

IWA WWCE 2024

보고서

이리조 (7 조)
2020890040 양수현
2020890058 이해든



서울시립대학교
디지털물산업
혁신인재양성사업단



목차

1. 참가 목적

2. 탐방 주제 및 세부 일정표

3. Technical Session 요약

3.1. Tue Aug 13

3.1.1. TS 1.2 Real World Digital Twin Applications (1)

3.1.2 TS 1.1 How To Go Digital As A Water Utility (3)

3.1.3 TS 3.15 Water Quality Standard, Regulations And
Economics (1)

3.2 Wed Aug 14

3.2.1 Business Forum (Government of Ontario)

3.2.2 TS 2.18 Microbial Electrochemistry & Microalgae (3)

3.2.3 TS 1.4 Digital Maintenance Approaches (2)

3.3 Thu Aug 15

3.3.1 TS 6.6 Integrated Water Resources Management
And Climate Change (1)

1. 참가 목적

IWA WWCE 2024에서 세계 각국의 디지털 트윈 기술과 적용 사례를 통해 디지털 트윈을 보다 깊이 이해하고, 이를 공공수역에 효과적으로 적용할 수 있는 방안을 탐구하고자 한다. 또한, 전세계적으로 통합 수자원 관리가 어떻게 이루어지는지 알아보고, 최신 기술과 혁신적인 접근 방법이 있는지 알아보하고자 한다. 추가적으로 현재 진행 중인 연구인 이리호에서의 Spatiotemporal long-term pattern analysis of Chlorophyll-a concentration by Satellite product 및 Regime Classification이 실제로 Lake Erie에 적용 가능한지에 대해서 전문가들로부터 조언을 구하고, Toronto에 위치한 오대호, Lake Ontario가 어떻게 관리되는지 알아보고 싶어 참가하려고 한다.

2. 탐방 주제 및 세부 일정표

탐방 주제: 디지털 트윈 기술의 이해 및 공공 수역에서의 적용
가능성, 통합 수자원 관리

7조 (이리조)		디지털 트윈 및 통합 수자원 관리			
행사 일정	시간 구분	8월 12일 (월)	8월 13일 (화)	8월 14일 (수)	8월 15일 (목)
Session 1	10:30 - 12:00	Technical Tour	TS 1.2 Real World Digital Twin Applications	기업 (DataStream) 인터뷰 진행, Business Forum (Government of Ontario)	TS 6.6 Integrated Water Resources Management And Climate Change
			1 번째 발표		1 번째 발표
Lunch	12:00 - 13:30		Lunch		
Session 2	13:30 - 15:00		TS 1.1 How To Go Digital As A Water Utility	TS 2.18 Micrbial Electrochemist ry & Microalgae	
			3 번째 발표	3 번째 발표	
Break	15:00 - 15:30		Break		
Session 3	15:30 - 17:00		TS 3.15 Water Quality Standard, Regulations And Economics	TS 1.4 Digital Maintenance Approaches	Gala Dinner
			1 번째 발표	2 번째 발표	

3. Technical Session 요약

3.1. Tue Aug 13

3.1.1. TS 1.2 Real World Digital Twin Applications (1)

Lecture: Creating Value With Digital Twins: Case Studies And Real World Examples, Diana Tao

Abstract

디지털 트윈은 실제 공간을 가상으로 구현해 다양한 시나리오를 시뮬레이션하고, 실시간 데이터를 기반으로 분석 및 예측을 가능하게 하는 기술이다. 정보의 우선순위를 설정해 유용한 정보를 제공하며, 인력 부족 문제를 해결할 수 있다. 디지털 트윈은 Process, People, Technology를 통합하여 다양한 데이터를 연결하고, 부서 간의 소통과 협업을 촉진하며, 조직의 목표 달성에 기여한다. 디지털 트윈을 적용한 세 도시 (San Diego, Yorba Rinda, Louisville)를 예시로 디지털 트윈의 필요성을 말하고자 한다.

San Diego는 10년 전 폭풍우 관리의 필요성을 인식하고, 자산 관리의 중요성을 강조하면서 디지털 트윈 기술을 도입했다. 이를 통해 기존의 물리적 자산 뿐만 아니라 미래 자산과 프로그램 자산 (운영 및 유지 관리 활동과 전략적 계획)을 포함하는 계획을 수립했다. 이로써 향후 20년간 필요한 자산, 자본, 운영 유지 보수, 인력을 계획했고, 자산 수명을 예측하여 상태 평가 및 투자를 바탕으로 우선순위를 조정해 효율적인 자산 관리를 실현했다.

Yorba Rinda의 정수장 프로젝트는 2020년에 시작되었으며, 이 과정에서 엔지니어들은 3D 디지털 트윈 모델을 만들어 설계 기능을 시각적으로 전달하고, 가상 현실과 결합해 운영자들이 유지 보수 가능성을 테스트할 수 있도록 했다. 이는 정수장 운영의 효율성을 높이고, 설계와 운영 단계에서 발생할 수 있는 문제를 사전에 파악하여 해결하는데 기여했다.

Louisville은 하수 처리 시스템의 최적화를 위해 디지털 트윈과 실시간 제어 기술을 도입했다. 날씨 예보, SCADA 시스템, 자동화를 결합하여 하수 시스템의 최적 흐름 경로를 5분마다 업데이트하는 방식으로 관리했

다. 단계별로 디지털 트윈을 도입함으로써 자본 비용을 절감하고, 기존 및 미래 자산을 최대한 활용할 수 있게 되었다. 또한, 실시간 성능 모니터링이 규제 보고서의 자동 생성이 가능해졌다.

결론적으로, 디지털 트윈은 물리적 자산의 관리와 운영을 혁신적으로 개선할 수 있는 강력한 기술로 자리잡고 있다. 다양한 시나리오를 시뮬레이션 하고, 실시간 데이터 분석을 통해 예측 및 최적화를 가능하게 하며, 여러 부서 간의 협업과 소통을 촉진한다. San Diego, Yorba Linda, Louisville 등 다양한 도시에서 디지털 트윈을 도입하여 자산 관리와 운영 효율성을 크게 향상시킨 사례에서 알 수 있듯이, 디지털 트윈은 향후 물 산업과 도시 관리에서 중요한 역할을 하며, 전략적 자산 관리와 유지 보수 계획 수립에 필수적인 기술로 평가된다.

3.1.2 TS 1.1 How To Go Digital As A Water Utility (3)

Lecture: Cinter - A Human-Centric Data Management Platform For The Water Sector, Ingemar Clementson

Abstract

AI와 디지털화를 활용하면 공공 기관의 비용을 줄이고 운영 효율성을 높일 수 있다. 그러나 물 산업에서는 AI 기술이 널리 사용되지 않았는데, 이는 조직이 준비되지 않았고 기술적 요구 사항이 높았기 때문이다. 이러한 기술들을 도입하려면 조직 구조와 업무 방식을 변화시켜야 했다.

NSVA와 Sweden Water Research는 대규모 데이터를 처리할 능력이 부족하여 파트너십을 통해 기술적 역량을 보강했다. 내부 설문조사를 통해 조직의 데이터 사용 경험을 조사하고, 이를 바탕으로 데이터 플랫폼 설계에 필요한 요구 사항을 파악했다. 데이터 관리와 협업의 어려움을 해결하기 위해 데이터 카탈로그를 설계했다.

데이터 카탈로그는 데이터를 쉽게 관리하고 주석을 달며 사용 현황을 추적할 수 있게 해준다. 시스템은 사용자에게 맞춤형 저장 플랫폼과 계산 엔진을 선택할 수 있도록 유연하게 설계되었으며, Trino를 활용해 데이터 구조화와 계산 관리를 효율적으로 처리했다.

물 산업에서 빅데이터의 복잡성과 다양한 데이터 형식은 큰 도전 과제였다. 기술 개발이 조직 운영 방식의 변화와 밀접하게 연결되어 있으며,

이러한 변화가 기술의 성공적인 도입에 필수적이었다.

결론적으로, 디지털화와 기술 개발은 단순히 IT나 개발 부서의 문제가 아니라 경영과 리더십의 문제로서, 조직 전체의 협력이 필요하다.

3.1.3 TS 3.15 Water Quality Standard, Regulations and Economics (1)

Lecture: Cyanobacterial Bloom Management: Technology Performance & Optimisation Assessments, Arash Zamyadi

Abstract

Cyanobacteriasms 물 공급 시스템에서 독소를 생성하고 물의 맛과 냄새를 악화시킨다. 대량 발생 시 수처리장 운영에 심각한 문제를 일으킬 수 있으며, 호주의 Filter Plant에서는 이로 인해 슬러지의 비정상적인 형성이 문제가 되었다.

이를 해결하기 위해 Cyanobacteria를 조기에 감지할 수 있는 경보 시스템이 개발되었다. 이 시스템은 저렴하고 휴대 가능한 장비를 사용하여 현장에서 Cyanobacteria를 모니터링한다. 이미지 분석과 머신 러닝 알고리즘을 활용하여 Cyanobacteria를 실시간으로 감지하고 경고를 발송하는 기능을 갖추었다. 초기 단계에서 시스템은 Cyanobacteria의 조기 감지와 식별에 성공했다.

또한, 오존 나노버블 기술이 적용되어 Cyanobacteria를 효과적으로 처리했다. 오존 나노버블은 나노 크기의 기포를 사용해 Cyanobacteria와 독소 농도를 감소시키며, 실험에서 세포 수를 60 % 줄이고 독소 농도를 30 µg/L에서 10 µg/L로 낮추었다. 대규모 플랜트에서도 세포 수와 독소 농도를 크게 감소시켰다.

운영적 도전과제로는 오존 나노버블 시스템의 대규모 운영 시 문제점이 있었으며, 이를 해결하기 위해 현장 테스트와 기술 개선이 진행되었다. 장기적인 적용 가능성과 경제성도 검토하고 있는 중이다.

호주와 미국에서 Cyanobacteria 문제를 비교하고, 각 지역에 맞춘 해결 방안을 분석했으며, 나노버블 기술의 성능을 더욱 체계적으로 조사할 새로운 연구 프로젝트가 계획 중에 있다.

3.2 Wed Aug 14

3.2.1 Business Forum (Government of Ontario)

Abstract

PFAs는 환경에서 분해되지 않고 오랫동안 존재할 수 있는 매우 안정적인 화합물로, 생명체에 축적되며 널리 퍼질 수 있다. PFAs는 다양한 건강 문제를 일으킬 수 있어 이를 해결하기 위한 규제와 가이드라인이 마련되어 있다.

PFAs를 처리하기 위한 기술로는 전기응고법, 나노여과, 역삼투압, 입자활성탄, 고속 여과 등이 있다. 전기응고법은 전류를 이용하여 오염 물질을 응집시켜 제거하는 방법이다. 나노여과는 역삼투압은 나노 크기의 막을 통해 미세 입자와 용해된 물질을 걸러낸다. 입자활성탄은 오염 물질을 흡착해 제거하며, 고속 여과는 물속의 입자와 불순물을 신속하게 걸러낸다.

PFAs를 직접 제거하기 위한 기술로는 열산화, 소각, 열건조, 가스화, 열분해가 있다. 열산화는 매우 높은 온도에서 PFAs를 분해하지만, 높은 온도 때문에 에너지 소모가 크다. 소각은 PFAs를 고온에서 태우지만, 불완전 연소로 유해 부산물을 발생시킬 수 있다. 열건조는 PFAs가 포함된 슬러지의 부피를 줄이는 데 유용하지만, PFAs 자체를 직접 분해하지는 않는다. 가스화는 PFAs를 가스 형태로 변환해 제거하는 방법인데, 특정 조건에서만 효과적이다. 열분해는 고온에서 PFAs를 분해하지만, 이 과정에서 독성 부산물이 생성되어 추가적인 후처리가 필요하다.

도시 환경에서는 PFAs는 제조시설에서 폐수 처리장, 정수 처리장, 매립장으로 이동하거나 직접 유출된다. 폐수 처리장과 정수 처리장에서 PFAs를 완전히 제거하지 못하면, 이들은 거주지와 매립지로 이동하게 되고, 침출수가 지하수와 공공수역으로 유출될 수 있다. PFAs 제거는 매립지 관리에서 특히 중요하다. 최근 쓰레기 배출량 증가와 함께 매립지의 양도 늘어나고 있다. 전기산화기술은 전기 화학적 반응을 사용해 PFAs를 제거하거나 분해하는 방법이다. 높은 전압이 필요하지만, 슬러지 생성이 적고 화학 물질을 사용하지 않아 장점이 있다. 연구에 따르면, 전기 산화 기술은 PFAs를 99.9 %까지 제거할 수 있다. 향후 PFAs를 직접적으로 제거할 수 있는 새로운 기술 개발이 필요하다.

3.2.2 TS 2.18 Microbial Electrochemistry & Microalgae (3)

Lecture: Can Microalgae Be Grown In Primary Effluent Of Municipal Wastewater In The Presence Of Bacteria?, Sathasivan Arumugam

Abstract

미세조류가 박테리아와 함께 존재하는 하수의 공기 유출 상태에서 자랄 수 있는지를 조사하는 것을 주제로 한다. 목표는 폐수 처리 과정에서 조류의 역할을 평가하고, 폐수 처리 시간을 단축시키며, 에너지와 탄소 배출 문제를 해결할 방안을 모색하는 것이다. 또한, 조류와 박테리아 간의 상호작용을 분석하고, 조류의 성장과 처리 효율성을 개선하는 방법을 찾는 것이다.

폐수 처리는 질소, 인, 유기탄소를 효과적으로 제거해야 하는 중요한 작업이다. 현재 폐수 처리 과정에서는 높은 에너지 소모와 이산화탄소 배출이 문제로 지적되고 있다. 폐수 1 m³ 당 약 1 kg의 이산화탄소가 배출되며, 에너지와 질소 생산 과정에서도 추가 이산화탄소가 발생한다. 또한, 유기탄소가 완전히 회수되지 않는 문제도 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 조류를 활용하는 방법이 제시된다. 조류는 오염물질 제거, 영양소 회수, 가치 있는 물질 생산, 이산화탄소 격리, 그리고 산소 공급 등의 장점을 가진다. 연구는 조류를 이용하여 폐수에서 오염물질과 영양소를 제거하고, 이산화탄소를 발생을 억제하며, 산소를 생산하는 방법을 모색하는데 중점을 두고 있다.

실험은 처음 24 시간 빛과 어두운 상태에서 진행하였으며, 이후 체류 시간을 20 일에서 10 일로 단축시키는 등의 조건을 조정하며 진행했다. 공기 공급과 혼합 조건을 조정한 결과, 조류는 8 시간 주기에서 잘 자랐고, 공기 공급을 중단해도 효율적인 결과를 얻었다. 초기에는 IC 공급이 부족했으나, 나중에는 추가 공급이 필요하지 않았다. 조류와 박테리아의 혼합이 효과적이며, 박테리아가 슬러지를 형성해 공기 공급 없이도 잘 작동함을 확인했다.

현재 연구 결과로는 8 시간의 체류 시간에서 조류가 효과적으로 자라며, 침강 시간이 짧다는 것을 알 수 있었다. 박테리아와의 혼합이 좋은

결과를 보였다. 향후 연구는 조류와 박테리아의 상호작용과 처리 효율성을 더욱 개선하기 위한 방향으로 계속 진행될 예정이다.

3.2.3 TS 1.4 Digital Maintenance Approaches (2)

Lecture: Research On The Utilization Of Sensing Technology For The Maintenance And Management Of Water Supply Facilities, Motohiro Kobayashi

Abstract

센싱 기술을 활용해 장비의 문제를 조기에 발견하고 효율적인 수리 작업을 지원하는 방법을 제시했다. 진동, 소음, 온도 센서와 AI 기반 소음 감지 기술을 포함해 장비 관리 시스템의 효과를 평가했다.

진동 감지는 장비의 상태를 파악하는 데 쓰인다. 실험에서는 펌프와 모터에 X 축, Y 축 방향의 진동 센서를 설치하고, 설치 전후 데이터를 비교 분석했다. 이상이 감지된 경우 수리 작업을 진행하였으며, 수리 후 진동 센서의 효과가 입증되었다.

소음 감지는 장비의 이상 여부를 판단하는 데 사용된다. 펌프에 소음 센서를 설치해 정상 펌프와 이상 펌프의 소음을 비교했다. 2,700 Hz에서 강한 소음이 감지되어 이상 장비에서 발생한 소음으로 판단되었다. 소음 센서의 효과는 수리 후 소음이 감소함으로써 입증되었다.

AI 기반 소음 감지 기술은 정상 소리와의 차이를 계산해 이상 소음 발생 시 수치로 표현한다. 수리 후 AI는 재학습되어, 향후 이상 소음 발생을 사전에 감지할 수 있게 된다.

온도 감지 기술은 장비의 온도 이상을 확인하는 데 사용된다. 문 뒤에 비접촉 온도 센서를 설치해 표면 온도를 측정하고, 적외선과 가시광선 카메라로 온도 차이를 감지했다. Thermistor 형태의 센서를 추가로 설치해 패널 내부와 방 내부 온도의 상관관계를 분석하고 온도 편차로 이상을 감지했다.

이러한 센싱 기술의 장점은 설치가 간편하고, 배터리로 전력 공급이 가능하며, 무선 통신을 통해 24 시간 모니터링이 가능하다. 센싱 기술을 활용하면 장비 상태를 정량적으로 평가할 수 있어 관리가 용이하다. 여러 센서를 활용하면 정확도를 높이고 초기 단계에서 이상 신호를 감지할

수 있다. 이는 인구 감소에 대비해 검사를 위한 인력을 줄일 수 있는 장점도 제공한다. 센싱 기술을 활용한 장비 관리 시스템은 장비의 이상을 조기에 발견하고, 효율적인 수리 작업을 가능하게 하며, 관리 인력 부족 문제를 해결하는 데 기여할 수 있다.

3.3 Thu Aug 15

3.3.1 TS 6.6 Integrated Water Resources Management And Climate Change (1)

Lecture: Adaptive Pathways Approach To Achieving City Water Resilience, Ryan Brotchie

Abstract

기후 변화와 그로 인한 불확실성에 어떻게 대응할 수 있는지를 살펴보고, 적응형 경로 계획의 중요성을 다루고 있다. 기후 변화로 인한 극단적인 날씨 문제는 이미 전 세계적으로는 큰 영향을 미치고 있으며, 이를 대비한 계획이 필요하다. 캘리포니아, 캐나다, 휴스턴 등에서의 사례를 통해 기후 변화가 불확실성을 증가시키고 있다는 점을 보여준다. IPCC 보고서에 따르면 기후 변화에 대한 대응이 시급하다는 점이 강조된다.

기후 변화와 관련된 불확실성을 처리하기 위해 네덜란드의 국가 물 공급 및 홍수 관리 프로그램에서의 접근 방식을 소개하며, 경제와 기술 변화 등 다양한 불확실성 요소를 고려해야 한다고 설명한다. 이를 해결하기 위한 방법으로 adaptive delta planning과 dynamic adaptive Policy Pathways를 제시한다. 이러한 접근 방식은 불확실성과 변화에 유연하게 대응할 수 있는 전략을 마련하는 데 중점을 둔다.

Adaptive delta planning은 다양한 미래 시나리오를 계획에 반영하고, 특정 전략이 모든 상황에서 잘 작동하도록 유연성을 확보하는 접근 방식을 의미한다. 이는 미래의 결정 포인트와 시작 시점을 식별하여 필요에 따라 계획을 수정할 수 있게 한다.

Adaptive delta planning의 실제 적용 사례로는 네덜란드의 국가 물 공급 및 홍수 관리 프로그램이 있다. 이는 높은 해수면 상승에 대비한 100 년 전략을 포함한다. 말버른, 호주에서는 극심한 가뭄 이후 물 공급

원을 다변화하고 적응형 계획의 필요성을 강조하며, 해수 담수화와 같은 새로운 물 공급원을 도입해 도시 성장과 기수 변화에 대응하고 있다. 퍼스, 호주에서는 물 공급 전략에 적응형 경로 계획을 도입해 기후 변화와 새로운 수요를 고려한 다양한 선택지를 준비하고, 유연하게 대응할 수 있는 체계를 구축하였다.

계획 과정과 프레임워크에서는 dynamic adaptive Policy Pathways를 위한 구조적 프레임워크를 소개하며, 시스템적 관점을 통해 큰 그림을 먼저 고려하는 것에서 시작한다고 설명한다. 각 도시와 상황에 맞는 맞춤형 접근이 필요하며, 사회와 경제에 미치는 영향을 고려한 위험 기반 접근으로의 전환이 필요하다고 강조한다.

결론적으로 적응형 경로 계획은 점점 더 많은 도시와 국가에서 사용되고 있으며, 이는 불확실한 미래에 대비하기 위한 실용적이고 논리적인 방법으로 자리잡고 있다. 다양한 사례를 통해 이 접근 방식이 실제로 어떻게 적용되고 있으며, 그 중요성이 강조된다.