

# 역학적 모델과 딥러닝 모델을 융합한 대청호 수온 예측

## Water temperature prediction of Daecheong Reservoir by a process-guided deep learning model

김성진\*, 박형석\*\*, 이건호\*\*\*, 정세웅\*\*\*\*

Sung Jin Kim, Hyungseok Park, Gun Ho Lee, Se Woong Chung

### 요 지

최근 수자원과 수질관리 분야에 자료기반 머신러닝 모델과 딥러닝 모델의 활용이 급증하고 있다. 그러나 딥러닝 모델은 Blackbox 모델의 특성상 고전적인 질량, 운동량, 에너지 보존법칙을 고려하지 않고, 데이터에 내재된 패턴과 관계를 해석하기 때문에 물리적 법칙을 만족하지 않는 예측결과를 가져올 수 있다. 또한, 딥러닝 모델의 예측 성능은 학습데이터의 양과 변수 선정에 크게 영향을 받는 모델이기 때문에 양질의 데이터가 제공되지 않으면 모델의 bias와 variation이 클 수 있으며 정확도 높은 예측이 어렵다. 최근 이러한 자료기반 모델링 방법의 단점을 보완하기 위해 프로세스 기반 수치모델과 딥러닝 모델을 결합하여 두 모델링 방법의 장점을 활용하는 연구가 활발히 진행되고 있다(Read et al., 2019). Process-Guided Deep Learning (PGDL) 방법은 물리적 법칙을 반영하여 딥러닝 모델을 훈련시킴으로써 순수한 딥러닝 모델의 물리적 법칙 결여성 문제를 해결할 수 있는 대안으로 활용되고 있다. PGDL 모델은 딥러닝 모델에 물리적인 법칙을 해석할 수 있는 추가변수를 도입하며, 딥러닝 모델의 매개변수 최적화 과정에서 Cost 함수에 물리적 법칙을 위반하는 경우 Penalty를 추가하는 알고리즘을 도입하여 물리적 보존법칙을 만족하도록 모델을 훈련시킨다. 본 연구의 목적은 대청호의 수심별 수온을 예측하기 위해 역학적 모델과 딥러닝 모델을 융합한 PGDL 모델을 개발하고 적용성을 평가하는데 있다. 역학적 모델은 2차원 횡방향 평균 수리·수질 모델인 CE-QUAL-W2를 사용하였으며, 대청호를 대상으로 2017년부터 2018년까지 총 2년간 수온과 에너지 수지를 모의하였다. 기상(기온, 이슬점온도, 풍향, 풍속, 운량), 수문(저수위, 유입·유출 유량), 수온자료를 수집하여 CE-QUAL-W2 모델을 구축하고 보정하였으며, 모델은 저수위 변화, 수온의 수심별 시계열 변동 특성을 적절하게 재현하였다. 또한, 동일기간 대청호 수심별 수온 예측을 위한 순환 신경망 모델인 LSTM(Long Short-Term Memory)을 개발하였으며, 종속변수는 수온계 체인을 통해 수집한 수심별 고빈도 수온 자료를 사용하고 독립변수는 기온, 풍속, 상대습도, 강수량, 단파복사에너지, 장파복사 에너지를 사용하였다. LSTM 모델의 매개변수 최적화는 지도학습을 통해 예측값과 실측값의 RMSE가 최소화 되도록 훈련하였다. PGDL 모델은 동일 기간 LSTM 모델과 동일 입력 자료를 사용하여 구축하였으며, 역학적 모델에서 얻은 에너지 수지를 만족하지 않는 경우 Cost Function에 Penalty를 추가하여 물리적 보존법칙을 만족하도록 훈련하고 수심별 수온 예측결과를 비교·분석하였다.

### 사사

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 수생태계 건강성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다. (과제번호:2021003030004).

**핵심용어** : 역학적 모델, 딥러닝 모델, 이론 기반 데이터 과학, 대청호, 수온

\* 정회원 · 충북대학교 공과대학 환경공학과 박사과정 · E-mail : znssungjin2@naver.com

\*\* 정회원 · K-water 박사 · E-mail : qwrs07@gmail.com

\*\*\* 정회원 · 충북대학교 공과대학 환경공학과 석사과정 · E-mail : zzzja3304@naver.com

\*\*\*\* 정회원 · 충북대학교 공과대학 환경공학과 교수 · E-mail : chung@chungbuk.ac.kr