

17CTAP-
C114628-
02

빅데이터를
활용한
기후재해(가뭄,
폭설 및
집중호우)
원인과 현황
상관관계
분석,
인공지능(Mac
hine
Learning-인공
신경망) 기반
미래 기후재해
예측 및
사회기반시설
영향 분석
기법 개발

최
종
보
고
서

2018

국토
교통
과학
기술
진흥
원

국
토
교
통
부

R&D Report

보안 과제(), 일반 과제() / 공개(), 비공개()
국토교통기술촉진연구사업 제2차 연도 최종 보고서

R&D / 2016-2018
R&D / 17CTAP-C114628-02

빅데이터를 활용한 기후재해(가뭄, 폭설 및 집중호우) 원인과 현황 상관관계 분석, 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 기반 미래 기후재해 예측 및 사회기반시설 영향 분석 기법 개발 최종보고서

2018. 08. 28.

주관연구기관 / 한국환경정책·평가연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

2. 제출문

제 출 문

국토교통부장관 귀하

‘빅데이터를 활용한 기후재해(가뭄, 폭설 및 집중호우) 원인과 현황 상관관계 분석, 인공지능 (Machine Learning-인공신경망) 기반 미래 기후재해 예측 및 사회기반시설 영향 분석 기법 개발’(연구개발 기간 : 2016. 06. 24 ~ 2018. 06. 23) 과제의 최종보고서 5부를 제출합니다.

2018. 08. 28.

주관연구기관명 : 한국환경정책평가연구원 (대표자) 조 명 래 (인)

주관연구기관책임자: 이 명 진

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

3. 보고서 요약서

보고서 요약서

과제 고유 번호	17CTAP-C11462 8-02	해당 단계 연구 기간	2016-06-24 ~ 2018-06-23 (24 개월)	단계구분	(2)/(2)
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	창조형모험 지원유형			
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	빅데이터를 활용한 기후재해(가뭄, 폭설 및 집중호우) 원인파 현황 상관계 분석, 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 기반 미래 기후재해 예측 및 사회기반시설 영향 분석 기법 개발			
연구책임자	이명진	해당단계 참여 연구원 수	총: 4 명 내부: 1 명 외부: 3 명	해당단계 연구개발비	정부:50,000 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계:50,000 천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 4 명 내부: 1 명 외부: 3 명	총 연구개발비	정부:100,000 천원 기업: 천원 정부 외: 천원 계:100,000 천원
연구기관명 및 소속 부서명	한국환경정책·평가연구원 환경평가모니터링센터			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	

요약 : 본 과제는 과거 기후재해 피해 원인 및 현황의 상관관계를 고려한 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 기반, 미래 기후재해(가뭄, 폭설, 집중호우) 예측 기술을 개발” 하는 것이다. 이를 위하여 기후재해의 원인 및 현황 상관관계 분석 기술 및 미래 시점 및 위치별 동일 피해 발생 예측 분석 기술을 개발하였으며, 학술성과 10건(SCI(E) 6편, KCI 5편) 및 산업재산권 1건(국내특허 1건)의 연구개발성과를 도출하였다. 본 과제의 결과물은, 1) 상용소프트웨어 제작 등을 위한 산업체 기술이전 (인공지능(Machine Learning-인공신경망) 및 빅데이터 분석 기술), 2) 국정과제 지원 및 “국가기후변화 적응대책”에 반영, 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제20조제2항 및 제27조제3항에 따라 도시·군기본계획을 수립·변경하거나 도시·군 관리계획의 입안하는 경우 도시 기후변화에 따른 재해 취약성 등에 활용될 수 있을 것이다.

보고서 면수: 35

4. 국문 요약문

연구의 목적 및 내용	본 과제는 파리기후협약의 합의된 신기후체제를 실질적으로 지원하고, 급진적으로 발생하는 기후재난에 효율적으로 대응하기 위하여, “과거 기후재해 피해 원인 및 현황의 상관관계를 고려한 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 기반, 미래 기후재해 (가뭄, 폭설, 집중호우) 예측 기술을 개발” 하는 것이다. 이를 위하여 첫째, 빅데이터 분석(예: Text Mining)을 기반으로 과거 기후재해 (가뭄, 폭설, 집중호우) 원인과 피해현황의 상관관계 분석을 수행한다. 둘째, 인공지능(Machine Learning-인공신경망)에 상관관계를 훈련시키고, 미래 기후변화 시나리오에 적용하여 동일 피해가 발생하는 미래 시점과 위치 등의 예측 정보를 생성한다. 셋째, 국토교통부 관련 SOC(예: 공항 및 항만 등)의 피해 현황 예측 등 현업에 활용 가능한 정책적 방안을 위한 영향분석을 수행한다. 1차년도에는 과거 기후재해(가뭄, 폭설, 집중호우)에 대한 상관관계 분석을 수행한다. 문헌정보 중심의 과거 기후재해 원인 및 피해 현황 인벤토리 구축, 빅데이터 (예: Text Mining)을 활용한 원인과 현황의 시공간 상관관계 분석한다. 2차년도에는 전술된 상관관계를 인공지능(Machine Learning-인공신경망)에 훈련 및 미래 기후변화 시나리오에 적용하여 장단기 미래 피해 예측 정보를 생성한다. 또한, 개발된 기술이 국토교통부 관련 SOC(공항, 도로 및 철도 등) 관리 체계 강화에 직접적으로 활용되는 정책적 적용 방안 마련을 위한 영향분석을 수행한다.				
연구개발성과	본 과제의 연구개발성과는, 1) 기술개발 2건(기후재해의 원인 및 현황 상관관계 분석 기술, 미래 시점 및 위치별 동일 피해 발생 예측 분석 기술), 2) 학술성과 10건(SCI(E) 5편, 등재논문 5편) 이며, 3) 산업재산권 1건(국내특허 1건)이다.				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	본 과제의 결과물은, 1) 상용소프트웨어 제작 등을 위한 산업체 기술이전 (인공지능(Machine Learning-인공신경망) 및 빅데이터 분석 기술), 2) 국정과제 지원 및 “국가기후변화 적응 대책”에 반영(국정과제 56(통합적 재난관리체계 구축 및 현장 즉시대응 역량 강화), 국정과제 61(신기후체제에 대한 견실한 이행체계 구축), 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제20조제2항 및 제27조제3항에 따라 도시·군기본계획을 수립·변경하거나 도시·군 관리계획의 입안하는 경우 도시 기후변화에 따른 재해 취약성 등에 활용될 예정이다.				
핵심어 (5개 이내)	기후변화	인공지능	기계학습	빅 데이터	상관관계

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	This research aimed to practically support the new climate system agreed in the Paris Climate Agreement and “develop the echnologies to expect the future climate disasters (drought, heavy snow and localized heavyrain) based on artificial intelligence considering the correlations between the causes of the damages from the climate disasters in the past and the current conditions (machine learning–artificial neural network)” to efficiently respond to the climate disasters that may rapidly occur. To that end, fist, this study conducted an analysis on the correlations between the causes and the damages of the climate changes in the past (drought, heavy snow and localized heavy rain) based on the big data an alysis (e.g. Text mining). Second, it trained artificial intelligence (machine learning–artificial neural network) using the correlations, and produced the expectation information including the point of time and location where the same damages may occur in the future by applying artificial intelligence to the future climate change scenario. Third, it established the political measures tool that may be applied in the practical works including expectations of the damaged conditions of the SOC (e.g. Airports and ports) related to the Ministry of Land, Infrastructure and Transport. In the first year of the research, the analysis on the correlations on the climate disasters in the past (drought, heavy snow and localized heavy rain) was conducted. The study established an inventory of the causes and damaged conditions of the climate disasters occurred in the past focusing on the literary information, and conducted an analysis on the correlations on the space and time between the causes and conditions of the damages using the big data (e.g. test mining). In the second year, the study produced the information to expect the damages in the long and short–term future by applying the aforementioned correlations to artificial intelligence (machine learning – artificial neural network) and the future climate change scenario. It also proposed the measures to directly apply the developed technologies to the policies to strengthen the management system of the SOC (airport, road and railway, etc.) related to the Ministry of Land, Infrastructure and Transport.				
Results	The final achievements of this research include: 1) 2 technological developments (the analytic technology on the correlations between the causes and conditions of climate change and the analytic technology to expect the same damages in the future by the point of time and location); 2) 10 academic achievements (5 SCI(E) and 5 published papers); and 3) 1 industrial property right (1 domestic patent).				
Expected Contribution	The results of this research are: 1) Technical transfer of industries for production of commercial software (artificial intelligence (machine learning–artificial neural network) and big data analysis technology) 2) Government projects support and application to “the national adaptation measures to climate change” (national project 56 (Establishment of integrated disaster management system and strengthening immediate response capability), national project 61 (Establishing a sound implementation system for the new era system), the national adaptation measures to the climate change and the low–level local governments (Law on Planning and Use of Land)				
Keywords	Climate Change	AI	Machine Learning	Big data	Correlation

< Contents >

1. R&D project overview	7
2. Technologies in Korea & overseas	10
3. R&D process & results	12
4. Evaluation & contribution of the project	24
5. How to utilize the R&D results	27
6. Overseas technologies collected during the R&D	28
7. Security level of the R&D achievements	30
8. R&D facilities & equipment registered in national science & technology information system	31
9. Compliance with safety guidelines	32
10. Major R&D achievements	34
11. Notes	35
12. References	36

7. 본문 목차

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요	7
2. 국내외 기술 개발 현황	10
3. 연구 수행 내용 및 성과	12
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	24
5. 연구개발성과의 활용 계획	27
6. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	28
7. 연구개발성과의 보안등급	30
8. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	31
9. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	32
10. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	34
11. 기타 사항	35
12. 참고 문헌	36

8. 본문

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

가. 최종목표

- 미래 기후재해의 예측 및 대비를 위하여, 과거 기후재해 피해 원인 및 현황의 상관관계를 고려한 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 기반, 미래 기후재해 (가뭄, 폭설, 집중호우) 예측 기술 개발
-

나. 세부목표

- 최종 연구목표의 달성을 위하여 수행하는 연구과정은 총 3단계임
- 첫째, 빅데이터 분석을 기반으로 과거 기후재해(가뭄, 폭설, 집중호우) 원인과 피해현황의 상관관계 분석을 수행
- 둘째, 인공 지능(Machine Learning-인공신경망)에 상관관계를 훈련시키고, 미래 기후변화 시나리오에 적용하여 동일 피해가 발생하는 미래 시점과 위치 등의 예측 정보를 생성
- 셋째, 국토교통부 관련 SOC(예: 공항 및 항만 등)의 피해 현황 예측 등 현업에 활용 가능한 정책을 위한 영향분석을 수행
- 전술된 **연구과정을 수행하기 위한 구체적 세부목표**는, 첫째 과거 및 현재 시점을 대상으로 기후재해(가뭄, 폭설 및 집중호우)의 관련 비정형 문헌(보고서, 논문 및 기사 등)을 수집
- 둘째, 수집된 비정형 문헌 자료에 대하여 Text Mining 등 빅데이터 기법을 적용하여 단순 유의어 분석이 아닌, 피해 발생 시점과 현황에 대한 상관관계 추출
- 셋째, 국가공인 기후변화 시나리오, 한국환경정책·평가연구원 자체 생산 기후변화 시나리오 및 확률강우량 자료를 바탕으로 인공지능 중 인공신경망 방법을 활용한 전술된 상관관계 훈련 수행
- 넷째, 훈련결과를 바탕으로 미래 기후재해 발생 시점, 위치 및 원인 등을 예측
- 다섯째, 예측 결과와 더불어 국토교통부가 관리하는 주요 사회기반시설물과 위치적으로 연동하여 장·단기 사회기반시설물의 피해를 예측 하는 영향분석 수행
- 마지막으로 연구지역을 서울 및 부산 등 대도시권으로 정의하며, 본 연구의 성과가 직접 대국민이 체감할 수 있도록 결과 생성

2. 연구개발의 필요성

가. 연구 배경

- **(창조형 모험 지원유형의 이해)** 창조형 모험 지원유형은 신진연구자의 연구기회를 확대하여 미래 도전적 창조 모험 연구의 양성과 연구의욕을 고취하고 차세대 우수 연구 인력을 양성하는 과제임.
 - ▶ 따라서 본 연구를 통하여 1) 연구자가 지니고 있던 연구역량을 바탕으로 국제적 경쟁력을 갖춘 우수 연구 인력으로 도약할 수 있는 기회가 되어야 하며, 2) 미래 기후변화에 의한 피해에 난제를 효율적으로 대응하는 방안을 수립하고 사회기반시설의 영향을 분석하는 방안을 제시 하여야 함.
- **(기후변화/이상기후에 따른 피해 증폭)** 최근 폭염·폭설, 폭우·가뭄 등 이상기후에 의한 피해가 매해 최고치 갱신
 - ▶ '90년대 5,400억원 → 2000년대 2조 1,000억원(재해연보, '12)
 - ▶ '60년대 기상재해로 인한 물류 및 유통 피해액 약 1조원, 2000년대 19조원 급증(한국교통연구원, '12)
 - ▶ 기후변화로 '20년까지 1,079조원 피해 발생 예상(기후변화의 경제학적 분석, 환경부 '12)

- (빅데이터 기반 기후변화 피해의 효율적 대응) 기후변화에 의한 다양한 피해를 빅데이터 기법과 융합 DB를 활용하여 산업계의 사전적 피해 최소화 및 사고 발생에 대한 선제적 대응 체계 마련.
 - ▶ 빅데이터를 활용한 응용 기상정보의 생성과 기상예보 신뢰도 향상을 위한 노력이 '14년부터 기상청 등을 바탕으로 시작되고 있음.
 - ▶ 그러나 SNS와 블로그 형태의 비정형 자료 중 기상관련 자료를 추출하여 기상예보와 연동하는 기술을 자동화 하는 방안이 주류를 이루고 있으며, 또한 기본계획 수립(개념정립, 방법론 선정 및 향후 활용 방안 등)이 중심 임.
- (기후 난제 해결을 위한 국가 및 국제 사회의 노력) 2015년 UN 기후협약당사국 총회(COP21, Conference of the Parties)에서 신 기후체제의 성공적 이행을 위한 VIP 기초연설과 국제적 합의에 따른 포괄적 대응을 위해 미래 기후재난 예측 활용가치와 필요성 증대
- (기후재난 해결을 위한 기술개발) '20년까지 과학기술자문기구(Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice, SBSTA)를 통한 기후변화 적응에 대한 기술적 로드맵 작성 필수 사항
- (기후재난 해결을 위한 인공지능 기반 융합기술 육성) 인공지능 관련 산업의 세계 시장은 지난해 이미 1270억 달러 규모로 성장했고, 또 앞으로도 매년 14%씩 고성장을 계속할 전도유망한 산업임. 그러나 우리는 일부 국소적인 분야에서만 3조~5조원 규모의 시장을 형성했을 뿐으로, 인공지능 기반 융합기술의 육성 및 투자가 필요한 시점임(VIP 국무회의 지시, '16.03.15).
 - ▶ 알파고(AlphaGo)를 개발한 구글은 인공지능을 통한 기후변화 문제 등을 해결하는 것을 발표(조선일보, '16.03.18)
 - ▶ 알파고(AlphaGo)를 개발한 데미스 허사비스는 “2010년 딥마인드를 창업한 것은 기후 변화나 질병처럼 다양한 사회 문제를 해결할 수 있는 '범용(汎用) 인공지능'을 개발하기 위해서였다” 라고 언급
- (장·단기 사회적 재난의 원인인 기후변화 해결 필요)
 - ▶ '16.04.12 VIP는 기후변화와 재난에 대한 대응을 신산업과 기술 발전의 기회로 삼을 것을 ASEAN (동남아시아국가연합) 회의에서 발표
 - ▶ 기후변화에 의한 사회적 재난의 해결을 위한 실천적 방안으로 빅데이터 기반을 상관관계 분석, 인공지능을 활용한 상관관계 적용 미래 장·단기 유사 피해 발생 예측이 필수임.

나. 정부정책과 부합성

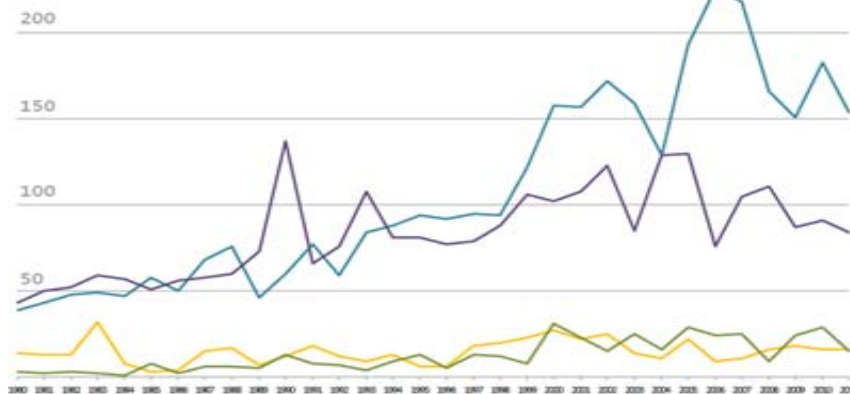
- COP21 신기후체제의 성공적 이행을 위한 VIP 기초연설과 국제적 합의에 따른 포괄적 대응을 위한 미래 기후재난 정보 구축 필요
- ICT 분야의 강점과 문화적 역량을 바탕으로 인공지능 중심의 4차 산업혁명에 능동적으로 대응 필요 (VIP 국무회의 지시, '16.03.15)
- 現 정부 국정과제 56(통합적 재난관리체계 구축 및 현장 즉시대응 역량 강화), 국정과제 61(신기후체제에 대한 견실한 이행체계 구축) 및 국가기후변화 적응대책 지원을 위한 과학적 이론기반 마련 필요.
- 『기후대응 에너지 신사업 창출방안』의 창조경제 기반 6대 에너지 신사업 모델 발표('14, 산업통상자원부 보도자료)
- 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제20조제2항 및 제27조제3항에 따라 도시·군기본계획을 수립·변경하거나 도시·군관리계획의 입안하는 경우 도시 기후변화에 따른 재해 취약성에 관한 분석에 직접적 활용 가능

다. 연구개발의 중요성

○ 극단적 기후변화에 따른 기후재난 발생 현황

- 자연재해의 발생은 기후변화로 인한 이상기후 현상이 강화되면서 앞으로 더욱 잦아지고 그 강도 또한 커질 것으로 전망되며, 이를 기후재난으로 정의함.

- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) SREX(Special Report Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, '12) 및 IPCC Fifth Assessment Report('15)에 따르면 지구온난화 등의 기후변화로 인해 전 지구적으로 폭염, 호우, 폭설 등의 발생 빈도와 강도가 크게 증가할 전망이다.
- 기후재해는 그 명칭에서 알 수 있듯이 자연현상으로 인해 발생하는 재해로서 인간의 조절 범위를 넘어선 피해(Risk)로 인식되고 있으며, 이상기후로 인한 재해발생 빈도와 피해액은 '90년대에 비해 '00년대에 50% 증가하는 추세를 보이고 있음(UNISDR, '11). 전 세계적으로 자연재해는 '50년대 이후 급격히 증가하여, '00년대 이후 발생 빈도와 강도가 더욱 가파르게 증가하였음(Munich Re, '11).
- '80년대 대비 '90-'99년 10년 동안 대규모 기후재해 발생건수는 4배 증가 하였고 경제적 손실은 14배 증가(그림 1).



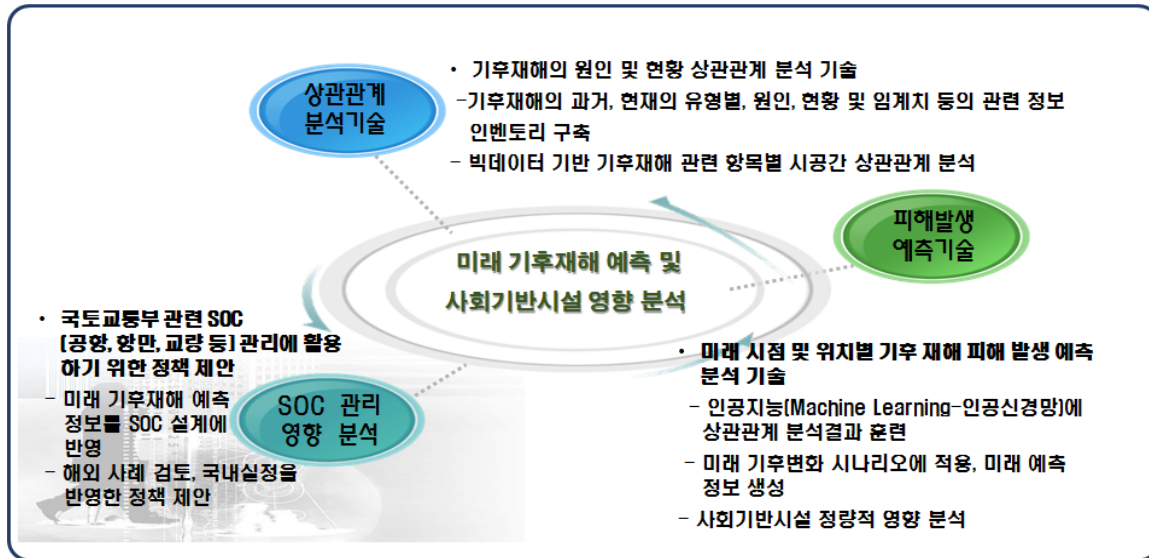
<그림 1. '80년부터 '11년까지 대규모 자연재해의 연도 별 발생 횟수
(UNISDR: United Nations International Strategy for Disaster Reduction, '11)>

- 특히 우면산 산사태, 강남 및 광화문 침수와 같은 도시 지역은 기후재해가 발생하였을 때 다른 지역적 특성에 비하여 물리적, 경제적 피해가 크게 발생하는 곳으로 기후재해 발생 취약성, 위험성 및 피해 영향 평가를 통해 자연재해 발생 피해를 최소한으로 줄일 수 있을 것임.
- 기후변화에 의한 피해는 특정 부문에 한정되지 않고 다양한 형태로, 다양한 피해를 양산하고 있음
(예: '급격한 기온 증가'라는 하나의 기후변화 요인은 보건부문의 취약계층 추가사망, 산업부문의 전력 수급 부족, 물관리 부문의 녹조 증가 등 다양한 피해 형태로 나타남) 또한, 기후변화에 의한 피해는 사회 기반시설(도로, 철도 등) 등 국민의 '삶의 질'에 해당되는 부문에서 빈번히 발생
- 기후변화의 특성상 ICT 기술(빅데이터 분석, 인공지능 등)을 활용하는 것이 효과적 방안
 - 기후변화 피해 지역 예측, 대응 방안 수립, 관련 피해 현황 저감 분석을 위한 일련의 기후변화 관련 국토관리행정의 전체 단계를 체계적이고 효율적으로 관리하여 위하여 ICT 기술 적용
 - 빅데이터 기술을 활용하여 과거 기후변화 피해를 분석하여 미래 장·단기 피해 예측 등을 구현
 - 빅데이터, 모바일, 인공지능, GIS, 센서 등 첨단 ICT 기술과 다양한 환경기술의 융합은 복잡화·대형화 되는 미래 환경 변화에 효과적 대응을 가능하게 함.
- 전술된 다양한 부문과 피해에 효과적으로 대응하기 위해서 기후변화에 의한 피해 원인 및 현황에 대한 상관관계를 정량적·과학적으로 분석하여 과거 이상기후에 의한 피해 원인, 임계치 및 지역 등을 분석하고 미래 기후변화 시나리오 등과 융합하여 과거 피해 분석과 더불어 미래 예측을 포함하는 통합적 대응체계를 구축하는 것이 중요함.

3. 연구개발 범위

- 최종 연구목표 달성을 위한 연구개발 범위는 다음과 같음(그림 2).

1. 기후재해의 원인 및 현황 상관관계 분석 기술 개발
2. 미래 시점 및 위치별 기후재해 피해 발생 예측 분석 기술 개발
3. 국토교통부 관련 SOC 관리에 활용하기 위한 정책 기초 자료인 영향분석 수행



<그림 2. 최종 연구성과 및 세부목표 정리>

제2장. 국내외 기술 개발 현황

○ 국내 현황

- 국내 기후변화 대응 중 피해 원인 및 미래 예측 기술 수준은 선진국, 특히 미국에 비하여 약 45% 수준
- 인공지능 및 빅데이터 분석과 같은 과학적 피해 원인 분석의 경우 기술수준은 미국에 비하여 50% 수준 (특허동향 : 기후변화 정보화(특허청, '11.01))
- 국가 차원의 지능정보기술(빅데이터 및 인공지능 등)의 융합형 자연재해 관련 기술을 개발하기 위하여, 범부처 차원에서 「재난 대응 과학기술 역할 강화 3개년 실천전략」('14년), 「재난과학기술 개발 10개년 로드맵」('15년) 등 최근 재난안전에 대한 지속적인 계획이 수립되고 있으며, 「재난 대응 과학기술 역할강화 3개년 실천전략」('14년), 「미래성장동력 종합 실천계획」('15년) 등에서 빅데이터 및 인공지능 기술의 ICT 융합형 재난안전 관련 기술개발 필요성이 강조되었음.
- 특히 기상·감시예측 분야에서의 빅데이터 활용은 기후변화에 의한 장단기 예측 중심이 아닌, SNS와 블로그 등 소셜 네트워크와 연계하여 현재 제공되는 기상 예보의 정확도를 높이는 방안 중심(기상기술 정책, '13)
- 인공지능의 기반이 되는 기계학습으로는 비정형 데이터가 아닌, 해양관측 위성 등 정형자료의 특정 패턴을 추출하고 학습하여 영상 분류의 정확도를 높이는 영상처리 기술 개발 중심임

○ 국외 현황

- 유럽연합의 경우 기후 서비스(Climate Services)를 통하여 기후재난의 직접적인 원인이 되는 극단적 기후사상을 과거 대비 미래를 예측하는 방안 수립(European Commission, '15)
- 미국의 경우 백악관의 기후 변화 데이터 이니셔티브(Climate Data Initiative)와 협력하여 기후 데이터를 액세스하고 시각화할 수 있으며 이해할 수 있도록 도와주는 이른바 "Data Lake"를 구축(EMC, '15)
- 미국의 경우, 오바마 행정부의 지원으로 기후변화 피해를 과학적으로 분석하는 오픈 플랫폼 (<http://data.gov/climate>) 구축하고, 이를 통하여 장단기 기후변화 피해 발생 예측 기술 개발

- 영국의 경우, The Foresight HSC(Horizon Scanning Center)를 통하여 기후변화에 의한 해수면상승, 해안 침식, 홍수 등에 대응하기 위한 원인별 피해의 관계를 분석하였으며 30~100년 이후를 대비한 위험 관리 대책을 마련함.
- 현황 분석을 통한 미래 기후재해 예측 및 사회기반시설 영향을 과학적으로 분석하는 기술 개발 시급
 - 국내는 해외 선진 사례 대비 약 50% 이상 부족하며, 단순 기술 개발이 아닌 개발된 기술을 통하여 정책과 실제적 사회 문제 해결을 위한 활용이 부족
 - 본 연구를 통하여 최신 ICT 기반 기술(빅데이터 및 인공지능)을 활용한 기후재해 예측과 사회기반시설의 영향을 정량적으로 도출하고 피해 저감 정책 마련을 위한 영향 분석을 수행할 필요가 있음.
- 기술개발 성숙도

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

○ 선행연구 과제 및 차별성

사업명	사업내용	유사성 및 차별성
‘14 환경부 기후변화 적응 대행사업	Web 기반 기후변화 취약성 평가 지원도구 파일 럿 개발	(유사성) 선행 과제는 전문가 설문을 기반으로 7개 분야(생태계, 물관리, 보건 등)의 기후변화 취약성 평가를 수행한 것으로, 지자체 공무원의 기후변화 적응대책 수립을 지원하기 위한 것임, Web 기반 기후변화 취약성 평가도구를 개발하는 것이 목적으로 “기후변화 취약성”이라는 관점에서 유사성이 있음 (차별성) 전술된 선행연구는 전문가 설문 기반으로 과학적 분석의 근거가 약하며, 지자체 지원에 한정되어 사용되는 한계가 있음. 본 과제는 빅데이터 및 인공지능 기법을 적용한 미래 기후재해 예측이 주 목적으로 선행연구에 비하여 진일보한 과학적 분석 방법과 최신의 평가방법을 적용하여 공무원 뿐만 아니라 대국민, 산업계에 직접적인 활용이 가능하도록 함. 또한, 미래 기후시나리오를 분석하고 추출하여 기후재해 발생 임계치 별 향후 장단기에 유사한 기후재해가 발생하는 위치와 시간을 예측한다는 점에서 큰 차이가 있음.

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 1차 연도

가. 개발 목표

○ 주관연구기관(한국환경정책·평가연구원): 기후재해의 원인 및 현황 상관관계 분석 기술 개발

○ 세부 목표

(1) 기후재해의 과거, 현재의 유형별, 원인, 현황 및 임계치 분석을 위한 Big Data 중 Text Mining 기술 개발

(2) 공간 빅데이터 기반 기후재해 관련 항목별 시공간 상관관계 분석을 위한 기술 개발

나. 개발 내용 및 범위

○ 주관연구기관(한국환경정책·평가연구원)

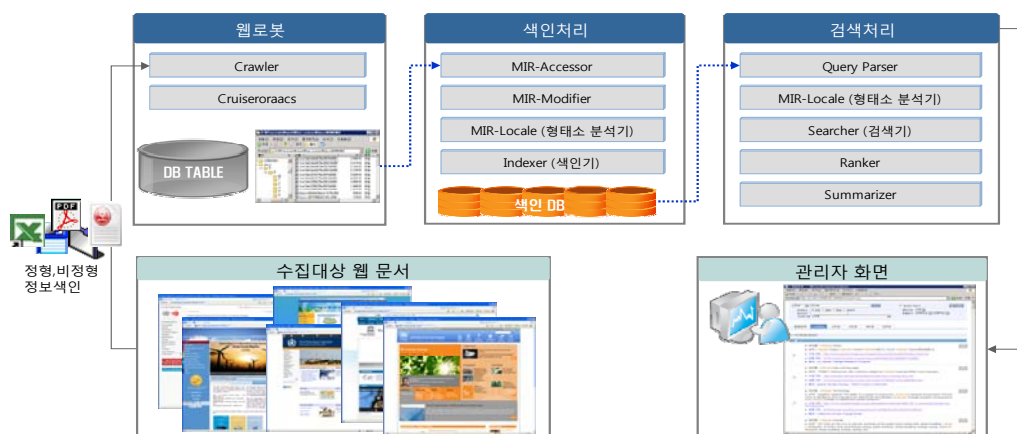
(1) 기후재해의 과거, 현재의 유형별, 원인, 현황 및 임계치 분석을 위한 Big Data 중 Text Mining 기술 개발

- 본 연구에서는 시간적 범위는 '90년부터 '15년까지 최근 25년에 해당되며, 공간적 범위는 전국 주요 도시(서울, 부산, 인천, 대전, 대구 및 광주)로 1차 선정하고, 보다 정밀한 연구결과와 주요 기후재해의 정보 획득을 용이하기 위하여 수도권 일원 및 서울특별시를 대상으로 함.

▶ 서울은 '10년 및 '11년 지속적인 기후재해(광화문 침수, 강남역 침수 및 우면산 산사태) 등이 발생하였고, 부산은 2014년 7월 집중호우에 의한 산사태와 침수가 동시에 발생하였음.

- 전술된 과거 시점과 위치별 기후재해 정보를 획득하기 위한 효과적 방안으로는 최신 ICT 기술 중 웹크롤러(Web Crawler) 및 웹로봇(Web Robot) 등을 통하여 자료를 수집하는 것으로, 본 연구를 주관으로 수행하는 한국환경정책·평가연구원은 기존에 웹크롤러 및 웹로봇을 보유하여 운영 중임(그림 3).

▶ 전술된 웹크롤러 및 웹로봇을 통하여 우선적으로 인터넷상에 산재되어 있는 자료와 연구기간에 해당하는 기후재해(가뭄, 폭설 및 집중호우)와 관련된 신문·방송, 연구보고서 및 논문 등의 데이터 수집

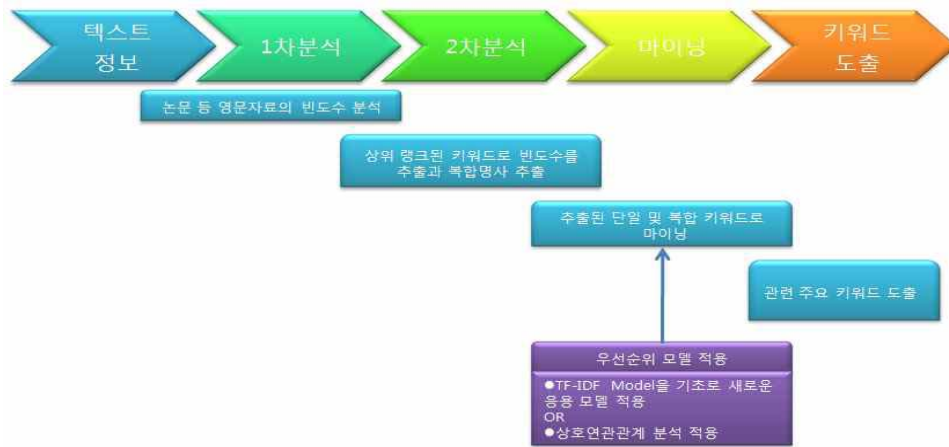


<그림 3. 현재 한국환경정책·평가연구원 운영 중인 웹크롤러 및 웹로봇 시스템 구성도>

- 기후재해(집중호우에 의한 산사태 및 침수 등)의 과거 및 현재의 발생 패턴, 피해 원인과 현황에 대한 정량적 상관관계 분석을 위하여 국내 주요 포털에 대한 웹크롤러(Web Crawler)를 적용
- 수집된 자료를 대상으로 기후재해 유형별 발생 현황(피해 발생 날짜, 피해 위치, 원인(예:강우량, 폭설 및 가뭄 등), 피해 현황 정도(인명, 재산 및 사회기반시설 등)에 대한 연구 보고서, 정책 보고서 및

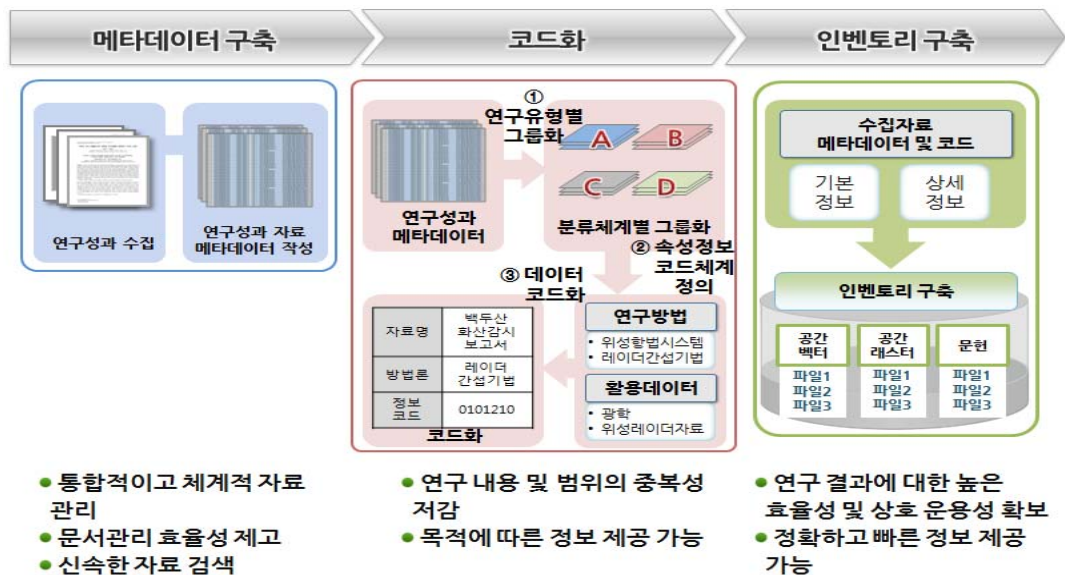
관련 문헌을 활용한 사전 조사 실시

- ▶ 전술된 사전 조사는 단순 인력에 의한 문헌 통계 정리가 아닌 Textmining 기법 중 키워드 도출 방법을 활용(그림4)
- ▶ Textmining 기법은 여러 단계로 구분되지만, 우선 본 단계에서는 기후재해와 관련된 원인과 피해 현황을 정리하는 키워드 도출을 선택적으로 활용



<그림 4. 기후재해 관련 수집 자료에 대한 Textminig 기법 중 키워드 추출 방안 적용 모식도>

- 전술된 수집자료 및 Textminig을 적용한 추출 자료를 빅데이터를 적용하기 위한 체계적 인벤토리 구축 및 Database Schema 설계
 - ▶ 빅데이터를 적용하기 위해서는 우선적으로 문헌, 논문 등에서 웹크롤러와 웹로봇을 통하여 수집되고, 추출된 사전 정보의 형태(비정형 자료)를 일정 부분 정형화 하는 것이 필요
 - ▶ 이를 위하여 데이터 속성을 정확히 표현하고 정리하기 위한 코드화(비정형의 정형화)가 필수적임
- 기후재해 과거 및 현재에 발생한 유형, 원인(임계치 포함) 및 현황을 정리한 관련 인벤토리 구축(그림5)
 - ▶ 전술된 극단적 이상기후에 의한 과거 및 현재에 발생한 기후재해와 관련하여 산재되어 있는 연구 내용 및 연구 성과, 입력 자료들 가운데 찾고 있는 정보에 대한 체계적인 검색 지원 및 자료 통합 관리가 필요함에 따라 수집된 선행 연구 성과 자료에 대한 인벤토리 구축



<그림 5. 기후재해 관련 자료 인벤토리 구축>

- 또한 기후재해 발생 날짜 전후 5일에 대한 실제 기상관측값 획득을 위하여 기상청 AWS(Automated Weather Station) 자료 수집 및 전술된 인벤토리에 추가, 이를 통하여 기후재해 관련 발생 일자, 피해 원인과 현황, 강우량을 연계 분석하는 인벤토리 작성
- 본 연구를 통하여 제작된 인벤토리는 비정형 자료(문헌 및 기사 등)과 정형자료(강우량 수치 등)이 혼재하여 있기 때문에 기후재해 발생 원인과 피해 현황에 대한 패턴과 상관관계를 정량적으로 분석하기 위하여 Text Mining 프로그램 개발 및 적용
- 또한, 기후재해 피해 분석에 활용되는 환경공간정보의 현황과 최근 20년간(1996년부터 2015년)까지의 ICT 기반 기술과의 접목을 Text Mining으로 분석

(2) 빅데이터 기반 기후재해 관련 항목별 시공간 상관관계 분석

- 기후재해에 대한 직접적인 분석을 위하여 3가지 연구를 수행
 - ▶ 첫째, Big Data 분석 중 Data Mining 방법을 적용한 기해재해 중 침수 취약성 분석
 - ▶ 둘째, 전술된 인벤토리에 Text Mining을 적용하여 기후재해 발생 피해와 관련된 임계치를 추출하고, 이를 미래 기후변화 시나리오에서 자동 추출하는 프로그램 개발
 - ▶ 셋째, 기후재해 자체가 궁극적으로 공간적 위치를 가지고 발생하는 피해이기 때문에, 시계열 위성영상 준실시간 처리 기술 개발(기후재해 모니터링 및 피해 위치 분석을 위한 기반 기술)
- 2010년 및 2011년 발생한 서울특별시 침수에 대한 취약성 분석을 위하여 Data Mining 방법 중 Decision Tree 중 Random Forest와 Boosted Tree를 각각 적용하여 취약성 분석 및 향후 취약한 지역을 공간적으로 분석
- 전술된 기후재해 관련 인벤토리와 본 연구를 통하여 개발한 Text Mining 프로그램을 연계 분석하여 집중호우에 의한 침수 발생 임계치를 정량적(3일 누적 강우량 170mm 이상)으로 분석
- 전술된 분석 결과를 미래 기후변화 시나리오(기상청 RCP 4.5 및 8.5)에 적용 및 수도권 일원을 대상으로 공간적으로 향후 유사 피해가 가능한 지역을 추출하는 프로그램 개발
- 기후재해를 정밀하게 모니터링 하고, 넓은 지역의 피해를 효과적으로 분석하기 위하여 공간정보(위성영상)를 활용하여야 함, 또한 피해 발생 모니터링 자료를 시계열로 분석하기 위하여 자료 전처리 기술을 개발하여 준 실시간 자료 분석 기술 개발

2. 2차 연도

가. 개발 목표

- 주관연구기관(한국환경정책·평가연구원): 미래 시점 및 위치별 기후 재해 피해 발생 예측 분석 기술 개발
- 세부 목표

(1) 인공지능(Machine Learning-인공신경망)에 상관관계 분석결과 훈련

(2) 미래 기후변화 시나리오에 적용, 미래 예측 정보 생성

(3) 사회기반시설 정량적 영향 분석

나. 개발 내용 및 범위

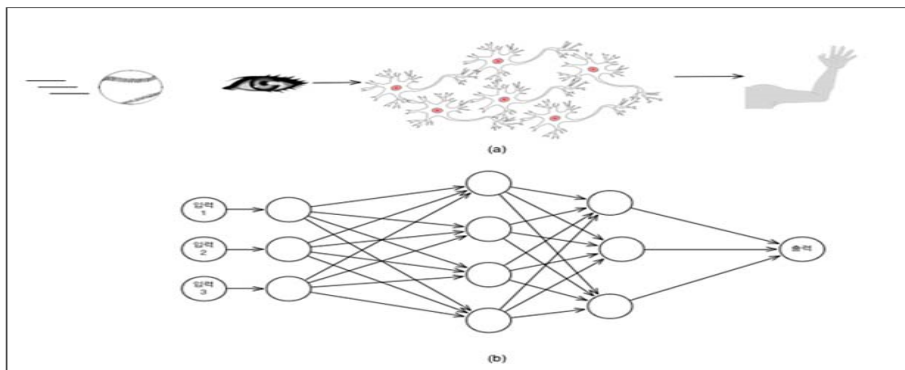
- 주관연구기관(한국환경정책·평가연구원)

(1) 인공지능(Machine Learning-인공신경망)에 상관관계 분석결과 훈련

- 미래 기후재난 예측 및 대응을 위하여 인공지능(Machine Learning-인공신경망)을 활용한 상관관

계 훈련 방안 마련

- 인공지능 (AI: Artificial Intelligence)은 컴퓨터의 연산 능력을 인간처럼 생각하고 반응하게 만드는 것을 목적으로 하는 기술이며, ICT 분야에서 매우 빠르게 성장하고 있는 학문 분야 임.
- 인공지능의 구성은 크게 6가지로 구성되며 1) 전문가 시스템, 2) 자연어 처리, 3) 머신 비전, 4) 신경망, 5) 기계학습 및 6) 고등로봇 임
- 본 연구는 인공지능을 활용한 장·단기 기후재해를 예측하기 위한 것으로 전체 인공지능 6가지 구성 중 직간접적으로 1) 전문가 시스템, 2) 자연어 처리, 3) 신경망 및 4) 기계학습의 총 4가지를 적용하고자 함.
- ▶ 1) 전문가 시스템은 인간의 지식과 경험을 바탕으로 구축되는 데이터베이스로서, 본 연구에서는 본 연구책임자 및 연구진이 국가기후변화적응센터의 현업(선행 연구 포함)에서 축적된 노하우를 적극적으로 활용하여 인공지능을 구현 함.
- ▶ 2) 자연어 처리는 인공지능을 초기 훈련하기 위한 기준을 선정하는 것으로 본 연구에서는 전술된 1차년도에 수행하는 ‘기후재해 관련 수집 자료에 대한 Textminig 결과’를 활용하여 인공지능을 구현 함.
- ▶ 4) 신경망은 인공지능 구현의 최종 목표 중에 하나이며, 대부분의 관련 선행 연구에서 인공신경망을 활용하여 구축, 본 연구는 인공신경망 분석 기법 중 가장 많이 활용되는 ‘역전파 알고리즘’을(그림 6)으로 인공신경망을 MATLAB을 활용하여 자체 구축 예정



<그림 6. 자연신경망과 인공지능 중 인공신경망 비교>

- ▶ 전술된 인공신경망 학습을 위하여 기후재해 발생 원인과 현황을 DB로 구축하고(1차년도 연구 성과 연계 활용), 데이터마이닝 중 인공신경망을 통한 기계학습 수행
- ▶ 5) 기계학습은 과거의 경험으로 얻어진 학습 효과를 프로그램으로 구현하는 것으로, 본 연구에서는 전술된 인공신경망을 활용한 원인, 피해 및 위치 자료를 통하여 상관관계 및 가중치 계산을 훈련(그림 7)

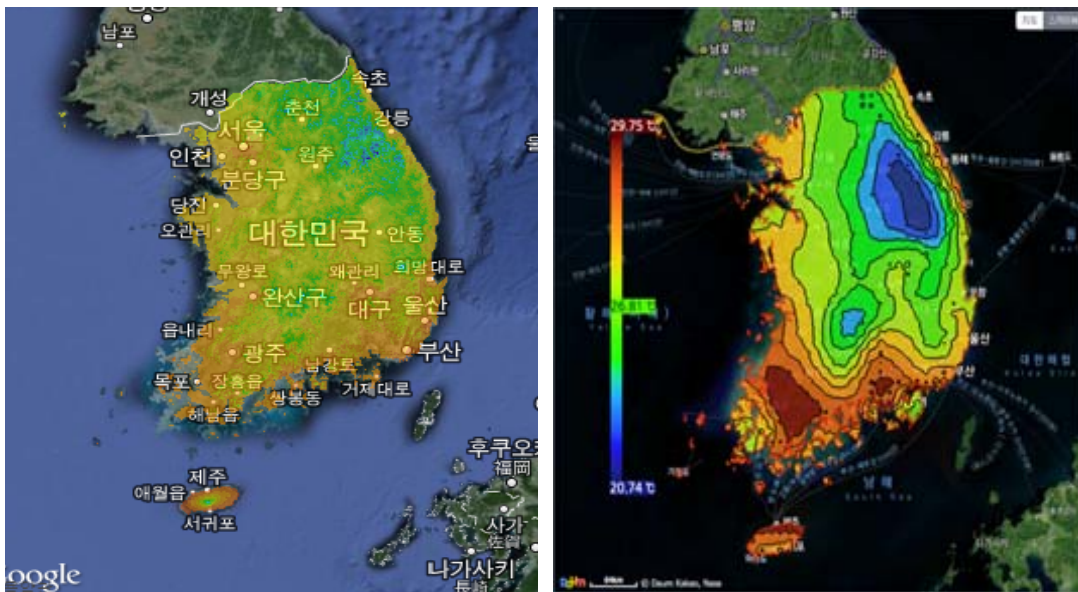
Table 3. Neural network weight between landslide and related factors.

200 Cycles for 1 epoch	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Average	Standard Deviation	Normalized Weight with Respect to Timber Age
Slope gradient	0.0555	0.0548	0.0546	0.0546	0.0549	0.0552	0.0557	0.0561	0.0564	0.0567	0.05545	0.00072	1.14851
Slope aspect	0.0616	0.0611	0.0608	0.0607	0.0607	0.0606	0.0606	0.0605	0.0604	0.0603	0.06073	0.00036	1.25787
Curvature	0.0623	0.0615	0.0614	0.0615	0.0616	0.0618	0.0620	0.0623	0.0625	0.0629	0.06198	0.00048	1.28376
TWI	0.0512	0.0520	0.0512	0.0506	0.0500	0.0495	0.0490	0.0485	0.0480	0.0476	0.04976	0.00141	1.03065
SPI	0.0531	0.0520	0.0518	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	0.0516	0.0516	0.05186	0.00043	1.07415
SLF	0.0579	0.0594	0.0590	0.0584	0.0578	0.0572	0.0567	0.0564	0.0561	0.0559	0.05748	0.00116	1.19056
Standardized height	0.0699	0.083	0.0909	0.0955	0.0987	0.1014	0.1036	0.1052	0.1063	0.1070	0.09615	0.01132	1.99151
Valley depth	0.0521	0.0517	0.0514	0.0512	0.0510	0.0509	0.0509	0.0508	0.0508	0.0509	0.05117	0.00042	1.05986
Downslope distance gradient	0.0626	0.0579	0.0559	0.0551	0.0547	0.0546	0.0548	0.0552	0.0557	0.0563	0.05628	0.00231	1.16570
Timber diameter	0.072	0.0717	0.0712	0.071	0.0708	0.0707	0.0705	0.0704	0.0704	0.0703	0.07090	0.00055	1.46852
Timber type	0.0546	0.0515	0.0514	0.0513	0.0512	0.0512	0.0513	0.0513	0.0512	0.0512	0.05162	0.00100	1.06918
Timber density	0.0607	0.0582	0.0577	0.0577	0.0579	0.0581	0.0583	0.0584	0.0584	0.0583	0.05837	0.00082	1.20899
Timber age	0.0489	0.0484	0.0482	0.0482	0.0481	0.0482	0.0482	0.0482	0.0482	0.0482	0.04828	0.00022	1.00000
Soil depth	0.0682	0.0686	0.0666	0.0646	0.0626	0.0606	0.0586	0.0566	0.0553	0.0543	0.06160	0.00506	1.27589
Soil drainage	0.0546	0.0544	0.0547	0.0554	0.0557	0.0560	0.0561	0.0562	0.0563	0.0564	0.05558	0.00072	1.15120
Soil Topography	0.0606	0.0607	0.0603	0.0600	0.0598	0.0597	0.0597	0.0596	0.0595	0.0594	0.05993	0.00043	1.24130
Soil texture	0.0542	0.0531	0.0529	0.0527	0.0526	0.0526	0.0526	0.0527	0.0528	0.0530	0.05292	0.00046	1.09611

<그림 7. 인공신경망 상관관계 및 가중치 계산 훈련 결과(Lee et al., 2017)>

(2) 미래 기후변화 시나리오에 적용, 미래 예측 정보 생성

- 기상청(과거 및 현재 기상 관측자료, 미래 기후변화 시나리오), 한국환경정책·평가연구원(미래 기후변화 시나리오 및 확률강우량) 등에서 기 구축된 장단기 미래 기후변화 예측 자료를 수집(그림 8)
 - ▶ 기후변화 시나리오 자체가 장·단기 미래를 예측한다는 측면에서 불확실성을 내포하고 있음, 이를 해결하기 위한 다양한 노력 중 기후변화 시나리오 자체의 정확도를 높이는 연구가 있으나, 이러한 연구는 “미래 예측”이라는 현실적 문제로 인하여 확률적 정확도를 높이기 어려움.
 - ▶ 또한, 현재 주류를 이루는 연구는 Daly, C(2006)부터 시작되며, 서로 다른 이기종의 기후변화 시나리오를 연계 분석하여 정확도를 높이고, 기후변화 시나리오의 불확실성을 줄이고자 함.
 - ▶ 본 연구에서는 기상청 기후변화 시나리오(영국 헤들리 센터의 UM(Unified Model)을 기반으로 하는 CMIP5(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5))와 한국환경정책·평가연구원의 기후변화 시나리오(미국 대기연구소 모형(CESM(Community Earth System Model) 결과를 연계하여 활용
- 기후변화에 의한 기후재해의 불확실성을 최소화 하기 위하여 다양한 기후변화 시나리오를 활용하며, SRES(Special Report on Emissions Scenarios) 및 RCP(Representative Concentration Pathways) 4.5 및 8.5 등을 직접 다운스케일링 하여 활용
 - ▶ 장·단기 기후재해 예측의 정확도를 높이기 위하여 2개 이상의 기후변화 시나리오를 활용하며, IPCC AR5에서 제시된 RCP 시나리오 이외에 AR4에서 제시된 SRES도 활용



<그림 7. 기상청(우측) 및 한국환경정책평가연구원(좌측) 기후변화 시나리오>

- 전술된 과거 및 현 시점의 도시 기후재해 발생 임계치와 연계하여 미래 기후변화에 의하여 기후재해가 유사하게 발생 가능한 시점 및 임계치 분석
 - ▶ 1 차년도 수행된 피해 유형별 기후재해 발생 임계치를 추출하고, 인공지능의 인공지능망 및 기계학습을 수행하는 프로그램을 개발
 - ▶ 개발된 프로그램에 입력자료 기상청 및 한국환경정책·평가연구원 기후변화 시나리오를 입력 자료로 적용하고, 훈련된 내용(기후재해 유형별 피해 발생 임계치)을 활용하여 미래 장단기 시점별, 위치별 기후재해 발생을 시공간적으로 예측
 - ▶ 본 연구의 최종 결과는 공간정보를 활용하기 때문에, 정확한 기후재해 피해 위치(1Km *1Km 단위)를 예측가능
 - ▶ 또한, 기후변화 시나리오 자체가 1일 단위 예측자료이므로, 이를 활용하여 미래 기후재해 피해 발생 시점을 정확히 예측 가능

- 공간적, 시간적 특징을 반영하여 가뭄, 폭설 및 집중호우에 의한 기후재해가 어느 시점에 어떤 곳에서 발생하는지 과학적 분석 가능
- 이러한 빅데이터 분석을 효율적으로 수행하기 위해서는 기본적으로 기초 데이터의 구축이 중요하며, 기후재해 연구에서 가장 기본이 자료 정제와 분석의 2단계로 구분됨.
- 첫 번째 단계는, 전술된 기후변화 시나리오(국가 공인 및 국가기후변화적응센터 자체 수립 시나리오) 및 확률강우량 자료 등을 수집하고 입력 자료를 위한 기초자료로 Data 정제 및 기초 분석 수행
 - ▶ SRES 및 RCP의 기본 구조 분석을 통하여 대용량 자료에서 원하는 기후재해 피해 날짜, 내용을 추출하기 위한 기후변화 시나리오 사전 자료 처리 수행
- 두 번째 단계는 기후재난의 원인이 되는 기상이변과 문헌조사를 통하여 조사된 피해 발생 위치, 피해 현황 등을 통한 기후정보 패턴 분석
- 이를 통하여 기상재해의 원인이 되는 가뭄, 폭설 및 집중호우의 발생 예측을 위한 과거자료를 이용한 패턴분석을 통하여 미래 기후재해 발생 예측

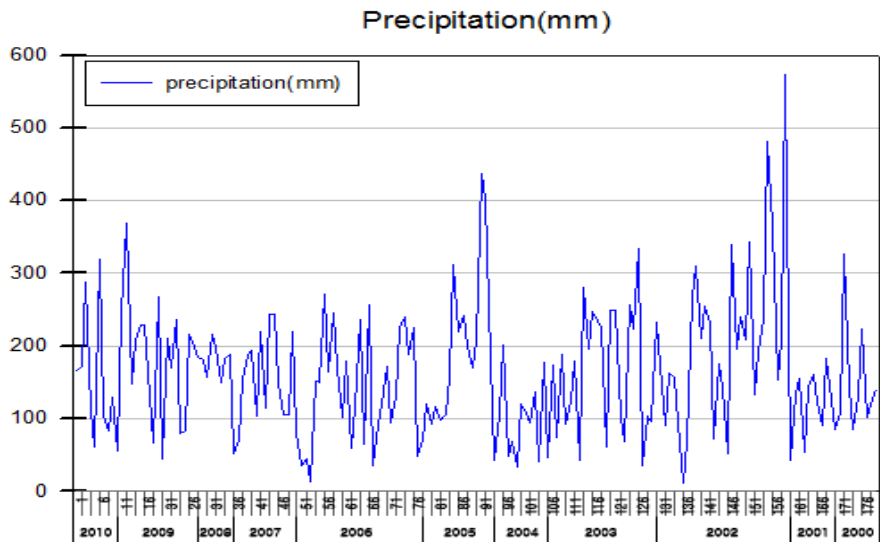
(3) 사회기반시설 정량적 영향 분석

- 기후변화에 의하여 대국민의 '삶의 질'에 직접적인 영향을 미치는 사회기반시설에 대한 미래 영향 분석 수행
 - ▶ 기후변화에 의한 피해가 대국민에게 직접적인 영향을 미치는 요소는 우선적으로 사회기반시설이 붕괴되는 것임
 - ▶ 우리나라 대표적인 사회기반시설은 도로, 철도, 항만, 공항 및 전력 등으로 기후재해의 직접적 피해 요인이 됨
 - ▶ 특히, 도로의 경우, 기존 7*9 고속국도 건설 계획에 부가하여 5*8 형태의 간선도로망 구축하고 있으며, 전력수급기본계획 또한 제4차부터 송전시설 회선 길이를 2007년 대비 34% 증가
 - ▶ 미국의 경우, 방재청 산하 HAZUS-MH를 통하여 기후변화에 의한 사회기반시설의 피해를 정량적으로 분석하고자 하며, 스위스의 경우도 Hazard 모델을 개량하여 스위스 위험평가를 수행하고 있음
- 본 연구를 통하여 우리나라의 주요 사회기반시설 중 연구지역에 해당되는 주요 시설물에 대한 피해를 정량적으로 수행하고자 함
 - ▶ 또한 공간정보를 활용하기 때문에 지역적 연구지역의 특성을 보다 강화할 수 있는 오픈 플랫폼 형태로 구축 가능
- 특히, '16년 1월 제주공항 폭설과 같이 극단적 기후재난의 발생 예측과 같은 극단적 발생 시점과 기존 사회기반시설을 중첩 분석하여 정량적 피해 현황을 예측
- 폭설을 구성하는 기온과 강수량 2개의 자료는 기후변화 시나리오 제공의 주요 자료이며, 이를 연계 연산하여 폭설 발생 시점과 위치를 추출
- 전술된 사회기반시설에 대한 정량적 피해 위치와 시점을 분석하고, 이를 반영한 국가 기후변화 적응 대책 및 도시 기후변화 재해취약성분석에 직접적 활용 가능
 - ▶ 이러한 국가 대책 및 정책에 직접적으로 활용 가능한 정책적 시사점 및 피해 예측 정보 제공 등

3. 연구수행 성과

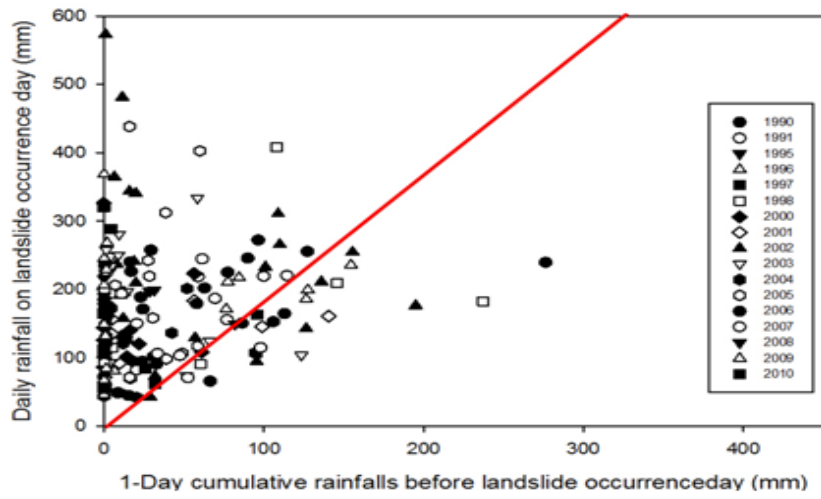
○ 기후재해(집중호우 등)의 원인과 현황에 대한 정량적 분석

- 기후재해의 원인과 현황을 정량적으로 분석하기 위한 시범연구는 전국에서 발생한 집중호우로 인한 산사태 발생을 대상으로 함
 - 이를 위하여 본 연구에서는 우선적으로 산사태 발생 현황, 위치, 피해, 누적강우량(산사태 발생 전후 1일 누적, 3일 누적 강우량, 5일 누적 강우량 임) 등을 인벤토리와 Database로 구축 함
 - 과거 집중호우와 산사태 발생의 상관관계 분석을 위하여 2000년대(1991년 7월부터 2010년 12월 까지)의 19년간을 선정하였음
 - 산사태 발생 지역 및 발생 일자는 중앙 언론매체 기사 및 방송, 지방 언론매체 기사 및 방송과 한국지질자원연구원, 한국건설기술연구원등의 보고서를 기준으로 검토하였으며, 2000년대 산사태 발생자료의 경우 다양한 출처를 통하여 정리된 양이 많지만, 1990년대의 경우 산사태 발생 자체를 정리한 자료에 한계가 있어, 일부 관련 논문 및 중앙 언론매체를 통하여 정리함
 - 분석된 자료는 산사태 발생 지역, 발생일자, 인근지역 기상관측지점 및 AWS 기상자료(발생 전·후 5일)이며, 이를 통하여 산사태 발생 지역의 위치(인근 지역 포함) 및 날짜를 인벤토리로 정리하였음
 - 산사태 발생 일자를 중심으로 산사태 발생 5일전부터 발생 5일 후까지의 일별 강우 자료를 정리하였고, 전체 정리된 자료는 178곳의 산사태 발생 장소 및 일별 강우 자료임
 - 산사태 발생 178곳은 산사태가 발생한 한 지점만을 의미하는 것이 아니며 산사태가 집단으로 발생한 지역으로, 누적 강우량은 일별 강우량을 누적 일자에 합하여 생성하였음. 또한 강우강도를 파악하기 위하여 1일, 3일 및 5일 누적 강우량과 발생일의 시간별 강우량을 분석하였음
 - 산사태 발생과 강우강도의 관계를 분석하는 방법은 두 가지로 수행하였음. 첫째, 연도별 산사태 발생 당일 강우량을 정리하고, 이를 통하여 2000년대 산사태 발생 당일의 강우량 간의 상관관계를 분석함. 둘째, 산사태 발생 당일의 강우량과 산사태 발생 이전 1일간 누적 강우량, 3일간 누적 강우량 및 5일간 누적 강우량을 비교 분석하여 정량적 관계를 분석하였음
 - 2000년대의 산사태 발생과 강우 특성과 관련지어 본 결과를 유형별로 도식하면 <그림 8>과 같음. 가로축은 강우 기간을 세로축은 강우다발 기간인 해당 연도별 발생 기간을 나타내고 있음. <그림 8> 중 강우량은 산사태가 발생한 지역에 속하는 AWS의 강우기록을 산정하였음.
 - 2000년대 전체 산사태 발생과 당일 강우량과의 관계를 분석한 결과, 높은 강우량은 2002년 8월 31일 전북 무주군 일원에서 573mm, 강원도 강릉시 481mm, 2005년 9월 6일 경북 포항시 남구 일원 438mm, 402.5mm, 경북 경주시 양북면 일원 368.5mm 및 2009년 7월 8일 부산시 남구 우암동 일원 368.5mm임
 - 낮은 강우량은 2004년 8월 17일 강원도 강릉시 강릉면 일원 41.5mm, 2002년 9월 16일 경상북도 성주군 금수면 일원 42.5mm, 2004년 강원도 삼척시 하장면 일원 43.5mm, 2006년 강원도 인제군 북면 일원 44.5mm 및 2009년 7월 16일 경남 김해시 부원동 일원 45.5mm 임. 평균적으로 일 최대 강우량이 164.5mm 이상이면 산사태의 위험이 전국적으로 존재하는 것으로 사료되며, 즉 일일 최대강우량 164.5mm 이상의 경우 전국적으로 산사태 발생의 위험이 존재한다고 사료됨.
-

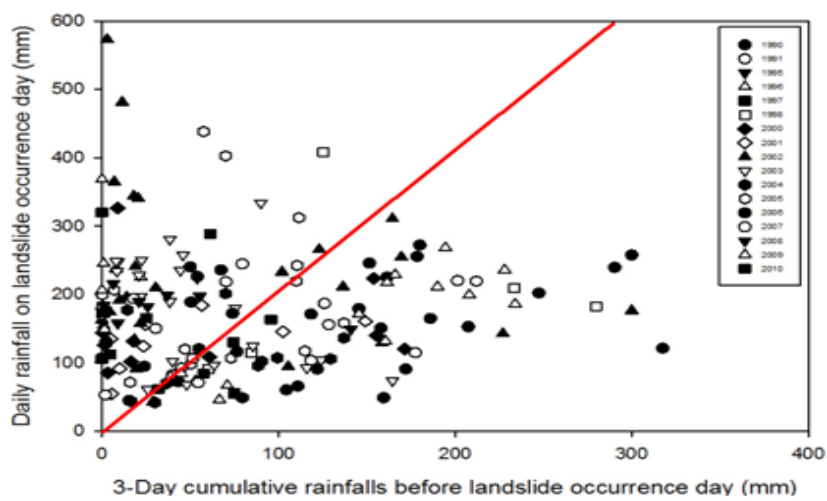


<그림 8> 산사태 발생 당일의 강우량

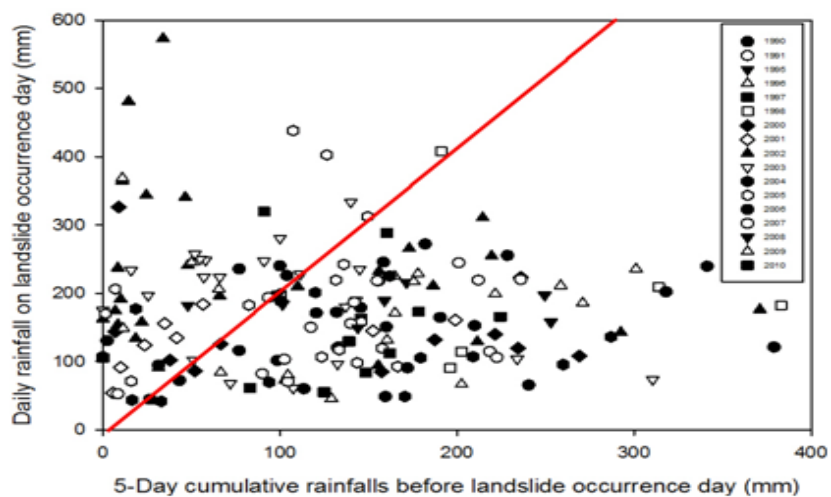
- 산사태 발생 이전 누적 강우량과 발생 당일 강우량의 비교는 산사태 발생의 원인으로 당일 강우량과 누적 강우량과의 관계를 분석하기 위하여 수행하였으며, <그림 9, 10, 11>는 연도별로 산사태 발생일 이전의 누적 강우량(1일, 3일 5일)과 발생 당일의 강우량을 대비하여 나타낸 것임.
- 가로축에는 산사태 발생일로 추정된 날의 강우량을 그리고 세로축에는 선행 누적 강우량을 표시한 것이며, 산사태 발생 당일의 강우량은 포함하지 않고 그 이전 1일간, 3일간, 5일간의 누적 강우량을 의미함.
- <그림 9, 10, 11>은 이들 세 경우의 누적 강우량들을 나타낸 것으로, 구축된 자료에 45° 중앙경계선을 기준으로 상부영역에 점시되면 당일 강우량에 영향을 받아 산사태가 발생한 것으로 보았으며, 반대로 하부영역에 점시되면 누적 강우량에 의한 것으로 판단하였음. 이러한 판단을 기준으로 2000년대 산사태를 분석해보면 산사태 발생 당일 강우량과 발생 1일 전의 누적 강우량을 도식한 <그림 9>의 경우 45° 중앙경계선을 기준으로 상부와 하부에 도식되는 산사태가 명백히 구분되고, 이를 통하여 산사태 발생은 당일 강우에 의한 영향이 큰 것으로 판단됨.
- 산사태 발생 당일 강우량과 발생 3일 전의 누적 강우량을 도식한 <그림 10>의 경우 45° 중앙경계선을 기준으로 상부와 하부에 균등하게 분포하는 양상을 나타내고 있음. 산사태 발생이 당일 강우량과 3일 누적 강우량과 균등한 영향을 받은 것으로 사료됨.
- 산사태 발생 당일 강우량과 5일 이상의 누적 강우량을 비교한 <그림 11>를 보면 45° 중앙경계선을 기준으로 상부 보다는 하부 쪽에 더 많은 산사태 발생이 분포하는 것을 알 수 있음. 이는 당일 강우에 의한 영향보다 5일 누적 강우에 의한 영향을 많이 받는다는 것으로 판단됨. 따라서 산사태에 미치는 영향이 당일 강우량에 의하는가 누적 강우량에 의하는가를 구별하는 위해서는 누적 강우량을 3일 이내로 함이 바람직함.
- <그림 9, 10, 11>를 보는 바와 같이 2000년대 발생한 산사태는 전반적으로 누적강우 3일과 밀접한 연관이 있음. 따라서 2000년대 산사태 발생은 당일 강우량보다는 누적강우량에 영향을 많이 받은 것으로 사료되며, 이 중 3일 누적 강우량에 의한 영향이 가장 큰 것으로 분석됨.



<그림 9> 1일 누적 강우량과 산사태 발생관계



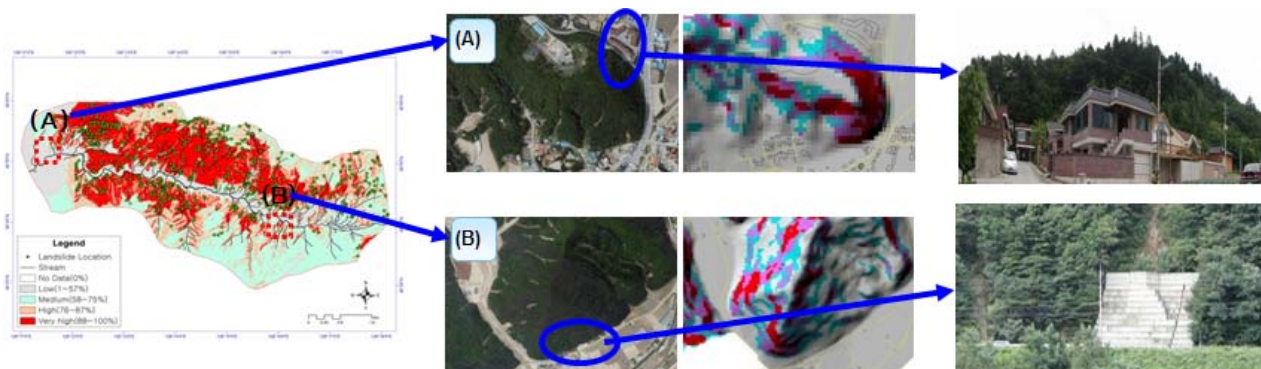
<그림 10> 3일 누적 강우량과 산사태 발생관계



<그림 11> 5일 누적 강우량과 산사태 발생관계

○ 본 연구 성과물 적용 및 활용을 위한 방안

- 본 연구의 성과 확산의 가장 큰 활용은 제3차 국가기후변화적응대책에 활용하는 것임. 국가기후변화 적응대책은 기후변화에 의하여 발생할 수 있는 피해를 저감하기 위한 것으로, 기후변화로 인한 영향을 최소화하고 국민의 안전과 재산을 보호하기 위해 저탄소녹색성장기본법(48조) 및 동법 시행령(38조)에 따라 매 5년마다 “국가기후변화적응대책”을 수립
- 제1차 및 제2차 기후변화 적응 대책의 문제점은 기후변화라는 미래의 피해를 대응하기 위한 대책이지만, 실제 미래는 과거의 문제가 지속적 또는 보다 빈도가 빠르게 반복된다는 사실을 간과한 것임
- 즉, 과거 기후재해의 발생 패턴과 피해를 정량적으로 분석하고, 이를 저감하는 방안 또는 피해가 발생하였을 때 최소화하는 방안을 정리하지 못하고 있음
- 대표적인 사례가 1차 및 2차 적응 대책에 명시되어 있는 ‘산사태 예측 능력 향상 및 대응 인프라 구축’으로 2012년부터 산림청에서 수행하는 것으로 명시되어 있으나, 실제 연구와 사업은 과학적으로 진행되지 못하였음. 또한 ‘도시의 기후변화 적응능력 제고를 위한 도시계획 내 재해대비 기준강화 및 관련 제도 마련’도 국토교통부에 진행하여 선제적 도시침수방지를 위한 내용이지만, 실제 진행된 사항은 미흡 함
- 해안의 경우 연안재해 취약성 평가를 실시하고, 이를 통한 해안침수 예상 3차원 가시화 시스템을 구축, 운영 등의 사례가 있으며, 이를 기후변화 적응 대책에 적용하는 등의 보다 과학적 근거 기반의 기후변화 대응을 진행하고 있음
- 본 연구는 목표 자체가 기후재해의 저감 및 효율적 대응을 위한 것으로, “재난·재해 관리 시스템 강화”의 일환으로 활용이 가능함. 특히 “취약지역 및 도시생활권 산사태 조기예측 및 저감 기술 개발”에 직접적 활용이 가능함
- 본 연구의 결과는 극단적 기후변화에 따른 기후재해 중 산사태 및 침수 등과 같이 도시지역에서 빈번히 발생하는 자연재해를 저감하기 위하여 빅데이터 분석 및 인공지능 분석을 수행하는 것임. 본 연구 성과 중 과거 기후재해의 발생 패턴을 분석하고, 분석된 패턴을 인공지능 기술 중 인공신경망에 적용하여 산사태 및 침수와 관련된 취약지역을 분석하는 것이 주요 목적임
- 전술된 연구에서 개발된 성과를 바탕으로 활용하기 위한 정책적 방안은 “제3차 국가기후변화적응대책”에 활용하는 것임. 사회적 활용은 재난안전에 필요한 실제 피해 예상지역을 추출하고 피해 저감을 위한 방안에 활용 하는 것임

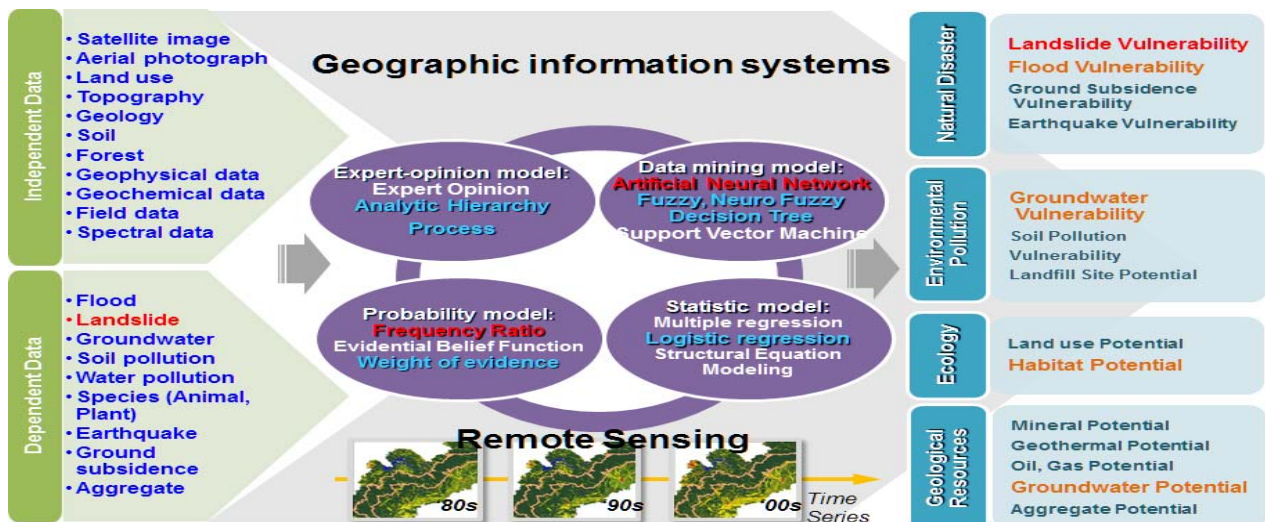


<그림 12> 본 연구결과에 따른 주거시설 및 사회기반시설 실제 피해 예측 결과

- <그림 12>와 같이 본 연구의 결과는 공간정보로 구축되어 있기 때문에 타 정보와 직접적인 연계 활용하기 용이하며, 이를 기반으로 실질적인 피해 저감을 위한 도구로 활용 할 수 있음

○ 빅데이터 분석을 위한 매뉴얼(가이드라인)

- 본 연구는 빅데이터 분석을 위한 내용을 담고 있으며, 우선적으로 크게 2가지를 가이드라인으로 제시하고자 함
- 빅데이터의 정의는 단순한 데이터의 크기가 아니라 데이터의 형식과 처리 속도 등을 함께 아우르는 개념으로 기존 방법으로는 데이터의 수집, 저장, 검색, 분석 등이 어려운 데이터를 총칭해서 일컫는 용어(ITWorld, 2012)
- 예를 들어, 페이스북과 같은 소셜 네트워크 서비스의 경우 매달 300억 개의 새로운 콘텐츠가 발생하고 이러한 거대한 데이터를 관리하기 위한 하드웨어 및 소프트웨어 등 모든 프로세스가 바로 빅데이터 플랫폼을 의미함
- 그러나 과학기술 분야에서 빅데이터는 페이스북과 같은 소셜 네트워크의 가벼운 데이터가 아닌, 곳곳에 산재되어 무겁고 정리가 되지 않은 데이터를 의미하는 경우가 많음
- 빅데이터 분석 기술은 기존 통계학과 전산학에서 사용되던 데이터 마이닝, 기계 학습, 자연어 처리, 패턴 인식 등의 기술에 기반하고 있음
- 최근 비정형 데이터의 증가로 인해 자연어 처리 기술 기반 텍스트 마이닝 및 긍정과 부정을 의미하는 특정 언어 처리 기술 기반 오피니언 마이닝 등이 있으며, 행위자 간 연결구조 분석에 기반한 소셜 네트워크 분석 그리고 유사한 특징을 가진 집단 도출을 위한 군집분석 등이 특히 주목 받고 있음
- 본 연구에서는 2가지로 빅데이터에 대한 접근, 연구를 진행하였음. 첫째, 자연어 처리를 위한 텍스트 마이닝 기술을 개발함. 이를 통하여 과거 집중호우에 의한 산사태 및 침수가 발생한 지역과 피해 현황을 정량화하여 분석하는 연구를 수행하였음
- 둘째, 데이터 마이닝 기술을 개발하고 적용하였음. 데이터 마이닝 기술 중 인공지능의 기반이 되는 기계학습(ANN: Artificial Neural Network, Decision Tree 및 Support Vector Machine 등)을 적용한 자연재해 취약성 평가를 수행하였음
- 본 연구는 빅데이터(텍스트 마이닝) 분석과 인공지능(데이터 마이닝)을 연계하여 수행한 것으로 자연재해 관련 과거 패턴은 텍스트 마이닝을, 공간적으로 예상되는 피해 분석은 데이터 마이닝을 활용하였음
- 이는 본 연구의 매우 중요한 특징으로, 문헌상의 기후재해의 발생 날짜, 동일 시간대의 강수량을 통한 임계치 분석과 피해 현황은 텍스트 마이닝을 통하여 구현하고, 공간적 피해(실질적 피해)는 데이터 마이닝을 통한 분석을 수행하는 것으로 기획 및 적용한 성공적 연구 임



<그림 12> 본 연구결과에 따른 주거시설 및 사회기반시설 실제 피해 예측 결과

○ 연구수행을 통하여 SCI(E) 논문 6건 게재, KCI 논문 5건 게재, 국내 특허 2건 출원의 연구성과 도출

구분(연도)	세부 연구 목표	연구 결과	연구 성과
1차 연도 (2016~2017)	기후재해의 과거, 현재의 유형별, 원인, 현황 및 임계치 분석을 위한 Big Data 중 Text Mining 기술 개발	- 기후재해의 효율적 분석을 위한 환경 공간정보와 Big Data 등 ICT(Information & Communication Technology) 기술 활용에 대한 Text Mining 적용 기술 개발(KCI 1편) - 본 연구를 통하여 Text Mining 기법을 “R” 로 프로그래밍을 수행하고, 타 기관 과제를 통하여 적용 Text Mining 에 적용 대상을 확대(KCI 1편) - 기후재해 과거, 현재의 원인과 현황 분석을 위한 2000년대의 집중호우에 의한 누적강우량 패턴 분석을 위한 인벤토리 구축	- <u>KCI 논문 2건 게재</u>
	공간 빅데이터 기반 기후재해 관련 항목별 시공간 상관관계 분석을 위한 기술 개발	- Data Mining 중 Random Forest와 Boosted Tree를 직접 프로그램으로 만들었으며(“R” 활용), 활용한 침수 취약성 분석(SCI(E) 1편) - 과거 기후재해(집중호우) 발생에 따른 패턴을 반영한 미래 기후변화에 의한 동일 침수 피해 발생 예측 프로그램 개발 및 특허 출원(국내 특허 1편 출원) - Spatial Big Data의 기본이 되는 시계열 위성영상 자동 기하보정 기술 개발(KCI 1편) - Data Mining 방법은 타 기관 연구를 통하여 시범 적용된 방법론을 본 연구에 적용 및 확대, 시계열 위성영상 자동 기하 보정 기술은 타 기관 연구를 통하여 시범적으로 개발된 방법을 본 연구를 통하여 Spatial Big Data을 위하여 전국 단위에 직접 적용	- <u>SCI(E) 논문 1건 게재</u> - <u>KCI 논문 2건 게재</u> - <u>국내 특허 1건 출원</u>
2차 연도 (2017~2018)	인공지능(Machine Learning-인공신경망)에 상관관계 분석결과 훈련	- 재해와 관련된 여러 공간정보 항목을 DB화하고 이에 대한 상관관계 및 가중치를 구하여 Data Mining 중 SVM(Support Vector Machine), ANN(Artificial Neural Network)을 활용한 취약성 분석(SCI(E) 2편) - 기후변화 및 자연재해 등에 활용되는 공간정보 패턴 분석 및 연구동향 분석을 위한 텍스트 마이닝을 적용하는 기술 개발(국내 특허 1편 출원)	- <u>SCI(E) 논문 2건 게재</u> - <u>국내 특허 1건 출원</u>
	미래 기후변화 시나리오에 적용, 미래 예측 정보 생성	- 과거 기후재해(집중호우) 발생에 따른 패턴을 반영한 미래 기후변화에 의한 동일 침수 피해 발생 예측 프로그램 개발(SCI(E) 1편)	- <u>SCI(E) 논문 1건 게재</u>
	사회기반시설 정량적 영향 분석	- 공간정보 기반의 사회기반시설물을 추출하고, 이를 본 연구성과와 연계하여 분석하는 방안을 연구한 환경관련 공간정보의 이해와 활용에 대한 연구(KCI 2편) - 1차 연도 연구개발을 통해 개발한	- <u>KCI 논문 1건 게재</u> - <u>SCI(E) 논문 2건 게재</u>

		Text Mining 기법을 이용하여 국내 공간정보 연구 동향 및 위성영상에 대한 동향 연구(SCI(E) 1편) - 위성영상에 대한 연구를 통하여 환경적 측면에서의 사회기반시설(대형구조물 및 사회기반시설 등)의 영향 분석을 위하여 방법론적 측면에서 심도있는 연구를 수행(SCI(E) 1편)	
--	--	--	--

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

- 빅데이터를 활용한 기후재해(가뭄, 폭설 및 집중호우) 원인과 현황 상관관계 분석, 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 기반 미래 기후재해 예측 및 사회기반시설 영향 분석 기법 개발을 목표로 1차년도 SCI(E)급 1편 및 국내 KCI급 3편의 논문 및 특허 출원 1건의 연구성과 도출, 2차년도 SCI(E)급 4편 및 국내 KCI급 2편 및 특허 출원 1건의 연구성과를 이룩
- 정량적 연구성과 목표 및 달성도

구분		목표	달성도(%)	비고
국외 논문 게재	SCI	2	300	
	비SCI	0	0	
	계	2	300	초과 달성(6편)
국내 논문 게재	SCI	0	0	
	비SCI	4	125	
	계	4	125	초과 달성(5편)
특허 출원	국내	1	200	
	국외	0	0	
	계	1	200	초과달성(2개)
특허 등록	국내	-		
	국외	-		
	계	-		
인력 양성	석사	-		
	박사	-		
	계	-		
기술 이전	계약 건수	-		
	계약액	-		
	징수액	-		
국제 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
국내 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			

구분		목표	달성도(%)	비고
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문			
	연구시설·장비			
	기술요약정보			
	생명자원	생명정보		
		생물자원		
		신품종		
	소프트웨어			
기타	화학물			
	시제품			
	성과 홍보			
	일자리 창출			

○ 성과 목표에 대한 자체 평가

성과 목표	자체 평가
- 국외 논문 게재 - 국내 논문 게재 - 특허 출원	- SCI급 1건을 성과목표로 제시하였으며, 최종적으로 6편을 게재하여 목표치 300% 초과 달성 - 국내 KCI급 논문 4편을 성과목표로 제시하였으며, 최종적으로 5편을 게재하여 목표치 125% 초과 달성 - 특허 출원 1건을 성과목표로 제시하였으며, 최종적으로 2건을 출원 및 2건 중 1건은 특허결정을 받는 등 목표치 200% 초과 달성

2. 관련 분야 기여도

○ 본 연구는 궁극적으로 최근 전 세계적 이슈가 되고 있는 기후변화 예측 기술 개발을 연구하여 기후난제를 해결하기 위한 창조적 모험을 수행하는 것이며, 신진연구자의 연구역량을 높이기 위한 것임.

- 또한, 파리 기후협약의 이행, 국토교통부 관련 SOC 관리 체계 강화 및 기후변화 적응 대책 수립과 이행의 체계적 정책도구로 활용 가능한 것으로 다음과 같은 기대효과를 도모(그림 9)

○ 기술적 측면

- 기후재해 피해 관리의 과학적 체계 마련

· 웹크롤러 및 웹로봇을 활용한 기후변화에 의한 피해 정보 수집, 수집자료 중 중점 자료 추출을 통한 기후재해 인벤토리 구축

· 본 인벤토리 구축을 통하여 기후재해의 전체 흐름과 경향을 분석할 수 있으며, 향후 발생하는 기후재해까지 일괄관치 체계 마련

· 기후재해 관련 Textminig 분석을 통한 경향성 및 추세의 기본 상관관계를 분석하여, 향후 기상예보 및 피해 예측 마련의 표준화된 기준 마련

- 빅데이터, 인공지능 등 최신 기술을 접목한 기후변화 피해 예측 및 사회기반시설의 영향을 과학적으로 분석하는 기술 개발

· 본 연구의 주요 방법인 기후변화에 따른 기후재해 발생 항목의 시공간 상관관계 분석, 기후재해 발생 원인·관련 항목에 대한 빅데이터 분석, 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 기반의 정보처리와 분석 및 예측기술 등의 기법은 ICT 기반대표적인 융합 기술로써 학제간 연계가 필수적인 기후변화 적응의 과학적 근거를 확장시키는 가교의 역할을 할 것임.

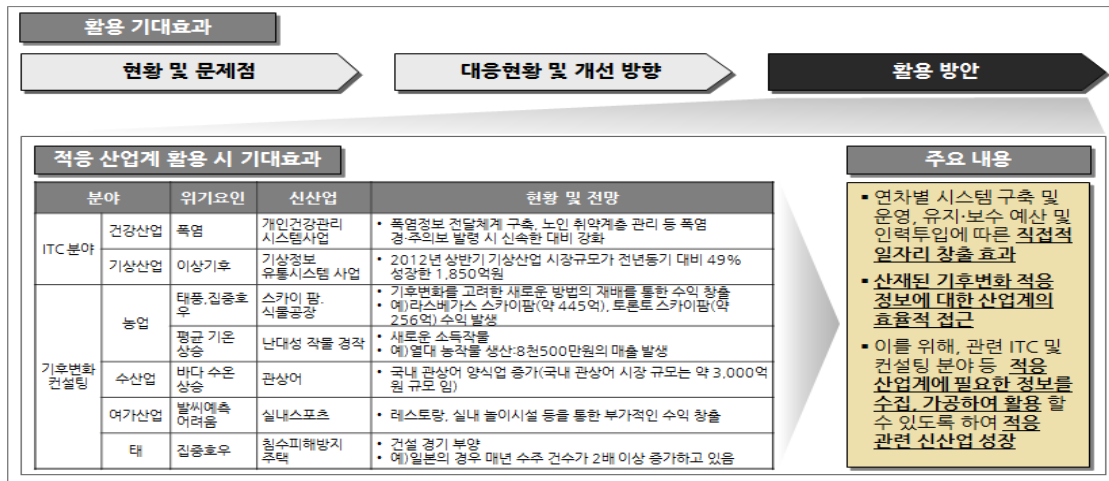
- 더불어, 본 연구는 방법론적 측면의 독창성 및 자료 활용의 측면에서 기술 개발, 기후변화라는 전 세계적 큰 흐름을 함께하고 있으며 국내적으로는 과학적·정량적 방법론 기반의 기후변화 연구에 기여.

○ 경제적·산업적 측면(그림 10)

- 중앙부처 및 지자체 등은 기후변화에 의한 경제적 피해 분석이 중요하며, 이를 이행하는 간접적 도구로

활용 가능

- 기후변화에 의한 경제적 피해를 추정하는 방법론을 보다 과학적, 정량적으로 개선하고 본 사용자(중앙 및 지자체 공무원 등)의 활용 편리성을 반영한 '미래 시점 및 위치별 피해 분석'을 구분하여 경제적 피해 분석을 수행하도록 지원
- 산업계 담당자의 경우 기후변화 관련 주요 업무를 직접 수행하여야 하지만 정보획득 및 의사결정 등에서 어려움을 호소하고 있으며, 직접적으로 기후변화 예측 정보를 바탕으로 현업에서의 작업공정 조정, 망고 등 농작물 생산 적지 분석, 자연재해 피해 컨설팅 및 보험업 등 신규 산업 육성에 활용



<그림 10. 산업계의 기후변화 예측 시스템의 활용방안>

○ 사회적 측면

- 미래 기후재해의 관리와 대응방안을 마련하는 실천적 방법과 도구가 될 것임.
- 본 연구를 통해 개발된 기술은 사회기반시설의 관리, 시설계획, 환경계획 등에 있어 계획기법으로 직접적으로 활용하며, 자연재해 대응을 위한 정책적 도구가 부족한 국내에서 대국민 '삶의 질'을 유지하는 중요한 기반 기술이 될 것임
- 더불어 정책과 계획이 실행되는데 적응의 편익을 산정할 수 있는 과학적 기술 방법론으로서 활용되어 질 수 있을 것임.
- 국가재난관리체계 강화와 기후변화 적응 중 기후재해 저감기술 개발과정과 효율적 적응 정책·세부시행계획 수립에 대한 이론적 토대 구축에 기여함.
- 개발된 기술을 토대 다양한 기후변화 적응 적정 기술을 개발에 응용이 되며, 기술개발에서의 협력 및 정보교환은 추후 연구주제로 확장되어질 수 있음.



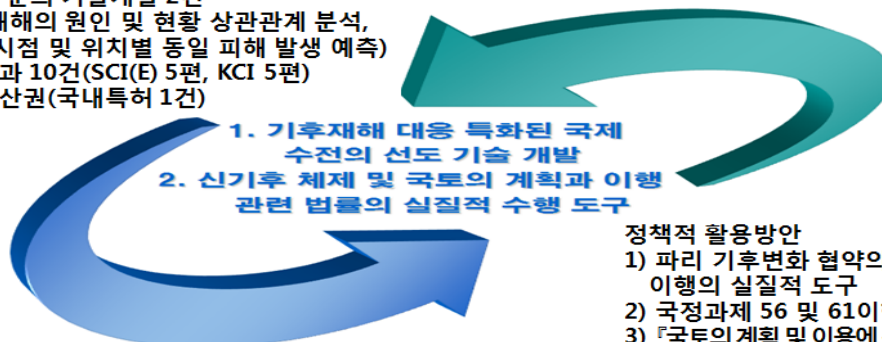
<그림 9. 관련분야 기여도>

제5장. 연구개발성과의 활용계획

- 본 연구는 신진연구자의 창의도전연구를 지원하기 위한 것이며, 이를 반영하여 활용방안 과학기술적 활용과 정책적 활용으로 구분. 이러한 구분은 본 연구를 통하여 도출한 연구 성과가 기술개발 2건, 학술성과 11건 및 산업 재산권(1건) 등으로 내용적, 질적으로 우수하기 때문임.
- 구체적인 연구 성과는 기술개발 1건(기후재해의 원인 및 현황 상관관계 분석 기술, 미래 시점 및 위치별 동일 피해 발생 예측 분석 기술 등), 2) 학술성과 11건(SCI 6편, 등재논문 5편) 이며, 3) 산업재산권 1건(국내특허 1건)임.
- 기술적 활용방안 : 효율적 기후재해에 대응을 위한 국토교통부 R&D를 통한 고유 기술의 개발, 활용
 - 본 연구는 현재 및 다가올 미래 사회의 주요 이슈가 되는 극단적 기후사상에 의한 기후변화와 기후 재해를 직접적으로 분석하는 과학적 연구이며, 이에 효과적으로 대응하기 위한 기술을 개발 함.
 - 본 연구에 의해서 개발 예정인 미래 기후재해(가뭄, 폭설, 집중호우) 피해 예측 기술은 기후변화에 의한 대표적 피해를 중심으로 진행(그림 11).
 - 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 및 빅데이터 분석 기술은 향후 시스템 구축 및 상용화가 가능한 것으로 기술특허를 1건 출원 예정.
 - 이러한 특허는 상용프로그램 제작 등에 활용 수 있기 때문에, 연구종료 후 산업체에 기술이전 등도 가능하며, 본 특허는 아직 개발되지 못한 고유 기술에 해당되는 것으로 기술이전을 통한 국내 산업의 경쟁력을 높일 것임.
 - 또한 국내외 유명 저널에 본 연구성과를 발표하고 등재하여 기술적, 학술적 우수성을 검증 받아, 연구 성과의 활용을 극대화 할 것임.
- 정책적 활용방안 : 신기후체제 실질적 이행 도구, 국정과제 및 국토교통부 정책 이행·수립에 활용
 - 본 연구성과를 활용하여 파리 기후변화 협약의 VIP 기초연설, 국무회의 지시사항의 실질적 이행 및 도교의정서 이후 신 기후체제의 조속한 안정을 위한 도구로 활용 가능
 - 現 정부 국정과제 56(통합적 재난관리체계 구축 및 현장 즉시대응 역량 강화), 국정과제 61(신기후 체제에 대한 견실한 이행체계 구축) 등 기후변화 적응(기후변화 감시·예측 능력 확보 및 이상기후 대응능력 강화)의 국정과제 지원 기술 개발에 직접적 활용이 가능
 - 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제20조제2항 및 제27조제3항에 따라 도시·군 기본계획을 수립·변경하거나 도시·군관리계획의 입안하는 경우 도시 기후변화에 따른 재해 취약성에 관한 분석에 직접적 활용 가능하며, 녹색성장기본법 제38조 및 동법 시행령 4항과 5항의 “국가 기후변화 적응 대책” 및 ‘15년부터 법정 의무계획인 “기초 지자체 기후변화적응 세부 시행계획 수립”에 직접적인 활용이 가능하도록 관계 부처 및 지자체의 대책 및 세부시행계획으로 반영하도록 노력할 것임.
 - 전술된 개발된 기술과 정책적 활용을 보다 강화하여 국토교통부 관련 SOC 관리 체계 강화에 직접적으로 활용하기 위한 정책적 적용 방안 위한 도구를 개발하여 제안할 것임

국제적 선도 개발기술 활용방안

- 1) 국제 수준의 기술개발 2건
(기후재해의 원인 및 현황 상관관계 분석, 미래 시점 및 위치별 동일 피해 발생 예측)
- 2) 학술성과 10건(SCI(E) 5편, KCI 5편)
- 3) 산업재산권(국내특허 1건)



정책적 활용방안

- 1) 파리 기후변화 협약의 VIP 기초 연설
이행의 실질적 도구
- 2) 국정과제 56 및 61이행 지원
- 3) 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』 제 20조
제2항 및 제27조제3항 수행의 직접적 도구
- 4) 사회기반시설에 대한 기후재해 피해
효율적 대응 도구

<그림 11. 연구개발성과 활용방안>

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

- 기후재해의 경우에는, 기존의사결정기법이나 확률모델을 이용한 매핑에 관한 연구가 진행되었고(Masood & Takeuchi, 2012; Wang et al., 2011), SVM(Support Vector Machine)과 같은 GIS모델을 활용하거나(Tehrany et al., 2015), FR(Frequency Ratio) 모델이나, WOE(weights-of-evidence) 모델을 분석에 적용한 연구도 진행(Rahmati et al., 2016).
- 또한 GIS 기법과 더불어 통계 모델도 통합적으로 적용하여 취약성 매핑을 한 선행 연구 사례가 있음(Blanco-Vogt & Schanze, 2014; Morelli et al., 2014).
- 특히, 기후재해 매핑에 있어서 많은 연구자들은 수문학적 모델링, 유압 모델링, 유체역학적 모델링 기법 등을 활용함(Chini et al., 2014; Grimaldi et al., 2013; Papaioannou et al., 2013). 도시지역에서의 상대적 위험을 지도에 나타내기 위해 수치표고모델(Digital Elevation Model, 이하 DEM)과 GIS를 사용하여 홍수 위험 모델링을 수행(Zerger, 2002). GIS 기법을 이용한 연구는 위험도 맵핑을 수행한 연구가 대다수이며, 통계학적 접근의 경우에는 데이터에 요구사항이 많고 샘플에 따라 결과가 크게 달라질 수 있다는 위험성이 존재.
- 이와 같은 연구와 더불어 최근 들어 각종 재해에 GIS를 적용하여 재해 시스템이 구축되고 있음. 하지만 일부 지역의 홍수위험지도 등이 각 지자체를 중심으로 구축되고 있으나, 대부분의 기타 지역에서는 수재해 관련 시스템이 구축되지 않고 있다. 또한 이렇게 구축되고 있는 시스템들에는 강우 데이터와 수리수문학적 모델링이 필요하므로 구축하는데 많은 시간과 경비가 소요되는 단점이 있다. 따라서 매년 주기적으로 발생하는 홍수 등의 기후재해에 신속한 후처리 방안으로 활용되기에는 어려움이 있음. 이처럼 일반적인 모델링 기법의 경우에는 모델이 상당히 복잡하고, 실제 데이터의 취득도 어려운 한계가 있음.
- 따라서 최근 들어 늘어나는 공간 데이터를 효과적으로 분석하여 의미 있는 결과를 도출시킬 수 있는 다양한 데이터마이닝 모델을 이용한 홍수취약성 분석 연구가 수행되고 있음. 그 중 랜덤 포레스트 및 부스티드 트리 모델을 활용한 연구가 최근 들어 수행되기 시작. 부스티드 트리 모델을 이용한 홍수 맵핑 연구의 경우에는 위성영상자료를 입력자료로 활용하였고(Coltin et al., 2016), 랜덤 포레스트 모델을 이용한 연구에서는 캐나다, 중국의 넓은 연구지역을 대상으로 수행된 바 있음(Albers et al., 2016; Wang et al., 2015)
- 또 다른 기후재해인 산사태와 관련된 기존의 연구는 계측기 등을 이용한 직접적인 예측 방법과 최근 들어서는 GIS 등의 기술을 통한 간접적인 방법으로 구분. 직접적인 방법의 경우 소규모 지역의 경우 높은 정확도의 데이터를 취득할 수 있으나 대규모 지역의 산사태의 경우에는 비용이 크고 효율이 떨어지는 단점. 반대로 간접적인 방법의 경우에는 정확도가 다소 떨어질 수 있으나 넓은 지역에서의 산사태를 효율적으로 예측 가능. 따라서 기존의 산사태 발생지역에 대한 데이터를 활용하여 간접적인 방법과 함께 적용하여 광범위한 지역에서의 산사태 취약성을 효율적으로 분석 가능.
- 간접적인 산사태 예측 방법은 빈도비(Frequency Ratio), 신경망(Neural Network), 로지스틱 회귀 모델(Logistic Regression Model) 등과 함께 GIS 기술 등을 이용한다. 이와 같은 방법은 산사태를 예측하는데 있어 지형도, 토양도, 임상도, 지질도, 위성영상, 기존 산사태 발생 위치 등의 정적자료를 요인으로 하여 제작되는 산사태 취약성도와 강우 또는 수문자료 등의 동적자료를 함께 이용하여 분석되는 산사태 발생가능성도 등이 있음. 최근에는 산사태 발생에 직접적인 영향을 미치는 동적자료를 활용한 산사태 분석이 주로 연구되고 있다. 이는 태풍 및 집중호우가 산사태의 직접적인 발생 원인임을 시사하고 있음.
- 외국의 경우에는 조건부 확률 모델, 확신도(Certainty Factor) 모델, 퍼지 집합모델 등을 이용하여 다양한 지역에 대한 객관적이고 정량적인 산사태 위험도를 작성하고자 하였다. 중첩분석의 경우 지질도, 지형도, 수치지형모델 등을 이용하여 GIS 중첩분석을 실시해 산사태 취약성도를 작성하였고(Baldelli et al., 1996), 침식율, 배수율, 구조, 사면경사, 토지이용 등을 이용하여 GIS 중첩방법을 이용해 지도를 제작하였다(Turrini & Visintainer, 1998). 경사방향과 고도, 토지이용, 토양배수 등의 요인을 로지스틱 회귀 분석 및 신경망, 엔트로피 지수(Index-of-entropy)를 이용한 산사태 위험도 작성 통한 모델링 구현으로 분석하는 연구도 진행된바 있음(Dai & Lee, 2002; Devkota et al., 2013).

-
- 휴리스틱 모델링, 결정론적 모델링 기법 등 모델링 기법을 이용한 산사태 매핑도 시도되고 있다(Dahal et al., 2008). 산사태 모델링 또한 홍수에서의 모델링과 마찬가지로 많은 입력데이터가 필요하여 데이터 구축이 실질적으로 어렵고 모델링 자체가 아주 복잡하다는 단점이 있음. 이에 따라 최근 산사태 취약성 분석 연구에도 데이터마이닝 모델을 이용한 연구가 진행되고 있다. 최근에 본 연구에서도 사용된 부스티드 트리 모델을 이집트 지역에 적용한 연구가 수행된 바 있는데, 다중해상 위성영상자료로부터 입력변수를 추출하여 연구가 진행됨(Youssef et al., 2011).
-

제7장. 연구개발성과의 보안등급

- 본 과제는 보안등급이 일반으로 되어있음
-

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

○ 해당사항 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 연구실 안전조치 이행계획은 연구기관에서 연구활동을 수행하는 학생 및 대학원생, 연구원 등의 연구 활동 종사자가 쾌적한 연구환경 속에서 연구활동종사자의 생명과 안전을 도모하고 질병을 예방하며, 연구실에서 발생하는 각종 사고에 적절히 대비하여 선진화된 연구환경을 조성하는데 그 목적이 있음.
- 이와 같은 목적을 달성하기 위하여 세 가지 핵심주제를 설정하였음.

1) 예방중심 안전활동, 2) 연구실 안전점검, 3) 연구환경관리 및 건강검진



<그림 12. 연구실 안전관리 이행계획>

- 21C 무한경쟁시대에서 과학기술은 국가경쟁력의 토대이며, 연구활동종사자는 국가 과학기술 발전의 중요한 원동력임. 국가의 근간이 되는 해당 연구원들을 보호하고, 보다 선진화된 연구환경을 조성하기 위하여,
 - 첫째, 예방중심의 안전활동을 추진: 연구실에서 발생될 수 있는 사고에 대한 예방을 최우선 목표로 설정하고, 지속적인 안전교육, 비상사태 대응훈련 등을 정기적으로 수행할 것임. 안전교육에 대한 기본 매뉴얼은 교육과학기술부에서 운영하는 연구실안전정보망을 기반으로 하며, 해당 프로그램에서 제공하는 e-러닝센터를 적극적으로 활용하여, 안전의식 고취, 일상점검의 생활화, 응급상황 대처 방안 등에 대한 교육을 지속적으로 수행할 것임. 또한, 화재 등의 비상사태에 대비 하여 관련기관의 협조를 통한 비상사태 대응 훈련 등을 정기적으로 실시할 것임.
 - 둘째, 정기적인 안전점검을 실시: 안전점검이라 함은 경험과 기술을 갖춘 전문가가 육안 또는 점검 기구 등에 의하여 검사를 실시함으로써 연구실에 내재되어 있는 위험요인을 조사하는 행위를 말함. 연구실 안전에 대한 정기점검은 연 1회 소속기관의 주관 하에 실시함. 정밀안전진단은 연구실에서 발생할 수 있는 재해를 예방하기 위하여 잠재적 위험성의 발견과 그 개선대책의 수립을 목적으로 실시하는 조사평가를 지칭하며, 이는 연구실의 환경변화에 능동적으로 대처하여 자체적으로 수행할 것임. 일상점검은 연구활동종사자가 매일 연구개발 활동을 하기 전에 연구개발 활동에 사용되는 기계·기구·전기 등의 연구기자재에 대한 이상 유무를 수시로 점검하는 것을 말함. 일상점검에 포함되는 적용범위는 연구실에 비치되어 있는 각종 연구 설비 및 장비를 대상으로 하며, 대상 목록을 작성하여 주기적으로 안전관리 상태 등을 확인할 것임.
 - 셋째, 연구환경의 개선, 연구원에 대한 정기적인 건강검진을 실시: 연구실에 존재하는 다양한 유해 요인으로부터 연구활동 종사자를 보호하는 것은 국가의 경쟁력과 미래 원동력을 강화하기 위해 반드시 수행되어야 하는 중요 임무임. 연구원의 건강보호를 위하여 연구실험실에 어떤 유해인자가 존재

-
- 하는지 파악하고, 우려되는 유해인자를 제거하거나 최소화 할 수 있도록 연구환경에 대한 지속적인 투자, 개선을 이행할 것임. 또한, 연구원에 대한 정기적인 건강검진을 통하여 소음이나 진동 등의 물리적 유해인자, 지속적인 컴퓨터 작업등을 통한 인간공학적 인자, 스트레스 등을 통한 정신사회적 인자 등으로 동반되는 신체적 정신적 질병으로부터 연구원들을 보호할 것임.
- 이와 같은 연구실 안전관리 이행계획은 연구실의 안전환경을 획기적으로 개선하여, 선진 연구 환경으로 도약하는 계기로 작용될 것임. 또한, 과학우수인력 및 장비의 손실을 줄이고 연구실에서 이루어지는 연구 성과의 제고를 가능케 할 것임.
-

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Spatial prediction of flood susceptibility using random-forest and boosted-tree models in Seoul	한국환경정책·평가연구원	교신	Geomatics, Natural Hazards and Risk	1.789	2017.03.08	단독	SCI(E)
2	논문	Data Mining Approaches for Landslide Susceptibility Mapping in Umyeonsan, Seoul, South Korea	한국환경정책·평가연구원	교신	Applied Sciences	1.704	2017.06.27	단독	SCI(E)
3	논문	환경공간정보 및 빅데이터 중 텍스트마이닝을 활용한 환경 연구 분석 시스템	한국환경정책·평가연구원	제1	국내특허	1.710	2017.01.02	단독	-
4	논문	Development of the Korean Climate Change Vulnerability Assessment Tool	한국환경정책·평가연구원	교신	Sustainability	1.679	2017.06.19	중복	SCI(E)
5	논문	Research Trend Analysis of Geospatial Information in South Korea Using Text	한국환경정책·평가연구원	교신	Journal of Sensors	1.679	2017.07.02	중복	SCI(E)

제11장. 기타 사항

- 2000년대 들어 자연재해는 단일 원인(집중호우 등)에 의한 발생이 복합적 자연재해(산사태 및 침수 등)로 발현하는 형상으로 진행되고 있으며, 대표적인 사례가 ‘2014년 8월 부산 집중호우로 인한 산사태 및 침수’, ‘2011년 7월 서울 우면산 산사태 및 강남역 침수’, ‘2017년 7월 청주 집중호우에 의한 침수’, ‘2016년 2월 및 2018년 1월 제주도 폭설로 인한 항공대란’ 임. 복합 자연재해의 직접적 원인이 되는 것은 집중호우, 폭설, 폭염 및 가뭄등과 같은 극단적 기후사상이며, 극단적 기후사상은 기후 변화 등에 의하여 급진적 및 급격히 증가할 것으로 전망됨
 - 현 자연재해의 발생의 기초가 과거의 단일 원인 단일 피해에서 복합적 피해로 변경되고 있는 상황에서 국내외적으로 복합자연재해 발생원인, 피해현황 및 유사 피해의 장·단기 시공간 예측 기법이 부족함
 - 본 연구를 통하여 기술 개발한 빅데이터를 활용한 기후재해(가뭄, 폭설 및 집중호우) 원인과 현황 상관관계 분석, 인공지능(Machine Learning-인공신경망) 기반 미래 기후재해 예측 기법을 활용하여 복합자연재해에 대한 장·단기 시계열 피해 예측이 가능할 것으로 사료됨
 - 특히, 기술적으로 본 연구를 통하여 개발한 인공지능(Machine Learning 및 Data Mining) 및 빅데이터 분석(Text Mining) 기법을 활용한 기후재해 관련 추가 응용연구가 필요할 것으로 사료됨
-

- 국가과학기술심의회(2014), 「재난 대응 과학기술 역할 강화 3개년 실천전략(안)」, 관계부처 합동.
- 국가과학기술심의회 다부처공동기술협력특별위원회(2015), 「재난과학기술 개발 10개년 로드맵(안)」, 관계부처 합동.
- 국가과학기술심의회 미래성장동력특별위원회(2015), 「미래성장동력 종합실천계획(안)」, 관계부처 합동.
- 국정기획자문위원회(2017), 「문재인정부 국정운영 5개년 계획」.
- 기상청(2013), 「기상기술정책(빅데이터 활용 기상융합서비스)」.
- 산업통상자원부 부도자료(2014.7.17), "6개 에너지 신시장 창출로 2017년까지 1만개 이상 일자리 창출"

- Albers, S. J., Déry, S. J., and Petticrew, E. L.(2016), Flooding in the Nechako River Basin of Canada: A random forest modeling approach to flood analysis in a regulated reservoir system. Canadian Water Resources Journal/Revue canadienne des ressources hydriques, 41(1-2), 250-260.
- Baldelli, P., Aleotti, P., and Polloni, G.(1996), Landslide susceptibility numerical mapping at the Messina Straits crossing site, Italy. Paper presented at the Proceedings of the VIth ISL, Trondheim, Norway.
- Blanco-Vogt, A., and Schanze, J.(2014), Assessment of the physical flood susceptibility of buildings on a large scale-conceptual and methodological frameworks. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14(8), 2105-2117.
- Chini, M. et al.,(2014), Flood hazard mapping combining high resolution multi-temporal SAR data and coarse resolution global hydrodynamic modelling. Paper presented at the 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Coltin, B. et al.,(2016), Automatic boosted flood mapping from satellite data. International Journal of Remote Sensing, 37(5), 993-1015.
- Dahal, R. K. et al.,(2008), Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. Geomorphology, 102(3), 496-510.
- Dai, F., and Lee, C.(2002), Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. Geomorphology, 42(3), 213-228.
- Devkota, K. C. et al.,(2013), Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya. Natural hazards, 65(1), 135-165.
- European Commission, A European research and innovation Roadmap for Climate Services(2015), European Commission Publication.
- Grimaldi, S. et al.,(2013), Flood mapping in ungauged basins using fully continuous hydrologic-hydraulic modeling. Journal of Hydrology, 487, 39-47.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(2014), Fifth Assessment Report: Climate Change 2014 -impacts, adaptation and vulnerability, Cambridge University Press.
- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(2012), SREX(Special Report Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation) Report, Cambridge University Press.
- Masood, M., and Takeuchi, K.(2012). Assessment of flood hazard, vulnerability and risk of

-
- mid-eastern Dhaka using DEM and 1D hydrodynamic model. *Natural hazards*, 61(2), 757–770.
- Morelli, S., Battistini, A., and Catani, F.(2014), Rapid assessment of flood susceptibility in urbanized rivers using digital terrain data: Application to the Arno river case study (Firenze, northern Italy). *Applied Geography*, 54, 35–53.
 - Munich 2011, Munich Re Group Annual Report, Münchener Rückversicherungs.
 - Papaioannou, G., Loukas, A., and Georgiadis, C. 2013. The effect of riverine terrain spatial resolution on flood modeling and mapping. Paper presented at the First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment.
 - Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., and Zeinivand, H.(2016), Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42–70.
 - Tehrany, M. S. et al.,(2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125, 91–101.
 - United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR)(2011), Global assessment report on disaster risk reduction, United Nations Publication.
 - Wang, Y., Li, Z., Tang, Z., and Zeng, G.(2011), A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water resources management*, 25(13), 3465–3484.
 - Wang, Z. et al.,(2015), Flood hazard risk assessment model based on random forest. *Journal of Hydrology*, 527, 1130–1141.
 - Youssef, A. M., Pradhan, B., and Hassan, A. M.(2011), Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(3), 611–623.
 - Zerger, A.(2002), Examining GIS decision utility for natural hazard risk modelling. *Environmental Modelling & Software*, 17(3), 287–294.
-

9. 뒷면지

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.