

물 분야 디지털 기술의 현재와 미래

✎ 김성훈

☎ K-water AI연구센터 센터장

✉ sunghoonkim@kwater.or.kr

본고는 물재해 관리, 물공급, 환경 등 다양한 물분야에서의 디지털 전환에 대한 동향을 소개하면서 나아가 현재 기술의 한계점과 미래 대응 방향을 탐색하고자 한다. 물분야 디지털 전환과 관련된 국내외 사례를 바탕으로, 4차 산업혁명(DNA) 관련 기술을 센서(Sensor), 모바일/장비(Mobile/Device), AI, Robot, 클라우드(Cloud), 디지털 트윈 등 핵심 요소 기술로 분류하고, 적용 대상을 물재해 관리와 환경관리, 물공급 관리, 시설(SOC) 안전 등으로 나누어 정리하였다.

물분야 디지털 전환에 있어서는 세부 분야별로 적절한 표준화 방향과 룰제시 및 이에 따른 품질관리 수준의 조정체계도 필요할 것이다. 기상-수문-원격탐사-시설관리-처리-공급-수요 예측까지 데이터간 효과적 연결 체계와 함께, 나아가서는 디지털 기술(AI 분석 등)에 적합한 활용 표준 검토도 필요하게 될 것으로 예상된다. 효율성을 중요시하는 디지털 전환의 흐름 속에서 물분야의 다양한 기술을 활용하고 적용하면서 물산업을 진흥하고, 물이 가지는 공익적 가치를 유지하기 위해서는 물분야 이해 당사자와 기술개발자, 정책입안자 간의 다양한 논의와 협력이 필요하다. 또한, 디지털에 의해서 분석된 의사결정의 불확실성을 완전히 해소할 수 없다고 한다면, 최소한 불확실성의 정도를 파악하고 그 가치를 판단할 수 있는 기술의 개발과 정책적 뒷받침이 요구된다. 이를 위해서 물관리 분야별로 인공지능의 적용수준(분석 데이터의 제공, 보조자 역할, 의사결정에 개입 등)에 대한 결정을 전제로 기술개발과 연구가 이루어지는 것이 개발 성과에 대한 효용이 클 것으로 보인다.

I. 들어가며

전 세계에서 생산되고 가공, 소비되는 데이터의 양을 추산하면, 2010년에 2제타바이트(ZB)¹⁾에서 2022년에는 약 100 제타바이트 수준이라고 한다²⁾. 1TB 하드디스크 1000억개 수준으로 상상하면 될 것이다. 통계마다 조금씩 다른 수치를 나타내고 있기는 하지만, 데이터의 증가 규모는 연 평균 20~30% 정도 수준으로서 소위 디지털화, 디지털 전환의 흐름이 대세인 것을 실감케 한다. 그간에 4차 산업혁명과 관련된 기술적 변화들이 자율주행 차량이나 인공지능 게임 등과 같이 사람들에게 쉽게 인지되는 부분만 특별히 강조되었던 것에 비해 타 분야에서는 상대적으로 다소 덜 체감되었던 측면이 있었다. 그러나 코로나 19는 비대면 재택 문화나 플랫폼 중심의 산업 생태계 등과 같은 전반적인 디지털 경제로의 전환을 가속화하고 실생활과 직접 연계되는 계기로 작용하였다. 전 정부는 2025년까지 총사업비 160조원 규모에 이르는 한국판 뉴딜 종합계획을 추진하였으며, 이번 신 정부 또한 디지털 플랫폼 정부를 표방하며, 특히 디지털 기술 중에서도 인공지능을 활용하고 빅데이터를 분석하여 과학에 기반한 국민 맞춤형 국정을 실시하고, 데이터에 기반한 공정하고 효율적인 정책 집행과 인공지능 산업육성 플랫폼 등을 강조하고 있다.

스마트 물기술은 UN의 미래기술 유망분야 중 하나로 선정('15~'18년)되었을 뿐만 아니라, 기후변화에 따른 지구 곳곳에서의 가시적 물환경 변화에 대한 관심이 커짐에 따라 물 분야에서 디지털 전환을 위한 경제적, 사회적, 문화적 가치의 향상을 제고하고자 하는 노력의 필요성은 당위에 가깝다.

사전적 의미로서의 전산화(Digitization)란 우리가 잘 알고 있다시피 아날로그 정보를 컴퓨터가 인식할 수 있는 디지털 형태로 변환하는 기술적 과정을 뜻한다. 디지털화(Digitalization)는 산업, 시장 등에서 기술적 변화를 유도하

는 유기적 과정으로서, 예를 들어, 제조업의 경우 혁신적 기술(사물인터넷(IoT)이나 인공지능(AI) 등)에 해당하는 요소 기술들을 적용하여 새로운 제품을 생산하는 것이라 할 수 있다. 디지털 전환(Digital Transformation)은 이에서 더 나아가 디지털 기술(IoT, 클라우드 컴퓨팅, AI, 빅데이터 솔루션 등)을 적용한 플랫폼을 구축, 활용하여 전통적인 제품 생산의 운영 방식과 공급서비스 구조를 혁신하고 창조적인 변화를 일으키며 기존의 효율을 향상시키는 것으로 정의할 수 있다. 김준하 등(2020)에 따르면, 물분야에서도 전통적인 제조물(Product) 중심의 산업이 쇠퇴하고, 데이터(디지털) 중심의 비즈니스가 출현하여 발전하는 부분과 이에 따르는 디지털 기술의 융합형 관리를 디지털 가치 사슬(Value Chain)의 변화로 보았다. 또한, 이민화 등(2018)의 구상을 참고하면, 진정한 디지털 전환은 가상현실을 데이터화하는 디지털화를 넘어 이를 활용하고 현실화하는 결과와 가치를 아날로그적 방향으로 회귀시킴으로써 그 가치를 증명한다고도 할 수 있다. 예를 들어, 자율 운전을 위한 소프트웨어나 인공지능(AI) 알고리즘의 개발 자체를 디지털 기술로 보고, 이를 상대적으로 전통적인 내연기관차(혹은 전기차)의 설계, 제조, 운용 시스템과 결합시킴으로써 디지털 전환을 완성한다는 의미로 보면 적절할 듯 하다. 물분야도 마찬가지일 것이다. 물분야에서 디지털 전환의 경제적 가치를 고려해보기 위해서 GWI(Global Water Intelligence)의 보고서 등을 인용하자면, 음용수의 처리, 유통 및 고객 서비스에서 전 세계적으로 총 지출에서 절감할 수 있는 금액을 연간 약 340억 달러 규모로 추산한 바 있고³⁾, 추가적으로 물산업의 폐기물 부분에서의 잠재적 절감 또한 200억 달러 이상으로 분석되었다. 대만의 경우에는 2002년 큰 가뭄을 겪은 뒤 타이페이 수도국에서 디지털 솔루션 도입을 선언하고 도시내 센서와 스마

1) 10의 24제곱. 기가바이트(GB, 10⁹)가 1조 개(10¹²)로써 1ZB는 미국 학술도서관 전체 도서정보량의 50만배로도 설명

2) <https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created>

3) 스마트 수도관리 시스템의 도입효과를 연 71억~125억 정도로 추산한 사례도 있음 (www.sensus.com)

[그림 1] 디지털 가치 사슬(Digital Value Chain)의 변화



출처 : 김준하(2020), 포스트코로나, 신 기후시대의 한국형 뉴딜 제안

트 미터링(AMI: Advanced Metering Infrastructure)을 적극적으로 활용하는 체계로 빠른 전환을 이루어 이후 물부족을 예방하고 있다.

우리나라의 경우, '19년 이후 정부조직법 개편에 의해 마무리되고 있는물관리일원화 역시 물관리의 고도화 측면에서 디지털 전환 관련한 의제를 제시했다고 볼 수 있다. 변화된 물관리 거버넌스에 따라 수문/기상, 물관리 시설운영, 환경생태, 수도, 하천, 유역, 지형공간, 자연재해, 시설 안전 등 산재된 정보의 통합 연계를 통해 정보 효율성을 제고하고, 필요한 정보의 재 가공성을 높이는 등 디지털 전환에 대한 대응이 필요하게 된 것이다. 본고는 물재해 관리, 물공급, 물환경 등 다양한 물분야에서의 디지털 기술에 대한 동향 등을 소개하면서 나아가 현재 기술의 한계점과 미래 대응 방안을 모색하는 방향으로 논의하고자 한다.

II. 본론

물산업의 측면에서 디지털 전환을 논하기 위해서 혁신성, 효율성, 그리고 확장성이라는 키워드를 우선 제시해 보고자 한다. 여기서 혁신성은 소비자 수요에 대응하기 위해 물을 수집, 저장하며 인간의 요구에 맞는 다양한 물을 생산하여 공급하는 일련의 서비스 과정을 통해 삶의 질 향상을 도모

하는 선언적 의미가 크다. 다음으로 효율성은 물관리 서비스의 과정 중 기존의 시스템(SCADA⁴⁾ 등에서 수집하는 자료 이외의 다양한 데이터를 전산화하거나 기존에는 생산되지 않던 데이터를 사물인터넷 등의 추가 기술을 적용하여 새로운 데이터를 생산하고, 물을 공급·관리하는 운영자의 의사결정을 신속하고 정확하게 지원하는 것이다. 마지막으로 확장성(또는 적응성)은 타 산업에서 활용되는 다양한 첨단 디지털 기술들을 물공급 서비스 산업에 적용하여 기존 시장 규모를 확대시킬 뿐 아니라 신규 산업을 창출하며, 물산업에서 새롭게 생성된 정보 및 기술을 타 산업 및 사회 활동에 적용하여 선순환 구조의 산업 활성화를 촉진하는 부분이라고 할 수 있다. 글로벌 물분야 디지털 전환의 방향 설정도 크게 다르지 않은 것으로 파악되었으며, 다음과 같이 몇몇 사례를 제시하였다.

1. 글로벌 동향과 사례들

먼저 국제 물협회(IWA: International Water Association)는 노후화된 인프라, 기후변화, 비적절한 투자, 물부족, 물재해(홍수, 가뭄) 등에 대비하기 위해 디지털 물산업 전환의 필요성을 제시하였다. 현 시점에서 빅데이터와 이에 기반한 고도화된 관망관리 및 고객참여 시스템을 통한 디지털 전환에

4) Supervisory Control and Data Acquisition : 감시 제어 및 데이터 취득 시스템

이미 상당한 진전이 있다고 판단하였다. 보다 탄력적이고 혁신적이며 효율적인 관리를 위하여 디지털 혁신 추진 방향을 제시하였고, 핵심 기술로는 디지털 트윈과 블록체인을 제시한 바 있다(표 1).

[표 1] 국제 물협회가 제시한 물분야 디지털 과제와 솔루션

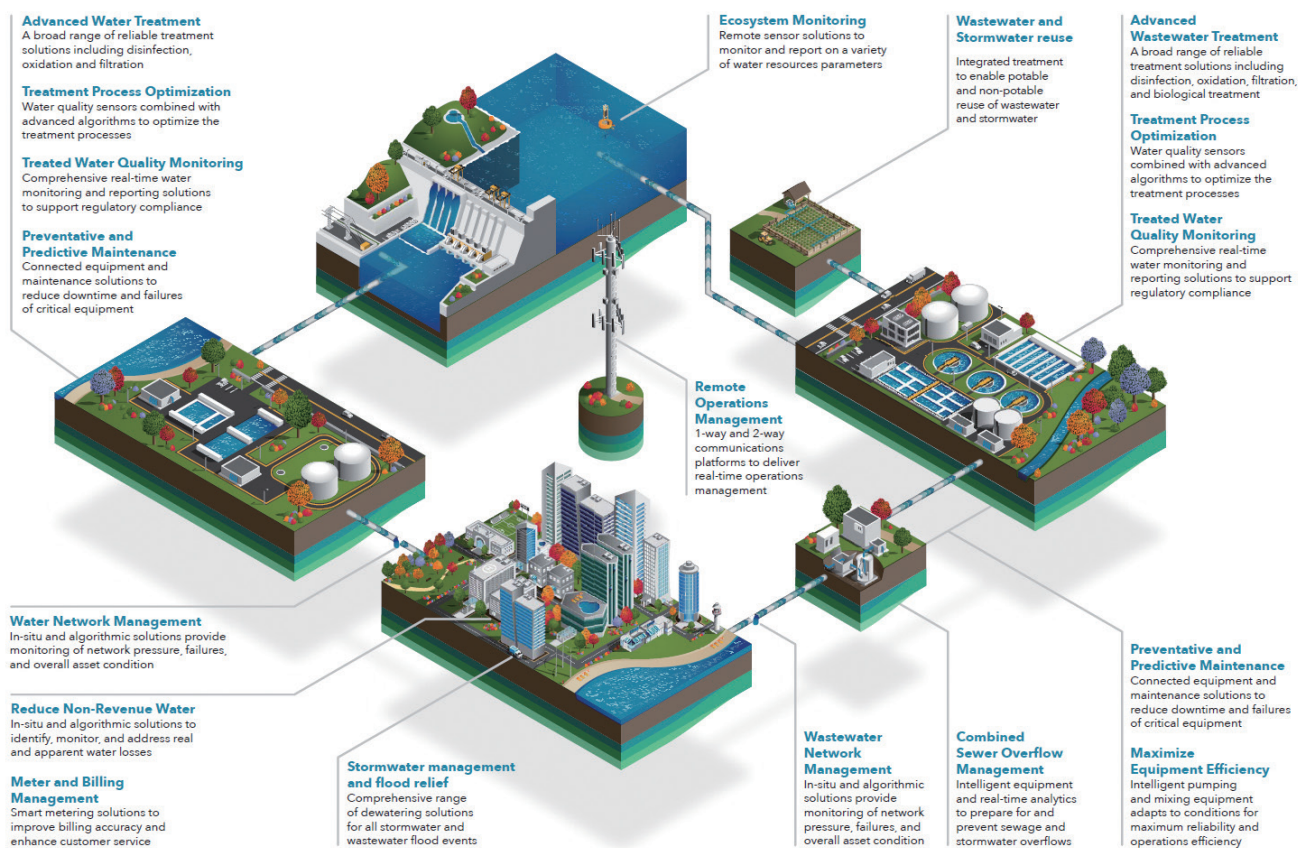
과 제	디지털 기반의 솔루션 제시와 사례
데이터 프로세싱 (Data Processing)	인공지능을 활용한 센싱자료 처리로 공정 최적화, 전략적/저비용 운영도모 및 의사결정지원 시스템 구현
증강현실, 디지털 트윈 (AR, Digital Twin)	AR을 통해 관망, 케이블 등 자산을 수리학적 표현 및 시나리오 기반 운영자 교육, 디지털 트윈으로 GIS, 센서, VR 기술활용 물리모형을 S/W 모형화하여 다양한 시나리오 시험
블록체인 (Blockchain)	호주에서는 배분량 거래를 모니터링하기 위한 블록체인 시스템을 개발하였고, 미국에서는 국제 수상장 건설비 지급을 블록체인으로 지급하게 함

최근 물분야에서 적극적인 인수-합병(M&A) 등을 통해 양적, 질적 규모를 키우고 있는 물기업으로 꼽히는 Xylem의 사례를 보면, 물관리에 있어서의 높은 에너지 비용, 인력 고령화, 시설 노후화, 그리고 법적 규제의 강화에 대응하여 표 2와 같이 ① 스마트 설비, ② 스마트 네트워크, ③ 스마트 솔루션으로 구분하여 제시하였다.

[표 2] Xylem이 제시한 물분야 당면 문제와 디지털 기반의 솔루션

과 제	디지털 기반의 솔루션 제시
높은 에너지 비용	에너지 및 비용 최소화, 수처리공정 최적화
잡은 가뭄과 홍수	하수 월류 방지, 송수관리, 수원의 다변화, 물보전
물부족	미래 수자원 계획수립, 물절약
예산문제	예산투자계획, 검침 및 요금고지 관리, 요금책정
고령화	공정상 전문기술 손실 방지, 인력관리
물오염	취수원 모니터링, 오염원 관리
시설 노후화	누수방지, 관압관리, 시설진단 및 예지보전
법적규제 강화	법적규제 준수, 수질관리 강화

[그림 2] 물순환 과정에서의 스마트 솔루션



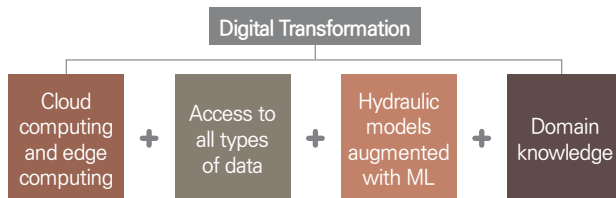
출처 : Xylem(2018), "Smart Water Solutions for Resilient Water Future"

다음으로, 영국의 SWAN(Smart Water Network Forum)에서는 스마트 워터 리포트를 통해서 수자원의 효율적 관리를 위한 디지털 기술로의 전환 필요성을 제기함과 동시에 디지털 트윈을 솔루션으로 제시하였다. 여기서 제시한 디지털 트윈은 물리적 시설을 디지털화한 모델링 소프트웨어의 집합체로서 데이터와 어플리케이션(솔루션)의 통합, 현실 물리시스템과 근접한 모델을 구축하고, 물리적 시스템과 플랜트의 동적(Dynamic) 소프트웨어 모델을 소위 기계학습(Machine Learning)과 결합한 형태로 지향하고 있다. 이를 기반으로 하는 핵심 기술로는 누수 탐지, 수질 관리, 펌프의 스케줄 제어를 통한 에너지 절약, 물 인프라 자산의 생애주기 관리 등이 제시되었다.

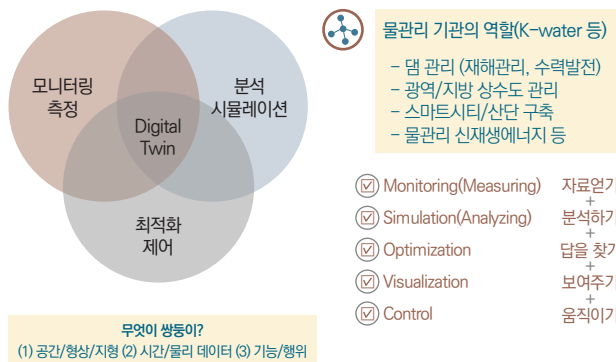
[그림 3] SWAN이 제시한 디지털 전환의 형태와 기술

Digital Twin is all about building blocks

- Cloud computing and edge Computing – access to elastic computer resources
- IoT, AMI meters, legacy data access, IoT, SCADA, CMMS, GIS, weather, etc.
- Hydraulic models and ML
- Domain knowledge



[그림 4] 디지털 트윈의 요소 (K-water 물관리 사례)



본 고에 상세히 기술되지 않는 글로벌 사례에서도 유사한 동향과 키워드를 탐색해보면⁵⁾, 전반적으로는 소위 4차산업 핵심기술인 DNA(Data, Network, AI)를 기존의 물관리 방식에 접목하여 효율성을 높이는 방향과 디지털 트윈(혹은 사이버-물리 시스템)⁶⁾을 논하고 있다. 물분야의 전문가이나 기업들 간의 뚜렷한 차이를 발견하기 힘든 만큼 물분야 디지털 전환에 대한 방향성과 컨센서스는 비교적 명확해 보이는 하지만, 계속 언급되는 디지털 트윈에 대한 논의도 필요하다. 디지털 트윈을 정의하는 방식은 여러가지가 있으나, 물관리 등과 관련해서는 다음(그림 4)과 같이 쌍둥이(Twin)의 대상을 ① 공간적(형상, 지형) 데이터, ② 시간적(물리적) 데이터, ③ 데이터에서부터 도출되는 기능(최적화)과 행위(제어)로 구분하여 제시하는 경우가 있다(김성훈 등, 2021). 중요한 점은, 디지털 트윈(혹은 CPS)이 물관리와 물산업에서의 목적이라기보다는 수단이 되어야 한다는 것이며, 따라서 앞선 SWAN의 사례에서 보듯 다수의 기관과 기업에서는 디지털 트윈 기술을 어떻게 활용해야 하는가에 대한 고민과 함께 디지털 트윈의 핵심이 되는 현실 세계의 모의(가상화 또는 디지털 모델화라고도 함)에도 집중하고 있다. 특히, 전통적인 물리적 모델(physical-based model)⁷⁾과 AI(기계학습)를

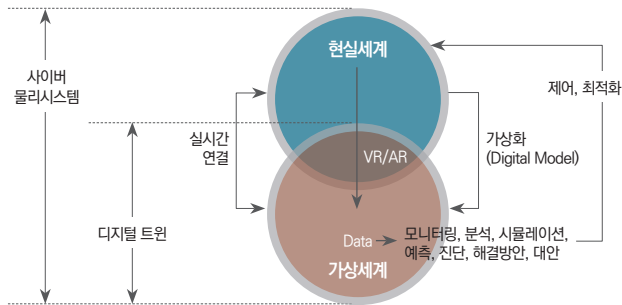


5) GE, MWH, Stantec 등

6) 디지털 트윈(Digital Twin)과 사이버-물리 시스템(Cyber-Physics System: CPS)을 개념적으로 구분하기 쉽지 않으나, 근자에는 CPS를 디지털 트윈의 하위 개념(시스템)으로 구분하는 경우도 있음(사공호상(2018), 유도근(2021)등)

7) 인공지능과는 달리 역학적 법칙을 수학적으로 모델화하여 해석

[그림 5] 국토연구원에서 제시한 디지털 트윈의 개념



융합하여, 시뮬레이션의 성능과 의사결정능력을 동시에 향상시키거나, 디지털 트윈에 적합한 데이터의 생성 또는 증강(Data Generation or Augmentation) 관련 기술에도 많은 노력을 기울이고 있다.

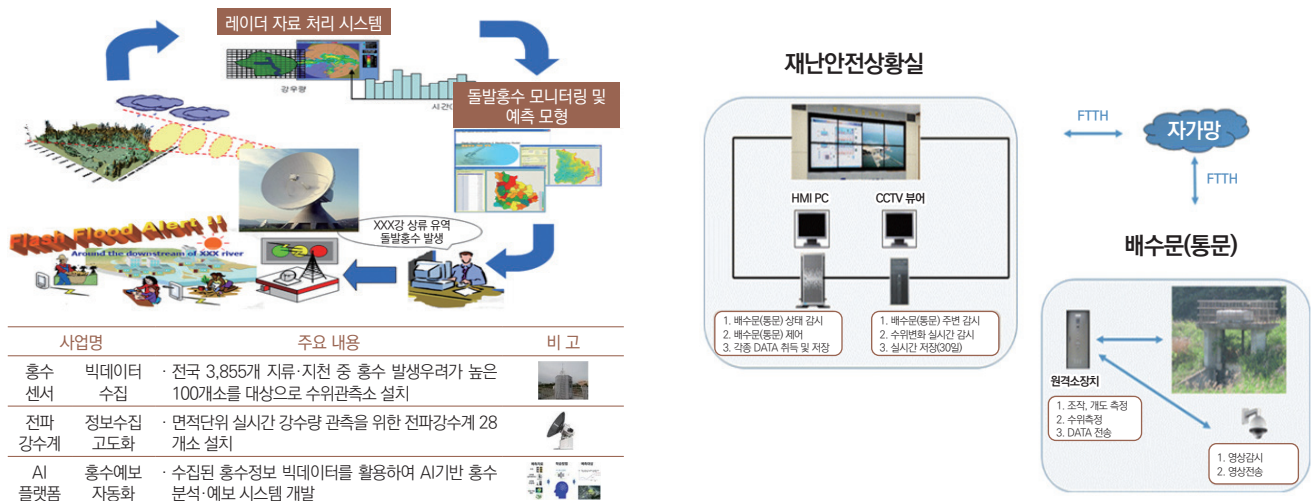
2. 물재해 및 SOC관리 분야에서의 디지털 전환

기후변화에 대응해야 하는 물재해 관리 관점에서의 디지털 전환은 다소 근본적인 어려움을 가지고 있다. 기상과 기후라는 제어 불가능한 불확실성에 더하여 댐이나 하굿둑의 운영과 같이 경우에 따라 조작의 파급력이 큰 중대형 사회기반시설과 연결되어 있다는 측면 때문이다. 따라서 물재해 관리에 있어서는 불확실성에 따른 위험도(Risk) 저감을 위해서 운영의 마진을 일정 부분 높게 유지한 측면 또한 일부 존재한다(박노혁, 2021). 근자에는 기후변화에 따른 기상과 기후

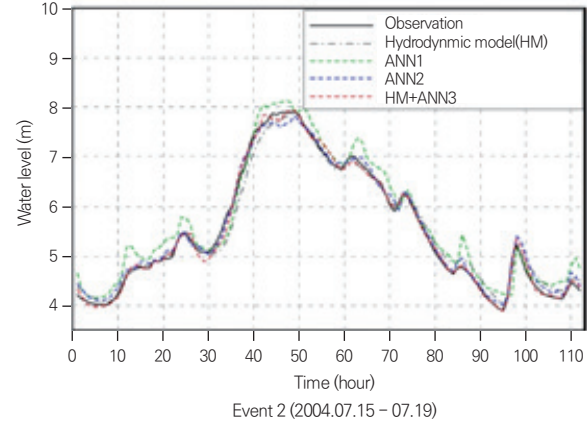
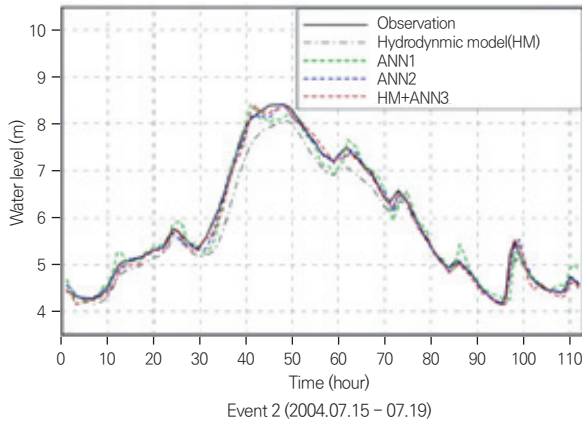
특성이 더욱 복잡해지고 있으며, 또한 시설의 운영 등과 관련하여 거버넌스 관점에서 지금보다 더 다양한 이해관계자를 고려해야 함을 감안하면 기술적으로는 이러한 안전 마진이 확대될 수도 있다. 이는 경우에 따라 효과적이고 효율적인 제어, 즉 최적화에 있어 만족스러운 결과를 도출하는 데 영향을 줄 수도 있다.

그럼에도 불구하고, 최근 정부나 공공기관 등에서는 물재해 관리를 위한 디지털 전환적 의사결정시스템 개발에 대한 접근을 다양하게 시도하고 있다. 환경부는 홍수에 취약한 전국 100여 곳 이상의 지방 하천 등에 센서를 설치하여 정보의 취득을 확대하고 취득된 정보를 적극 활용하는 AI 예보체계를 구축하기 위한 계획을 수립하고, '22년부터 본격적으로 추진하고자 한다. 국토교통부는 국가하천에 있는 배수시설과 하천수위를 실시간으로 모니터링하고 이를 원격 조작할 수 있는 IoT 기술을 적용한 스마트 하천관리시스템을 구축하기 위하여 '25년 완성을 목표로 국고 약 4,000억원 규모의 정책을 추진하고 있다. K-water 또한 관리 중인 20개의 다목적댐과 17개의 용수댐, 홍수조절용 댐에 대해서 기상여건에 맞추어 보다 탄력적으로 활용할 수 있도록 댐 수문방류의 예고기간을 확대하는 등 능동적인 대응에 나서고 있다.

[그림 6] 인공지능을 적용한 물관리 사업 추진 (左)환경부, (右)국토교통부 자료

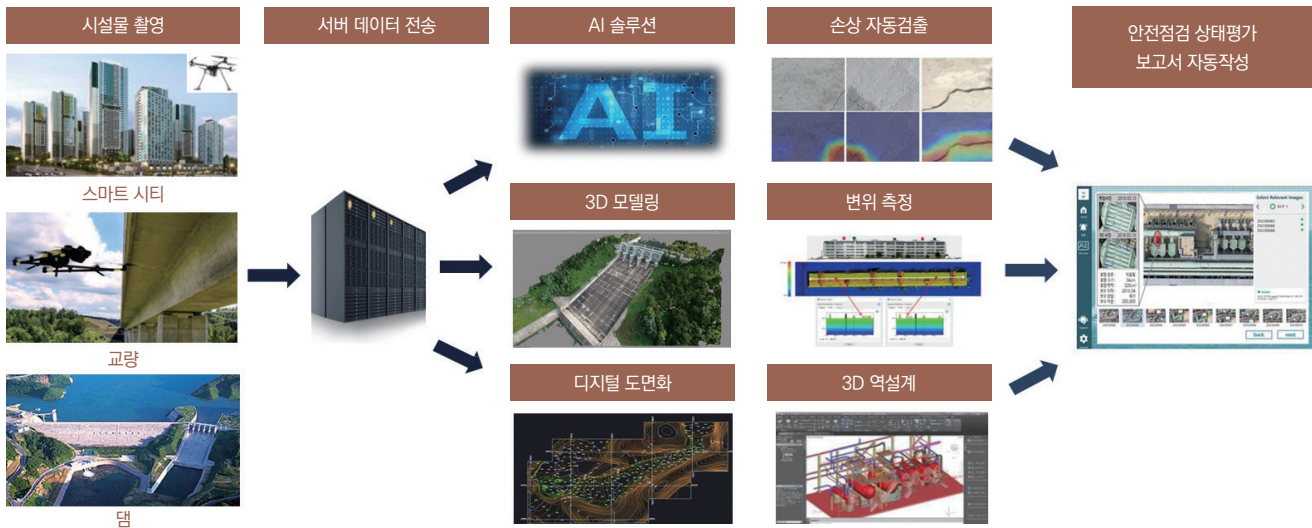


[그림 7] 기계학습을 이용한 하천의 홍수(수위) 예측 사례



출처 : 전경수 등(2022), 기계학습 모델을 이용한 홍수예측

[그림 8] 인프라 안전관리를 위한 기술개발 추진 자료

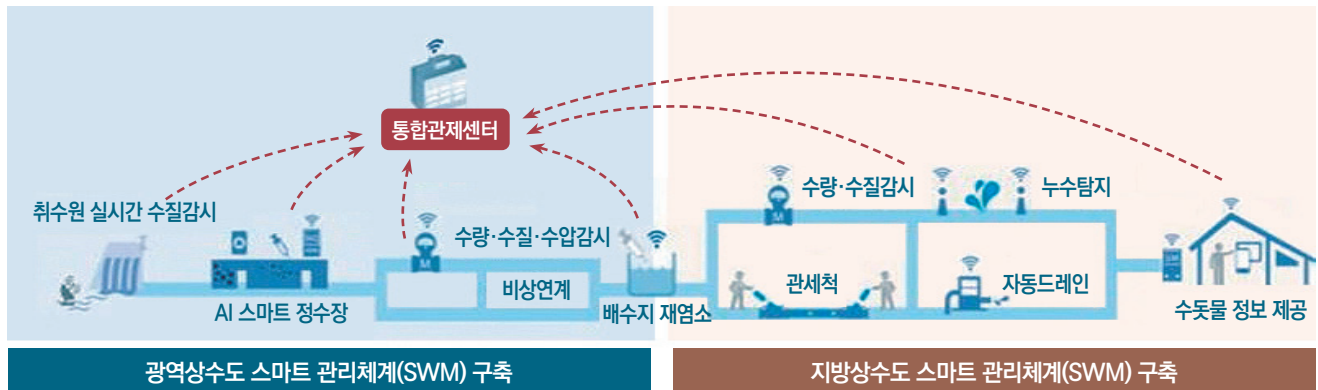


최근에는 이를 기술적으로 뒷받침하기 위한 디지털 트윈 물 관리 시스템 “Digital Garam+ 플랫폼”을 시범적(섬진강 유역)으로 제시하였다. 아울러, 물재해 관리에 있어 SOC의 안전관리 체계 확보를 위한 4차산업혁명 기술(드론, AI, 빅데이터 등)의 적용 또한 필수적이라고 할 수 있기에, 환경부는 ‘25년까지 총 1,000여억원을 투입하여 실시간의 댐 모니터링 시스템과 드론 기반의 안전점검체계, 그리고 댐 디지털 트윈기반의 안전관리 플랫폼 구축 등을 포함하는 “스마트 댐 안전관리”사업도 추진하고 있다(그림 8).

3. 물공급 및 환경관리 분야에서의 디지털 전환

스마트 관망 관리나 수처리의 자동화를 위한 국가적 노력과 투자의 경우, 상대적으로 물재해 관리에 비해서는 선제적 검토가 이루어진 편이다. 최근에는 인천에서 발생한 적수 사고 등이 국민들로 하여금 수돗물의 안정적 공급에 대한 요구를 한 단계 상승시키는 단초가 되기도 하였다. 그 결과 환경부의 상수도에 대한 대책 수립(“수돗물 안전관리 종합대책”, ‘19.11.)이 이루어졌으며, 기존의 광역 물공급 시스템뿐만 아니라, 지방 상수도의 관망에 대해서도 스마트 관리 시스템의 구축에 총 1조가 넘는 규모의 투자가 시행되어 지속적으로

[그림 9] AI·ICT 기반의 국가 상수도 전과정 스마트화



자료 : K-water

추진 중이다. 그간의 투자들이 초기에는 온라인 센싱 기반의 운영관리에 집중되어 있었다면 점차 확보된 데이터의 가치를 증진시키기 위한 빅데이터 분석기술, AI 응용기술 등으로 디지털 전환의 무게중심도 차츰 옮겨지는 추세라고 할 수 있다.

몇 가지 사례 중 하나로, 환경부의 지방상수도 현대화 사업이 있다. 이는 관망정비 공사가 포함된 사업대상 구역의 우수율을 85% 이상으로 하여 1년 이상의 성과보증 기간을 만족해야 하는 사업이다. 사업은 성공적으로 추진되고 있으나, 초기 투자 이후에도 지속적인 모니터링과 유지관리가 필요한 부분이 있다. 예를 들어, 현재의 블록시스템 구축을 통한 야간수량 감시나 수압관리(감압밸브 등)를 확대하고, 민원⁸⁾을 고려해 실시간이나 준 실시간의 감시기능을 통해서 관의 손상 감시나 신속한 복구 등에 대응하도록 할 수 있다. 그 외에도 물수요 특성을 반영하기 위해 대수용가 중심으로 스마트 미터링을 확대하고자 한다. 또한, 앞서 수재해 관리와 마찬가지로 장기적으로는 물공급 시스템의 수리적 해석이나 수질 해석을 데이터 분석기법과 통합 또는 연계함으로써 다양한 운영관리 의사결정에 활용하고자 하는 기술적 요구도 존재한다.

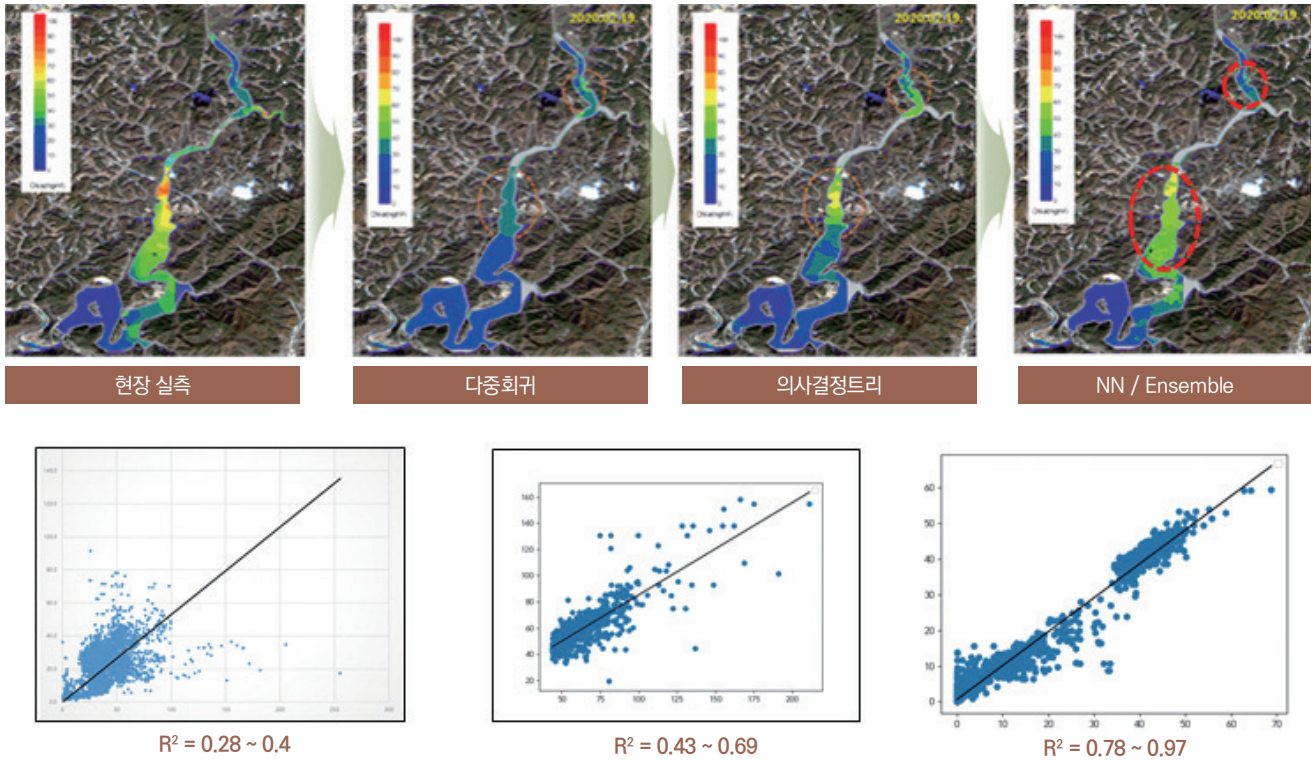
또 다른 정부의 뉴딜 사업 중 하나(광역 Smart Water Management)로 추진 중인 스마트 정수장의 사례를 보면, K-water가 운영 중인 정수장(화성)에 약품투입 공정이 자율 운전될 수 있도록 하고, 이를 통해서 침전수의 탁도를 안정적(1NTU 이하)으로 유지⁹⁾하면서도 약품 절감(약 4%)이 가능하도록 성공적으로 추진되었다. 대부분의 공정(착수, 침전, 여과, 소독, 오존산화 등)에 대해서도 기존 운영 데이터를 활용한 기계학습을 기반으로, 시범사업에서 AI 의사결정의 안정성과 정밀성 등을 판단¹⁰⁾한 결과 94% 이상 수준인 것으로 나타났다. 뿐만 아니라 정수장 내에서 에너지를 많이 소모하는 설비인 펌프의 운영 조건(수위, 밸브의 개도 등)을 실시간으로 분석하여 정수장이 요구하는 목표에 대해서 최소의 에너지를 이용하게끔 조절하는 기술이나, 용수수요의 예측이 가능한 경우에 전력사용량을 파악하여 정수장에 필요한 전력의 피크값을 설정하는 기술 등의 적용이 확대될 예정이다(43개 AI정수장 구축에 약 485억원 규모).

8) 상수도 민원은 특정 사안에 대해서 해당 지역에 집중적으로 발생하거나 원인 해결이 되지 않을 경우 주기적으로 나타나는 특성이 있으며, 시공간적 분석, 그리고 SNS 등 연계도 가능할 것임.

9) 수처리공정 가이드라인 상의 침전수 탁도 목표는 2NTU 이하이지만, 다소 공격적인 목표를 두고 이를 달성한 사례

10) 목표를 기준치 이하의 수질 유지가 가능한 경제적인 값으로 고정하여 평가하는 것도 최적화의 측면에서는 적절할 수 있으나, 실제 수처리공정은 시설의 안정적 운영을 목표로 하기 때문에 수질이나 운영설비의 변동성이 크지 않도록 관리하는 것(정밀성 등)을 목표로 할 수 있음.

[그림 10] 통계와 기계학습을 활용한 위성분광자료와 현장 녹조분포의 맵핑



출처 : 정지영 등(2022), 고해상도 위성영상과 머신러닝을 활용한 녹조 모니터링 기법 연구, 수자원학회

유역의 환경관리 및 수원의 관리 분야에서도 모니터링과 분석 능력 고도화 등에 디지털 기술의 다양한 활용이 추진되었다. 모니터링 분야에서는 위성이나 드론과 같은 원격탐사를 활용하여, 하천이나 댐·저수지 등의 수질, 녹조를 효과적으로 분석하는 기술들이 개발되어 적용되고 있다. 분석 분야에서는 수질 예측에 필요한 데이터를 AI 기술 등을 활용하여 증강(주간 단위로 채수되는 수질항목의 일단위 추세를 AI 등을 통해 분석)하거나, 기존의 2차원이나 3차원적인 수치모델로도 해석이 까다로운 오염물질(망간 등)이나 어류종과 같은 생태모델까지도 데이터 기반으로 해석함으로써 기존의 분석, 예측 능력을 보완하는 등의 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(차윤경 등, 2020).

4. 물분야 디지털 전환을 위한 기반 기술과 적용 방향

위와 같이 물분야 디지털 전환과 관련된 기술의 범위와 목표는 다양하게 검토될 수 있을 것이다. 이에 대해 확립된

체계는 없을 것이나, 본 고에서는 향후 참고자료 활용 등의 목적을 감안하여, 물분야 디지털의 기초가 되는 4차 산업혁명(DNA) 관련 요소 기술을 센서(Sensor), 모바일/장비(Mobile/Device), AI, Robot, 클라우드(Cloud), 그리고 디지털 트윈으로 분류하고, 적용 대상을 물재해 관리와 환경관리, 물공급 관리, 시설(SOC) 안전 등으로 나누어 표 3과 같이 정리하였다.

앞서 디지털 트윈 기술의 활용에 대해서도 논의했지만, 최근 디지털 기술의 적용 동향을 살펴보면, IoT, 스마트 센서 등에 의해 확보된 데이터와 증강된 시뮬레이션 등을 활용해서 AI(기계학습 등) 기술을 개발하고 지속적으로 학습을 수행하는 것이 중요해지고 있다. 물재해 관리나 수처리, 환경관리, 시설안전을 막론하고, 전통적인 관점에서도 데이터와 물리기작에 기반한 분석 도구가 지속적으로 개발되었지만, 물이라는 유체가 가지는 해석상의 불완전성 등에 있어 이러

[표 3] 물분야 디지털 기술 적용의 예시(K-water 등)

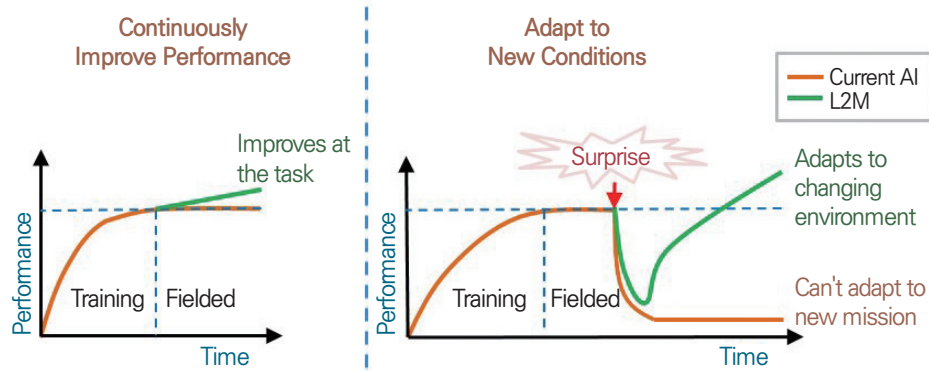
구 분*	Sensor	Mobile/Device	AI	Robot	IoT/클라우드	디지털트윈
물재해 관리 (홍수-가뭄-기후변화 대응 등)	위성자료 기반 미계측 유역 수문량 추정	자동 유량 측정 및 분석 기술 SNS 등 활용 재해자료 수집/분석	수문 시나리오 자동 생성 댐운영 기술 고도화 및 (반)자동화	드론활용 유역 모니터링 및 제약사항 조사 등 유지관리	유역-하천-지하수 등 3D 공간정보 취득/생성 기술	유역 내 수리·수문 시뮬레이션 및 분석결과 운영 연계
환경관리 (수질관리, 생태 모니터링 등)	수질-수량-식생관련 수문인자 위성정보 추출 기술	(준)실시간 수질 자료 취득 및 이상치 감지/ 보정 기술	하이브리드 (AI-물리모형 연계) 수질 수생태 예측 기법	ROV를 활용한 저수지/ 하천 오염원(조류 등) 제거 기술	광역 모니터링 자료 통합 관리 및 응용 기술	수질, 녹조 등 분석/ 예측 및 관리 기술
물공급관리 (상하수도, 대체수자원 등)	실측과 가상 센서링 기반의 물수요 예측 및 사고(동파 등) 예측 감시 기술	고객별 물데이터(수돗물 수질, 수량 등) 정보제공 실측-예측기반모바일 요금/챗봇 서비스	공정 처리효율 및 생산량 예측 에너지 관리 최적화 및 설비 예지 보전	3D 프린터 활용 수처리 공정 효율 향상 기술 시설 유지보수 자동화 기술	가상화 기반의 플랜트 구현 기술 예지 보전 기반 자산관리 최적화 관망 운영(유량, 압력) 실시간 감시	시설 운영관리, 공정 운영 (반) 자율운전 도입 수도시설 잔존수명 예측 기반 개대체 의사결정 지원
SOC안전 관리 (관망안전, 댐-하천 등)	컴퓨터 비전과 CCTV, 센서 융합형 사고(상태) 감지(화재, 근로자 등)	시설정보 기반의 스마트 구조물 안정성 모니터링 기술 계측기 이상 및 오류 감지/ 관리 기법	시설물 계측데이터의 AI분석 기반 실시간 감지 컴퓨터 비전 기반 구조물 손상 및 이상 자동 검출	관망 유지 보수 (세척, 갱생) 기술 ROV/로봇기반 수중 보수보강 드론 활용 시설물 3D 가상화 기술	안정적 시설 관리와 사고 대응을 위한 데이터 증강 기술 공정 이상 실시간 위기 대응 체계	관망 운영 시뮬레이션 기반 최적 사고 대응 및 유수율 관리 기법 AR/MR 기반 안전정보 표 출 플랫폼 및 운영자 교육, 사고 대응 훈련 시스템

* Sensor : 스마트 센서, 센싱 데이터 D/B 등
 Mobile : 이동형 측정·모니터링·분석 디바이스, F/A 네트워크 기술 등
 AI : 인공지능 의사결정 전반, 최적화 기술, 가상 센서 등
 Robot : 드론 기술, 3D 프린팅 기술, ROV 기술, 자동 운영 기술 등
 IoT/Cloud : 스마트 제어·계측, 오결측 자동화 관리, 물분야 소프트웨어 표준 운영 등
 Digital Twin : 시설물(BIM) 데이터, 시뮬레이션, VR/AR/MR 활용 기술, 시설 운영·관리 기법 등

한 분석도구에 따른 공학적인 답안(Answer)이 반드시 솔루션이 되는 것은 아닌 경우가 많다. 이는 결국 의사결정의 효율성을 낮추거나 자율화, 자동화(Expert system)로 이행되는 단계를 저해할 수 있다. 이를 보완하는 여러 가지 방법론들이 제시될 수 있는데, 그 중 한 가지 방법으로 기존의 공학적 시뮬레이션 방법에 부가해 실시간으로 디지털 기반(IoT 데이터, AI 학습) 자료를 업데이트하여 의사결정이 가능한 수준의 성능으로 지속적인 예측치와 분석치를 도출하는 것이 있다. 이를 위한 데이터 확보와 이용가능한 수준의 정제, 데이터 융합을 위한 기법 등 데이터 관련 기술의 개발은 물관리 전 분야에서 지속적으로 이루어질 것으로 보인다.

전반적으로는 데이터 분석을 위한 자료의 품질관리를 위해서 적정 주기별로 품질관리를 일정 부분 자동화할 수 있도록 해야하는데, 이는 기술발전 속도에 따라 물관련 데이터의 양과 적용범위가 점점 더 크고 빠르게 변화할 것으로 판단되기 때문이다. 이에 맞게 분야별로 적절한 표준화 방향과 룰 제시 및 이에 따른 품질관리 수준의 조정체계도 필요할 것이다. 또한 기상-수문-원격탐사-시설관리-처리-공급-수요예측(Social data와 연계)까지 데이터간 효과적 연결 체계와 함께, 나아가서는 디지털 기술(AI분석 등)에 적합한 활용표준 검토도 필요하게 될 것으로 예상된다.

[그림 11] 디지털 기반의 의사결정의 성능을 유지하기 위한 지속적인 데이터 분석 (DARPA)



또한, 데이터 기반의 분석 활용이 강화되고 다양해짐에 따라 분석 모델의 전이성(transferability)에 대한 컨센서스도 필요해진다. 전이성이란 예를 들어 “A”정수장의 “가”공정에 대한 분석 툴 또는 알고리즘을 “B”정수장의 동일 공정에서 응용하여 활용하는 것을 뜻하며, 경우에 따라서는 “가”공정이 아닌 유사한 공정에 대해서도 효과적으로 적용할 수 있는 것을 의미한다. 대체적으로 기존의 물리기반 모델(Physical-based model)은 이론적 기작(mechanism)을 가지고 있으므로 그 기작이 적용가능한 범위에서는 전적으로 전이성을 가지고 손쉬운 검증과 함께 기술확산이 가능하지만, 디지털 물관리 등에 있어서는 해당 분석결과를 얻기 위해서 데이터만을 활용하거나 데이터를 합성(증강)하여 분석하는 경우가 점점 증가할 것이므로 이에 대한 검토가 필요하다는 것이다. 이에 대한 대안으로서 최근 AI 분야에서는 설명가능한 AI(XAI, Explainable AI) 등이 각광받기 시작했지만, 아직까지는 데이터에서 도출된 결과에 대해서 설명력을 보완해주는 기능 중심으로는 한계가 있는 것으로 판단되며, 앞으로의 통계 기법이나 데이터 해석 기술의 발전에 큰 영향을 받을 것이다. 분명한 것은 결국 디지털 환경에서 수집되고 분석되는 데이터의 양과 질에 대한 검토는 분석 기법에 우선할 것이라는 사실이다.

III. 나가며

‘21년 10월 가트너(Gartner)에서 발표한 디지털 비즈니스 미래 Top 12 트렌드 기술(Top Strategic Technology for 2022)에서는 디지털 전환 이행 및 조직의 성장 가속화와 전략적 발전을 위한 목적 지향성 기술들을 선정하였는데, 쉽게 예상되는 바와 같이 향후 3~5년간 영향력과 용도가 확대될 혁신적 기술들을 기반으로 하는 빅데이터/AI 관련 기술들이 대부분을 차지하고 있다. 물분야의 디지털 전환 추세에서도 이러한 트렌드는 시기의 차이만 있을 뿐이다. 마침 AI의 기술에 대한 글로벌 표준화¹¹⁾와 기준정립이 서서히 논의되기 시작한 시점으로, 조영임(2021)에 따르면, “AI 기술이 적용되는 시스템을 운용하기 위한 가이드라인 및 품질관리, 오류 감소 등 표준화된 기준 또는 요구사항들이 AI 생태계 내에 정립되면서 시스템간 상호 운용성을 증진시킬 수 있는 환경이 조성됨은 물론, 국제적인 기준의 일치화를 통해 AI 기술의 시장 및 관련 이해관계자의 제품, 서비스의 신뢰성을 향상시키는 데 도움이 될 것”으로 보고 있다.

반면에, 글로벌 선도기업인 구글이나, 아마존, MS 등은 효과적인 AI 수행 프로세스(MLOps)를 개별 표준화하고, AI 플

11) ISO/IEC JTC 1 SC 42(인공지능), 간사국은 미국(ANSI: American National Standards Institute)임.

랫폼(AI as a Service)화하여, 이를 기반으로 한 자사의 비즈니스를 확장¹²⁾하고 있다. 이는 디지털의 효율성 측면에서는 바람직한 부분이 있으나, 플랫폼 산업의 승자독식적 특징이 물분야 디지털 기술 접목의 기술적 다양성을 저해할 수 있다는 입장도 있다(윤주환, 2022).

효율성을 중요시하는 디지털 전환의 흐름 속에서 물분야의 다양한 기술을 활용하고 적용하면서 물산업을 진흥하고, 또한 물이 가지는 공익적 가치를 유지하기 위해서는 물분야 이해 당사자와 기술개발자, 정책입안자 간의 다양한 논의와 협력이 필요하다. 특히, 앞서 말했듯 공학적인 답안이 즉각적으로 최종적인 의사결정에 이르지 못하는 경우, 가급적 상위의 가치조정을 통한 의사결정을 이루는 것이 적절하다. 이를 위한 핵심은 데이터의 공유에 있으며, 이미 물관련 데이터들이 다양한 관계기관으로부터 개방 및 공유되고 있기는 하지만, 물분야 디지털 전환이라는 목적을 달성하기 위해서는 보다 혁신적인 수준의 데이터 개방도 고려될 수 있을 것이다. 예를 들어 K-water의 경우에는 '21년 물분야 디지털 플랫폼 전문 부서를 설치하고 운영 중에 있다. 현재 데이터 개방 수준은 50~60%¹³⁾로 낮은 수준은 아니라고 볼 수 있으며, 물 플랫폼 기반의 참여자 맞춤형 개방 등 다양한 데이터 공유 방안도 추진하고 있다.

마지막으로, 물분야에서의 디지털 전환을 통해서도 분석이나 의사결정의 불확실성을 완전히 해소할 수 없다고 한다면, 최소한 불확실성의 정도를 파악하고 그 가치를 판단할 수 있는 기술의 개발과 정책적 뒷받침이 필요하다. 예를 들어 물 관리 분야별로 인공지능을 어디까지 활용할 수 있는지¹⁴⁾를 전제로 하여 기술개발과 연구가 이루어지는 것이 개발 성과에 대한 효용이 클 것으로 보인다. 또한, 물관리 분야별로 적절한 데이터 모델의 정의와 활용(유스케이스), 검증 방안 등을 다양한 참여자들이 제시하고 논의할 수 있는 장을 마련하는 것도 바람직할 것이다.

참고문헌

- 과학기술정보통신부(2018), I-Korea 4.0 실현을 위한 인공지능(AI) R&D 전략
- 김성훈 등(2021), 사회기반시설로서의 물관리와 AI, 대덕넷&AI프렌즈 AI 페스티벌
- 김준하(2020), 포스트코로나, 신 기후시대의 한국형 뉴딜 제안
- 남영현·김성훈(2021), 지속가능 물관리를 위한 ESG와 인공지능, 물과 미래(한국수자원학회)
- 대통령인수위원회 디지털플랫폼 정부 TF(2022), 디지털 플랫폼 정부 혁신전략 세미나('22.4.7 국회의원회관)
- 박노혁(2021), 디지털로 바라보는 바람직한 물재해 관리, 대한토목학회지 Vol.69 No.7
- 사공호상(2018), 4차 산업혁명을 견인하는 '디지털 트윈 공간(DTS)' 구축 전략(국토연구원)
- 유도근 등(2021), 사이버물리시스템 및 디지털트윈 기반 도시수자원 인프라 운영 의사결정 프레임워크 개발 방향, 물과 미래(한국수자원학회)
- 윤주환(2022), 디지털 물관리와 스마트 물산업 (국가물관리위원회)
- 이민화·주강진(2019), 디지털 트랜스포머에서 스마트 트랜스포머로 : 4차 산업혁명의 구현방법론을 제시하다
- 이상은, 김성훈(2015), 물재난분야 예방투자 의사결정을 위한 국내외 기술역량 구축 동향, 한국토지주택공사 LHInsight
- 전경수 등(2022), 기계학습 모형을 이용한 홍수예측, 한국수자원학회 제33회 통합물관리포럼('22.6)
- 정지영 등(2022), 고해상도 위성영상과 머신러닝을 활용한 녹조 모니터링 기법 연구, 수자원학회
- 조영임(2021), 인공지능(Artificial Intelligence) 이슈와 국제 표준화 동향, SPRI
- 차윤경·신지훈·김영우(2020), 자료기반 물환경 모델의 현황 및 발전 방향, 대한환경공학회지 vol36. No6. pp.611-620.
- DARPA(2017), Microsystems Technology Office, Broad Agency Announcement, Lifelong Learning Machines(L2M), HR001117S0016
- GE, MWH, Stantec(2017), The Digitalization of Water(Intelligent Platforms for Water Abundance)

12) 구글의 GCP, 아마존의 AWS, 마이크로소프트의 Azure 등

13) 데이터베이스상 공유 가능한 1,270개 테이블 중에 714종을 개방

14) 분석 데이터 제공, 조수(assistant)로서 활용, 의사결정에의 개입 등

K-water(2020), K-water 新 가치체계 및 전략과제, 2020.7

Laura von Ruedel, et. al.(2021), Combining Machine Learning and Simulation to a Hybrid Modelling Approach: Current and Future Directions

PUB(2019), Innovation in Water Singapore, 2019.6

<https://sensus.com/wp-content/uploads/Sensus-Smart-Water-20-20-8.5-X-11-White-Paper.pdf>

<https://www.gartner.com/en/information-technology/insights/top-technology-trends>

<https://www.globalwaterintel.com>

IWA, Xylem(2019), Digital Water(Industry Leaders chart the transformation journey)

Xlyem(2018), Smart Water Solutions for Resilient Water Future, ADB Knowledge Event, Manila Philippines('18.9 발표)