

역학적 모델과 딥러닝 모델을 결합한 저수지 수온 및 수질 예측

Predicting water temperature and water quality in a reservoir using a hybrid of mechanistic model and deep learning model

김성진*, 정세웅**

Sung Jin Kim, Se Woong Chung

요 지

기작기반의 역학적 모델과 자료기반의 딥러닝 모델은 수질예측에 다양하게 적용되고 있으나, 각각의 모델은 고유한 구조와 가정으로 인해 장·단점을 가지고 있다. 특히, 딥러닝 모델은 우수한 예측 성능에도 불구하고 훈련자료가 부족한 경우 오차와 과적합에 따른 분산(variance) 문제를 야기하며, 기작기반 모델과 달리 물리법칙이 결합된 예측 결과를 생산할 수 있다. 본 연구의 목적은 주요 상수원인 댐 저수지를 대상으로 수심별 수온과 탁도를 예측하기 위해 기작기반과 자료기반 모델의 장점을 융합한 PGDL(Process-Guided Deep Learning) 모델을 개발하고, 물리적 법칙 만족도와 예측 성능을 평가하는데 있다. PGDL 모델 개발에 사용된 기작기반 및 자료기반 모델은 각각 CE-QUAL-W2와 순환 신경망 딥러닝 모델인 LSTM(Long Short-Term Memory) 모델이다. 각 모델은 2020년 1월부터 12월까지 소양강댐 댐 앞의 K-water 자동측정망 지점에서 실측한 수온과 탁도 자료를 이용하여 각각 보정하고 훈련하였다. 수온 및 탁도 예측을 위한 PGDL 모델의 주요 알고리즘은 LSTM 모델의 목적함수(또는 손실함수)에 실측값과 예측값의 오차항 이외에 역학적 모델의 에너지 및 질량 수지 항을 제약 조건에 추가하여 예측결과가 물리적 보존법칙을 만족하지 않는 경우 penalty를 부가하여 매개변수를 최적화시켰다. 또한, 자료 부족에 따른 LSTM 모델의 예측성능 저하 문제를 극복하기 위해 보정되지 않은 역학적 모델의 모의 결과를 모델의 훈련자료로 사용하는 pre-training 기법을 활용하여 실측자료 비율에 따른 모델의 예측성능을 평가하였다. 연구결과, PGDL 모델은 저수지 수온과 탁도 예측에 있어서 경계조건을 통한 에너지와 질량 변화와 저수지 내 수온 및 탁도 증감에 따른 공간적 에너지와 질량 변화의 일치도에 있어서 LSTM보다 우수하였다. 또한 역학적 모델 결과를 LSTM 모델의 훈련자료의 일부로 사용한 PGDL 모델은 적은 양의 실측자료를 사용하여도 CE-QUAL-W2와 LSTM 보다 우수한 예측 성능을 보였다. 연구결과는 다차원의 역학적 수리수질 모델과 자료기반 딥러닝 모델의 장점을 결합한 새로운 모델링 기술의 적용 가능성을 보여주며, 자료기반 모델의 훈련자료 부족에 따른 예측 성능 저하 문제를 극복하기 위해 역학적 모델이 유용하게 활용될 수 있음을 시사한다.

핵심용어 : Process-based model; Data-driven model; Process guided deep learning; Water temperature, Water quality

감사의 글

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

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

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