

# 위성영상과 기상 및 수문 자료를 연계한 단기 녹조예측 기법개발

이혜숙\*, 전유호\*, 정선아\*, 최정규\*, 박형석\*, 표종철\*\*  
\*한국수자원공사 K-water연구원, \*\*부산대학교 환경공학과  
e-mail:yihs@kwater.or.kr

## Development of short-term algal blooms prediction technology based on satellite image using meteorological and hydrological data

Hye-Suk Yi\*, Yuho Jeon\*, Sun-A Chong\*, Jeongkyu Choi\*, Hyeong-Seok Park\*  
\*K-water Institute, K-water

### 요약

본 연구는 댐 저수지를 대상으로 위성영상과 수문 및 기상자료를 연계하여 단기 녹조 발생을 예측하고자 하였다. 분석 데이터 수 확보를 위하여 3차원 수질 모델을 활용하여 공간적인 Chl-a 농도 자료를 생성하여 위성영상과 관측일을 매칭하여 입력자료로 활용하였으며 기온, 유입량 자료를 연계하여 3, 5, 7일 후 단기 녹조발생 예측 기법을 개발하고 측정망 자료 기반 알고리즘과 비교하여 정확도를 평가하였다. 위성영상 기반의 공간적 녹조 예측기법을 통해 광역적으로 사전 녹조 관리방안 수립에 활용하고 물환경분야 디지털 트윈에 적용 가능할 것으로 판단되었다.

### 1. 서론

녹조 현상은 최근 기후변화에 따른 기온 증가, 집중강우에 의한 비점오염물질 유입으로 시공간적으로 다양하게 발생하고 있다. 또한, 수체 흐름 등 다양한 요인에 따라 녹조발생의 양상은 변할 수 있기 때문에 점 단위 관측만으로는 공간적인 녹조발생 분포를 파악하는 데에는 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 위성영상, 무인항공 등을 활용한 원격 모니터링 기술이 개발되어 왔으며 이를 통해 광역적으로 녹조발생 파악이 가능하게 되었다. 하지만, 원격 모니터링 기반으로 사전관리를 위한 예측기법 연구는 부족한 실정이다. 이에, 본 연구에서는 위성영상 기반으로 기상, 수문자료를 연계하여 단기 녹조 발생 예측 기법을 개발하여 활용성을 분석하고자 하였다.

### 2. 연구방법

#### 2.1 연구대상지

금강수계 대청댐과 낙동강수계의 영주댐을 대상으로 분석하였으며, 대청댐은 금강 중상류에 건설된 다목적댐으로 상류의 용담댐 유역을 제외하고 유역면적이 3,204.0 km<sup>2</sup>, 저수용량은 1,490 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>이며 호내 수질측정망 6개소가 운영되고 있다. 영주댐은 낙동강 제 1지류인 내성천의 상류에 위치한

다목적댐으로 갈수기 낙동강 하천유지용수 확보 등의 목적으로 건설되었다. 유역면적은 500.0 km<sup>2</sup>, 저수용량은 181 × 10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>이며 호내 수질측정망 3개소가 운영되고 있다.

#### 2.2 위성영상

Sentinel-2 위성영상을 활용하였으며 본 위성은 유럽우주국(ESA, European Space Agency)에서 2015년에 발사된 2A와 2017년에 발사된 2B로 구성된 쌍둥이 위성이다. 다중분광 장비로 가시, 적외채널 등 13개 밴드를 동시 촬영하고 있으며 대기보정이 완료된 영상을 무료로 제공하고 있다.

#### 2.3 3차원 수질모델

AEM3D 수질모델을 활용하였으며 본 모델은 서호주대학교 물연구소(CWR, Centre for Water Research)에서 개발한 ELCOM-CAEDYM 모델을 기반으로 개발된 3차원 수리수질 모델이다. 100m(Δx)×10m(Δy)×1m(Δz) 격자 크기로 구성하여 wet cell 개수는 86,023개로 구축하였다.

#### 2.3 분석 기법

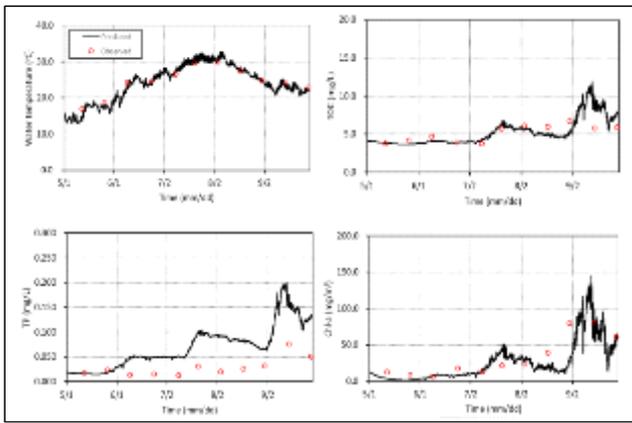
다중회귀, 랜덤포레스트, XGBoost, CNN 기법을 적용하여 비교하였다. 랜덤포레스트와 XGBoost 기법은 의사결정기법으로 하는 앙상블 기법이며, CNN(Convolutional neural

network) 알고리즘은 합성곱 신경망으로 불리는 딥러닝 기법이다. 종속 변수는 3, 5, 7일 후 공간적 Chl-a 농도이며 독립 변수는 위성영상 반사도값, 기온, 유입량 값을 활용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 3차원 수질모델 구축 결과

AEM3D Chl-a 모의값을 활용하기 위해 모델의 재현성을 평가하였다. 관측 수위와 모의 수위를 비교하여 모델 물수지 재현성을 검증하였으며 수온, TOC, TP, Chl-a 보정을 수행한 결과, 모의값이 관측값을 적절히 재현하는 것으로 나타나 예측 알고리즘 분석에 활용 가능한 것으로 판단하였다.



[그림 1] AEM3D 수질 보정결과

#### 3.2 수질측정망 자료 활용한 알고리즘 분석결과

대청댐 및 영주댐 수질측정망 Chl-a 농도를 활용하여 분석한 결과, 랜덤포레스트 경우가 XGBoost 기법에 비해 정확도가 높게 나타났으며 검증결과 기준으로 3일 후 예측시  $R^2$  0.79, RMSE 5.1 mg/m<sup>3</sup>였으며, 5일후 예측시  $R^2$  0.76, RMSE 4.7mg/m<sup>3</sup>, 7일 후 예측시  $R^2$  0.78, RMSE 2.7mg/m<sup>3</sup>으로 예측 기간별 정확도는 유사하게 나타났다. 하지만, 예측 기간이 길수록 최대값 예측력이 다소 떨어졌으며 위성영상 반사도값 보다는 기온과 유입량이 중요변수로 분석되어 불확실성이 더 높아질 것으로 판단되었다.

[표 1] 수질측정망 활용 예측기법 정확도 평가 결과

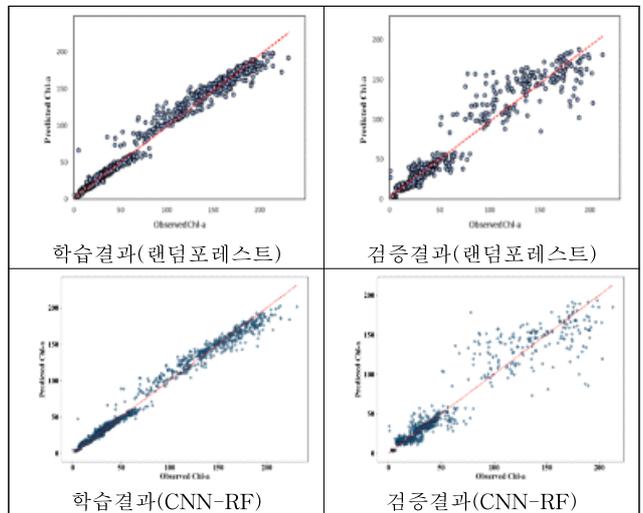
예측기간	구분	R <sup>2</sup>		
		다중회귀	랜덤포레스트	XGBoost
3일 후	학습	0.54	0.77	0.99
	검증	0.23	0.79	0.53
5일 후	학습	0.44	0.76	0.99
	검증	0.12	0.76	0.57
7일 후	학습	0.46	0.94	0.99
	검증	0.22	0.78	0.33

#### 3.3 수질모델 활용한 알고리즘 분석결과

영주댐 저수지 2021년 5~9월 기간에 적용한 AEM3D 모의 Chl-a 농도를 활용하여 분석한 결과, 3일 후, 5일 후, 7일 후 검증결과 기준으로 랜덤포레스트, XGBoost, CNN-RF 기법 모두  $R^2$  값은 0.89~0.94로 대부분 0.9 이상으로 수질측정망 기반의 알고리즘보다 정확도가 높아진 것으로 분석되었다. 중요 변수를 분석한 결과, 수질측정망 자료를 활용한 경우와 마찬가지로 예측 기간이 길수록 위성영상 반사도값 보다는 기온과 유입량의 영향이 더 큰 것으로 분석되었다.

[표 1] 수질모델 모의값 활용 예측기법 정확도 평가 결과

예측기간	구분	RMSE(mg/m <sup>3</sup> )		
		랜덤포레스트	XGBoost	CNN-RF
3일 후	학습	8.5	1.7	5.6
	검증	12.9	13.1	15.2
5일 후	학습	6.7	1.6	3.7
	검증	9.3	8.8	10.4
7일 후	학습	7.1	1.6	3.6
	검증	9.6	8.9	10.2



[그림 2] 수질모델 결과 활용 3일후 예측기법 결과

#### 참고문헌

- [1] Meng, Haobin, Jing Zhang, and Zhen Zheng, 2022, Retrieving inland reservoir water quality parameters using landsat8-9 OLI and sentinel-2 MSI sensors with empirical multivariate regression, *International Journal of Korean Environmental Research and Public Health*, 19(13), 7725.
- [2] XumingShi, LingjiaGu, XingmingZheng, Wen Dong and ZuiTao, 2022, Retrieval of Chlorophyll-a Concentrations Using Sentinel-2 MSI Imagery in Lake ChaganBased on Assessments with Machine Learning Models, *Remote sensing*, 14(19), 4924.