

인공지능을 활용한 A2O 공정 자율제어 시스템 개발

여우석*, 정지찬**, 이수현***, 이지영*, 김종규***

*신한대학교 건설환경기술연구원

**신한대학교 건설환경시스템공학과

***신한대학교 에너지공학과

e-mail: jkim@shinhan.ac.kr

Development and Application of A2O Process Autonomous Control System Using Artificial Intelligence

Woosok Yeo*, Ji Chan Jung**, Su Hyun Lee***, JiYoung Lee**, Jong Kyu Kim***

*Institute of Construction & Environmental Technology, Shinhan University

**Dept. Civil and Environmental System Engineering, Shinhan University

***Dept. of Energy Engineering, Shinhan University

요약

The A2O (Anaerobic-Anoxic-Oxic) process is an important biological wastewater treatment method, but it is sensitive to changes and difficult to optimize due to varying operational conditions. This study develops a real-time autonomous control system for the A2O process using a combination of CNN (Convolutional Neural Network) and DNN (Deep Neural Network) to improve treatment efficiency. By collecting data on influent, reactor, and effluent water quality, two AI models were developed. The CNN+DNN model was used to predict and optimize the process in real time, providing better performance than traditional rule-based systems. The results showed that the CNN+DNN model successfully predicted the process and optimized control. This AI-based system has the potential to enhance wastewater treatment efficiency and contribute to sustainable environmental management.

1. 서론

하수처리 공정 중 하나인 A2O(Anaerobic-Anoxic-Oxic) 공정은 폐수 처리에서 중요한 역할을 하는 생물학적 처리 시스템으로, 미생물의 특성을 활용하여 유기물질과 질소를 제거하는 공정이다. 그러나 A2O 공정은 미세한 변화에 민감하고, 공정 조건에 따라 성능이 달라지므로 효율적인 운전이 어려운 특징이 있다. 이에 따라 공정의 성능을 최적화하기 위한 다양한 제어 방법이 연구되고 있으며, 최근에는 인공지능(AI)을 활용한 자율제어 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 본 연구에서는 CNN(Convolutional Neural Network) + DNN(Deep Neural Network)을 활용하여 A2O 공정의 실시간 자율제어 시스템을 개발하고, 이를 통해 하수 처리 효율성을 극대화할 수 있는 방안을 제시하고자 하였다.

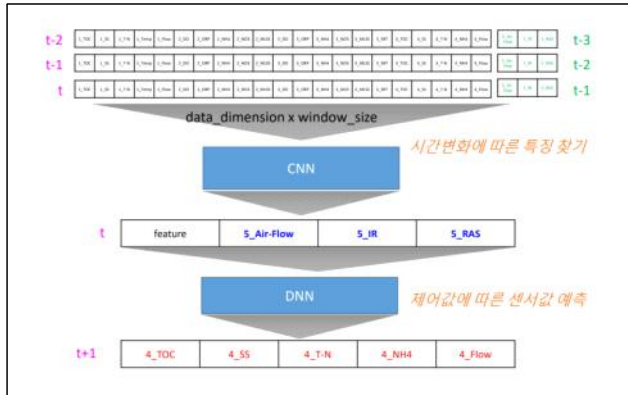
2. 본론

2.1 인공지능 기반 하수처리 공정 자율제어 시스템 개발

A2O 공정은 세 가지 주요 단계인 혐기성 단계(anaerobic), 무산소 단계(anoxic), 유산소 단계(oxic)로 구성된다. 각 단계는 미생물의 상태와 폐수의 화학적 특성에 따라 달라지며, 이를 효율적으로 제어하는 것은 매우 중요한 과제이다. 본 연구에서는 AI 모델을 활용하여 A2O 공정의 실시간 모니터링과 최적화를 시도하였다.

먼저, 공정에서 발생하는 주요 변수인 유입수질과 혐기&무산소조&호기조 내 수질과 방류수질 등 다양한 환경 데이터를 수집하고 이를 기반으로 두 가지 인공지능 모델을 개발하였다. 둘째, CNN과 DNN을 결합한 모델을 사용하여 폐수 처리 과정에서의 공간적 특성과 복잡한 관계를 학습하고, 이를 기반으로 공정 제어에 필요한 최적화된 액션을 도출하였다. 이 두 가지 모델을 통합하여 실시간으로 변화하는 공정 상태를 정확히 반영하고, 자율적인 제어가 가능하도록 시스템을 설계하였다. CNN+DNN 모델은 그림 1과 같이 회귀 모델을 통해 공정을 예측하고자 하였으며, 입력 및 출력 데이터 종류에 따라 표 1과 같이 총 5가지 모델을 개발하였다. 모델에 따른

공정 예측 성능의 결과는 표 2에 자세히 나타내었다. Model 2의 경우 가장 효율적으로 공정 예측이 가능한 모델로 나타났다.



[그림 1] CNN+DNN 모델 공정 예측 모식도

[표 1] CNN+DNN모델의 A2O 공정 예측 성능 분석 결과

No	Item	Item
1	1-36번, 36개	27-32번 6개 (방류수 수질)
2	1-32번, 32개	27-32번 6개 (방류수 수질)
3	1-7번, 33-36번 11개	27-32번 6개 (방류수 수질)
4	1-7번, 33-36번 11개	8-32번 25개 (반응조 수질 + 방류수 수질)
5	1-7번, 33-36번 11개 (Time step=5)	8-32번 25개 (반응조 수질 + 방류수 수질)

[표 2] CNN+DNN모델의 A2O 공정 예측 성능 분석 결과

구분		Loss	R ² Score
Model 1	Train	0.000368	0.9806
	Test	0.000376	0.9798
Model 2	Train	0.000310	0.9844
	Test	0.000314	0.9839
Model 3	Train	0.000337	0.9748
	Test	0.000566	0.9602
Model 4	Train	0.000645	0.9376
	Test	0.002673	0.9082
Model 5	Train	0.000526	0.9413
	Test	0.001988	0.9173

3. 결론

본 연구에서는 CNN+DNN 모델을 활용한 A2O 공정의 자율제어 시스템을 성공적으로 개발하였다. 실험 결과, 제안된 AI 모델은 기존의 규칙 기반 제어 방식보다 뛰어난 예측 정확도와 최적화된 제어 성능을 보였다. CNN+DNN 모델의 경우 복잡한 데이터 간의 관계를 학습하여 최적화된 제어 방안을 제시하였다. 향후 연구에서는 모델의 성능을 더욱 향상시키고, 다양한 공정 변수와 환경 조건을 반영하여 시스템의 범용성을 확대하는 방향으로 발전시킬 필요가 있다. 인공지능 기반 A2O 공정 자율제어 시스템은 폐수 처리의 효율성을 높이는 중요한 기술로, 지속 가능한 환경 관리에 크게 기여할 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 2025학년도 환경부의 제원으로 환경산업기술원의 지원을 받아 수행된 상하수도 혁신 기술개발사업입니다. 이에 감사드립니다.(과제번호 : 2020002700010)

[참 고 문 헌]

- 1) Alain, R. P., Juan, D. L., Abraham, U. C. and Adrián, R., "Artificial intelligence based model for optimization of COD removal efficiency of an up-flow anaerobic sludge blanket reactor in the saline wastewater treatment", Water Science & Technology, 75(6), pp.1351-1361, 2017.
- 2) Dünyamin. G., Sükrü, D., "Amelioration of Carbon Removal Prediction for an Activated Sludge Process using an Artificial Neural Network (ANN)", Clean, 36(9), pp.781-787, 2008.
- 3) Pradyut, K., Anupam, D. and Somnath M., "Artificial Neural Network Modeling for Biological Removal of Organic Carbon and Nitrogen from Slaughterhouse Wastewater in a Sequencing Batch Reactor", Advances in Artificial Neural Systems, 2013(13), pp.1-15, 2013
- 4) Lee, J., Hong, T. Y., Suh, C., Shin, H., "Effluent Quality Prediction of the Pilot-scale Biological Nutrient Removal Process using an Artificial Neural Network", Korea Society on Water Environment-Korean Society of Water & Wastewater, 2011, pp. 539-540, 2011