

그림 9. 사면댐 사면보강 기본계획(안)



4. 맺음말

K-water는 본격 공사단계에 접어든 1단계 댐 안전성 강화사업을 '24년까지 차질없이 완료할 계획이며, 2단계 사업인 다목적 댐의 안전성 강화사업도 주무부서인 환경부와 긴밀히 협의하며 2019년까지 마스터플랜을 수립하고 사업계획 적성성 평가, 기본계획 변경 등 후속 절차를 차질없이 진행할 계획이다.

최고 수준의 댐 기술을 보유한 미국도 지난 2017년 오로빌 댐 사고와 같은 재난상황에 크나큰 곤혹을 치렀다. 댐 안전성 강화사업은 이 같은 재난을 미연에 방지할 수 있는 좋은 해결책이 될 것이며, 선제적인 노후 시설물의 성능개선을 통해 국민 물 복지와 물 안심 서비스 제공의 튼튼한 초석이 될 것이다.

# 차세대 지능형 댐 안전관리 플랫폼을 향하여



박동순 책임연구원 K-water 연구원

## 1. 서론

최근 우리나라는 인프라 노후화 및 기후변화가 동인인 안전사고 발생으로 인프라 안전 관리에 대한 국민적인 관심이 부상하였다. 예를 들어 '18.12.4 고양시 백석역 지하철 운수 배관 파열, '18.12.8 강릉 KTX 열차 탈선사고, '19.5.30, 인천 붉은 수돗물 사고 등은 사회적으로 인프라 안전에 대한 큰 파장을 일으켰다. 대규모 방재시설 중 하나인 대댐의 경우도 예외가 아닌데, 최근 노후화, 기후변화로 인한 대형 댐 사고가 급증하고 있다. 이를테면, '17.02 미국 오로빌댐 여수로 파손, '18.07 라오스 세피안-세남노이 부댐 붕괴, '19.01 브라질 테일링댐 붕괴사고는 지역과 사회에 막대한 피해를 일으킨 바 있다.

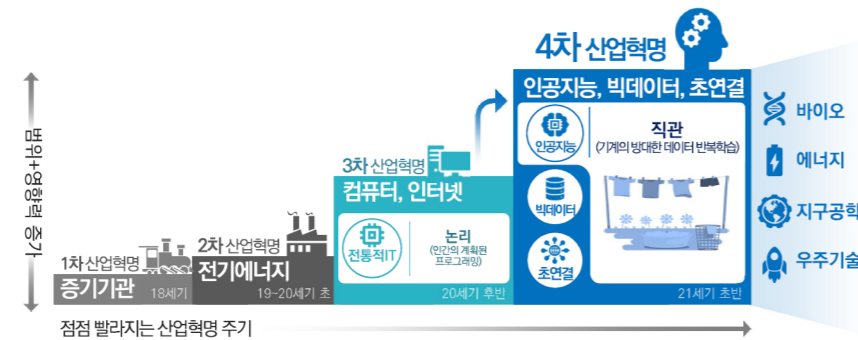
인프라 안전관리에 대한 정부 정책의 최우선화 역시 중요한 기초 변화라 할 수 있다. 환경부는 물 관리업무 일원화 100일, 지속가능한 물 관리를 향한 첫걸음(2018.09.18.)에서 댐 정책 패러다임을 '건설'에서 '관리'로 전환하고 효율적 유지관리에 정책을 집중하겠다고 발표하였다. 최근 공공기관 경영평가의 핵심 항목으로 '안전'과 '사회적 가치'가 부상하는 추세인데, 이 역시 물 인프라 안전관리의 중요성을 대변해 준다.

최근 4차 산업혁명 기술(그림 1)의 국가 중심 정책화 경향이 가속되고 있으며, 우리 대 댐 역시 상위 기술 개발이 시급한 실정이다. 국토교통부(2018.10), 스마트 건설기술 로드맵에 따르면, 2030년까지 우리나라 국가 인프라 관리는 로봇틱 드론 점검 및 디지털 트윈 기반 유지관리로 나아간다고 천명하였다. 또한 노후 인프라의 효율적 유지관리를 위해 기반시설관리법이 시행(20.01.01) 예정이므로 이에 대한 준비가 필요한 상황이다. 최근 정부는 지속가능한 기반시설 안전강화 종합대책을 발표(19.6.28, 국토부)하였는데, 주요 골자는 2023년까지 노후 기반시설 안전 강화에 32조원을 투자하고, 스마트 유지관리체계 구축을 추진한다는 내용이다.

따라서 댐 안전 관리 상위 기술 개발은 시급한 시대적 여건이 되었다. 이에 4차 산업혁

명 기술을 접목한 실행력 높은 댐 안전관리 기술을 개발하는 것은 시대적으로 매우 중요한 의미를 갖는다 하겠다. 따라서 본 고에서는 현재 K-water에서 기초적인 개념 정립 및 개발을 추진하고 있는 차세대 지능형 댐 안전관리 플랫폼에 대한 기획 단계 아이디어와 연구 내용, 그리고 접목 가능한 최신 기술들에 대한 동향을 살펴보고자 한다. 그래서 한국 대담회의 회원들에게 유익한 정보를 제공하고, 차세대 댐 기술에 대한 전략 수립에 기여하고자 한다.

그림 1. 지능화 혁명으로 대변되는 4차 산업혁명 (4차산업혁명위원회, 2019)



## 2. 4차산업 정책동향

댐과 같은 물 인프라의 미래 혁신기술 접목을 위해서는 최근 이루어지고 있는 4차산업혁명 기술과 정책 동향에 대한 이해가 선행되어야 한다.

모든 것이 급변하는 4차 산업혁명 시대에 대응하기 위해 정부는 대통령 직속의 4차 산업혁명위원회를 통하여 범 부처의 대응계획을 수립하고 있다. 4차산업혁명위원회는 이러한 대응 정책을 '1-KOREA 4.0'으로 브랜드화하였다. 전 산업의 디지털화(Digital Transformation), 산업간 경계의 붕괴 가속화와 함께, 지능형 자동화로 전 산업의 생산성이 제고되는 시대가 도래하고 있다.

2018년 10월, 국토 인프라를 관장하는 국토교통부에서는 건설 생산성 혁신과 안전성 강화를 위해 스마트 건설기술 로드맵을 발표하였다. 이 로드맵에는 국가 인프라의 설계, 시공, 유지관리 각 분야에 있어 2025년과 2030년까지의 단계별 비전과 전략을 포함하고 있기 때문에, 물 인프라의 안전관리에 4차 산업혁명 요소 기술들을 어떻게 접목해 볼 수 있을지에 대한 중요한 청사진을 제공한다(표 1).

사실 건설 분야는 전체 산업 중 디지털화 수준과 생산성 증가율이 가장 낮은 수준이므로 디지털화에 따른 높은 성장 가능성을 보인다. 이러한 배경을 바탕으로 스마트 건설기술에 대한 로드맵을 정부는 수립하였는데, 여기서 스마트 건설기술이란 전통 건설기술에 4차 산업혁명 첨단기술(Drone, Robot, Big Data, IoT 등)을 융합한 것이다. 유지관리 분야에 있어 스마트 기술을 통해 시설물 정보를 실시간으로 수집하고 이를 객관적, 과학적으로 분석할 수 있다.

스마트 건설기술 로드맵에서 유지관리 단계 전략은 시설물 점검·진단과 시설물 관리 정보시스템으로 나누어 볼 수 있다. 우선 시설물 점검·진단 분야에서의 변화는 그림 2와

표 1. 스마트 건설기술 발전 목표 (점검·진단 및 유지관리 분야) (국토교통부 2018)

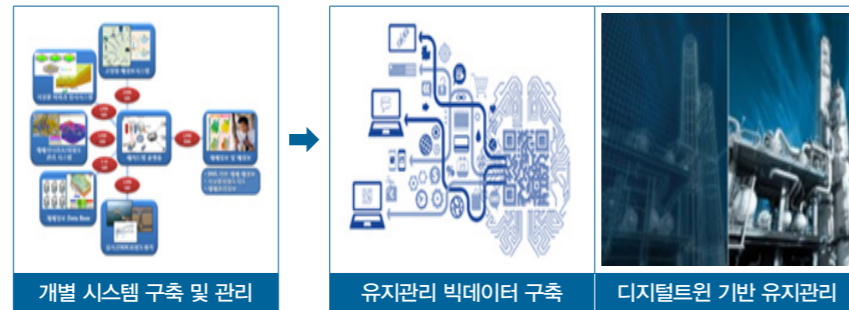
중점분야	핵심기술	추진 목표			
		현재	2020	2025	2030
시설물 점검·진단 자동화	IoT 센서 기반 시설물 모니터링	단일 센서를 활용한 단순 정보 수집	지능형(상황감지) IoT 정보수집	대규모·대용량 IoT 정보수집·분석	초연결형 IoT 정보수집·분석
	드론·로봇 기반 시설물 진단	인력 기반의 시설물 점검 (드론 일부 활용)	다중 드론을 활용한 대형 시설물의 신속한 점검	다기능 드론 및 로봇을 활용한 시설물 상태 진단	로보틱드론을 활용한 시설물 자율 점검 및 진단
디지털 트윈 기반 유지관리	시설물 정보 통합 및 표준화	개별 정보시스템 및 DB 구축	시설물 정보 표준화 및 통합 관리 시스템	건설 순단계 개방형 통합 DB 및 빅데이터 구축	디지털트윈 기반 스마트 시설물 유지관리
	AI 기반 최적 유지관리	육안점검 및 단순 계측 정보 기반 유지관리 의사결정	데이터 기반 의사결정 지원 시스템	빅데이터·AI 기반 예측형 유지관리	

그림 2. 시설물 점검·진단 기술의 현재와 미래 (국토교통부 2018)



시설물 관리 정보시스템 기술의 변화는 그림 3과 같다. 현재는 시설물과 관리주체별 기능이 제한적인 유지관리시스템을 운영하고 있기 때문에 안전점검 진단결과와 유지관리 이력 저장 등의 제한적인 용도로 시스템을 사용하고 있다. 하지만 미래에는 다양한 시설물 정보를 수집하여 빅데이터를 축적하고, 3차원 모델을 활용해 시설물 유지관리 활동을 최적화시킬 수 있다. 이를 통해 빅데이터 기반의 다양한 시뮬레이션이 가능해지면서 시설물의 영향을 사전에 파악하고 예방적 유지관리를 할 수 있고, 이에 따른 비용절감, 시설수명 연장, 시설물 단위의 디지털 트윈이 모여 가상도시·국토로 시스템을 확장할 수 있다.

그림 3. 시설물 관리 정보시스템 기술의 현재와 미래 (국토교통부 2018)

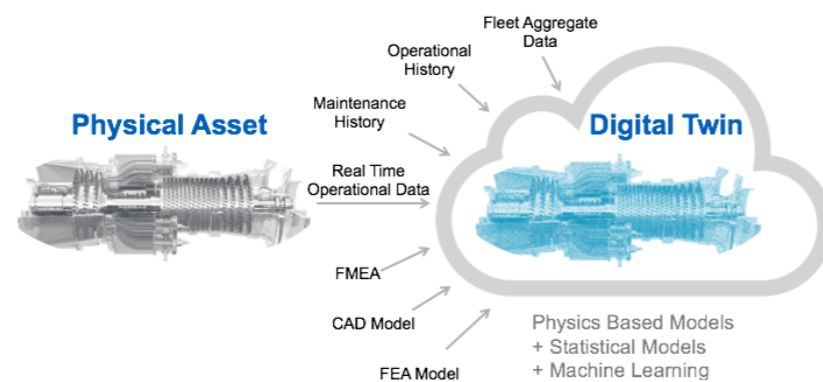


### 3. 디지털 트윈 기반 인프라 관리 기술

국토교통부의 스마트 건설기술 로드맵(2018)에서 2030년에 궁극적으로 실현하고자 하는 유지관리 분야의 비전은 한마디로 디지털 트윈 기반의 유지관리를 구현하는 것이다. 디지털 트윈의 기본 개념은 형상의 트윈화(Geometry Twin)와 정보의 트윈화(Data Twin), 그리고 정보의 모델링(Information Modeling)에 있다. Digital Twin (디지털 트윈)은 물리적인 사물과 컴퓨터에 동일하게 표현되는 가상 모델을 의미한다(그림 4). 실제 물리적인 자산 대신 소프트웨어로 가상화한 자산의 디지털 트윈을 만들어 모의실험(시뮬레이션)함으로써 실제 자산의 특성(현재 상태, 생산성, 동작 시나리오, 등)에 대한 정확한 정보를 얻을 수 있다 (시사상식사전, IT 용어사전).

Digital Twin을 구현하기 위한 요소기술에는 현장의 실제 구조물, 공간, 환경 등을 3D 모델링을 통해 가급적 정확하게 구현해내는 Reality Capture (현실 가상화) 기술이 핵심이며, 결국 이러한 기술은 Digital Transformation 시대로 진입하는 과정이기도 하다. 여기에는 현실의 인프라 또는 시설물을 정확한 기하학적 수치 정보와 속성 정보를 디지털 데이터화하는 드론 매핑, 3D 레이저 스캐너, 360 카메라와 같은 도구를 활용한 기술과 이러한 공간정보 데이터를 시각화하기 위한 가상현실(VR), 증강현실(AR), 혼합현실(MR) 기술이 핵심이 된다.

그림 4. 디지털 트윈의 개념도 예시 (Image 출처: Loginworks.com)



최근 Bentley Institute에서 주최한 Year in Infrastructure 2019 컨퍼런스 (2019.10.21.-24, 싱가포르)에서는 디지털 트윈을 통한 BIM 발전을 주제로 인프라의 디지털 트윈 기반

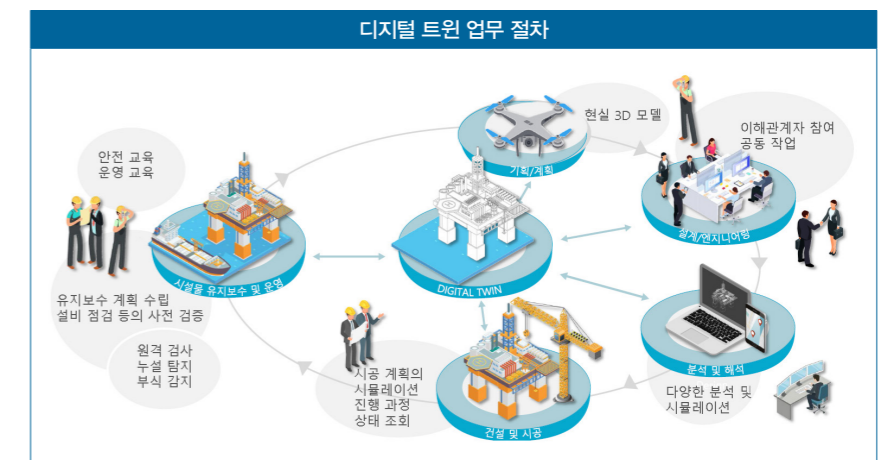
관리에 관한 최신 기술들을 선보인 바 있다. 여기서 현재 접목 가능한 미래기술들에 대한 통찰력을 얻을 수 있는데, 주요 기술동향 키워드는 다음과 같다.

- Going Digital (Twins) – IT, ET, OT 의 기반
- 디지털 트윈 핵심 요소는 Reality modeling
- Digital components machine learning
- 4D simulation (ex. OpenFlows Flood, Construction process)
- 클라우드 서비스 도입 (ex. iTwin service)
- Connected data environment, new digital workflows
- Efficient asset lifecycle management
- Immersive visualizing
- Reality modeling advancement (photogrammetry, laser scanning, thermography, CC mobile, mobile mapping)
- Introducing AI with reality modeling
- 정부 정책의 견인과 대응 (ex., UK: 2019.09월 National digital day)

이제 우리는 “디지털 변혁(Digital Transformation)” 시대의 도래에 따른 디지털 트윈 기반의 급격한 산업 환경 변화에 대처하고 4차산업 기술과 연계한 정부정책에 부응하기 위한 물 인프라의 디지털화와 이를 통한 생산성 및 효율성 향상을 진지하게 준비해야 할 때이다.

“기술”과 “변화”는 어떤 측면에서 같은 의미라 할 수 있다. “더 나은 정보 관리(BIM; Better Information Management)”의 개념을 이해하고 도입하는 것은 어느 기관에서나 핵심적인 요소가 되어가고 있다. “디지털화”는 실적 중심의 목표(outcome-based objectives) 설정으로 “더 나은 관리 전략”을 수립하는 데에 도움이 되며, 보유하고 있는 자산의 가치를 극대화할 수 있다(그림 5). 디지털화는 글로벌 추세로 가속화되고 있으며, 이는 조직의 더 나은 정보 관리와 밀접한 연관이 있어, 자산 가치 향상과 전 생애주기 협력 체계를 위해 필요하다고 볼 수 있다.

그림 5. 디지털 트윈 기반 업무 절차 예시도 (Bentley)



우리 dam들의 디지털 인프라 구축을 위해서는 디지털 매핑이 매우 중요하다. 즉, “현실(reality)”을 “가상(virtuality)”화 하는 디지털 트윈 구현으로 자산의 운영 및 유지관리 최적화를 이룰 수 있기 때문이다. 이러한 현실 모델링 기술은 드론, 레이저 스캐닝, 모바일 사진 촬영 등 다양한 도구를 통해 이루어 질 수 있으며 다음과 같은 dam 자산에 있어 적용성을 갖는다.

- 실제 정밀한 좌표 속성을 갖는 As-built 상태의 실제 현실 디지털 모델 구현
- 준공 도면 대비 신속, 정확한 현실 조건의 비교 분석
- AR/VR/MR 등 디지털 모델 구현 및 시각화에 기여
- 인력으로 접근이 제약되는 구역의 정확한 정보를 제공하고 안전 점검 및 진단에 활용
- 토목 건설공사 공정관리(기성, 준공검사, 절성토 토공 등) 혁신
- 시설물 유지관리에 있어 사람이 미처 발견하지 못한 결함 또는 손상의 추출
- 구조물 유지관리, 점검·진단 업무에 획기적인 시간 및 노동력 절감
- AI 기능 추가에 의한 콘크리트 구조물 균열 자동 검출 등 자산의 물리적 유지관리 항목의 효과적인 정량화
- 디지털 트윈 공정, 매뉴얼 등 구축으로 신입, 전입 직원의 신속한 교육훈련에 접목
- 결론적으로 디지털 모델링 기술은 미래 사회 핵심 기반기술인 디지털 트윈을 통한 “더 나은 정보 제공(BIM)”에 기여하며, 자산의 설계, 시공, 유지관리 등 전 생애주기에 걸쳐 접목 가능

현실 모델링(Reality Modeling) 기술은 최적 설계를 지원하고 시설물 소유주들이 자산을 보다 잘 검사하고 유지 관리할 수 있도록 도울 수 있다. 인프라 자산의 실제 디지털 모델 정확성을 높여주는 현실화에서 활용화(capture-to-consumption) 절차에 대한 혁신이 필요하며, 추후 복잡한 환경에서 드론 광학 및 라이다 데이터 캡처 실무가 중요해질 것이다. 현실 모델링(Reality capture; Reality modeling)은 디지털 트윈의 핵심 기반 기술로 자리매김하고 있다(예, 그림 6). 실제 인프라 자산의 디지털 트윈을 위한 현실 모델링 기술의 실무적인 정밀도 향상과 처리 시간 감소로 자산 관리 및 산업 전반에 걸쳐 활용성이 급격히 증가하고 있다. 특히 dam 시설물의 점검 효율성 극대화 및 디지털 트윈 구현을 위해 발전된 형태의 현실 모델링 기술(예, 드론 광학 및 라이다 매핑, 소나 매핑 통합, AI 기능 추가(그림 7))을 우리 dam 시설 관리에 적극 도입할 필요가 있다. 현실 모델화 및 디지털화는 인프라 관리 생산성 및 효율성 제고를 위한 거부할 수 없는 글로벌 흐름인 반면, 아직 국내 인프라 관리 분야 인식 저조로 적극적인 홍보와 시범 사업을 통한 효과 검증이 시급하다.

그림 6.  
현실 모델링 기술과  
벤틀리 OpenFlows  
모델을 결합한 실감형  
재해 홍수 범람  
시뮬레이션(Shell)

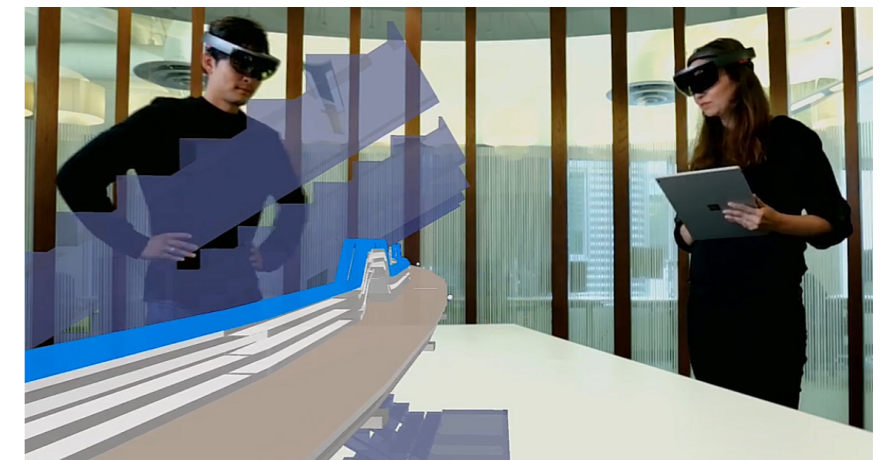


그림 7.  
AI 균열 인식 알고리즘을  
반영한 ContextCapture  
활용 교량 점검 (Bentley)



최근 Microsoft사에서는 Hololens 2를 개발하였는데, 이는 차세대 혼합현실 스마트 글래스이다(그림 8). 향후 iDSP 연구개발 및 시범구축 사업에서 정보의 시각화를 구현하는 핵심 Tool로 기능할 것으로 평가되며, dam뿐만 아니라 지중 관로의 증강현실기반 유지관리, 스마트시티 등 우리 공사 전 사업영역에 있어 핵심적인 디지털 트윈 디스플레이가 될 것으로 기대하고 있다.

그림 8.  
Microsoft Hololens 2와  
SYNCRO를 결합한 혼합  
현실 미팅(Bentley)



#### 4. 차세대 댐 안전관리 플랫폼의 필요성

현재 주요 글로벌 기업은 4차산업혁명 기술의 도입을 통한 혁신과 생산성 향상을 위해 투자를 확대하고 있고 정부 역시 정책 기획의 주요 사안으로 우선순위를 두고 있다. WEF (2017)에서 클라우드 슈범(세계경제포럼 회장)은 새로운 파괴적 변화의 시대로 돌입한 세계를 화두로 혁신과 기술이 인류를 중심으로 발전하며 공익을 위해 봉사하는 미래를 위한 공동의 책임을 촉구하였다. 이 책에서 4차산업혁명의 핵심 기술군으로 소개한 내용으로는 가상현실(VR)과 증강현실(AR), 블록체인과 분산원장기술, 사물인터넷, 인공지능, 로봇공학, 적층가공기술(3D 프린팅), 신경기술, 생명공학, 첨단소재, 에너지기술, 우주기술, 지구공학 등이 있다. 이러한 기술의 대변혁은 엄청난 우려와 기회의 장을 창출하고 있다. 이러한 파괴적 변화의 시대와 더불어 최근 기후변화 및 물 인프라의 노후화의 영향으로 지진·홍수 등 재해 규모와 빈도의 불확실성이 급증하고 있어 시설관리의 어려움을 가중시키고 있다.

또한 최근 물 수요 감소 등 내·외부적 관리환경 변화로 기존 시설관리 영역의 양적·질적 변화가 불가피하다. 외부적으로는 물 관리 일원화, 물기본법 제정 등 법·제도는 통합화되고 있으며, 정책·사업은 유역별 분권화 되는 등 물 관리 체계의 급속한 변화가 일고 있다. 내부적으로는 물 관리 인프라 포화로 신규개발이 한계에 직면하고 있고, 인구감소 및 성장한계로 물 수요 감소를 전망하고 있다.

따라서 시설관리 체계혁신의 필요성이 대두되고 있는데, 기존의 유지보수·개대체 등 기능유지 개념의 수동적 관리체계에서 기술 융복합 및 자원간 연계로 시설물 활용성 다변화·효율화를 추구하는 확장적 개념의 관리체계로 나아가야 한다.

최근 차세대 지능형 댐 안전관리 플랫폼 기술을 기획하는 과정에서 실제 댐 현장의 시설 관리자들과의 목소리와 Needs를 수렴하는 과정을 거쳤는데, 이러한 Needs에는 다음과 같은 내용들을 담고 있다.

우선 정보 DB화의 중요성 측면에서 물 인프라의 건설당시 가치 있는 정보 보존 미흡으로 안전관리 기초자료가 부족한 실정에 있다. 특히 2000년 이전 준공 물 인프라의 도면, 물성, 계측 등 필수 정보의 전산화는 여전히 미흡한 실정이다. 2017년 오로빌댐 여수로 사고 조사 결과, 중요한 두 가지 교훈과 시사점을 도출한 바 있는데, 첫 번째는 육안조사, 점검만으로 댐 및 부속시설의 위험 징후를 판정하는 것의 한계성, 즉 보이는 징후만으로 위험도가 지배되지 않을 수 있다는 점과, 건설 당시의 재료적 특성, 물성, 정보 등의 보존과 DB화의 중요성을 인지하였다는 점이다.

유지관리 기록 측면에서도 유지관리 이력이 현재 분산 관리되어 있고, 접근성이 제한되어 있는 실정이다. 기존의 DB 시스템 내에서도 사용자 위주의 편리성이 다소 부족하여 필요한 정보를 직관적으로 추출하는 것은 시간을 필요로 하고 있다. 따라서 유지관리 단계 체계적인 시설관리 및 보수보강 이력의 입체적, 직관적 DB화가 필요하다. 현재 많은 경우, 댐 안전점검은 초기점검, 특별점검, 정밀안전점검, 정밀안전진단의 자료들이 점검주체의 보고서 및 시스템의 스캐닝된 전자문서 형태로 보존되어 사용자의 접근성이 제한되고 정

확한 위치 파악에 상당한 시간과 경험을 수반하며, 지식의 제공과 공유에 있어 경험자의 노하우가 중요한 실정에 있다.

또한 시설 관리에 있어 개별화, 분산화된 데이터의 특성으로 실제 이용에 어려움이 있다. 분산화된 개별 모듈의 DB, 2차원적 시스템 안의 비직관적인 display로부터 실시간 지능형 정보제공이 가능하고 신속한 의사결정을 지원하는 3차원적 입체적 플랫폼 구축이 필요한 이유이다.

기존에는 엔지니어의 숙련도와 경험, 노하우가 중요한 댐 안전관리였다면, 본 미래기술 도입 개발에서는 구조물 관점에서의 지능형 정보 지원을 실시간으로 공급받는 안전관리 체계 구현이 필요하다.

또 한 가지 큰 Needs는 댐 시설물의 안전 조사 및 점검 기술의 혁신에 있다. 기존 댐 시설관리자의 육안조사·점검 위주에서 드론 및 3D laser scanning에 의한 디지털 매핑, VR/AR 기반의 정보제공을 지원받는 웨어러블 툴(스마트 글래스)과 점검결과 현장 디지털 기록 및 편집 기능을 담은 전자자장 접목으로 안전관리 업무 혁신이 가능할 것으로 기대되었다.

실시간 동기화 협업 필요성 역시 중요한 대목이다. 현장의 안전 위해요소 발생 시 빠른 의사결정 지원을 위한 실시간 협업(음성인식, 동영상 스트리밍, 사진 공유, 원격 Input 공유) 툴의 접목 가능성도 연구 대상이다.

마지막으로 기존의 시설관리시스템에서 보듯이 댐 계측분야에서 단순한 계측 자료의 수집 및 단순 관리기준의 설정만으로는 댐 안전과 연계된 물리적 의미 파악에 한계가 있으며, 계측 센서 위치 정보도 직관적, 입체적으로 변화할 필요가 있다. 예를 들어, 간극수 압계는 코어층 또는 기초지반의 침투류 안전성 파악에 중요한 계측기이나, 대부분의 댐에서 기존 시스템의 경우 침투류와 연관된 수두 연계 안전 정보 제공은 없으며, 센서의 입체적 위치정보 제공 역시 미약하여 사용자의 노하우와 학습이 중요한 실정이다. 대표적 관리기준치는 일시적인 전기적 outlier 값에 취약하고, 수치모델과의 비교 또는 댐의 거동 패턴 학습에 따른 이상유무 판단 기능 제공 필요성이 증가하고 있다.

정부는 혁신성장 8대사업에 4년간 30조원 투자 계획을 발표한 바 있다(기획재정부, 2018.08). 여기서 8대 선도사업은 초연결 지능화, 스마트공장, 스마트팜, 핀테크, 에너지 신산업, 스마트시티, 드론, 자율주행차를 포괄적으로 포함한다. 이제 우리는 4차산업혁명 요소기술의 시설물 유지관리 분야 무궁무진한 확장가능성에 주목할 시점이다. 현재 일상 생활 속에 4차 산업혁명 기술의 현실화가 진행되고 있으며, 국가 인프라 관리 기관들의 적극적인 기술 도입이 활발하나, 국가 중요 물 인프라 활용에는 도입이 미진하며 기술의 혜택 및 이점을 미활용하고 있는 실정이다.

## 5. 차세대 지능형 댐 안전관리 플랫폼 기획안

차세대 지능형 댐 안전관리 플랫폼(IDSP; Intelligent Dam Safety Platform) 기초 개발 연구의 주요 내용은 시범댐 안전 정보의 직관적 DB화, 드론 매핑 등 안전점검 혁신 기술 접목, 계측 분석 지능화로 분류할 수 있다(표 2, 그림 9). 보다 상세한 기술 도입 및 개발 분야는 다음과 같이 요약할 수 있다.

### ① 댐 안전 정보 직관적 DB화 · 시각화

- \* (DB) 시범댐 축조 · 물성 · 유지관리 정보 DB화(댐, 부대시설물, 기초 · 지질, 점검 · 진단, 보수보강)
- \* (시각화, 표준화) 3D As-built 시범댐 전자도면화 DB 데이터 표준화(데이터 필드 정의, 분류)
- \* (VR) 시범댐 3D Digital Twin VR 플랫폼 모델 제작(지형+기초지질+댐시설물+계측센서)
- \* (플랫폼) Testbed, Digital Twin 기반 3D 시각화 지능형 댐 안전관리 플랫폼(IDSP) 시범 구축

### ② 안전점검 혁신 기술 접목

- \* (전자야장) 콘크리트 구조물 열화부(균열 등)를 공간정보화하는 태블릿 전자야장 시범 연구
- \* (드론 매핑) 접근제한지역 변형 감시 드론 매핑 기술 접목, 3D 모델 생성, 정기 안전관리 - 지상기준점, 광학영상카메라, 열화상카메라, 3D 모델링, 영상분석, 변형 모니터링
- \* (3D 프린팅) 시범댐 모델 홍보용 3D Printing
- \* (Digital Mapping) GNSS측량, 3D laser scanner, 360 카메라 활용, 시설물 내외부 정밀 디지털 모델링 체계 시범 도입
- \* (스마트글래스) AR Smart glass 시범 도입, 현장 원격 지원 서비스 시범 도입

### ③ 계측 분석 지능화

- \* (계측 DB 직관화) 직관적 이해를 위한 주요 data 분석, 시각화 및 보고서 작성 개선
- \* (수치해석) 2D · 3D 침투해석, 수위별 계측치 비교, 경험적 상관모델 개발, 안전관리 개선안 제시

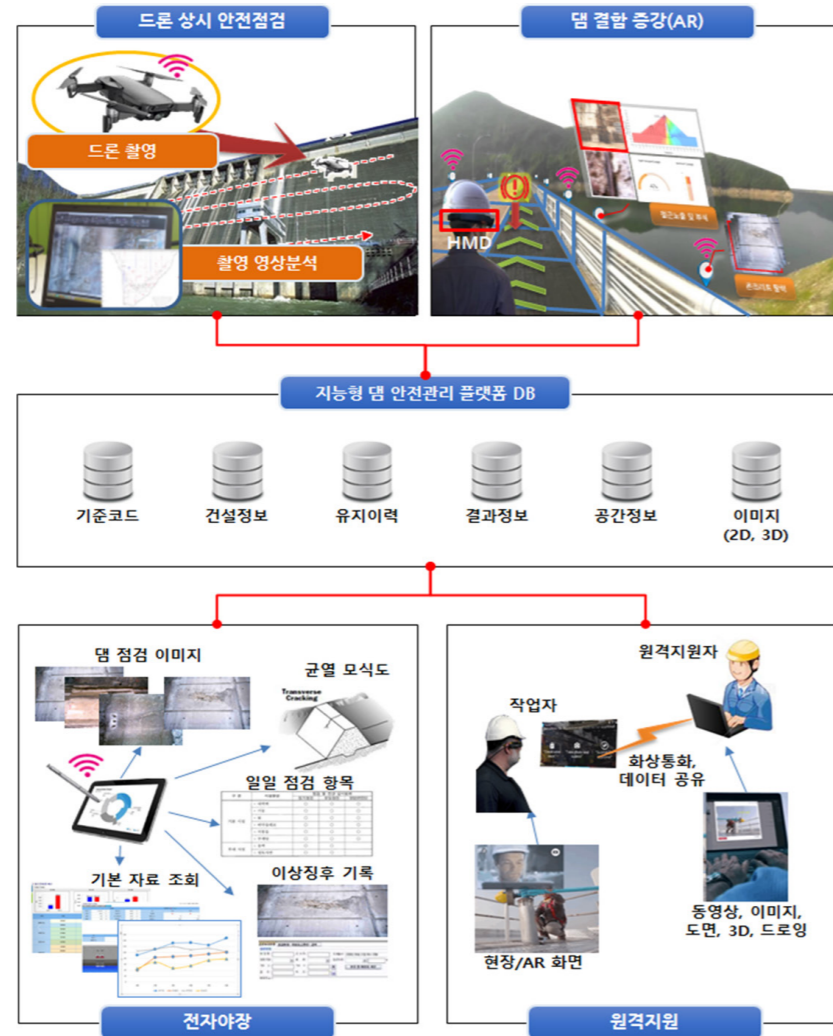
본 연구를 통해 구현하려고 하는 전략적 방향성은 다음과 같다.

- (데이터 시각화: data visualization) 데이터 분석 결과를 쉽게 이해할 수 있도록 시각적, 입체적으로 표현
- (직관화: intuition) 주어진 정보를 VR/AR 이용, 복잡한 추론 과정 없이 정보 또는 지식을 습득 가능
- (동기화: synchronization) 관련된 데이터 정보를 동기화하여 각기 다른 틀에서 연관 정보를 실시간으로 제공함으로써 생산성 향상
- (정보의 가치화: Extract Value and Knowledge from Information) 공학적인 가치를 지닌 정보를 제공, 신속한 의사결정에 기여

표 2. 댐 안전관리의 현재와 미래 개선효과

구 분	문제점	개선방향 및 효과
시각화 DB	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 건설정보 및 물성정보 DB 부재</li> <li>* 개별화, 분산화, 문서화된 정보 (공사지, 정밀안전진단, 도면)로 이력관리와 신속한 정보 추출이 어려움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 종이도면 3D 전자도면화, 지반 및 부지 공간정보 수치모델 결합 3D 시각화</li> <li>* 건설 축조정보 · 물성정보 · 유지관리 정보 DB화</li> <li>* 3D 모델링 및 디지털 트윈 모델 구현으로 정보의 시각화, 직관적 이해 구현</li> </ul>
댐 안전 조사·점검 툴 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 조사 · 점검 시 직원의 숙련도 중요, 주관적 결과, 시간과 노동력 소요</li> <li>* 신입 · 순환보직 특성 상 댐 안전관리 업무적응시간 상당 소요</li> <li>* 접근 제약 시설(여수로, 취수탑, 상하류사면, 페이스슬래브 등)은 점검자체가 어려움</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 댐 3D 모델링 및 증강현실(AR) 툴의 정보제공으로 신입직원도 빠른 정보습득</li> <li>* 접근 제약지역 신속 드론 매핑으로 조사 · 점검 영역의 확장 및 Digital Twin 공간정보 자료 취득 가능, 정기적 변형 모니터링 가능</li> <li>* 3D Laser Scanning, 360 카메라 등 활용, 정밀 Digital Mapping 안전관리 도입</li> <li>* 콘크리트 구조물 균열 자동 검출 알고리즘 시범 도입으로 신속 조사 · 점검 · 물량 산출 가능</li> </ul>
댐 계측 분석 지능화	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 단순한 댐 계측 데이터의 취합, 경시변화, 결측현황 등을 display</li> <li>* 데이터 이해가 어렵고, 안전 관련 수치모델링과 미연동, 결측과 outlier로 인해 판단이 용이하지 않음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 계측 데이터의 3D 시각화, 직관적인 정보 제공</li> <li>* 보고서 생성 기능 개선으로 신속한 보고자료 지원</li> <li>* 중요 계측 데이터의 수치모델링 연계, 경험적 상관모델 제시로 개선된 안전관리 구현</li> </ul>

그림 9.  
차세대 지능형 댐 안전관리 플랫폼(iDSP) 설계 개념도



차세대 지능형 댐 안전관리 플랫폼(iDSP; Intelligent Dam Safety Platform) 개발의 기본 추진 방향은 단편적 기술개발이 아닌 자원간 초연결 시대에 대응하는 지속가능한 댐 안전 관리 기술혁신을 지속적으로 추진할 필요가 있다. 기술의 시장 출현 및 성숙도를 고려한 리딩 기술 개발이 중요하며, 실용적이면서 도전적인 활용성 높은 기술을 연계하고 확장하는 개발 방식을 취할 예정이다. 현재 계획하고 있는 지능형 댐 안전관리 플랫폼 R&D 로드맵(안)은 다음과 같다(그림 10).

그림 10.  
단계별 지능형 댐 안전관리 플랫폼(iDSP) 구축 추진계획

- > (현재) 육안 점검, 개별시스템 운영
- > (2025) 드론, 로봇 활용 점검, 빅 데이터 구축
- > (2030) 로봇틱 드론 자율진단, 디지털 트윈 기반 관리

**iDSP 기초개발 (2019-2020)**

- **Master Plan**
  - 중장기 댐 시설 안전 및 유지관리 전략(사업부서) 연계 기술 R&D전략 수립
- **Digital Modeling**
  - 접근 제약지역 드론 매핑 분석 도입, 대형시설물의 신속한 점검
  - 드론 매핑 영상분석 및 변형 모니터링 체계 도입
  - 시설물 정밀 디지털 매핑용 3D LiDAR 스캐닝 체계 도입
  - 홍보용 3D Printing
- **ROV/Robot**
  - 수중 구조물 점검용 ROV 초기 모델 도입 및 적용성 검증
- **iDSP 시스템**
  - 시설물 정보 표준화 초도 개발 추진
  - 지능형 댐 안전관리 플랫폼 최초 기초단계 개발
  - 비전자정보(도면, 건설, 물성, 유지관리) DB화, 3D 공간정보 모델 및 VR 모델 시범 구축
  - 주요 계측 데이터 분석, 경험적 상관모델 개발(침투수량)
  - 계측 상관모델 데이터 기반 의사결정 지원
  - 1개댐 대상 시범 적용

**iDSP 응용개발 (2021-2025)**

- **Master Plan**
  - 중장기 댐 시설 안전 및 유지관리 전략(사업부서) 연계 기술 R&D전략 업그레이드
- **Digital Modeling**
  - 준실시간 드론 매핑 구현 및 다중, 다목적 드론 점검 체계 구축
  - 드론 영상 분석 - 경보 시스템 연계
  - 콘크리트 구조물 열화부 탐지용 영상분석 체계 구축
  - 시설물 정밀 3D 공간 정보 매핑용 3D LiDAR 스캐닝 - 디지털 매핑 체계 자원간 연계
  - 3D 프린터 활용, 공간 정보의 가치화
- **ROV/Robot**
  - 수중 구조물 조사, 점검용 수중 ROV 초도 국산화 개발
  - 자율주행 및 고성능 LiDAR, 광학 영상 카메라, 소나 스캐닝 및 영상처리시스템 도입
- **iDSP 시스템**
  - 5G 네트워크 상용화 및 위치기반 서비스 정확도, 탐지율 프로세스 향상에 따른 응용개발
  - 대규모대용량 유지관리, 계측 IoT 정보수집 및 분석
  - 댐 시설관리 개방형 통합 DB 및 빅 데이터 구축
  - 빅 데이터, AI 기반 예측형 유지관리 시스템 초도개발
  - AR(증강현실) 기반 DB 및 3D 모델 구축, 직관적 정보 제공
  - 위치기반 AR 및 패턴인식 전자야장, 스마트글래스 체계 도입
  - AR 원격 지원 서비스 시범 도입
  - 5개댐 대상 플랫폼 구축

**iDSP 확장연계 개발 (2026-2030)**

- **Master Plan**
- 중장기 댐 시설 안전 및 유지관리 전략(유역관리처) 연계 기술 차세대 R&D 전략 수립
- **Digital Modeling**
- 디지털 트윈 기반 스마트 시설물 유지관리 체계 개발 및 구축
- IoT 초연결 및 통신 제약 없는 기술수준에 부응하는 자원간 연계 개발
- 초연결형 IoT 정보수집 및 분석
- **ROV/Robot**
- 수중부 구조물 조사, 점검용 수중 ROV 기능 고도화
- 로보틱드론을 활용한 시설물 자율점검 및 진단체계 조도 개발
- **iDSP 시스템**
- 댐 유역 실시간 드론 매핑(시설물 안전, 공공안전, 부유물, 녹조) 및 상시 감시체계 구축
- MR(혼합현실) 기반 홀로그램 아키텍처 구축 및 자원간 음성인식 연계
- 10개년 대상 플랫폼 확산

**iDSP 기능 고도화 (2021-2030)**

- 초연결, 범위 확장, 동기화, 시각화, 직관화, 정보의 가치화 기반 지속적 기능고도화

**6. 결론**

우리는 지금 4차산업 기술들이 본격화되고 있는 “파괴적 창조”의 시대에 살고 있다. 국내 대댐에 대한 사업 여건 역시 대내외적인 환경 변화에 따라 노후화와 기후변화에서 비롯된 새로운 개념의 접근이 필요한 시점이다.

본 고에서는 현재 급격히 진행되고 있는 댐에 대한 정부정책의 변화와 글로벌 기술동향에 대해 살펴보고, 디지털 트윈 기반 댐 시설물 유지관리를 향한 접목 가능한 혁신 기술들에 대해 논의하였다. 이를 바탕으로 현재 기획단계에 있는 차세대 지능형 댐 안전관리 플랫폼(iDSP)에 대한 내용과 중장기적 전략에 대해서 소개하였다.

미국의 전설적인 농구 코치였던 John Wooden은 “변화에 대응하지 않는 것은 실패를 준비하는 것이다”라는 어록을 남겼다. 성경 전도서 11장에는 “풍세를 살펴보는 자는 파종하지 못할 것이요 구름만 바라보는 자는 거두지 못하리라”는 표현이 있다. 우리 한국대댐회가 직면하고 있는 변화의 필요성과 미래기술들에 대한 수용성 및 접목하고자 하는 이니셔티브(initiative)가 중요한 때라 생각한다. 아무쪼록 디지털 트윈 기반 댐 시설물의 안전관리 체계 도입에 많은 대댐회원들의 관심과 제언을 기대하며 이 글을 접고자 한다.

**참고문헌**

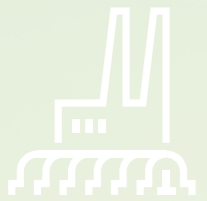
국토교통부 기술정책과, 2018.10.31., 건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵, 국토교통부.

K-water연구원 연구과제, 2019, 차세대 지능형 댐 안전관리 플랫폼(iDSP) 기초 개발, K-water.

special  
special  
special

## II. 학술 · 기술기사

- ① 댐 및 저수지 비상대처계획 (오윤근 부사장, 서상원 전무, 이진수 부장, 유신)
- ② 운문댐 안전성 강화사업 건설공사의 소개 (김문주 차장, 대우건설)
- ③ ICT 기반 지진가속도계측기 활용을 통한 콘크리트 댐의 긴급 지진안전성 평가 기술  
(이백 박사, 최병한 박사, 한국농어촌공사 농어촌연구원 / 김두기 교수, 군산대학교)
- ④ 북한의 기후변화대응 전력수급전략 과 수자원 협력 방안 (이광만 박사, K-water)
- ⑤ 제87차 국제대댐회(ICOLD) 연차회의를 다녀와서 (소인호 전문원, K-water 연구원)



# Korea National Committee on Large D

Korea National Committee on Large Dams

National Committee on Large Dams

Korea National Committee on Large Dams

Korea National Committee on Large Dams