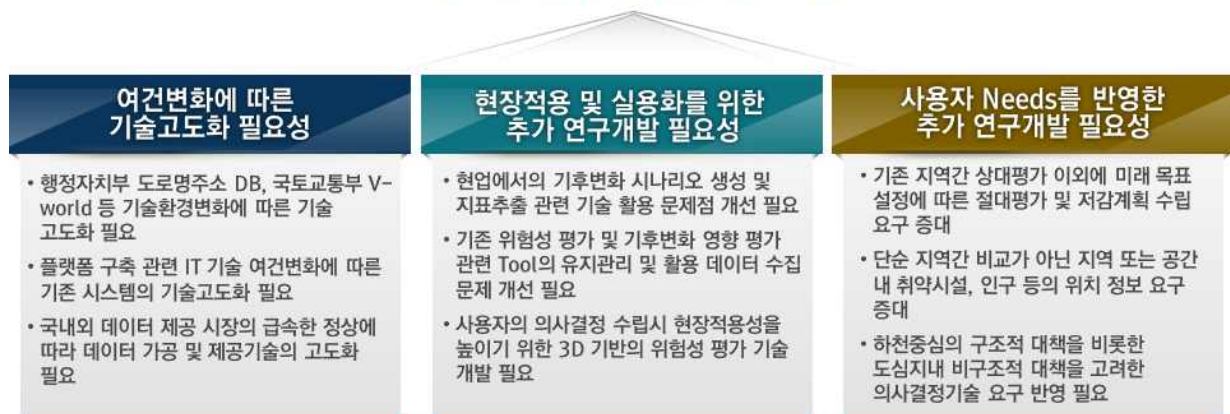


그림 2-35 추가 연구개발의 필요성

□ 여건변화에 따른 기술고도화 필요성

- 행정자치부에서 제공하는 도로명 주소 데이터, 국토교통부에서 지원하는 V-World 등 기존에는 사용할 수 없던 데이터들과 적용 가능한 기술들이 개발되고 있는 환경변화에 맞춰 기존 보유기술의 고도화가 필요함
- 기존 소프트웨어 중심의 IT 기술이 최근 소프트웨어와 Web을 연계하는 IT 기술로써 발전되는 추세로 인해 플랫폼 구축이 가능해짐에 따라, 기존 시스템을 발전시키기 위한 기술고도화가 필요함
- 미래 신기술로 대두되고 있는 Big Data의 중요성으로 인하여 국내외 데이터 제공 관련 시장의 급속한 성장에 있으며, 이러한 시장여건 변화에 맞춰 시장경쟁력을 확보하기 위한 데이터 가공 및 제공기술의 고도화 필요

□ 현장 적용 및 실용화를 위한 추가연구개발 필요성

- 현업에서는 기후변화 시나리오 생성 및 지표 추출과정에서 전문성이 결여되는 경우 위험성 평가 등의 사용목적에 활용이 쉽지않은 문제가 있어 이에 대한 개선이 필요함
- 기존 위험성 평가 및 기후변화 영향 평가와 관련되어 사용되고 있는 각 종 Tool들의 경우에는, 프로그램의 유지관리 및 분석에 활용되는 데이터 수집의 어려움을 호소하고 있어 추가연구개발을 통해 현장 적용성 개선이 필요함
- 지자체, 설계사 등 실무에서 위험성 평가를 고려한 재해 대응 의사결정시 기존 평면적 평가 결과는 실제 도시현장에 적용하기 어려운 문제가 야기되고 있음. 따라서 현장적용성을 높이기 위해서는 입체적 평가 기술이 필요함

□ 사용자 needs를 반영한 추가연구개발 필요성

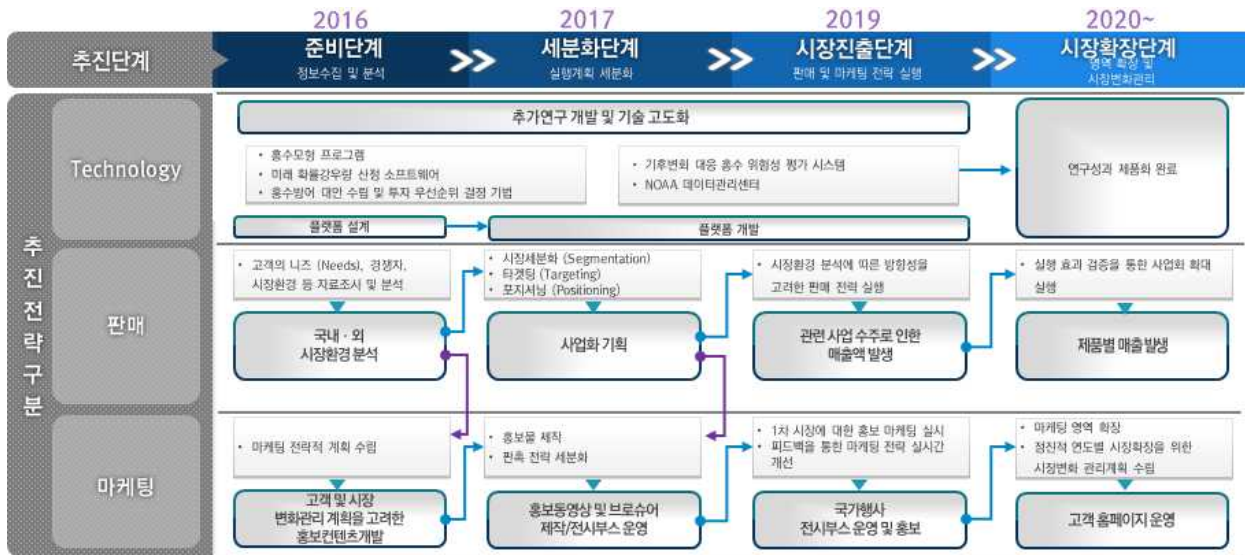
- 기존 지역간 상대평가 이외에 기후변화 시나리오에 기반한 미래 목표 설정에 따른 절대평가 및 저감계획 수립 요구가 증대함
- 기존 위험성 평가에서 수행해온 단순 지역간 비교 결과는 의사결정 활용에 있어 제약사항이 따르는 한계가 있어 실제 지역 또는 공간 내 취약시설, 인구 등의 위치 정보에 대한 파악이 가능한 기술개발의 요구가 증대함
- 기후변화의 영향에 의해 발생하는 수재해로 인하여 도시내 인명 및 재산 피해가 증가하고 있는 추세에 따라 설계변경 등에 있어 한계를 지니는 구조적 대책뿐만 아니라 도심지내 비구조적 대책을 고려한 의사결정기술 개발에 대한 요구가 증대함

2. 연구수행내용 및 성과

가. 연구개발 추진전략 · 방법 및 추진체계

(1) 연구개발 추진전략

○ 연구개발에 따른 각 기술의 제품화를 통해 판매 및 마케팅 전략을 수립함



(2) 연구개발 추진체계

연구개발과제	
과제명	ICT기반 기후변화 대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼
주관 연구기관	노아에스앤씨(주)
공동 연구기관	한국건설기술연구원
공동 연구기관	강원대학교 산학협력단
공동 연구기관	부경대학교 산학협력단
주관연구책임자	양동민
공동연구책임자	강성규
공동연구책임자	김병식
공동연구책임자	김상단
담당연구개발내용	
과제명	홍수위험성 평가를 위한 데이터 자동화 기술 및 통합플랫폼 개발
과제명	홍수위험도기반 대응기술 적용을 위한 의사결정 기법 개발
과제명	기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가 기법 개발
과제명	기후변화 시나리오 공간상세화 및 생성기술 개발

나. 연구수행 내용 및 결과

(1) 연구범위 및 연구수행방법

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
1차 연도 (2016)	홍수위험성 평가를 위한 데이터 자동화 기술 및 통합 플랫폼 개발	홍수위험성 분석인자 데이터 조사 및 구축	데이터 형태조사 및 유형화	홍수위험성 분석인자 데이터 조사 및 홍수위험성 지표 시범구축
			데이터연계(메타데이터) 자동화 방안 수립	구축된 데이터 형태분석을 통한 자동화 방안 수립
		통합 플랫폼 설계	데이터 유형별 자동화연계(메타데이터)를 위한 추출기능 개발	데이터관리센터 홈페이지를 통해 사용자 PC와 데이터관리센터 서버간 자료 제공 체계에 대해 설계
		국내외 시장조사 분석 및 홍보컨텐츠 개발	국내외 시장조사 및 목표 고객 세분화 사업화를 위한 홍보 프로그램(컨텐츠) 개발	노아 데이터관리센터(NODD) 홍보동영상 제작
		데이터연계(메타데이터) 자동화 및 표준화 모듈 시범개발	홍수위험성 지표 자동생성기능 개발 데이터 자동화/표준화 모듈 시범개발	강우자료를 활용한 데이터 자동화 및 표준화 모듈 시범개발
	홍수위험도 기반 대응기술 적용을 위한 의사결정 기법 개발	지역특성을 고려한 홍수피해 최소화 의사결정 방법론 개발	물 관련 재해 대응을 위한 의사결정 방법론 사례 조사	AHP, 순서우위, 평점모형, MAUT 방법론 및 사례조사
			홍수피해 최소화를 위한 의사결정 방법론 정립 및 개발	시스템 구현 조건 및 사용자 환경에 따라 순서우위에 의한 의사결정방법론으로 결정
			지역 특성을 고려한 예방 차원의 홍수 대응 방안 수립	구조적, 비구조적 대책 및 도시계획적 대책 수립
			의사결정기법 적용 프로세스 정립 및 가이드라인 작성	가이드라인 작성완료 (별도제출)
	기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가 기법 개발	격자기반의 홍수범람 기술 조사	국내외 홍수범람 연구 사례 조사	국내외 홍수위험평가 기술 및 홍수범람모의 기술 조사
		인벤토리를 반영한 홍수범람모의 기술개발	S-P-R 기법을 이용한 홍수범람 모의 기술 개발	S-P-R기법을 적용한 SIMOD모형 개발
		홍수위험성 지표 개발	GIS기반의 지역적 특성을 고려할 수 있는 홍수 위험성지표를 개발	인벤토리를 고려한 홍수위험성 평가를 위한 지표 산정 방안 제시

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
	기후변화 시나리오 공간상세화 및 생성기술 개발	미래 극한강우 시나리오 생산방법 정립 및 부산지역 시범 적용	미래 기후변화 시나리오 수집 및 정리	기상청 RCM 기준 RCP 8.5 시나리오 수집 및 정리
			부산지역 해당 자료 추출 및 bias-correction 수행	부산지역 미래 일 강수량 자료 획득
			Scale-invariance 기법을 적용한 미래 극한강우 시나리오 생산방법 정립 및 부산지역 시범적용	부산지역 미래 강우강도-지속시간-재 현기간 곡선 생산 (지속시간 1-24시간, 재현기간 10-200년 적용) 정립된 방법의 과학적 검증을 위한 학술지 논문 1편 게재

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
2차 연도 (2017)	홍수위험성 평가를 위한 데이터 자동화 기술 및 통합 플랫폼 개발	통합플랫폼 개발 및 시장적용 실행전략 수립	통합플랫폼 개발	국토부 재해취약성 분석 제도 기반의 기후변화 대응 홍수위험성 평가 시스템 시제품 개발 및 테스트 지역(공주시) 적용 개발된 홍수 취약성 분석 자동화 시스템 명칭으로 소프트웨어 등록 및 특허 출원
			시장적용 실행전략 수립	홍보, 교류, 사업화 기획으로 구분되는 실행전략을 수립 제품의 홍보를 위해 국내 최대규모의 안전산업분야 종합전시회에 연구성과 전시 데이터 표준화 기술 관련 공인인증기관인 한국건설기술연구원 국가건설기준센터와 교류협력 협정서 체결 사업화 기획을 통한 유사 국가연구용역과제 수주 달성

홍수위험도 기반 대응기술 적용을 위한 의사결정 기법 개발	의사결정기법 시범적용 및 평가	의사결정기법 시범적용을 위한 대상지역 여건 분석	대상지역(부산광역시)을 선정하고 최소분석 가능한 자료의 조사 및 평가를 통해 읍면동 단위로 시범적용 대상 결정
		홍수피해 사전대응을 위한 의사결정기법 시범적용	피해요인별 피해현황 조사 및 평가기준 마련/ 행정구역별 복구사업을 대안으로 의사결정기법 시범적용 완료
		의사결정기법 시범적용에 따른 피해예방 효과 분석	피해예방효과는 집중호우로 인한 홍수피해액을 직접 조사하여 분석 B/C는 1을 넘지 않으나 중복 발생을 고려하게 되면 경제적 효과도 충분할 것으로 예측
		의사결정기법 문제점 및 개선방안 도출	경제성 분석이 필수적으로 필요할 것임 편익산정 방법론 조사 완료 차년도 대안별 비용에 대한 고려방법 연구 필요
기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가 기법 개발	국내외 홍수 위험성 평가 및 격자기반의 홍수범람 모의기술 조사 인벤토리를 반영한 홍수범람 모의기술 개발 홍수위험성 지표 자동생성 기능 개발	시나리오기반 홍수위험성 평가지표 생성기술 개발 기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가기술 개발 침수예상지도 연계를 통한 홍수위험성 평가기술 개발	시나리오기반 홍수위험성 평가모형 개발 기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가기술 개발
기후변화 시나리오 공간상세화 및 생성기술 개발	미래 극한강우 시나리오 생산방법 정립 및 전국 기상청 60개 지점 확대적용	미래 기후변화 시나리오 수집 및 정리	기상청 RCM 기준 RCP 8.5 시나리오 수집 및 정리
		전국 60개 지점 해당 자료 추출 및 bias-correction 수행	전국 60개 지점 미래 일강수량 자료 획득
		1차년도에 정립된 Scale-invariance 기법을 적용한 극한강우 시나리오 생산방법의 적용을 통한 전국 기상청 60개 지점 미래 극한강우 시나리오 생산(RCP8.5)	전국 기상청 60개 지점 강우강도-지속시간-재현 기간 곡선생산 및 미래 확률강우량 산정 소프트웨어 개발, 학술지 논문 1편 게재 및 학술발표대회 2편

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
3차 연도 (2018)	홍수위험성 평가를 위한 DB 자동화 기술 및 통합플랫폼 개발	홍수위험성 평가 및 의사결정 통합 플랫폼 개발 및 실증 적용 통합 플랫폼 사업화를 위한 비즈니스 모델(BM) 수립 및 마케팅 실시	Open Data API 적용 및 표출 등 플랫폼 고도화 부산지역(Smart City) 홍수위험성 평가 및 의사결정 통합 플랫폼 실증 적용 사업화를 위한 비즈니스모델(BM) 수립 홍보 마케팅 실시(시제품 런칭행사 등)	통합 플랫폼 고도화를 통한 특허 등록 1건. 재해취약성 등 관련 제도에 필요한 DB 구축 . 구축된 DB 서비스를 위한 NODD 시제품 제작 1건 공주시 대상 시스템 적용 및 문제점 보완 수요처(R&D 수행기관, 엔지니어링사, 공공기관 및 대학)별 사업화 전략 및 가능성 분석을 통해 사업화 기획 실적 1건 완료 및 사업화 1건 체결 진행중 국토교통기술대전 참가 및 안전산업박람회 참가(11월)를 통한 기술 홍보 실시.
	기후 변화를 고려한 홍수 위험성 평가기법 개발	부산지역(Smart City) 홍수위험성 평가 실증 적용	인문, 사회 및 지역특성을 고려한 위험요인 해석기술 개발 홍수위험성 평가기술 부산지역 실증 적용	부산지역(Smart City) 홍수위험성 평가 실증 적용 인문, 사회 및 지역특성을 고려한 위험요인 해석기술 개발
	홍수 위험도 기반 대응기술 적용을 위한 의사결정 기법 개발	해외기술 적용 전략 수립	해외 의사결정기법 및 기술 적용 전략수립 해외기술 및 시범적용 결과에 따른 개선방안을 반영한 기법 고도화	분리형 시스템 전략 및 대안 사례 라이브러리 구축 해외 기술조사 및 의사결정기술 고도화(Entropy, PROMETHEE)

구분 (연도)	세부 과제명	세부 연구 목표	연구개발 수행 내용	연구 결과
4차 연도 (2018)	홍수위험성 평가를 위한 DB 자동화 기술 및 통합플랫폼 개발	통합 플랫폼 고도화 및 안정화 홍보 대상영역 확장 및 유지관리 계획 수정	홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼 기능 안정화 실행 효과 측정 피드백을 통한 사업화 전략 고도화	재난안전 데이터 추가 구축 및 판매전략 수립

(2) 최종연구수행내용에 따른 결과 정리

(가) 핵심연구성과 A 홍수위험성 평가를 위한 데이터 자동화 기술 및 통합플랫폼 개발(노아)

A-1 데이터연계(메타데이터) 자동화 및 표준화 기술

[연구 수행 내용]

- ① 홍수위험성 분석인자 데이터 조사 및 구축
- ② 데이터 연계 자동화를 위한 데이터관리센터 구축

□ 홍수위험성 분석인자 데이터 조사 및 구축

- 보유기술인 이상홍수취약성평가시스템에 사용한 평가지표는 중요시설물 자료와 수문 지형, 사회경제, 홍수방어, 기상학적으로 분류한 취약성 관련 자료로 구성됨

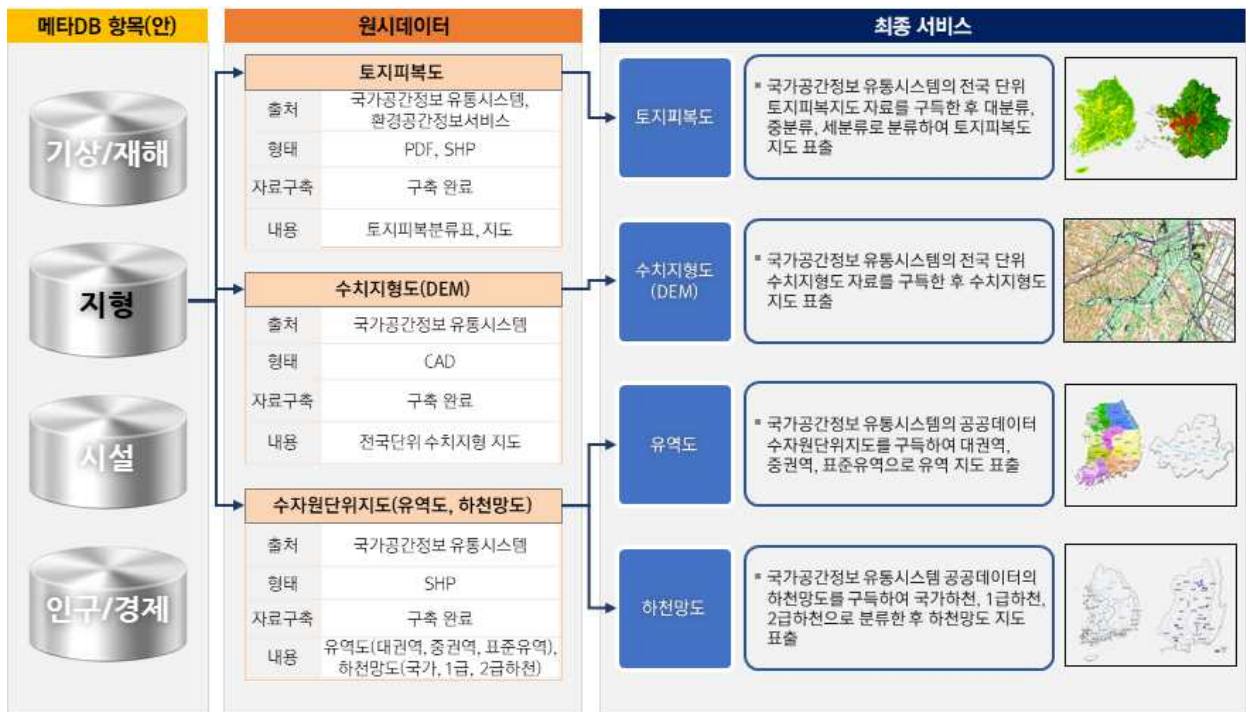
표 1-24. 중요 시설물 이용자료

구성요소	세부항목	자료 단위 구성	활용 방법
중요시설물	소방서, 응급시설	단위구역별	· 1:1,000수치지도 이용 · 개소수로 평가
	폐기물 처리시설	단위구역별	· 1:1,000 수치지도 이용 · 개소수로 평가
	정수처리장	단위구역별	· 1:1,000 수치지도 이용 · 개소수로 평가
	하수처리장	단위구역별	· 1:1,000 수치지도 이용 · 개소수로 평가
	배수펌프장	단위구역별	· 1:1,000 수치지도 이용 · 개소수로 평가
	발전시설	단위구역별	· 1:1,000 수치지도 이용 · 개소수로 평가
	병원	단위구역별	· 1:1,000 수치지도 이용 · 개소수로 평가

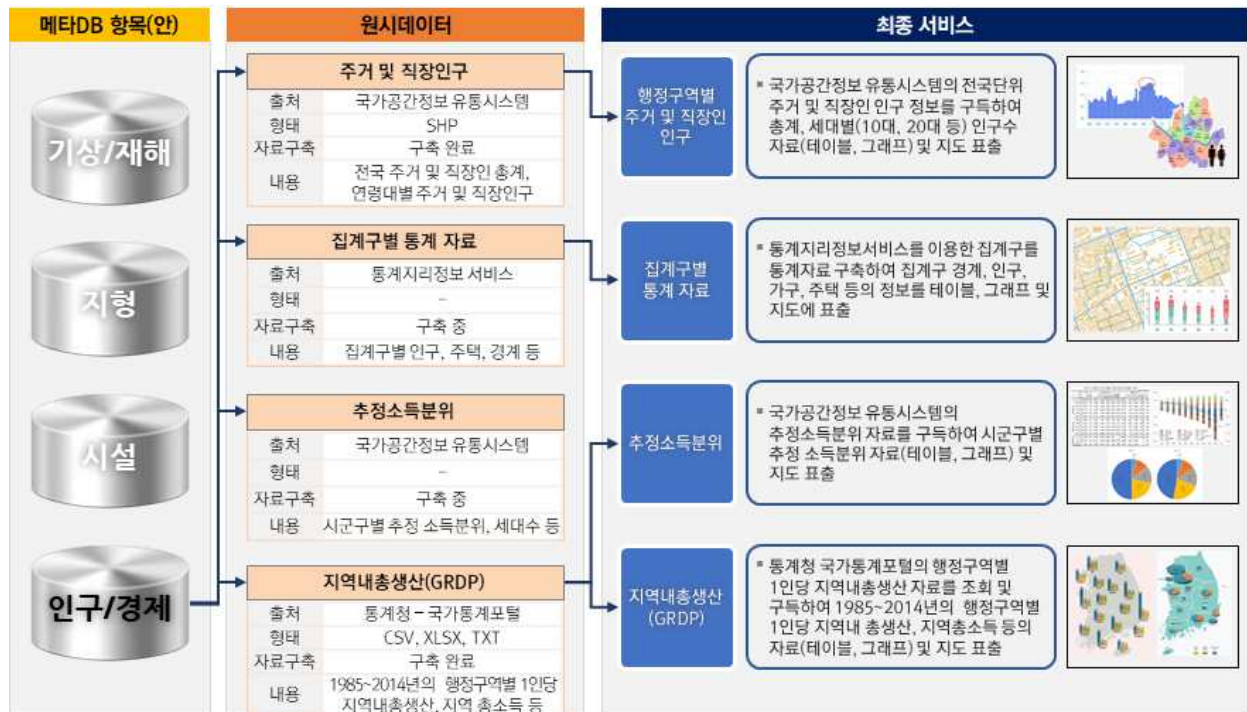
표 1-25. 취약성 평가 지표별 이용자료

구성요소		세부항목	자료 단위 구성	원자료 수집 출처
취약성	수문 지형	홍수 위험지역	단위구역별	·재해연보 및 소방방재청 DB ·과거 침수 흔적도를 기준으로 침수 면적 산정
		홍수 피해규모	단위구역별	·재해연보(홍수와 관련된 재해 유형에 대한 1994~2007년 피해액 기준) ·행정구역별 통계 자료를 단위구역별로 환산 적용
		불투수율	격자별 (유역평균 환산)	·토지피복도를 기준 ·격자(30m x 30m)별로 평가 후 유역별 환산
		유역경사도	격자별 (유역평균 환산)	·수치지도를 이용하여 지형 경사 추출 ·격자(30m x 30m)별로 평가 후 유역별 환산
	사회 경제	인구밀도	단위구역별	·통계청 자료 이용 ·행정구역별 통계 자료를 단위 구역별로 환산 적용
		재정자립도	단위구역별	·통계청 자료 이용 ·행정구역별 통계 자료를 단위 구역별로 환산 적용
	홍수 방어	제방 정비율	단위구역별	·지자체 통계연보 이용 ·행정구역별 통계 자료를 단위 구역별로 환산 적용
	기상학적	극한강우 사상빈도	단위구역별	·시간당 50mm 이상 횟수 ·단위구역별로 가장 가까운 기상관측소의 결과 이용
		일강우 사상빈도	단위구역별	·일강우량150mm 이상 횟수 ·단위구역별로 가장 가까운 기상관측소의 결과 이용

- 홍수 위험성 분석인자들을 통합플랫폼에 연계하기 위해 기상/재해, 지형, 시설, 인구/경제 테마로 그룹화 하여 구축 대상 및 서비스 내용을 정리함

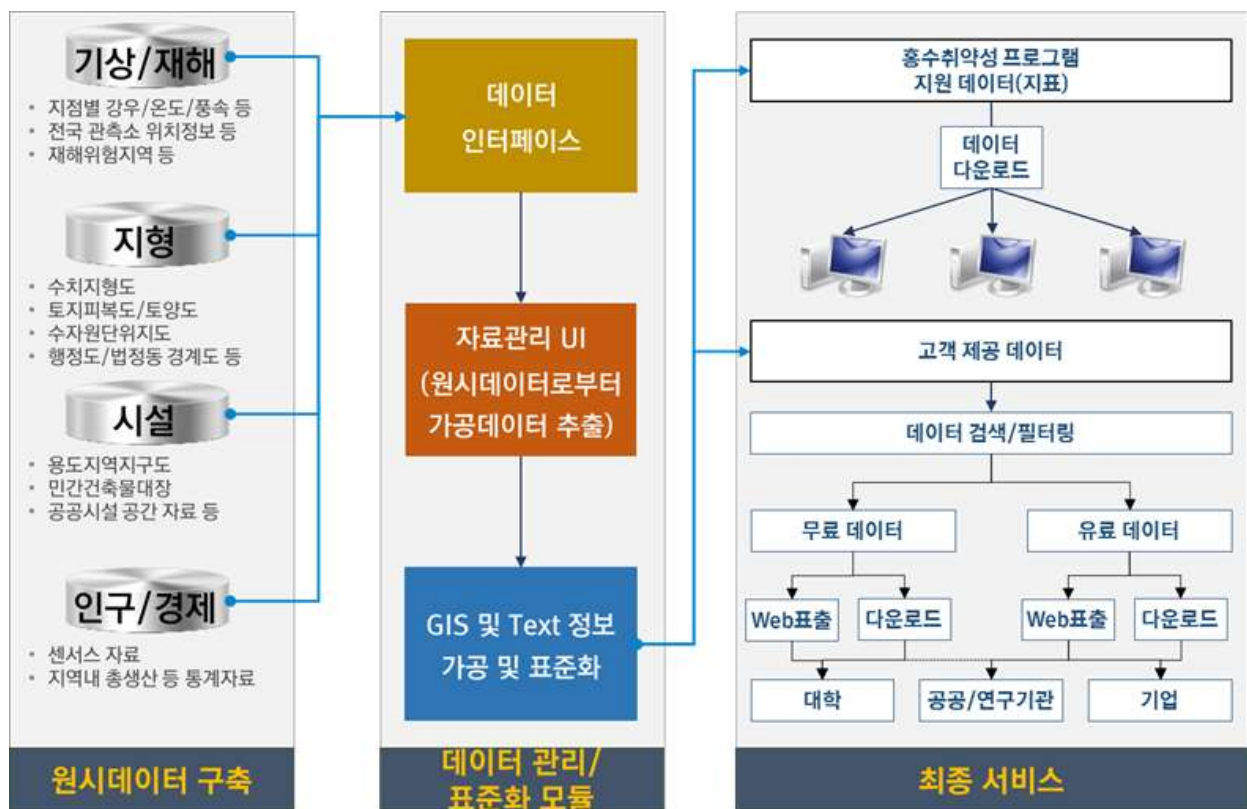




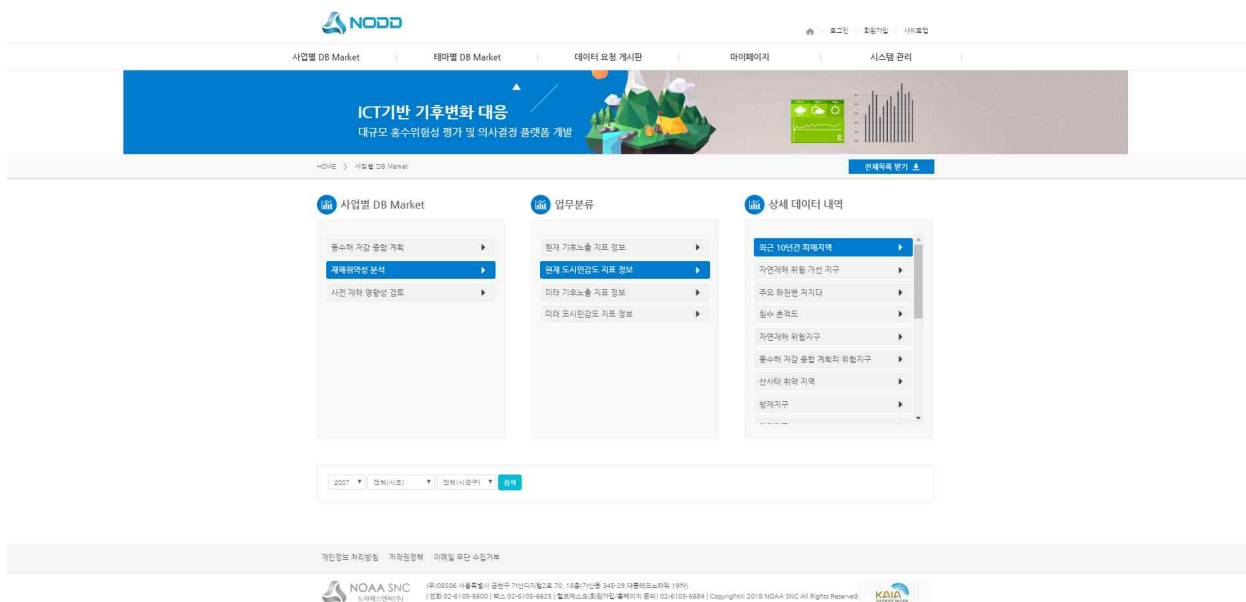


□ 데이터 연계 자동화를 위한 데이터관리센터(NODD) 구축

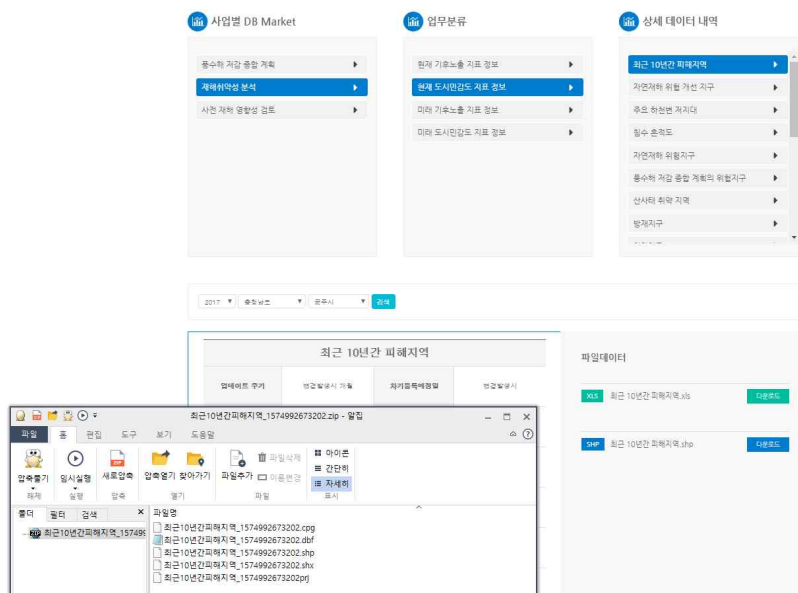
○ NODD는 Web 기반으로 위험성 평가 시스템과 연동되어 DB 업데이트 및 제공 역할 담당



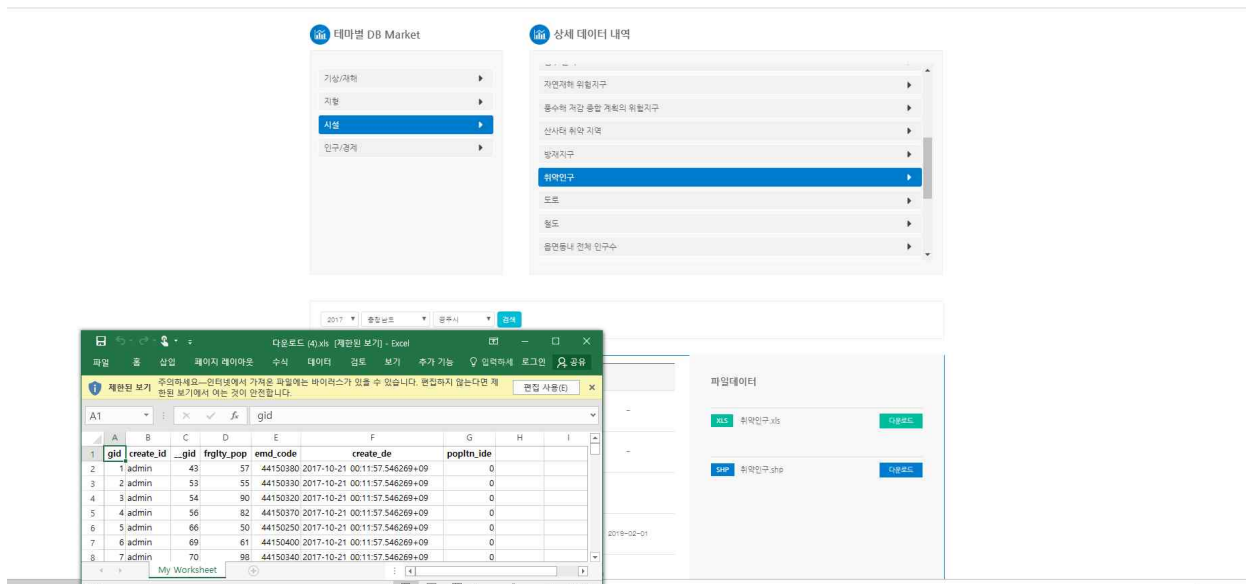
- 본 연구는 보유기술인 이상홍수취약성평가시스템을 고도화 하여 홍수 위험성을 평가하는데 목적이 있었으나, 1차년도 국토교통과학기술진흥원의 실용화점검 평가의견에 따라 국토교통부에서 시행중인 사업에 연구 성과를 적용하여 사업화를 추진하고자 국내 취약성 분석 제도를 조사 및 분석하여 최종적으로 “도시 기후변화 재해취약성분석”제도에 기반한 홍수위험성 평가 기법을 개발을 추진하게 되었음
- 이에 따라 재해취약성 분석에 활용되는 데이터를 우선으로 NODD를 구축하였음
 - NODD에서는 기본적으로 홍수 위험성 평가 시스템에 사용되는 지표들에 대한 데이터들이 구축되어 있음



- 이에 따라 재해취약성 분석에 활용되는 데이터를 우선으로 NODD를 구축하였음
 - NODD에서는 기본적으로 홍수 위험성 평가 시스템에 사용되는 지표들에 대한 데이터들이 구축되어 있으며, 분석 기준년도와 해당 시군을 선택하면 엑셀 또는 GIS 파일로 제공



- 데이터 검색은 테마별로도 가능하며 테마는 기상/재해, 지형, 시설, 인구/경제로 구성되어있으며, 분석 기준년도와 해당 시군을 선택하면 엑셀 또는 GIS 파일로 제공



[결 론]

- 홍수위험성 평가 시스템에 사용되는 분석인자들은 NODD를 통해 데이터가 갱신되며, 위험성 평가 시스템을 사용하지 않고 분석인자만 요구하는 수요자는 NODD에서 직접 다운로드 받아 개별적으로 활용이 가능함

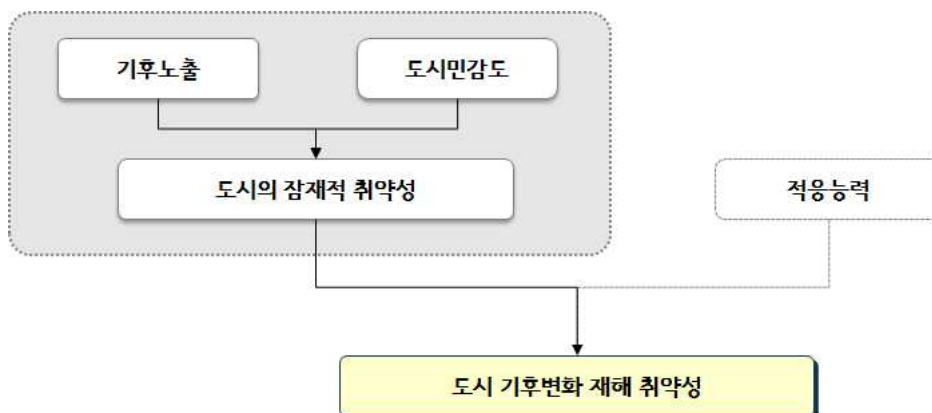
A-2 홍수위험성 평가 및 의사결정 통합 플랫폼 개발

[연구 수행 내용]

- ① 홍수 위험성 평가 방법 개요
- ② 홍수 위험성 분석 지표별 연산 자동화 알고리즘 개발
- ③ 플랫폼 기초 설계

□ 홍수 위험성 평가 방법 개요

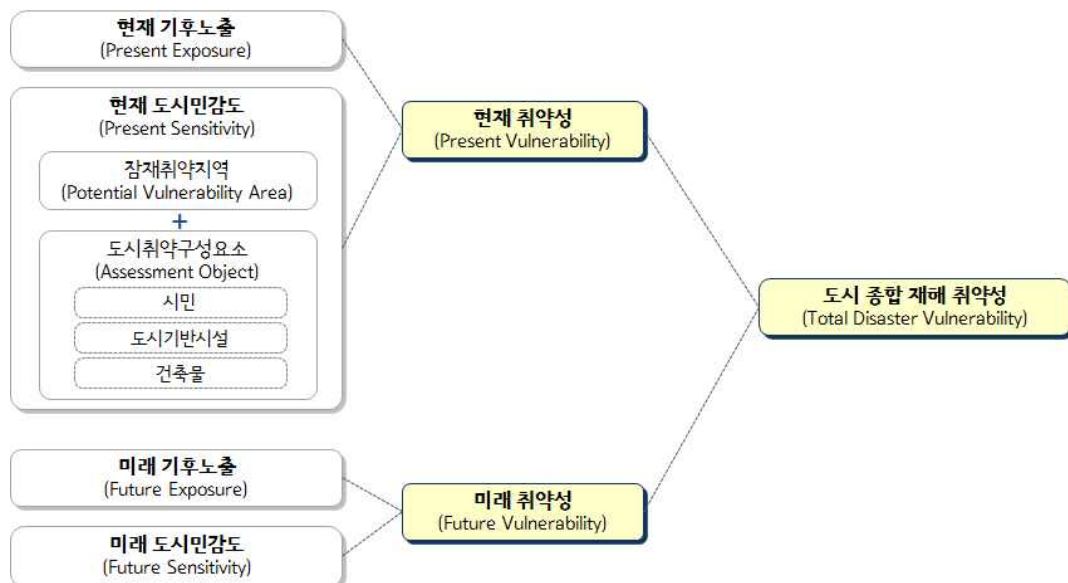
- 본 연구는 보유기술인 이상홍수취약성평가시스템을 고도화 하여 홍수 위험성을 평가 하는데 목적이 있었으나, 1차년도 국토교통과학기술진흥원의 실용화점검 평가의견에 따라 국토교통부에서 시행중인 사업에 연구 성과를 적용하여 사업화를 추진하고자 국내 취약성 분석 제도를 조사 및 분석하여 최종적으로 “도시 기후변화 재해취약성분석” 제도에 기반한 홍수위험성 평가 기법을 개발을 추진하게 되었음
- 도시 기후변화에 따른 재해 취약성 개요
 - 2015년 7월 시행된 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제20조제2항 및 제27조제3항에 따라 도시·군기본계획을 수립·변경하거나 도시·군관리계획을 입안하는 경우 도시 기후변화에 따른 재해 취약성에 관한 분석을 실시하여야 함
- 도시 기후변화에 따른 재해 취약성 분석의 개념
 - 2013년 국토교통부, 국토연구원에서 발행된 도시 기후변화 재해취약성 분석 매뉴얼 (VER 3.0)에 따르면 기후변화 재해 취약성 분석의 개념은 다음과 같음
 - 도시의 기후변화 재해취약성 분석 대상 재해는 폭우(홍수 및 산사태), 폭염, 폭설, 강풍, 가뭄, 해수면상승의 6개 재해로 구분
 - IPCC의 취약성 분석 개념에 따라 기후노출(Exposure), 도시 민감도(Sensitivity)에 의한 도시의 기후변화 재해 취약성 분석 체계 마련
 - 기후노출(Exposure)은 기후변화 재해를 유발하는 기온, 강수량 등과 같은 기후적 요소에 의한 영향을 나타냄
 - 도시 민감도(Sensitivity)는 기후변화 재해에 따른 도시의 물리적 취약특성과 도시구성요소의 부정적 영향을 의미함



자료: 국토해양부(2011). 기후변화 적응도시 조성 방안 연구(1차년도)

○ 도시 기후변화에 따른 재해 취약성 분석의 개념

- 도시 기후변화 재해 취약성은 현재 취약성, 미래 취약성, 도시 종합 재해 취약성으로 구분
- 현재 취약성(Present Vulnerability)은 과거~현재까지의 기상관측치에 의한 현재 기후노출(Present Exposure)과 현재의 잠재취약지역과 도시취약구성요소를 중첩한 도시민감도(Present Sensitivity)로 나타냄
- 미래 취약성(Future Vulnerability)은 기후변화 시나리오에 의한 미래 기후노출(Future Exposure)과 미래의 도시개발 전망 등을 반영한 도시민감도(Future Sensitivity)로 나타냄
- 도시 종합 재해 취약성(Total Disaster Vulnerability)은 현재 취약성과 미래 취약성을 고려하고 현장조사 및 전문가 등의 의견수렴 결과 최종 확정된 재해 취약성으로 나타냄



자료: 국토교통부, 국토연구원(2013). 도시 기후변화 재해취약성 분석 매뉴얼(VER 3.0)

□ 홍수 위험성 분석 지표별 연산 자동화 알고리즘

○ 미래 및 현재 취약성 분석 지표

표 1-28. 도시 기후변화 재해 미래 취약성 분석지표(폭우)

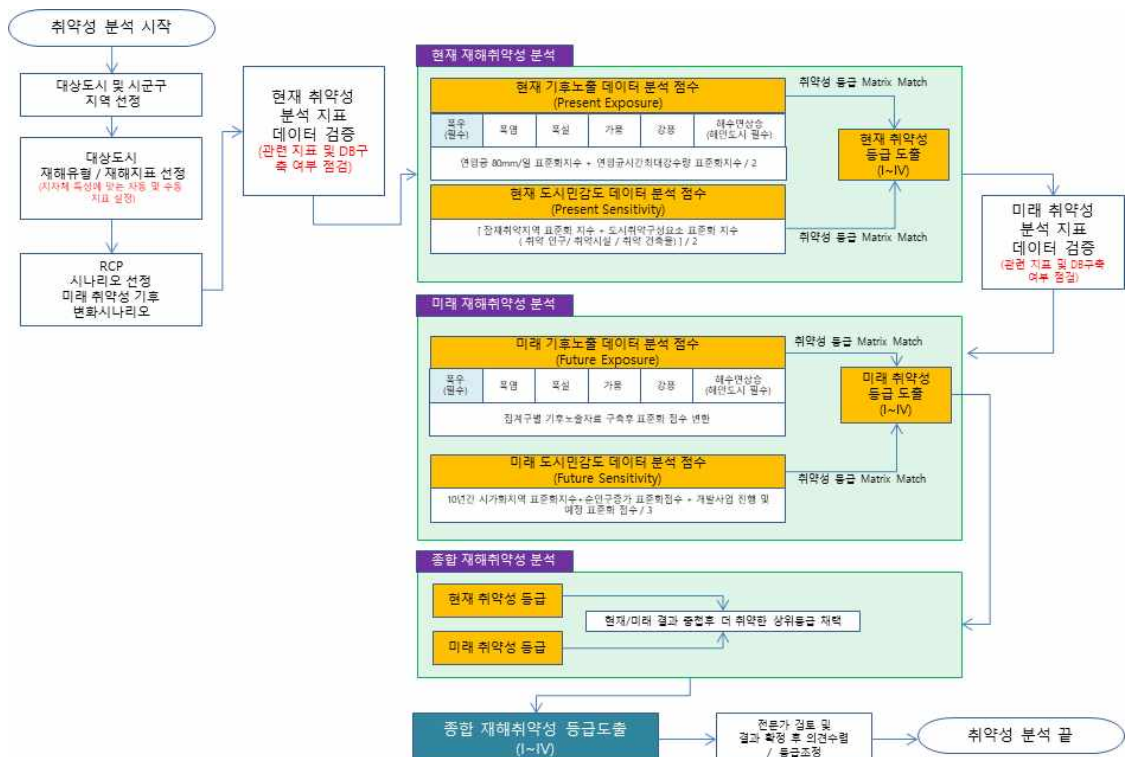
구분	지표 설명
미래 기후노출	연평균 80mm/일 이상 강수일수 연평균 시간 최대강수량
미래 도시민감도	최근 10년간 시가화지역 최근 10년간 인구증가지역 도시개발사업 진행·예정지구

표 1-29. 도시 기후변화 재해 현재 취약성 분석지표(폭우)

구분			지표 설명
현재 기후노출			연평균 80mm/일 이상 강수일수 연평균 시간 최대강수량
현재 도시민감도	잠재취약 지역		최근10년간 피해지역 방재지구 자연재해위험지구 산사태취약지역(산사태위험지역) 주요 하천변 저지대(계획홍수위 보다 낮은 지역) 풍수해저감종합계획의 위험지구
	도시 취약구성요소	시민	집계구 내 65세 이상 노인 및 5세 미만 어린이 인구수
		도로	집계구 내 도로 지하도로
			집계구 내 철도
		수도공급설비	집계구 내 수도공급설비
		공동구	집계구 내 공동구
		유류저장 및 송유설비	집계구 내 유류저장 및 송유설비
		하수도	집계구 내 하수도
		수질오염방지 시설	집계구 내 수질오염방지시설
	건축물		집계구 내 단독주택, 반지하 주택

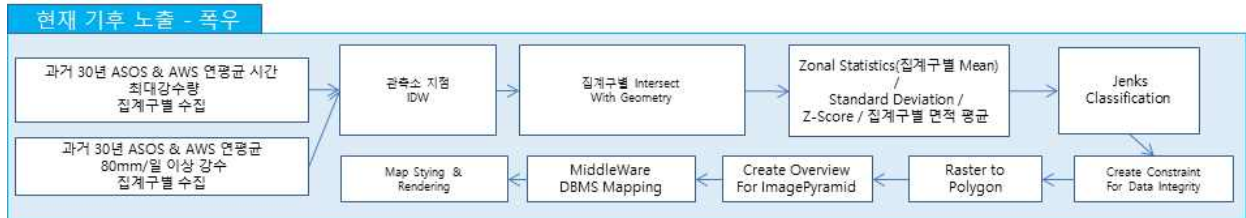
○ 종합재해취약성 도출 흐름도 및 알고리즘 개발 부분

- 본 연구에서는 기후변화에 따른 재해취약성 분석의 전체 절차에 대해 연산 자동화가 필요한 부분(하단 도식도의 노란색 해당)에 대해 알고리즘을 개발



○ 취약성 분석 알고리즘

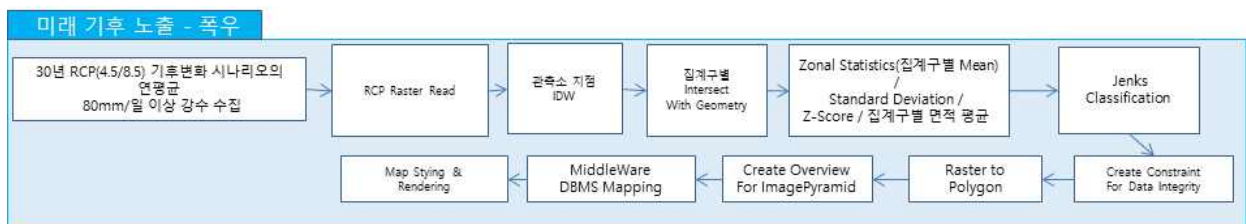
- 취약성은 기후 노출과 도시민감도로 구분되며 각각의 분석 알고리즘은 분석에 필요한 데이터를 입력받아 표준화된 점수로 연산되는 과정을 포함하고 있음



현재 기후노출 연산 알고리즘



현재 도시민감도 연산 알고리즘



미래 기후노출 연산 알고리즘



미래 도시민감도 연산 알고리즘

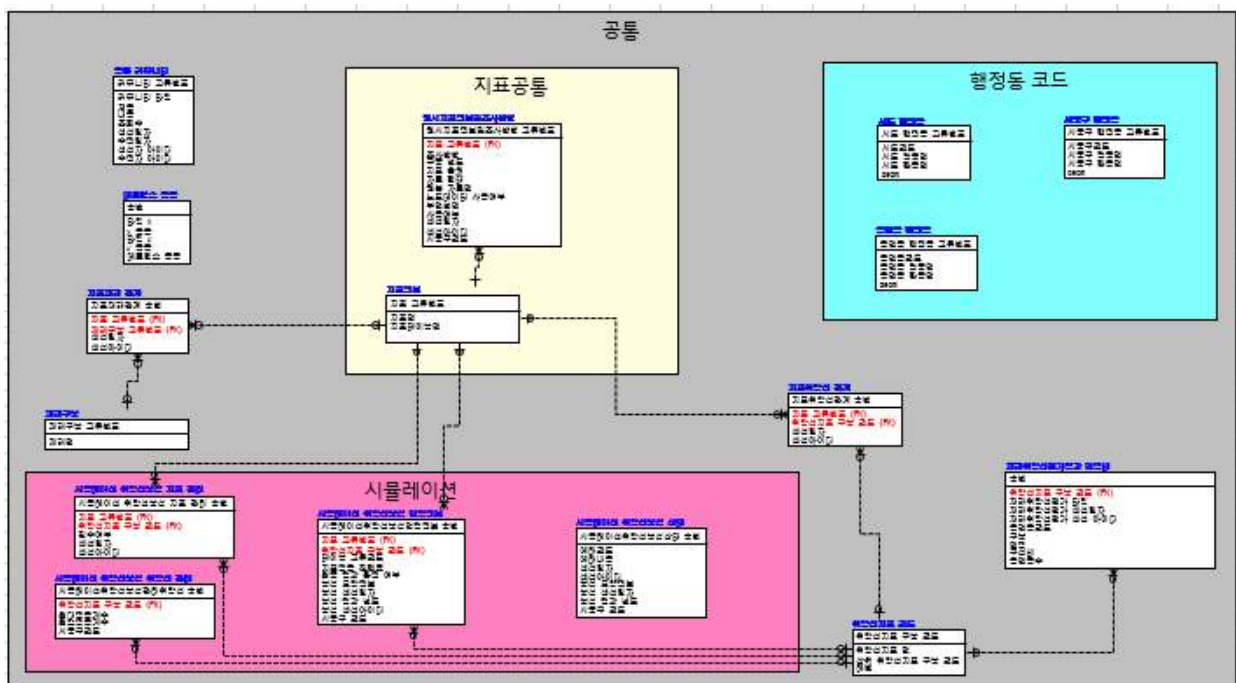
○ 플랫폼 기초 설계

- 플랫폼은 기본적으로 폭우에 대한 재해취약성 평가 시뮬레이션 기능, 취약성 평가 결과 조회 기능이 핵심 메뉴이며, 그 외 시스템 소개 및 DB 관리, 커뮤니티와 같은 부가 메뉴로 구성
- 의사결정지원 모듈의 경우에는 기존 재해취약성 분석 절차에 포함되어 있지 않으며, 연구성과를 개별적으로 패키지화하여 사업화를 추진하고자 기존 계획을 변경하여 설계에 반영하지 않았음

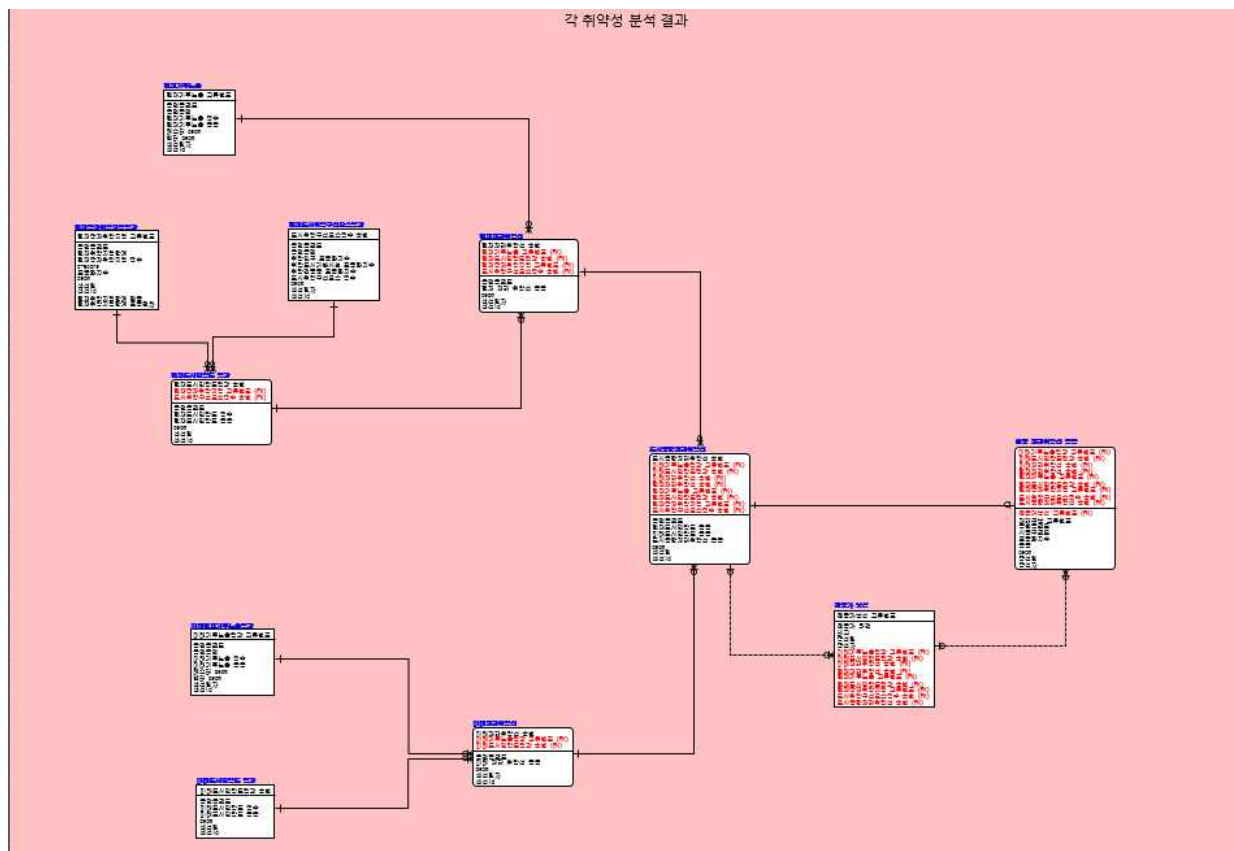
표 1-30. 메뉴 구조 및 설명

메뉴명	설명
메인 페이지	사용자가 최근 분석한 지역에 대한 평가 요약 결과 제공 공지사항, 자료실, 자주 묻는 질문 게시판 바로가기 NODD(데이터관리) 센터 바로가기
재해취약성 평가 결과	현재, 미래, 종합 재해취약 등급 결과 제공 읍면동별 취약성 지표별 상세결과 테이블 제공 읍면동별 취약성 지표별 GIS 정보 제공
재해취약성 평가 시뮬레이션	현재 및 미래 취약성 분석지표 불러오기 기능 현재 기후노출, 현재 도시민감도, 미래 기후노출, 미래 도시민감도 분석 기능 기존 분석결과 불러오기 기능
재해취약성 DB 관리	분석지표 DB 관리
커뮤니티	공지사항, 자료실, 자주 묻는 질문 게시판 제공

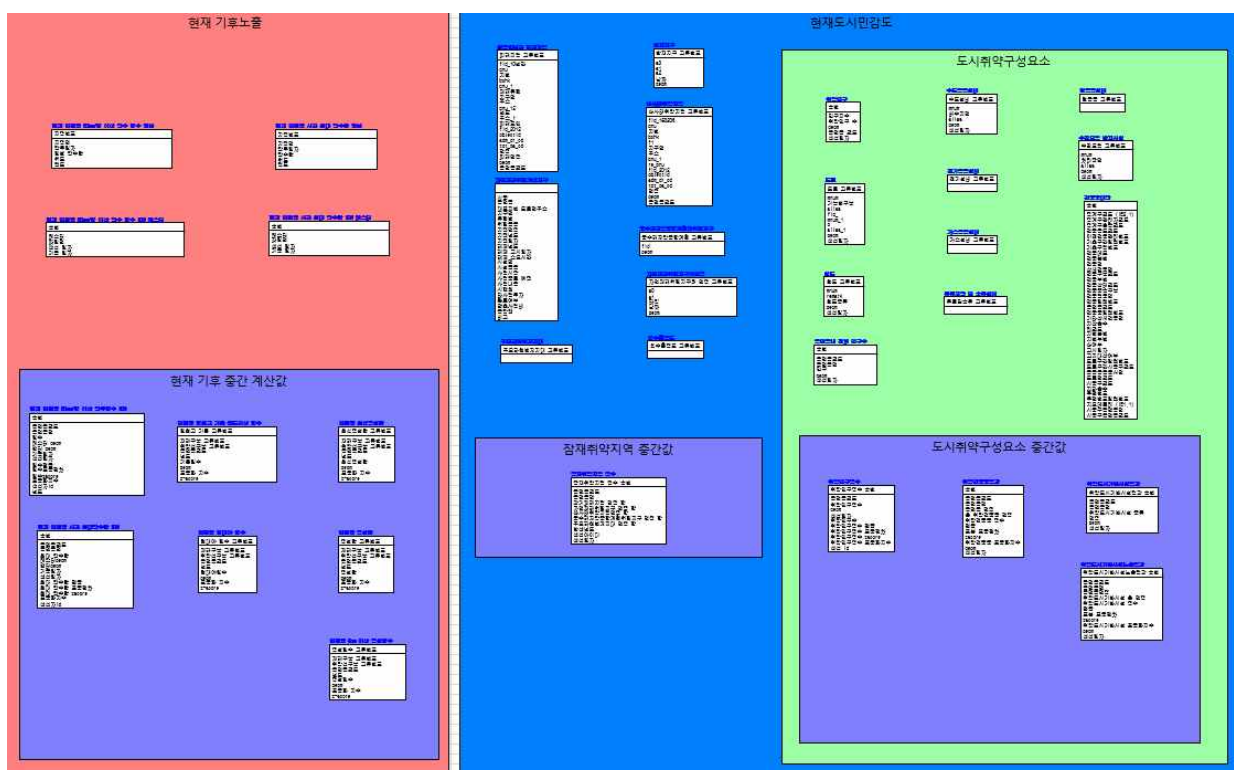
- 플랫폼의 논리 ERD는 공통, 현재취약성 평가(기후노출, 도시민감도), 미래취약성 평가(기후노출, 도시민감도), 각 취약성 분석 결과로 구분



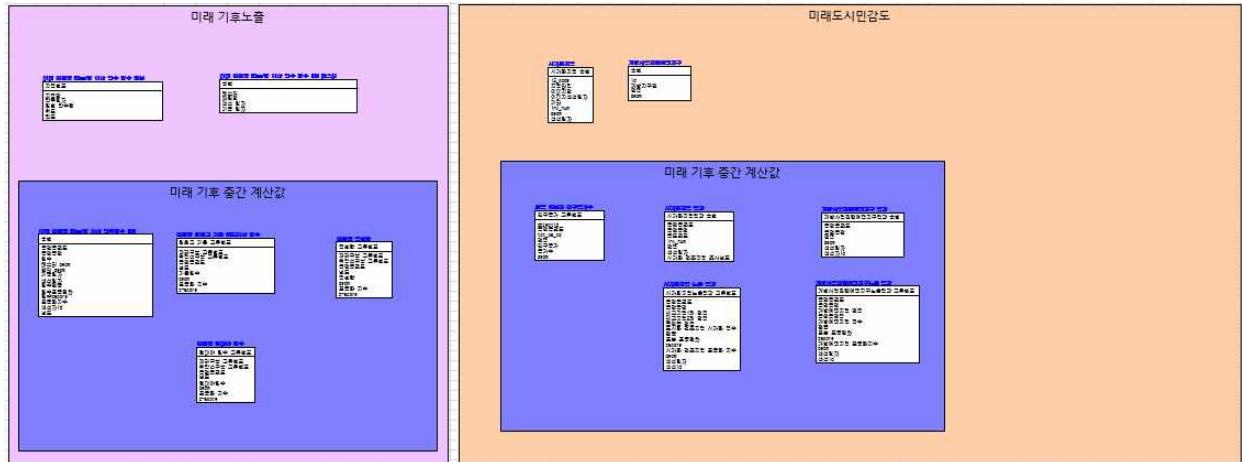
논리 ERD(공통)



논리 ERD(취약성 평가 결과)



논리 ERD(현재 취약성 평가)



A-3 통합 플랫폼 고도화 및 안정화

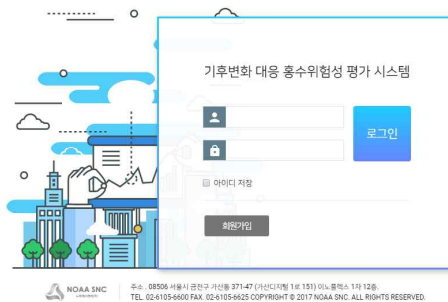
[연구 수행 내용]

- ① 통합 플랫폼 화면 개발
- ② 시범지역(공주시) 적용

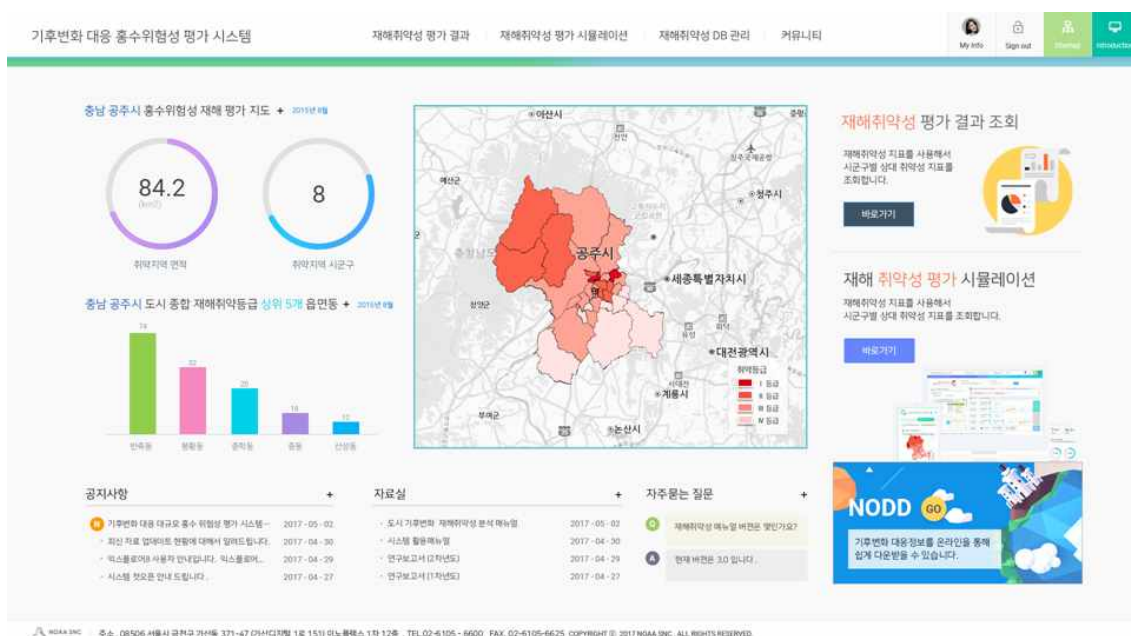
□ 통합 플랫폼 화면 개발

○ 메뉴별 화면 정의

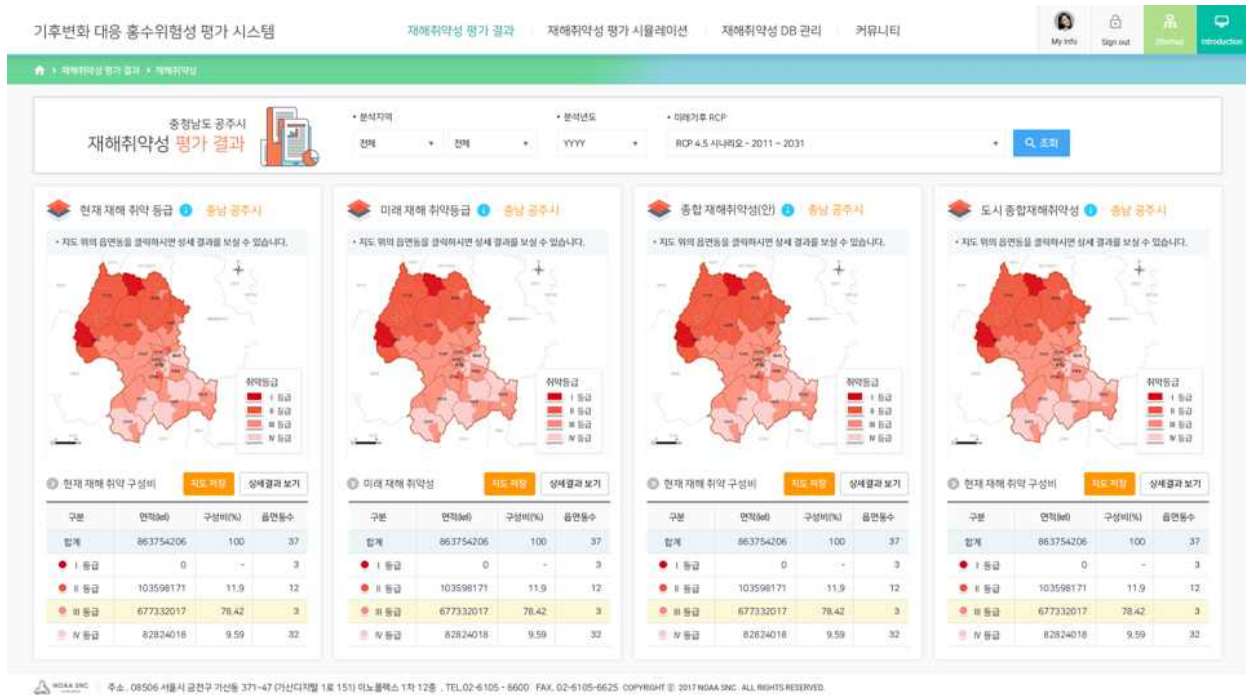
- 플랫폼에 접속하기 전 로그인 화면을 통해 사용자 ID 및 password를 입력해야 접속이 가능



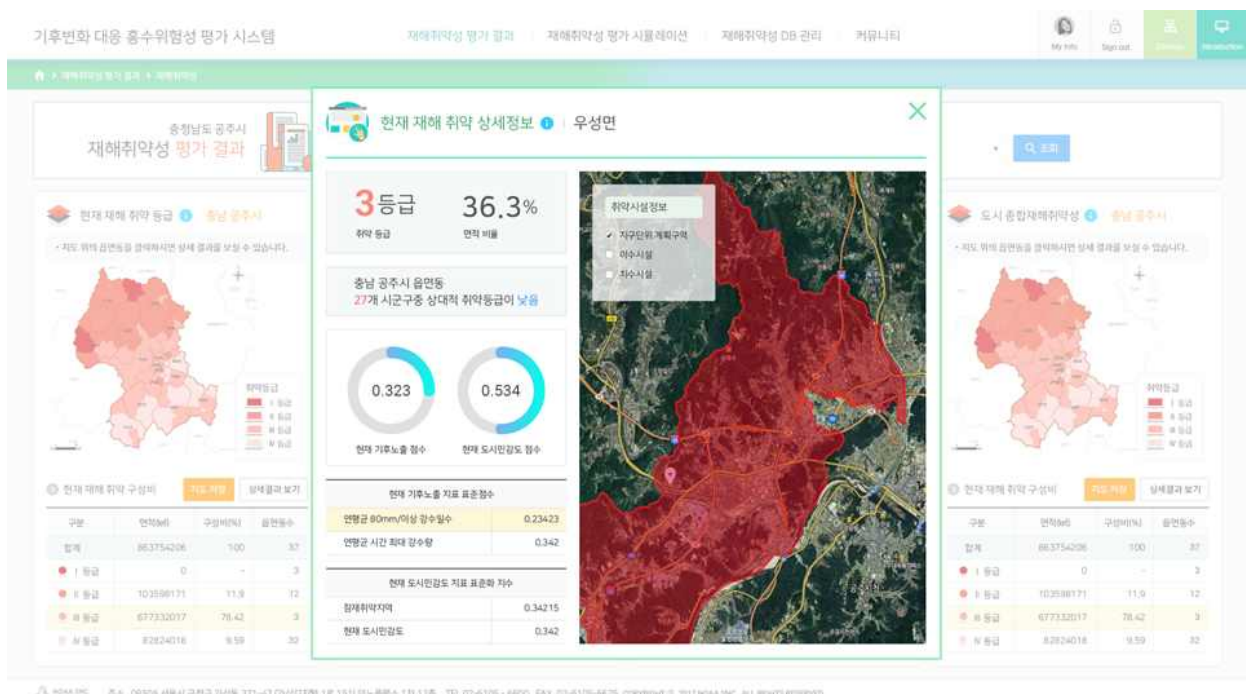
- 로그인을 하게되면 메인 화면이 호출되며, 메인화면에서는 분석 대상지역의 최근 분석 결과에 대한 요약 정보를 제공
- 메인화면 구성은, 최근 분석결과 요약 정보, 재해취약성 평가 결과 조회 및 시물레이션 바로가기, 데이터관리센터인 NODD 바로가기 메뉴 등으로 구성



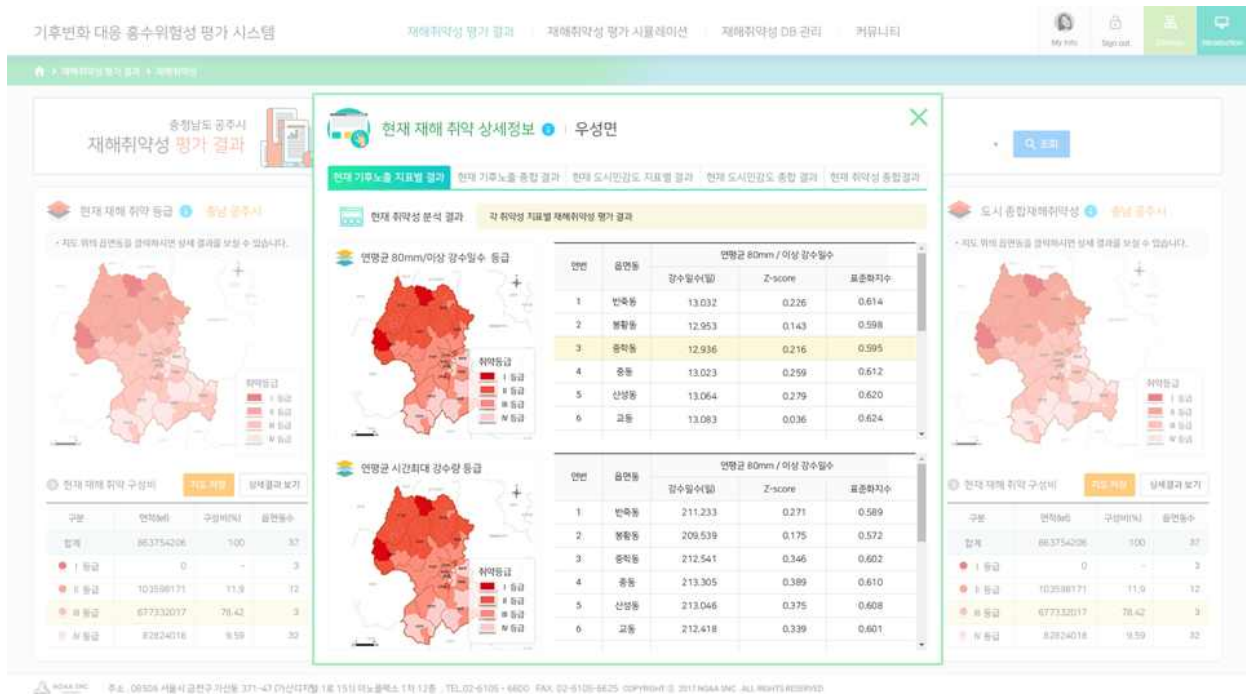
- 재해취약성 평가결과는 메인화면 중앙에서 지도를 클릭하거나 재해취약성 평가 결과 조회 바로가기를 클릭하여 이동
- 재해취약성 평가결과 기본 화면에서는 현재, 미래, 종합취약성(안), 최종 종합재해취약성 등급을 행정구역 단위로 제공
- 만약 분석년도가 다수일 경우에는 확인하고자 하는 분석년도를 클릭하여 조회



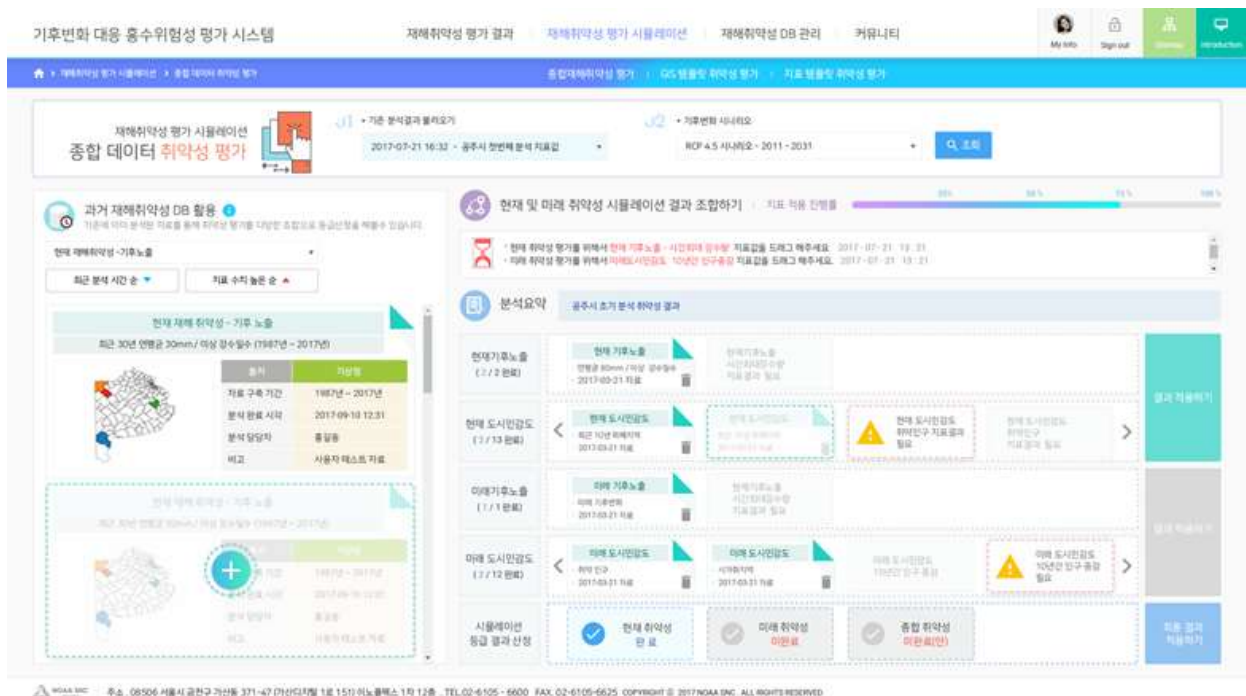
- GIS 지도를 클릭할 경우에는 해당 행정구역의 취약 상세정보 팝업창이 호출되며, 분석에 활용된 지표의 원시자료(GIS 형태)를 행정구역에 맵핑하여 표시



- 재해취약성 평가결과 기본화면에서 상세결과 보기를 클릭할 경우에는 분석지표별 원시자료 값, Z-score, 표준화지수가 동시에 제공



- 재해취약성 평가 시뮬레이션 화면은 사용자가 기존 분석결과를 불러와서 지표를 선택하지 않고 바로 적용할 수 있음
- 기존 분석결과가 없는 경우 화면 좌측부와 같이 현재 및 미래 취약성 분석지표를 선택하여 드래그 앤 드랍 방식 또는 클릭 방식으로 화면 우측부에 이동시켜 분석
- 지표가 충분히 적용되지 않았을 경우에는 에러 메시지가 발생



□ 시범지역(공주시) 적용

- 화면개발 이후 충청남도 공주시를 대상으로 정상적인 기능구현 테스트를 수행함
 - 재해취약성 평가 시뮬레이션 화면에서 화면 좌측부의 지표 목록을 클릭하면, 구축된 년도의 지표들의 목록이 표출
 - 사용자는 드래그 앤 드랍 또는 클릭방식으로 우측에 옮겨서 분석에 필요한 지표를 활성화

재해취약성 평가 시뮬레이션 종합 데이터 취약성 평가

기후변화 대응 홍수위험성 평가 시스템 | 재해취약성 평가 결과 | 재해취약성 평가 시뮬레이션 | 재해취약성 DB 관리 | 커뮤니티

재해취약성 평가 시뮬레이션 종합 데이터 취약성 평가

기후변화 대응 홍수위험성 평가 시스템 | 재해취약성 평가 결과 | 재해취약성 평가 시뮬레이션 | 재해취약성 DB 관리 | 커뮤니티

재해취약성 평가 시뮬레이션 종합 데이터 취약성 평가

기후변화 대응 홍수위험성 평가 시스템 | 재해취약성 평가 결과 | 재해취약성 평가 시뮬레이션 | 재해취약성 DB 관리 | 커뮤니티

- 지표를 추가할 때마다 화면 우측부에 지표 활성화 값이 표출됨. 여기서 지표가 19개 인 것은 폭우재해 이외 다른 5개재해 유형에 대한 평가에 대한 확장성을 고려한 것임

재해취약성 평가 시뮬레이션 종합 데이터 취약성 평가

기후변화 대응 홍수위험성 평가 시스템 | 재해취약성 평가 결과 | 재해취약성 평가 시뮬레이션 | 재해취약성 DB 관리 | 커뮤니티

재해취약성 평가 시뮬레이션 종합 데이터 취약성 평가

기후변화 대응 홍수위험성 평가 시스템 | 재해취약성 평가 결과 | 재해취약성 평가 시뮬레이션 | 재해취약성 DB 관리 | 커뮤니티

재해취약성 평가 시뮬레이션 종합 데이터 취약성 평가

기후변화 대응 홍수위험성 평가 시스템 | 재해취약성 평가 결과 | 재해취약성 평가 시뮬레이션 | 재해취약성 DB 관리 | 커뮤니티

- 지표가 전혀 입력되지 않은 상태에서는 현재 취약성 분석에 필요한 지표를 먼저 활성화시켜 결과 적용하기를 클릭하면 하단과 같이 현재 취약성 등급 결과 산정이 완료되었다는 메시지가 활성화됨
- 매트릭스에 의한 종합취약성(안) 등급을 산정하기 위해서는 하단 부분의 현재 및 미래 취약성 등급 결과 산정 메시지가 모두 완료로 되어 있어야 함

기후변화 대응 홍수위험성 평가 시스템 재해취약성 평가 결과 재해취약성 평가 시뮬레이션 재해취약성 DB 관리 커뮤니티

재해취약성 평가 시뮬레이션
종합 데이터 **취약성 평가**

기초 분석 결과 불러오기 기후변화 시나리오
2017-11-07 09:53:44 605779+09- RCP 8.5 시나리오 - 2011 - 2031 [조회]

과거 재해취약성 DB 활용
분석한 지표를 피우스로 표시해버린 다양한 등급 산정 결과를 확인할 수 있습니다.
현재 재해취약성 - 기후노출 최근 분석 시간 순 지표 수지 높은 순

현재 및 미래 취약성 시뮬레이션 결과 조합하기 지표 적용 진행률: 25% 50% 75% 100%

분석 요약

현재 기후 노출 (2 / 2 완료) - 2017-10-23 23:00 기록	현재 연평균 강수량 IDW (2019년) - 2017-10-23 23:00 기록	결과 적용하기		
현재 도시 민감도 (11 / 19 완료) - 2017-10-20 01:41 기록	현재 연평균 시간 최대 강수량 IDW (2019년) - 2017-10-23 23:00 기록			
미래 기후 노출 (0 / 1 완료) 미래 연평균 80mm/일 이상 강수량 IDW 지표 결과 필요	미래 도시 민감도 (0 / 3 완료) 읍면동내 전체 인구수 지표 결과 필요	결과 적용하기		
미래 도시 민감도 (0 / 3 완료) 읍면동내 전체 인구수 지표 결과 필요	도시개발사업인행 및 예정지구 지표 결과 필요			
시뮬레이션 등급 결과 산정	현재 취약성 완료	미래 취약성 미완료	종합 취약성(안) 미완료	최종 결과 적용하기

- 취약성 분석이 모두 완료가 되면 가장 최근에 분석한 결과가 메인화면에 요약된 정보로 제공

기후변화 대응 홍수위험성 평가 시스템 재해취약성 평가 결과 재해취약성 평가 시뮬레이션 재해취약성 DB 관리 커뮤니티

충남 공주시 홍수위험성 재해 평가 지도 + 2019년 11월

취약지역 면적(km²) 589.287 취약지역 읍면동(개) 19

충남 공주시 도시 종합 재해취약등급 상위 5개 읍면동 + 2019년 11월

장재취약지역점수 상위 5개 읍면동

공지사향 자료실 자주 묻는 질문

기후변화 대응 대규모 홍수 위험성 평가 시스템 2017-05-02
최신 자료 업데이트 현황에 대해서 알려드립니다. 2017-05-02
엑셀로 데이터를 가져와서 안내합니다. 엑셀로 2017-05-02
시스템 첫오른 안내 드립니다. 2017-05-02

도시 기후변화 재해취약성 분석 매뉴얼 2017-05-02
시스템 활용매뉴얼 2017-05-02
연구보고서 (2차년도) 2017-05-02
연구보고서 (1차년도) 2017-05-02

재해취약성 매뉴얼 버전은 몇인가요? 2017-05-02
현재 버전은 3.0입니다. 2017-05-02

재해취약성 평가 결과 조회

재해취약성 지표를 사용해서 시군구별 상세 취약성 지표를 조회합니다.
[바로가기]

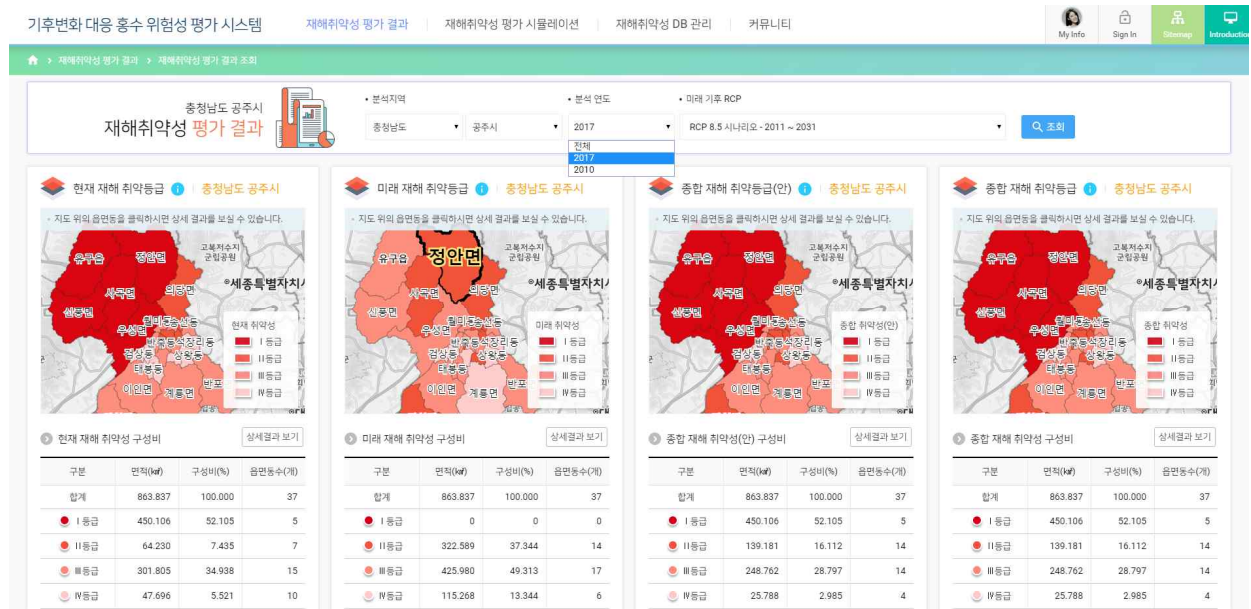
재해 취약성 평가 시뮬레이션

재해취약성 지표를 사용해서 시군구별 상세 취약성 지표를 조회합니다.
[바로가기]

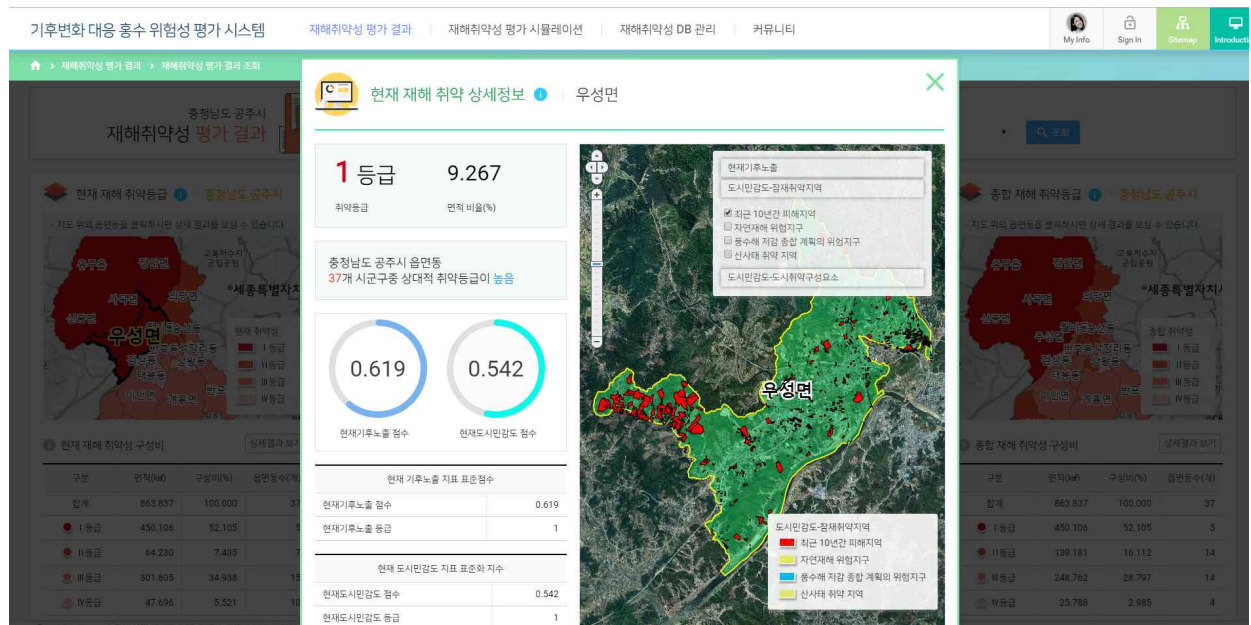
NODD

기후변화 대응정보를 온라인을 통해 쉽게 다룰 수 있습니다.

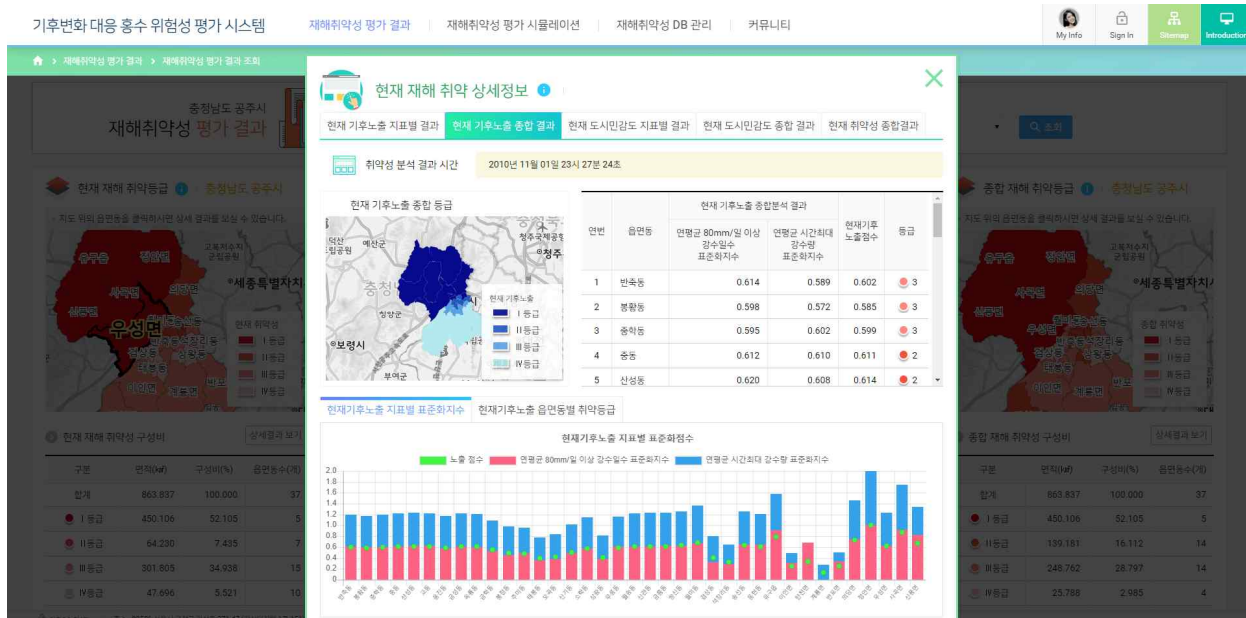
- 취약성 평가 결과 화면에서는 분석한 연도를 기준으로 결과를 불러와서 표출



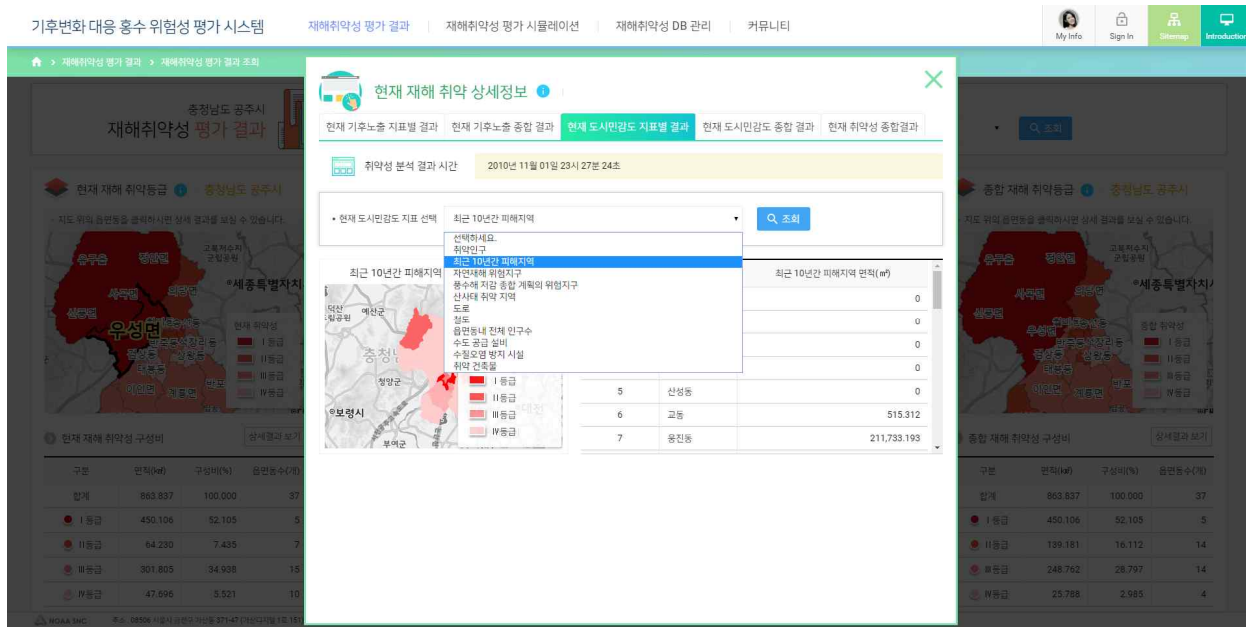
- 취약성 평가 결과 화면에서 특정 행정구역 GIS 지도를 클릭하면, 다음과 같이 팝업창이 활성화 되며 분석에 사용되었던 원시GIS 파일을 행정구역 맵핑하여 공간정보를 제공



- 취약성 평가 결과 화면에서 상세결과보기를 클릭하면, 분석 결과에 대한 행정구역별 등급 정보가 GIS로 차트로 표출되며, 동시에 테이블과 차트 형태로 원시 데이터 값, 표준화 지수, 취약성 점수 및 등급에 대해 시각화된 정보를 제공



- 또한, 지표를 선택하여 행정구역별 분석지표의 원시데이터 값의 순위를 한눈에 비교할 수 있음



[결론]

- 본 연구에서 개발된 시스템은 분석에 필요한 모든 데이터 및 지표를 제공할 뿐만 아니라 사용자가 웹상에서 편리하게 분석을 수행할 수 있는 편의성이 갖추어진 시스템이며, 분석에 대한 결과를 GIS, 차트 등을 사용한 시각화 기능을 통해 실무에 활용도가 높을 것으로 기대

(나) 핵심연구성과 B 기후변화를 고려한 홍수위험성 평가기법 개발
B-1 기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가 기법 개발 및 실증

[연구 수행 내용]

- ① 국내외 홍수 위험성평가 및 홍수범람모의 기술 조사
- ② 인벤토리를 반영한 홍수범람 모의기술 개발
- ③ 홍수위험성 지표 개발

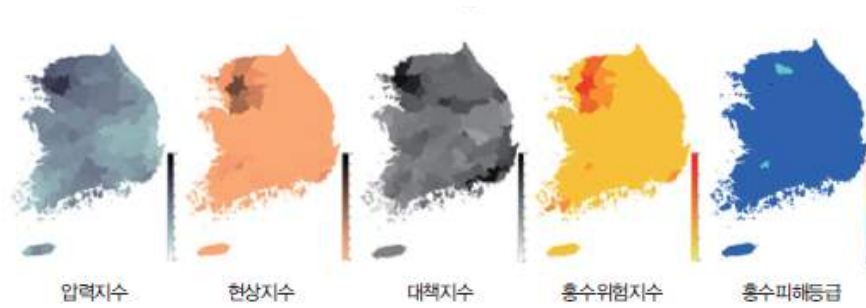
□ 국내외 홍수 위험성평가 기술 조사

○ PSR(Pressure-State-Response) 모형

- NWS는 최신 선진개념의 웹기반 하천 및 수문예측 시스템인 AHPS(Advanced Hydrologic Prediction Service)를 구축
- 압력지수(Pressure), 현상지수(State), 대책지수(Response)를 이용하여 홍수위험도 평가
- 경제 협력 개발기구(Organization for Economic Co-operation and Development, OECD) (1991)에서 개발하여 국제기구나 각국의 지표설정에 주로 활용
- PSR 모형은 홍수 피해 특성을 분석하여 사회, 경제 및 여타 사항간의 상호 연관된 관계를 인과 관계로 파악하여 평가 가능

PSR 모형에 따른 홍수위험도 평가방법(OECD)(1991)

평가지표	평가기준	대체변수 예
압력지수 (Pressure)	유역의 홍수피해에 대한 물리, 환경적 압력을 평가하기 위한 수단 지표값이 클수록 해당지역의 홍수피해대상이 재해에 취약	수문특성 유역특성 인문, 산업, 경제 홍수 피해 위험지역
현상지수 (State)	유역의 홍수에 노출되어있는 수준 판단 및 홍수피해 현황을 파악	홍수 피해 밀도 사망자수 피해자수 침수면적도
대책지수 (Response)	홍수 재해 발생시 이에 대응할 수 있는 능력을 판단하기 위한 기준 지역간의 피교를 바탕으로 지역별 대응능력이 미흡한 지역 파악가능 해당지역에 대한 대책수립 기초자료로 이용가능	재정자립도 치수시설 현황 홍수대책현황



PSR모형 입력자료 및 결과

○ DPSIR(Driving force-Pressure-State-Impact-Response)

- 추진력(Driving force), 압력(Pressure), 상태(State), 영향(Impact), 반응(Response)지표를 이용한 홍수위험 평가방법
- OECD에서 개발한 PSR 모형을 개선하여 1999년 EEA(European Environmental Agency)가 제안한 모형
- 기존의 PSR 모형에서는 복잡한 생태학적 과정과 인간 환경의 상호 인과관계를 포함하지 못 하는 점을 인간의 행복은 환경의 질과 관계가 있고 사회의 활동과 경제적 압력은 환경과 인간의 행복에 영향을 친다는 개념을 추가하여 추진력과 영향으로 반영
- DPSIR 모형은 지표화의 지속가능성을 위하여 개발되었으며, 추진력-압력-상태-영향-반응으로 구분

DPSR 모형에 따른 홍수위험도 평가방법(EEA)(1999)

평가지표	평가기준	대체변수 예
추진력	환경에 영향을 미치는 사회 경제적 요소 홍수와 직접적인 관계가 없더라도 잠정적인 영향을 주는 인자	인구 자원사용량 교육수준 거주자수
압력	환경의 상태에 직접적으로 영향을 미치는 자연적인 요소 사회, 경제, 환경 분야별로 추수,방재의 필요성을 요구하는 인자	주요 사회기반시설 지역개발 계획
상태	환경의 질과 자연자원의 양을 정량적으로 측정 압력으로 인해 변화하거나 영향을 받을 것으로 예상되는 인자 홍수, 재해에 의해 예상되는 상태 또는 상태의 변화가 예상되는 인자	도시지역비율 범람 위험지역 빈도별 홍수위
영향	환경의 상태가 인간, 동물 생화학적 과정에 미치는 영향인자 상태에 발생하는 홍수, 재해로 인하여 야기되는 영향을 나타내는 인자	인명피해 홍수 피해액 홍수발생빈도
반응	환경의 변화에 대한 사회의 반응으로 환경개선을 위한 다양한 활동 홍수 등의 재해에 대한 분야별 치수, 방재 대응 인자	저수지 건설 제방增高



DPSR 모형의 입력자료 및 결과

○ PFD(Potential Flood Damage) 지수

- 홍수피해잠재능(PFD)은 특정 치수단위구역의 홍수에 대한 잠재적인 홍수피해의 취약 정도를 나타내는 지수
- 홍수에 의한 잠재적인 피해 정도를 나타내는 잠재성 요소(인구, 재산, 도시화율, 사회 기반시설)와 홍수피해가 발생할 가능성 및 이에 대한 방어능력 정도를 나타내는 위험성 요소(홍수피해액, 확률강우량, 하천개수율, 홍수조절용량)로 구성
- 대상구역의 빈도별 홍수위 자료를 이용하여 빈도별 침수면적을 산정하고 침수면적비를 이용하여 잠재위험도 산정

PDF 산정을 위한 구성요소

요소	세부항목	
잠재성	인구	
	자산	
위험성	도시화율	
	사회기반시설(도로, 철도, 교량)	
	가능성	홍수피해액 확률강우량
	방어능력	외수방어능력(제방 개수율) 댐 및 저수지 내수방어능력(배수펌프장)

○ FVI(Flood Vulnerability Index)

- 홍수 취약성 지수(FVI)는 노출과 민감도의 곱을 적응능력으로 나눈 값을 취약성으로 정의
- 동일한 적응능력에 대해 기후에 대한 민감도가 높을수록, 노출정도가 심할수록 취약성이 증가되는 것을 표현

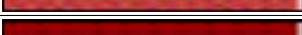
FVI 홍수 취약성 지수

Index	Component	Indicator	Description
Sensitivity	Meteorology	PN80	Number of days that 1-day precipitation is more than 80 mm (days)
		PXID	1-day maximum precipitation (mm/day)
	Hydrology	MDF	1-day maximum runoff (m^3/sec)
Exposure	Topography	ELEV	Average dlevation (m)
	Socio-Economic	POP	Population per unit area ($Person/km^2$)
		ASA	Asset per unit area (Won/m^2)
Adaptation Capacity	Flood Protection Facilities	CI	The ratio of secured bank stability (%)
		PUMP	Drainage capacity of pump ($m^3/minute$)
		DFC	Flood control capacity of dams ($10^6 m^3$)

○ FDVI(Flood Damage Vulnerability Index)

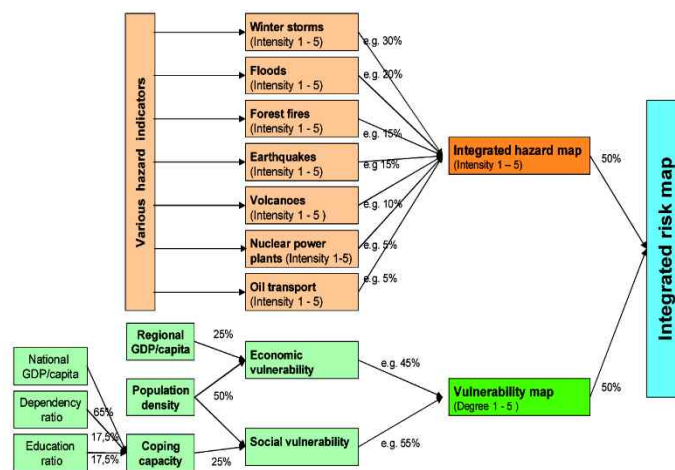
- 홍수 피해 취약성 지수(FDVI)는 홍수피해에 영향을 미치는 정도를 나타내는 민감도 지표인 기상·수문학적 지표와 홍수 피해에 대한 방어 능력 부족을 나타내는 적응능력 지표인 지형·사회·경제적 피해지표의 관계적 특성을 고려하여 산정된 지수
- 기상·수문학적 지표로는 연최대강우량, 지형적 피해지표로는 침수면적, 사회적 피해지표로는 인명피해, 경제적 피해지표로는 재산피해로 선정
- 침수면적은 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS) 침수실적조사자료 이용
- 홍수피해 취약성 지수는 연최대강우량과 유형별 홍수피해의 관계분석을 통하여 구분된 홍수피해 특성에 대한 홍수피해 취약성 등급의 평균으로 산정
- 홍수피해 취약성 등급(Flood Damage Vulnerability Rating, FDVr)은 유형별 홍수피해 정도(Low, Moderate, Severe)를 기준으로 연최대강우량의 크기별(Low, Normal, Heavy)로 가중치를 주어 1부터 9까지 등급 구분, 높은 등급 일수록 취약성의 정도가 높은 것을 의미

홍수 대미지 취약성 비율

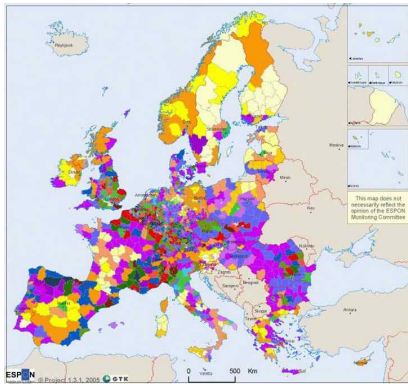
Class		Flood Damage Vulnerability Rating (FDVr)	Symbol
Flood Damage	Rainfall		
Low Damage	Heavy	1	
	Normal	2	
	Low	3	
Moderate Damage	Heavy	4	
	Normal	5	
	Low	6	
Severe Damage	Heavy	7	
	Normal	8	
	Low	9	

○ ESPON(The European Spatial Planning Observation Network)

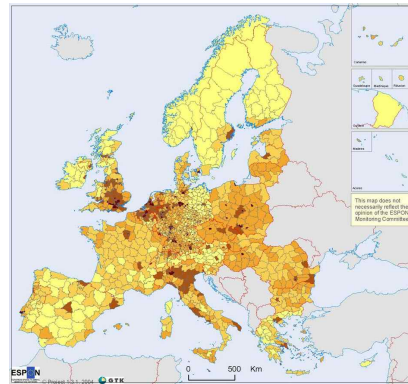
- 유럽에서는 ESPON(The European Spatial Planning Observation Network) 프로젝트를 시행하여 유럽 전역의 재해 위험도를 평가하여 다양한 정보를 공유 및 구축
- ESPON 131 Project에서는 재해 위험성과 취약성으로 구분하여 유럽 전역을 지수화



ESPON Project의 통합 위험지도 산정방법



ESPON 홍수위험성지도



ESPON 취약성 지도

○ 수자원장기종합계획

- 수자원 이용과 관련해서는 수자원장기종합계획의 물이용종합계획 기본방향(국토교통부, 2011)을 통해 전 국토에 대한 수자원 계획을 구축하고 있으며, 물이용뿐 아니라 하천환경의 생태성, 기후변화 대응, 공유하천의 물 안보 등에 대해 다루고 있음
- 수자원장기종합계획 내에서의 수자원 이용에 부정적인 영향을 미치는 홍수의 영향을 평가하기 위한 지표인 홍수위험도와, 하천환경의 질적 평가를 수행하기 위한 지표인 하천환경평가지표를 개발하여 일부 유역을 대상으로 수행하였음
- 홍수 위험도는 기상, 수문지형, 사회경제, 홍수방어 인프라를 반영하여 통합적인 위험도를 평가함으로써 지역별로 홍수피해의 특성을 평가하여 지역별 치수대책을 차별하여 적용하였으며, 수자원장기종합계획에서는 기상, 수문지형, 사회경제, 홍수방어 취약성으로 구성된 지표를 기준으로 평가항목을 구축하였음
- 하천환경 평가지표는 하천의 자연도, 수질, 서식환경, 친수성을 종합적으로 고려하여 평가할 수 있도록 함으로써 하천환경 현황 파악 및 관리·개선의 목표를 수립하기 위해 구축되었으며, 하천자연도, 생물서식처, 친수성, 수질로 구성된 지표를 기준으로, 각 지표내의 평가항목을 구축하여 합산한 뒤 점수화하여 5등급으로 구분하였음

홍수 위험 지표 및 평가항목

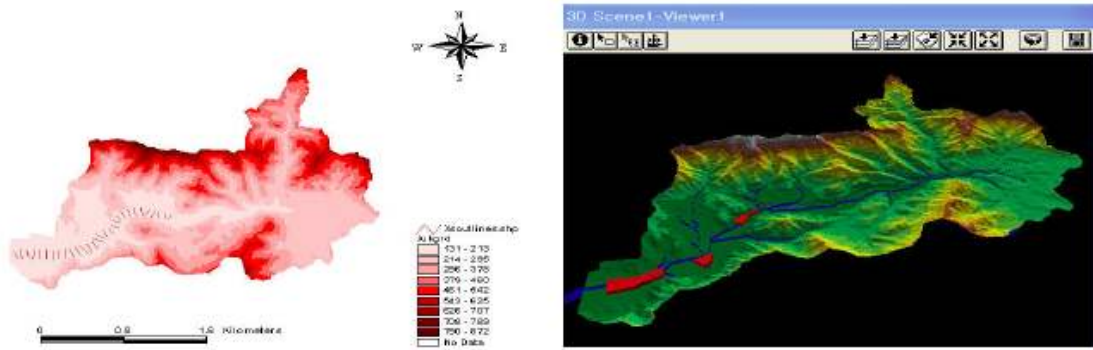
지표	평가항목
기상	극한강우사상 빈도, 일강우사상 빈도
수문지형	홍수위험지역, 홍수피해규모지표, 불투수율, 유역경사도
사회경제	인구밀도, 재정자립도, 의존인구비율
홍수방어 취약성	제방정비율, 배수펌프장 개소수

자료 : 국토교통부(2011), 수자원장기종합계획

□ 국내외 홍수 홍수범람모의 기술 조사

○ HEC-RAS

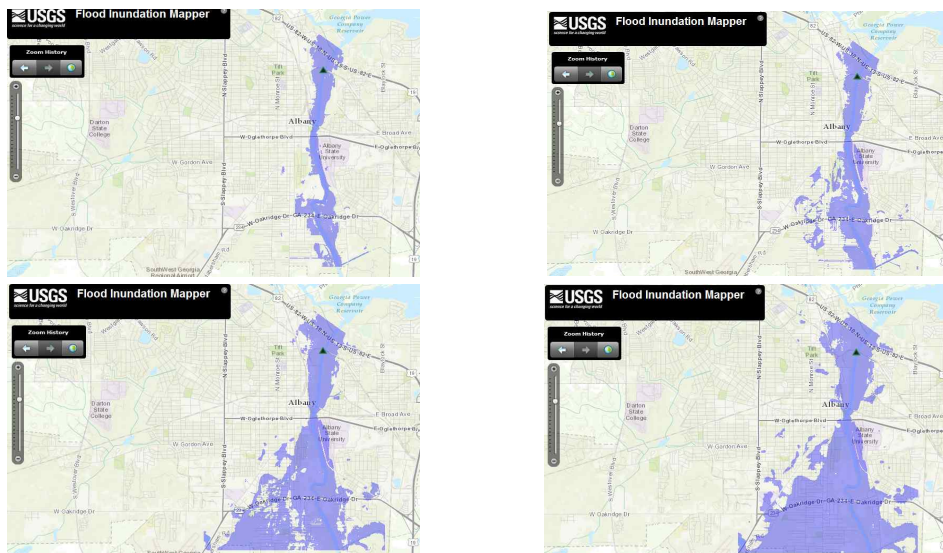
- 미육군공병단 수문연구소에서 개발한 상류, 사류, 혼합흐름영역에서 교량, 암거, 웨어 홍수터 및 저류지 등의 수공구조물을 고려하여 수면곡선을 계산하는 프로그램
- HEC-GeoRAS 모형을 이용하여 3차원 표출이 가능



HEC-GeoRAS 모형을 이용한 3차원 표출

○ USGS 홍수지도 프로그램(Flood Inundation Mapping, FIM)

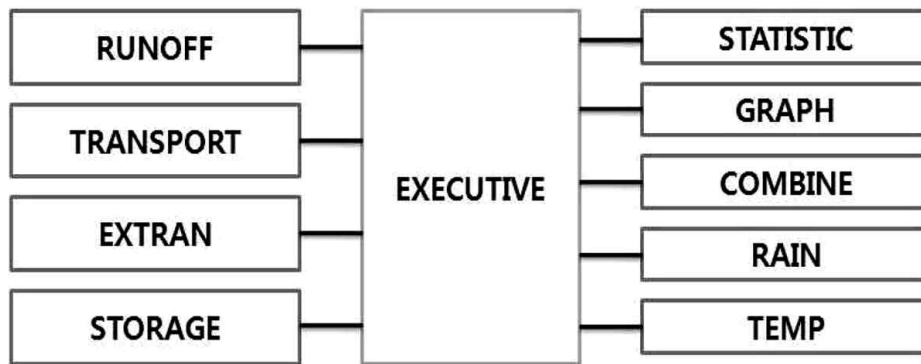
- 커뮤니티들이 생명과 재산을 보호하도록 하기 위하여 홍수위험도를 이해하고 효과적인 저감대책을 수립하도록 정보와 툴을 제공한다.
- 다양한 하천 수위에 따라 발생하는 홍수들을 지도로 만들어 놓은 것
- 하천 수위를 연장하여 예상 침수지도를 작성



수심에 따른 침수지도

○ SWMM

- 강우사상에 대해 배수유역에서의 유출과 오염부하량을 모의
- 임의의 강우우량도, 선행강우조건, 토지이용도, 지형도, 관거자료, 토지이용별·오염물질별 축적 및 쓸림 등의 자료를 이용하여 유출수문곡선 및 오염물 농도곡선을 계산
- RUNOFF 블록의 관로유출은 비선형저류방정식으로 계산된 안정된 해를 얻기 위해서 연속방정식과 Manning식을 이용



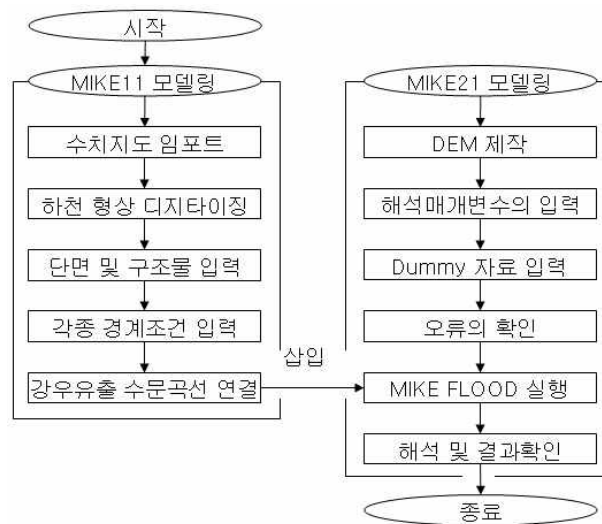
Organization of SWMM



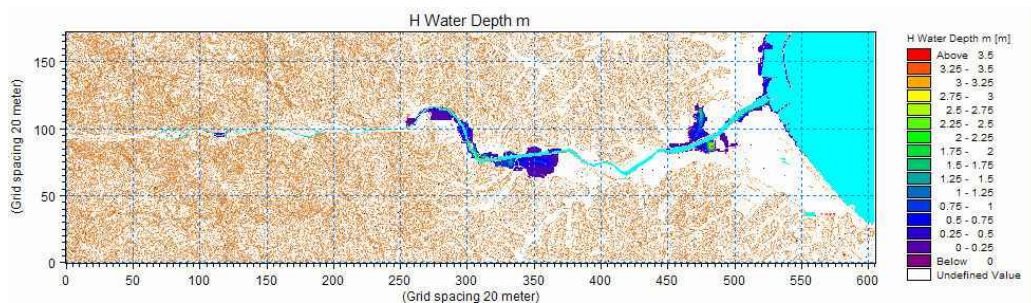
설계강우량에 따른 침수면적 침수심

○ MIKE FLOOD

- 1차원 모형인 Mike 11모형의 하도를 2차원 모형인 Mike 21모형의 격자를 연결시키는 역할
- 하도 수위가 제방을 월류하는 양을 Mike 11에서 계산하여 Mike 21의 격자에 2차원 방정식으로 홍수 범람 양상 모의
- 대상구역의 침수자료를 그리드로 나타내어 수치지도 기반의 평면상에 가시화
- 3차원 가시화로 시간의 흐름에 따른 홍수의 발생과 이동 확인 가능



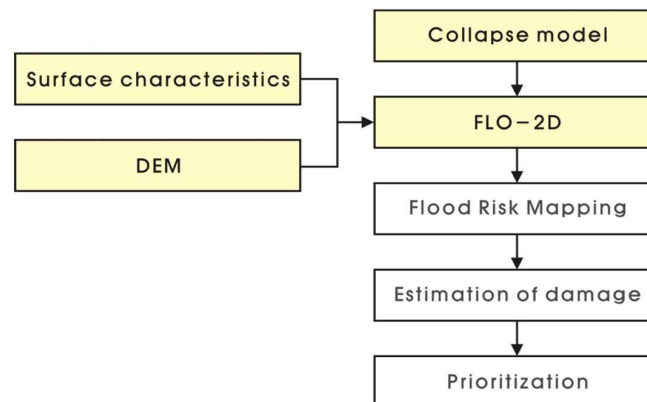
MIKE FLOOD 작업 흐름도



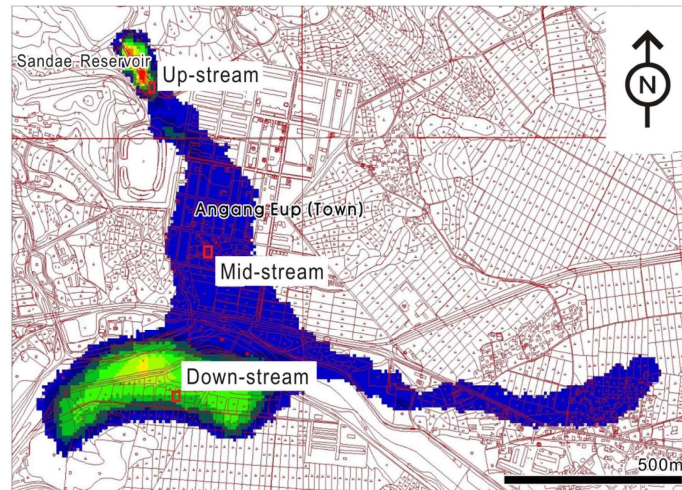
홍수위험범위 산정

○ Flo-2D

- 체적을 보존시키면서 홍수의 추적 재현해내는 모형
- 지표면 홍수 모의를 시작으로 도시지역 건물, 교량, 제방 등 유동 장애물, 유동 경로에서 손실 등에 대한 구성 요소를 시뮬레이션 추가 가능
- 홍수외에 토석류 모의 가능
- 댐 붕괴모형과 연계한 침수심, 침수범위 모의 가능



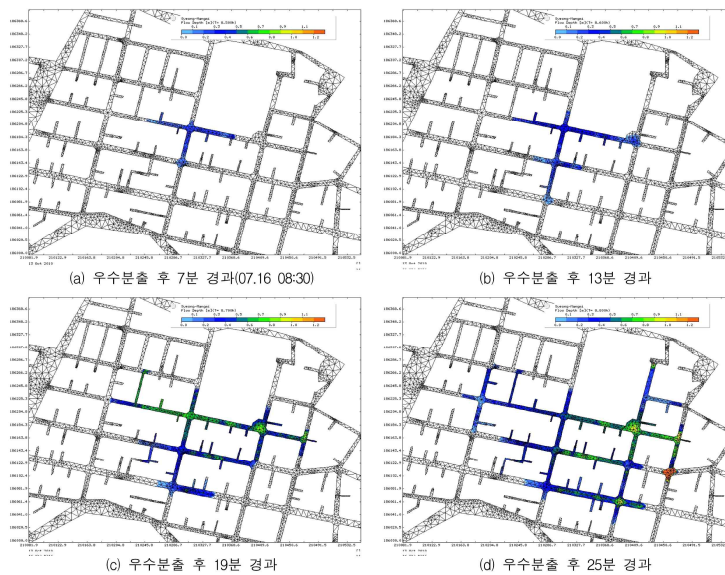
홍수모의 흐름도



저수지 붕괴시나리오에 의한 침수 면적 산정

○ FLUMEN

- 수심 적분된 비선형 천수방정식에 불규칙 삼각망을 이용한 유한체적법(finite volume method)이 적용된 수치모형
- 하천의 합류점이나 만곡부분과 같이 수리학적으로 복잡한 해석에 적합한 상용 모형



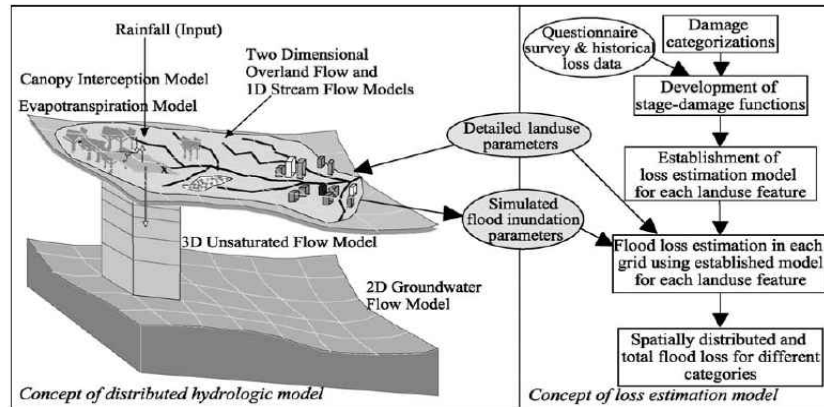
시간에 따른 침수범위 산정

○ Integrated Model(Dutta, 2003)

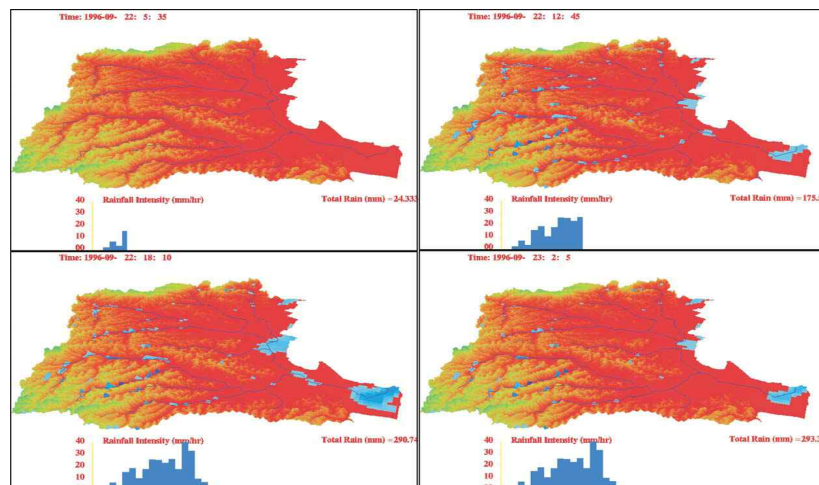
- 분포형 수문모형과 분포형 홍수재해 손실 모형의 조합
- 수문모형은 물리적인 지배방정식을 사용하여 물순환 과정을 모의하며, 물의 전파를 모의하기 위해서 지배방정식에 대하여 수치해석을 실시
- 홍수 특성에 영향을 미치는 제방 및 저류지와 같은 홍수조절시설물을 고려해서 홍수

상황을 모의

- 홍수재해 손실 모형은 침수 매개변수(침수심, 유속, 침수시간)와 토지이용 특성 사이의 수위-피해 관계를 고려하여 구성
- 홍수사상 동안 수문모형을 모의하여 얻어진 홍수 매개변수에 기초하여 토지이용에 따른 도시, 농촌, 기반시설의 유형적 손실을 계산



통합 모형의 개략도



시간 경과에 따른 침수 상황 변화

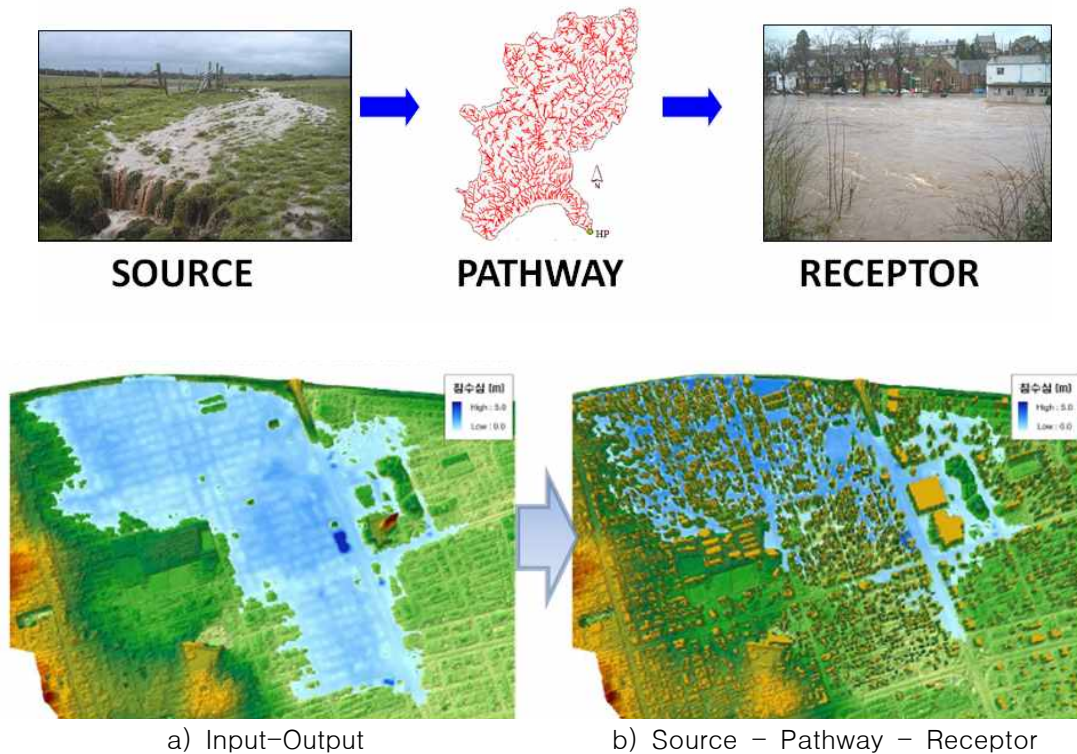
□ 인벤토리를 반영한 홍수범람 모의기술 개발

○ S-P-R 기법의 필요성

- 기존 위험지역 산정시 유역내에 동일 표고로 홍수범람지역을 산정함에 따라 홍수위험 지역의 정확성이 떨어지며, 특히 도심지의 경우 각종 구조물로 인하여 그 정확성이 낮음
- 따라서 기존의 1차원적 침수심만을 고려한 수변지역 위험성 판단에서 격자기반의 침수면적, 침수심, 전파속도를 고려한 수변지역내 격자별 침수심을 산정하여 좀 더 정확한 수변지역의 위험성을 판단할 수 있는 S-P-R 기법이 필요
- S-P-R 기법은 시간에 따른 침수-확산 경로(pathway)를 단시간에 분석하여 재난발생

시 효과적으로 대응 하기위한 방법

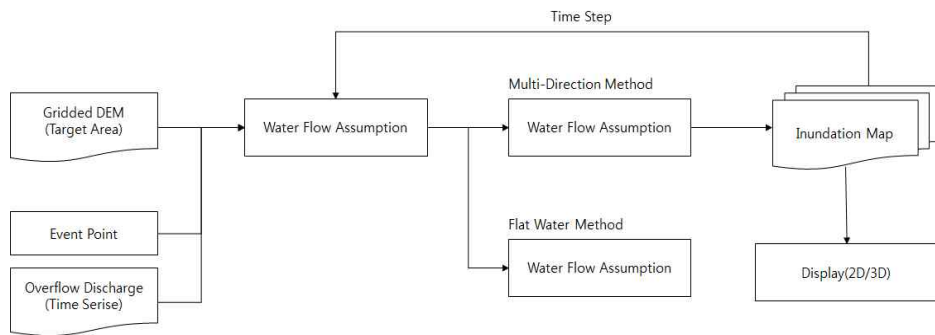
- S-P-R 기법은 Source - Pathway - Receptor의 약자로 기존의 Input(홍수위)-Output(피해면적) 개념의 홍수범람지역 산정방식에서 Pathway(경로)를 고려한 홍수위험 평가 기법



S-P-R의 개념

○ S-P-R기법을 적용한 홍수범람모형(SIMOD)의 개발

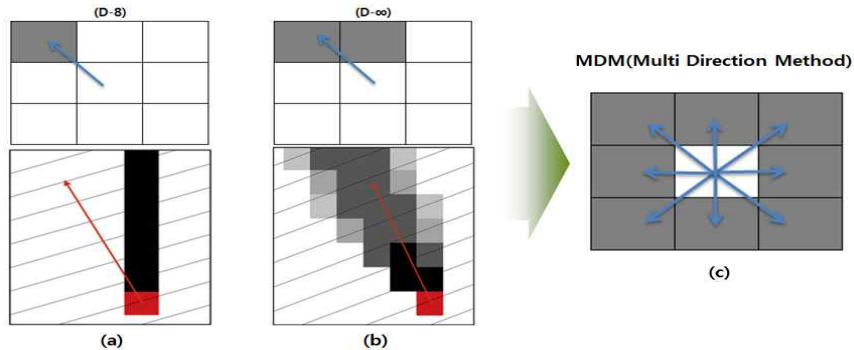
- 국외의 경우 지표유출, 지하유출, 증발산, 임관차단 모형 등 다양한 모형을 연계하여 홍수 범람을 예측하기 때문에 모형 상호간의 관계가 복잡하고 모형을 구축하더라도 모형을 적용하는데 수일의 시간이 소요됨
- 따라서 본 연구에서는 홍수모의 시간을 단축하기 위해 기본적인 수리수문 알고리즘을 단순화하여 SIMOD(Simplified Inundation Model)을 개발
- 각 시나리오를 기반으로 발생된 홍수범람유량을0 시간에 따라 임의의 셀에서 발생시킬 수 있고, 시작 셀에서부터 특정 시간 간격의 유출총량은 첫째 다중흐름방향법(Multi Direction Method, MDM), 둘째 최저고도접근법(Lowest Elevation Approach, LEA), 셋째 평수가정법(Flat-Water Assumption, FWA)의 세 가지 알고리즘에 의하여 시간에 따른 침수-확산 모의가 가능



SIMOD 모듈의 흐름도

① 다중흐름 방향법(Multi Direction Method, MDM)

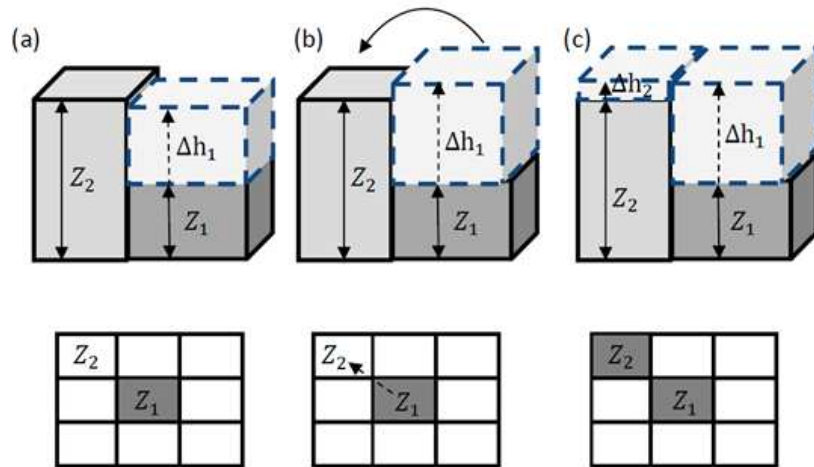
- 홍수 시나리오를 통해 발생한 홍수범람유량이 시작하는 루트 셀을 결정하면, 이 루트 셀로부터 홍수가 시작되고 발생한 홍수총량은 인접한 셀로 할당되어 이동하게 되는데 기존의 할당 방법은 단일흐름방향법(Single Direction Method, SDM)을 주로 이용
- 실제의 홍수범람에 의한 흐름방향은 경사에 따라 여러 방향으로 나타날 수 있기 때문에 루트 셀보다 낮은 인접셀에 홍수총량을 할당하는 방법으로 각 인접셀의 고도차를 가중치로 할당하는 방법인 MDM(Multi Direction Method)을 사용



홍수 흐름 방향 설정

② 평수가정법

- 평수 범람 모델(flat-water inundation model)은 ‘루트가 시작되는 다수의 셀에서부터 물이 확산’된다는 개념을 기반으로 하며, 입력값(input)으로서 물 부피(water volume), 경계 정보(boundary information)와 DEM 만을 사용
- 자세한 수리학 및 수문학적 데이터가 부족하여 복합 모델을 사용하는 것이 여의치 않을 경우 이 평수 가정을 사용
- ①물은 제일 먼저 루트 시작 셀(route starting cell)들에 점증적으로 누적(예: 그림 a의 Z1). ②수위는 물 확산 조건 $[Z1 + \Delta h1 > Z2]$ 이 충족될 때까지 증가(그림 b). ③계속 물이 더해짐으로써 $\Delta h2$ 는 평수 가정 $[Z1 + \Delta h1 = Z2 + \Delta h2]$ (그림 c)을 만족시켜야 한다. 모델링 영역에서 Δh 가 추가되는 셀은 홍수유입량에 따라 점증적으로 증가되어 확산된다.

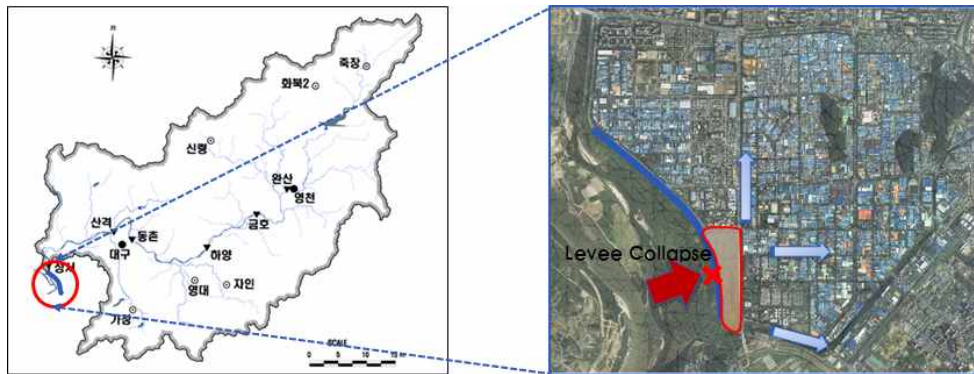


평수가정 방법(Yang et al. 2015)

□ 대상지역 선정 및 모형 적용

○ 대상지역 선정

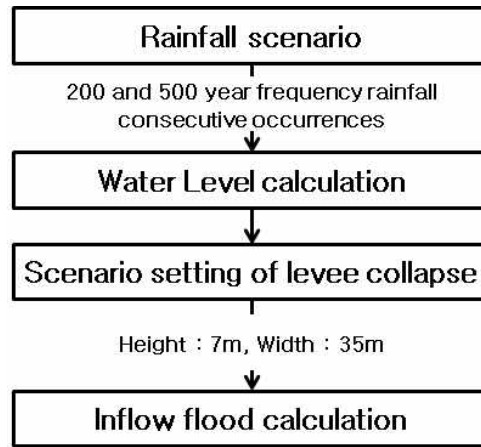
- SIMOD 모형을 적용하기 위한 대상지역은 하천이 인접해 있고 제내지가 건물, 도로 등의 시설에 의한 영향을 분석할 수 있는 지역인 금호강 하류에 위치한 제방(성서제)을 대상지역으로 선정
- 금호강 유역은 대구광역시, 경상북도의 경산시, 영천시, 포항시, 칠곡군 등 총 1개 광역시, 1개도, 3개시, 2개군, 7개구, 4개읍, 20개면의 전체 또는 일부를 포함하는 유역으로 유역면적 2,092.42km², 유로연장 116.0km 임



대상지역 위치

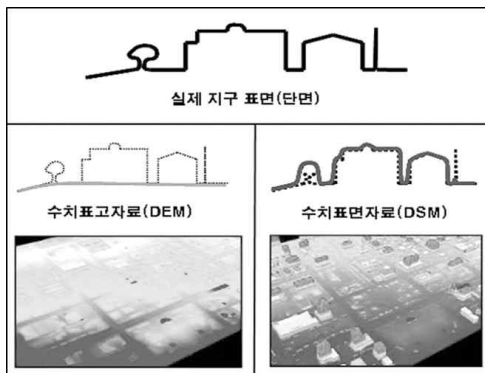
○ 입력자료 구축

- SIMOD 모듈을 적용하기 위하여 금호강 하류에 위치한 성서제 제방붕괴로 인해 홍수가 월류하여 제내지의 저류지로 유입하여 유입수가 저류지를 넘어 제내지(산업단지)로 유입하는 시나리오를 설정
- 제방붕괴지점 제방고 상단 기준 높이 7m, 폭 35m의 제방이 유실된 것으로 가정
- 이때 하천에서의 접근속도는 무시하였으며 홍수유입으로 인한 하천수위변화는 없는 것으로 가정

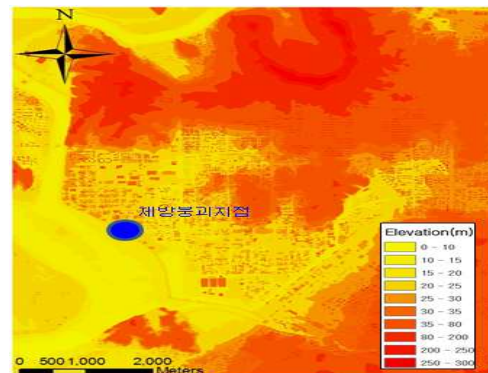


유입홍수량 산정 흐름도

- SIMOD 모형의 입력자료는 유입홍수량과 지형자료(DEM 또는 DSM)의 두 가지 입력자료로 모의가 가능
- 본 연구에서는 시설물의 영향을 고려하고자 하였기 때문에 실세계의 모든 정보, 즉 지형, 수목, 건물, 인공 구조물 등을 표현하는 수치표면모형인 DSM을 사용하여 홍수범람모의를 수행



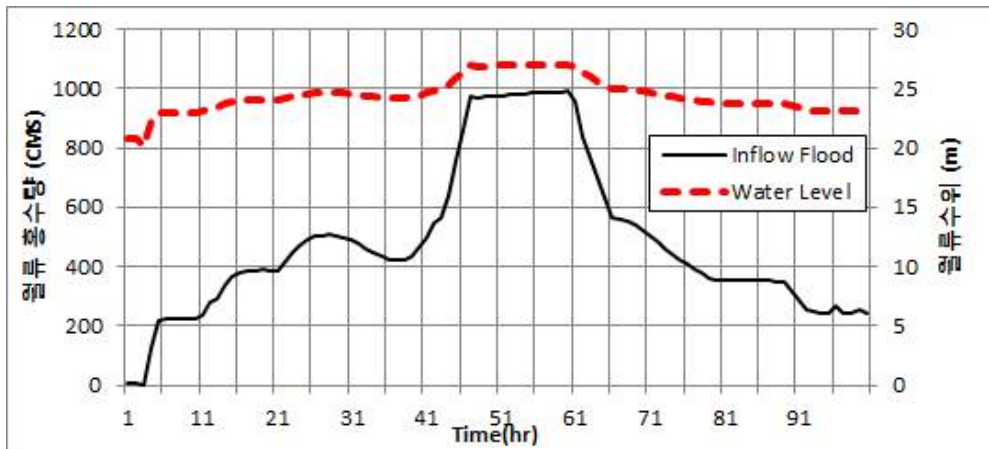
DEM vs DSM 개념도



지형자료(DSM) 구축

표 7. 유입홍수량 산정

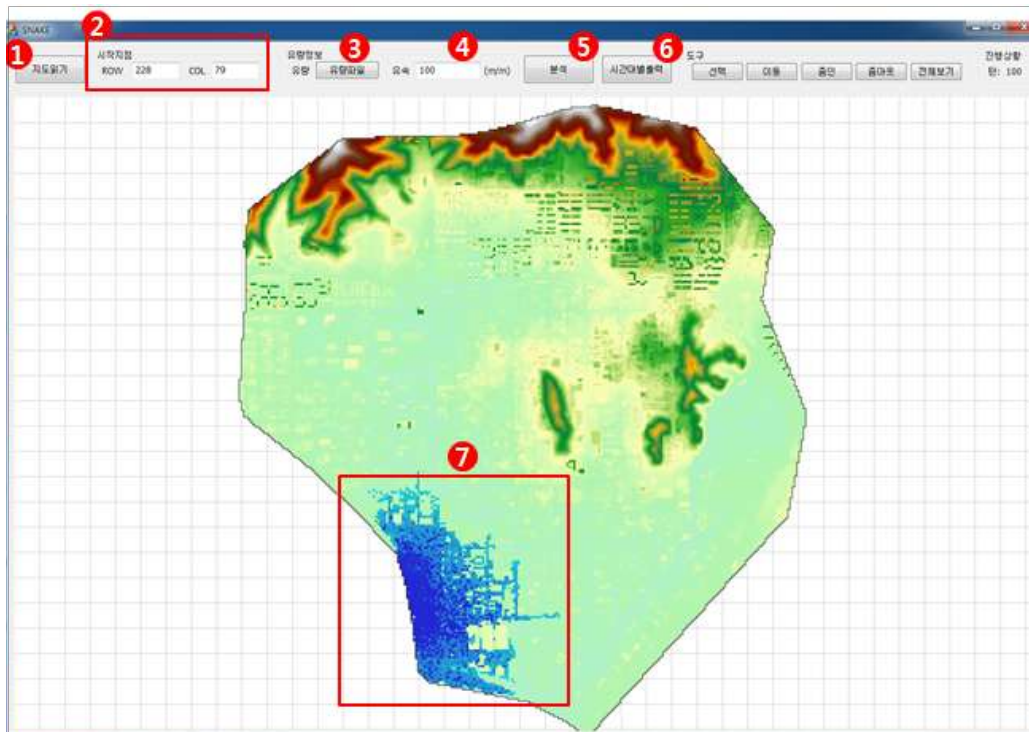
Time (hr)	Total Outflow (m3)	Time (hr)	Total Outflow (m3)	Time (hr)	Total Outflow (m3)
30	2,055,750	55	36,406,264	80	99,849,314
35	6,133,322	60	44,462,268	85	117,492,331
40	12,077,848	65	52,536,904	90	130,134,271
45	19,036,509	70	64,653,536	95	139,754,559
50	27,411,181	75	82,179,722	100	147,738,737



월류 홍수량 및 월류 수위

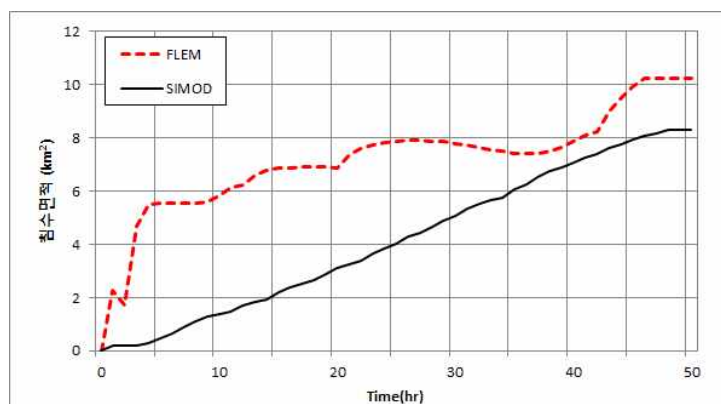
○ 모형의 적용

- 아래 그림은 SIMOD모형의 메인 화면이며 구성은 아래와 같음
- 1번(지도읽기) : 아스키(American Standard Code for Information Interchange)파일 형태의 DEM 또는 DSM파일을 불러올 수 있다.
- 2번(좌표입력) : 홍수 유입이 시작되는 격자로 화면의 좌표값을 입력하거나 마우스를 이용해 원하는 시작 격자를 정할 수 있다.
- 3번(유량파일) : 시간별 누가유출총량을 엑셀이나 텍스트 형태로 불러올 수 있다.
- 4번(유속값) : 분당 이동거리를 입력하게 되어 있으며 제방붕괴지점에서의 시간당 평균유속을 사용한다.
- 5번(분석) : 자료입력 후 분석을 누르면 모형이 구동된다.
- 6번(출력) : 모형의 결과는 6번 시간대별출력 버튼을 누르면 된다.
- 7번(결과) : 시간대별로 침수-확산범위가 출력되게 된다.
- 출력된 자료는 시간대별로 아스키 파일로 저장되어 GIS 툴을 이용하여 확인할 수 있다.
- 적용된 모형의 적합성을 분석하기 위하여 월류수위를 연장하는 방법인 FLEM (Flood Level Extension Method)과SIMOD 결과를 비교 분석
- FLEM은 월류수위연장법으로 유입되는 월류수위를 표고값으로 하여 월류수위보다 낮은 표고값을 가지는 지역을 침수범위로 산정하는 방법으로주로 홍수위험지도를 작성할 때 사용하는 방법



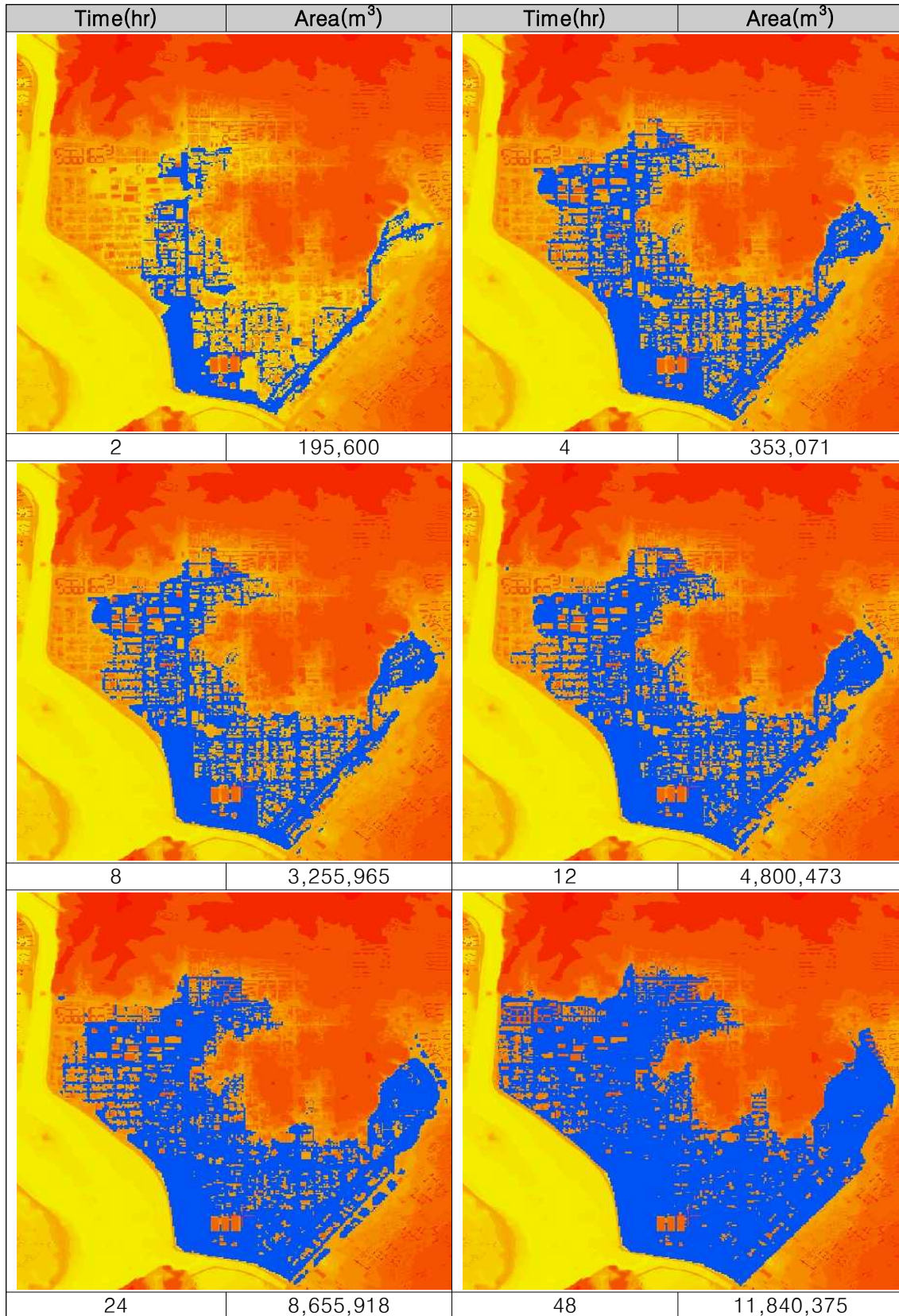
SIMOD 모듈의 메인화면

- 모형의 비교를 위해서 모의시간은 최고월류수위를 나타내는 48시간까지의 침수확산 면적을 비교
- 방법1인 월류수위를 연장하는 FLEM 방법은 월류가 시작되는 시간부터 바로 피해면적이 크게 증가하고 40시간 이후에 SIMOD 결과와 어느정도 근접
- 따라서 FLEM 방법으로는 전체적인 피해면적을 판단할 수는 있지만 월류 시작후 수 시간 동안의 시·공간적 침수확산 범위는 모의할 수 없음
- SIMOD를 이용한 방법은 시간에 따른 침수면적이 비교적 연속적으로 증가
- SIMOD의 가장 큰 장점은 시·공간적변화 즉, DSM을 이용한 지형자료로 인하여 시간에 따라, 그리고 침수범위내의 시설물 위치에 따라, 그 흐름 경로(pathway)의 변화를 모의할 수 있음

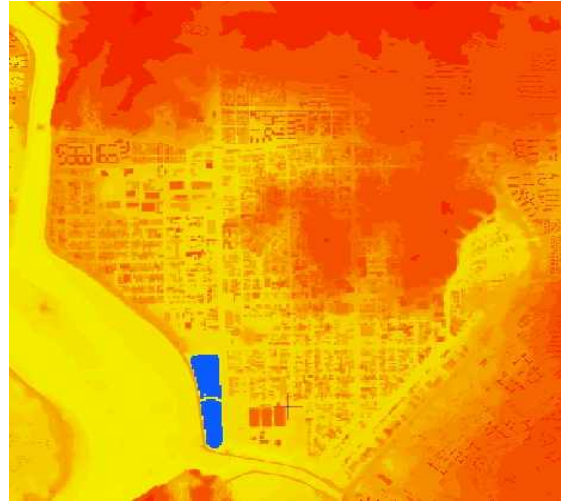
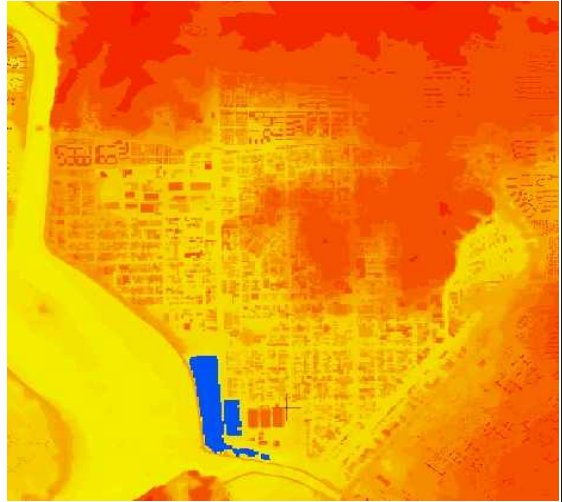
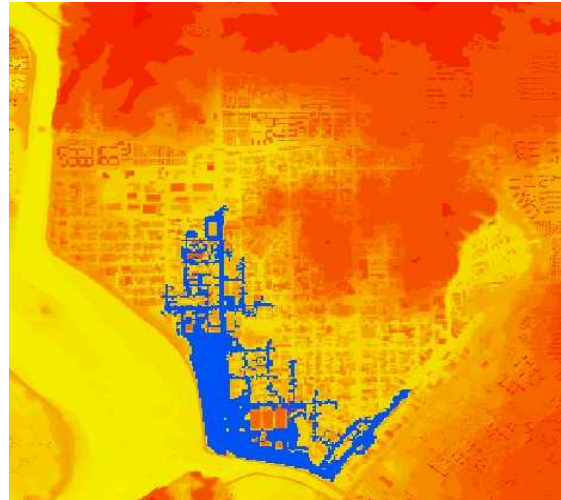
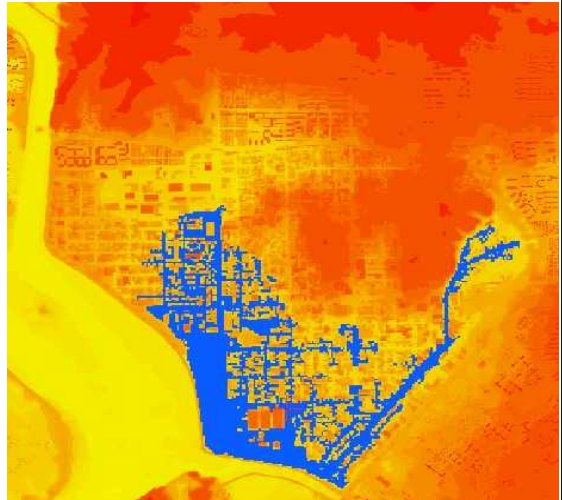
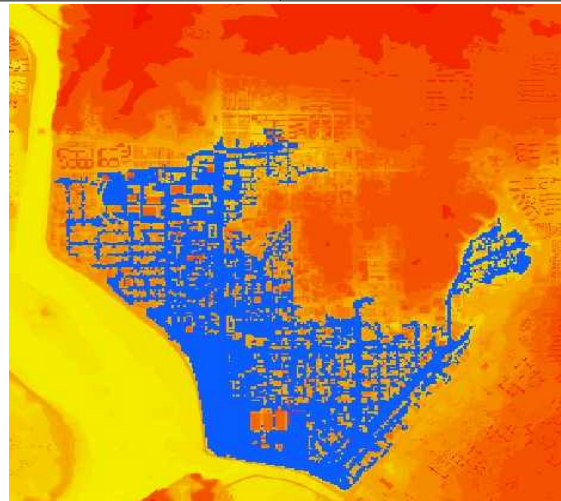
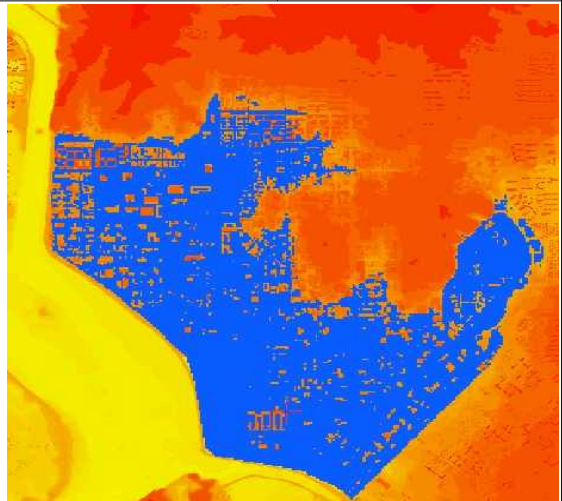


홍수침수 면적 비교

시간에 따른 홍수범람면적 변화(LEIM)



시간에 따른 홍수범람면적 변화(SIMOD)

Time(hr)	Area(m ³)	Time(hr)	Area(m ³)
			
2	93,042	4	303,630
			
8	1,122,843	12	1,698,334
			
24	3,861,888	48	8,286,728

□ 홍수위험성 지표 개발

○ 위험성의 정의

- 어느 지역의 홍수에 대한 안전을 규명하려면 먼저 안전에 대한 정의를 내려야 한다.
안전이라는 개념은 다음과 같이 4가지로 정의
 - ① 안전은 「재해로부터 자유로운 것(freedom from hazard)」으로 인적·물적 피해를 가져올 수 있는 모든 상태의 위험을 사전에 방지하는 소위 ‘근원적 안전성 확보’ 방법
 - ② 안전은 「위험 노출로부터 사람과 재산을 보호하는 것(protection of accidents)」으로 보호시설 및 보호 장치를 설치하는 것
 - ③ 안전은 「사고 또는 재해 발생을 방지하는 것(prevention of accidents)」으로 교육 및 홍보 등을 이용한 예방
 - ④ 안전은 「위험성을 받아들일 수 있는 수준으로 관리하는 것
- 과학적·객관적으로 재해가 발생할 확률과 강도를 받아들일 수 있는 수준으로 낮추는 것을 위험성 평가(risk assessment)라고 함
- 이처럼 안전의 의미는 상황에 따라서 다양하게 이용되고, 이를 정량적으로 평가하는 것은 매우 어렵기 때문에 일반적으로 위험성을 이용하는 방법을 사용하고 있다. 즉, 안전하다는 의미는 위험성이 낮고, 위험성이 높으면 안전하지 않다는 의미에서 지역의 안전을 평가
- Ansell과 Wharton(1992)은 위험성은 ‘재해발생 확률과 재해발생의 결과로 파생되는 손실의 결합에 의해 추정’된다고 표현, 이 위험성의 정의를 식으로 표현하면 다음과 같음

$$\text{위험성(Risk)} = \text{발생가능성(Likeihood)} \times \text{발생결과(Consequence)}$$

- 홍수위험에 대해서 Kron(2003)의 설명에 따르면, 자연재해 중 홍수와 관련된 홍수사상 또는 홍수사상의 발생확률을 나타내는 재해위험성(hazard), 홍수위험지역에 있는 경제적 자산이나 인명의 노출성(exposure), 그리고 홍수방어능력의 부족을 의미하는 취약성(vulnerability)의 세 가지 요소들을 곱함으로써 홍수 위험을 표현 할 수 있다고 정의

$$R = P \times C$$

$$R = \text{홍수위험도(Risk)}$$

$$P \equiv \text{재해위험성(Hazard)}$$

$$C \text{노출성(Exposure)} \times \text{취약성(Vulnerability)}$$

○ 취약성의 정의

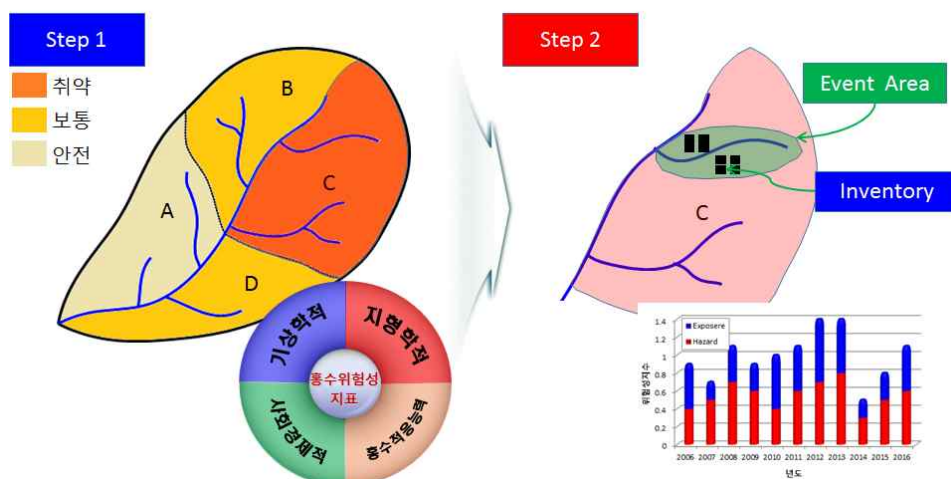
- 홍수위험성 분석이란 과거에 얼마나 많은 피해가 얼마나 자주 발생했는가를 의미하는 것으로 다른 말로 얼마나 홍수에 노출이 되어 있는가를 의미
- D&E Reference Center(1998)는 지역의 안전을 평가하기 위해서 “어떤 지역의 재해 위험성과 위험 발생확률을 산정하기 위해 지역의 재해위험(Hazards)과 취약도

(Vulnerability)를 결정하는 것”이라고 정의

- Benouar과 Mimi(2001)는 취약도(vulnerability)는 재해 위험성(Hazard)의 각 요인별 약점과 강점이라고 정의
- 취약성이란 잠재되어 있는 재해 피해의 가능성을 분석하는 것이라고 할 수 있음
- 2002년 UN의 보고서에서는 취약성을 어느 지역과 사회가 지속적으로 증가하는 홍수의 영향에 대해서 물리적, 사회적, 경제적, 환경적인 요인의 결과로 나타나는 조건이나 상태를 의미한다고 정의
- Pearce(1993)가 취약성을 지형-물리적인 요소와 지도상의 다양한 요소를 포함한 위험을 관리하는 지표로 정의하면서, 지형학적 요소, 지리학적 요소, 교통과 사회 인프라 시설, 중요 건물과 교량, 인문학적인 요소를 고려해야 한다고 제시
- 전 세계적으로 잠재적인 즉, 발생 가능한 여러 취약성 인자들에 대한 다양한 접근 및 연구가 진행중이며 이상기후에 의한 이상홍수 현상은 기상학적 취약성의 관점에서 연구되어지고, 급격한 도시화에 의한 인구 증가는 사회학적 취약성 관점에서 연구가 진행중

○ 홍수위험성 지표 선정

- 본 연구에서는 GIS기반의 지역적 특성을 고려할 수 있는 홍수 위험성지표를 개발하고자 함
- 홍수위험성 지표는 2단계로 구성되어 있으며, 1단계는 기상학적, 지형학적, 사회경제적, 홍수적응능력으로 4개의 대단위 지표를 선정
- 2단계는 인벤토리가 고려된 홍수범람예상지도를 적용한 Hazard 지표, Critical 시설과 Environment 시설을 고려한 Exposure 지표로 구성하여 선택적 위험성 평가방법을 제시



홍수위험지표 산정 개념도

- 기상학적지표, 지형학적지표, 사회경제적지표, 홍수적응능력지표를 이용하여 홍수 위험도 평가

- 홍수위험성지표 계산방식은 아래와 같음, C= 기상학적 지표, G= 지형학적 지표, S= 사회·경제적 지표, P= 홍수대응능력 지표

$$\text{홍수위험성지표} = C + G + S - P$$

Step 1 평가지표 항목

평가지표	평가기준	대체변수
기상학적지표	유역내 기상학적 요소에 대한 물리, 환경적 위험성을 평가하기 위한 지표 강우강도 및 지속일수 변동성 정도 분석	- 일강우량 80mm이상 지표 - 연강수량지표
지형학적지표	위험성을 가중시킬 것으로 예상되는 인자	- 유역평균경사 - 불투수율
사회경제적지표	기상학적지표로인해 변화하거나 영향을 받을 것으로 예상되는 인자	- 인구밀도 - 13세이상 65세 이하 인구비율 - 여성비율
	재해 발생 후 원상대로 복구 할 수 있는 능력을 대표할 수 있는 인자	- 재정자립도
홍수적응능력	유입량 변화 추세를 분석하여 기존 시설물의 배수능력 평가	- 외수방어능력(하천개수율) - 내수방어능력

○ 기상학적 지표

① 일강우량 80mm 이상 지표

- 일 강우량이 80 mm 이상인 일 수를 이용한 지표로서 일 강우가 80 mm 이상인 경우 홍수에 취약하다고 판단
- 일강우지표는 0부터 1까지의 수치를 가지도록 하며 일강우량이 80 mm 이상인 일수와 총 강우일수와의 비율로서 산정

$$80mm\text{이상일강우지표} = 1 - \frac{\text{일 강우량}80mm\text{이상일수}}{\text{강우일수}}$$

② 연강수량지표

- 연강수량지표는 가뭄취약성 지표인 강우지표와 동일한 개념으로, 평년 강우량과 해당 년도의 강우량을 비교하여 홍수 취약성을 나타낼 수 있지표임
- 해당년도의 강우량이 평년의 강우량보다 많을 경우, 홍수의 위험성이 있다고 판단하고 이를 지표화하여 홍수취약성을 평가하며 산정식은 다음과 같음

$$\text{연 강우량 지표} = 1 - \frac{\text{연 강우량} - \text{평년 강우량}}{\text{평년 강우량}}$$

$$\text{연 강우량 지표} = 1 \quad (\text{연 강우량} < \text{평년 강우량})$$

$$\text{연 강우량 지표} = 0 \quad (\text{연 강우량} > \text{평년 강우량} \times 2)$$

○ 지형학적 지표

① 유역평균경사

- 유역의 경사가 급하면 지표면 유출의 속도가 빨라져 침투유출량의 발생시간이 짧아지고 침투유출량의 크기도 커짐
- 경사가 급하면 돌발홍수 발생가능성도 커지며 도시지역 침수시 침투홍수량 발생시간은 매우 중요한 역할을 하는 인자
- 유역 평균경사는 DEM과 GIS의 Terrain Preprocessing기능을 이용하여 산정

② 불투수율

- 도시하천은 자연토가 적어 집중호우로 인한 내,외수 범람에 취약한 특성을 가지므로 도시하천에서는 중요한 인자임
- 불투수율은 토지이용도를 이용하여 산정할 수 있으며 아래와 같은 표를 이용하여 계산

토지이용도를 이용한 불투수율 산정 방법

토지피복분류	불투수율
수역	0
시가화, 건조지역	0.742
나지	0.442
습지	0.241
초지	0.440
산림지	0.136
논	0.241
밭	0.271

③ 사회경제적 지표

- 사회경제적 지표는 도시 내 사회경제적 취약성을 나타내는 지표로 인구밀도, 13세이상 65세 이하 인구비율, 여성비율과 도시 내 적응능력을 나타내는 지표로 재정자립도를 선정
- 사회경제적 지표는 한국 통계청(kostat.go.kr)에서 제공 받아 구축

④ 홍수적응능력

가. 외수방어능력(하천개수율)

- 하천의 개수율은 홍수대응능력을 평가할 수 있는 중요한 인자로서 하천의 개수율이 높을수록 홍수에 대응할 수 있는 능력이 높은 것으로 판단할 수 있으며, 한정 식은 다음과 같음

$$\text{하천 개수율 지표} = \frac{\text{개수화된 하천 연장}}{\text{하천연장}}$$

나. 내수방어능력

- 내수방어능력은 배수장의 홍수대응능력을 종합적으로 판단한 지표이며 산정식은 다음과 같음

$$\text{내수방어능력지표} = \frac{\sum \text{배수량}}{\sum \text{일 강우 } 80\text{mm 이상 강우량} \times \text{유역면적}}$$

$$\text{내수방어능력지표} = 1 \quad (\sum \text{배수량} > \sum \text{일 강우 } 80\text{mm 이상 강우량} \times \text{유역면적})$$

○ 선택적 위험성 평가를 위한 하위지표 산정 방안

- 사회·경제적, 환경, 공간특성을 고려한 선택적 위험성평가를 통해 지표를 산정



Step 2 평가 방법

Step 2 평가 지표 항목

평가지표	평가기준		대체변수
Hazard	인벤토리가 고려된 홍수범람 예상지도 Hazard를 가속화 시킬 것으로 예상되는 인자		홍수범람예상지도 유역경사도 불투수율
Exposure	Critical 시설	Hazard에 노출되어 피해를 가중시킬 것으로 예상되는 인자	발전시설 배수펌프장 소방서 및 응급시설
	Environment 시설	Hazard에 노출되어 환경적인 피해를 가중시킬 것으로 예상되는 인자	유류처리시설 중요 생태 서식지 화학물질 배출 시설 하수처리장 폐기물 처리시설

[결 론]

- 본 연구에서는 S-P-R 기반의 홍수모형을 개발하였으며 타 홍수모형과의 비교를 통하여 활용성을 확인하였음
- 홍수위험성 지표 선정을 위하여 1단계(기상학적, 지형학적, 사회경제적, 홍수적응능력), 2단계(Hazard지표, Exposure 지표)로 구성하여 선택적 위험성 평가방법을 제시하였음

B-2 기후변화 시나리오 기반 공간상세화 기법 개발 및 실증

[연구 수행 내용]

- ① 관측 강우자료 수집 및 관측 확률강우량 산정
- ② 미래 기후변화 시나리오 자료 수집 및 편의보정
- ③ 지점별 스케일 특성 검토 및 IDF 곡선식 도출
- ④ Scale-invariance 기법 및 RCM 자료의 적용성 분석
- ⑤ RCP 8.5 시나리오 전망 분석 및 미래 IDF 곡선식 도출
- ⑥ 지역별 미래 확률강우량 산정
- ⑦ 타 연구과제 확률강우량과의 비교
- ⑧ 미래 확률강우량 산정 프로그램 개발

□ 관측 강우자료 수집 및 관측 확률강우량 산정

- 기상청 관할 60개 기상 관측소의 시간단위 관측 강우량자료를 기후변화 시나리오의 현재기간에 맞추어 1981년부터 2005년까지 수집함(data.kma.go.kr).
 - 수집된 관측 강우량자료를 이용하여 지속시간별 연 최대 강우시계열을 구축함. 사용된 지속시간은 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24-시간 및 1-일으로 총 25개의 지속시간이 사용됨.
- 산출된 연 최대 강우시계열 자료에 Gumbel 분포를 적용하여 지속시간별 재현기간별 확률강우량이 추정됨.
 - Gumbel분포는 극치 중에서도 최대치에 해당하는 연 최대 강우량 및 홍수량자료의 분석에 많이 이용되며, 국내 확률강우량 산정 시 대부분 Gumbel 분포를 이용하여 실무적인 자료로 이용하고 있음(Kwon et al., 2009).
 - 또한 ‘한국 확률강우량도 작성’(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2000)에서는 우리나라 지형에 대한 최적 확률분포형을 Gumbel 분포로 채택하였고, ‘설계홍수량 산정요령’(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, 2012)에서도 Gumbel 분포 사용을 원칙으로 하고 있음.
- Gumbel분포의 확률밀도함수 및 누적확률밀도는 식(1)과 (2)와 같음.

$$f(X) = \frac{1}{\alpha} \exp\left[-\frac{X-X_o}{\alpha} - \exp\left(-\frac{X-X_o}{\alpha}\right)\right], \quad -\infty < X < \infty \quad (1)$$

$$F(X) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{X-X_o}{\alpha}\right)\right] \quad (2)$$

- 여기서, α 는 축적변수, X_o 는 위치변수로 최빈값의 위치를 나타냄.
- 매개변수는 L-moment법을 이용하였으며, 확률강우량을 산정하는 식은 다음 식(3)과 같음.

$$X_T = X_o - \alpha \ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right] \quad (3)$$

- 여기서, T 는 재현기간을 나타내며 X_T 는 재현기간(T)에 따른 확률강우량을 의미함.
- 사용된 지속시간은 앞서 연 최대 강우시계열 산출시 사용한 지속시간과 동일하며, 재현기간은 10년 간격으로 10년부터 200년까지 총 20개의 재현기간을 적용하였음.

□ 미래 기후변화 시나리오 자료 수집 및 편이보정

- 우리나라 기상청 기후정보포털(www.climate.go.kr)에서는 세 가지의 공간해상도별 기후변화 시나리오를 제공하고 있음.
 - 기후변화예측모델(HadGEM2-AO)을 도입하여 생산한 135-km 공간 해상도의 전지구 기후변화 시나리오.
 - 지역기후모델(HadGEM3-RA)을 이용하여 역학적 상세화를 통해 생산한 12.5-km 공간 해상도의 한반도 기후변화 앙상블 시나리오.
 - 한반도 기후변화 앙상블 시나리오를 통계적으로 상세화하여 생산한 1-km 공간 해상도의 남한 상세 기후변화 앙상블 시나리오.
- 또한 평행상태 초기조건을 200년, 400년 제어적분으로 구분하여 공간해상도별로 RCP 자료를 제공하고 있음.
- 본 연구에서 기후변화 시나리오로 사용한 12.5-km 공간해상도의 400년 제어적분 RCP 8.5 자료는 1979년부터 2100년까지 제공되며, 1979년부터 2005까지는 현재기간 모의자료이며 2006년부터 2100년 미래기간 모의자료로 제공됨.
- 현재기간 모의자료의 경우는 앞의 2년의 자료를 제외한 1981년부터 2005년까지의 자료를 현재기간 모의자료로 사용하였으며 미래기간 모의자료는 2006년부터 2100년까지의 자료를 사용함.
- 아래 표에 본 연구에 사용된 기후변화 시나리오에 대한 정보를 나타내었음.

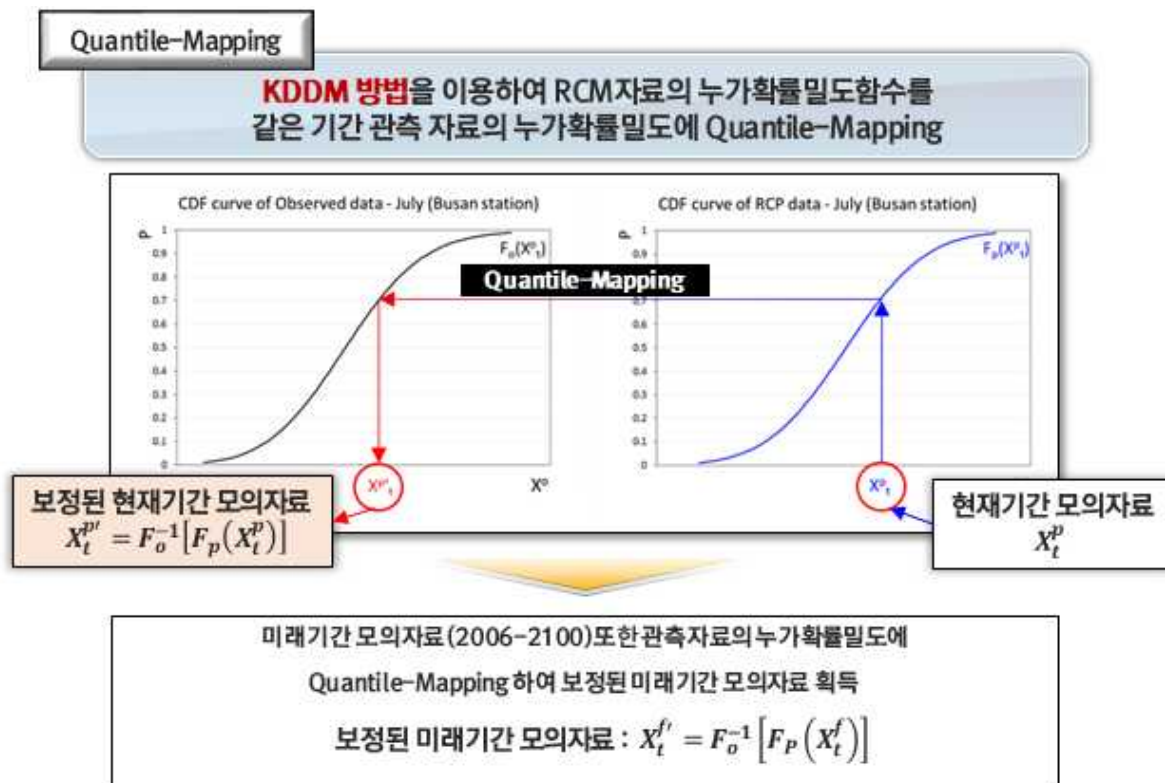
기후변화 시나리오 정보

종류	형태	시나리오	공간규모	공간해상도	시간해상도	기간정보	
한반도 기후변화 앙상블 시나리오	BINARY	RCP 8.5	위도: 32°-44° 경도: 123°-133°	12.5 km	일-단위	현재기간	1981-2005
						미래기간	2006-2100

- 관측 강우량자료의 기상청 관할 60개 기상 관측소에 대한 위치정보를 이용하여 RCP 8.5 자료로부터 기상 관측소에 상응하는 격자의 일 강우자료를 추출함.
- 참고로 RCP 8.5 시나리오는 온실가스가 저감 없이 현재 추세로 배출되는 경우로 가장 큰 기후변화가 예측되는 시나리오임.
- 모의자료의 특성상 현재기간 모의자료의 값과 관측 강우량자료 값 사이에는 차이가 존재함. 따라서 이러한 차이를 보정하기 위하여 지점별, 월별로 편이보정을 수행하였음.
- 먼저, 1981-2005년의 관측 강우자료와 동일한 기간의 현재기간 모의자료를 대상으로 무강우 일수 비율을 일치시킴.
- 그 후 두 자료를 대상으로 Kernel smoothing 기법의 non-parametric 방법을 이용하여

최적분포형을 결정하고, Kernel density distribution mapping(KDDM) 방법을 이용하여 편이보정을 위한 함수관계를 구축함.

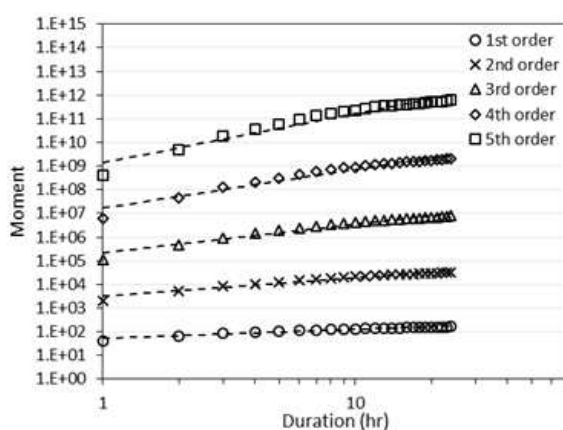
- 이를 바탕으로 편이보정 된 현재기간 모의자료를 추출하였으며, 또한 미래기간 모의자료에 앞서 구축된 관계를 적용하여 편이보정 된 미래기간 모의자료를 추출하였음.
- Kernel density distribution mapping(KDDM) 방법은 RCM 모의결과의 누가확률밀도 함수를 같은 기간 관측 강우량자료의 누가확률밀도에 Quantile mapping 하는 방식임 (Kim et al., 2011).
- 예를 들어, 부산지점 7월 관측 강우량자료 P_o 에 대한 누가확률밀도 함수를 $F_o(P_o)$, 현재기간 모의자료 P_c 에 대한 누가확률밀도 함수를 $F_c(P_c)$ 라 할 때, P_c 의 편이보정 된 값 P'_c 는 $F_o^{-1}[F_c(P_c)]$ 로 구할 수 있음. 여기서 F_o^{-1} 은 F_o 의 역함수를 의미함.
- 이 과정을 통해 관측 강우자료와 편이보정 된 현재기간 모의자료의 다양한 통계량이 서로 일치하게 됨.
- 이를 바탕으로 미래기간 모의자료 P_f 의 편이보정 된 값 P'_f 는 $F_o^{-1}[F_c(P_f)]$ 로 추출하였음.



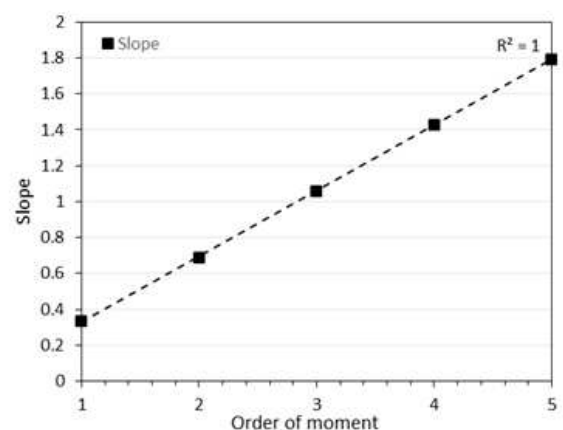
Kernel density distribution mapping 기법

□ 지점별 스케일 특성 검토 및 IDF 곡선식 도출

- Scale-Invariance 기법을 사용하기 위하여 각 기상 관측소 별로 관측 강우량자료의 스케일 특성을 검토하였음.
- 우선, 앞서 구축된 관측 연 최대 강우시계열의 지속시간별 모멘트를 모멘트 차수(1, 2, 3, ..., m 차)에 대해 산정하여 전대수지상에 도시한 후에 차수별로 선형회귀선의 기울기를 산정함.
- 산정된 기울기를 모멘트 차수에 대해 다시 선형회귀를 실시하여 분석된 관계를 통해 스케일 특성을 검토함.
- 산정된 기울기와 모멘트 차수의 관계가 선형인 경우는 단일 스케일(single scaling)이며, 비선형인 경우는 다중 스케일(multi scaling)임.
- 예를 들어, 인천 관측소의 지속시간별 관측 연 최대 강우시계열을 각 차수(본 연구에서는 $m = 5$)의 모멘트를 산정함.
- 이를 전대수지상에 지속시간별로 도시한 후 모멘트 차수별로 선형회귀선을 도시하여 기울기를 산정함.
- 산정된 기울기를 모멘트 차수별로 도시하여 다시 선형회귀를 실시하여 관계를 분석함.
- 스케일의 적용에 대한 기준으로 결정계수(R^2)를 이용하였으며, 인천지역의 경우에는 결정계수가 1.00으로 스케일 특성이 단일 스케일로 확인되었음.
- 참고로, 분석된 모든 지점에서 결정계수가 0.99 이상이 도출됨.



(a) 모멘트 차수별 지속시간별 모멘트



(b) 스케일 특성분석

스케일 특성분석 과정 예시(인천지점)

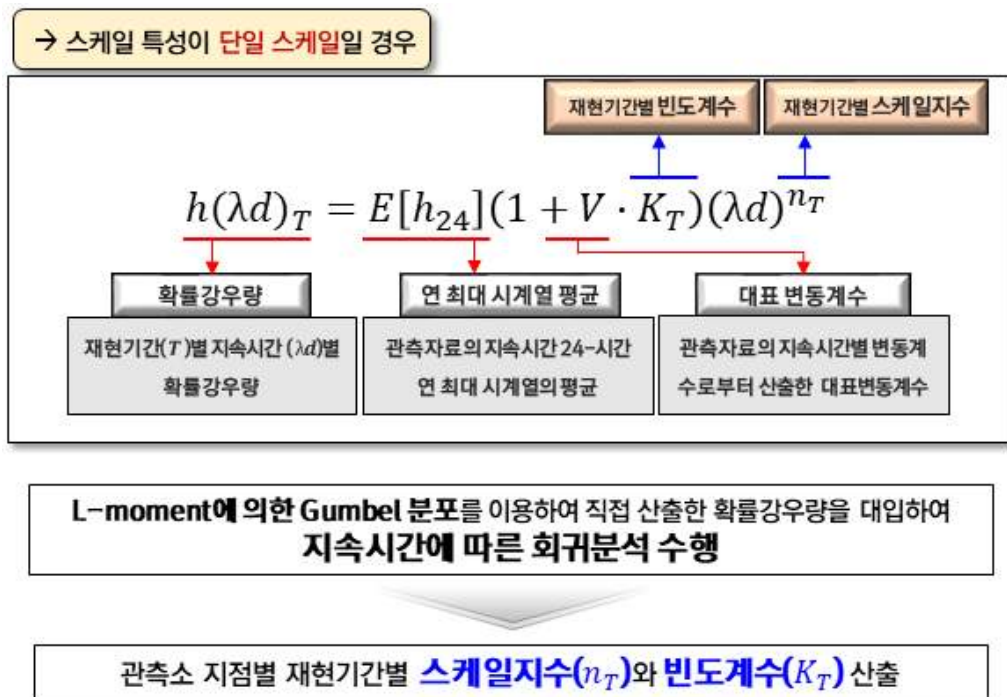
- 스케일 특성을 이용한 IDF 곡선식은 Bulando and Rosso (1996)을 참고하여 아래와 같이 구성함.

$$h(\lambda d)_T = E[h_{24}](1 + V \cdot K_T)(\lambda d)^{n_T} \quad (4)$$

- 여기서 $h(\lambda d)_T$ 는 지속시간 λd -시간의 재현기간 T 년 확률강우량, $E[h_{24}]$ 는 지속시간 24-시간 연 최대 강우시계열의 평균임.
- 또한 n_T 는 특정 재현기간(T)의 스케일 지수(Scaling exponent)이며, K_T 는 특정 재현기간(T)의 빈도계수(Frequency factor)임.
- V 는 연 최대 강우시계열의 대표 변동계수(coefficient of variation)로서 아래와 같이 산정하였음.

$$V = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M V_i^2} \quad (5)$$

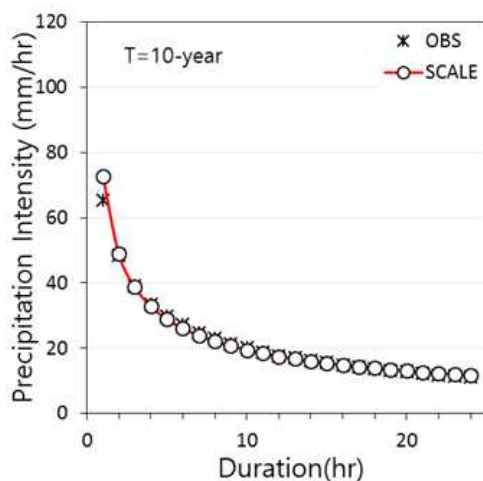
- 여기서, M 은 지속시간의 총 개수이며, V_i 는 각 지속시간 별 변동계수임.
- 재현기간별로 확률강우량과 지속시간 24-시간 연 최대 강우시계열의 평균 및 대표 변동계수를 산정한 후, 식(4)를 이용하여 지속시간에 따른 회귀분석을 수행하면, 재현기간별 스케일 지수와 빈도계수를 산출할 수 있음.
- 참고로, Bulando and Rosso(1996) 논문은 관측자료를 기반으로 Scale-invariance 기법을 이용하여 IDF 곡선을 유도한 연구임.
- 본 연구에서는 이를 이용하여 미래의 IDF 곡선을 유도하고자하였음. 이를 위하여 Bulando and Rosso(1996) 논문에서 제시한 식들의 일부를 재변형하여 연구에 적용하였음.



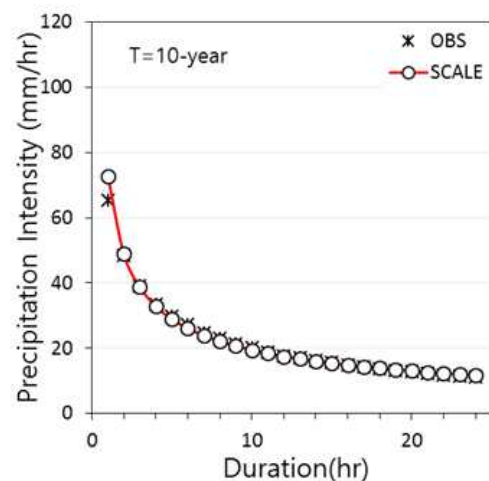
IDF 곡선식 도출

□ Scale-invariance 기법 및 RCM 자료의 적용성 분석

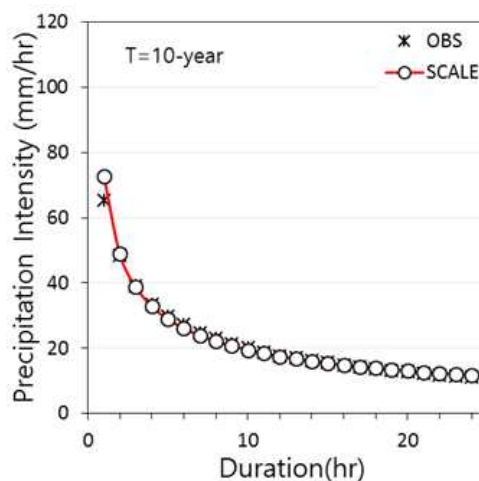
- 본 연구에서는 미래 확률강우량을 산정하기 위해 Scale-invariance 기법과 기후변화 RCM 자료를 이용함. 따라서 이 둘의 적용성을 확인함으로써 확률강우량 산정 알고리즘의 타당성을 확인할 필요가 있음.
- 먼저, Scale-invariance 기법의 적용성을 살펴보기 위하여 지속시간별 연 최대 시계열로부터 직접 산출한 확률강우량(OBS)과 Scale-invariance 기법을 이용하여 산출한 확률강우량(SCALE)을 비교하였음.
- 아래 그림들은 부산 지점의 재현기간 10, 30, 50년의 결과로서 직접 산출한 확률강우량과 Scale-invariance 기법을 이용하여 산출한 확률강우량이 매우 유사하게 나타남.



(a) 재현기간 10년 빈도 비교



(b) 재현기간 30년 빈도 비교



(c) 재현기간 50년 빈도 비교

관측 및 Scale-invariance 공식 이용 확률강우량 비교(부산지점)

- 참고로 부산지점의 경우 대표 변동계수(V)는 0.4144로 계산되었으며, 재현기간 10, 30, 50년에 해당하는 빈도계수(K_T)는 각각 1.5103, 2.4380, 2.8615, 그에 대응하는 스케일지수(n_T)는 0.4276, 0.4336, 0.4357로 추정됨.

- 하지만 대부분의 관측소의 경우 지속시간 1-시간에서 스케일 확률강우량이 관측 확률 강우량보다 대부분 크게 산정되는 것으로 나타나는 반면 지속시간 24-시간에 가까울 수록 두 확률강우량 사이의 차이가 적게 나타남.
- 아래 표에 주요 지점들을 대상으로 재현기간 30년에 대한 관측 확률강우량과 Scale-invariance 기법을 이용하여 산출한 확률강우량을 나타내었음.

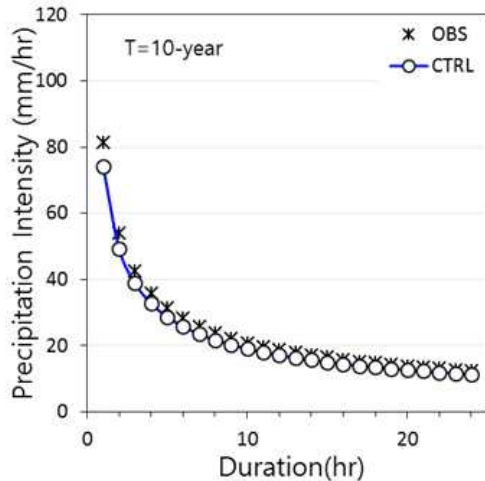
주요 지점의 각 지속기간별 재현기간 30년 OBS와 SCALE의 오차(%)

Duration (hour)	Seoul	Busan	Jeju	Gang- neung	Dae- jeon	Ulsan	Gwang- ju	Inchoen
1	21.67	9.68	16.06	16.64	21.98	11.29	14.79	24.91
2	1.37	0.35	2.09	3.96	0.48	3.45	2.58	-0.63
3	-8.21	-0.65	-3.12	-1.5	-2.75	3.59	-1.15	-4.02
4	-9.32	-1.48	-3.76	-5.63	-6.62	0.06	-3.64	-5.14
5	-8.76	-1.54	-5.37	-7.49	-5.01	-3.26	-5.39	-5.12
6	-8.43	-3.64	-5.05	-7.34	-5.25	-4.92	-6.43	-5.76
7	-5.5	-3.57	-6.53	-7.19	-6.01	-5.45	-6.43	-7.92
8	-3.05	-3.61	-5.15	-5.32	-4.59	-7.07	-6.64	-7.38
9	-1.66	-3.46	-4.48	-4.33	-4.3	-7.66	-5.22	-6.48
10	-0.16	-3.7	-3.94	-2.36	-5.19	-6.79	-4.25	-5.11
11	0.06	-1.6	-3.33	-1.9	-4.82	-6.03	-2.02	-4.75
12	0.01	-0.95	-2.15	-1.58	-4.27	-4.83	-0.86	-4.55
13	1.6	-1.98	-0.49	0.3	-4.42	-3.52	-0.14	-3.25
14	2.82	-2.08	0.07	0.99	-4.7	-2.46	0.3	-1.88
15	3.91	-1.27	0.12	-0.74	-2.9	-1.41	0.36	-0.74
16	2.78	-0.48	0.44	-0.64	-0.84	-0.6	0.29	0.76
17	1.98	-0.05	0.56	-0.42	1.14	0.73	0.75	1.98
18	2.35	0.42	1.55	0.15	3.25	2.21	1.91	3.52
19	2.98	1.21	2.89	1.23	4.31	3.22	3.46	4.27
20	3.33	2.4	3.94	2.6	5.54	4.4	4.48	5.02
21	1.28	2.93	4.34	3.77	6.16	5.63	4.28	5.85
22	0.84	3.89	4.63	5.14	7.71	6.74	3.27	7.03
23	1.39	4.91	4.34	6.74	8.37	7.4	3.75	7.66
24	0.94	5.56	5.09	8.37	7.8	8.72	4.61	7.41

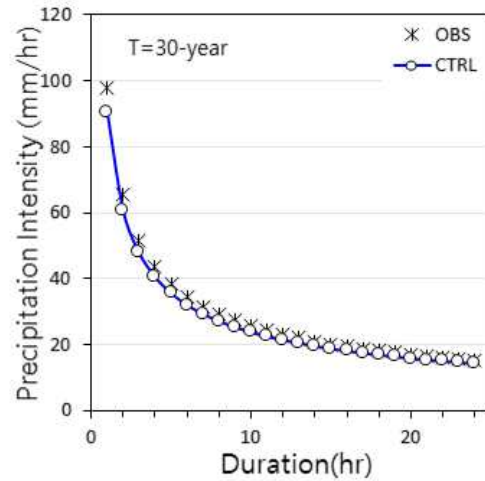
- 지속기간 1-시간을 제외하고 OBS와 SCALE간의 오차가 10 % 내외로 나타나는 것으로 나타남. 적용된 모든 지점에서 유사한 결과가 도출됨을 살펴볼 수 있었으며, 따라서 Scale-invariance 기법의 적용성은 충분히 확보된 것으로 판단됨.
- 또한 RCM 자료의 적용성을 판단하기 위하여, 미래 자료의 분석에 앞서서 현재기간 모의자료(일 강우자료)로부터 Scale-invariance 기법을 적용하여 산출한 확률강우량 (이하 현재기간 확률강우량)과 관측자료의 지속시간 1-일 연 최대 시계열로부터

Scale-invariance 기법을 이용하여 산출한 확률강우량(관측 확률강우량)과의 비교를 수행하였음.

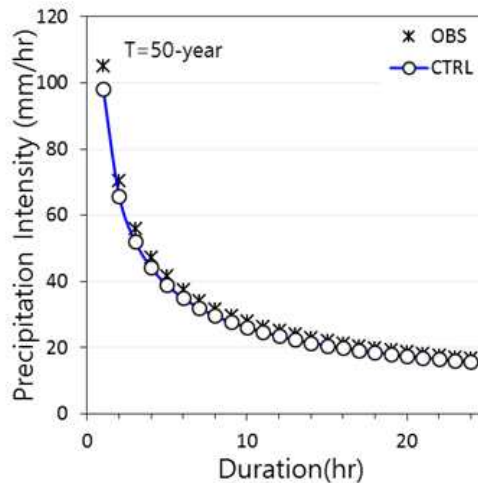
- 앞서 산출된 환산계수를 이용하여 현재기간 모의자료로부터 지속시간 24-시간 연 최대 강우시계열의 평균과 대표환산계수를 산정하고 이를 IDF 곡선식에 적용하여 시간적으로 상세화시켜 일-단위 이하의 확률강우량을 산정하였음.



(a) 재현기간 10년 빈도 비교



(b) 재현기간 30년 빈도 비교



(c) 재현기간 50년 빈도 비교

관측 및 RCM 현재기간 자료 이용 확률강우량 비교(서울지점)

- 서울 지점의 경우 전체적으로 확률강우량이 아주 미세하게나마 과소 추정되고 있음을 살펴볼 수 있음.
- 그러나 다른 지점들을 분석한 결과 이러한 현상은 일반적인 것이 아니며, 지점별로 지속시간에 따라 아주 미세하게나마 과대 혹은 과소 추정되고 있으나 그 차이가 매우 작음을 살펴볼 수 있었음.
- 따라서 RCM 자료를 바탕으로 Scale-invariance 기법을 적용하여 미래 IDF 곡선을 도출하는 알고리즘의 적용성 및 타당성은 충분히 확보된 것으로 판단됨.

□ RCP 8.5 시나리오 전망 분석 및 미래 IDF 곡선식 도출

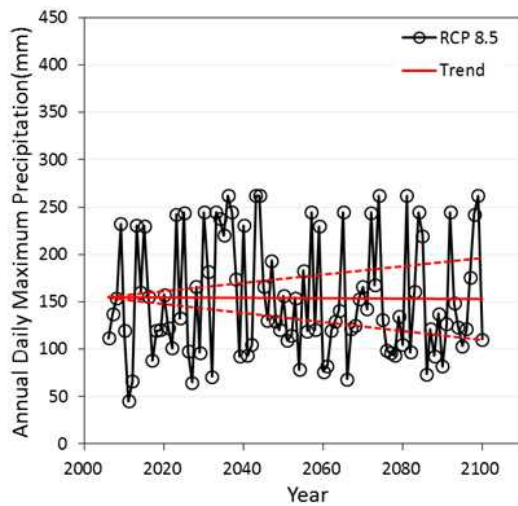
- 미래로 갈수록 변화하는 기후변화의 영향을 지역적으로 반영하기 위하여, 본 연구에서는 IDF 곡선식의 매개변수($E[h_{24}]$, V)를 미래 특정 연도별로 각각 다르게 적용하였음.
- 우선, 각 지점 별 미래기간 모의자료의 지속시간 1-일 연 최대 강우시계열에 추세분석을 실시하여 기울기(m)를 산출함.
- 그 다음, 산출한 기울기를 현재기간 모의 강우자료로부터 산출한 지속시간 1-일 연 최대 강우시계열의 평균($E[h_{1d}^p]$)에 적용하여 미래년도별 지속시간 1-일 최대 강우시계열의 평균($E[h_{1d}^f]$)을 아래와 같이 추정하였음.

$$E[h_{1d}^f] = E[h_{1d}^p] + m(Y - Y_o) \quad (6)$$

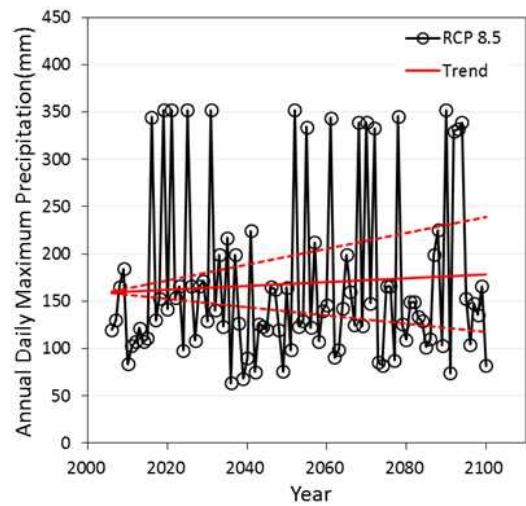
- 여기서, Y 는 적용하고자 하는 미래년도이며, Y_o 는 현재기간 모의 강우자료의 마지막 연도(2005년)임.
- 또한 미래년도별 지속시간 1-일 연 최대 강우자료의 변동계수(V_{1d}^f)를 추정하고자, 본 연구에서는 현재기간 모의자료 및 미래기간 모의자료의 지속시간 1-일 연 최대 강우시계열을 25개년씩(1982-2006년, 2007-2031년, ..., 2076-2100) 이동하며 계산하여 2006년부터 2100년까지 총 95년간의 미래년도별 변동계수를 산출하였음.
- 이로부터 아래와 같은 추세 공식을 이용하여 미래년도별 변동계수를 추정함.

$$V_{1d}^f = V_{1d}^p + \beta(Y - Y_o) + \frac{1}{2}\gamma(Y - Y_o) \quad (7)$$

- 여기서, V_{1d}^p 는 현재기간 모의자료의 지속시간 1-일 연 최대 강우자료의 변동계수임.
- 아래 그림은 제주와 광주 지점의 미래기간 모의자료의 지속시간 1-일 연 최대 강우시계열을 도시하여 회귀 분석한 결과를 나타낸 것임.



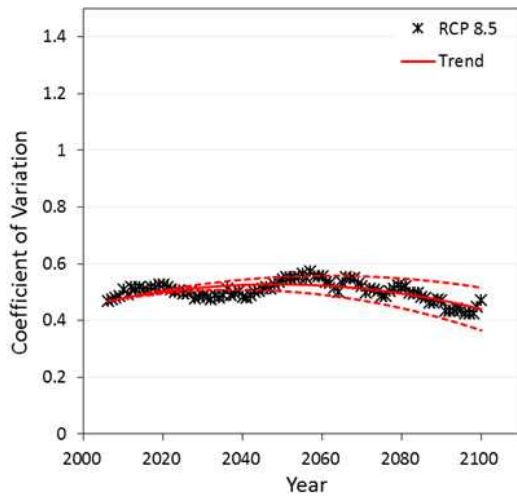
(a) 제주지점



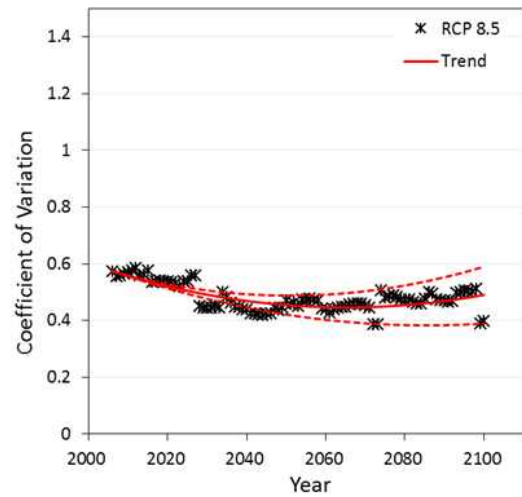
(b) 광주지점

미래 지속시간 1-일 연 최대 강우시계열 추세

- 제주 지점의 경우에는 기울기가 -0.0195 mm/year 로 산정되어 미래로 갈수록 최대 강우시계열의 평균이 감소하고 있음. 또한 광주 지점의 경우에는 기울기가 0.2021 mm/year 로 증가하고 있음을 확인할 수 있음.
- 그림에서 점선은 추세 기울기의 95% 신뢰구간을 의미함.
- 대부분의 지점에서 증가하는 추세를 나타냈으며, 전체 60개 지점 중 17개 지점에서 감소하는 추세를 나타냈으나, 증가하는 지점의 증가추세와 비교할 때 감소하는 지점의 감소율은 매우 미미한 것으로 분석되었음.
- 이에 대부분의 지점에서 연 최대 강우량의 평균이 증가함에 따라 미래의 확률강우량이 현재보다 증가할 것으로 판단됨.
- 그러나 이는 단순히 최대 강우시계열의 평균만을 고려한 것이며 보다 타당한 미래 확률강우량의 추정을 위해서는 최대 강우시계열의 분산도 함께 고려되어야 함.
- 아래 그림은 속초와 울산 지점의 미래기간 모의자료의 변동계수의 추세 분석결과를 도시한 것임.



(a) 속초지점



(b) 울산지점

미래 변동계수 추세

- 속초 지점의 경우 변동계수가 증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있으며, 울산 지점의 경우에는 감소하다가 증가하는 경향을 보이고 있음을 살펴볼 수 있음.
- 그림에서 점선은 추세 패턴의 95% 신뢰구간을 의미함.
- 변동계수의 경우 연 최대 시계열과는 다르게 일반적인 경향을 찾아볼 수는 없었으며, 지점별로 매우 상이한 패턴을 보이고 있음.
- 추가적으로, IDF 곡선에는 지속시간 24-시간 연 최대 강우시계열의 평균이 사용되므로 1-일 지속시간을 이용하는 것에 대한 보완이 필요함.
- 이에 지속시간 24-시간 및 지속시간 1-일 관측 연 최대 강우시계열(h_{24} 및 h_{1d})의 선형관계를 아래와 같이 회귀 분석하여 이에 대한 보완을 하였음.

$$h_{24} = \alpha_1 + \alpha_2 \cdot h_{1d} \quad (8)$$

- 변동계수 또한 각 지속시간별 변동계수로부터 산출된 대표변동계수가 사용되므로 아래와 같이 대표 변동계수와 지속시간 1-일 변동계수의 비를 관측자료로부터 산출하여 미래자료에 대한 보정을 수행함.

$$V = \alpha_3 \cdot V_{1d} \quad (9)$$

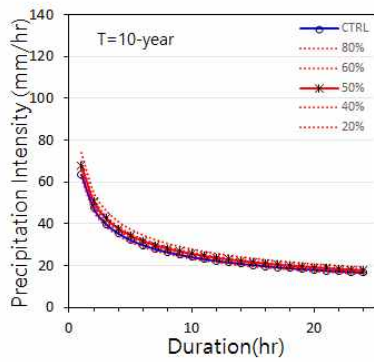
- 이렇게 산출된 환산계수를 미래기간 모의자료로부터 추정한 지속시간 1-일 연 최대강우량시계열의 평균($E[h_{1d}^f]$)과 지속시간 1-일 변동계수(V_{1d}^f)에 적용하여 미래의 지속시간 24-시간 연 최대강우량시계열의 평균($E[h_{24}^f]$)과 대표변동계수(V^f)를 산출하여, 미래 IDF 곡선을 도출함.
- 미래년도별 재현기간별 지속시간별 확률강우량($h^f(\lambda d)_T$)은 아래와 같이 산정함.

$$h^f(\lambda d)_T = E[h_{24}^f](1 + V^f \cdot K_T)(\lambda d)^{n_T} \quad (10)$$

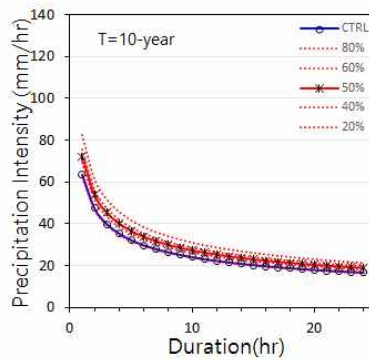
- 지점별로 지역적인 기후특성을 반영하기 위해 앞서 산정된 스케일 지수(n_T)와 빈도계수(K_T)는 재현기간별로 관측자료로부터 산정한 값을 그대로 적용하였음.
- 참고로, Scale-invariance 기법에서는 기본적으로 미래기간 모의자료의 스케일특성이 관측자료의 특성과 동일하다는 가정 하에 적용가능 할 것임.
- 또한, 일-단위 자료의 확률분포특성과 시간-단위 자료의 확률분포특성이 서로 같다는 가정에서 출발함.
- 따라서 일-단위 자료로부터 추정된 확률강우량의 변화가 시간-단위 자료의 확률강우량의 변화로 그대로 반영됨.

□ 지역별 미래 확률강우량 산정

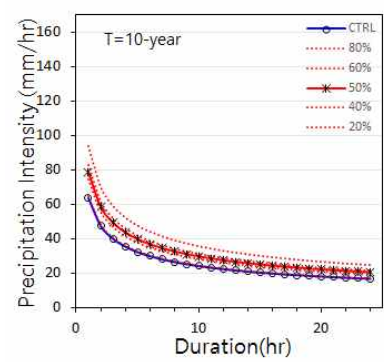
- 상기 분석결과를 토대로, 미래년도별 재현기간별 지속시간별 확률강우량을 산정하였으며, 예시로 강릉과 수원 지점에 대한 결과를 아래 그림에 도시하였음.
- 아래 그림들에 나타난 점선들은 각각 신뢰구간 20-80%에 해당하는 신뢰구간을 의미함.
- 두 지점 모두 미래로 갈수록, 재현기간이 길수록 확률강우량이 증가할 확률이 감소할 확률보다 상대적으로 높게 나타나고 있음을 살펴볼 수 있으며, 다른 지점들에서도 유사한 패턴을 나타냄.
- 또한 미래로 갈수록 불확실성의 범위가 급격하게 증가하고 있음을 살펴볼 수 있음.



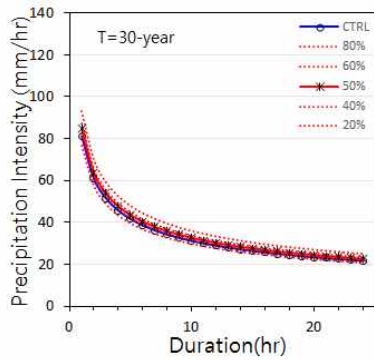
(a) 2040년 - 재현기간 10년



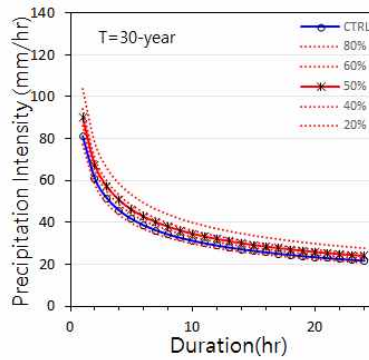
(b) 2060년 - 재현기간 10년



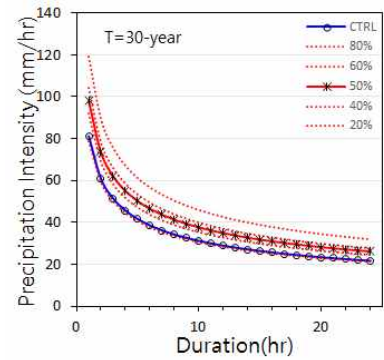
(c) 2080년 - 재현기간 10년



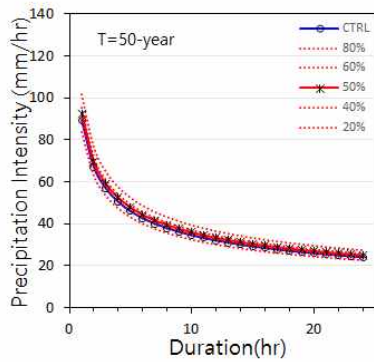
(d) 2040년 - 재현기간 30년



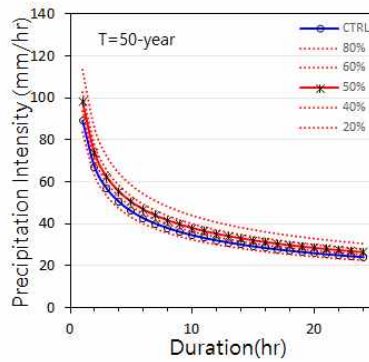
(f) 2060년 - 재현기간 30년



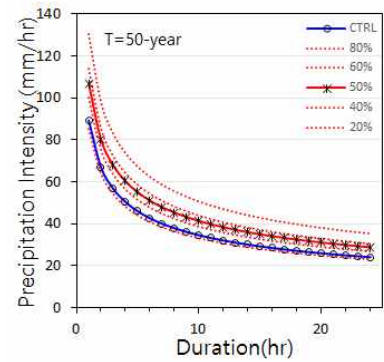
(g) 2080년 - 재현기간 30년



(h) 2040년 - 재현기간 50년

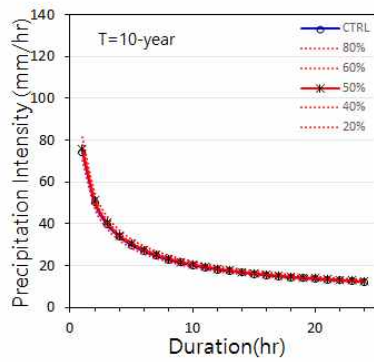


(i) 2060년 - 재현기간 50년

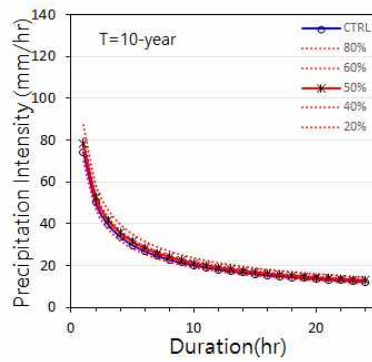


(j) 2080년 - 재현기간 50년

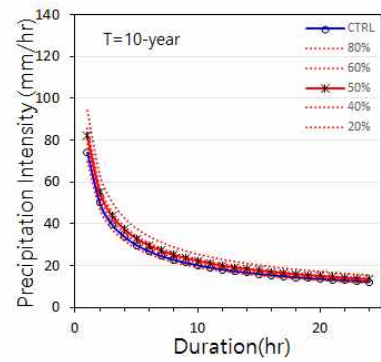
미래 재현기간별 지속시간별 확률강우량(강릉지점)



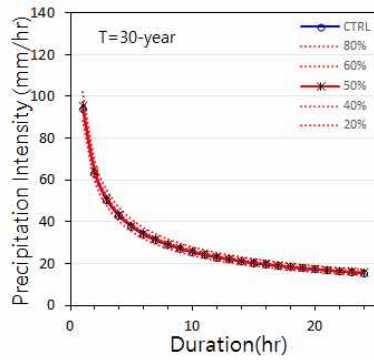
(a) 2040년 - 재현기간 10년



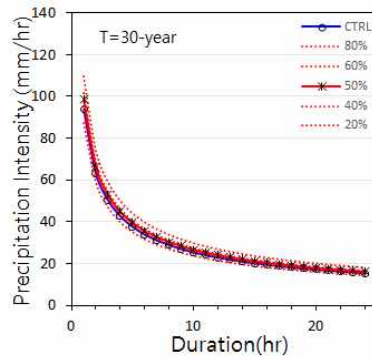
(b) 2060년 - 재현기간 10년



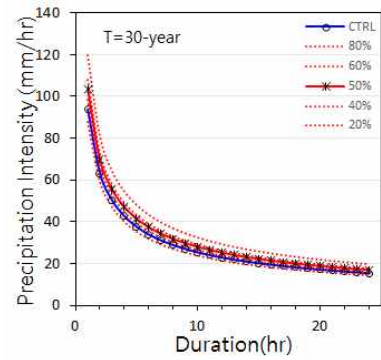
(c) 2080년 - 재현기간 10년



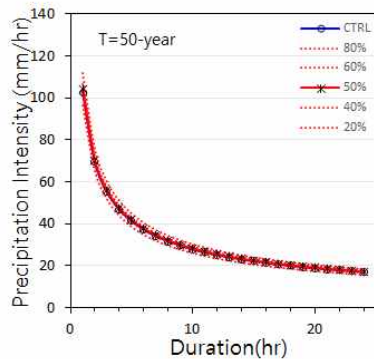
(d) 2040년 - 재현기간 30년



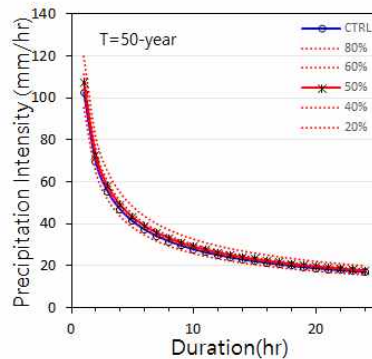
(e) 2060년 - 재현기간 30년



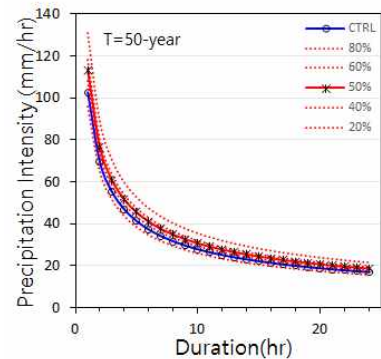
(f) 2080년 - 재현기간 30년



(g) 2040년 - 재현기간 50년



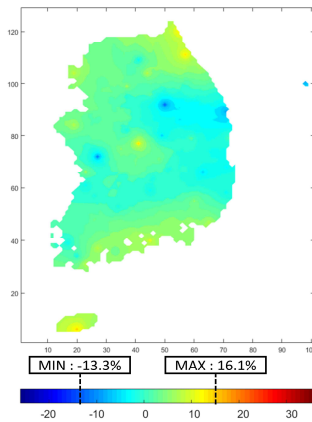
(h) 2060년 - 재현기간 50년



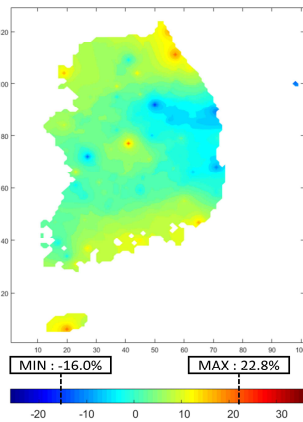
(i) 2080년 - 재현기간 50년

미래 재현기간별 지속시간별 확률강우량(수원지점)

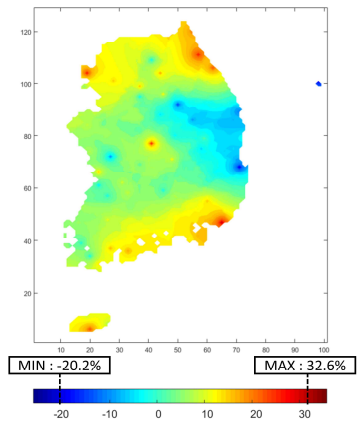
- 추가적으로 본 연구에서 선정된 전국 주요 60개 지점의 현재 확률강우량 대비 미래 확률강우량 증가율의 공간적인 분포를 살펴보고자함.
- 아래 그림에 지속시간 1-시간에 대한 현재 확률강우량 대비 미래 확률강우량 증가율의 공간적인 분포를 미래년도별 재현기간별로 전국적으로 나타내었음.
- 확률강우량의 보간에는 Krige(1951)의 역거리가중법(Inverse Distance Weighting)을 사용하였음.



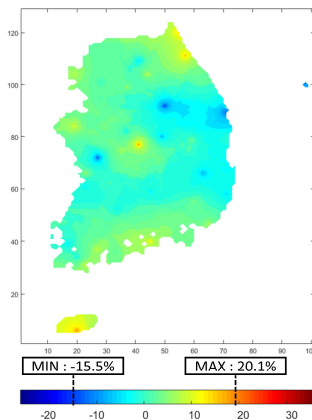
(a) 2040년 - 재현기간 10년



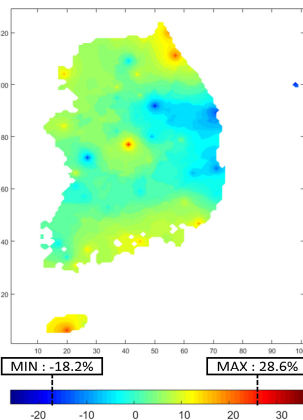
(b) 2060년 - 재현기간 10년



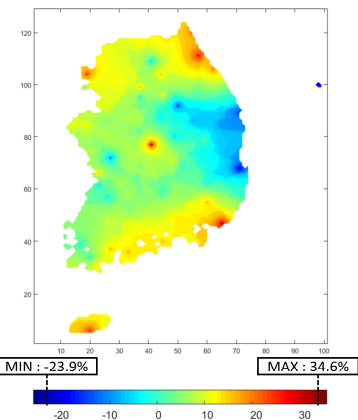
(c) 2080년 - 재현기간 10년



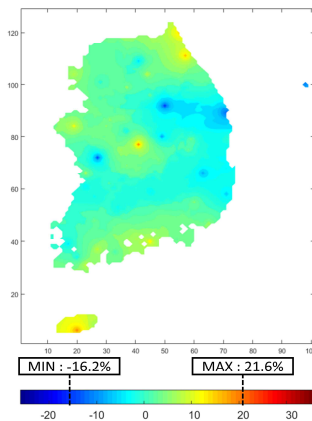
(d) 2040년 - 재현기간 30년



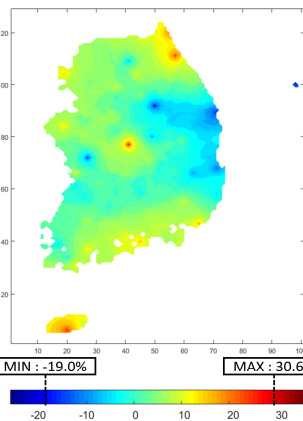
(e) 2060년 - 재현기간 30년



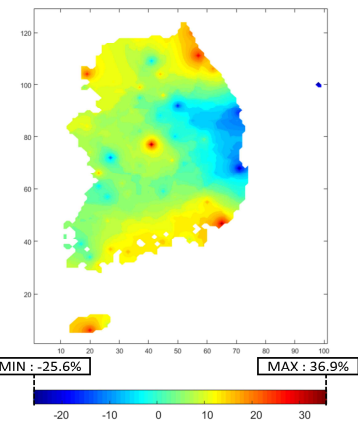
(f) 2080년 - 재현기간 30년



(g) 2040년 - 재현기간 50년



(h) 2060년 - 재현기간 50년



(i) 2080년 - 재현기간 50년

현재대비 미래 확률강우량 변화율의 공간분포도

- 위 그림에서 증가율의 공간적인 형태가 모든 미래년도와 재현기간이 대하여 비슷하게 나타나고 있음.
- 대부분의 지역에서 확률강우량이 증가할 것으로 나타남.
- 보은 지점을 중심으로 하는 중부지방 일부와 강화 및 대관령 지점을 중심으로 하는 한

반도의 북쪽, 그리고 남해안 지역에 상대적으로 큰 증가율이 분포함.

- 반면, 울진 및 포항을 포함하는 한반도 동쪽과 부여 및 부안을 포함하는 한반도 서쪽 일부에서는 감소할 것으로 나타남.
- 그러나 증가율의 변동 범위는 미래년도별 재현기간별로 큰 차이를 보이고 있음. 재현기간 10년의 경우, 2040년에는 지점에 따라 최대 16.1 % 까지 증가하며, - 13.3 % 까지 감소되는 것으로 나타남.
- 하지만 2080년의 경우, 보은 지점 부근에서 최대 32.6 %까지 증가할 것으로 나타났으며, 제천 지점 부근은 - 20.2 %까지 감소할 것으로 나타남.
- 재현기간 30년에서는 2040년의 경우 - 15.5 %에서 20.1 %까지의 증가율을 나타내고 있으며, 2060년의 경우 - 18.2%에서 28.6%, 2080년의 경우 - 23.9 %에서 34.6 %의 증가율을 나타내고 있음.
- 또한, 재현기간 50년의 경우에도 증가율의 공간적인 형태는 비슷하게 타나났지만, 미래로 갈수록 증가율의 변동 범위가 커지는 것으로 나타났음.
- 특히, 2080년에는 보은 지점의 경우 현재보다 36.9% 증가하며, 부산 지점의 경우 현재보다 35.3% 증가할 것으로 나타남.
- 반면, 울릉도 지점의 경우에는 약 -25.6%까지 감소할 것으로 나타남.
- 범례의 범위는 모든 미래년도와 재현기간에 대하여 동일하게 적용하였으며, MIN과 MAX는 해당 미래년도, 해당 재현기간의 증가율 최솟값 및 최댓값을 나타냄.

□ 타 연구과제 확률강우량과의 비교

- 전북대(이하 JBNU)에서는 국토교통부 내 기후변화대비 수자원적응 기술 개발 연구과제(이하 기후변화연구단)를 통해 미래 강우 자료에 대한 시간적 상세화를 수행하였음.
- 해당 연구에서는 Copula 모형의 개념을 기반으로 추정되는 매개변수의 불확실성을 정량화 할 수 있는 Bayesian 기법을 도입하여 시간상세화 모형을 개발함(So et al., 2017).
- 위의 모형을 이용하여 기상청관할 60개 지점을 대상으로 일 단위 기후변화 시나리오 자료(RCP 4.5, RCP 8.5)를 시간 단위로 상세화하여 지점별 지속시간별 연 최대 강우 시계열을 생산하였음.
- 본 연구와 동일하게 기상청에서 제공하는 12.5 km 해상도 미래 일 강수 시나리오 자료를 이용하였다.
- 설정된 현재기간과 미래기간의 범위 각각 1979-2005, 2011-2100으로 본 연구에서 설정한 기간(1981-2005, 2006-2100)과 차이가 있음.
- 해당 연구에서 사용된 기후변화 시나리오 정보는 다음과 같음.

기후변화 시나리오 정보

종류	형태	시나리오	공간규모	공간해상도	시간해상도	기간정보	
한반도 기후변화 양상 시나리오	BINARY	RCP 4.5 RCP 8.5	위도: 32°-44° 경도: 123°-133°	12.5 km	일-단위	현재기간	1979-2005
						미래기간	2011-2100

- 해당 연구의 시간상세화기법은 방법론 내에 편이보정이 포함되어 있어, 모의자료와 관측자료 사이의 차이를 보정하기 위한 별도의 과정은 존재하지 않음.
- 불확실성을 고려하여 보다 나은 매개변수를 추정할 수 있도록 활용된 Bayesian 이론을 기반으로 한 사후분포 추정 식은 다음과 같음.

$$p(\theta | D) = \frac{p(\theta) \times p(D | \theta)}{p(D)} = \frac{p(\theta) \times p(D | \theta)}{\int p(\theta) \times p(D | \theta) d\theta} \propto p(\theta) \times p(D | \theta) \quad (11)$$

- 여기서, θ 는 매개변수, $p(D|\theta)$ 는 likelihood, D 는 관측 값이며, $p(\theta)$ 는 사전분포를 의미함.
- 기존에는 주변확률분포의 매개변수를 우선적으로 추정한 후 적합한 Copula 함수를 찾고, 그 후 Copula 함수의 매개변수를 추정하는 기법을 활용함.
- 이에 반해, 해당 연구의 Bayesian Copula 모형은 기본적으로 매개변수 추정단계에서 기존 최우도법과는 다르게 Bayesian 모형 내에서 각 주변확률분포 및 Copula 함수 매개변수를 통합적으로 추정함.
- Normal분포, Gamma분포 및 Uniform 분포를 사전분포로 부여하여 매개변수를 산정하고 이를 주변확률분포형을 고려한 Copula 함수의 likelihood 식들에 적용함.
- 최종적으로 매개변수들과 likelihood 식들을 위의 식에 대입함으로써 매개변수들의 결합사후분포(posterior distribution)를 추정할 수 있음.

$$p(\theta | D) \propto \prod_{i=1}^n L_i \cdot N(\mu_\mu, \sigma_\mu^2) \cdot G(\kappa_\sigma, \tau_\sigma) \cdot G(\kappa_\kappa, \tau_\kappa) \cdot G(\kappa_\tau, \tau_\tau) \cdot U(0,50) \quad (12)$$

- 위의 식은 모든 매개변수에 대한 적분을 통해 직접적으로 추정하는 것은 불가능하며 해당 연구에서는 Markov Chain Monte Carlo 방법을 도입하여 사후분포를 추정하였음.
- 해당 연구에서는 Markov Chain Monte Carlo 방법 중 겔스표본법을 이용하여 매개변수들을 추정하였으며, 모형의 Convergence를 입증하기 위해서 3개의 Chain을 독립적으로 시행하여 Sampling이 효과적으로 혼합(mixing)되도록 하였음.
- 이러한 과정을 통해 생산된 JBNU의 미래 연 최대 강우시계열에 본 연구에서 사용한 Gumbel 분포를 동일하게 적용하여 미래 확률강우량을 산정하고, 이를 본 연구에서 산정한 미래 확률강우량과 비교함.
- RCP 8.5 시나리오에 대하여 기후변화연구단의 JBNU에서 분석한 미래 확률강우량을

본 연구에서 산정한 미래 확률강우량(이하 PKNU)과 비교함.

- 우선 PKNU에서 사용된 현재기간과 미래기간이 JBNU에서 사용된 기간과 일치하지 않으므로, 두 결과의 비교를 위해 미래 확률강우량의 현재 대비 증감률을 산정하였으며, 동일하게 분석이 진행된 59개의 지점에 대해 지속시간 1, 2, 3-시간, 재현기간 30년에 대하여 비교하였음.
- 또한, JBNU의 경우 미래기간을 세 구간(2011~2040, 2041~2070, 2071~2100)으로 나누어 결과를 제시하므로, PKNU에서는 미래년도 2040, 2070, 2100년의 확률강우량 증감률을 산정하여 구간별로 비교하였음.
- 아래 표는 본 연구에서 RCP 8.5 시나리오를 기반으로 생산한 2040, 2070, 2100년의 지속시간 1, 2, 3-시간 확률강우량 증감률임.
- 참고로, PKNU의 Scale-invariance 기법은 지속시간에 따른 확률분포가 동일하다는 가정을 전제로 하여 시간상세화를 수행하므로 지속시간별 확률강우량의 증감률이 동일하게 산출됨.

RCP 8.5 시나리오에 대한 미래 확률강우량 증감률 (PKNU)

미래년도	2040 년			2070년			2100년		
지속시간	1-hr	2-hr	3-hr	1-hr	2-hr	3-hr	1-hr	2-hr	3-hr
속초(90)	15.8	15.8	15.8	21.4	21.4	21.4	18.1	18.1	18.1
대관령(100)	16.9	16.9	16.9	27.2	27.2	27.2	32.6	32.6	32.6
춘천(101)	-5.0	-5.0	-5.0	-6.1	-6.1	-6.1	-4.1	-4.1	-4.1
강릉(105)	4.5	4.5	4.5	15.2	15.2	15.2	34.8	34.8	34.8
서울(108)	0.5	0.5	0.5	8.7	8.7	8.7	26.2	26.2	26.2
인천(112)	5.1	5.1	5.1	5.7	5.7	5.7	2.3	2.3	2.3
원주(114)	3.3	3.3	3.3	11.0	11.0	11.0	23.5	23.5	23.5
울릉도(115)	-10.5	-10.5	-10.5	-20.4	-20.4	-20.4	-31.1	-31.1	-31.1
수원(119)	1.6	1.6	1.6	7.4	7.4	7.4	17.6	17.6	17.6
충주(127)	-0.5	-0.5	-0.5	-3.1	-3.1	-3.1	-7.5	-7.5	-7.5
서산(129)	11.6	11.6	11.6	13.6	13.6	13.6	8.2	8.2	8.2
울진(130)	-11.9	-11.9	-11.9	-15.7	-15.7	-15.7	-13.3	-13.3	-13.3
청주(131)	-2.0	-2.0	-2.0	1.2	1.2	1.2	8.8	8.8	8.8
대전(133)	6.6	6.6	6.6	8.2	8.2	8.2	5.7	5.7	5.7
추풍령(135)	5.1	5.1	5.1	10.9	10.9	10.9	18.2	18.2	18.2
포항(138)	-3.9	-3.9	-3.9	-17.3	-17.3	-17.3	-39.5	-39.5	-39.5
군산(140)	8.7	8.7	8.7	17.0	17.0	17.0	26.0	26.0	26.0
대구(143)	-1.2	-1.2	-1.2	0.7	0.7	0.7	5.2	5.2	5.2
전주(146)	2.2	2.2	2.2	7.5	7.5	7.5	16.4	16.4	16.4
울산(152)	-4.9	-4.9	-4.9	-2.4	-2.4	-2.4	7.1	7.1	7.1
광주(156)	4.6	4.6	4.6	9.8	9.8	9.8	16.1	16.1	16.1
부산(159)	7.6	7.6	7.6	25.6	25.6	25.6	57.3	57.3	57.3
통영(162)	3.5	3.5	3.5	7.5	7.5	7.5	12.8	12.8	12.8

RCP 8.5 시나리오에 대한 미래 확률강우량 증감률(PKNU) (계속)

미래년도	2040 년			2070년			2100년		
지속시간	1-hr	2-hr	3-hr	1-hr	2-hr	3-hr	1-hr	2-hr	3-hr
목포(165)	-4.1	-4.1	-4.1	-3.2	-3.2	-3.2	1.8	1.8	1.8
여수(168)	7.6	7.6	7.6	13.0	13.0	13.0	17.1	17.1	17.1
완도(170)	9.9	9.9	9.9	14.9	14.9	14.9	16.0	16.0	16.0
제주(184)	11.1	11.1	11.1	13.4	13.4	13.4	9.1	9.1	9.1
성산(188)	6.2	6.2	6.2	8.2	8.2	8.2	6.8	6.8	6.8
서귀포(189)	19.3	19.3	19.3	26.9	26.9	26.9	24.6	24.6	24.6
진주(192)	4.5	4.5	4.5	11.4	11.4	11.4	21.5	21.5	21.5
강화(201)	9.1	9.1	9.1	21.8	21.8	21.8	40.3	40.3	40.3
양평(202)	7.2	7.2	7.2	14.4	14.4	14.4	22.8	22.8	22.8
이천(203)	-0.7	-0.7	-0.7	-1.4	-1.4	-1.4	-2.0	-2.0	-2.0
홍천(212)	8.9	8.9	8.9	15.3	15.3	15.3	20.2	20.2	20.2
제천(221)	-15.5	-15.5	-15.5	-18.0	-18.0	-18.0	-11.9	-11.9	-11.9
보은(226)	20.1	20.1	20.1	32.0	32.0	32.0	37.8	37.8	37.8
천안(232)	4.9	4.9	4.9	6.2	6.2	6.2	5.0	5.0	5.0
보령(235)	1.7	1.7	1.7	7.2	7.2	7.2	16.7	16.7	16.7
부여(236)	-14.3	-14.3	-14.3	-14.5	-14.5	-14.5	-4.3	-4.3	-4.3
금산(238)	4.8	4.8	4.8	4.9	4.9	4.9	1.2	1.2	1.2
부안(243)	-3.5	-3.5	-3.5	-4.5	-4.5	-4.5	-3.8	-3.8	-3.8
임실(244)	0.2	0.2	0.2	5.9	5.9	5.9	17.3	17.3	17.3
정읍(245)	-1.6	-1.6	-1.6	-2.8	-2.8	-2.8	-4.0	-4.0	-4.0
남원(247)	-2.4	-2.4	-2.4	2.3	2.3	2.3	13.3	13.3	13.3
장흥(260)	9.9	9.9	9.9	15.8	15.8	15.8	18.7	18.7	18.7
해남(261)	-2.2	-2.2	-2.2	-2.4	-2.4	-2.4	-1.3	-1.3	-1.3
고흥(262)	2.2	2.2	2.2	12.0	12.0	12.0	31.1	31.1	31.1
영주(272)	-3.8	-3.8	-3.8	-7.0	-7.0	-7.0	-10.2	-10.2	-10.2
문경(273)	-8.1	-8.1	-8.1	-7.1	-7.1	-7.1	1.1	1.1	1.1
영덕(277)	1.5	1.5	1.5	-2.9	-2.9	-2.9	-13.2	-13.2	-13.2
의성(278)	2.9	2.9	2.9	-0.6	-0.6	-0.6	-8.9	-8.9	-8.9
구미(279)	-0.7	-0.7	-0.7	-0.4	-0.4	-0.4	0.7	0.7	0.7
영천(281)	-8.1	-8.1	-8.1	-7.2	-7.2	-7.2	0.9	0.9	0.9
거창(284)	-1.9	-1.9	-1.9	0.8	0.8	0.8	7.4	7.4	7.4
합천(285)	-0.8	-0.8	-0.8	4.9	4.9	4.9	17.1	17.1	17.1
밀양(288)	5.6	5.6	5.6	13.6	13.6	13.6	25.0	25.0	25.0
산청(289)	-3.2	-3.2	-3.2	-2.6	-2.6	-2.6	0.9	0.9	0.9
거제(294)	4.3	4.3	4.3	12.1	12.1	12.1	24.6	24.6	24.6
남해(295)	13.5	13.5	13.5	16.7	16.7	16.7	11.1	11.1	11.1

○ 아래 표는 JBNU에서 RCP 8.5 시나리오를 기반으로 생산한 2040, 2070, 2100년의 지속시간 1, 2, 3-시간 확률강우량 증감률임.

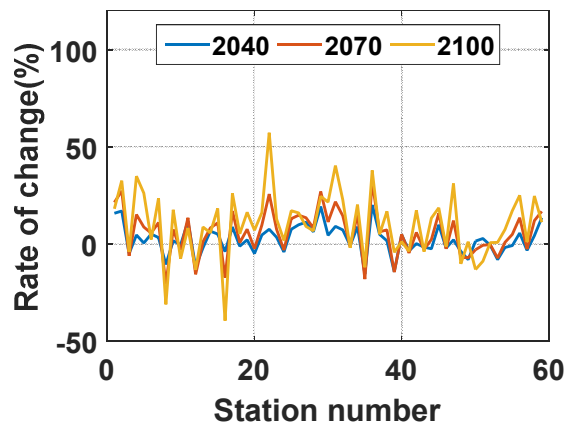
RCP 8.5 시나리오에 대한 미래 확률강우량 증감률(JBNU)

미래년도	2040 년			2070년			2100년		
지속시간	1-hr	2-hr	3-hr	1-hr	2-hr	3-hr	1-hr	2-hr	3-hr
속초(90)	6.19	6.68	8.03	4.74	3.90	17.76	2.43	2.97	35.35
대관령(100)	19.37	13.22	15.31	44.12	32.55	38.87	69.71	50.08	58.68
춘천(101)	2.74	-0.17	1.54	-5.21	-8.35	-14.19	-5.26	-9.41	-12.71
강릉(105)	-0.44	-2.48	-2.36	9.85	5.64	4.25	8.53	8.35	9.39
서울(108)	4.61	6.51	7.72	-1.69	-2.29	-2.91	8.06	11.38	12.58
인천(112)	6.85	11.74	8.21	9.55	14.86	9.53	11.86	18.79	11.82
원주(114)	1.54	0.79	1.98	1.18	1.68	2.84	-3.25	-2.84	-3.97
울릉도(115)	7.42	11.89	11.66	5.93	10.20	10.47	7.81	14.55	14.61
수원(119)	4.37	8.04	10.52	-2.10	-1.43	-2.20	8.44	11.20	14.68
충주(127)	8.02	9.16	8.51	3.16	6.49	4.73	2.75	4.20	2.31
서산(129)	5.48	4.38	8.44	2.93	2.29	5.01	2.95	4.12	6.52
울진(130)	1.55	0.42	-8.04	2.28	1.51	-8.71	2.49	2.48	-11.83
청주(131)	4.12	3.10	3.26	2.09	-0.18	0.05	6.30	8.85	11.88
대전(133)	5.24	5.05	10.01	7.95	6.26	11.93	8.26	6.35	15.22
추풍령(135)	1.73	10.93	16.40	2.61	8.19	8.92	0.92	0.37	-0.24
포항(138)	-3.06	-6.80	-6.69	-4.26	-8.12	-8.07	-4.54	-7.36	-8.67
군산(140)	12.75	8.02	10.39	6.87	2.93	3.47	5.79	4.93	5.62
대구(143)	16.48	17.99	20.56	13.17	12.65	14.60	20.39	22.57	24.48
전주(146)	-0.09	17.80	18.62	-0.35	-0.75	-4.13	1.86	15.69	13.72
울산(152)	5.41	5.41	6.05	3.14	2.76	2.76	3.73	3.58	1.10
광주(156)	11.02	12.04	45.80	4.75	5.31	7.16	12.61	15.12	16.90
부산(159)	0.44	-2.72	-0.51	1.75	-1.91	1.63	8.98	10.43	9.69
통영(162)	3.18	7.46	6.28	4.69	3.02	3.03	6.43	9.29	8.58
목포(165)	18.37	23.38	42.39	24.73	27.57	56.88	16.34	19.96	35.44
여수(168)	2.73	2.62	3.83	3.91	1.99	3.14	12.57	4.82	6.71
완도(170)	1.37	0.47	2.37	2.71	3.58	7.22	1.50	1.78	2.70
제주(184)	-2.39	-0.15	0.10	-8.46	-3.16	-4.19	0.46	3.13	4.14
성산(188)	2.43	1.37	2.00	1.67	1.15	1.47	13.86	45.69	47.89
서귀포(189)	4.91	29.35	32.53	1.64	4.06	3.97	12.11	101.07	107.80
진주(192)	0.40	22.89	35.41	-1.14	10.69	16.77	0.61	34.47	57.68
강화(201)	-0.47	0.22	1.36	-1.18	-2.25	0.12	18.25	23.91	27.94
양평(202)	26.55	37.44	42.96	8.82	10.29	15.53	50.50	65.69	79.63
이천(203)	4.02	4.26	3.35	-0.58	-2.11	-3.83	2.29	2.00	1.50
홍천(212)	7.30	8.60	9.67	-6.61	-8.22	-8.69	1.24	1.62	0.66
제천(221)	4.81	6.37	7.82	-3.60	-6.88	-10.71	7.03	12.28	20.00
보은(226)	-2.10	-0.42	-0.94	1.17	3.11	1.71	1.03	2.12	0.28
천안(232)	8.66	9.57	11.85	1.11	1.17	0.61	11.36	14.84	18.00
보령(235)	2.13	10.59	13.39	0.21	8.37	10.22	1.01	14.57	17.73
부여(236)	18.24	24.75	23.14	9.25	14.23	13.53	7.67	18.64	16.57
금산(238)	2.52	3.28	2.90	3.20	2.50	3.26	3.01	2.08	3.07
서귀포(189)	4.91	29.35	32.53	1.64	4.06	3.97	12.11	101.07	107.80
진주(192)	0.40	22.89	35.41	-1.14	10.69	16.77	0.61	34.47	57.68

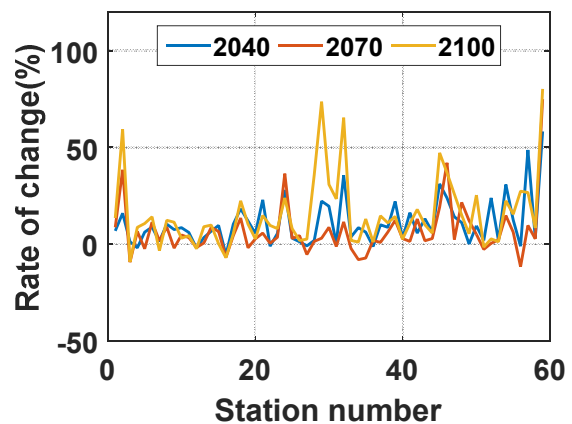
RCP 8.5 시나리오에 대한 미래 확률강우량 증감률(JBNU)

미래년도	2040 년			2070년			2100년		
지속시간	1-hr	2-hr	3-hr	1-hr	2-hr	3-hr	1-hr	2-hr	3-hr
강화(201)	-0.47	0.22	1.36	-1.18	-2.25	0.12	18.25	23.91	27.94
양평(202)	26.55	37.44	42.96	8.82	10.29	15.53	50.50	65.69	79.63
이천(203)	4.02	4.26	3.35	-0.58	-2.11	-3.83	2.29	2.00	1.50
홍천(212)	7.30	8.60	9.67	-6.61	-8.22	-8.69	1.24	1.62	0.66
제천(221)	4.81	6.37	7.82	-3.60	-6.88	-10.71	7.03	12.28	20.00
보은(226)	-2.10	-0.42	-0.94	1.17	3.11	1.71	1.03	2.12	0.28
천안(232)	8.66	9.57	11.85	1.11	1.17	0.61	11.36	14.84	18.00
보령(235)	2.13	10.59	13.39	0.21	8.37	10.22	1.01	14.57	17.73
부여(236)	18.24	24.75	23.14	9.25	14.23	13.53	7.67	18.64	16.57
금산(238)	2.52	3.28	2.90	3.20	2.50	3.26	3.01	2.08	3.07
부안(243)	9.33	12.20	27.36	2.33	0.82	1.14	8.07	8.43	15.64
임실(244)	1.29	6.99	8.90	4.88	15.52	18.71	5.30	23.35	25.44
정읍(245)	15.98	9.38	14.49	2.14	1.99	1.45	10.89	7.60	11.74
남원(247)	1.78	0.73	16.65	0.50	0.72	7.62	2.51	2.95	11.84
장흥(260)	13.24	34.39	45.82	7.17	20.68	29.70	3.89	55.84	81.97
해남(261)	18.37	26.12	27.28	28.46	46.09	51.85	26.48	40.24	44.26
고흥(262)	10.53	9.34	22.68	0.72	5.88	0.92	19.05	10.59	48.08
영주(272)	6.60	11.40	15.75	5.43	35.15	24.15	4.94	23.07	16.88
문경(273)	0.74	-2.18	1.93	6.36	15.85	14.30	2.60	8.34	5.22
영덕(277)	0.34	12.18	16.10	4.26	5.19	6.06	4.60	32.31	39.22
의성(278)	2.20	1.87	1.74	-2.04	-2.48	-3.59	-0.05	-1.58	-2.99
구미(279)	6.69	42.28	22.93	0.07	0.65	0.64	1.87	4.38	2.39
영천(281)	1.34	1.89	2.29	0.71	3.08	2.91	0.36	2.52	0.96
거창(284)	28.17	32.98	31.63	12.93	16.09	15.40	20.64	23.81	23.07
합천(285)	5.37	26.04	6.47	1.75	13.67	3.35	3.72	41.46	1.20
밀양(288)	-0.10	-1.30	-1.69	-7.05	-13.58	-14.08	19.47	31.38	31.49
산청(289)	40.92	59.07	45.97	5.17	12.96	11.16	23.64	32.52	23.97
거제(294)	1.52	2.33	5.62	1.62	2.73	4.18	5.11	8.92	11.01
남해(295)	53.19	59.25	62.55	68.55	75.63	80.55	71.01	81.88	87.71

○ 결과 비교를 위해 미래년도 별로 지속시간 1, 2, 3-시간 확률강우량 값을 단순 평균하여 살펴보았음.



(a) PKNU



(b) JBNU

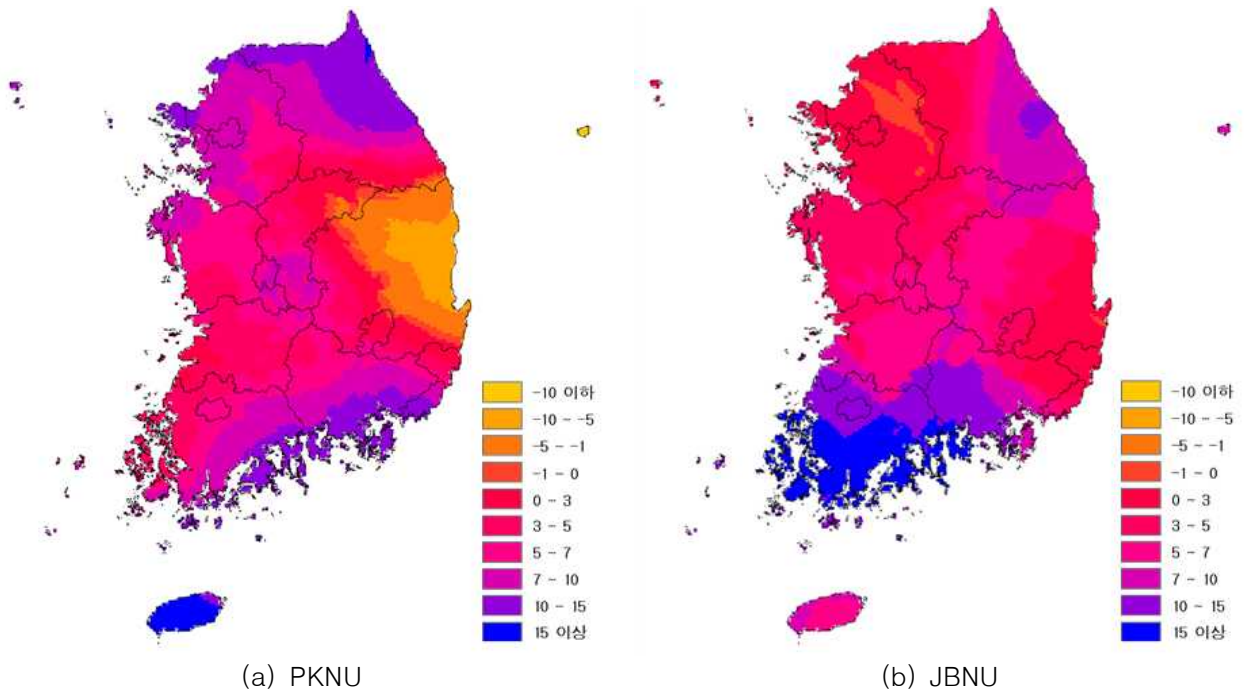
미래년도 별 지속시간 1,2,3-시간 확률강우량 평균

- 결과를 살펴보면, 두 결과 모두 대부분의 지점에서 현재보다 확률강우량이 증가할 것으로 나타남.
- PKNU 결과의 경우 미래로 갈수록 확률강우량의 증감률이 점차 커지는 것을 확인할 수 있으며, 2040년 대비 2100년의 증감률의 편차가 더욱 크게 나타나는 것을 살펴 볼 수 있었음.
- JBNU 결과의 경우 2040년에 비해 2070년의 확률강우량 증감률이 작아지는 지점이 다수 존재하고 있음.
- 또한, PKNU의 경우 JBNU와 비교하여 일부 지점에서 상대적으로 큰 감소율을 나타내고 있으며, 이와 반대로 JBNU의 경우 일부 지점에서 상대적으로 큰 증가율을 나타내고 있음.
- 아래 표는 확률강우량 증감율의 평균, 표준편차, 최솟값, 최댓값을 나타낸 것이며, 증감률이 30 % 이상이거나 -20 % 이하인 지점 수를 정리한 것임.

확률강우량 증감율의 통계치 비교

시나리오		RCP 8.5 시나리오		
미래 시기		2040 년	2070 년	2100 년
평균	PKNU	2.4	5.6	10.0
	JBNU	10.9	6.7	15.6
표준편차	PKNU	7.5	11.5	16.6
	JBNU	12.2	13.5	18.3
최소	PKNU	-15.5	-20.4	-39.5
	JBNU	-5.5	-11.6	-9.1
최대	PKNU	20.1	32.0	57.3
	JBNU	58.3	74.9	80.2
+30% 이상의 지점 개수	PKNU	0	1	6
	JBNU	5	4	8
-20% 이하의 지점 개수	PKNU	0	1	2
	JBNU	0	0	0

○ 다음은 2040 년부터 2070 년 평균 확률강우량 증감률을 공간적으로 비교해보았음.



미래기간 평균 확률강우량 증감률의 공간적인 분포 비교

- 두 결과를 비교하였을 때, 모두 일부 지역을 제외하고 확률강우량의 증가를 나타내고 있지만, 확연히 다른 공간분포를 나타내는 것을 확인 할 수 있음.
- PKNU의 경우 강원지역과 남해안 일부지역에 증가확률이 두드러지는 반면 동해안 일부지역에는 감소확률이 나타났음.
- JBNU의 경우 전남지역을 중심으로 증가확률이 나타났으며, 강원지역 일부에 증가 추세가 분포하고 있음.

□ 미래 확률강우량 산정 프로그램 개발

- 본 연구에서 정립한 미래 확률강우량 산정을 위한 Scale-Invariance 기법을 이용 확률강우량 산정프로그램을 개발하였음.

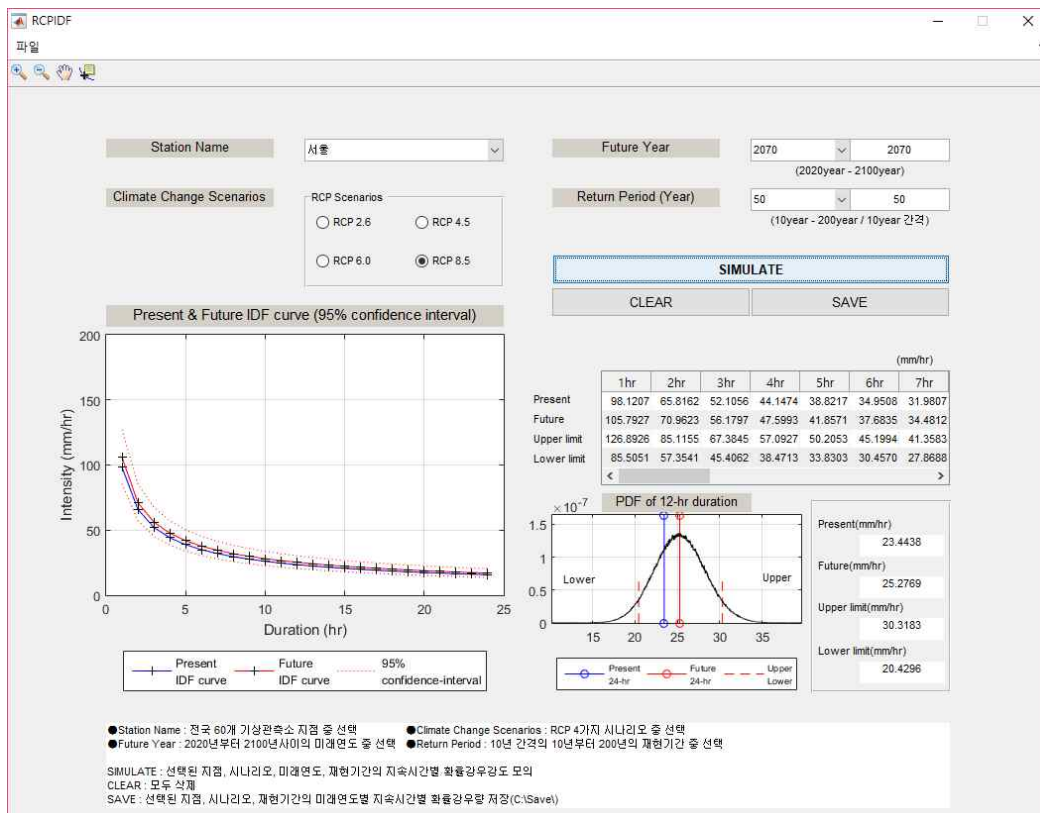


미래 확률강우량 산정 프로그램 초기화면

- Matlab GUI 프로그램을 기반으로 프로그래밍 되었으며, 사용자의 컴퓨터에 Matlab 프로그램이 설치되어있지 않아도 사용할 수 있도록 제작됨.
- 본 프로그램은 분석 지점과 시나리오, 미래년도, 재현기간을 선택하여 해당 조건에 대한 지속시간 1-시간에서 24-시간까지 신뢰도 20 - 80 %의 미래 확률강우량을 산정함.
- 본 연구에서 사용된 60개 기상청 주요 기상관측지점에 대해 모의가 가능하도록 제작 되었으며, 각 지점별로 미래 2020년부터 2100년까지, 재현기간 10년부터 200년까지의 미래 확률강우량 산정이 가능함.
- 복잡한 조작 없이 사용자가 간단하게 미래 확률강우량을 산정할 수 있으며, 프로그램 사용 방법은 다음과 같음.
 - 'Station Name'에서 원하는 지점을 선택
 - 'Climate Change Scenarios'에서 RCP 시나리오 중 하나를 선택
 - 'Future Year'에서 특정 미래년도(2020 - 2100년)를 선택 또는 입력
 - 'Return Period(Year)'에서 특정 재현기간(10 - 200년, 10년 간격)을 선택 또는 입력
 - 'SIMULATE'를 이용하여 선택된 지점, 시나리오, 미래년도, 재현기간에 대한 미래 확

률강우량을 계산

- 결과를 저장할 경우 해당 폴더에 ‘지점명_시나리오_재현기간’의 파일명으로 저장되며 모든 미래년도(2020 - 2100 년)에 대한 1 - 24 시간의 확률강우량이 저장됨.
- 아래 그림은 서울지점의 RCP 8.5 시나리오에 대하여 미래년도 2070년의 재현기간 50년에 대한 확률강우량 산정 결과를 표시한 화면임.
- 프로그램화면 좌측에는 해당 지점의 현재 IDF 곡선(파란선)과 분석된 신뢰구간 20 - 80 %의 미래 IDF 곡선(빨간선)이 표시되며, 우측에는 지속시간별로 현재와 미래의 확률강우량이 강우강도(mm/hr)로 표시됨.
- 또한 지속시간 12-시간에 대하여 분석된 미래 확률강우량의 확률밀도함수를 나타내어 현재 확률강우량과의 비교가 가능함.



미래 확률강우량 산정 결과화면

[결 론]

- 본 연구에서는 Scale-invariance 기법 기반의 미래 IDF 곡선식을 유도하였으며, 이를 이용하여 지역별 미래 IDF 곡선을 생산함.
- 신뢰구간 20-80%의 미래 IDF 곡선을 작성한 결과, 대부분의 지점에서 미래로 갈수록, 재현기간이 길수록 확률강우량이 현재보다 상대적으로 높게 나타나고 있었으며 불확실성의 범위가 급격하게 증가하였음.
- 또한 역거리가중법을 이용하여 지속시간 1-시간 확률강우량 증가율을 공간적으로 분석한 결과, 모든 미래년도와 재현기간에 대해 증가율의 공간적인 형태는 유사하게 나타났지만, 확률강우량의 변동 범위는 미래로 갈수록, 재현기간이 길수록 커지는 것으로 나타남.
- 분석된 결과는 미래의 기후변화에 따른 확률강우량의 변동을 확률적으로 살펴볼 수 있을 것으로 판단되며, 향후 다양한 기후변화 시나리오로부터 확률강우량의 변동을 연구하는데 기초가 될 것으로 판단됨.
- 또한 시간-단위의 강우자료가 요구되는 수공구조물의 설계에 기후변화의 영향을 반영하기 위한 기초자료 생산에 참고할 수 있을 것으로 기대됨.
- 본 연구에서 RCP 8.5 시나리오 이용하여 나타낸 결과를 보면 우리나라 대부분의 지역에서 현재보다 확률강우량이 증가할 가능성이 높은 것으로 나타남. 따라서 과거강우의 통계적 분석을 기반으로 하는 현재의 수공구조물을 고려할 때, 기후변화의 영향에 따른 확률강우량의 증가를 수공구조물의 설계에 반영하지 않는다면 극한강우의 발생 시 수공구조물 파괴로 인한 홍수 피해와 같은 사회·경제적인 피해의 증가를 야기할 수 있음.

(다) 핵심연구성과 C 홍수위험도 기반 대응기술 적용을 위한 의사결정
기법 개발(전기연)

C-1 지역특성을 고려한 홍수피해 최소화 의사결정 방법론 개발

[연구 수행 내용]

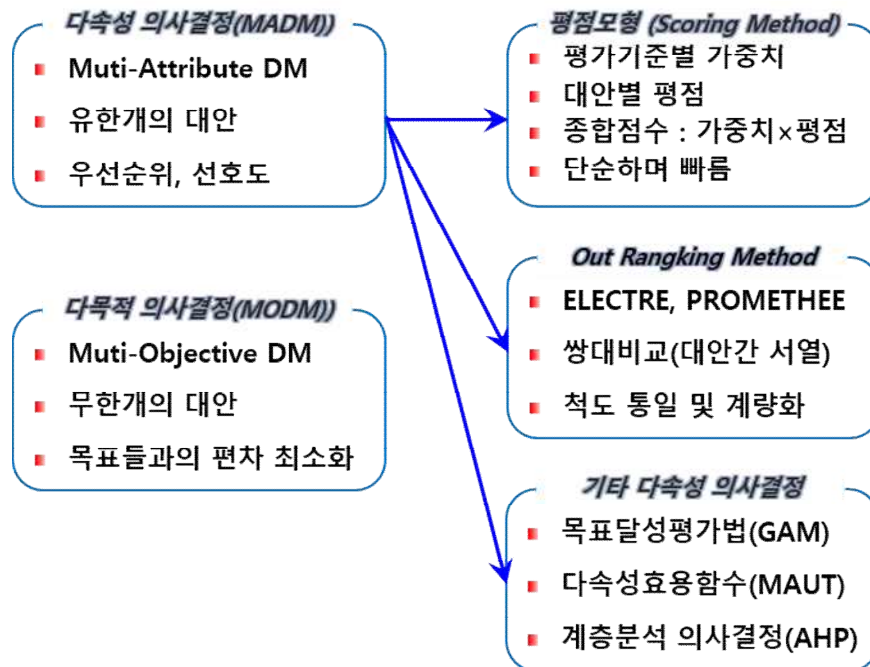
- ① 의사결정기법 조사 및 최적 방법론 도출
- ② 표준화 방법 및 가중치 산정 방법 도출

□ 의사결정기법 조사 및 최적 방법론 도출

- 의사결정기법 : 대안과 평가기준이 다양할 때 사용하는 의사결정과정

MCD Making : 다기준 의사결정 통칭
Analysis : 영어권 연구자들이 주로 사용
Aid : 프랑스어권 연구자들이 주로 사용

- 의사결정기법 : 대안의 개수와 목표에 따라 다다른 방법에 따라 다목적 의사결정(MODM: Multiple Objective Decision Making)과 다속성 의사결정(MADM: Multiple Attribute Decision Making)으로 구분



의사결정의 다양한 방법론

- 순서우위(Out Ranking) 방법

- 순서우위 방법은 대안들의 서열을 결정할 수 있는 기법으로 프랑스에서 시작되어 주로 유럽의 다기준 의사결정에서 주로 쓰이는 기법
- Outranking에 대한 개념은 Roy(1996)에 의해 정립되었으며, 모두 쌍대 비교(pairwise comparison)를 통해 우선순위를 결정

- 쌍대 비교는 대안들을 한 쌍씩 체계적으로, 기준 대 기준으로 비교하며, 대안들 간의 서열순위를 결정
 - 대안들의 서열순위는 의사결정자로부터 얻어진 대안들의 선호도와 이를 통해 산정한 concordance 지수, discordance 지수의 계산에 의해 산정
 - Outranking 기법 대표 방법론 : ELECTRE 계열 및 PROMETHEE 기법
 - 서로 다른 척도로 계측된 자료를 동일한 척도로 표현하기 위한 표준화 방법 및 중요도 결정을 위한 가중치 결정방법 필요
- PROMETHEE 방법과 ELECTRE 방법의 알고리즘을 제공하되, 기본적으로 대안의 우선순위가 모두 자동으로 제공되는 PROMETHEE 방법을 우선하여 적용
- PROMETHEE 방법
- 선호유출량($\emptyset^+$)과 선호 유입량($\emptyset^-$)을 이용하여 대안의 우선순위를 결정하는 PROMETHEE I과 선호유출량과 선호유입량의 차이인 순흐름량을 이용하여 순위를 결정하는 PROMETHEE II 방법이 있음

$$\text{선호지수}, \pi(a, b) = \sum_{j=1}^k p_j(a, b)w_j \quad (1)$$

- 선호함수는 다양한 방법이 있으며, 다양한 연구 결과를 조사하여 V형으로 선정하여 제공(선호함수 : 비교 대상이 되는 두 대안이 동일한 기준으로 평가했을 때 전체 대안의 범위에서 어느 정도 위치에 있는지를 나타내는 함수)
- 선호유출량($\emptyset^+$), 선호유입량($\emptyset^-$) 및 순흐름량($\emptyset$) 계산

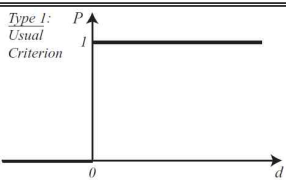
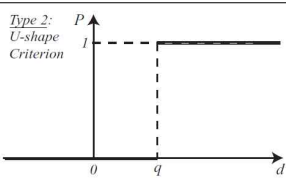
$$\emptyset^+(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(a, b) \quad (2)$$

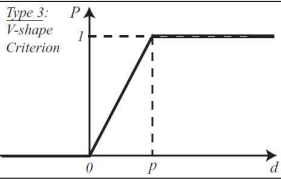
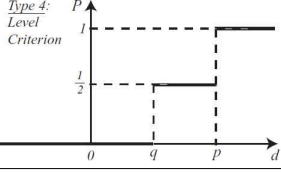
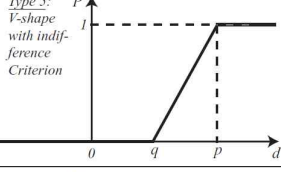
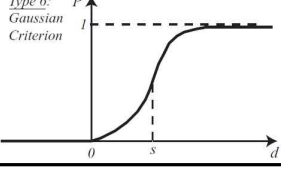
$$\emptyset^-(a) = \frac{1}{n-1} \sum_{b \in A} \pi(b, a)$$

$$\emptyset(a) = \emptyset^+(a) - \emptyset^-(b)$$

여기서, A 는 모든 대안들의 집합.

선호함수형태 및 범위(Brans와 Smet, 2016)

유형	정의	임계치
	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 & d > 0 \end{cases}$	-
	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ 1 & d > q \end{cases}$	q

유형	정의	임계치
Type 3: V-shape Criterion 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ \frac{d}{p} & 0 \leq d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p
Type 4: Level Criterion 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{1}{2} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
Type 5: V-shape with indifference Criterion 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q} & q < d \leq p \\ 1 & d > p \end{cases}$	p, q
Type 6: Gaussian Criterion 	$P(d) = \begin{cases} 0 & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}} & d > 0 \end{cases}$	s

○ ELECTRE 방법

- 표준화 및 가중치 설정 : 평가기준에 가중치를 곱하여 대안에 따른 표준화 행렬을 구성하여 표준화 행렬 구성
- 쌍대비교를 통한 우열표 작성 : 동일 평가기준에서 표준화 행렬의 값이 큰 대안이 작은 대안보다 우월함을 나타냄
- 우등집합 및 열등집합 구성 : 우월한 평가기준(우등집합), 열등한 평가기준(열등집합)
- 쌍대비교를 위한 대안 쌍(p, q) 구성 : 우등지수 c_{pq} 및 열등지수 d_{pq}

$$c_{pq} = \frac{\sum_{j^0} r_{j^0}}{\sum_j r_j}, \quad d_{pq} = \frac{\sum_{j^0} |v_{pj^0} - v_{qj^0}|}{\sum_j |v_{pj} - v_{qj}|} \quad (3)$$

- 대안의 최종 우선순위 : 대안 쌍 (p, q)의 우등지수가 우등지수 평균보다 크고, 열등지수가 열등지수 평균보다 작으면 대안 p가 대안 q보다 우선한다는 원칙 적용

○ 본 과업 적용 최적 모델 : 순서우위 방법 선택하되, 사용자의 관련 분야 지식에 따라 평가기준의 가점을 달리 할 수 있는 형태로 알고리즘 개발

- 다양한 대안을 여러 기준을 통해 평가가 가능
- 표준화와 가중치 결정을 자동화하는 방법을 병행하여 사용자의 개인적인 의견을 최소화하며, 자동으로 우선순위 도출
- 사용자가 관련분야 전문가이거나 적용지역의 정밀한 자료의 획득이 가능한 경우 평가기준의 점수를 조정할 수 있는 형태로 개발이 필요

□ 표준화 방법 및 가중치 부여 방식 결정

○ 표준화 방법 조사, 결정

- 표준화 : 각 기준의 크기 및 단위의 편차를 해소하는 과정
- 주요 표준화 방법 : 벡터 표준화, Z-score 방식, 스케일 재조정법 등
- 벡터 표준화 방식 : 벡터의 크기로 각 요소를 나누어 단위벡터로 만들어 준 후 그 요소를 가중치로 사용하는 방법
- Z-score 방식: 모든 자료를 평균을 0, 표준편차를 1로 만들어 주는 방식으로 score가 정규분포일 때 그 값은 -3에서 3으로 제시, 경우에 따라 음수 부분에 대한 별도의 처리가 필요
- T-score 방식 : McCall(1923)이 제안, Z-score의 값에 10을 곱한 후 50을 더해 범위를 20에서 80의 범위로 조정하는 방식으로 본 연구에 적용

$$T = 10\left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right) + 50 \quad (4)$$

표준화 방법

Method	Equation
순위산정 (Ranking)	$I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$
Z-스코어 (Z-score)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^t}{\sigma_{qc=\bar{c}}^t}$
스케일 재조정 (Re-scaling)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^{t_0})}{\max_c(x_q^{t_0}) - \min_c(x_q^{t_0})}$
기준선과의 차이 (Distance to reference country)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc=\bar{c}}^{t_0}} \text{ or } I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^{t_0}}{x_{qc=\bar{c}}^{t_0} - \bar{c}}$
범주 스케일 (Categorical scales)	$I_{qc}^t = \begin{cases} 25 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{25th}\}percentile \\ 50 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{50th} - p^{25th}\}percentile \\ 75 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{75th} - p^{50th}\}percentile \\ 100 & \text{if } x_{qc}^t \in \{p^{100th} - p^{75th}\}percentile \end{cases}$
평균 상·하위 지표 (Indicators above or below the mean)	$I_{qc}^t = \begin{cases} 1 & \text{if } w > (1+p) \\ 0 & \text{if } (1-p) \leq w \leq (1+p) \\ -1 & \text{if } w < (1-p) \end{cases}$ where $w = x_{qc}^t / x_{qc=\bar{c}}^{t_0}$
순환지표 (Cyclical indicators(OECD))	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E(x_{qc}^t))}$
의견 균형 (Balance of opinions(EC))	$I_{qc}^t = \frac{100}{N_e} \sum_e^{N_e} sgn_e(x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1})$
연간차이 백분율 (Percentage of annual differences over consecutive years)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t}$

【자료】 국토해양부(2012) 하천종합관리지표 개발에 관한 연구

○ 가중치 결정 방법 조사 및 선정

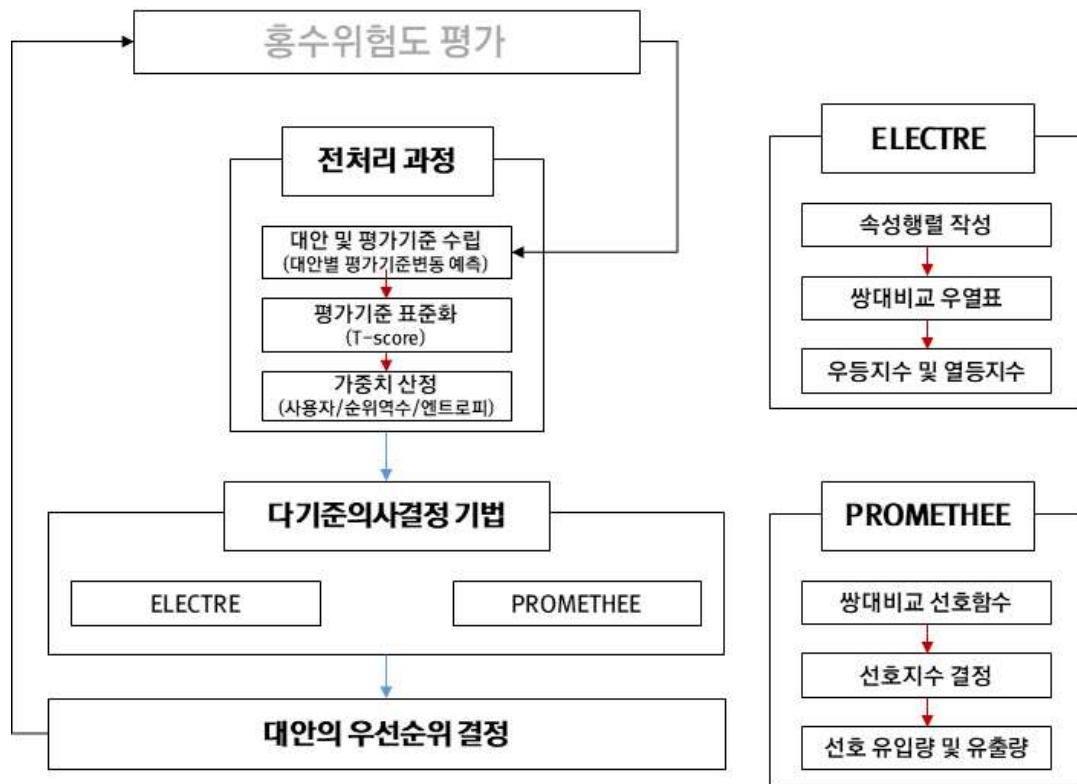
- 가중치는 평가기준들 간의 상대적인 중요도를 나타내는 것으로 다양한 방법이 활용
- 의사결정자의 경험에 의해 직접 가중치를 결정하는 경우, 기준의 중요도에 따라 순위를 정하여 순위 역수나 순위 합계를 이용하여 가중치를 결정하는 경우도 있음
- 숙련된 의사결정자는 바람직한 결정을 내릴 가능성이 있으나 개인에 따라 편차가 클 수 있음
- 다수 전문가 집단의 설문 결과를 집계하여 가중치를 결정하는 델파이법, 평가기준의 정량적 자료만을 이용하여 엔트로피를 계산하는 방법 등이 주로 활용됨
- 엔트로피 방법 : 의사결정자의 주관적 판단이 들어가지 않아 객관적이며, 필요시 의사결정자가 주관적 점수를 부여하여 엔트로피를 계산하는 과정을 삽입할 수 있다는 장점이 존재

가중치 산정 방법의 장·단점

구분	장점	단점
척도표시법	비교적 간단하여 적용이 용이함	상대적 중요도 파악이 어려움 질문의 표현방법에 따른 상이한 결과 가능
순위척도법	선호도를 반영한 절차의 단순성 비교적 간단하여 적용이 용이함	속성간의 상대적 중요도 파악 곤란 순위에 따른 점수가 임의적일 수 있음
점수할당법	전문가를 통한 상대적 중요도파악 객관성 확보가능 및 신속·용이함	항목이 많으면 배점이 어려워짐 속성의 특성을 구체적으로 고려하지 못함
델파이법	다수의 전문가의 의견 수렴 가능 독립성, 반복성, 환류성, 객관성 제고	회전속도가 느리고 장기간 소요 설문지에 의한 의견진술이므로 설문지 방법의 본래적인 한계점 내포
계층분석법	지표의 결과를 숫자로 나타내어 인자들의 영향을 상대적 크기로 표시 가능 대안별 종합적인 비교·검토 가능	조사방법이 까다롭고, 장시간 소요 전문가집단으로 조사 대상을 한정하는 것이 바람직함
다중회귀 분석법	응답자들의 저항감이 없음 여러 분야에서 자주 사용되는 통계기법	신뢰성을 높이기 위하여 다수의 프로필을 준비해야 함 프로필의 설계와 구성에 민감함
요인분석법	자료를 이용하여 객관적인 기술통계기법을 활용한 가중치 산정방법 관측변수 자료의 통계학적 성질에 의거하여 합리적인 가중치 산정	통계프로그램을 이용하여 요인분석 선행 신뢰성을 높이기 위하여 충분한 자료가 구축되어야 함
엔트로피 방법	자료를 이용한 객관적 가중치 산정 가능 비교적 간단히 계산이 가능하여 적용이 용이함	인자의 속성정보 구축 선행 자료의 특성에 따라 극적인 가중치 산정 가능

【자료】 국토해양부(2012) 하천종합관리지표 개발에 관한 연구

○ 의사결정기법 적용 프로세스 정립 : 가중치, 표준화 의사결정기법



의사결정기법 적용 순서

의사결정시스템 계산순서 및 방법

순서 및 항목		비고
I. 홍수방어대안 및 평가기준	1. 홍수방어대안	- 홍수방어대안 제공(27개) - 타 분야 적용을 위한 의사결정방법 소프트웨어를 위해서는 대안도 사용자가 바꿀 수 있어야 확장성을 확보
	2. 평가기준	- 평가기준 제공(기본 4개) - 사용자가 직접 평가기준을 입력할 수 있도록 평가기준 10개까지 입력 가능(회의시 논의함)
	3. 대안별 기준에 따른 점수 입력	- 기본 제공되는 평가기준 4개에 대한 점수는 디폴트값으로 자동 입력 - 사용자가 직접 대안과 기준을 바꾸는 경우 자유롭게 점수 변경 - 최종: 대안×평가기준 행렬(X_{ij}) 구축 → 엑셀시트 '우선순위결정'의 1. 대안 및 평가기준 참조
II. 가중치 결정(엔트로피 방식)	1. 엔트로피 가중치: 정규화 행렬	- 정규화행렬 원소 : $P_{ij} = X_{ij} / \sum_{j=1}^{\text{대안갯수}(n)} X_{1j}$ - 단, 향후 자연로그 계산을 위하여 만일 X_{ij} 중 값이 0인 원소는 영에 가까운 매우 작은 수로 자동 치환되도록 해야 함 - 엑셀시트 '우선순위결정' 2. 엔트로피 가중치의 1) 참조
	2. 엔트로피 행렬 및 엔트로피	- 엔트로피행렬 원소 : $e_{ij} = P_{ij} \times \ln(P_{ij})$ - 엔트로피 : $E_j = -1/\ln(\text{대안수 } n) \times \sum_{i=1}^{\text{대안갯수}(n)} e_i$

순서 및 항목		비고
		· 엑셀시트‘우선순위결정’ 2. 엔트로피 가중치의 2) 참조
	3. 가중치 결정	· 다양성 정도 : $1-E_j$ · 엔트로피 가중치 : $(1-E_j)/\sum_{j=1}^{평가기준수(m)} E_j$ · 엑셀시트‘우선순위결정’ 2. 엔트로피 가중치의 3) 참조
	4. 사용자 지정 가중치	· 시스템에서 디폴트로 주는 가중치는 엔트로피 가중치 · 사용자가 원하는 가중치를 직접 입력하는 단순 가중치부여가 가능(회의시 논의, 가중치의 총합은 1)
III. 다기준 의사 결정 (PROMETHEE)	1. 쌍대비교를 위한 선호함수 값 계산	· 기준대안×비교대안 행렬(CAij) 구축 : n×(n-1) 행, m(평가기준 수) 열 · 기준대안의 점수가 비교대안의 점수보다 낮을 때, 원소값은 0 · 기준대안의 점수가 비교대안의 점수보다 높을 때, 원소값은 (기준대안점수 - 비교대안점수)/선호임계치 · 선호임계치 : 각 평가기준의 대안별 점수의 최댓값-최솟값 · 엑셀시트‘우선순위결정’ 3. 쌍대비교 및 1. 대안 및 평가기준 참조
	2. 선호지수 계산	· 가중치(엔트로피, 사용자 부여) × CAij · 각 비교쌍 별 선호지수 : $\sum_{j=1}^m CA_j$ · 엑셀시트‘우선순위결정’ 4. 선호지수 계산 참조
	3. 순흐름량 계산	· 대안별 선호유출량 : 선호지수 중 해당 대안이 기준대안으로 되어 있는 선호지수 값의 합(예, 대안 1의 선호유출량은 대안쌍 (1,2), (1,3)~(1,27)의 합) · 대안별 선호유입량 : 선호지수 중 해당 대안이 비교대안으로 되어 있는 선호지수 값의 합(예, 대안 1의 선호유입량은 대안쌍 (2,1), (3,1)~(27,1)의 합) · 순흐름량 = 선호유출량 - 선호유입량
	4. 대안별 우선 순위	· 순흐름량이 클수록 순위가 앞섬(좋은 대안임)

[결 론]

- 다양한 분야에서 사용되는 의사결정기법을 조사하여 가이드라인을 작성하였으며, 홍수위험도 기반 의사결정시스템에 적합한 방법으로 순서우위(Out Ranking) 방법을 도출하였음
- 기준과 대안이 다양한 경우 동일한 스케일로 상호비교가 가능하도록 표준화 방법을 조사하여 제시(T-Score방법)하였으며, 사용자의 주관적 의사가 최소화되는 가중치 결정방법으로 엔트로피(Entropy) 방식을 제시하였음
- 대안별 가중치를 전문적 지식이 있는 사용자가 특성을 반영할 수 있도록 시스템 개발방향을 도출함

C-2 의사결정기법 시범적용 및 평가

[연구 수행 내용]

- ① 경제성 평가방안 조사 및 적용
- ② 시범적용(부산, 경남지역)

□ 경제성 평가방안 조사 및 적용

- 실적에 대한 평가 : 피해액을 복수사업의 편익(B)로, 복구액을 비용(C)로 활용 가능
- 계획에 대한 평가 : 경제성 예측이 필요하며, 우리나라 하천사업의 치수경제성은 다차원홍수피해산정방법을 사용토록 규정하여 공식적인 방법으로 통용됨
- 다차원 홍수피해 산정방법 : 예상 침수심 별 침수면적 산정 후 해당지역의 토지이용상태를 중첩하여 전체 피해요소(인명, 건축물, 농작물 등)를 산정, 단가를 곱하여 피해액 예측
- 방법론 본 적용부분에서의 경제성은 실적 자료이므로 피해액을 복구사업에 의한 편익으로 복구액을 비용으로 하는 B/C 값을 사용하며, 별도의 시스템을 구축하는 것은 본 연구의 범위와 예산을 뛰어넘는 것으로 적용 사례를 수록하였음
 - 국토해양부(2008)‘수자원사업의 타당성 개선방안 연구’ 적용 방법론
- 피해액 산정 : 일반자산

자산 피해항목 및 조사대상

자산항목	대 상 자 산
주거자산	• 건물 : 일반세대의 주거용 건물 • 건물내용물 : 일반세대의 주거용 가정용품
농업자산	• 농경지 : 전·답 • 농작물 : 홍수시에 있어서의 대표작물
산업자산	• 유형고정·재고자산 : 사업소자산 중 토지를 제외한 생산설비나 재고자산

- 자산별 가치산정 방법

- 건물 자산가치(원) = 건축형태별 단위면적당 건축단가(원/㎡)
 - × 건축형태별 연면적 비율
 - × 건축형태별 평균 연면적(㎡)
 - × 가구수(개수)
 - × 기준년 건설업 Deflator(5)
- 건물내용물 자산가치(원) = 가정용품 평가액(원/세대수)
 - × 세대수
 - × 소비자 물가지수(6)

$$\begin{aligned} \cdot \text{농작물 자산가치(원)} &= \text{단위면적당 농작물 평가단가(원/ha)} \\ &\times \text{농작물 작부면적(ha)} \\ &\times \text{소비자 물가지수} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{산업 자산가치(원)} &= \text{광역시도별·산업대분류별 유형자산 및 재고자산의 비율} \\ &\times \text{해당년도 전국단위·전체산업의 유형고정자산 및 재고자산} \\ &\quad / \text{해당년도 광역시도별·산업대분류별 종사자수} \\ &\times \text{대상지역(읍면동) 산업대분류별 종사자수(인)} \\ &\times \text{소비자 물가지수} \end{aligned} \quad (8)$$

- 자산별 침수피해액 : 침수편입률(침수 피해를 당한 비율), 침수심별 피해율 적용

$$\begin{aligned} \cdot \text{건물피해액} &= \text{건물 자산가치(원)} \\ &\times \text{주거지역 침수편입률} \\ &\times \text{침수심별 건물 침수피해율} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{건물내용물 피해액} &= \text{건물내용물 자산가치(원)} \\ &\times \text{주거지역 침수편입률} \\ &\times \text{침수심별 건물내용물 침수피해율} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{농경지 피해액} &= \text{매물, 유실의 평균피해액(원)} \\ &\times \text{농업지역 침수편입률} \\ &\times \text{침수심별 농경지 침수피해율} \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{농작물 피해액} &= \text{농작물 자산가치(원)} \\ &\times \text{농업지역 침수편입률} \\ &\times \text{침수심별 농작물 침수피해율} \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{유형고정, 재고자산 피해액} &= \text{유형고정, 재고 자산가치(원)} \\ &\times \text{산업지역 침수편입률} \\ &\times \text{침수심별 유형고정, 재고자산 침수피해율} \end{aligned} \quad (13)$$

○ 피해액 산정 : 인명 및 이재민 피해

$$\begin{aligned} \cdot \text{인명피해액} &= \text{침수면적당 손실(사망) 인명수(명/ha)} \times \text{침수면적(ha)} \\ &\times \text{손실(사망) 원단위(원/명)} \\ &+ \text{침수면적당 손실(부상) 인명수(명/ha)} \times \text{침수면적(ha)} \\ &\times \text{손실(부상) 원단위(원/명)} \\ &+ \text{침수면적당 손실(사망+부상) 인명수(명/ha)} \times \text{침수면적(ha)} \\ &\times \text{심리적비용 원단위(원/명)} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{이재민피해액} &= \text{침수심별 주거지역 침수편입률의 합계} \\ &\times \text{행정구역인원(명)} \\ &\times \text{대피일수(일)} \times \text{일평균 국민소득(원/명·일)} \end{aligned} \quad (15)$$

○ 공공시설물 : 일반자산 피해액 대비 비율(1.694)로 산정

○ 적용 대상지역의 피해액 산정

- 인명피해액 : 다차원 홍수피해 산정방법 이용
- 기타 항목 피해액 : 실적 자료 조사결과 활용

□ 시범적용 : 부산, 경남지역

- 방법론 : 실제 피해현황을 조사하고, 홍수취약행정구역의 우선순위를 결정하는 내용으로 적용, 여기서 행정구역 우선순위는 대안으로, 피해요인은 평가기준으로 적용
- 사례 : 2014년 8월 집중호우 피해 현황
- 대상 행정구역 : 부산, 울산, 경남의 10개 읍면동

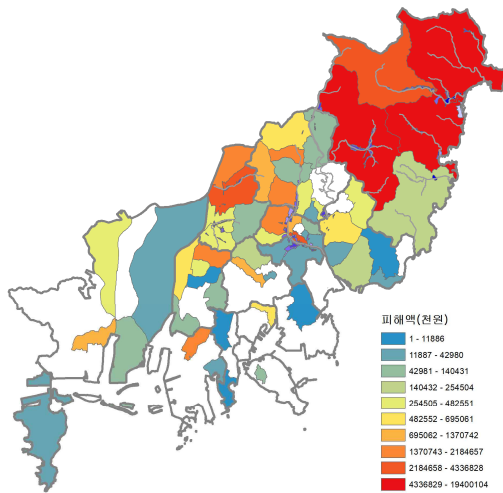


그림 2-113 피해액(합계)

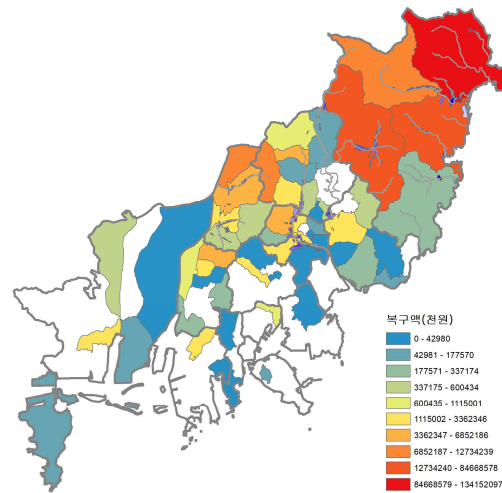


그림 2-114 복구액(합계)

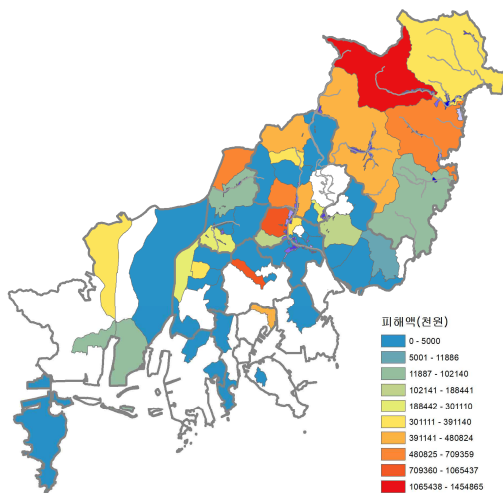


그림 2-115 피해액(침수)

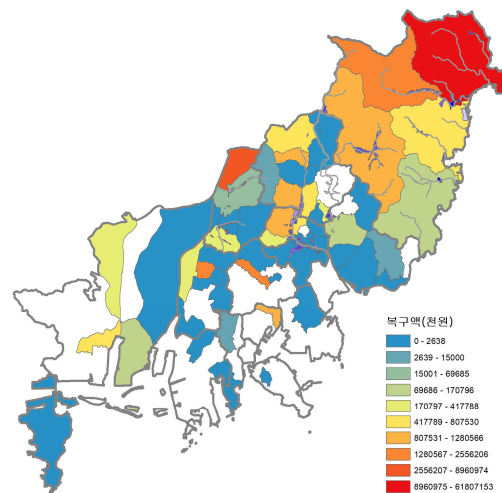


그림 2-116 복구액(침수)

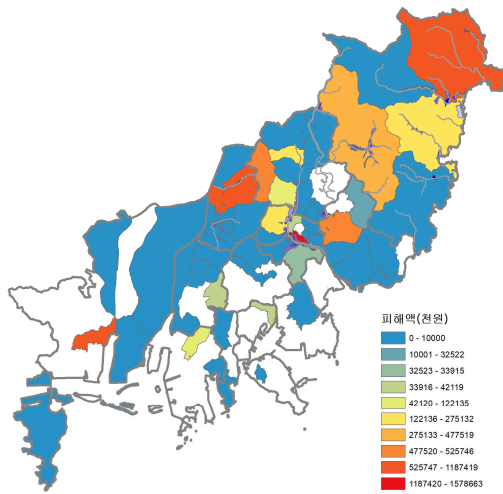


그림 2-117 피해액(하천범람)

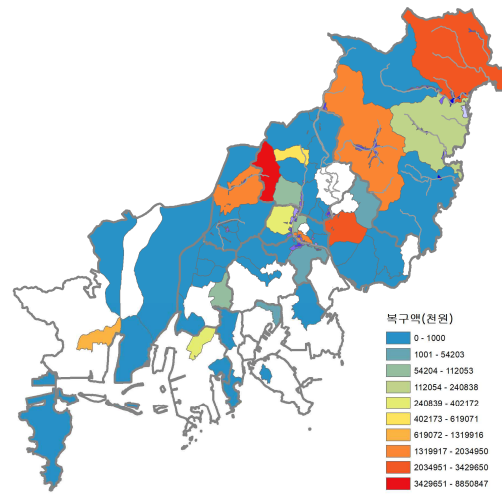


그림 2-118 복구액(하천범람)

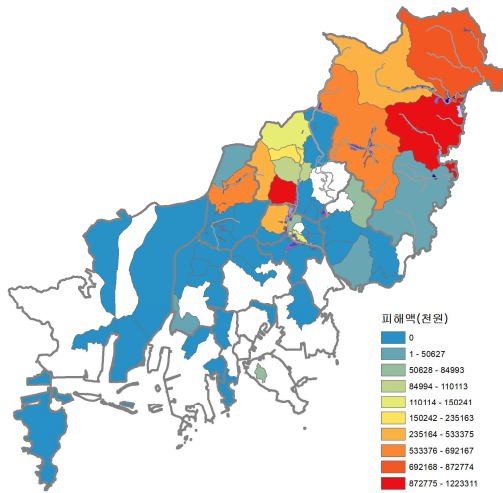


그림 2-119 피해액(하천급류)

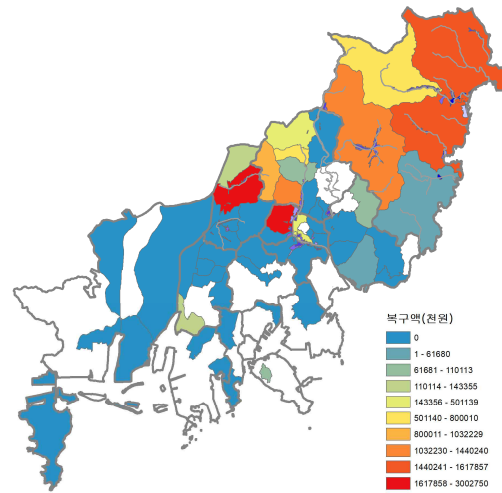


그림 2-120 복구액(하천급류)

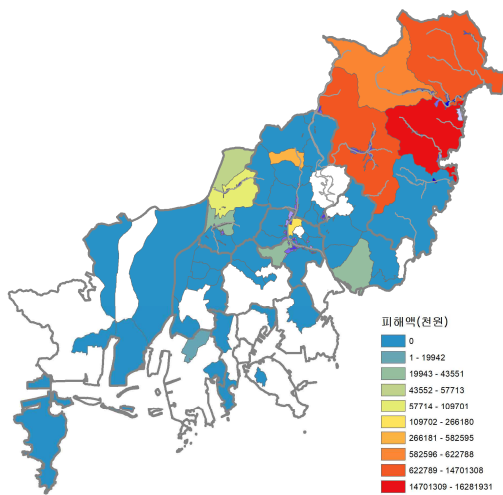


그림 2-121 피해액(하천제방)

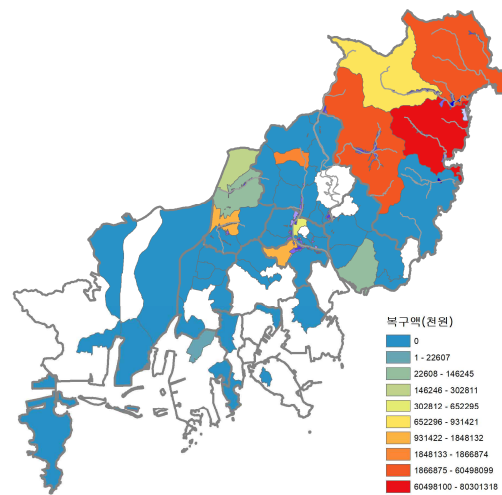


그림 2-122 복구액(하천제방)

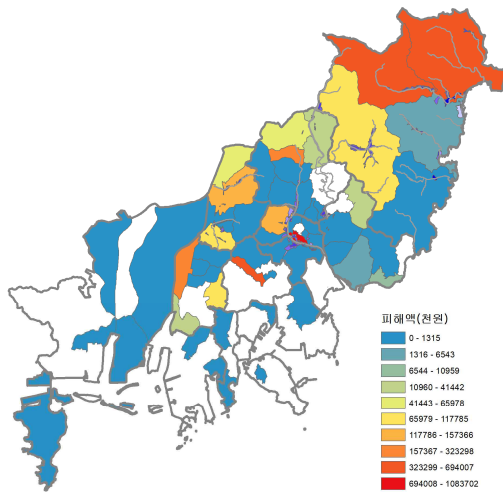


그림 2-123 피해액(산사태)

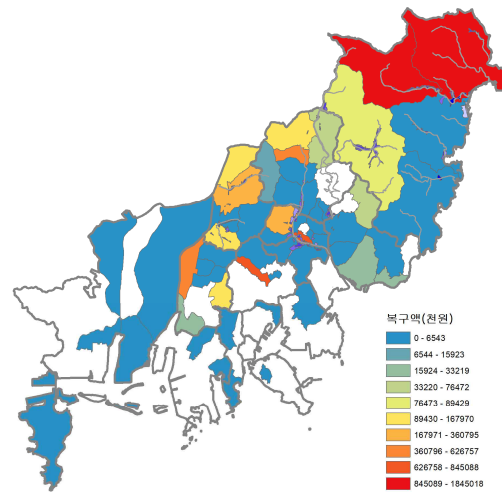


그림 2-124 복구액(산사태)

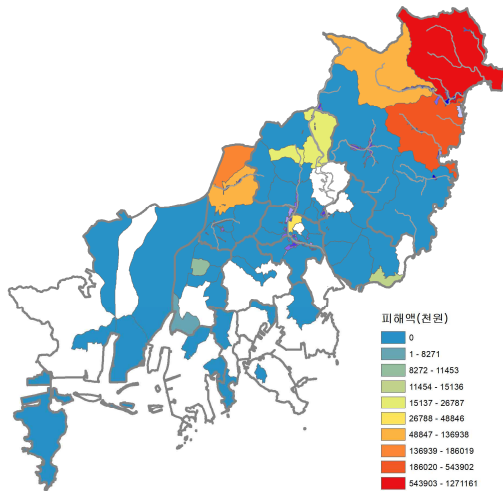


그림 2-125 피해액(옹벽 및 축대)

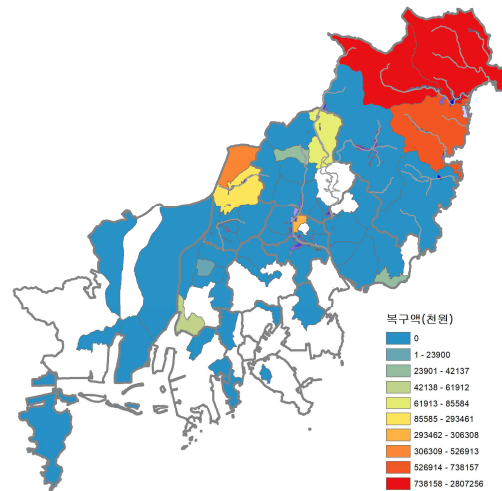


그림 2-126 복구액(옹벽 및 축대)

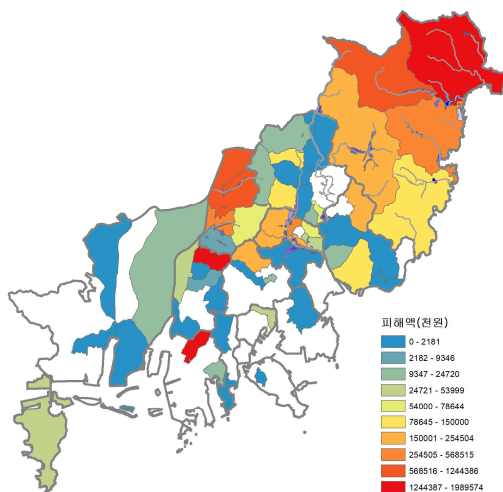


그림 2-127 피해액(기타요인)

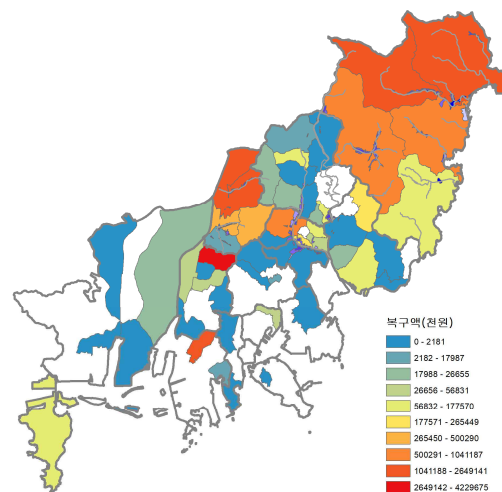


그림 2-128 복구액(기타요인)

○ 대안 수립 및 평가기준 작성

대안(행정구역 우선순위) 및 평가기준

기준 대안	피해액 (C1)	복구액 (C2)	B/C (C3)	인구밀도 (C4)	취약인구 (C5)	이재민 (C6)	침수면적 (C7)	제방복구 (C8)	침수복구 (C9)	산사태 (C10)
기창읍 (A1)	1,965,809	4,537,520	0.43	1,329.77	15,480	272	128,623	3	12	9
장전동 (A2)	2,198,185	2,753,373	0.80	7,372.72	10,715	220	290,594	—	6	—
구포동 (A3)	2,211,147	12,734,239	0.17	12,008.49	14,668	126	158,816	2	13	2
온천동 (A4)	3,993,833	5,981,801	0.67	11,749.34	19,098	784	586,388	—	6	3
선두구동 (A5)	3,057,054	3,362,346	0.91	389.53	754	36	63,626	—	1	2
화명동 (A6)	3,744,909	6,705,440	0.56	7,364.29	22,416	214	322,238	1	2	1
정관읍 (A7)	4,689,482	9,515,192	0.49	1,806.02	22,979	438	719,831	16	32	11
철마면 (A8)	16,540,734	53,506,991	0.31	137.10	2,398	271	1,634,074	8	25	2
일광면 (A9)	19,429,578	84,944,264	0.23	232.07	2,786	232	1,334,886	5	6	2
장안읍 (A10)	19,556,466	75,352,835	0.26	170.85	2,633	200	1,100,494	8	19	7

○ 가중치(엔트로피 방식) 및 표준화 행렬(T-score 방식) 구축

엔트로피에 의한 평가기준별 가중치

구분	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
다양성 정도	0.167246	0.271997	0.052847	0.273005	0.134908	0.092868	0.149195	0.279174	0.138639	0.173007
엔트로피	0.096513	0.156962	0.030497	0.157544	0.077852	0.053591	0.086096	0.161104	0.080005	0.099838

표준화 행렬(T-score) 구축

기준 대안	피해액 (C1)	복구액 (C2)	B/C (C3)	인구밀도 (C4)	취약인구 (C5)	이재민 (C6)	침수면적 (C7)	제방복구 (C8)	침수복구 (C9)	산사태 (C10)
부호	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
기장읍 (A1)	41.9	43.0	47.9	43.7	54.9	49.6	40.3	47.3	49.8	64.4
장전동 (A2)	42.2	42.4	63.3	56.7	49.2	46.9	43.4	41.2	43.6	39.0
구포동 (A3)	42.3	45.7	37.0	66.7	53.9	42.1	40.9	45.3	50.8	44.6
온천동 (A4)	44.8	43.5	57.8	66.2	59.3	75.9	49.1	41.2	43.6	47.5
선두구동 (A5)	43.4	42.6	67.9	41.7	37.2	37.5	39.1	41.2	38.5	44.6
화명동 (A6)	44.4	43.7	53.2	56.7	63.3	46.6	44.0	43.2	39.5	41.8
정관읍 (A7)	45.7	44.6	50.4	44.7	64.0	58.2	51.6	74.0	70.3	70.1
철마면 (A8)	62.3	59.0	42.7	41.1	39.2	49.6	69.1	57.6	63.1	44.6
일광면 (A9)	66.4	69.2	39.3	41.3	39.6	47.6	63.4	51.4	43.6	44.6
장안읍 (A10)	66.6	66.1	40.6	41.2	39.4	45.9	58.9	57.6	57.0	58.8

○ ELECTRE 분석결과

우등지수 및 열등지수를 통한 우열관계 확인

대안쌍	우등지수	열등지수	대안쌍	우등지수	열등지수	대안쌍	우등지수	열등지수
(1, 2)	0.47	0.39	(4, 5)	0.65	0.05	(7, 8)	0.82	0.22
(1, 3)	0.58	0.52	(4, 6)	0.76	0.12	(7, 9)	0.82	0.16
(1, 4)	0.50	0.67	(4, 7)	0.40	0.69	(7,10)	0.82	0.18
(1, 5)	0.72	0.11	(4, 8)	0.58	0.43	(8, 1)	0.42	0.47
(1, 6)	0.55	0.46	(4, 9)	0.58	0.30	(8, 2)	0.58	0.42
(1, 7)	0.16	0.97	(4,10)	0.48	0.41	(8, 3)	0.51	0.48
(1, 8)	0.58	0.53	(5, 1)	0.28	0.89	(8, 4)	0.42	0.57
(1, 9)	0.66	0.37	(5, 2)	0.23	0.85	(8, 5)	0.56	0.26
(1,10)	0.58	0.50	(5, 3)	0.28	0.83	(8, 6)	0.58	0.45
(2, 1)	0.53	0.61	(5, 4)	0.19	0.57	(8, 7)	0.18	0.78
(2, 3)	0.33	0.68	(5, 6)	0.29	0.87	(8, 9)	0.57	0.09
(2, 4)	0.19	0.94	(5, 7)	0.19	0.95	(8,10)	0.41	0.40
(2, 5)	0.61	0.15	(5, 8)	0.35	0.74	(9, 1)	0.34	0.63
(2, 6)	0.48	0.70	(5, 9)	0.35	0.58	(9, 2)	0.50	0.56
(2, 7)	0.35	0.84	(5,10)	0.35	0.69	(9, 3)	0.43	0.63
(2, 8)	0.42	0.58	(6, 1)	0.45	0.54	(9, 4)	0.34	0.70
(2, 9)	0.42	0.44	(6, 2)	0.52	0.30	(9, 5)	0.56	0.42
(2,10)	0.48	0.55	(6, 3)	0.50	0.58	(9, 6)	0.58	0.60
(3, 1)	0.42	0.44	(6, 4)	0.24	0.88	(9, 7)	0.18	0.84
(3, 2)	0.67	0.32	(6, 5)	0.71	0.13	(9, 8)	0.33	0.91
(3, 4)	0.40	0.77	(6, 7)	0.35	0.85	(9,10)	0.38	0.89
(3, 5)	0.62	0.14	(6, 8)	0.42	0.55	(10,1)	0.42	0.50
(3, 6)	0.50	0.42	(6, 9)	0.42	0.40	(10,2)	0.52	0.45
(3, 7)	0.16	0.78	(6,10)	0.48	0.52	(10,3)	0.61	0.51
(3, 8)	0.39	0.52	(7, 1)	0.84	0.03	(10,4)	0.52	0.59
(3, 9)	0.47	0.37	(7, 2)	0.65	0.16	(10,5)	0.65	0.31
(3,10)	0.39	0.49	(7, 3)	0.84	0.22	(10,6)	0.52	0.48
(4, 1)	0.50	0.33	(7, 4)	0.60	0.31	(10,7)	0.18	0.82
(4, 2)	0.57	0.06	(7, 5)	0.81	0.05	(10,8)	0.43	0.60
(4, 3)	0.60	0.23	(7, 6)	0.65	0.15	(10,9)	0.62	0.11
평균				0.48			0.49	

○ ELECTRE에 의한 우선순위 : 정관읍-온천동-철마면-장안읍-능구포동-화명동-기장읍-능장전동-일광면-선두구동(여기에서 대안 우선순위는 치수관련 사업의 투자 우선순위로 해석이 가능)

- 대안 1은 대안 5보다 우등함
- 대안 1은 대안 6보다 우등함
- 대안 1은 대안 9보다 우등함
- 대안 2는 대안 5보다 우등함
- 대안 3은 대안 2보다 우등함
- 대안 3은 대안 5보다 우등함
- 대안 3은 대안 6보다 우등함
- 대안 4는 대안 1보다 우등함
- 대안 4는 대안 2보다 우등함
- 대안 4는 대안 3보다 우등함
- 대안 4는 대안 5보다 우등함
- 대안 4는 대안 6보다 우등함
- 대안 4는 대안 8보다 우등함
- 대안 4는 대안 9보다 우등함
- 대안 6은 대안 2보다 우등함
- 대안 6은 대안 5보다 우등함
- 대안 7은 모든 대안보다 우등함
- 대안 8은 대안 2보다 우등함
- 대안 8은 대안 3보다 우등함
- 대안 8은 대안 5보다 우등함
- 대안 8은 대안 6보다 우등함
- 대안 8은 대안 9보다 우등함
- 대안 9는 대안 5보다 우등함
- 대안 10은 대안 2보다 우등함
- 대안 10은 대안 5보다 우등함
- 대안 10은 대안 6보다 우등함
- 대안 10은 대안 9보다 우등함

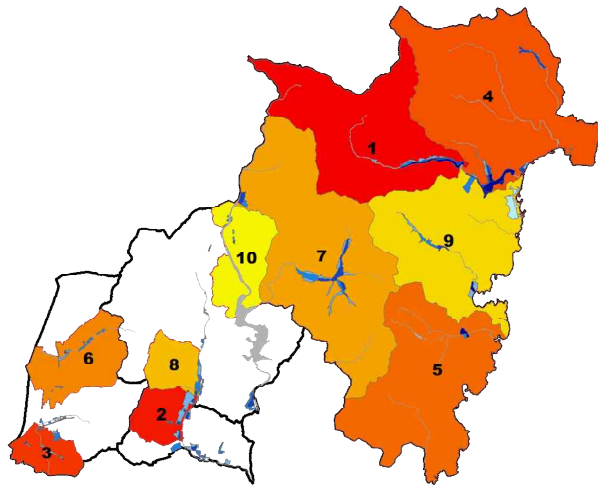
○ PROMETHEE 분석결과

PROMETHEE에 의한 대안 우선순위

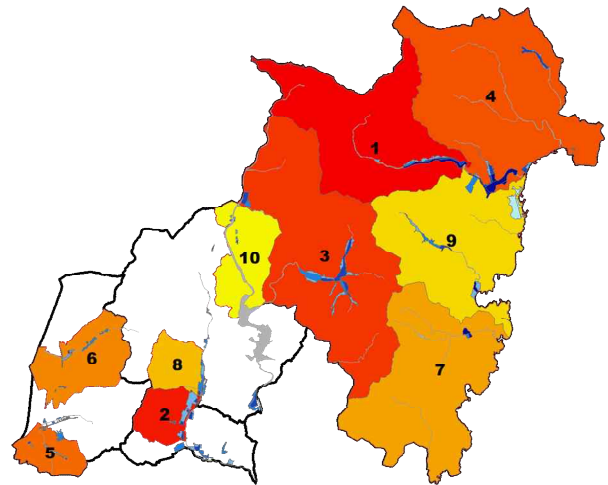
구분	선호유출량	선호유입량	순호름량	우선순위
A1	0.162	0.177	-0.014	5
A2	0.145	0.193	-0.048	8
A3	0.198	0.161	0.037	3
A4	0.266	0.202	0.064	2
A5	0.073	0.214	-0.141	10
A6	0.166	0.185	-0.019	6
A7	0.398	0.221	0.178	1
A8	0.228	0.262	-0.034	7
A9	0.151	0.234	-0.083	9
A10	0.223	0.190	0.033	4

○ PROMETHEE에 의한 우선순위 : 정관읍-온천동-구포동-장안읍-화명동-철마면-장전동-일광면-선두구동

○ 비교 : 7개의 투자 우선순위가 일치



PROMETHEE 결과



ELECTRE IV 결과

[결 론]

- 치수투자, 홍수방어 대안 선정에 기여도가 큰 경제성 분석을 평가기준으로 반영할 수 있도록 다차원홍수피해산정방법론의 적용방법을 사례로 제시하였음
- 경제성을 포함한 평가기준 10개, 대안 10개를 실제 호우피해사상에 적용하여 본 연구에서 제시한 방법론의 활용 가능성을 평가하였음

C-3 의사결정기법 고도화

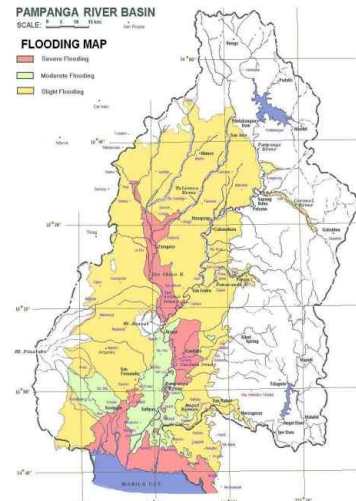
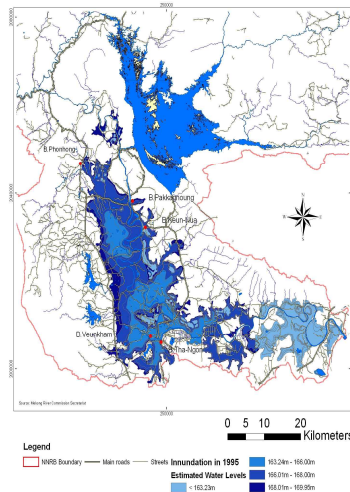
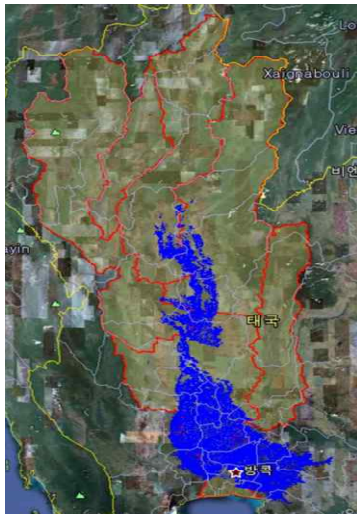
[연구 수행 내용]

- ① 해외사례 조사(해외 적용가능성 및 소프트웨어 조사) 및 고도화 계획 수립
- ② 라이브러리 구축(홍수방어 대안 및 대안별 적용사례)

□ 해외사례 조사(해외 적용가능성 및 소프트웨어 조사) 및 고도화 계획 수립

○ 해외 적용 가능성 평가

- 연구결과와 해외 적용 가능성 판단을 위해 자료수집 및 한계점 등에 대해 평가
- 대상국 : 치수사업이 필요하면서 본 기술의 도입 가능성이 있는 국가(동남아시아)
- 한계점 : 우리나라와 같이 도시 단위의 자세한 자료 수집 불가, 자료의 신뢰성
- 적용방법 : 태국, 라오스, 필리핀의 주요 유역별 자료를 수집, 홍수방어 대안 연계, 홍수피해는 2011년 홍수피해 종합



대상유역(차오프라야, 남늑, 팜팡가)

홍수피해 유발요인

항목	내용	태국 (차오프라야강)	라오스 (남늑)	필리핀 (팜팡가강)
수문특성	연평균 강수량 (mm)	1,498	2,085	1,683
	월 강수량 변동계수	0.88	1.03	0.88
	월평균 강수량 (mm)	125	174	140
	연 유출량 (10-3m ³ /s/km ²)	4	41	68
	유출율 (%)	8	53	48
	유량변동계수	52	10	250

항목	내용	태국 (차오프라야강)	라오스 (남남)	필리핀 (팜팡가강)
유역특성	유역면적 (km ²)	157,925	16,841	10,434
	- 논 (%)	50.9	15.0	38.1
	- 경작지 (%)			6.8
	- 숲 (%)	42.0	81.0	18.0
	- 도시지역 (%)	3.3	0.0	3.2
	- 습지 (%)	3.8	3.0	5.2
	- 기타 (%)	0.0	1.0	28.7
	평균하상경사	0.00030	-	0.00060
피해규모	인구밀도 (명/km ²)	139	30	594
	홍수피해 밀도 (103 \$/km ²)	977,632	2,346	5,748
	사망자 수	47	1	2
치수시설 및 투자여력	이재민 수	689,298	16,672	39,709
	홍수조절용량 (106m ³)	-	-	450
	댐 상류면적(km ²) 및 비율(%)	54,050(34)	8,460(50)	2,671(26)
	강우계(T/M) 밀도(10-3 개수/ km ²)	0.3	0.0	1.6
	수위계(T/M) 밀도(10-3 개수/ km ²)	0.2	0.0	1.0
GNI (Gross National Income, \$)		17,090	6,650	10,030

- 적용 가능한 주요 대안 도출

조사 가능한 홍수피해요인 별 주요대안

홍수피해 유발요인	주요 대안
도시화율	하수관거정비, 펌프장, 지하저류조, , 임시저류시설, 침투 및 투수성 개선, 빗물채집, 건물설계기법, 홍수터 복원, 토지이용계획수립
인구밀도	토지이용계획 수립, 캠페인, 비상대응계획 수립
인명피해(사망/이재민)	캠페인, 홍수예경보 시스템, 비상대응계획 수립, 복구계획, 금융대책
홍수조절용량	홍수조절댐, 천변저류지, 지하저류조, 임시저류시설
계측기기	법·제도개선, 홍수예경보 시스템 설치

○ 해외 적용을 위한 고려사항

- 적용 대상국가 선정 : 적용 대상국은 기술의 수준 및 관련 기술 개발여부를 판단하여 결정하되, 치수사업이 하천관련 사업에서 중요한 위치를 차지하고 있으며 경제적으로 저렴하면서 다양한 경우에 적용이 가능하여야 함. 주로 동남아시아와 같이 홍수피해가 많고 관련 사업이 많이 이루어지지 않은 지역이 대상이 될 것임.

- 자료 가용성 판단 : 우리나라나 선진국과 같이 체계적이며 장기간의 자료가 없을 가능성이 많으므로 고정된 해석 틀 보다는 입력 자료와 관련 대안을 자유롭게 사용자가 조절할 수 있는 형태로 시스템을 구성하는 것이 필요
- 자료수집 패키지 형태 중요 : 시스템 개발 시 해당 국가의 재해 및 기상관련 시스템을 조사하고 가용한 자료를 수집할 수 있도록 개발하는 것이 중요
- 의사결정시스템은 별도로 운용이 가능하도록 개발하여 사용자가 다양한 분야에 대안과 평가기준을 판단하는 데 사용할 수 있게 개발
- 국가기관 연계를 통해 시범사업을 먼저 수행하여 효율성을 입증할 필요가 있음
- 시스템 고도화는 본 시스템을 적용하기 위한 적절한 수준을 결정하는 것으로 수행
- 의사결정시스템은 생산관리 분야에서 기인한 것으로 다양한 분야에서 다양한 소프트웨어가 개발되어 사용되고 있음
- 매우 복잡하며, 기능이 많은 소프트웨어가 대다수이나, 본 과업에서는 표준화, 가중치 결정, 대안과 평가기준 입력이 가능하며, 사용자가 직관적으로 알 수 있도록 알고리즘을 구성, 제공하는 것을 목적으로 함
- 해외 진출 시, 수많은 자료의 획득이 어려울 뿐 아니라 사용자의 역량강화 등을 고려하여 직관적이며, 사용자의 개입이 가장 적은 방법과 다양한 적용사례가 중요할 것으로 판단
- 의사결정 소프트웨어 비교

의사결정 소프트웨어

소프트웨어	분석이론	쌍대비교	민감도분석	그룹평가	배포형태
Analytica	의사결정나무		●		Web/Installed(윈도우, 맥)
Expert Choice	AHP	●	●	●	Installed(윈도우)
Hiview	Direct rating		●	●	Installed(윈도우)
M-MACBETH	가치함수	●	●	●	Installed(윈도우)

- 경제성 분석을 별도의 소프트웨어로 개발하여 탑재하는 것은 과업의 범위를 벗어나므로 본 연구에서 피해액을 추정하는 방법을 사례로 제시하고, 복구액을 비용으로 피해액을 편익으로 하는 경제성 분석을 하나의 평가기준으로 활용토록 함

□ 라이브러리 구축(홍수방어 대안 및 대안별 적용사례)

- 시스템 구축 시 대안선정 후 사례를 표출할 수 있도록 대안 조사 및 자료 구축 수행
- 국내외 주요 설계기준, 사례, 연구결과를 조사하여 카드 형식으로 정리

- 국내사례 : 수자원장기종합계획(2006), 하천설계기준(2009), 차세대홍수방어기술연구단(2012), 유역종합치수계획(2012), 주요 피해상황별 복구현황 조사(인터넷 등)
- 해외사례 : World Bank, FEMA 자료, 타 사업 해외 현장조사 결과 이용
- 대표적 구조물적 대책
 - 구조물적 대책은 크게 흐름개선, 저류시설 설치, 배수시스템, 침투 및 투수성 증대, 건물대책, 홍수방어 시설물 등으로 구분 가능
 - 흐름 개선을 위한 대책으로는 하천정비, 방수로 건설 등이 있음
 - 저류시설로는 홍수조절시설물인 댐과 보, 저수지등이 대표적이며 하천에 위치하는 온라인 저류지의 형태로 홍수터 주차장 및 공원 등의 친수시설이 존재, 오프라인 저류지로 천변저류지, 운동장 등을 활용 중
 - 배수시스템 개선 : 하수관거 및 배수로 정비, 펌프장 증설 및 용량 증대 대책
 - 저영향개발기법을 다수 포함하는 침투 및 투수성 증대 사업으로 침투시설(침투트렌치, 침투측구, 습지 및 식생대 조성), 투수성 포장 및 빗물 채집, 식생지붕, 저류 탱크 등도 구조물적 홍수대책이면서 동시에 저영향 개발기법 혹은 SUDS (Sustainable Urban Drainage System)의 일종이라 할 수 있음
 - 건물 단위 적용 대책 : 기초승상방법, 지하실 설치, 외부 차수벽, 내부 격벽 등
 - 홍수로 인한 침수 발생 시 전기 및 배관, 난방 및 급수시설이 정상적으로 운영될 수 있도록 정비하는 것도 구조물적 대책의 한 종류이며, 홍수 방어시설로 분리식 차수벽이나 임시 제방, 해안가의 도류제, 펌프장, 방조제 등을 활용 가능



그림 2-132 구조물적 홍수방어대책

○ 대표적 비구조물적 대책

- 사회의 안전관리시스템을 확립하여 응급대책, 사전회피 및 복구대책, 준비, 실제 재난 시 대피지시 및 유도와 구조를 할 수 있는 매뉴얼과 조직 정비
- 주요 시설물 운영계획
- 캠페인을 통한 홍수 및 홍수시 위생 및 보건에 대한 교육
- 토지이용계획의 수립을 통한 등급별 홍수위험지도를 작성, 건물배치계획 수립하여 취약등급별 건물 배치
- 법과 제도 개선 : 홍수위험도를 의무적으로 평가하고 최소설계기준을 확립
- 풍수해 보험과 홍수피해에 대한 보상 및 세금감면 대책 마련
- 홍수에 대비할 수 있도록 주요 폐기물 관리계획 수립

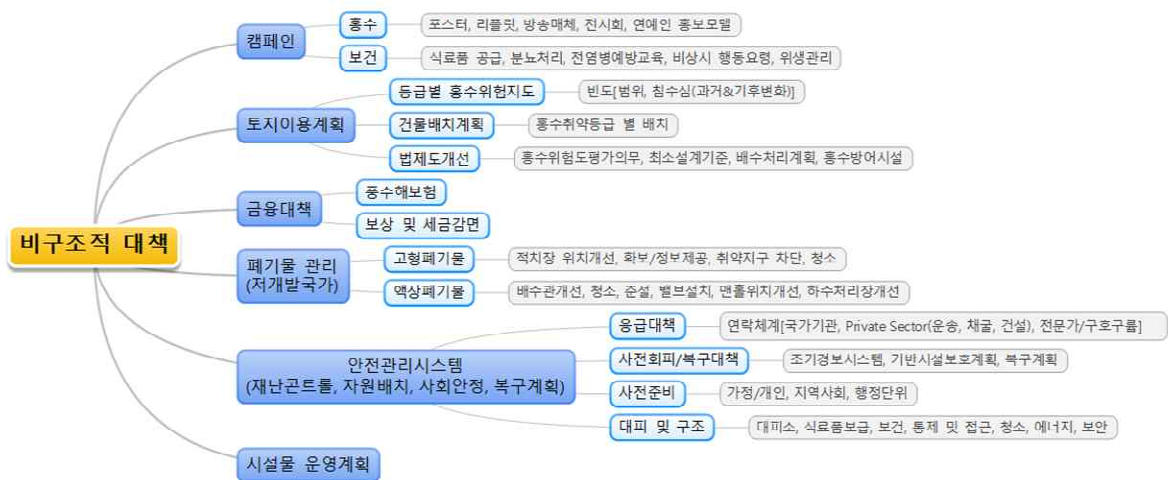


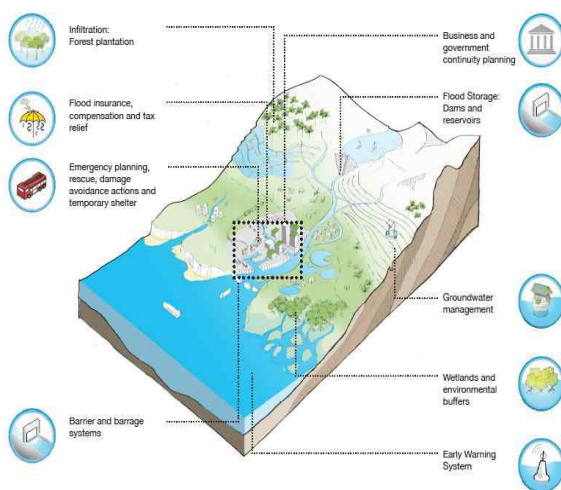
그림 2-133 비구조물적 홍수방어대책

홍수방어 대안 및 사례 조사 결과

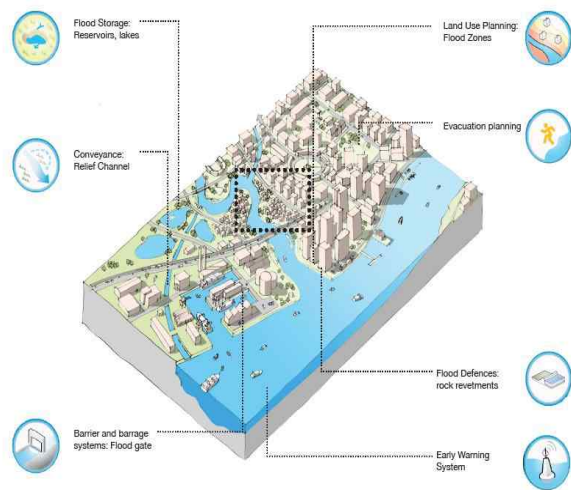
대분류	중분류	소분류
구조물적 대책	통수능 확보(하천)	제방
		하천정비
		방수로건설
		복개하천 복원
		홍수터복원
	배수시스템 개선	하수관거정비
		빗물펌프장/배수펌프장
	지하수관련	지하수 침수대책 : 건물단위
		지하수 침수대책 : 지구단위

대분류	중분류	소분류
구조물적 대책	저류시설	홍수조절 댐
		천변저류지
		지하저류조
		임시저류시설
	물순환개선	침투 및 투수성 개선
		빗물채집
	건물설계기법	Flood Resistance(Dry Flood proofing)
		Flood Resilience(Wet Flood Proofing)
		차수벽
	임시방어 대책	임시방어대책
	해안홍수방어시설	방파제, 해안가 방수벽, 방사제 등
비구조물적 대책	토지이용 계획	토지이용계획 수립
	법, 제도개선	법, 제도개선
	캠페인	캠페인
	조기경보	홍수예경보
	재난대응시스템	비상대응계획
	재난복구계획	복구계획
	금융대책	금융대책

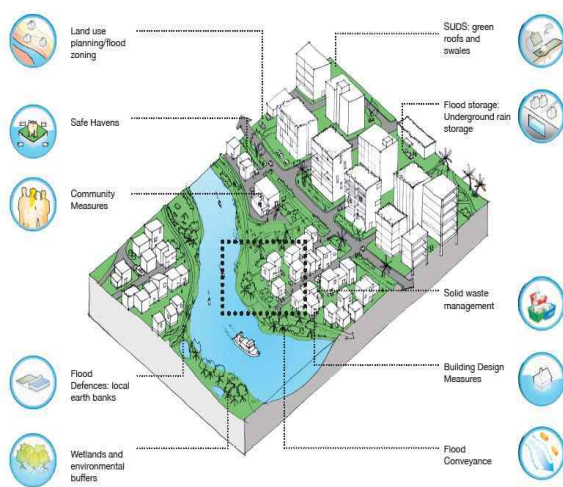
○ 적용범위별 분류 : 시스템 수요자(정책 결정자, 설계자 등)의 이해도를 높일 수 있도록 전통적 분류체계인 구조물적 대책 및 비구조물적 대책의 방법과 병행하여 관심 지역의 범위에 따라 적용 가능한 대책을 함께 제시



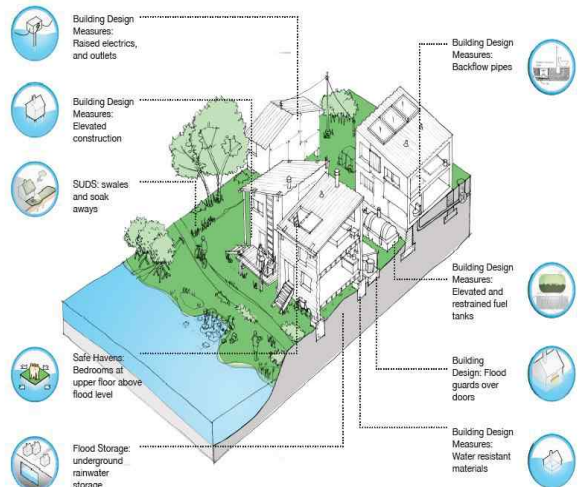
유역단위 적용 대책



도시단위 적용 대책



생활지구단위 적용 대책



건물단위 적용 대책

○ 의사결정 이후 대안 사례 라이브러리 구축 : 27가지 홍수방어 대안별 다양한 사례

홍수방어대안	임시방어대책(Temporary Measures)
개요	도시는 특히 도로와 기반시설, 다양한 빌딩들로 인해 공간상의 제약이 존재하므로 홍수에 대한 임시방어대책이 필요하다. 임시방어대책은 홍수전이나 후에 빠르게 설치할 수 있는 장점이 있는 반면, 항구적인 대책이 되지는 못한다.
주요내용	임시방어대책은 홍수예보와 실제 발생 사이에 적용하여 홍수로부터 건물이나 사람을 보호하는 방법으로 모래주머니, 가벽 등이 있다. - 모래주머니 : 모래주머니를 이용하여 임시 벽을 세우는 것은 홍수로부터 건물을 보호하거나 기존의 제방 높이를 일시적으로 증가시키는 용도로 사용이 가능하다. - 가벽 : 가벽은 상대적으로 쉽게 설치 가능하며 정소를 옮겨 다닐 수 있기 때문에 비단 고정형, 속을 물이나 모래로 채우는 방식 등 다양한 상품이 시중에 나와 있다. 가벽의 설치와 홍수 이후 보관 및 재이용을 위해서는 정기적인 연습이 중요하다. 여기서는 이들 사례와 함께 다양한 사진을 통해 임시방어대책을 소개한다.
및 사례	그림 2 중 위의 그림은 속을 물로 채운 높이 3 인치의 가벽이며, 두 번째 줄의 왼쪽은 속을 자갈로 채운 가벽으로 University of Iowa 에 2008년 설치된 사진이다. 그림 2의 셋째는 비상시 집에서 직접 만든 도어가드이며, 마지막 그림은 2011년 태국의 대홍수시 차오 프라야강변에 실제 세워진 나무로 만든 임시 방벽이다. <그림 1. 모래주머니를 이용한 홍수방어벽 설치 방법(출처 : FEMA)> <그림 2. 다양한 임시 방어대책 사례(출처 : FEMA / The Work Bank)> 출처 - The World Bank, Cities and Flooding (2011) - FEMA, P-936 Floodproofing Non-Residential Buildings (2013)

대안 및 적용사례 조사(예)

[결 론]

- 의사결정지원시스템의 적용성 및 확장성을 고도화하기 위한 타 소프트웨어 조사, 해외 적용을 통해 개발방향을 보완·제시
- 홍수방어 대안에 따른 다양한 국내외 적용사례, 관련 규정 등을 조사, 제시하여 사용자의 이해 증진 도모

다. 연구수행의 개발성과

(1) 국내외 논문 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI여부 (SCI/ 비SCI)	게재일	등록번호
1	Scale-Invariance 기법을 이용한 IDF 곡선의 기후변화 영향 분석: RCP 8.5를 중심으로	한국수자원학회 논문집	최정현	49 (12)	대한민국	한국수자원학회	비SCI	2016.12	-
2	다기준 의사결정방법을 이용한 홍수방어 대안 선정	한국방재학회 논문집	강성규	17(1)	대한민국	한국방재학회	비SCI	2017.02	-
3	다지점 markov chain 모형을 이용한 강설량 자료의 추계학적 확충 및 확률 강설량 산정	Crisisonomy	정세진	13 (12)	대한민국	위기관리이론과실천	비SCI	2017.12	-
4	점강우모형을 이용한 미래 시간강우자료 생산 및 미래 강우유출수 분석	한국방재학회 논문집	차우영	18(2)	대한민국	한국방재학회	비SCI	2018.02	-
5	경제성 및 다기준을 고려한 소규모 행정구역 수해복구사업의 우선순위 평가	한국방재학회 논문집	강성규	18(2)	대한민국	한국방재학회	비SCI	2018.02	-
6	RCP8.5 기후변화시나리오와 비정상성 빈도분석을 이용한 도시유형별 목표연도 설계강우량 제시 및 치수안전도 변화 전망	기후연구	정세진	심사 중	대한민국	건국대학교 기후연구소	비SCI	심사중	-
7	데이터 스크린 기법을 이용한 기후변화가 연강수량에 미치는 영향 분석	기후연구	임가균	심사 중	대한민국	건국대학교 기후연구소	비SCI	심사중	-

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	2016 한국습지학회 학술발표대회	이옥정	2016.08.26	인하대학교	대한민국
2	2016 대한토목학회 학술발표대회	이정훈	2016.10.21	제주국제컨벤션센터	대한민국
3	한국습지학회 2017 학술발표회	차우영	2017.08.25	부산 가톨릭대학교	대한민국
4	2017 한국수자원학회 학술발표회	강성규	2017.05.26	창원컨벤션센터	대한민국
5	대한환경공학회 국내 학술대회	차우영	2017.11.16	제주국제컨벤션센터	대한민국
6	2018 한국수자원학회 학술발표회	강성규	2018.05.25	경주화백컨벤션	대한민국

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

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록				기 여 율
			출원인	출원일	출원번호	등록번호*	등록인	등록일	등록번호	등록번호*	
1	폭우에 대한 재해취약성 정보 자동처리방법	대한 민국	노아에 스앤씨 (주)	2017. 11.17	10-2017- 0153556	-					100%
2	폭우에 대한 재해취약성 정보 자동처리방법	해외	노아에 스앤씨 (주)	2018. 11.15	PCT/KR20 18/01396 6	-					100%
3	폭우에 대한 재해취약성 정보 자동처리방법	대한 민국				-	노아에 스앤씨 (주)	2018. 05.03	10-18564 90-0000		100%
4	홍수방어 대안 선정 시스템 및 최적의 홍수방어 대안을 선정하는 방법	대한 민국	노아에 스앤씨 (주)	2019. 11.01	10-2019- 0138445	-					100%

* 연구개발성과 관리·유통 전담 기관에 등록된 번호 기재

(4) 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율
1	미래 확률강우량 산정 프로그램	2017.03.08	최정현, 김상단	2017.05.29	C-2017-012409	부경대 학교 산학협력단	100%
2	강우량 조절 시각화 슬라이더	2017.12.01	노아에스앤 씨(주)	2017.12.18	C-2017-034308	노아에스앤씨 (주)	100%
3	상대취약성 지표조건별 랭킹 부여 및 지아이에스 (GIS) 시각화 프로그램	2018.01.31	노아에스앤 씨(주)	2018.02.23	C-2018-005009	노아에스앤씨 (주)	100%

(5) 전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별			지역별			
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	박사 졸업	2017	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-
2	박사 졸업	2019	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1

(6) 신규채용인력

번호	기관	기준 연도	현황							
			성별			지역별				
			기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1	노아에스앤씨(주)	2019	-	-	1	1	-	-	-	-

(7) 설계기준 반영

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	설계기준/시방서/지침 명칭	반영일시	반영내용
설계기준	개선	미래 기후변화 영향 등을 고려한 지역별 방재성능목표 설정 · 운영 기준	2017.12	미래 확률강우량 결과를 타 연구결과와 가중평균하여 반영

3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 최종성과 목표 및 내용

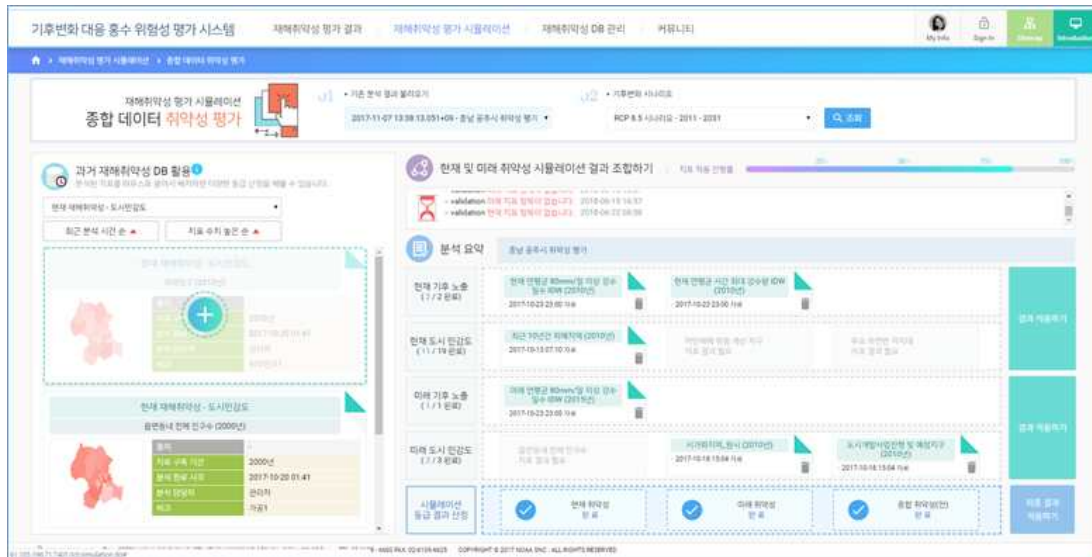
최종목표	○ 본 연구에서는 보유기술(지아이에스 기반의 홍수방어 시스템 및 그 방법) 기반의 추가 연구개발 및 고도화를 통해 기후변화에 따른 홍수위험성 평가 및 의사결정을 위한 웹기반의 플랫폼을 개발하고자 함
세부 목표	○ 핵심성과 1. 홍수위험성 평가를 위한 데이터자동화 기술 및 통합 플랫폼 개발 - 국토교통부에서 시행중인 재해취약성 분석 제도의 분석 방법에 기초하여, 강우로 인한 현재, 미래 취약성을 평가하여 종합등급을 자동으로 분석하는 시스템을 개발하고자 하였으며, 위험성 분석에 필요한 데이터를 가공하여 제공하는 데이터관리센터를 구축하고자 하였음 ○ 핵심성과 2. 기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가 기법 개발 - 홍수위험성 평가지표와 시나리오기반의 홍수위험성평가 모형(SIMOD)을 이용한 시나리오별 침수예상지도를 활용하여 현실적인 홍수범람정보를 제공함으로써 홍수방어 및 의사결정에 있어 홍수피해를 줄일 수 있는 방안을 제시하고자 하였음 ○ 핵심성과 3. 기후변화 시나리오 공간상세화 및 생성기술 개발 - Scale-invariance 기법을 통해 기후변화의 비정상성을 고려한 미래 극한강우 시나리오 생산방법을 정립하고자 하였으며, 국내논문 게재를 통해 해당 방법의 과학적 타당성을 검증하고자 함. 정립된 방법론을 이용하여 주요 지점별 미래 확률강우량을 생산하고 이를 기후변화대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼에 입력 자료로 활용하고자 함. ○ 핵심성과 4. 홍수위험도 기반 대응기술 적용을 위한 의사결정 기법 개발 - 홍수위험도를 적용할 수 있는 의사결정기법의 알고리즘을 다양한 방법론 조사, 실제 적용을 통해 개발 - 국내 및 해외 사업화를 위해 적절한 수준을 제시하고, 홍수방어 대안별 실제 적용 사례를 함께 조사하여 사용자 및 이해관계자의 이해를 도울 수 있도록 제시

나. 연구개발의 창의성 · 혁신성 등

(1) 홍수위험성 평가를 위한 데이터 자동화 기술 및 통합플랫폼 개발

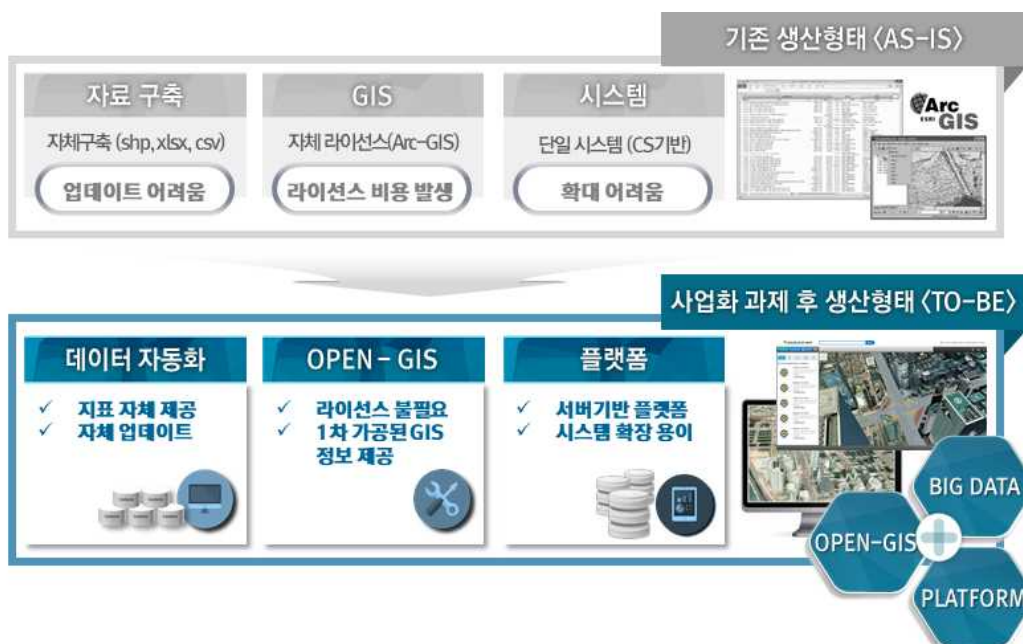
□ 신속성 및 사용자 편의성

- 사용자는 폭우 취약성 분석에 필요한 지표를 별도로 가공할 필요 없이 시스템에서 제공받아 선택한 지표에 대해 드래그 앤드 드롭 (Drag and drop) 방식으로 편리하게 분석을 수행할 수 있음



□ 독창성 및 확장성

- 분석에 필요한 자료를 데이터관리센터를 통해 제공받음으로써 인력 및 시간을 절약할 수 있으며, GIS 구입에 따른 라이선스 비용이 발생되지 않고 웹으로 쉽게 접속가능

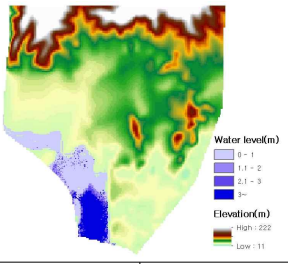
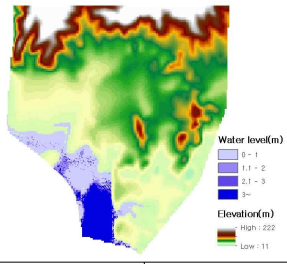
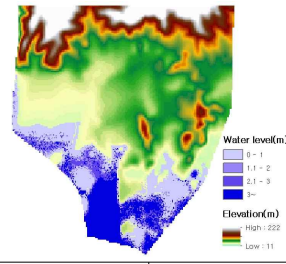
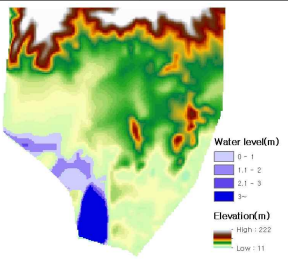
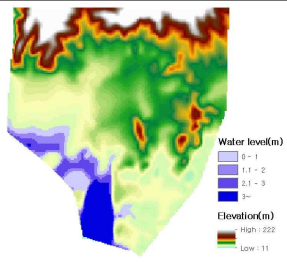
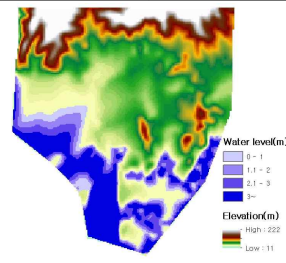


(2) 기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가 기법 개발 및 실증

□ 창의성 및 혁신성

- S(Source)-P(Pathway)-R(Resource) 기법을 이용한 홍수범람모형 SIMOD(Simplified Inundation MODEL) 개발
- 홍수모의를 위하여 한가지 흐름방법이 아닌 다중흐름방향법(Multi Direction Method, MDM), 평수가정법(Flat-Water Assupmption, FWA)의 두 가지 알고리즘에 따라서 침수-확산 모의 실시
- 기존의 침수 분석 등에 보편적으로 사용하는 수치표고 모형(DEM)에 적용하여 SIMOD와 Flo-2D모형 비교분석을 실시
- 분석결과 아래 표와 같이 처음 발생 60분의 면적차이 38.7%를 제외하고는 10% 내외의 침수면적차이가 분석됨을 확인할 수 있다. 그리고 침수 분석 소요시간은 SIMOD 모델이 24시간 기준 모의구동시간이 7분으로 빠르게 분석됨을 확인

SIMOD 모델과 Flo-2D모형의 적용결과 (DEM)					
시간 (hr)	SIMOD (km^2)	SIMOD Run Time	FLO-2D (km^2)	FLO-2D Run Time	Area difference (%)
1	0.93	1s	0.57	18s	38.7
2	1.02	1s	1.10	42s	7.9
4	1.63	10s	1.42	1.5m	13.2
8	1.98	30s	1.81	4m	8.7
12	2.27	2m	2.40	10m	5.8
24	4.59	7m	5.25	25m	14.3

DEM을 이용한 범람지역 변화 비교						
	Time(hr)	Area(km^2)	Time(hr)	Area(km^2)	Time(hr)	Area(km^2)
SIMOD						
	8	1.98	12	2.27	24	4.59
FLO-2D						
	8	1.81	12	2.40	24	5.25

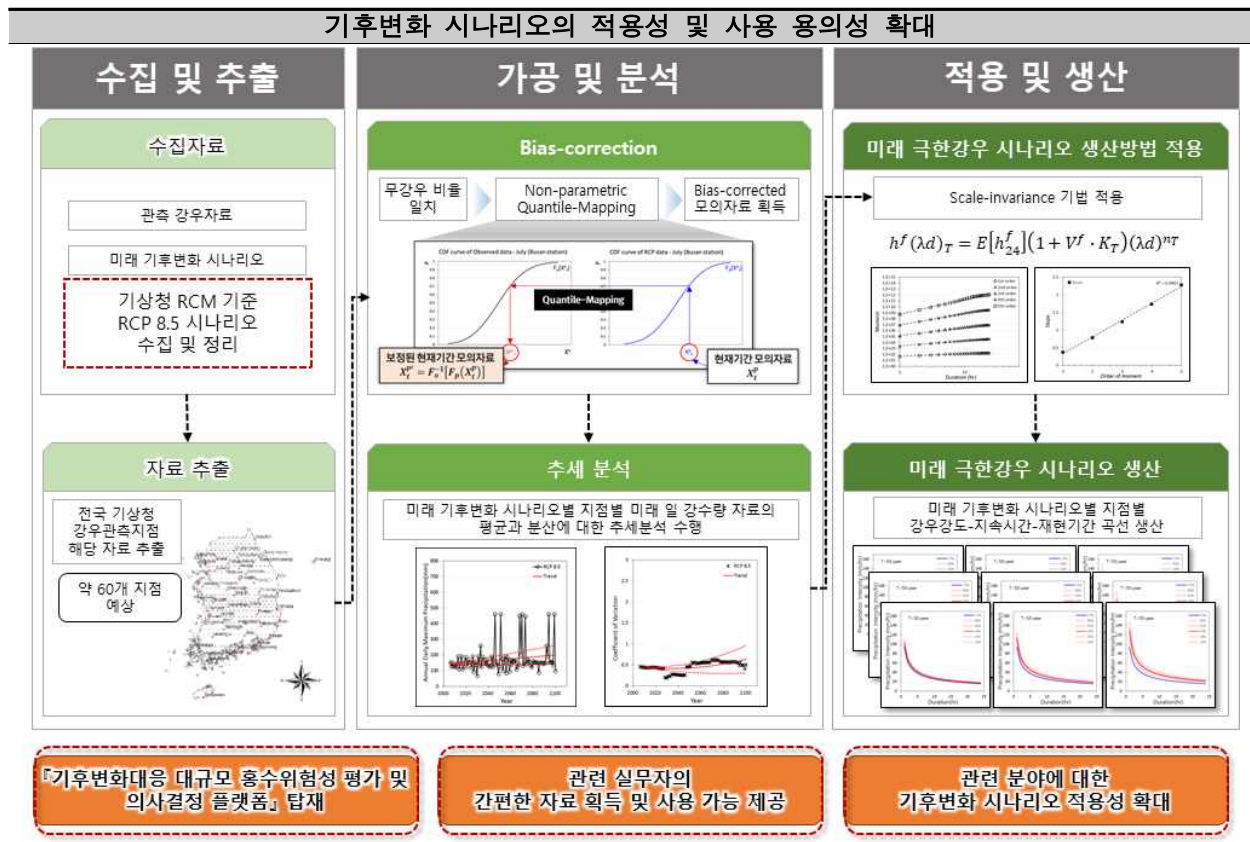
- GIS기반의 지역적 특성을 고려한 홍수 위험성지표 개발
- 1단계 하위지표 : 기상학적, 지형학적, 사회경제적, 홍수적응능력 4단계대단위 지표
- 2단계 하위지표 : 홍수범람예상지도를 적용한 Hazard 지표, Critical 시설과 Environment 시설을 고려한 Exposure 지표

기존 취약성 지표와 개발한 홍수위험성지표의 비교			
	PFD (Potential Flood Damage)	EFVI (Excess Flood Vulnerability Index)	홍수 위험성 지표
분류	잠재성과 위험성으로 구분	기후학적, 사회경제적, 지형-수문학적, 홍수방어 취약성으로 구분	기상학적, 지형학적, 사회경제적, 홍수적응능력으로 구분
지표수	9개	중분류 16개, 소분류 31개	19개
등급	A, B, C, D (4등급)	A, B, C, D, E, F (6등급)	A, B, C, D, E, F (6등급)
평가	PFD 지수	EFVI 지수 지식기반의 홍수방어 전략 제시	홍수 위험성 지표
사용성-1	-	GUI의 가중치 입력을 통하여 원하는 결과 도출 가능	가중치 입력을 통하여 선택적 위험성 평가 가능
사용성-2	-	미래의 기후학적 취약성 평가 가능	미래의 기후학적 위험성 평가 가능
사용성-3	PFD요소의 현황 파악 가능	지역의 다양한 수문, 지형 및 인문, 사회, 경제적 현황 파악 용이(GIS기반)	지역의 공간특성 및 도시 인프라를 고려하여 수문, 지형, 인문, 사회, 경제현황 파악이 용이
사용성-4	-	과거, 현재, 미래의 취약성 고려 가능	과거, 현재, 미래의 위험성 고려 가능

(3) 기후변화 시나리오 공간상세화 및 생성기술 개발

□ 적용성 및 사용 용이성

- 지역 특성이 반영된 시간 단위의 강우정보가 필요한 수공구조물의 설계 등에는 일 단위로 제공되는 기후변화 시나리오를 직접적으로 사용하기에는 한계가 있음.
- 일 단위 이상으로 제공되는 미래 기후변화 시나리오를 시간 단위로 규모내림하여 생산된 미래 확률강우량은 수공구조물의 설계에 기후변화의 영향에 따른 지역별 확률강우량의 변화를 고려하는 등의 방재계획뿐만 아니라 토지이용계획, 기반시설계획 등 다양한 분야에 대한 적용이 가능함.
- 또한, 본 과제의 기후변화 대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼에 탑재함으로써 관련 실무자들이 미래 확률강우량을 간편하게 사용할 수 있음.

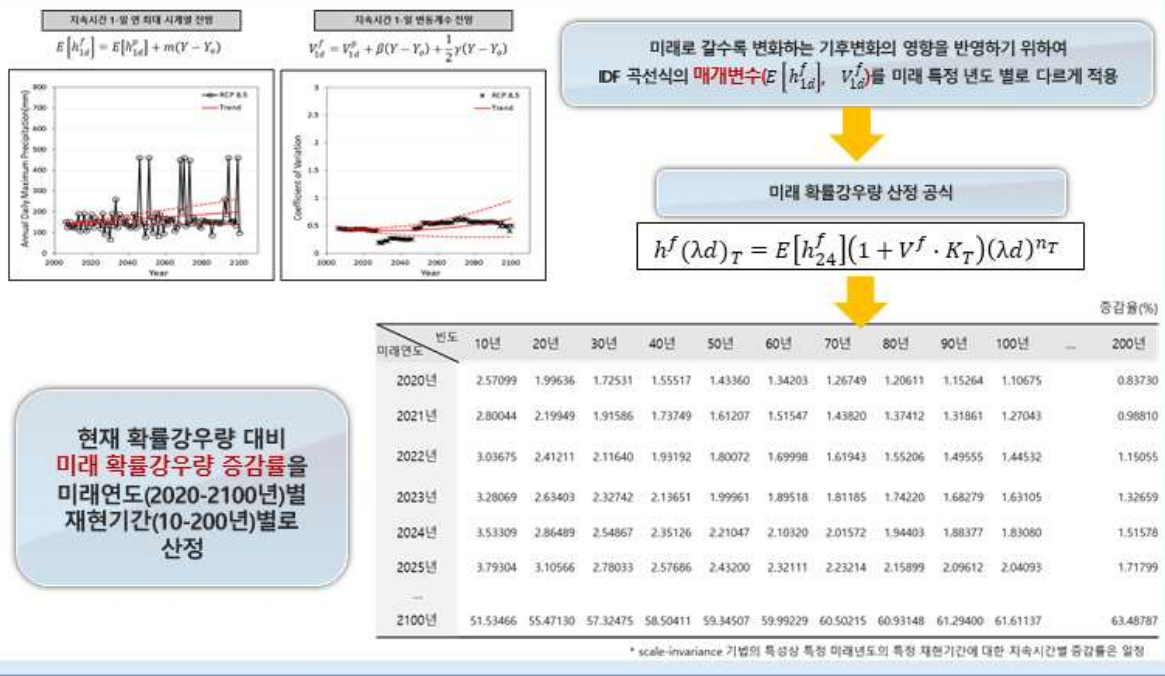


□ 혁신성 및 확장성

- 본 연구의 주요 혁신점은 미래 연최대시계열의 비정상성을 수정된 scale-invariance 기법을 이용하여 IDF 곡선에 반영한 것임.
- 대부분의 연구에서는 미래기간을 임의적으로 분할한 뒤(예를 들어, 2041-2070, 2070-2100), 그 기간의 강우자료를 정상적이라고 가정하여 현재 대비 변화량을 추정하고 있음.
- 반면 본 연구의 경우에는 미래 강우자료의 비정상성을 가능한 반영하고자, 특정 미래기간을 분할하지 않고 미래 연 최대 강우량 시계열의 평균과 분산의 추세를 전망하였음.
- 미래 강우의 평균과 분산이 반영된 미래 IDF 유도공식을 도출함으로써 미래로 갈수록 지속적으로 변화하는 지속시간별 확률강우량을 추정할 수 있다는 장점이 있음.
- 본 연구에서 정립된 방법은 추가적인 연구를 통해 미래 강우뿐만 아니라 기온, 증발산 등 다양한 기후자료 생산에 확장하여 적용이 가능할 것으로 판단됨.

미래 확률강우량 생산의 혁신성 및 확장성

○ RCP 8.5 시나리오 전망분석 및 미래 확률강우량 산정

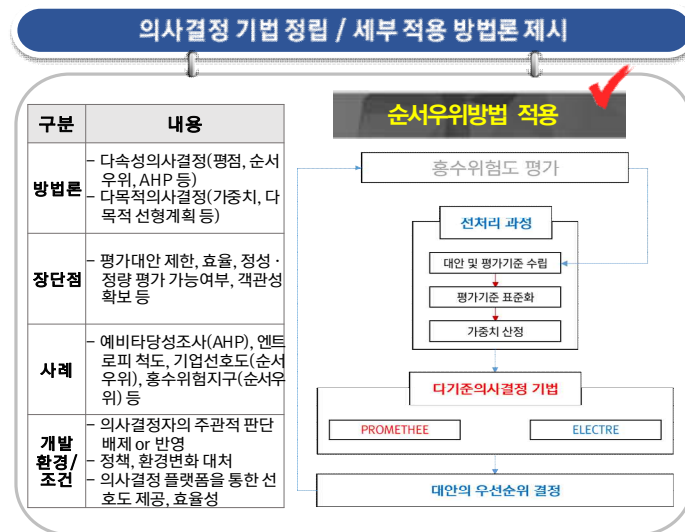


(3) 홍수위험도 기반 대응기술 적용을 위한 의사결정 기법 개발

□ 신속성 및 확장성

- 기존의사결정 기법으로 주로 사용되는 AHP에서 벗어나 설문조사, 가중치 결정 등의 과정을 생략 가능하여 신속한 대안 선정에 활용이 용이함
- 알고리즘에 따른 분석 시 모든 대안의 우선순위가 적용되나 자료의 가용성과 사용자의 전문성이 있다면 기준, 대안의 평점을 조절하는 방식으로 분석이 가능하도록 확장성 고려
- 다양한 대안과 평가기준을 사용자가 자유롭게 추가 혹은 삭제가 가능한 상태로 구축 방향 수립

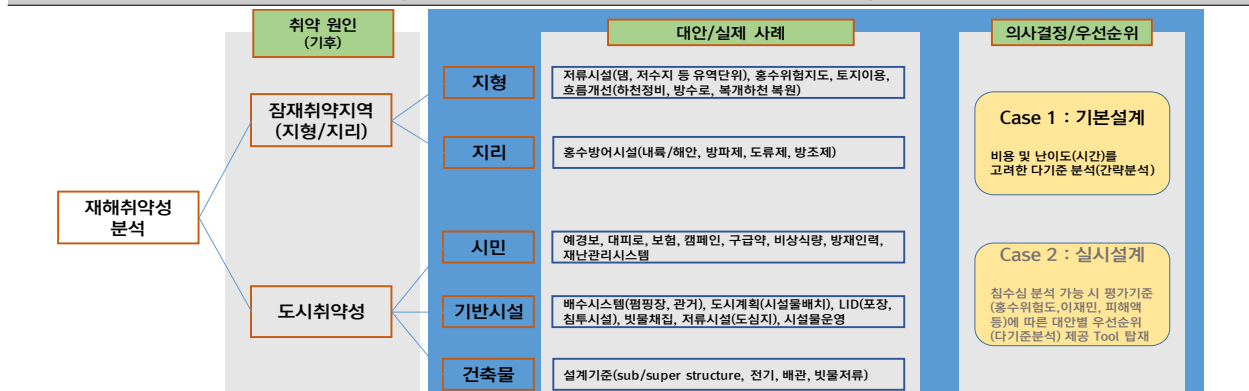
의사결정기법 적용 방법론 정립



□ 사용 용이성 및 이해도 증진

- 직관적 대안 및 평가기준 입력이 가능하도록 시스템 구축방향 제시
- 가능한 대안에 대한 다양한 실제 적용사례를 구축, 제시하여 사용자 이해도 증진

취약 원인에 따른 대안 라이브러리 구축



다. 최종성과 목표 달성도 및 자체평가

(1) 총괄 성과점검기준표

구분	핵심연구성과 (level1)		단위 성과 (level2)		질적 목표 및 성과							해당 기관	예산 (백만)	양적 목표 및 성과		
					성과지표		목표치	달성치	측정방법	검증방법	가중 치			목표치	가중 치	달성치
주관	A	홍수위험성 평가를 위한 데이터 자동화 기술 및 통합 플랫폼 개발	A-1	데이터 연계(메타데이터) 자동화 및 표준화 기술	①	데이터 자동화/표준화 모듈 시범개발	알고리즘 100% 개발	100%	알고리즘 개발여부	SW 등록 인증서 (1) 및 보고서	20	노이에스엔씨(주)	1,000	사업화 기획실적 : 1 건 사업화/제품화 실적 : 1 건 사업화 : 7,000만원 이상 시제품 : 1 건 전시회 : 3 건 특허출원 : 2 건 특허등록 : 1 건 상호교류 : 1 건 SW : 2 건 신규인력고용 : 1 건 인력양성 : 1 건		사업화 기획실적 : 2 건 사업화/제품화 실적 : 1 건 사업화 : 1000만원 시제품 : 3 건 전시회 : 4 건 특허출원 : 3 건 특허등록 : 1 건 상호교류 : 1 건 SW : 2 건 신규인력고용 : 1 건 인력양성 : 1 건 홍보동영상 : 1 건 전문가 자문 : 1 건
			A-2	홍수위험성 평가 및 의사결정 통합 플랫폼 개발	①	홍수위험성 평가 및 의사결정 모듈 통합	통합율 90%	100%	플랫폼 반영여부	SW 등록 인증서 (2) 및 특허출원	30					
			A-3	통합 플랫폼 고도화 및 안정화	③	개발기술의 상품화 및 판매전략 수립	1건 사업화	100%	사업화 건수	사업 계약서	4.0					
					①	개발기술의 상품화 및 판매전략 수립	사업화 7,000만원 이상	1000만원	사업화 금액	사업 계약서	20					
					①	기후변화 대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼 개발	특허 출원	100%	특허출원	특허출원	20					
공동	B	기후변화를 고려한 홍수위험성 평가기법 개발	B-1	기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가 기법 개발 및 실증	①	기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가기술 개발	기술 40% 개발	100%	기술개발 여부	전문가 자문 및 보고서	0.5	강원대학교 산학협력단	142	논문 : 3 건 전문가 자문 : 1 건		논문 : 1 건 전문가 자문 : 1 건
					②	침수예상지도 연계를 통한 홍수위험성 평가기술 개발	기술 80% 개발	100%	기술개발 여부	논문 및 보고서	0.75					

					③	기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가 기법 실증	지자체 적용	100%	적용여부	보고서	0.75					
			B-2	기후변화 시나리오 기반 공간상세화 기법 개발 및 실증	①	기후변화 시나리오 기반 공간상세화 기법 개발	기법 개발 및 시범적용	100%	데이터 구축여부 확인	논문	0.3	부경대 학교 산학협 력단	50	논문: 2 건	논문: 2 건 인력양성: 1 건 SW: 1 건 학술발표: 4 건	
				②	기후변화 시나리오에 따른 지점별 공간상세화 기법 적용	전국 집계구 단위 지표 DB 구축	100%	데이터 구축여부 확인	논문	0.5						
				③	기후변화 시나리오 기반 공간상세화 기법 적용 및 실증	지자체 적용	100%	적용여부	논문	0.2						
공동	C	홍수위험도 기반 대응기술 적용을 위한 의사결정 기법 개발	C-1	지역특성을 고려한 홍수피해 최소화 의사결정 방법론 개발	①	의사결정기법 적용 프로세스 정립 및 가이드라인 작성	가이드라인 1 식	100%	프로세스 타당성	논문	1.0	한국건 설기술 연구원	328	논문: 2 건 매뉴얼: 1 건 전문가 자문: 1 건	논문: 2 건 매뉴얼: 1 건 전문가 자문: 2 건 학술발표: 2 건	
			C-2	의사결정기법 시범 적용 및 평가	①	홍수피해 사전대응을 위한 의사결정기법 시범적용	지자체 적용	100%	적용여부	논문 및 보고서	1.0					
					②	의사결정기법 문제점 및 개선방안 도출	개선방안 보고서	100%	개선방안 타당성	전문가 자문	1.0					
			C-3	의사결정기법 고도화	④	시범적용 결과에 따른 개선방안을 반영한 기법 고도화	개선점 반영 기술 100% 개발 및 플랫폼 연계	100%	플랫폼 연계 100%	보고서	1.0					
계											20		1,613	사업화 기획실적: 1 건 사업화/제품실적: 1 건 사업화: 1 건 시제품: 1 건 전시회: 3 건 특허출원: 2 건 특허등록: 1 건 상호교류: 1 건 SW: 2 건 신규인력고용: 1 건 논문: 7 건 매뉴얼: 1 건 전문가 자문: 2 건 인력양성: 1 건	사업화 기획실적: 2 건 사업화/제품실적: 1 건 사업화: 1000만원 시제품: 3 건 전시회: 4 건 특허출원: 3 건 특허등록: 1 건 상호교류: 1 건 SW: 3 건 신규인력고용: 1 건 논문: 5 건 매뉴얼: 1 건 전문가 자문: 4 건 인력양성: 2 건 홍보동영상: 1 건 학술발표: 6 건	

(2) 정량적 연구개발 성과 목표 및 달성도

구분		목표	달성건수(달성도%)	비고
논문 게재	비SCI	5	5(71%)	미달성 2건 심사중
학술발표	국내	-	6(600%)	
특허 출원	국내	2	3(150%)	1건 PCT 출원
특허 등록	국내	1	1(100%)	
인력 양성	박사	1	2(200%)	
신규인력채용	채용인원	1	1(100%)	
사업화 기획실적	수주 건수	1	2(100%)	용역 1건, R&D 1건 수주
사업화/제품화 실적	수주 건수	1	1(100%)	용역 1건 수주
사업화	7,000만원	7,000만원	1,000만원	
등록·기탁 대상 성과물	소프트웨어	2	3(150%)	
기타	시제품	1	3(300%)	
	매뉴얼	1	1(100%)	
	전시부스운영	3	4(133%)	
	홍보 동영상	1	1(100%)	
	상호교류	1	1(100%)	한국건설기술연구원 국가건설기준센터 교류협력 체결
	전문가 자문	2	4(200%)	

(3) 최종성과 목표에 대한 자체평가

A-1	데이터연계(메타데이터) 자동화 및 표준화 기술	홍수 위험성 평가에 필요한 분석지표를 가공하여 연계하는 NODD 센터를 개발
A-2	홍수위험성 평가 및 의사결정 통합 플랫폼 개발	국토부 재해취약성 분석 제도 시장 진입을 목적으로 폭우재해에 대한 홍수위험성 평가 연산 알고리즘을 개발하여 시스템에 적용하였으며, 이에 대한 국내 특허 등록 및 해외 출원 완료
A-3	통합 플랫폼 고도화 및 안정화	시험지역에 적용을 통해 홍수 위험성 평가 시스템 개발을 완료 하였으며, 의사결정지원 기법을 시스템화 하기위한 특허출원 1건 완료
B-1	기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가 기법 개발	S-P-R 기법을 이용한 홍수모형프로그램 개발 및 기존의 홍수모형과의 비교를 통한 적용성 검토 완료
B-2	기후변화 시나리오 기반 공간상세화 기법 개발	방법론 정립 및 논문 2건 게재를 통한 과학적 타당성 검증 완료
	기후변화 시나리오에 따른 지점별 공간상세화 기법 적용	전국 60개 지점 미래 확률강우량 산정 완료
	기후변화 시나리오 기반 공간상세화 기법 적용 및 실증	타 연구결과와의 비교 수행 및 미래 확률강우량 산정 소프트웨어 1건 개발 및 등록 완료

C-1	지역특성을 고려한 홍수피해 최소화 의사결정 방법론 개발	논문 1, 가이드라인 1, 정량성과 100%달성 홍수대응측면에서 이론적으로 주로 적용돼온 의사결정기법을 홍수대응방안의 정책수립에 직접 활용 가능
C-2	의사결정기법 시범적용 및 평가	논문 1, 전문가자문 1, 보고서 1, 정량성과 초과(학술발표 1)달성 부산, 경남지역 시범적용을 통한 적용성 검토 완료
C-3	의사결정기법 고도화	보고서 1, 정량성과 100% 달성 해외 사례 조사를 통한 시스템 고도화 방안(적정 수준) 수립 라이브러리 구축(대안 및 실제 사례)

4. 연구개발성과의 활용 계획 등

가. 연구개발성과의 활용방안

(1) 홍수위험성 평가를 위한 데이터 자동화 기술 및 통합플랫폼

□ 분야

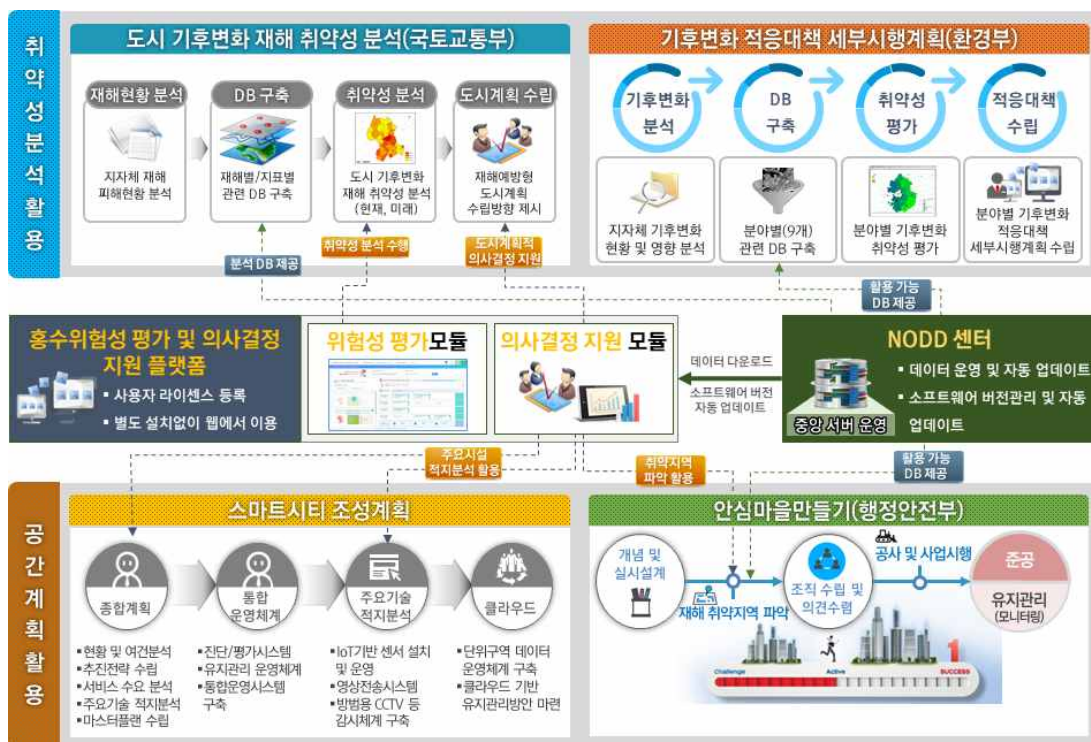
- 폭우재해 취약성 평가 분석 제도 분야
- 그 외 사전재해영향성검토, 풍수해저감종합계획, 환경영향평가 등 국가에서 고시한 각종 제도에 의한 사업 분야

□ 수요자

- 공공기관, 정부출연 연구기관, 대학교, 관련 기업체

□ 활용 방법

- 폭우재해 취약성 평가 분석 제도
 - 사용자는 분석에 필요한 지표를 기후변화 대응 홍수 위험성 평가 시스템을 통해 제공 받아 시뮬레이션 기능을 통해 자동으로 폭우재해 취약성을 평가할 수 있음
- 국가에서 고시한 각종 취약성 분석 관련 제도에 의한 사업 분야
 - 사업 수행에 필요한 가공된 형태의 DB를 NODD 센터를 통해 제공받아 분석에 활용



(2) 기후 및 공간특성을 고려한 홍수위험성 평가기법

□ 분야

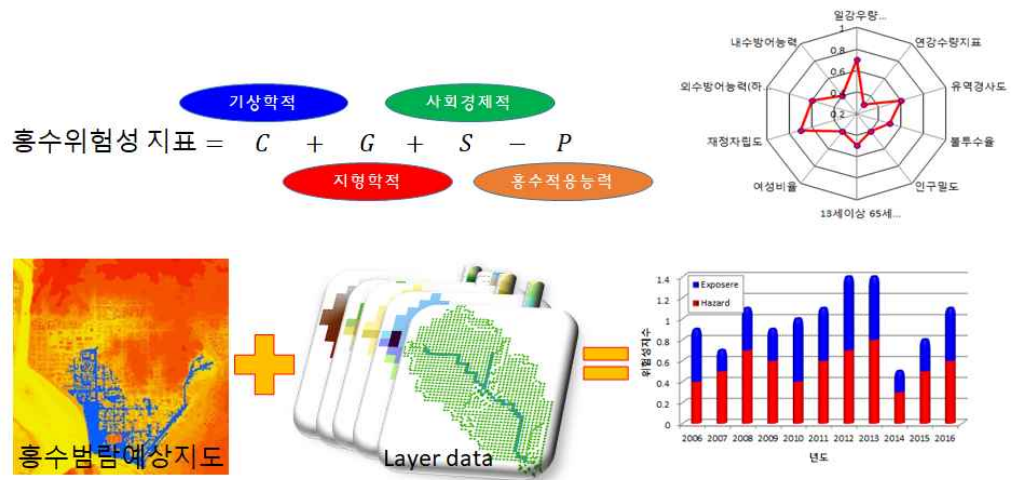
- 사업, 연구분야

□ 수요자

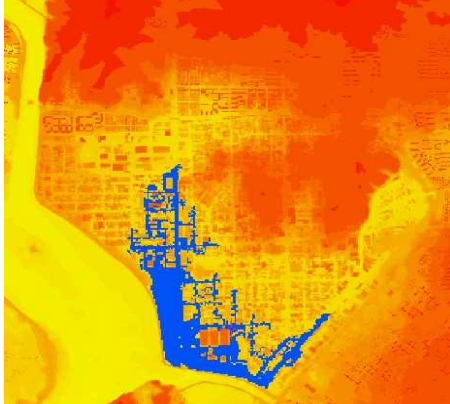
- 정부, 지자체, 대학

□ 활용 방법

- 홍수위험성 지표와 홍수범람지도를 이용하여 도시계획수립에 활용하여 위험지역이나 취약지역을 고려하여 계획수립에 반영 가능
- 홍수위험성 지표 산정시 지역별 변수에 따른 가중치를 달리하여 지역적 특성을 고려한 대비·대응 마련



- DEM, DSM 지형자료를 이용하여 시간에 따라 흐름 경로(Pathway)의 변화모의를 통하여 홍수발생으로 인한 대피경로, 대처 등에 활용 가능

시간에 따른 홍수범람면적 변화			
Time(hr)	Area(m ³)	Time(hr)	Area(m ³)
			
2	93,042	8	1,222,843

(3) 기후변화 시나리오 공간상세화 및 생성기술

□ 분야

- 위험성, 취약성 등 평가 관련 사업
- 도시 및 기반시설 방재 정책
- 기후변화 시나리오 적용 관련 연구

□ 수요자

- 방재관련 공공기업
- 지자체
- 연구소, 대학

□ 활용 방법

- 본 연구에서 생산된 미래 확률강우량 결과는 2017년 행정안전부의 미래 기후변화 영향을 고려한 지역별 방재성능목표 설정 및 운영 기준 마련에 활용된 바 있음.
- 본 과제의 기후변화대응 대규모 홍수위험성 평가 및 의사결정 플랫폼에 입력 자료로 제공하여 현재 대비 미래 확률강우량 변화율을 제공
- 개발된 미래 확률강우량 산정 소프트웨어 프로그램을 이용하여 전국 주요 기상관측지점에 대한 미래연도별, 재현기간별, 지속기간별 확률강우량을 확인할 수 있으며, 데이터를 저장하여 관련 실무자들이 복잡한 조작 없이 간단하게 미래 확률강우량을 확인할 수 있음.
- 플랫폼 또는 소프트웨어를 이용하여 현재 사용되고 있는 도시배수시스템과 홍수방어시스템의 취약성을 정량적으로 파악하고 이에 따른 대비책을 마련하는데 기반 자료로 활용할 수 있을 것이며, 이를 통해 지자체의 도시기본계획 및 관리계획 수립 시 공간별 취약성을 고려한 토지이용계획, 기반시설계획, 방재계획 등에 기후변화를 고려하기 위해 적절한 확률강우량을 활용 가능할 것임.
- 본 연구에서 정립된 방법론은 미래의 기후변화에 따른 확률강우량의 변동을 확률적으로 살펴볼 수 있으며, 향후 다양한 기후변화 시나리오로부터 특정 지역 또는 공간적인 확률강우량의 변동을 연구하는데 기초가 될 것이며, 학계, 연구기관 등에서 필요한 데이터를 제공함으로써 타 산업의 과학기술 향상이 기대됨.

(4) 홍수위험도 기반 피해최소화를 위한 의사결정기법

□ 분야

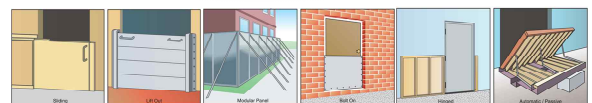
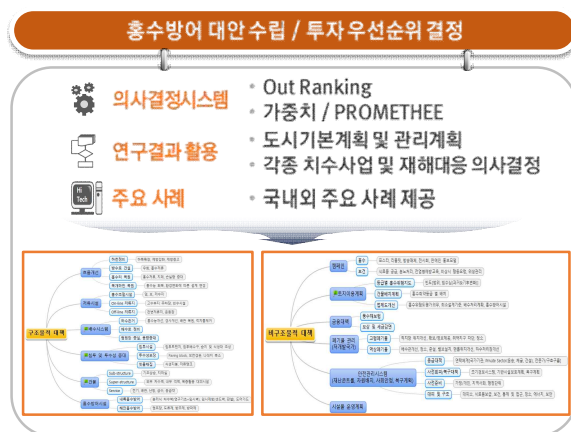
- 도시계획 및 재난관리 정책, 치수 투자우선순위 결정, 정부 및 지자체 방재대책 결정

□ 수요자

- 정부 및 지자체, 연구소 및 공공기관

□ 활용 방법

- 도시기본계획 및 관리계획 수립 시 공간별 취약성을 고려한 토지이용계획, 기반시설 계획, 방재계획 등에 활용이 가능하며 홍수방어를 위한 투자 우선순위 결정에 직접 활용 가능
- 기본계획 수립을 위한 참고용 자료 작성이라는 측면에서 ① 시스템에서 모든 순위를 결정하여 우선순위의 홍수방어 대안을 설정하는 방식, ② 사용자가 직접 해당지역에 적합한 평가기준과 대안별 수치를 입력하면 우선순위를 알려줄 수 있는 방식을 채용하여 다른 재해에 대한 대안 평가에도 활용 가능
- 기후변화에 의한 홍수피해 사전 예방을 위한 지역별 구조적·비구조적(도시계획적 대책 포함) 대책의 선정의 참고자료로 활용 가능하며 대안에 대한 자세한 적용 사례 제시로 사용자의 이해 증진



나. 사업화 추진 방안

구분		(2020년) 개발 종료 후 1년	(2021년) 개발 종료 후 2년	(2023년) 개발 종료 후 3년
국 내	시장점유율(%)			
	판매량(단위: 1copy)	-	1	3
	S/W 판매 매출(백만원)	-	15	45
	사업수주 매출액(백만원)	77	77	154
	총 매출액	77	92	199
당사 생산 능력 ¹⁾		S/W 이므로 해당없음		

※ 2012년 재해취약성 분석 제도 시행 이후 2018년까지 재해취약성 용역 사업의 평균 단가는 약 7천 7백만원 수준임(지자체 발주만 계산/민간 발주는 제외)

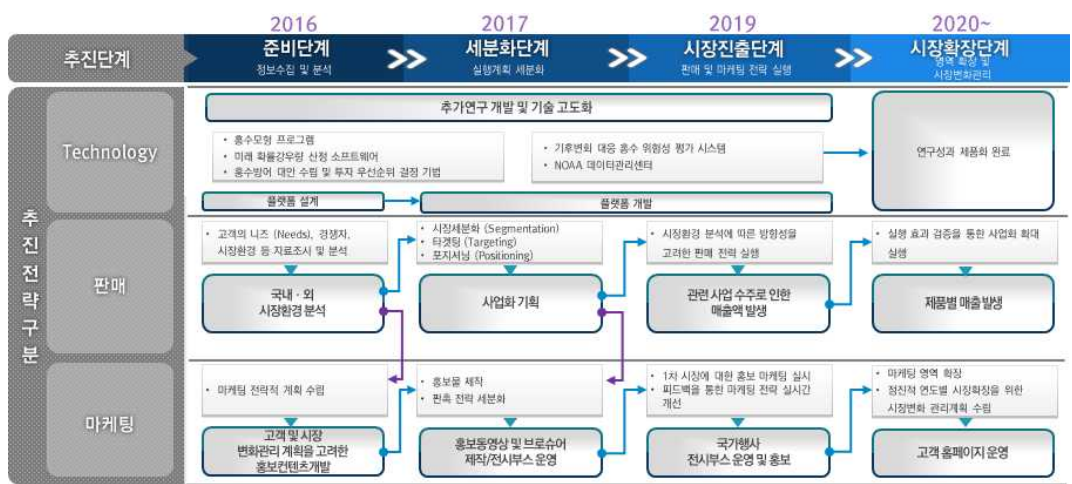
※ 데이터 판매 및 데이터 분석 컨설팅에 따른 매출발생은 국내 매출액에서 제외

구분	구체적인 내용										
형태/규모	○ 상용화 형태 - 기후변화 대응 홍수 위험성 평가시스템(Web) - NODD(NOAA Disaster Data) Center(Web)										
	○ 수요처 - 재해취약성 평가 대행 기관 - 기후변화 적응대책의 수립 및 이행주체 대상 공공기관 25개 및 지방공기업 52개 - 방재 및 재난안전 분야 연구/사업을 수행하는 관련 대학, 산업체 및 공공기관										
	○ 예상 단가										
	<table><tr><th>구분</th><th>비용</th></tr><tr><td>기후변화 대응 홍수 위험성 평가시스템</td><td>1500만원/년</td></tr><tr><td>NODD(NOAA Disaster Data) Center</td><td>한국데이터산업진흥원의 데이터 가격산정을 통해 데이터별 가격 책정</td></tr><tr><td>데이터 분석 컨설팅</td><td>과업요청내역에 따라 수요자와 협의</td></tr><tr><td>재해취약성 분석 용역 수주</td><td>2012년~2018년 지자체 발주된 사업의 조달청 낙찰금액 평균 7천 7백만원</td></tr></table>	구분	비용	기후변화 대응 홍수 위험성 평가시스템	1500만원/년	NODD(NOAA Disaster Data) Center	한국데이터산업진흥원의 데이터 가격산정을 통해 데이터별 가격 책정	데이터 분석 컨설팅	과업요청내역에 따라 수요자와 협의	재해취약성 분석 용역 수주	2012년~2018년 지자체 발주된 사업의 조달청 낙찰금액 평균 7천 7백만원
	구분	비용									
	기후변화 대응 홍수 위험성 평가시스템	1500만원/년									
	NODD(NOAA Disaster Data) Center	한국데이터산업진흥원의 데이터 가격산정을 통해 데이터별 가격 책정									
	데이터 분석 컨설팅	과업요청내역에 따라 수요자와 협의									
	재해취약성 분석 용역 수주	2012년~2018년 지자체 발주된 사업의 조달청 낙찰금액 평균 7천 7백만원									
	※ 2014년 재해취약성 분석 표준단위 업무분류별 기초현황 조사, 도시기후변화 취약성 분석, 공간분석 업무(소요인력 중급기술자 기준)는 전체 업무의 약 55% 차지.										
※ 즉, 중급 1명의 M/M을 50% 감소시키는 효과. 2018년 기준 중급기술자의 월평균임금은 약 500만원으로, 재해취약성 사업의 통상 사업기간이 1년이므로 3000만원의 인건비 절감											
※ 기후변화 대응 홍수 위험성 평가시스템의 가격은 3000만원 절감액의 50% 수준으로 계획											

상용화 능력 및 자원 보유	○ 재난위험도 평가 관련 다수의 사업 수행을 통해 구축된 방대한 DB 보유
	○ 자체 전담 개발인력을 활용한 유지보수 및 품질관리
	○ 자체 보유 서버를 활용한 실시간 데이터 공급 가능
	○ 재난안전분야 사업을 수행중인 다수의 산·학·연 기관에서 지속적인 데이터 수요발생
	○ 행정안전부, 국립재난안전연구원 등 정부를 대상으로 사업참여로 판로 개척
	○ 중소 민간기업을 대상으로 1:1 상담을 통한 판로 개척
	○ 1인 개발자, 대학원생 등 개인을 대상으로 플랫폼의 유료 회원가입 유도 방식의 판로 개척



상용화 계획 및 일정	○ 자체 기술 활용을 통한 관련 사업 수주 : 2020년
	○ 연구성과 제품화 완료 단계 : 2020년
	○ 제품 판매 시작 : 2021년



사업화 모형 수립(BM) 배경

- 2012년 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제 20조 및 제27조에 의해 모든 지자체는 의무적으로 도시 계획 수립 변경시 재해취약성 분석제도를 실시하게 됨에 따라, 새로운 신산업 분야를 창출
- 2018년 데이터산업현황조사 주요 결과 요약에서 데이터 산업 전문분야가 지속적으로 증가하는 추세로 시장진입 초기단계에 사업화 추진이 필요

2018년 데이터산업현황조사 주요 결과 요약

구분	2015	2016	2017	2018	증감률(17-18)
솔루션	14,124	15,720	16,457	17,561	6.7%
구축/ 컨설팅	26,698	27,875	30,847	32,020	3.8%
서비스	16,128	16,928	18,339	20,281	10.6%
합계	56,950	60,523	65,642	69,682	6.4%

2019, 과학기술정보통신부, 한국데이터산업진흥원

- 국내 유사기술과의 비교

자사 제품군	자사 기술특징	유사기술1	유사기술2	유사기술3
기후변화 대응 홍수 위험성 평가시스 템	데이터 수집 및 가공, 위험성 평가 결과에 대한 해석 및 의사결정까지 모든 과정을 하나의 통합 플랫폼을 통해 수행	<VESTAP> • 소개: 7개 분야 32개 항목에 대한 취약성 평가를 제공 • 한계점: 읍·면·동 내 상대적 우선순위만을 제공하여 개별지자체 세부시행계획수립에만 적용이 가능하며, 지자체 간 비교분석과 해당 시·군·구의 읍·면·동간 비교가 불가능함, 또 정확한 취약성 결과를 아는 것이 아니므로 절대적인 취약정도를 알기 어려움	<CCGIS> • 소개: 16개 부문 시군구단위로 기후 변화 영향평가 및 취약성 분석이 가능 • 한계점: 지리조건, 기반시설에 따른 영향을 고려하지 않아 지역 내 취약성 변이를 고려할 수 없으며 국내여건과 상이한 SRES 시나리오를 기반으로 평가하여 실효성이 저조함	<LCCGIS> • 소개: 기초 지자체를 대상으로 기초지자체 내의 읍면동의 취약성 평가를 제공 • 한계점: RCP 8.5 시나리오(온실가스의 저감 없이 현재 추세로 배출되는 경우)만을 고려하여 평가했으므로 시나리오별 비교가 불가능하며, 미래취약성 결과, 과다 산정으로 신뢰도가 떨어짐
NODD	국가공인 데이터들을 플랫폼을 통해 자동으로 수집 및 가공하여 제공함으로써 사용자가 데이터를 가공·갱신하는 과정을 단축	<공공데이터 포털> • 소개: 공공기관이 만들어내는 모든 자료나 정보를 포함한 모든 공적인 정보를 제공하며 재난안전 관련 파일데이터는 2,111건, 오픈API는 112건, 표준데이터 9건을 보유함 • 한계점 : Text 자료 위주로 데이터 제공됨	<국가공간정보포털> • 소개: 국토교통부에서 제공하는 국가공간정보 목록과 국가공간정보포털에서 제공하는 공간정보를 제공하며 재난안전 관련 시설 및 주소를 제공함 • 한계점 : GIS 파일만 제공	<재난안전데이터포털> • 소개: 화재 통계, 민방위 대피·급수시설, 재난 및 안전사고 예방요령 등 재난과 안전 관련 공공 데이터 79종 제공 • 한계점 : 자료의 보유개수가 적으며 통계자료 위주로 제공됨
		• 공통한계점 : 사용자의 데이터 가공 및 구축 필요		

붙임. 참고 문헌

- A. Pathirana, S. Tsegaye, B. Gersonius, and K. Vairavamorthy, (2011), A simple 2-D inundation model for incorporating flood damage in urban drainage planning. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15, pp. 2747 - 2761.
- Burlando, P. and Rosso, R. (1996). "Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves for storm precipitation." *Journal of Hydrology*, Vol. 187, No. 1, pp. 45-64.
- Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J. H., Willett, K. M., Aguilar, E., Brunet, M., Caesar, J., Hewitson, B., Jack, C., Klein Tank, A. M. G., Kruger, A. C., Marengo, J., Peterson, T. C., Renom, M., Oria Rojas, C., Rusticucci, M., Salinger, J., Elayah, A. S., Sekele, S. S., Srivastava, A. K., Trewin, B., Villarroel, C., Vincent, L. A., Zhai, P., Zhang, X. and Kitching, S. (2013). "Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, Vol. 118, No. 5, pp. 2098 - 2118.
- Groisman, P. Y., Knight, R. W., Easterling, D. R., Karl, T. R., Hegerl, G. C. and Razuvaev, V. N. (2005). "Trends in intense precipitation in the climate record." *Journal of Climate*, Vol. 18, No. 9, pp. 1326 - 1350.
- Gregersen, I. B., Sorup, H. J. D., Madsen, H., Rosbjerg, D., Mikkelsen, P. S. and Arnbjerg-Nielsen, K. (2013). "Assessing future climatic changes of rainfall extremes at small spatio-temporal scales." *Climatic Change*, Vol. 118, No. 3, pp. 783 - 797.
- Hawkins, E., Osborne, T. M., Ho, C. K. and Challinor, A. J. (2012). "Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: An idealised case study over Europe." *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 170, pp. 19-31.
- IPCC (2014) "Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.", IPCC, Geneva, Switzerland.
- Jeon MinWoo, Han DunYeun, Choi KyuHyun, (2005) Flood Inundation Analysis from Levee Failure in Nakdong River. *Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 4, pp. 259-269.
- Jeung SeJin, Lee SukHo, Kim ByungSik, (2015), Nonstationary Intensity-Duration-Frequency Curves under Climate Change. *Korea Water Resources Association(Proceedings published)*.
- Jung, Y., Kim, S., Kim, T. and Heo, J. (2008). "Rainfall Quantile Estimation Using Scaling Property in Korea." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 41, No. 9, pp. 873-884.
- Kim ByungSik, Ha SungRyong. (2013), The Impact Assessment of Climate Change on Design Flood in Mihochen basin based on the Representative Concentration Pathway Climate Change Scenario. *Journal of Wetlands Research*, Vol. 15, No. 1, pp. 105-114.
- Kim ByungHyun, Choi SeungYong, Han KunYeon, (2011), An Analysis Method of 1D Hydrodynamic Model Based on GIS for Flood Inundation Mapping. *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 11 No. 6, pp. 227-235.

- Kim DaeHee, Jang DongWoo, Park HyoSeon, Choi GyeWoon, (2014), A Study on Flood Impact upon the Downstream Area of A river by Dam Break. *Crisis and Emergency Management: Theory and Praxis*, Vol. 10 No.2, pp. 117-132.
- Kim, E., Choi, H. I., Park, M. J., Cho, S. J. and Kim, S. (2011). "The effect of climate change on Korean drought occurrences using a stochastic soil water balance model." *Scientific Research and Essays*, Vol. 6, No. 13, pp. 2771-2783.
- Krige, D. G. (1951). "A statistical approach to some mine valuations and allied problems at the Witwatersrand." Master's thesis, University of Witwatersrand, pp. 272.
- Kwon, Y., Park, J. and Kim, T. (2009). "Estimation of Design Rainfalls Considering an Increasing Trend in Rainfall Data." *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 29, No. 2B, pp. 131-139.
- L. Liu1, Y. Liu, X. Wang, D. Yu, K. Liu, H. Huang, G. Hu. (2015), Developing an effective 2-D urban flood inundation model for city emergency management based on cellular automata. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, pp. 381 - 391
- Lee JongTa, Jeon WonJun, Hur SungChul, (2006a), Analysis of Inundation Characteristics for EAP of Highway in Urban Stream - Dongbu Highway in Jungrang Stream -. *Korean Society of Hazard Mitigation*. Vol. 6, No. 3, pp. 69-76.
- Lee JongTae, Hur SungChul, Kim JeongHoi, Han Kunyeun, (2006b), Characteristics of the Inundation and Process of Making a Flood Map According to the Levee Break Conditions in Urban Stream - Jungrang Experimental Basin. *Korea Water Resources Association*, Vol. 38, No. 4, pp. 259-269.
- Lee Jong hyeong · Yeon, Kee Seuk, (2008), Flood Inundation Analysis using XP-SWMM Model in Urban Area, *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 8 No. 5, pp. 155-161.
- Lee, M., Shin, S. and Bae, D. (2012). "The Application Assessment of Future Design Rainfall Estimation Method Using Scale Properties." *Journal of Korea Water Resources Association*, Vol. 45, No. 3, pp. 253-262.
- Lee, O. and Kim, S. (2016). "Future PMPs Projection under Future Dew Point Temperature Variation of RCP 8.5 Climate Change Scenario." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 16, No. 2, pp. 505-514.
- Liuzzo, L. and Freni, G. (2015). "Analysis of Extreme Rainfall Trends in Sicily for the Evaluation of Depth-Duration-Frequency Curves in Climate Change Scenarios." *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 20, No. 12.
- Mailhot, A. and Duchesne, S. (2010). "Design criteria of urban drainage infrastructures under climate change." *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 136, No. 2, pp. 201-208.
- Ministry of Construction and Transport (2000). "1999 Report of Research and Investigation of Water Resources Management Method Development. Vol 1. Probability Rainfall Map." Ministry of Construction and Transport.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, (1997), Kumho River Maintenance Basic Plan
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2012). "Design flood estimation tips." Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs.

- Nanshan ZHENG, Yasuto TACHIKAWA, Kaoru TAKARA, (2007) Simplified Flood Inundation Model Integration with Rainfall-runoff Processes. Annuals of Disas. Pres. Res. Inst., Kyoto Unic., 50 pp. 75-78.
- Park JaeHong, Han KunYeun, Ahn KiHong, (2009), Development of Numerical Model to Analyze Levee Break. Korea Water Resources Association, Vol.38, No. 4, pp. 259-269.
- Perkins, S. E., Alexander, L. V. and Nairn, J. R. (2012). "Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells." Geophysical Research Letters, Vol. 39, No. 20.
- Rodriguez, R., Navarro, X., Casas, M. C., Ribalaygua, J., Russo, B., Pouget, L. and Redano, A. (2014). "Influence of climate change on IDF curves for the metropolitan area of Barcelona." International Journal of Climatology, Vol. 34, No. 3, pp. 643-654.
- Tarboton, D.G, (1997), A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid igital elevation models. Water Resour. Res, Vol. 33, No. 3, pp. 09 - 19.
- Tsun-Hua Yang, Yi-Chin Chen, Ya-Chi Chang, Sheng-Chi Yangand Jui-Yi Ho, (2015), Comparison of Different Grid Cell Ordering Approaches in a Simplified Inundation Model. Water. 7, pp. 438-454.
- Willems, P. (2013). "Adjustment of extreme rainfall statistics accounting for multidecadal climate oscillations." Journal of Hydrology, Vol. 490, pp. 126 - 133.
- W.J. Syme, M.G. Pinnell, J.M. Wicks, (2004), Modelling Flood Inundation of Urban Areas in the UK Using 2D/1D Hydraulic Models. The Institution of Engineers, Australia 8th National Conference on Hydraulics in Water Engineering.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화 지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업화 지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.