

물 순환체계 효율화를 위한

# Water Digitalization

K-water연구원

이 경 혁

# CONTENTS

**01** 디지털 워터 개념 및 정의

**02** 디지털 워터 도입 배경 및 필요성

**03** 물 서비스 분야 사례

**04** 디지털 워터 기술 도입 제언

# Water Digitalization(디지털워터) 정의

※ WIKIPEDIA, 네이버 백과사전 인용

- **전산화(Digitization)** : 아날로그 정보를 (컴퓨터 인식 가능) 디지털 형태로 변환하는 기술적 과정
- **디지털화(Digitalization)** : 산업,시장 등에서 기술적 변화를 유도하는 유기적 과정. 즉, 제조업의 경우 사물 인터넷(IoT), 인공지능(AI) 과 같은 혁신적 기술에 해당하는 요소 기술들을 적용하여 새로운 제품을 생산하는 것
- **디지털 전환(Digital Transformation)** : 디지털 기술, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 솔루션등을 적용한 플랫폼을 구축, 활용하여 전통적인 제품 생산의 운영 방식과 공급 서비스 구조를 혁신하고 창조적인 변화를 일으키며 기존의 효율을 향상 시키는 것.

물을 중심으로 사회적 변화를 선도하는 디지털 워터

- 물 종합 서비스(수집, 생산, 공급 등)에 대한 기존 운영과 서비스 방식의 **효율성** 외에도 사회를 **혁신**하고 **창조**적으로 변화시키기 위해 최신 디지털 기술을 적용할 물 서비스 분야의 패러다임

# 디지털워터의 방향성

## 혁신성

### 기존 물 서비스 체계 변화(공급→수요 중심)를 통한 삶의 질 향상

- 소비자 관점의 수량,수질 관리, 물 서비스 정보를 통한 사회 환경 서비스(예, 하수역학, 상수도 정보 웹니스)

## 효율성

### 신속하고 정확한 의사결정을 통한 물 공급서비스 향상(고객 만족&비용 절감)

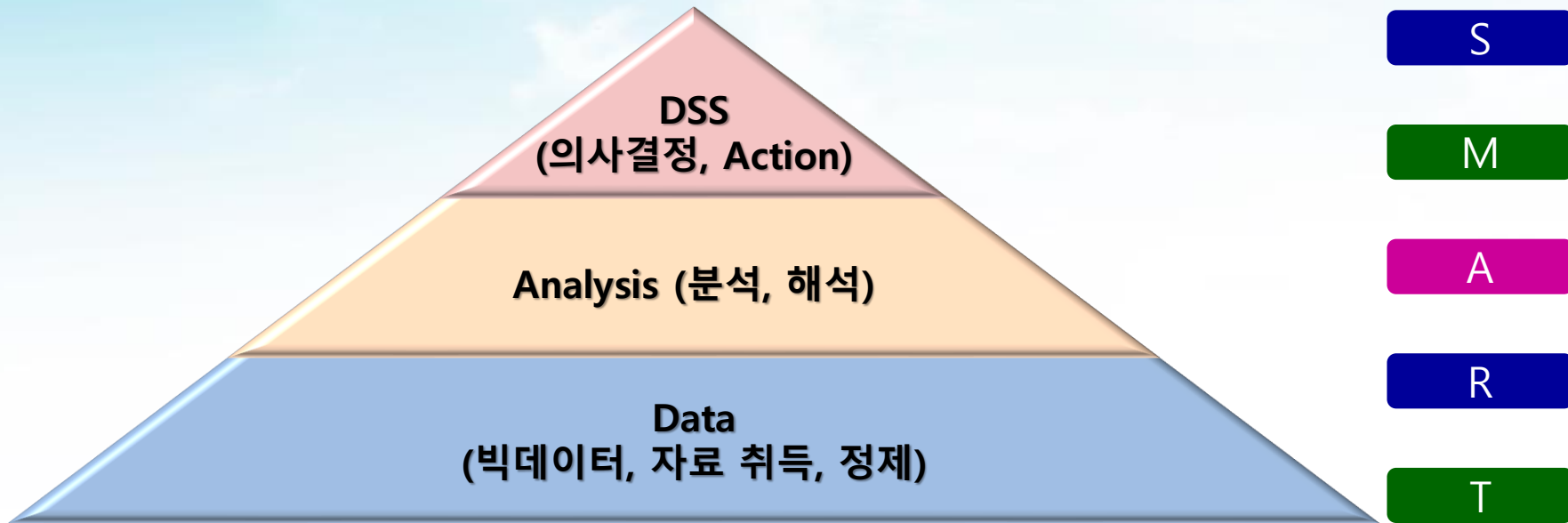
- 상하수도처리장 운영의사결정 지원, 유수율 향상, 수질 변화 최소화

## 창조성

### 물 시장 규모 확대(타 산업분야 기술 적용) 신사업 창출의 선순환 구조의 산업 활성화

- IoT 센서, 데이터 분석 기법의 물 시장 적용, 물 서비스에서 창출한 데이터 및 기술을 타 산업분야에 활용

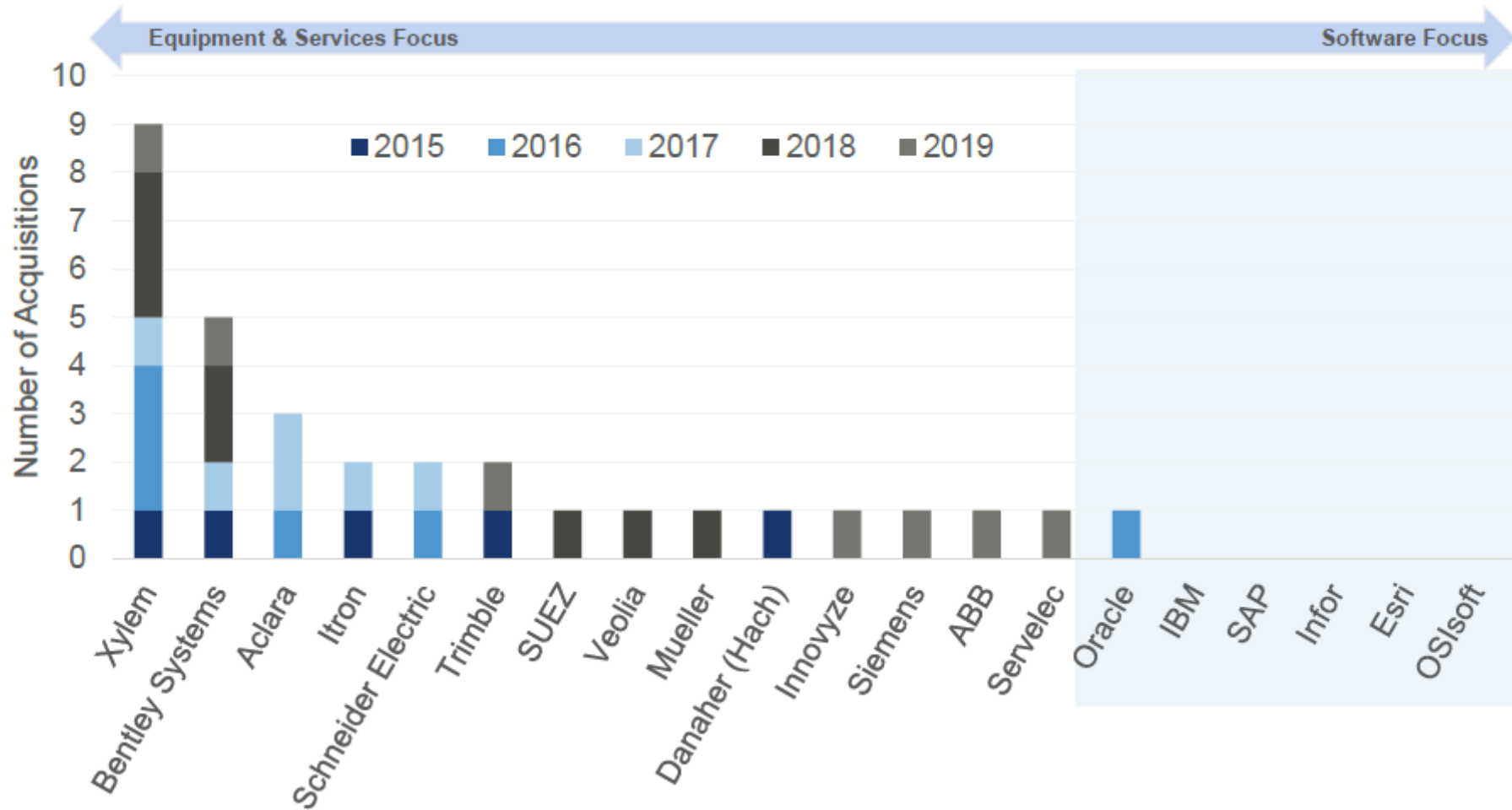
# 디지털워터의 기술적 체계



SMART 기술	<u>S</u> ensor <u>M</u> obile <u>A</u> I <u>R</u> obot <u>I</u> oT
(1) <u>S</u> ensor : 스마트 센서, 센싱 데이터 D/B, 가상 센서 등	
(2) <u>M</u> obile : 이동형 측정·모니터링·분석 디바이스, F/A 네트워크 등	
(3) <u>A</u> I : 인공지능 의사결정 전반, 최적화 기술, VR/AR/MR 활용 기술 등	
(4) <u>R</u> obot : 드론 기술, 3D 프린터 기술, ROV 기술, 자동 운영 기술 등	
(5) <u>I</u> oT : 스마트 제어·계측, 오결측 자동화 관리 등	

# 디지털 워터 회사별 합병 현황

※ Bluefield Research 보고서(2020)

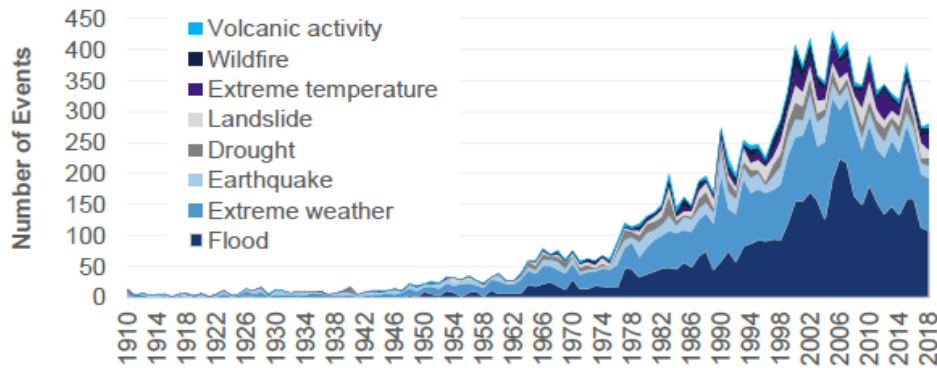


- IoT, 센서 등 데이터 생성 및 데이터 정제 분야 합병 활발

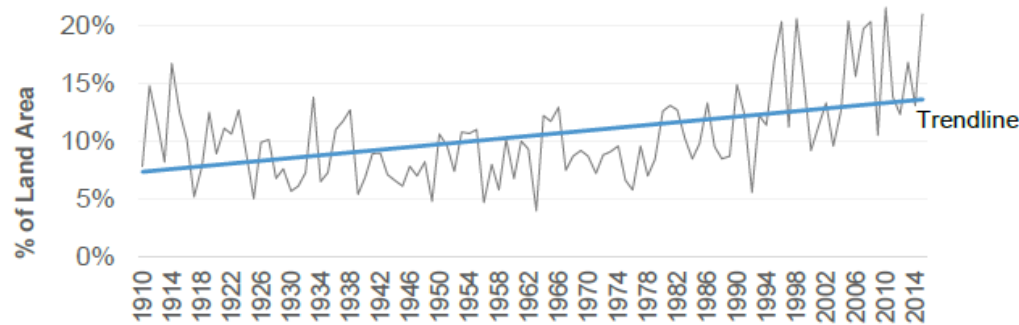
# 디지털워터 도입 필요성(기후 변화)



Global Natural Disasters by Type



Single-day Precipitation Events by Share of Land, U.S.



Source: EM-DAT (2019): OFDA/CRED International Disaster Database, Université catholique de Louvain - Brussels - Belgium, National Oceanic Atmospheric Administration, Environmental Protection Agency

## 기후변화(기온,홍수,가뭄,지진 등)

- 재난 대비 물 인프라 점검, 구축 필요성 증대
- 국지적 가뭄 및 도시화 등으로 인해 수자원 운송거리가 길어져 에너지 사용량 증대
- 재해/재난 대응 비상시 (수량/수질)신속하고 안전한 대체 물 공급 방안 요구

물 서비스의 분산화/다양화(대체수자원, 극한 수질 조건, 증가하는 계측 데이터 등) 공급자 의사결정의 **신속성,정확성** 요구



# 디지털워터 도입 필요성(정수처리 운영 비용 증가)

근대화

산업화(공장폐수 오염)

기후변화(자연 재해유래 물질 오염)

1900

1989

2000

2012 -

정수시설 도입  
(국내 최초 독도 정수장,  
1900)

• 낙동강 페놀사고, 디클로로  
메탄, 1,4 Dioxane 사고,  
THM 증가

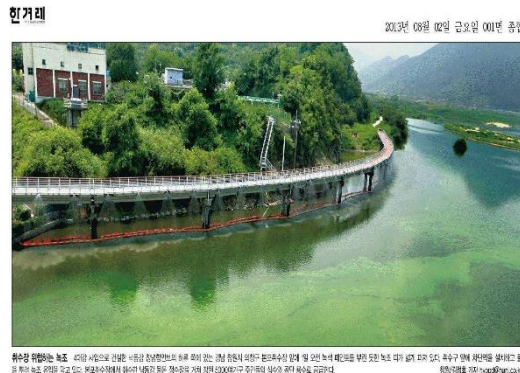
• 수도권 조류 발생  
농도 증가

• 과불화합물(PFAS)  
및 유충 발생

낙동강 수계  
고도정수처리 적용

한강 수계  
고도정수처리 적용

낙동강 수계  
(초고도처리 공정) 검토

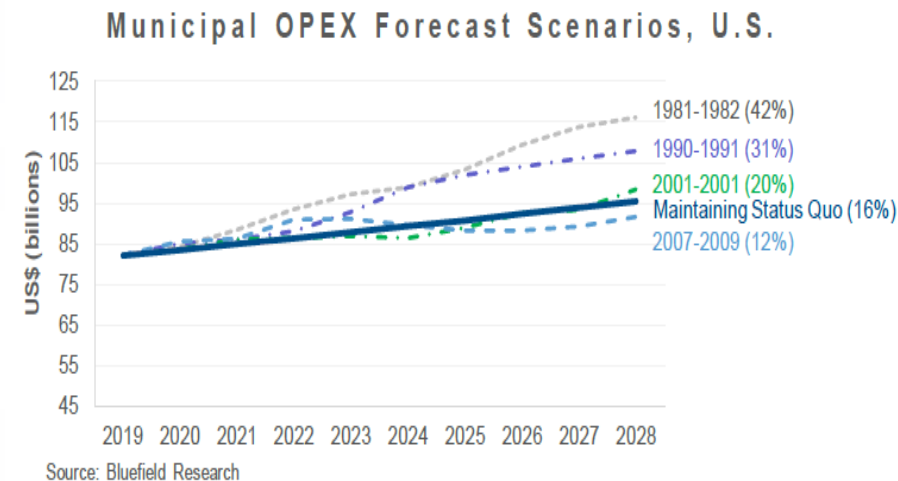
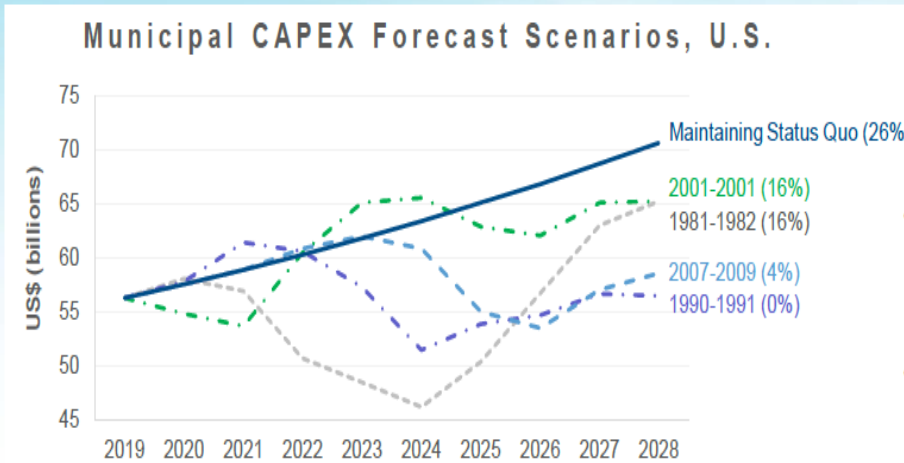


- 오염물질의 증가로 정수처리 추가적인 정수처리 공정 도입 위한 투자비, 운영비 (에너지,약품비) 증가 ➡ 효율적인 운영 의사 결정 시스템 요구

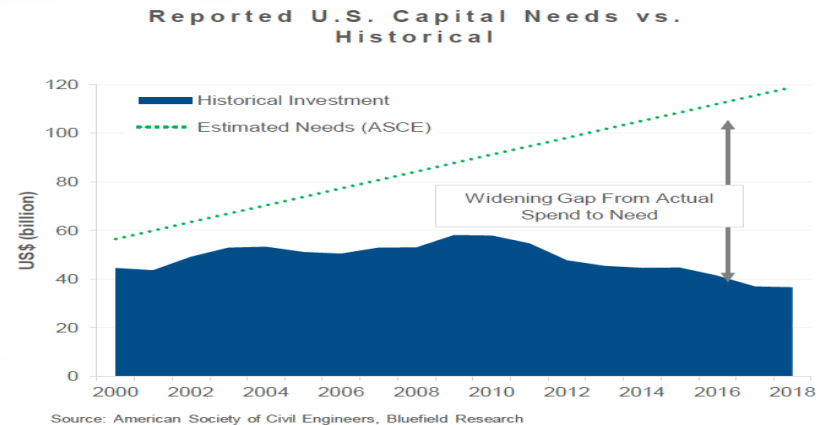


# 디지털 워터 도입 필요성(인프라 노후화 증가)

※ Bluefield Research 보고서(2020)



- 연도별 미국 상하 수도시설 **투자비**는 경기 상황에 따라 변동 폭이 큼
- 2007 -2009년, 4% 증가
- 시설 투자에 필요한 투자비만큼의 예산 확보 어려움



- 연도별 미국 상하 수도시설 **운영비** 증가율 점차 감소 추세
- 필요한 운영비 수준 예산은 확보 가능

- 수도 시설의 대규모 투자를 통한 인프라 구축보다 **효율적인(Smart) 물 관리** 이용을 통해 **기존 인프라 활용** 예상

# 디지털워터 도입 필요성(국내 인프라 노후화)

- 환경부 현대화 사업 : 2017 - 2028년(12년)
- 총사업비 : 3.1조(국고 1.8조)
- 사업 목표: 유수율 70% 미만 지자체 대상 85%로 향상
- 사업 대상 :118 지자체(연간 500억 절감(연 2,500만톤 절감) 효과)

그림자

100년의 역사를 가진 우리나라 상수도 시설이 세월과 함께 급격히 노후화 되고 있습니다.

전국 상수관 185,709km의 31.4% (58,234km), 전국 정수장 486개소 중 58.8%(286개소)가 20년 이상 경과된 노후시설로 기능이 급격히 떨어지고 있습니다.



□ (비용 분석) 사업규모(급수인구)별 유수율 제고 비용 분석 및 전망

○ (Case 1) 유수율 제고 단계(80% 이하) 비용 분석(1%p 제고)



○ (Case 2) 유수율 유지 단계(80% 이상) 비용 분석 전망(1%p 제고)

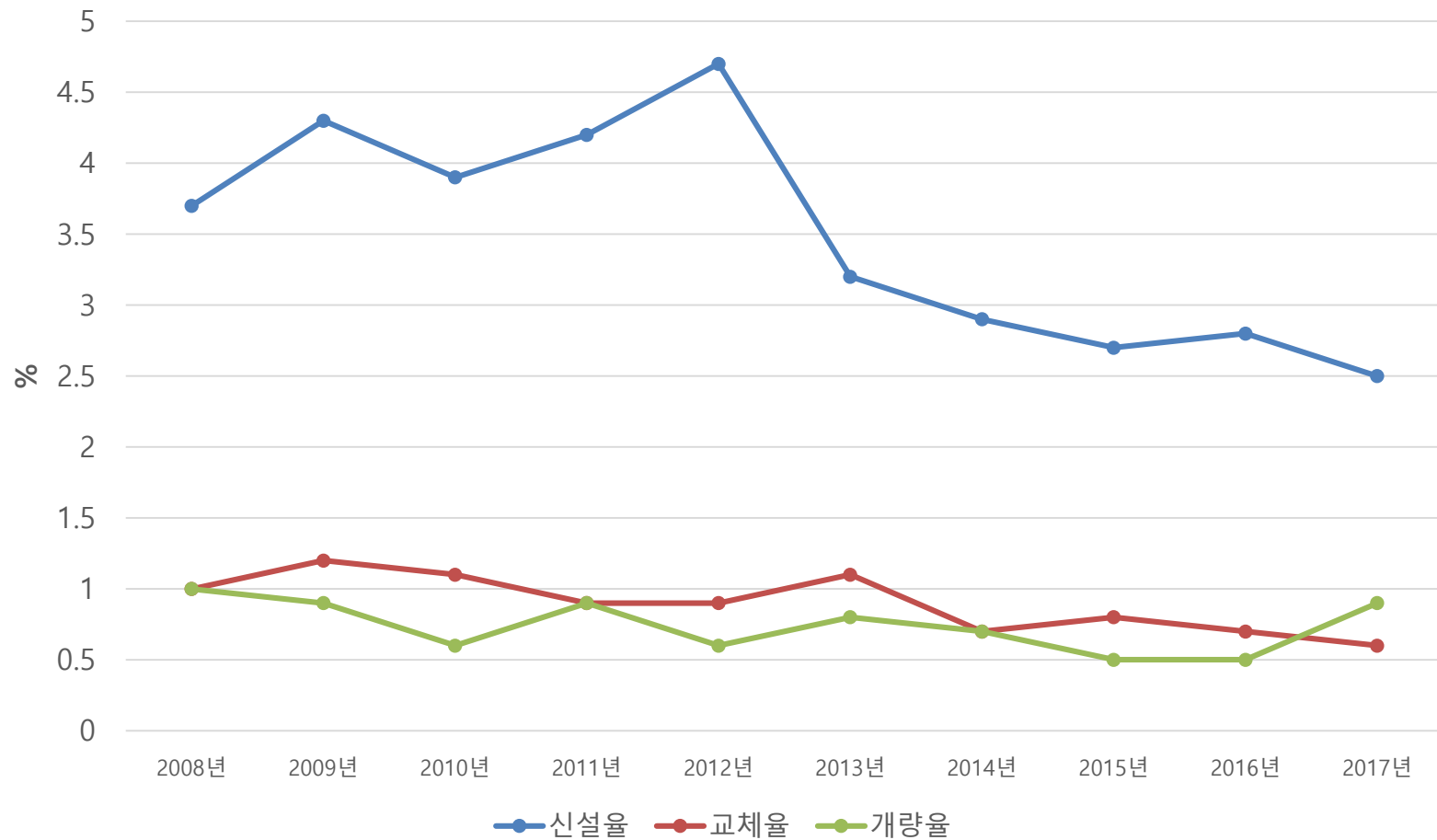


⇒ <분석결과>

- ▶ 사업규모에 따라, 단계별 유수율 제고(1%p)비용은 비례증가 패턴을 보이며 유지단계에서 3.1배로 현격히 증가, 중요 리스크로 작용 전망

- 80% 이상의 유수율 상승시 상대적으로 높은 투자비용 요구 → 기존 방식의 투자비 한계

# 디지털워터 도입 필요성(국내 인프라 노후화)

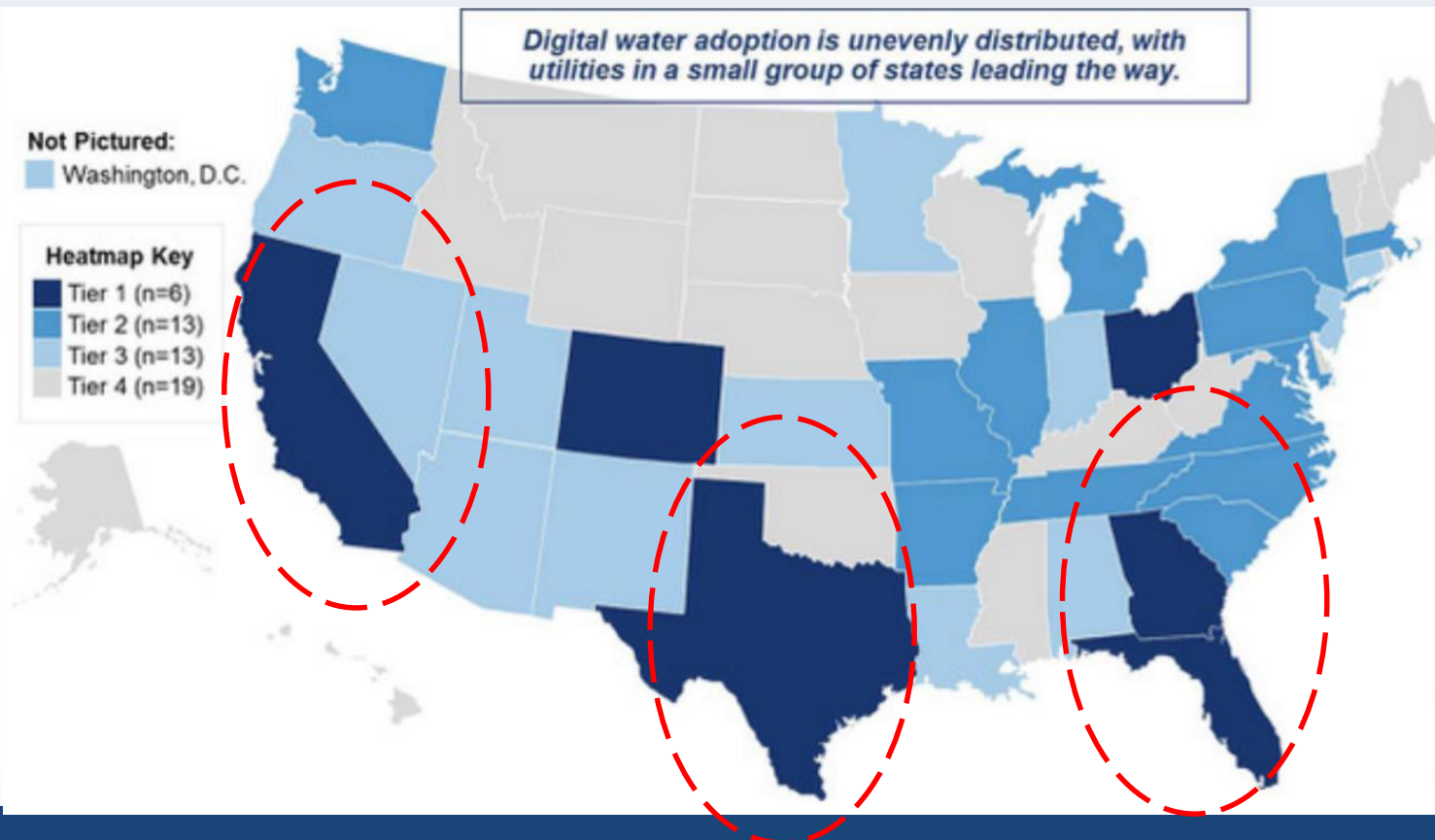


- 국내 관로 신설율(3% 수준), 교체,개량률(1% 수준)으로 관로 인프라의 완전한 개선 어려움

# 미국 지역별 디지털워터 프로젝트 진행 건수

## ➤ 디지털워터가 확산 영향이 큰 지역

- 가뭄, 홍수 영향 받는 곳(수자원 관리의 효율적 운영)
- 수질관리가 어려운 곳(정수장, 하수처리장 효율적 운영)
- 합류식 하수관거의 월류 문제가 발생하는 지역(우수,하수의 수량의 효율적 운영)
- 상,하수도 인프라의 노후도가 큰 곳(인프라관리의 효율적 투자)
- 관로 누수가 큰 곳(상수도 인프라의 효율적 운영)

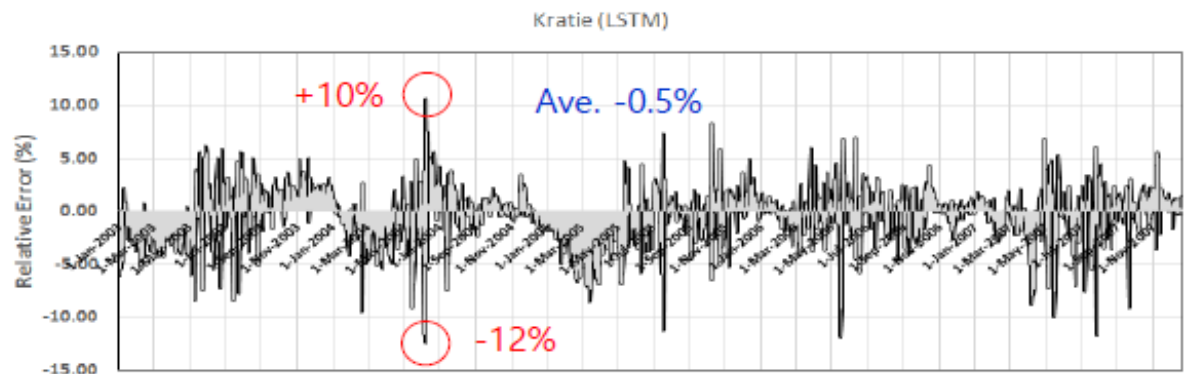
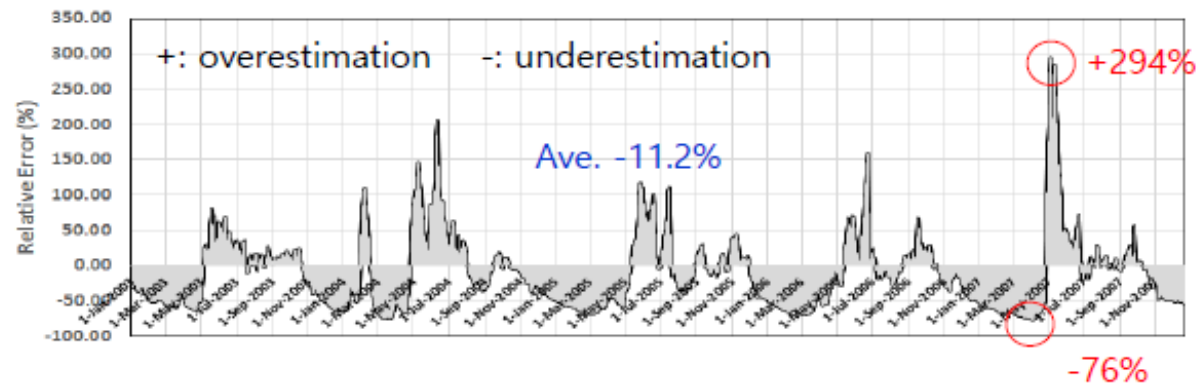


# 디지털워터 적용 사례(메콩강 강우 유출 예측)

- Data Driven 모델(LSTM알고리즘) 이 전통적인 물리적 모델(SWAT)보다 오차율이 작고 안정적임 (경북대, 이기하, 2018)

Comparison of physics-based and data-driven models for streamflow simulation of the Mekong river

J. Korea Water Resour. Assoc. Vol. 51, No. 6 (2018), pp. 503-514



# 디지털 워터 적용 사례(핸드폰 기지국 활용 강우량 측정)

- 핸드폰 기지국간 주파수를 활용하여 지역적 강우량을 측정하여 홍수 대비
- 저비용 강우량 예측 기술 적용

※ OECD Report(2019)

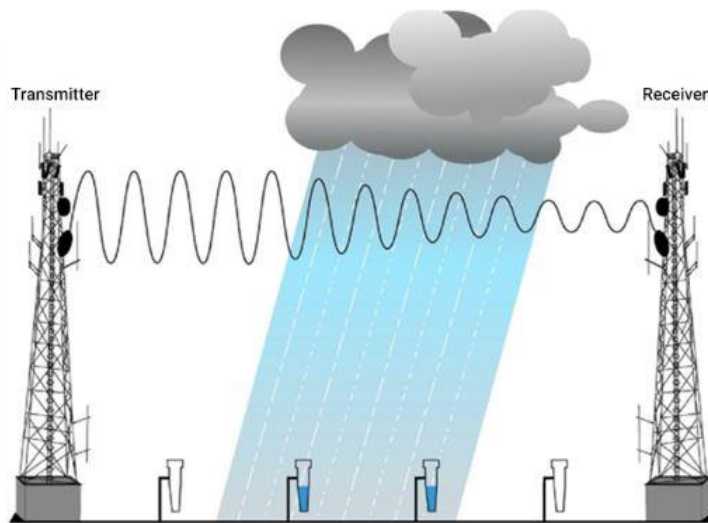
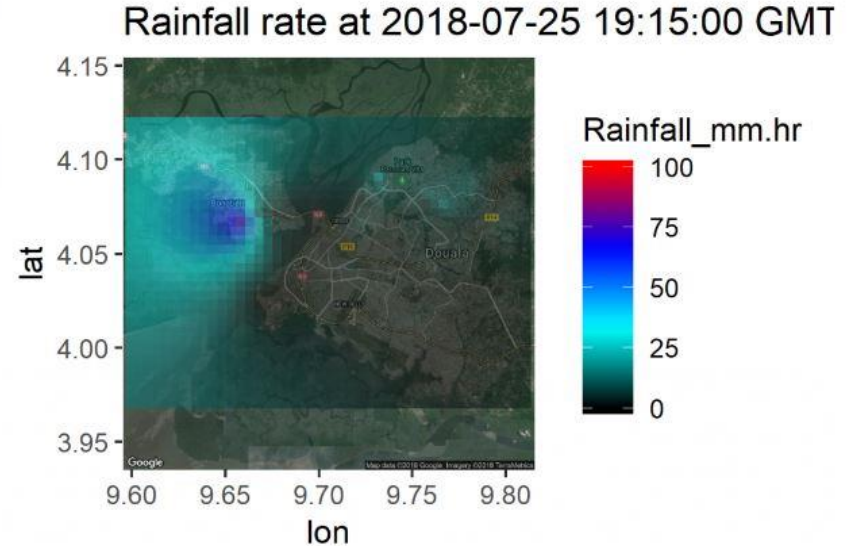


Figure 1. Illustration of the SMART project basis – the Rain Cell method: radiowaves between the RF towers from mobile phone networks are attenuated by rainfall.





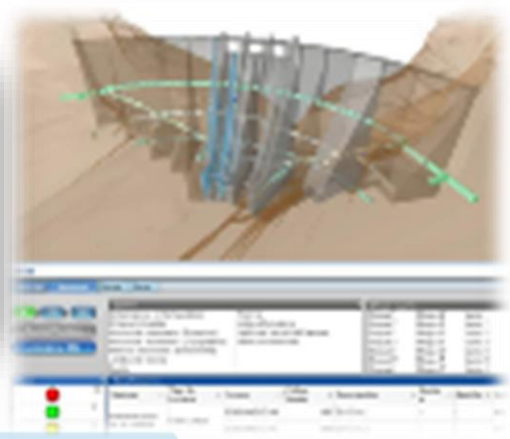
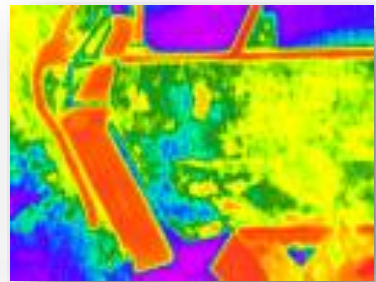
# 디지털 워터 적용 사례(드론 활용 댐 구조물 안전 점검)

## As-IS

- 담당자 노하우 중심 시설관리
- 댐 안전점검 접근 제약지역 인력에 의한 안전점검 장시간 소요, 작업 위험 가중
- 콘크리트 구조물 육안조사에 의한 균열 상태 파악
- 전입, 신입 직원 댐 안전관리 업무 교육훈련은 개별 노하우 중심 시행

## To-Be

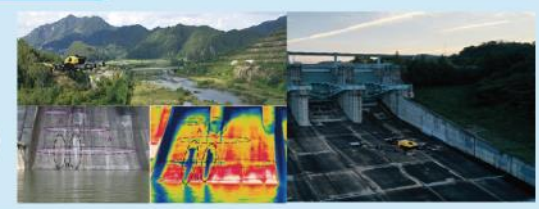
- 드론 디지털 매핑 및 영상분석, 계측 정보 시각화에 의한 입체적·직관적 댐 안전점검
- 콘크리트 구조물 현실 모델링(Reality Modeling) 및 AI 딥러닝에 의한 자동 균열 검출기술 활용
- 전입, 신입 직원 댐 안전관리 업무의 디지털 트윈 모델을 활용한 교육훈련



### 드론 매핑 댐 안전점검



관리기관 육안조사 및 단순 계측자료 중심 댐 안전점검  
접근 제약지역 안전점검 시간 소요 및 작업 위험 가중

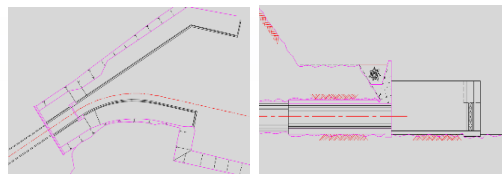
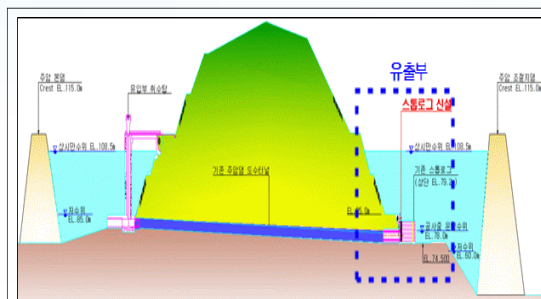


드론 디지털 매핑 및 영상분석 입체적·직관적 안전점검  
접근 제약지역 점검 효율성 및 정확성 개선

# 디지털 워터 적용 사례(수중 구조물 진단 ROV)

※ ROV : Remotely Operated Vehicle

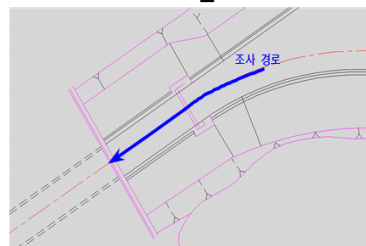
- 물 인프라 안전관리 활용을 위한 수중 조사·진단용 ROV 고도화
- 수중구조물 안전관리 고도화를 위한 정보/모니터링 체계구축 기술 개발
- 수중구조물 안전성능 향상을 위한 Smart 수중 보수·보강 방안 제시



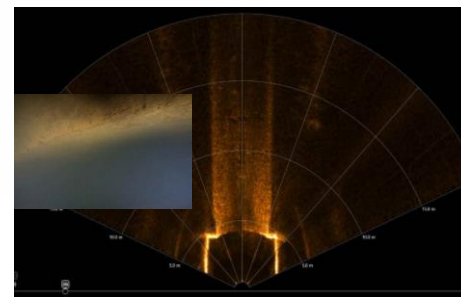
시범 적용 위치 및 조사 광경



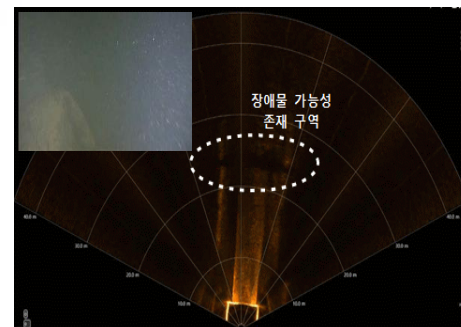
K-water\_ROV1



ROV 진입경로



입구부 확인 (소나 및 영상)



장애물 확인 (소나 및 영상)

영상캡처 이미지



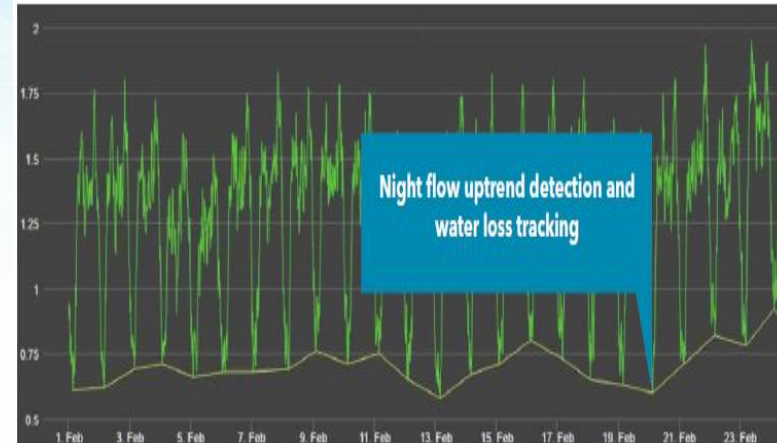
# 디지털 워터 적용 사례(초음파 센서 활용 누수 탐지)

## LeakVIEW Sensing Equipment

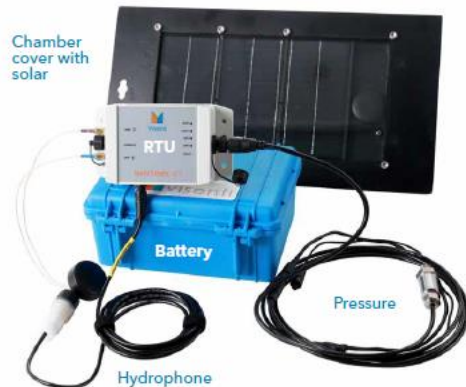
Visenti's pressure-hydrophone sensing equipment can fit to any installation scenario



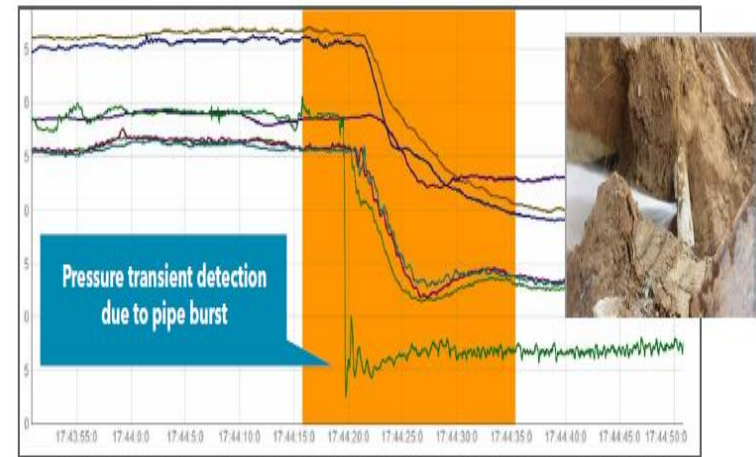
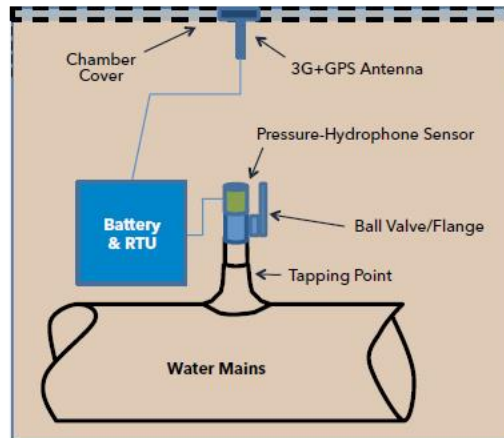
Underground deployment



Hardware available with low profile solar panel integrated into chamber cover



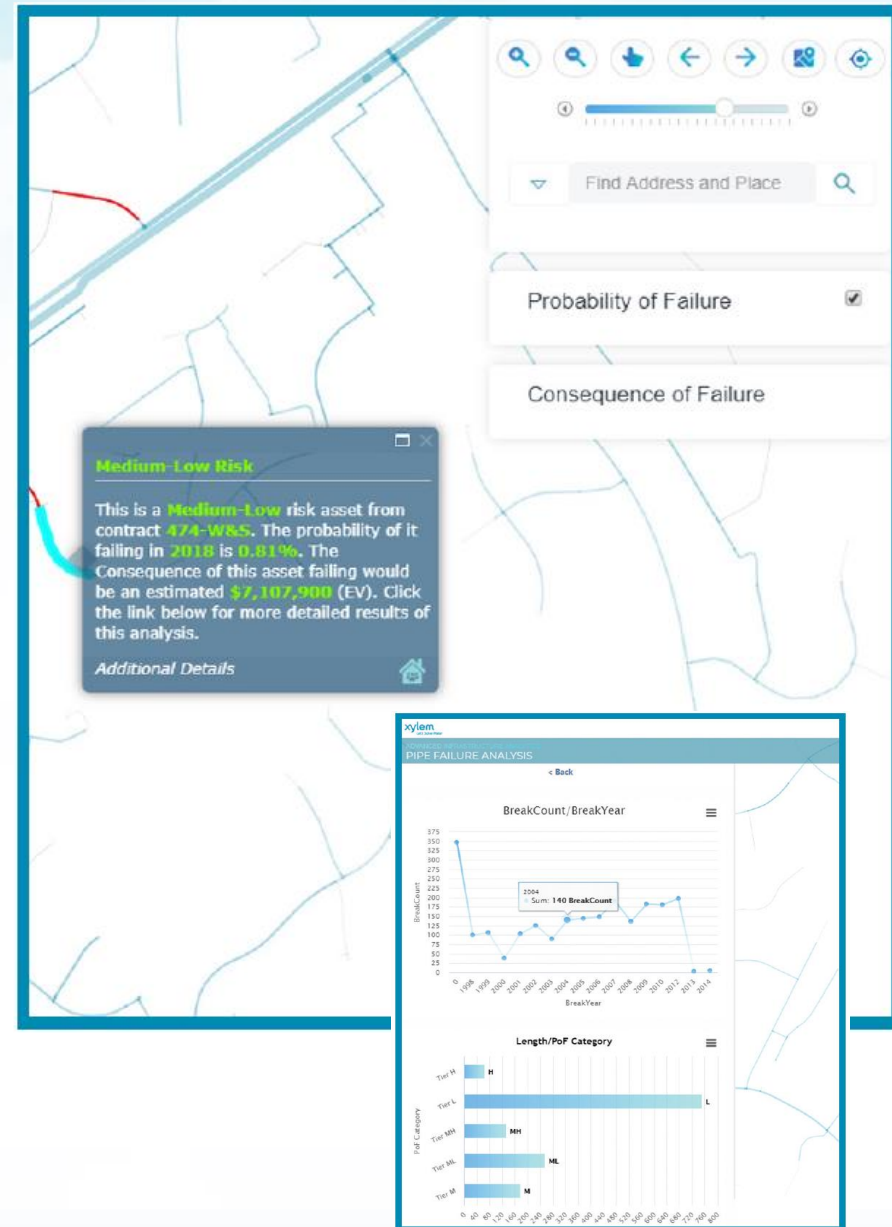
Underground tapping schematic



- 일정 간격(약200m) 초음파, 압력, 청음 분석을 통해 누수 및 관 파손 위치 및 사고 발생 예측

# 디지털 워터 적용 사례(관 파손 확률 평가 프로그램, Xyelm)

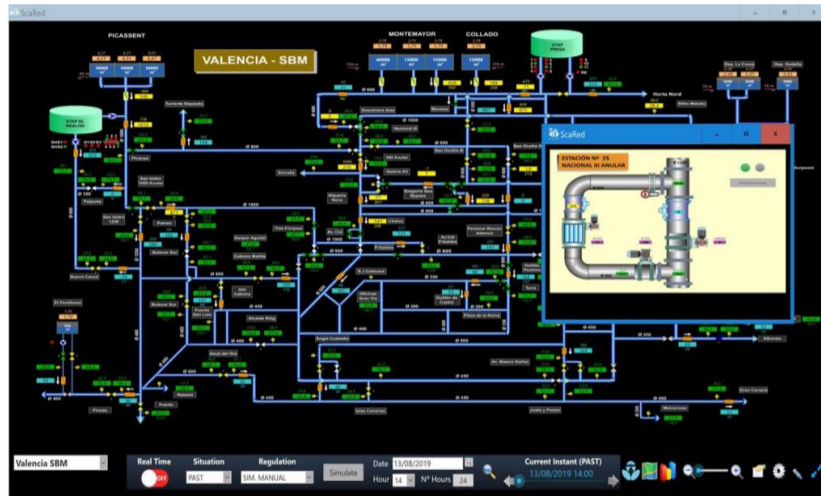
- 관로 교체를 위한 다양한 변수의 데이터 베이스 활용한 파손 확률 분석 프로그램(Pipe Failure Analysis)
  - 매설환경(토양, 습도, 관종, 관경, 곡관, 밸프, 소켓 형태 등)
  - 운영 조건(유속, 수질조건 등)
- 관로 투자 교체 우선 순위 결정
- 미국 북동부 중소도시 적용
  - 급수 인구: 27만명
  - 관로 길이: 1,600km(평균 수명 50년)
- 연간 관로 교체 비용 700억 절감
- 관 파손 사전 감지로 단수 사고 민원 발생 예방



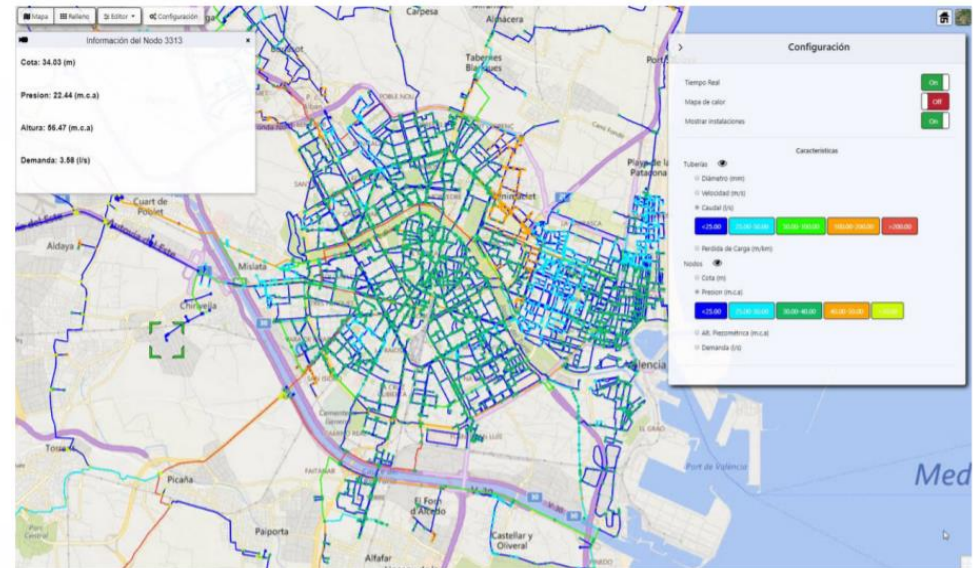
# 디지털 워터 적용 사례 (관망 운영 Digital Twin)

## ➤ 스페인 발렌시아 관망 관리 시스템(GoAigua)

- : 시 전역 700,000 스마트 미터 설치
- : Machine learning, artificial intelligence, Big Data, and advanced algorithms 적용
- : 제공솔루션 : field validation, leakage detection, work order management, virtual office (What if 시나리오 제공), Customer service, and DT
- : 적용결과 : **압력 2%, 유량 4% 오차 정도 발생, 이를 통해 저수지 수위 정확하게 계산해냄**



GoAigua visualization of Global Omnium DT in Valencia, Spain and its metropolitan-area water distribution network



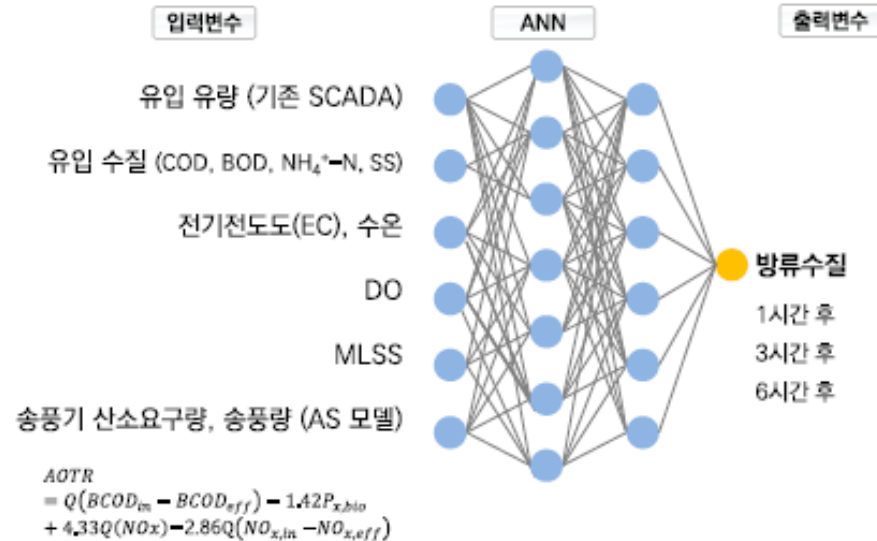


# 디지털 워터 적용 사례(하수처리장 에너지 최적화)

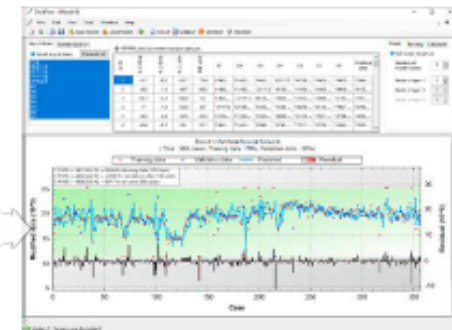
부강테크

AI기반 에너지 최적화 프로그램

- 머신러닝을 이용한 방류수질 예측 및 최적 운전 제어 활용
- 대덕산업단지 송풍방식 맞춤형



방류수질 예측 프로그램



- ☑ 머신러닝 알고리즘 적용
- ☑ 방류수질 기준 검토 및 조기경보
- ☑ 과거 운전 자료를 활용한 모델 자가 학습
- ☑ 미래 수질 예측에 의한 공정 운전 제어 활용

- ANN(인공 신경망) 알고리즘을 활용하여 유입수 수질 대비 방류수질을 예측하고 에너지를 최소화 하기 위해 미생물 활성슬러지 반응기 송풍량을 최소화 함



- 장기적으로 요금 지불 능력 향상
- 물값의 수익 사용 투명성 향상
- 고지서 충격, 미납자, 단수 조치 감소
- 온실가스 배출 감소(시설 운영)
- 수자원의 보존 및 관리 효율 향상

- 데이터 기반 운영 및 의사결정 제공으로 운영 실수 감소
- 운영 의사결정 신속화
- 예지 보수를 통한 긴급보수 감소 및 시설 중지 횟수 감소
- 수질 위반 등 규제 위반 횟수 감소
- 수질 민원 사례 감소



- 운영비 절감에너지 사용량 및 유지 보수 비용저감현장 유지 보수 비용과 고장 확률 저감
- 투자비 효율 증가
- 예상치 않은 관 파손 비용 감소
- 적절한 인프라시설 복구 비용 투입
- 정확한 유량계 측정으로 매출 증가 및 디지털 서비스를 통한 가치 제고

- 기후변화 및 인구증가에 대한 유연성 확보
- 시설의 구조적 안전도 증가
- 긴급복구 감소로 안전을 증가
- 물 관련 기업 브랜드 가치 상승
- 새로운 기술에 대한 용이한 적용

# 물 서비스 체계의 디지털워터를 위한 제언

## 목표 설정) 인간 중심의 물 서비스 시장의 디지털 전환

- 공급 자 중심 → 수요자 관점의 물 공급 서비스 개선
- 물 공급 시설의 고도의 기술과 경험을 보유한 운영자 의사 결정을 지원

## 기술적 고려) 수집 정보(데이터) 정확성 및 활용성

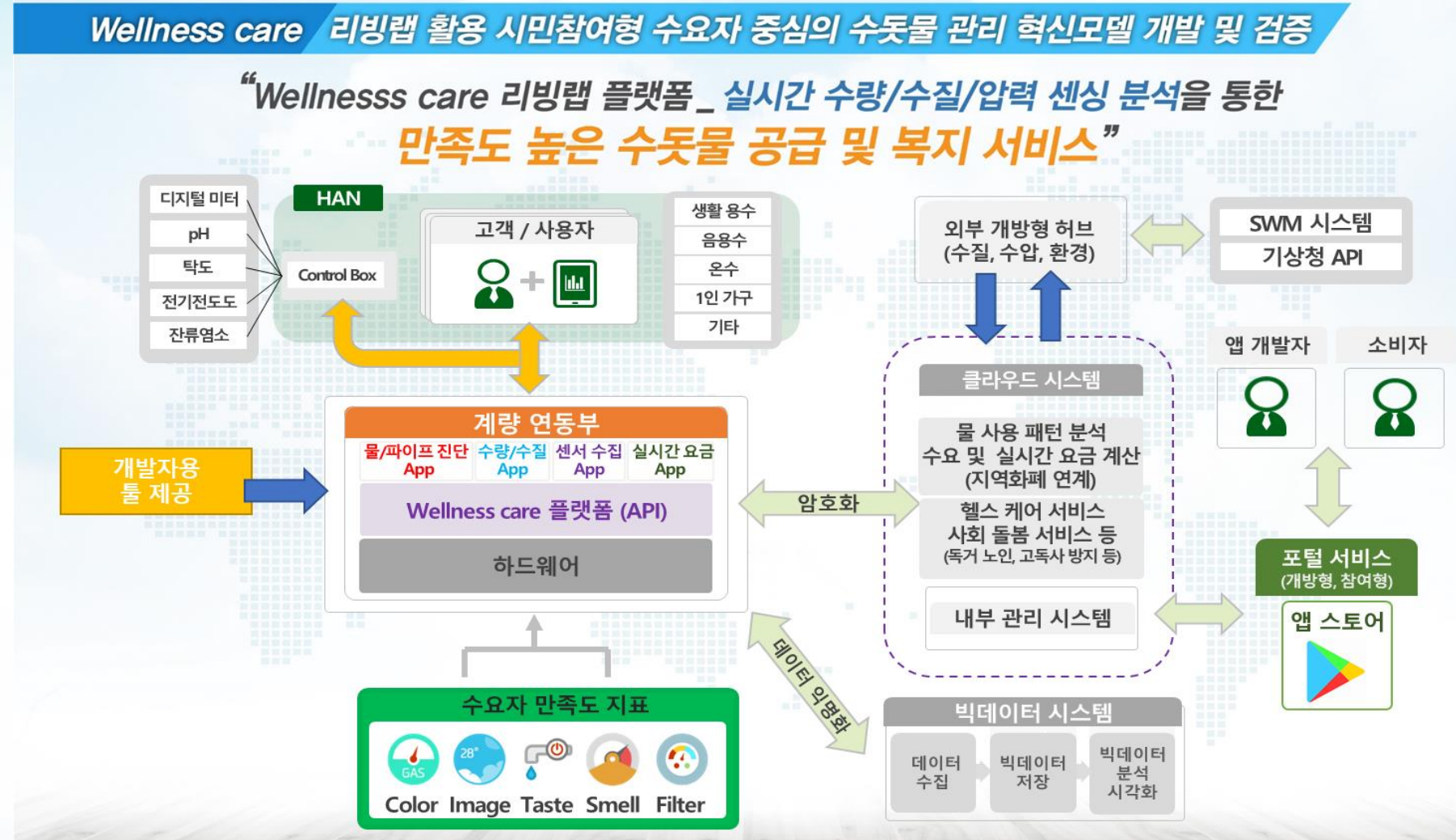
- 데이터 생산,저장 과정에서 오,결측 문제 해결 방안
- 플랫폼을 기반으로 한 다양한 분야 데이터 생산, 가공 기술의 통합

## 파급효과) 물 서비스 적용 기술의 타 분야 신규 사업 창출

- 물 서비스에 생성된 데이터를 사회 활동에 반영하여 삶의 질 개선
- 첨단 IoT(위성, 드론,ROV 등)장비의 물 서비스 시장 적용 확대

# 사물인터넷/감성컴퓨팅 활용 상수도 웰니스 구현 기술 개발

- 연구기간 : 2020 ~ 2024 (환경산업기술원)
- 수행기관 : 한국건설기술연구원, 국민대, 국제도시물정보과학연구원, Leotek



# 물 서비스 체계의 디지털워터를 위한 제언

## 목표 설정) 인간 중심의 물 서비스 시장의 디지털 전환

- 공급 자 중심 → 수요자 관점의 물 공급 서비스 개선
- 물 공급 시설의 고도의 기술과 경험을 보유한 운영자 의사 결정을 지원

## 기술적 고려) 수집 정보(데이터) 정확성 및 활용성

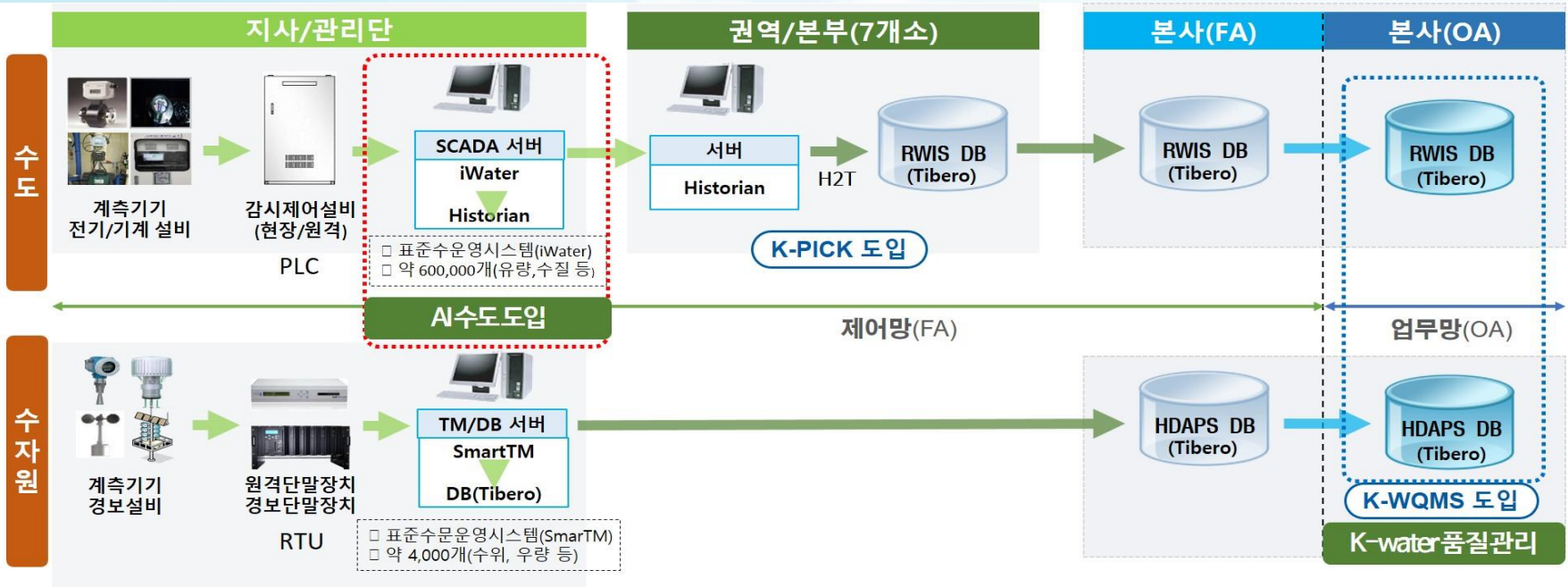
- 데이터 생산,저장 과정에서 오,결측 문제 해결 방안
- 플랫폼을 기반으로 한 다양한 분야 데이터 생산, 가공 기술의 통합

## 파급효과) 물 서비스 적용 기술의 타 분야 신규 사업 창출

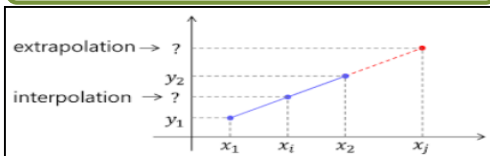
- 물 서비스에 생성된 데이터를 사회 활동에 반영하여 삶의 질 개선
- 첨단 IoT(위성, 드론,ROV 등)장비의 물 서비스 시장 적용 확대

# 디지털워터를 위한 제안

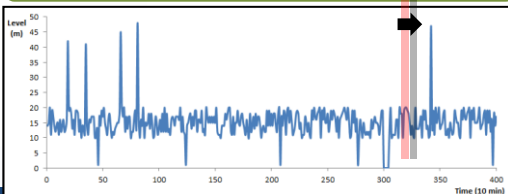
## 수집 정보(데이터) 정확성 (오,결측) 및 활용성



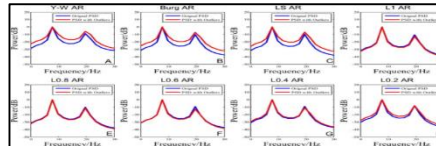
### (보정1) 선형/비선형 보간



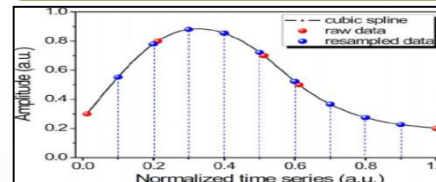
### (보정2) 지정시간 평균 보간



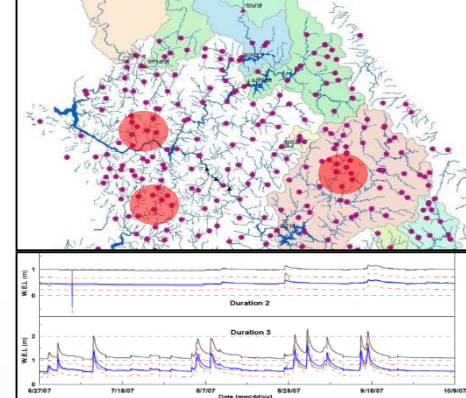
### (보정3) ARIMA 보간



### (보정4) Spline 보간

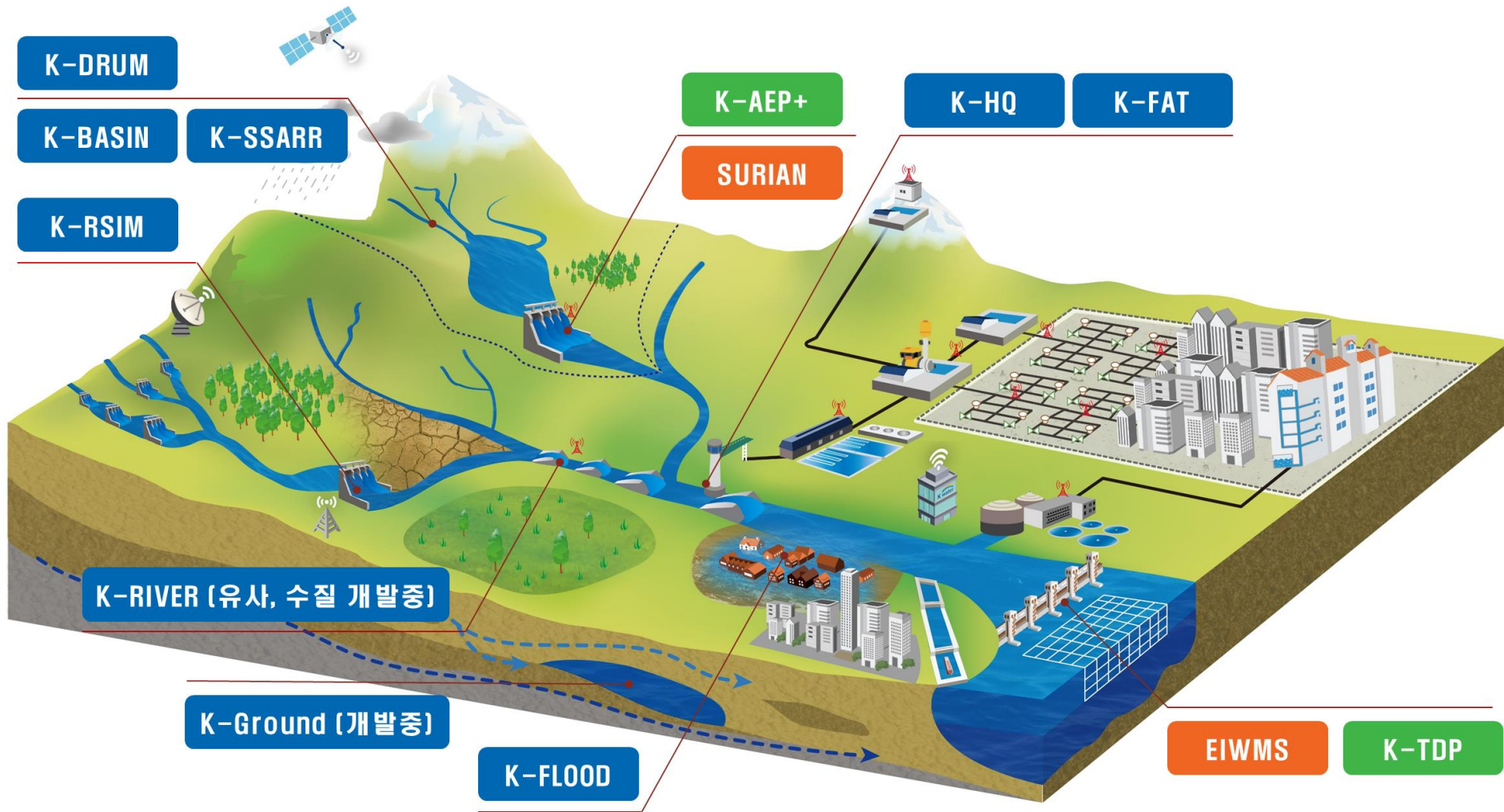


### (보정5) RDS 등 공간보간





# K-Series 소개





# K-Series 소개

## A

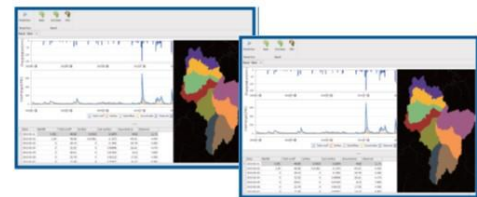
### 유역물관리 분야 기술 SW



K-BASIN

#### 준분포형 유역유출 모형

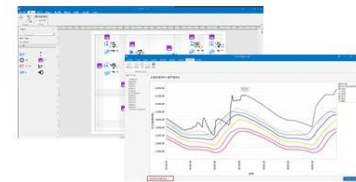
장단기 유출해석 고도화 및 통합물관리를 위한 다양한 분석모형과 연계 가능한 준분포형모형



K-RWSS

#### 저수지 모의운영 모형

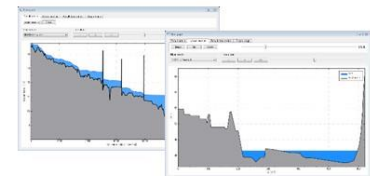
이수기 수계 내 댐의 연계운영을 통하여 효율적 물관리를 지원하기 위한 모형으로 저수지 연간, 분기 및 월간 운영계획 수립시 활용



K-RIVER

#### 1차원 하천흐름해석 모형

불연속 흐름해석과 범람지 홍수모의에 안정적인 하천수리해석모형으로 권역별 IWRM사업 및 해외수자원 사업진출 기반 마련



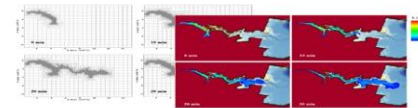
## K-Series 소개

**격자기반 분포형 유역유출 모형**

격자단위의 유역특성 및 강우 공간분포를 반영하여 장단기 유출 및 유사량 산정이 가능. 상시유출량 예측시스템 구성

**2차원 홍수범람해석모형**

하천모형과 연계한 댐 하류하천 범람해석지원을 위한 모형으로 댐-보 연계운동을 통한 홍수피해 저감효과 분석 신뢰도 제고

**3차원 정밀 수리-수질 통합분석모형**

Environmental Fluid Dynamic Code 개선, 댐-보 운영을 고려한 복합유역 수리수질 통합 해석 지원도구

**수위-유량 관계 곡선식 산정 SW**

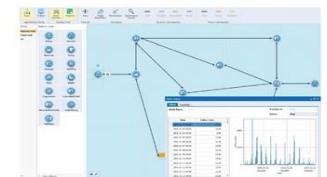
수위-유량 관계곡선식을 생성하는 모형으로 수자원 수문자료 품질향상 및 프로세스 자동화를 통한 업무효율성 개선



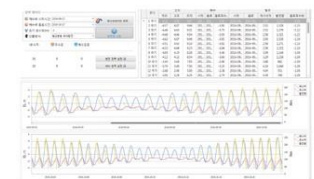
## 에너지 분야 기술 SW

**댐 운영을 고려한 최적 발전량 산정 SW**

발전 및 용수취수 등 댐운영의 탄력적 수행을 지원하고 시기별 발전량을 최대화 하는 가이드라인을 제공하는 범용 분석 SW

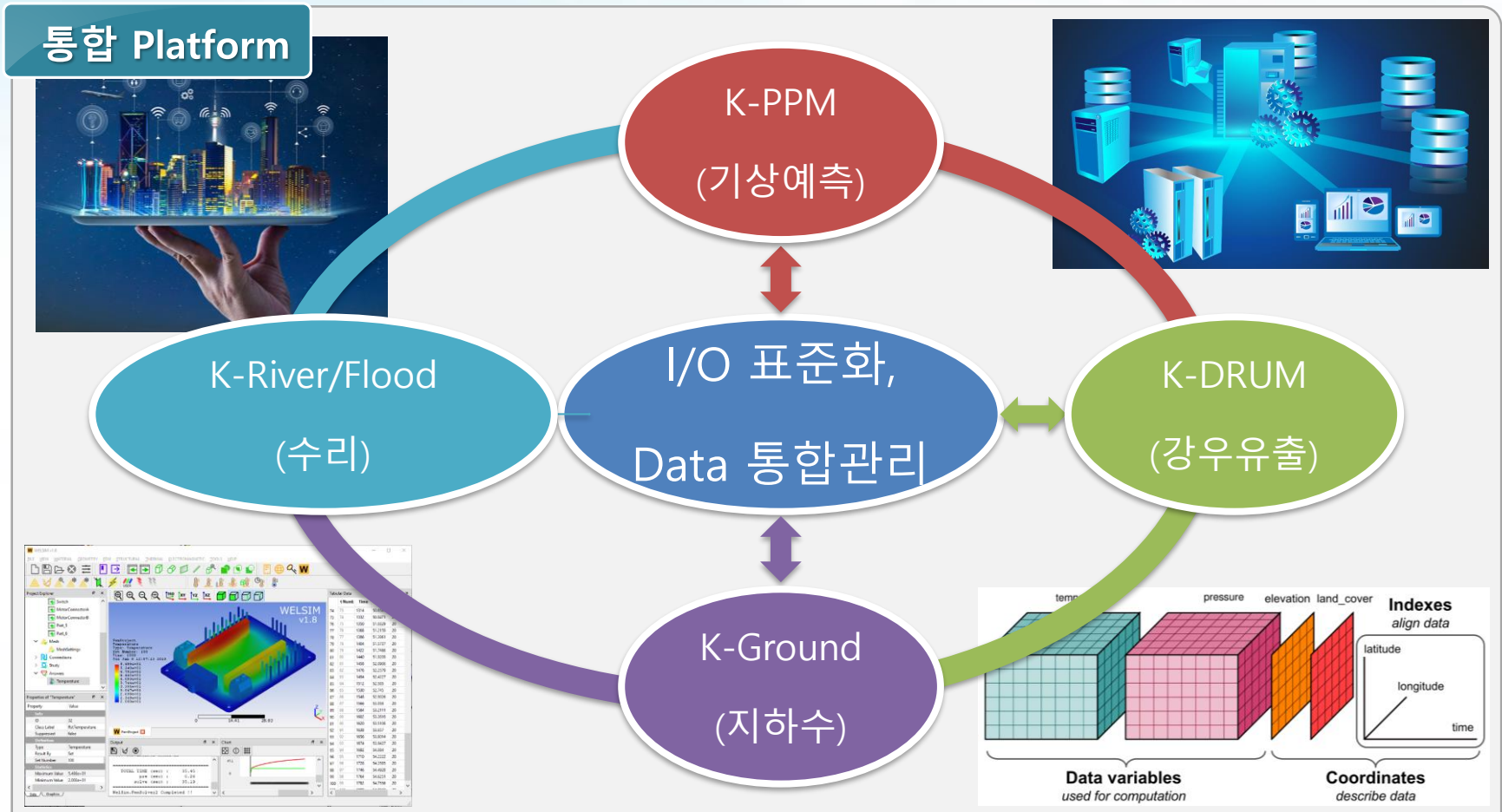
**조력발전운영 SW**

바다-호수 간의 수위 변화에 따른 낙차조건을 기초로 하여 최대발전 운영을 모의하는 시뮬레이션 SW



# K-Series S/W 동적 연계를 위한 추진방향

대상 및 목적에 맞춤형으로 개발된 S/W를 연계하여 공간적 연속성 확보



# 물 서비스 체계의 디지털워터를 위한 제언

## 목표 설정) 인간 중심의 물 서비스 시장의 디지털 전환

- 공급 자 중심 → 수요자 관점의 물 공급 서비스 개선
- 물 공급 시설의 고도의 기술과 경험을 보유한 운영자 의사 결정을 지원

## 기술적 고려) 수집 정보(데이터) 정확성 및 활용성

- 데이터 생산,저장 과정에서 오,결측 문제 해결 방안
- 플랫폼을 기반으로 한 다양한 분야 데이터 생산, 가공 기술의 통합

## 파급효과) 물 서비스 적용 기술의 타 분야 신규 사업 창출

- 물 서비스에 생성된 데이터를 사회 활동에 반영하여 삶의 질 개선
- 첨단 IoT(위성, 드론,ROV 등)장비의 물 서비스 시장 적용 확대

# 하수기반 역학[고려대 김성표 2020]

dongA.com

2020-06-26 03:00:00 편집

함 프린트 00 달기

## 하수처리장에서 코로나 바이러스 감염 경로 찾는다

국내외 '하수기반역학' 연구 시동



현대건설이 올룸비아 베오시에 건설한 하수처리장의 모습. 하수처리장에 모인 생활하수를 분석하면 코로나19 감염을 비롯한 다양한 정보를 알아낼 수 있다. 현대건설 제공

올해 2월 이탈리아 북부 롬바르디아주에서 신종 코로나바이러스 감염증(코로나19) 환자가 처음 보고된 뒤 이 지역을 중심으로 폭발적인 확산이 이어졌다. 방역 전문가들은 바이러스의 확산 속도로 비춰 볼 때 이미 지난해 말 이 지역에 코로나19가 광범위하게 퍼졌을 것으로 추정했다. 그러나 확인할 방법은 없었다.

전문가들의 추정을 뒷받침하는 증거는 엉뚱한 곳에서 나왔다. 이탈리아 고등보건연구소(ISS)가 다른 연구를 위해 모아뒀던 지난해 10월부터 올해 2월까지의 생활하수 샘플 40개 중 일부에서 코로나19를 유발하는 사스코로나바이러스-2의 RNA가 확인된 것이다. 바이러스는 지난해 12월 18일 롬바르디아주 밀라노와 토리노의 도시 중심 정화조에서 채취한 하수에서 검출됐다. ISS는 이달 18일 "하수도 폐수가 이탈리아의 바이러스 전파 양상을 밝혀낸 스파이 역할을 했다"고 밝혔다. 하수를 이용해 사람들의 생활 습관과 건강 상태를 추적하는 '하수기반역학'이 한몫을 한 셈이다.

○하수도 분석하니 마약 사용 지역까지 검출하면서 미세 오염을 찾는 연구를 하는 홍석원 한국과학

- 하수의 성분을 분석하여 커뮤니티의 건강 상태 등의 정보를 파악하여 정책에 반영
- 미량 물질의 분석, 하수 관거의 길이, 관종, 수온, 하수 방류량, 커뮤니티 인구수 등의 자료를 분석하여 모니터링

	바이오마커 예	지표
의약품 및 대사산 물	항생제	
	sulfamethoxazole	요로감염
	Azithromycin	폐렴, 중이염, 장내 감염
	Clarithromycin	폐렴, 피부감염, 라임병
	Ciprofloxacin	호흡기 감염, 피부감염, 위장병
	Erythromycin	호흡기 감염
	Trimethoprim	요로감염
	항 바이러스제	
	Acyclovir	허피스바이러스, 수두, 대상포진
	Emtricitabine	HIV
염증질 환	Abacavir	HIV/AIDs
	Zanamivir	감기
	Zidovudine, Nevirapine	HIV/AIDs
	C-reactive protein	염증
병원성 세균	Interlukin-6/Interlukin-8	요로감염 내 염증
	Lipoarabinomannan(LAM)	HIV 감염환자 결핵
	IP-10	결핵 및 폐렴
	미생물	
병원성 세균	Klebsiella pneumoniae	폐렴
	Pseudomonas aeruginosa	폐렴, 위장관 감염
	Enterococcus faecalis	세균혈증, 패혈증
	바이러스	
	Norovirus	위창자염
	Dengue	극심한 감기-유사 통증
	Zika	소두, 약한 감염
	Hepatitis A	간 감염
	기생충	
	Giardia lamblia	칸디다증
	Cryptosporidium	만성 폐병