

수량-수질 통합관측소 데이터 기반 수질 예측 모델 고도화

박형석*, 최정규*, 강창구*, 한지현*

*K-water

e-mail:qwrs07@kwater.or.kr

Enhancement of Water Quality Forecasting Models Using Integrated Quantity-Quality Monitoring Data

Hyung-seok Park*, Jungkyu Choi*, Chang-gu Kang*, Ji-huyn Han

*Korea Water Resources Corporation

요약

본 연구는 댐 상류에서 수집된 수량-수질 통합관측소 데이터를 기반으로, 실시간 수질 예측을 위한 기계학습 및 딥러닝 모델(SVM, LSTM, RNN)을 개발하고, 이를 댐저수지 수질예측 모형인 AEM3D와 연계하여 예측 성능을 향상시키는 것을 목표로 하였다. 딥러닝 기반 분석 결과, RNN 모델은 탁도 예측에서 가장 높은 성능($R^2=0.930$)을 보였다. 또한 수치모델에 통합관측소 자료를 적용한 결과, 수온, 총인(T-P), 유해 남조류 세포수 예측 정확도가 향상되어 통합관측소 기반 예측자료의 활용 가능성을 입증하였다. 본 연구는 실시간 데이터 기반 예측 모델의 적용성을 검증하고, 댐 맞춤형 수질관리 체계 구축에 기여할 수 있는 기반을 마련하였다.

1. 서론

2. 연구방법

최근 기후변화와 국지성 호우 등 이상기후의 영향으로 댐 상류 지역으로부터 저수지로 유입되는 오염원이 증가함에 따라, 댐 내 수질 이슈가 빈번히 발생하고 있다. 특히 홍수거나 장마철에는 고농도의 오염부하가 단기간에 집중 유입되어, 댐 운영과 수자원 관리에 큰 부담으로 작용하고 있다. 이러한 오염원의 유입을 관리하기 위해 환경부는 비점오염물질측정망 운영(38개소)하여 강우시 유출되는 오염원의 파악 및 관리정책을 수립하고, “녹조 우심지역 오염원 관리체계 구축”, “댐 스마트 수량-수질 통합감시 체계 구축” 등의 사업을 통하여 댐 상류지역에 실시간 수량 및 수질 데이터를 수집할 수 있는 통합관측소를 단계적으로 설치·운영하고 있다.

본 연구는 통합관측소의 설치·운영을 통해 향후 확보될 대규모 수량-수질 데이터를 효과적으로 활용하기 위한 분석 표준화 모델을 개발하고, 데이터 활용성을 제고하는 데 목적이 있다. 이를 위해 실시간 데이터를 기반으로 딥러닝 기법을 적용한 통계분석 기반의 댐 수질 예측 모델을 개발하고, 수치 해석 기반의 댐저수지 수질예측 모형인 AEM3D의 예측 성능을 향상시키기 위한 연구를 수행하였다.

2.1 데이터 수집 및 표준화

탁수 예측을 위해서는 임하댐을 대상으로 하였으며, 광덕교, 송강2교, 위동교, 댐 앞 지점에 설치된 2022년 4월부터 2023년 8월까지 수량 및 수질 데이터를 수집하였으며, 녹조 예측을 위해서는 남강댐을 선정하였으며, 창촌관측소 및 호 내(관문, 내동) 지점을 대상으로 2022년 1월부터 12월까지 데이터를 수집하였다.

수집 데이터의 정확도 향상을 위해 오·결측값 및 유효자료를 선별할 수 있는 검증 기준을 마련하고, 체계적인 데이터 관리를 위한 정리 및 검증체계를 표준화하였다.

2.2 데이터기반 예측 모델 설계 및 구축

임하댐의 탁수 예측을 위해 SVM, LSTM, RNN의 세 가지 기계학습 기법을 적용하였으며, 각 모델은 최고탁도층의 수심, 수온, 탁도를 예측하는 다변량 시계열 예측 모델로 구성되었다. 입력 변수로는 유입 유량, 유입 수온 및 탁도, 지점별 수위 등이 활용되었으며, 시계열적 특성을 반영하기 위해 데이터 간 시간차는 5일 단위로 설정하고, 예측 성능이 가장 우수한 시간지연 조건을

도출하였다. 모델의 성능 평가는 평균제곱근오차(RMSE)와 결정 계수(R^2)를 기준으로 수행되었으며, Python 기반의 기계학습 패키지를 활용하여 모델을 구현하였다.

2.3 수치모델 활용 댐 수질예측

3차원 수리-수질 해석모델인 AEM3D를 활용하여 남강댐의 수온, 총인(T-P), 유해납조류 세포수 변화 특성을 평가하였다. 이를 위해 남강댐 주요 수질 측정망 지점(남강댐1·2·3)을 대상으로 수질측정망 자료와 수량-수질 통합관측소 자료를 각각 적용한 수치모델을 구축하였으며, 시계열 변동 특성과 수직 프로파일을 중심으로 모의 결과를 비교·분석하였다.

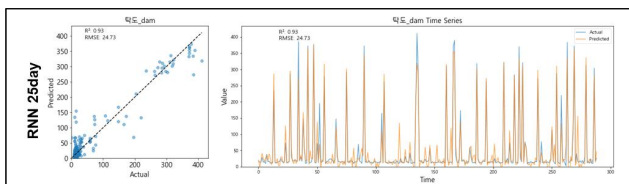
3. 연구결과

3.1 데이터기반 임하댐 수질예측

모델별 예측 성능 비교 결과, RNN 모델이 탁도 예측에 있어 가장 높은 예측 정확도를 보였다. Delay 25일 조건에서 $R^2 = 0.930$, RMSE = 24.3 NTU를 기록하였으며, 시계열적 변동 특성의 재현력이 우수한 것으로 평가되었다. 수온 예측의 경우 LSTM이 $R^2 = 0.801$, RMSE = 2.915로 가장 높은 성능을 나타냈으며, 최고탁도층 수심 예측은 전체적으로 낮은 성능을 보였으나, 모델 구조와 입력변수 조정에 따라 개선 가능성이 확인되었다. SVM은 비교적 단순한 구조로 빠른 예측이 가능하였으나, 비선형적 특성이 강한 탁도 예측에서는 다소 낮은 성능을 보였다.

[표 1] 항목별 최고 예측성능 모델 비교

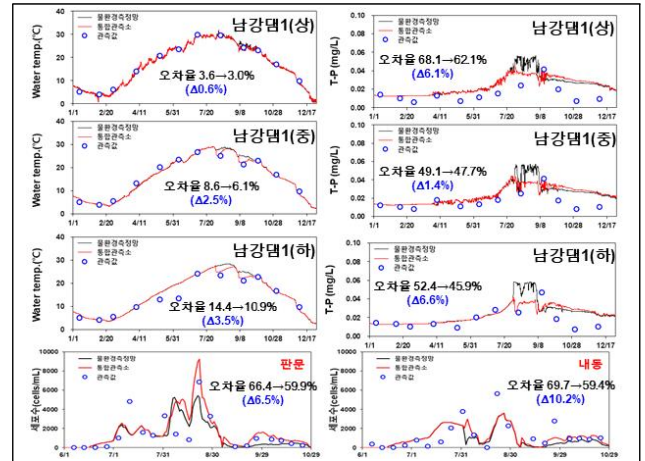
항목	Model	Delay (day)	R^2	RMSE
수온	LSTM	40	0.801	2.915
탁도	RNN	25	0.930	24.318
최고탁도층 수심	LSTM	55	0.790	4.164



[그림 1] 수온 시계열예측결과(RNN)

3.2 수치모델 활용 댐 수질예측

남강댐 수치모델 비교 결과, 통합관측소 자료를 입력한 경우 여름철 수온 예측 정확도가 0.6~3.5% 범위로 향상되었으며, 특히 중·하층에서 개선폭이 크게 나타났다. T-P 예측에서도 통합관측소 자료 적용시 예측정확도가 1.4~6.6%개선되었으며, 남조류 세포수 예측 정확도도 6.5~10.2% 향상되어 통합관측소 자료의 활용 가능성을 입증하였다.



[그림 2] 댐 주요지점 시계열 변화 평가(수온, T-P, 세포수)

4. 결론

본 연구는 수량-수질 통합관측소에서 수집된 실시간 데이터를 활용하여 댐 수질 예측을 위한 딥러닝 모델을 구축하고, 이를 수치모델과 연계하여 예측 성능을 향상시킨 사례를 제시하였다. 예측 모델 비교 결과, RNN이 탁도 예측에서 우수한 성능을 보였으며, LSTM은 수온 예측에 효과적인 것으로 나타났다. 본 연구에서 개발된 모델은 실제 댐 운영에 있어 사전적인 수질 예측 및 관리에 활용될 수 있으며, 댐 수질 모니터링의 자동화 및 고도화에 기여할 수 있다. 또한 수치모델의 예측 성능 향상은 실시간 수질 예보의 정밀도를 높이는 데 기여할 수 있으며, 향후 다양한 댐과 수질 특성에 맞는 맞춤형 예측 시스템 개발의 기반이 될 수 있다. 지속적인 데이터 축적과 모델 개선을 통해 보다 정확도 높은 수질 예측이 가능해질 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 환경부에서 지원하고 한국환경산업기술원(KEITI)에서 주관하는 미래변화 대응 수자원 안정성 확보 기술개발사업(과제번호 RS-2024-00332114)의 지원을 받아 수행 되었습니다.