

03

초융합 건설 포렌식 연구센터: 3그룹 및 첨단수자원공학 연구실 소개



장혜운
고려대학교
건축사회환경공학부
/ 석사과정
jhu1433@korea.ac.kr



전상훈
고려대학교
초융합건설포렌식연구센터
/ 박사후연구원
sanghoonjun1028@gmail.com



정동휘
고려대학교
건축사회환경공학부
/ 부교수
sunnyjung625@korea.ac.kr

1. 서론

2023년 7월 발생한 청주 오송 지하차도 침수의 경우, 폭우로 인해 물을 가두어 두던 독이 붕괴하며 지하차도에 물이 급속히 쏟아지며 발생하였다. 이로 인해 길이 430m인 지하차도 터널은 약 2분 만에 강물로 가득 차게 되었으며, 터널 내부로 통제 없이 이동 중이던 차량들이 빠져나오지 못하고 14명이 사망하는 인명피해가 발생한 사건이다¹⁾. 홍수 및 태풍과 같은 수재해는 발생의 시점과 규모를 정확히 예측하기 어려워 사고는 지속적으로 발생한다. 이로 인한 피해는 인명과 재산뿐만 아니라 경제적, 사회적 측면 모두에서 영향을 미치며 재건과 복구에도 상당한 시간 및 비용이 소요된다. 특히 최근 기후 변화로 인한 복합 재난의 발생 빈도가 증가하고, 인구가 과밀집되며 피해의 규모 역시 대규모로 변했다. 기존 사고 대응 체계의 경우 물 인프라 내 개별적인 사고 분석 및 대응을 중심으로 구축되었으나 다양한 재해 요소들이 동시에 발생하거나 연이어 발생해 피해 규모가 더욱 확장되는 추세이며, 수많은 자원과 종합적인 대응이 필요하다. 예를 들어, 지진과 폭우가 동시에 발생하여 하천이 범람하게 되면, 하천의 수질 오염과 함께 상하수도시스템이 마비될 수 있으며, 이는 수자원 시스템의 취약성을 증가시킨다. 따라서, 보다 체계적이고 효율적인 분석 및 대응 과정의 필요성이 대두된다.

초융합 건설 포렌식 연구센터에서는 이러한 인프라 시설의 위험 예측, 재난 대응, 재발 방지를 위한 재해 대책 및 보강 기술, 나아가 성능 향상 기술까지 포함하는 ‘건설 포렌식’ 기술을 개발한다. 이를 기반으로 건축물

1) <https://www.bbc.com/korean/news-66224398>

의 상/하부 및 물환경 인프라 전체를 통합하여 복합 재난에 대해 적극적으로 대응할 인프라 구축을 목표로 한다. 본 기사에서는 그중에서도 물환경 인프라 분야를 담당하고 있는 3그룹에서 진행하는 전반적인 연구 내용을 포함한다. 이에 더해 f-WEC 분야 연구를 진행하는 정동휘 교수의 첨단수자원공학 연구실에서의 연구 내용을 소개하고자 한다.

2. 초융합 건설 포렌식 연구센터 3그룹 연구 내용

초융합 건설 포렌식 연구센터의 3그룹은 “물인프라 통합 포렌식 및 첨단 넥서스 구축 기술 개발”을 목표로 한다. 연구진은 고려대 유철상 교수, 홍승관 교수, 조훈희 교수, 정동휘 교수로 구성되어있다. 각 세부는 서로 간의 상호 연관성을 바탕으로 긴밀한 협업을 통해 체계적인 공동 연

구를 수행하고 있다. 3그룹의 전체 연구 모식도는 아래의 그림 1과 같다.

f-ROV의 경우 “비접촉식 구조물 3D 스캐닝 기반의 첨단 수처리 기술 개발”을 목표로 한다. 이는 정수 및 하수처리장에서의 수질 모니터링에 기반한 비접촉 포렌식 기술로, 재해 위험성을 최소화하며 수질 안정성을 확보하는 데 초점을 맞추고 있다. 본 세부에서는 이를 위해 첨단 소형 Remotely Operated Vehicle(ROV)을 활용하여 수중 환경을 모니터링한다. 어떠한 제약 없이 실시간으로 영상을 확인할 수 있기 때문에 다양한 문제 상황을 신속하게 진단할 수 있다. 추가적으로, 수중 드론 기반의 수질 및 오염물 측정을 통해 물인프라 내의 수질 사고의 원인조사 및 분석을 실시한다. 분석을 통해 수집한 데이터를 바탕으로 빅데이터 플랫폼을 구축하고 이를 AI 기반 운영 프로그램과 연계한 기술의 고도화를 수행하고 있다. 나아가 저탄소, 저에너지 수처리 시스템

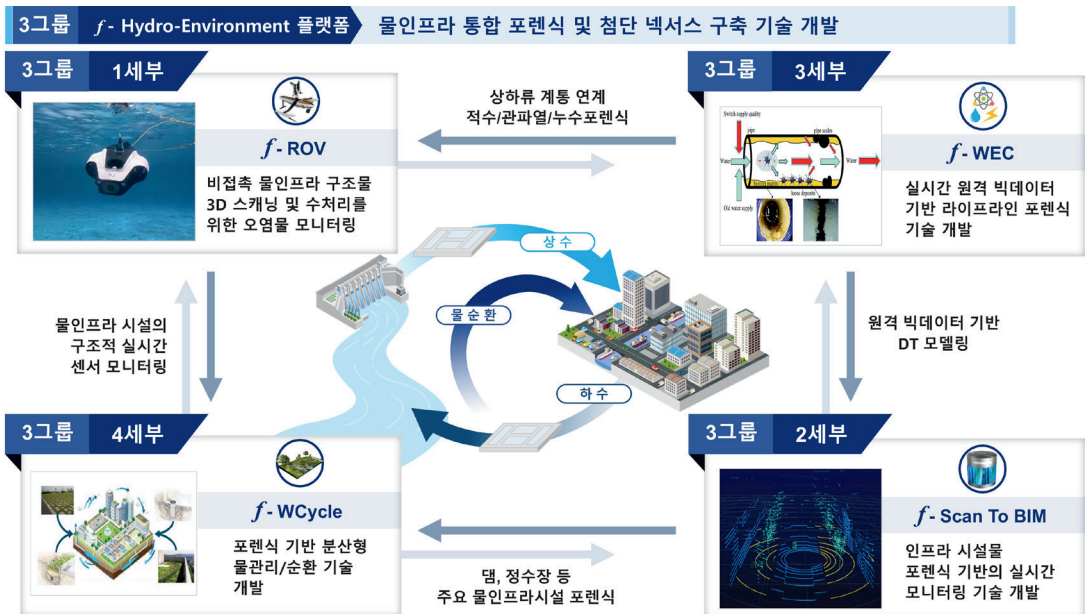


그림 1. 물인프라 통합 포렌식 및 첨단 넥서스 구축 기술 개발 모식도

을 개발하여 지속가능한 물인프라를 구축하고자 한다.

f-Scan To BIM의 경우 “물인프라 시설물 포렌식 기술 기반의 실시간 모니터링 기술 구축”을 목표로 한다. 3차원 LiDAR(Light Detection and Ranging) 센서 기술을 활용하여 시설물에 직접 접촉하지 않고도 물체까지의 거리, 방향, 온도 등의 정보를 수집한다. 이를 기반으로한 물인프라 시설물의 3차원 모델링을 통해 고품질의 공간 정보를 저장한 데이터베이스를 구축하고 시설물을 디지털화하여 정밀한 안전 진단과 재해 발생 시 사후 분석을 진행한다. 더 나아가, 빅데이터와 AI 기술을 연계운영하여 노후 시설물의 도면 역설계의 효율을 향상하고, 지속적인 데이터 실측 및 분석을 통해 재난 발생 전에 징후를 포착할 수 있다. 이를 통해 재난 발생 예측이 가능하게 되며, 즉각적인 대응과 사전 감지로 인해 피해 복구 및 보상 비용을 최소화하고자 한다.

f-WEC의 경우 “실시간 원격 빅데이터 기반의 라이프라인 포렌식 기술 개발”을 목표로 한다. 상수도관망은 수질적으로 안전하고 수리적으로 안정적인 용수를 가정 및 공장과 같은 수용가에 공급하는 인프라 시설이다. 물의 공급은 사용자들의 생활과 직접적인 연관성이 있어 다양함 비정상 상황(예, 관 파열, 수질사고)에 대한 포렌식 기술 기반의 신속한 탐지가 필요하다. 이를 위해 본 세부에서는 빅데이터 및 머신러닝 등 첨단 기술 기반의 디지털 트윈 모델링을 수행한다. 정형 및 비정형 데이터의 분석을 통해 복합재난 상황을 예측하고 사전 대응을 가능하게 하여 재난 상황을 선제적으로 예방하고 적절한 해결책을 제시한다. 더 나아가, 물 에너지 간의 상호 연관성을 고려한 물-에너지-탄소 넥서스를 구축하고, 각 요소 사이 상호 연관성을 분석하여 온실가스 배출 감축의

측면에서도 통합적인 관리를 수행하고자 한다.

f-WCycle의 경우 “포렌식 기반 분산형 물관리/물순환 기술 개발”을 목표로 한다. 물은 인프라의 기초로 안정적으로 공급해야 하나 노후화된 수자원 인프라, 기후 변화, 인구 증가 및 도시화로 인해 문제가 발생할 수 있다. 이를 방지하고자 포렌식 기술 기반의 분산형 수자원 확보 시스템을 구축한다. 해당 시스템은 디지털 데이터를 수집하고 조사 및 분석을 수행하여 댐의 수자원 확보 능력 및 가뭄 저항력을 평가하며 이를 기반으로 목표 수자원 정량화 및 대체 수자원의 규모와 종류를 제시한다. 더 나아가 도시 물순환 악화 요인을 분석 및 평가하고 원인 규명을 가능하게 하는 포렌식 기반 물순환 기술 개발을 통해 지속가능한 물 인프라 시스템을 구축하고자 한다.

3. 첨단수자원공학 연구실 소개

정동휘 교수는 2020년 3월 고려대학교 건축사회환경공학부에 부임하여 첨단수자원공학 연구실을 이끌고 있다. 첨단수자원공학연구실은 각종 수자원 인프라(상하수도관망, 하천망 등)의 첨단기술 및 첨단계측기 데이터 적용에 대한 연구를 수행하고 있다. 주요 연구분야는 초지능 하이브리드 상수도관망 시스템, 복합재난 대응을 위한 수자원 인프라 포렌식 기술, 비정형 데이터를 이용한 도시 침수 분석 및 대응 기법의 세 가지이다.

스마트미터는 개별 가구 수요량을 실시간 및 원격으로 계측하므로 고시간 해상도의 데이터를 수집할 수 있다. 이러한 스마트미터 데이터를 분석하여 수용가의 물 사용 패턴을 확인할 수 있어 데이터 분석을 통해 상수도관망의 설계 및 운영, 관리 효율성을 증대할 수 있다. 본 연구실에서는 최근 활용되고 있는 딥러닝(Deep Learning) 모델

초지능 하이브리드 상수도관망 시스템	복합재난 대응을 위한 수자원 인프라 포렌식 기술	비정형 데이터를 이용한 도시 침수 분석 및 대응 기법
<ul style="list-style-type: none"> 스마트미터 데이터 기반 관파열 탐지, 위치 인지기법 개발 관망특성과 관파열 특성에 따른 탐지효율 연구 압력경사 히트맵 기반 상수도관망 실시간 모니터링 기술 구축 적대적 학습 기반 오토인코더(ATAE)를 이용한 다차원 상수도관망 데이터 생성 	<ul style="list-style-type: none"> 토목/건설분야 사고원인 조사, 재현 등을 위한 최신 머신러닝 기법 조사 미래 불확실성에 의한 영향을 최소화한 수자원 인프라 시나리오 플래닝 기법 개발 침수/유출량 예측을 위한 시공간 Neural Network 모델 개발 딥러닝 모델 강건성 확보 및 Cyber-Attack 대응 방법론 개발 	<ul style="list-style-type: none"> 홍수 관리 분야 컴퓨터비전 기술 동향 조사 Optical Flow를 이용한 제외지/제내지 내 홍수/침수 분석 및 실시간 대응 활용기법 구축 SNS 자료 및 현장 CCTV 융합데이터 기반 도시 침수심과 침수범위 산정을 통한 실시간 대응 활용기법 구축 상하류 연결성을 지닌 수자원 네트워크의 시공간적 추정: 시간과 공간 추정 우선순위에 따른 정확도 분석

그림 2. 첨단수자원공학연구실 연구내용

기반 기법을 이용하여 스마트미터 기반 데이터 프로파일링을 진행한다. 상수도관망 내 비정상사고 분류 및 판단 CNN 모델을 개발하고, 압력경사 히트맵 기반 분석 방법론 구축, Autoencoder 기반 다차원 데이터를 생성하는 등 스마트미터 데이터의 실시간 모니터링과 관망의 각종 비정상사고의 최적 대응을 가능하게 한다.

복합 재난의 적합한 대응을 위해 수자원 인프라 내 사고, 조사, 분석, 대응을 통합하는 포렌식 기술을 구축한다. 이를 위해 본 연구실에서는 토목/건설분야의 사고원인 조사 및 재현을 위한 최신 머신러닝 기법을 조사하고, 미래 불확실성의 영향을 최소화하기 위한 수자원 인프라의 시나리오 플래닝 기법을 구축하며, 시공간 Neural Network 기반의 침수 및 유출량을 예측하는 모델을 개발한다. 나아가 Cyber-Attack에 대응할 수 있는 강건성을 확보한 딥러닝 모델을 구축하고자 한다.

Computer Vision이란 이미지 및 영상 데이터에서 유의미한 정보를 도출해 내는 기술이다. 최근 CCTV의 설치가 증가하며, 재난 현장에 대해 밀도가 높은 데이터를 얻을 수 있게 되었다. 이러한 CCTV로부터 수집되는 영상을 실시간으로 분석하여 최근 빈번히 발생하는 도시 침수에 대응할 수 있는 방법론을 구축하고자 한다. 기존 Computer Vision 기술의 자연 하천 및 도심지

에서 수행된 선형 연구를 비교 분석하고, 체계적으로 정리하여 공통된 특성을 도출해 낸다. 이를 바탕으로 이전 연구의 한계점을 개선하여 도시 침수에 신속하고 적절하게 대응할 수 있는 AI 기반 CCTV 영상 분석 기술을 개발하고자 한다. 본 연구실에서는 기존 홍수 관리 분야의 Computer Vision 기술 동향 조사를 진행하고, Optical Flow 기술 기반의 제외지/제내지의 홍수/침수 분석 및 비정형 데이터인 SNS 자료, 현장 CCTV를 기반으로 도심지 내 침수심 및 침수범위를 산정을 목표로 하여 연구를 진행한다. 이에 더해 상하류 연결성을 지닌 수자원 네트워크의 특성을 고려하여 시공간적 추정까지 진행하고자 한다.

4. 결론 및 기대효과

초융합 건설 포렌식 연구센터의 3그룹에서는 물환경 인프라에 대한 포렌식 기술 개발을 통해 복합재난에 대한 종합적인 대응이 가능한 건설 포렌식 플랫폼 구축에 기여하고자 한다. 이를 위해 4차 산업기술을 융합한 혁신적인 기술을 개발하고 물인프라 통합 포렌식 및 첨단 빅서스 구축 기술 개발을 목표로 한다. 이를 통해 물인프라에서의 사고에 대한 통합적인 포렌식 플랫폼 구축이 가능할 것이며 한국판 그린뉴딜 사업 및 탄소중립

+
특집 | 초융합 건설 포렌식 연구센터: 3그룹 및 첨단수자원공학 연구실 소개

을 위한 로드맵 구축과 정책판단에 활용될 수 있기를 기대한다.

이에 더해 정동휘 교수의 첨단기술 및 첨단계층 데이터 기반의 수자원인프라 연구를 통해 비정상사고에 대한 신속하고 정확한 탐지 및 적극적인 대응을 가능하게 한다. 나아가 정형 및 비정형 데이터를 모두 통합하여 활용할 수 있는 방법론을 구축함으로써, 더욱 간편하고 합리적인 복합재난 대응을 위해 활용될 수 있을 것이다.

사사

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2021R1A5A1032433).