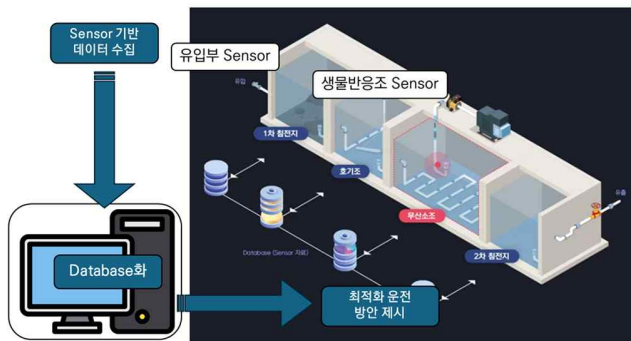


의 동작과 제어 결과를 확인할 수 있도록 한다.

참고문헌

2.2 Pilot Plant 구축 및 운전

CPS의 현장 적용성을 검증하기 위해 MLE(100 m³/d)와 A2O(60 m³/d) 공정을 기반으로 한 Pilot Plant를 구축하였다. 계절별·부하별 유입수 특성을 분석하고, GPS-X 기반 공정 모사를 수행하여 다양한 운전 시나리오를 검토하였다. 이를 통해 송풍량, 내부·외부 반송량 등 주요 운전 인자의 최적 조건을 도출하고, 인공지능 제어 알고리즘에 반영하여 실시간 제어 체계로 구현하였다.



[그림 2] CPS 가동 구조

2.3 성능검증 결과

자율제어 모드와 기존 수동 운전을 비교한 결과, CPS는 변동 조건에서도 방류수 수질을 안정적으로 유지하였다. 또한 송풍 제어 최적화를 통해 불필요한 전력 사용을 줄일 수 있었으며, 이를 통해 에너지 절감과 운전 효율 향상 가능성을 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 하수처리 공정의 안정적이고 효율적인 운영을 위해 인공지능 기반 통합 CPS를 개발하고, Pilot Plant를 통해 성능을 검증하였다. 그 결과, 제안된 CPS는 방류수 수질 안정성과 에너지 절감을 동시에 달성할 수 있음을 확인하였다. 또한 디지털 트윈 기반의 시각화와 실시간 제어 기능을 통해 운전자의 의사결정을 지원하고, 운영의 신뢰성을 높일 수 있음을 보여주었다.

향후에는 실규모 하수처리장에 본 기술을 적용하여 장기적인 운영 데이터를 확보하고, 제어 알고리즘을 고도화함으로써 안정성과 경제성을 더욱 강화할 필요가 있다. 본 연구에서 제안한 AI-CPS 자율제어 기술은 하수처리장의 스마트화에 기여할 수 있는 실질적 방안이며, 지속가능한 수자원 관리와 환경 보호를 위한 중요한 기술적 기반이 될 것으로 기대된다.

- [1] 김민한, 지승희, 장정희, “하수처리장의 포기조 최적 DO 농도 산정 및 공기송풍량 자동제어를 통한 에너지 절감 효과 도출”, 에너지공학, 제 23권 2호, pp. 49-56, 6월, 2014년.
- [2] 주형구, 임준목, “하수처리시설 수질인자의 머신러닝 예측 모델”, 대한산업공학회지, 제 49권, 1호, pp. 95-106, 2월, 2023년
- [3] 남의석, “설명가능한 신경회로망을 이용한 하수처리시스템의 활성슬러지 공정 최적화”, 전기학회논문지, 제 69권, 12호, pp. 1950-1956, 12월, 2020년
- [4] 이승명, 김한래, 기경서, “사전감지기술 및 송풍량 자동제어를 기반으로 한 저에너지 하수관리기술에 관한 연구”, 환경영향평가, 제 28권, 6호, pp. 592-603, 12월, 2019년