

랜덤포레스트를 이용한 낙동강 본류의 남조류 발생 영향인자 분석

정우석·김성은*·김영도**

인제대학교 환경공학과(낙동강유역환경연구센터)

*서울연구원 안전환경연구실

**명지대학교 토목환경공학과

Analysis of influential factors of cyanobacteria in the mainstream of Nakdong river using random forest

Jung, Woo Suk·Kim, Sung Eun*·Kim, Young Do**

Dept. of Environmental Engineering(NRERC), Inje University

**Dept. of Safety and Environment Research, The Seoul Institute*

***Dept. of Civil & Environmental Engineering, Myongji University*

(Received : 21 December 2020, Revised : 29 January 2021, Accepted : 29 January 2021)

요약

본 연구에서는 랜덤포레스트를 이용하여 8개 보 지점별 남조류 발생 주요 영향인자를 도출하고, 조류경보제 기반의 범주형 예측모델을 개발하였다. 8개 보 지점의 랜덤포레스트의 변수 중요도를 살펴본 결과, 상류의 보 지점들은 남조류 발생에 있어 보 운영에 따른 영향을 직접적으로 받는 것으로 나타났다. 이는 효율적인 보 운영을 통한 남조류 관리가 가능할 수 있다는 것을 의미한다. 중류 구간은 DO와 E.C가 주요 영향인자로 도출되었다. 공간적으로 구미와 김천에 대규모 산업공단들이 밀집되어 있으며, 환경기초시설의 배출량이 큰 영향을 끼치는 구간이다. 따라서 폭염 및 가뭄 시기에 중류 유역에서 배출되는 환경기초시설의 방류는 본류의 E.C를 증가하게 하고 남조류 발생을 촉진시키는 것으로 나타났다. 중·하류에 위치한 보 지점들은 폭염 및 가뭄의 영향을 가장 많이 받는 지역으로 여름철 가뭄에 따른 남조류 대발생에 대비하여 선제적인 관리가 필요한 지점으로 나타났다. 본 연구를 통해 지점별 남조류 발생 영향인자를 도출하였으며, 맞춤형 조류관리를 위한 정책적 의사결정의 기초자료로 제공될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 낙동강, 다기능 보, 남조류, 랜덤포레스트, 조류경보제

Abstract

In this study, the main influencing factors of the occurrence of cyanobacteria at each of the eight Multifunctional weirs were derived using a random forest, and a categorical prediction model based on a Algal bloom warning system was developed. As a result of examining the importance of variables in the random forest, it was found that the upstream points were directly affected by weir operation during the occurrence of cyanobacteria. This means that cyanobacteria can be managed through efficient security management. DO and E.C were indicated as major influencers in midstream. The midstream section is a section where large-scale industrial complexes such as Gumi and Gimcheon are concentrated as well as the emissions of basic environmental facilities have a great influence. During the period of heatwave and drought, E.C increases along with the discharge of environmental facilities discharged from the basin, which promotes the outbreak of cyanobacteria. Those monitoring sites located in the middle and lower streams are areas that are most affected by heat waves and droughts, and therefore require preemptive management in preparation for the outbreak of cyanobacteria caused by drought in summer. Through this study, the characteristics of cyanobacteria at each point were analyzed. It can provide basic data for policy decision-making for customized cyanobacteria management.

Key words : Nakdong river, Multifunctional weir, Cyanobacteria, Random forest, Algal bloom warning system

*To whom correspondence should be addressed.

Department of Civil & Environmental Engineering, Myongji University
E-mail: ydkim@mju.ac.kr

• Jung, Woo Suk 197 Inje-ro, Gimhae, Gyeongnam-do 621-749, Republic of Korea / Research professor(wsjung@inje.ac.kr)
• Kim, Sung Eun 57 Nambusunhwan-ro, 340-gil Seocho-gu, Republic of Korea / Ph.D.(sekim@si.re.kr)
• Kim, Young Do 116, Myongji-ro, Cheoin-gu, Yongin-si, Republic of Korea / Professor(ydkim@mju.ac.kr)

1. 서론

남조류의 대발생은 대량 번성 및 사멸에 따라 수체 내 산소 고갈 및 유기물 증가와 같은 문제를 야기하고 있다. 또한 남조류가 분비하는 독성물질 또한 수생태계와 인체에 유해하다. 그리고 인체에는 무해하다고 밝혀졌지만 수돗물 등에서 흙냄새와 같은 좋지 않은 냄새를 유발하는 냄새물질인 지오스민, 2-MIB를 분비하여 정수공급체계의 악영향을 미친다. 본 연구대상 지점인 낙동강은 다기능 보 건설로 인해 하천 수심이 증가하고 유속이 느려지면서 정체성 수역 특성을 나타내고 있다. 이는 호소성 수역 특성을 나타내고 있음과 동시에 녹조발생과 같은 수질환경적 변화가 이루어지고 있다는 것을 의미한다(Jung, 2019).

국내 환경정책의 일환으로 시행되고 있는 조류경보제의 대상지점들은 총 28개이며, 주요지점별 조류발생에 대한 영향인자들을 선행 연구한 결과는 다음과 같다. Kim (2016)은 금강 수계의 세종보와 공주보, 백제보의 유해 남조류 세포수와 환경 인자들을 교차 상관분석을 시행하였다. 남조류 세포수와 환경인자들의 동시적인 변화는 기상학적인 인자와 수질학적 인자, 수문학적 인자의 복합적인 과정에 의해 나타나는 것을 규명하였다. Seo (2020)는 낙동강의 달성보와 창녕함안보, 금강의 세종보와 백제보, 영산강의 송촌보와 죽산보를 대상으로 3차원 수리-수질 모델을 이용하여 가동보 운영에 따른 수질 및 녹조 현상 예측 결과를 비교 분석하였다. 녹조현상 발생 특성은 위치에 따라 수리학적 체류시간, 용존성 무기인 농도 및 수위변화에 따른 광량의 변화 등에 의해 서로 다르게 나타나는 것으로 분석하였다. Sin (2016)은 대청호를 대상지점으로 강우와 수문학적 요인이 녹조현상의 증감 변동과 조류경보제의 장기화에 미치는 영향을 파악하였으며, 댐의 조절 방류로 인해 대청호의 상류수역은 녹조현상에 취약할 수 있다고 설명하였

다. Lee (2019)는 영천호를 대상으로 남조류 발생과 환경요인의 관련성 연구를 하였으며, 영천호에서 유해남조류 현존량 증가의 주요 영향인자는 도수도를 통해 유입되는 임하호의 T-P 부하량으로 설명하였다. Lee (2017)는 낙동강 중·하류 4개 보 지점의 수질항목과 남조류 개체수와의 상관성에 대한 연구를 실시하였으며, 하류로 갈수록 영양염류에 따른 조류발생 특성이 두드러지는 것을 설명하였다.

선행 연구사례와 같이 조류경보제 지점마다 유역특성에 따른 다양한 남조류 발생특성을 보이는 것으로 나타났다. 특히 낙동강수계에 위치한 8개 보 지점을 대상으로 머신러닝을 이용한 조류경보제 기반의 영향인자들을 분석한 사례는 전무하다. 따라서 본 연구에서는 낙동강 수계의 8개 보 지점들을 대상으로 보 방류량과 수질, 기상학적 영향까지 포괄한 남조류 발생의 주요 영향인자를 각 지점별로 도출하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구 대상

낙동강 본류에는 대하천사업의 일환으로 8개 다기능보가 설치되어 있다. Fig. 1은 공간적 위치를 나타낸 그림이다. 상류부터 하류 순서로 SJ(상주보), ND(낙단보), GM(구미보), CG(칠곡보), GG(강정고령보), DS(달성보), HC(합천창녕보), CH(창녕함안보)가 위치 해있다. 보 지점의 상류 500 m 지점에서 남조류 세포수를 측정하고 있다. 본 연구에서는 물환경정보시스템(<http://water.nier.go.kr>)에서 제공하는 보 지점별 수질 측정망 자료를 이용하여 남조류 발생 영향인자들을 분석하였다. 기상자료는 기상청의 기상자료개방포털(<https://data.kma.go.kr>)이 제공하는 대상지점과 가장 근접한 지역의 기상대 자료를 이용하였다. 수질, 기상, 수리학적 자료들의 시공간적 해상도를 일치시켜 남조류 세포수를 측정한 날짜에 맞춰 제공되는 자료로 구성하였다.

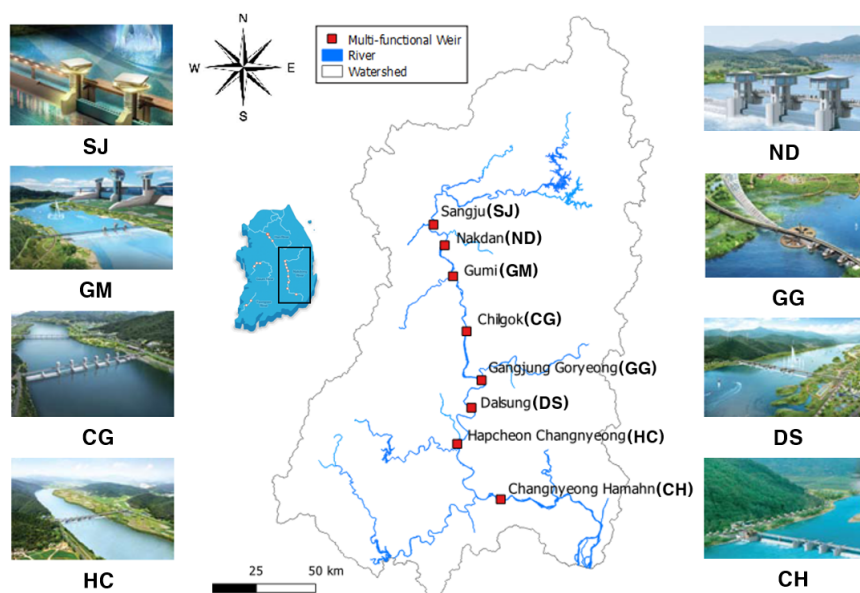


Fig. 1. Multifunctional weir position of nakdong river.

Table 1. Average summary statistics of input variables

Variable		SJ	ND	GM	CG	GG	DS	HC	CH
Water Quality data	pH	8.1	8.2	8.2	8.1	8.0	8.0	8.0	8.2
	E.C(μ S/cm)	223	227.1	224	283.6	268.0	383.4	371.6	288.0
	DO(mg/L)	9.6	9.1	9.5	8.9	8.8	9.8	9.9	10.5
	BOD(mg/L)	1.9	1.8	1.9	1.8	1.9	2.1	2.1	2.3
	COD(mg/L)	5.2	5.7	5.9	6.0	6.2	7.0	7.0	6.7
	T-P(mg/L)	0.035	0.042	0.041	0.046	0.049	0.059	0.057	0.051
	Chl-a(mg/m ³)	18.4	17.4	17.7	17.1	15.3	21.4	22.2	27.1
Meteorological data	Cyano.(cell/mL)	2,885	3,780	3,106	5,297	8,236	12,572	20,156	24,384
	Temperature(°C)	18.8	20.1	19.3	18.8	18.3	17.8	16.7	17.6
Hydraulics data	SPI	-0.155	-0.219	-0.008	-0.059	0.007	-0.004	0.037	-0.070
	Outflow(m ³ /s)	103.2	139.1	126.0	131.2	137.5	156.7	183.3	265.2

본 연구에 이용한 자료는 Outflow(보 방류량), pH, E.C(electric conductivity), DO(dissolved oxygen), BOD(biochemical oxygen demand), COD(chemical oxygen demand), T-P(total phosphorus), Chl-a(chlorophyll-a), Temperature(기온), SPI(standard precipitation index), 남조류세포수(cyanobacteria(cell/mL))이다. Table 1은 2012년 8월부터 2019년 4월까지 수집한 자료들에 대한 평균 통계자료를 나타내었다. GG지점부터 하류로 갈수록 평균 남조류세포수는 급격히 증가하며, 오염지표를 나타내는 BOD, COD, T-P도 높아지는 것으로 나타났다.

2.2 조류경보제

조류경보제는 수돗물을 안정적으로 공급하고 친수활동 시 조류독소로부터 국민의 안전을 도모하기 위해 물 환경 보전법에 근거하여 시행되고 있다. 대상은 총 28개소로 상수원 호소 22개소, 상수원 하천 5개소, 친수활동 구간 1개소로 구성되어 있다. 발령기준은 2회 연속 남조류 세포수가 기준을 초과하면 발령된다. 또한 발령주체는 발령 및 해제 기준에 도달하는 경우에도 강우 예보 등 기상상황을 고려하여 조류경보를 발령 또는 해제하지 않을 수 있다. 발령기준으로 관심, 위험, 대발생으로 구분되며, 친수활동 구간은 관심, 위험으로 구분된다(Jung, 2019). 조류경보제의 기준은 아래 Table 2와 같다. 현재 낙동강 8개 보 가운데 조류경보제를 시행하고 있는 지점은 CG, GG, CH으로 총 3지점이다. 본 연구에서는 조류경보제 지점과 더불어 낙동강 분류 8개 모든 보 지점을 대상으로 랜덤포레스트를 이용한

남조류 발생 영향인자들을 분석하였다.

2.3 랜덤포레스트(Random Forest)

랜덤포레스트는 분류, 회귀 분석 등에 사용되는 앙상블 학습 방법의 일종으로, 훈련 과정에서 구성된 다수의 결정 트리로부터 분류 또는 평균 예측치를 출력함으로써 동작한다. 즉, 랜덤포레스트란 여러 개의 의사결정트리를 만들고, 투표를 시켜 다수결로 결과를 결정하는 방법이다. 이러한 랜덤포레스트는 변수의 중요도를 평가하고 모델링에 사용할 변수를 선택하는 데 사용할 수 있다. 랜덤포레스트의 변수 중요도는 변수가 Accuracy와 노드 Node Impurity 개선에 얼마만큼 기여 하는지 측정된다. 정확도 개선에 중요한 변수는 Mean Accuracy Decrease의 값으로 판단하며, 구축된 나무의 정확도가 특정변수 제거 후 재구축했을 때 감소되는 정확도의 차이를 변수별로 평균화한 것이다. 분류 정확도를 높이는데 큰 영향을 준 변수일수록 그 변수를 제거했을 때의 정확도 감소량은 커지게 된다. 노드 불순도 개선에 중요한 변수는 Mean Gini Decrease의 값으로 판단하며, 각 나무가 가지를 뺏어나갈 때마다 선택되는 변수들의 불순도 감소량을 측정하여 전체 나무로부터의 그 평균치 값을 사용한다. 즉 특정변수의 Mean Gini Decrease 값이 높다는 것은 그 만큼 그 변수를 가지고 개체들을 분류하게 되면 불순도를 감소시키는 방향으로 즉, 동일 범주끼리 묶이도록 하는데 일조한다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 R Studio를 이용하여 8개 보 지점별 랜덤포레스트 모델을 구축하여 분석하였다.

Table 2. Algal bloom warning system in south korea(Jung, 2019)

Level		Occurrence standard
Water Source Area	Attention	Twice consecutive cyanobacteria sampling; more than 1,000 cell/mL, less than 10,000 cell/mL
	Warning	Twice consecutive cyanobacteria sampling; more than 10,000 cell/mL, less than 1,000,000 cell/mL
	Bloom	Twice consecutive cyanobacteria sampling; more than 1,000,000 cell/mL
	clear	2 consecutive cyanobacteria sampling; less than 1,000 cell/mL
Water-friendly activity Area	Attention	2 consecutive cyanobacteria sampling; more than 20,000 cell/mL, less than 100,000cell/mL
	Warning	2 consecutive cyanobacteria sampling; more than 100,000 cell/mL
	clear	2 consecutive cyanobacteria sampling; less than 20,000 cell/mL

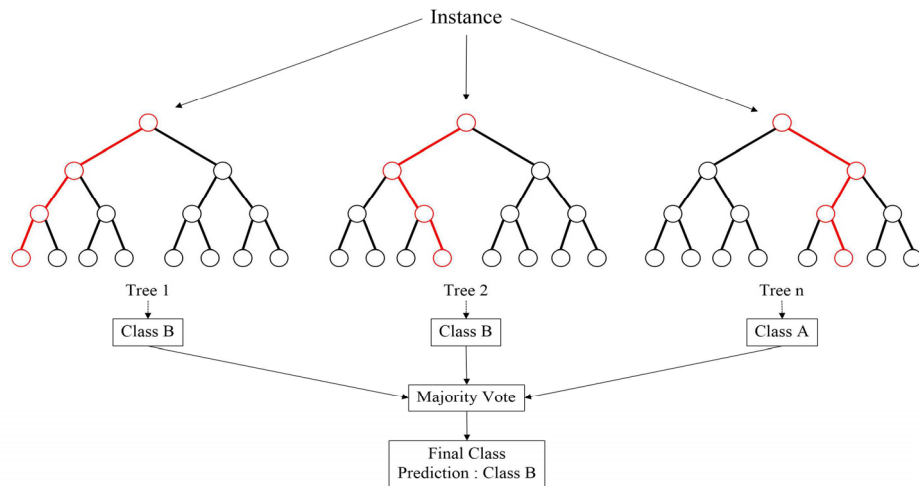


Fig. 2. Random Forest schematic.

Table 3. Input data composition and accuracy evaluation

Weir station	Input Variable			Data set		Data period	Accuracy (%)
	Water Quality data	Hydraulics data	Meteorological data	training	validation		
SJ	pH, E.C, DO, BOD, COD, T-P Chl-a	Out Flow	SPI Temp.	107	32	2012/08 ~ 2019/04	0.813
ND				109	41		0.830
GM				124	59		0.746
CG				143	37		0.771
GG				145	58		0.724
DS				149	64		0.813
HC				150	61		0.738
CH				139	77		0.753

3. 결과 및 고찰

3.1 보 지점별 남조류 발생 주요 영향인자

본 연구에서는 랜덤포레스트를 이용하여 8개 보 지점별 남조류 발생 주요 영향인자를 도출하고, 조류경보제 기반의 범주형 예측모델을 개발하고자 하였다. 랜덤포레스트는 여러 개의 의사결정트리를 만들고, 투표를 시켜 다수결로 결과를 결정하는 방법이다. 즉 의사결정나무의 양상불 모형으로써 최적의 단일 모델을 뛰어 넘는 새로운 예측 모델을 제시할 수 있지만 화귀모델에 비해 각 변수의 해석이 어렵다. 그러나 모형학습의 결과로 나오는 Mean Gini decrease, Mean Accuracy decrease 값을 사용하면 각 설명변수의 중요도를 알 수 있다. 조류경보제 발생 등급은 발령기준으로 관심, 위험, 대발생으로 구분된다. 학습데이터로 관심단계 기준인 남조류세포수 1,000 cell/mL 보다 작게 측정된 데이터들은 관심미만의 데이터로 Normal 등급으로 구분하였다. 구분된 발생등급을 범주형 변수로 설정하여 학습 데이터를 통해 모형을 개발하였다. 모델의 입력자료 자료현황과 정확도 평가는 아래 Table 3과 같다. 정확도 결과 조류경보제 기반의 남조류 발생 영향인자를 도출하기에 적합한 모형으로 판단되었다.

8개 보 지점의 랜덤포레스트의 변수 중요도를 살펴본 결과를 정리한 표는 Table 4와 같다. SJ지점은 기온, Out Flow, Chl-a 순으로 나타났으며, ND지점은 기온, SPI, Out Flow 순으로 나타

Table 4. Top three important variables of cyanobacteria selected by random forest models in different sites

Weir station	Importance variable		
	1	2	3
SJ	Temperature	Out Flow	Chl-a
ND	Temperature	SPI	Out Flow
GM	Temperature	DO	E.C
CG	DO	E.C	Out Flow
GG	DO	E.C	Temperature
DS	Temperature	DO	SPI
HC	Temperature	DO	SPI
CH	SPI	Temperature	DO

났다. GM지점은 기온, DO, E.C 순으로 나타났다. 낙동강 중류에 위치한 보부터는 중요도 변수 특성이 달라지는 것을 확인 할 수 있다. CG, GG 지점 모두 DO, E.C가 중요 변수로 나타났다. DS, HC 지점은 기온, DO, SPI 순으로 나타났으며, 하류에 위치한 CH지점은 SPI, 기온, DO 순으로 나타났다.

전체적으로 남조류 발생에 기온이 가장 중요한 인자로 설명되었다. 가뭄 영향을 받는 지점은 하류 3개 지점과 상류 ND지점으로 특히 하류구간은 가뭄에 따른 조류 발생의 영향을 고려해야 할 것으로 판단된다.

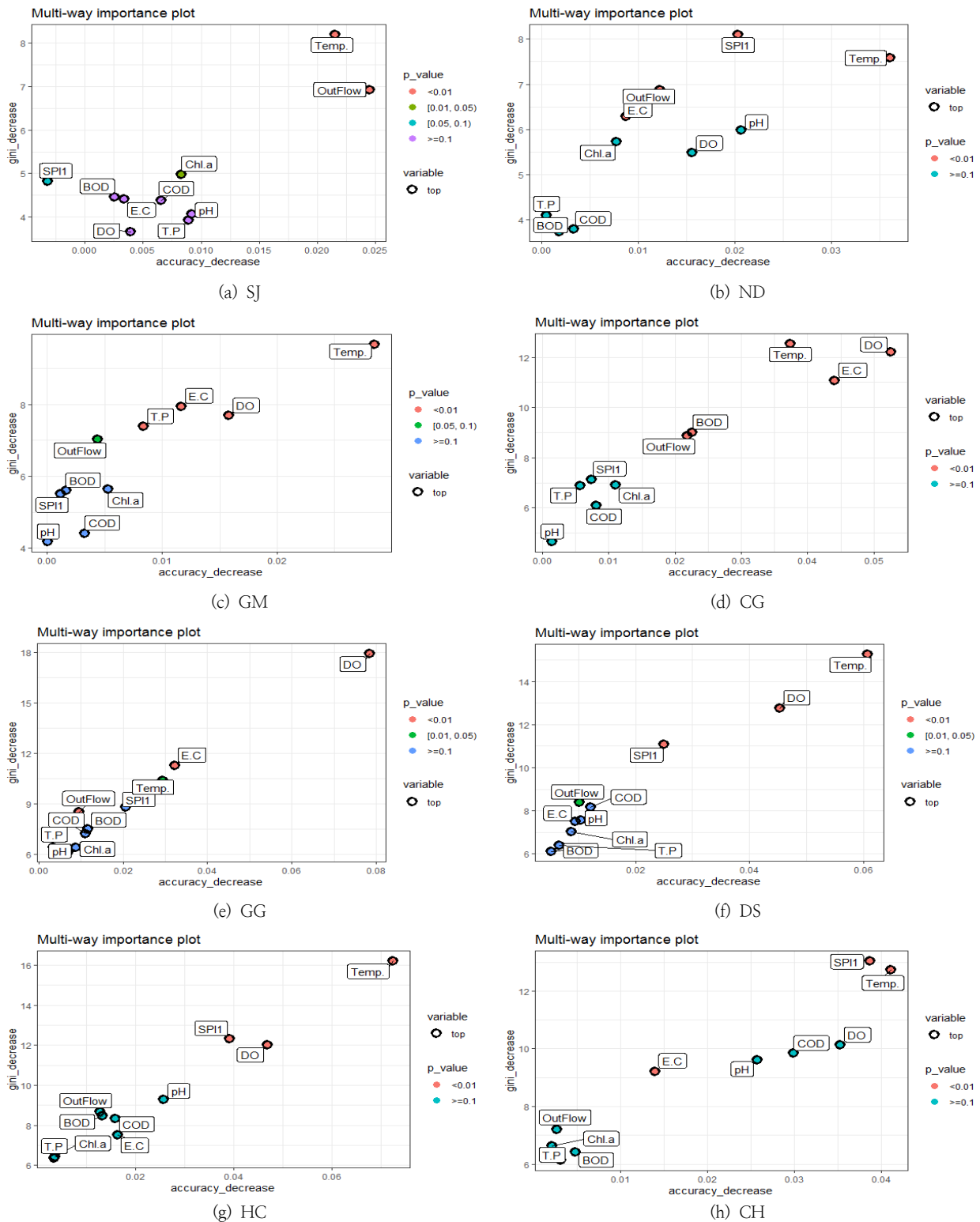


Fig. 3. Variable importance scatterplot for 8 different weir sites.

3.2 주요 영향인자에 따른 조류경보단계 예측

랜덤포레스트 모형의 정확도 평가와 조류경보제 기반 등급별 예측 정확도를 Heatmap로 나타내었으며, Fig. 4와 같다. 남조류 발생확률이 높을수록 붉은색으로 나타난다. 각 지점별 중요 변수를 이용하여 대략적인 등급별 발생확률을 분석

하였다. 본 연구에서 제시한 Normal 단계는 Attention 등급에 못미치는 남조류 세포수가 1,000 cell/mL 미만일 때를 의미한다.

SJ지점은 기온 25°C 미만일 때 Normal 등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났다. ND지점은 기온 20°C 미만, SPI 0 이

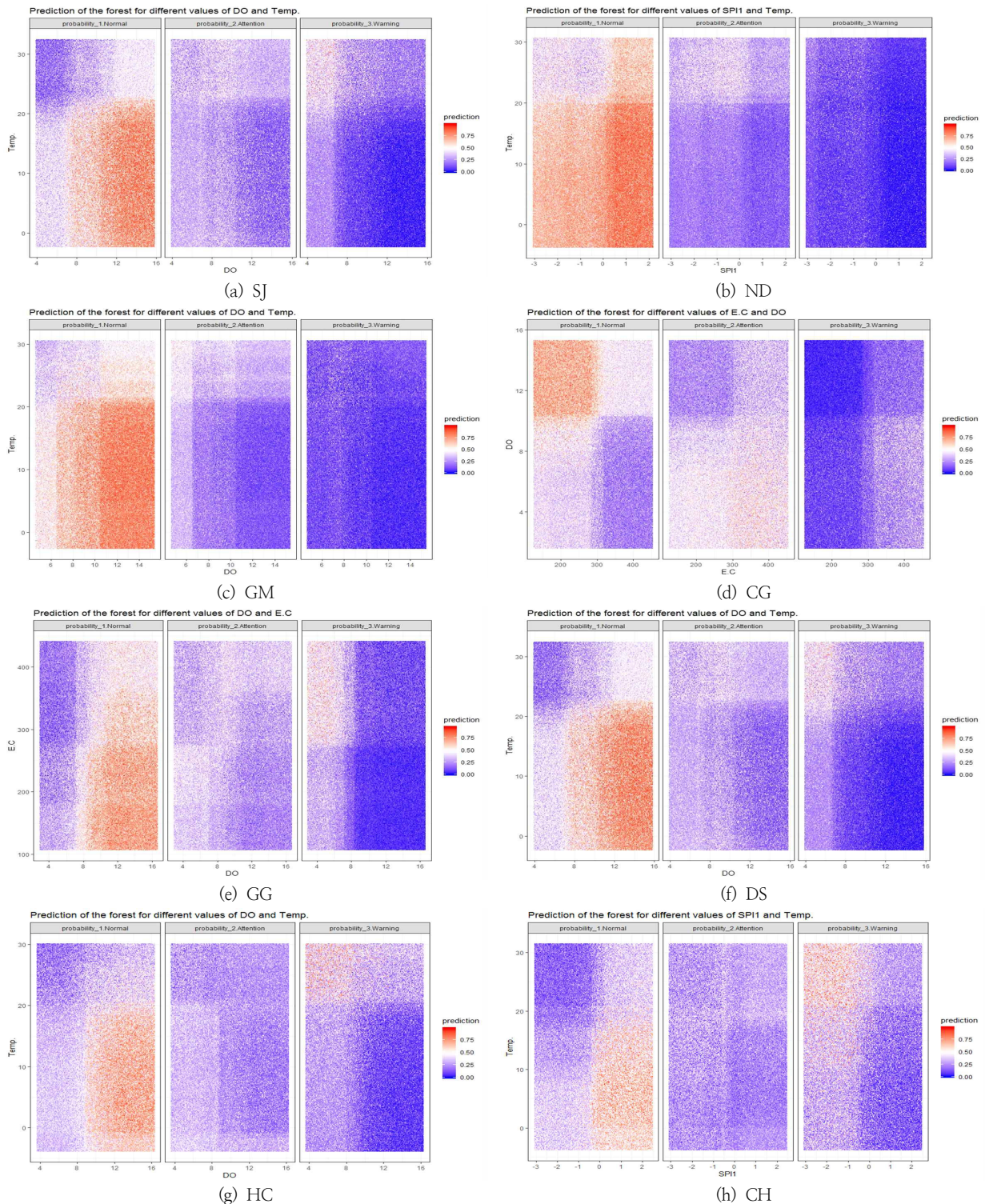


Fig. 4. Prediction of the forest for different values of important variables.

상일 때 Normal 등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났다. GM지점은 기온 20°C 미만, DO 10 mg/L 이상일 때 Normal 등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났다. CG지점은 E.C 300 μ S/cm 미만, DO 10 mg/L 이상일 때 Normal 등급이 높은 것으로 나타났으며, 남조류 세포수 1,000 ~ 10,000 cell/mL 미만인 등급인 Attention 단계일 때는 Normal 등급

조건과 반대로 E.C 300 μ S/cm 이상, DO 10 mg/L 이하일 때 확률이 높은 것으로 나타났다. GG지점은 E.C 280 μ S/cm 미만, DO 8 mg/L 이상일 때 Normal 등급이 높은 것으로 나타났다. 남조류 세포수 10,000~1,000,000 cell/mL 미만인 등급인 Warning 단계일 때는 Normal 등급 조건과 반대일 때 Warning 등급이 될 확률이 높은 것으로

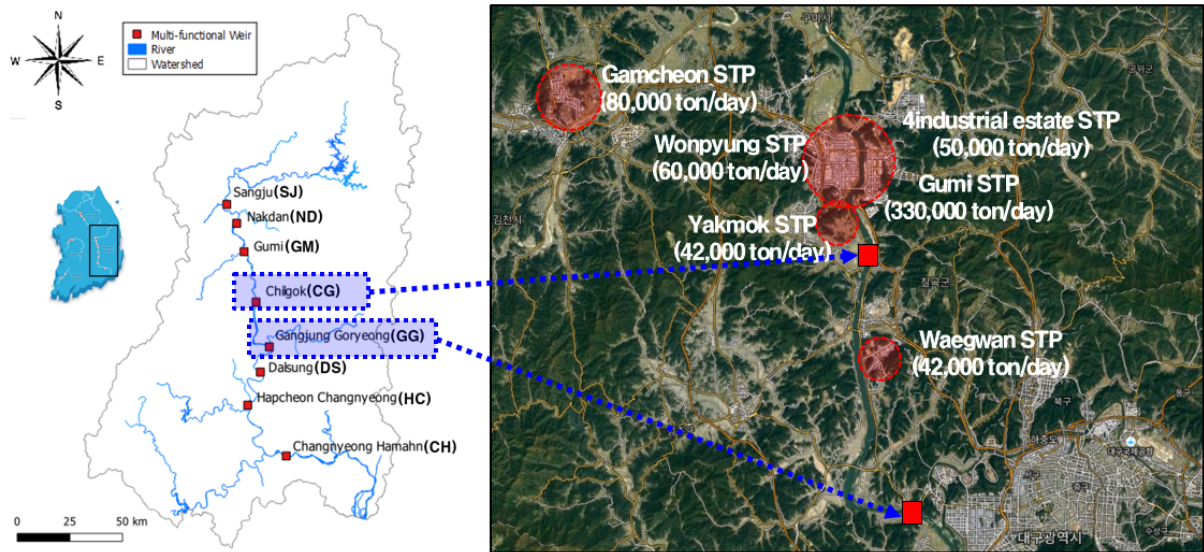


Fig. 5. Location characteristics of the midstream section

나타났다. DS 지점은 기온 20 °C 미만, DO 10 mg/L 이상일 때 Normal 등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났다. 또한 기온 22 °C 이상, DO 7 mg/L 이하 일 때 Warning 등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났다. HC 지점은 기온 20 °C 미만, DO 9 mg/L 이상일 때 Normal 등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났으며, 이 조건과 반대일 때 Warning 등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났다. CH 지점은 기온 20 °C 미만, SPI 0 이상일 때 Normal 등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났으며, 이 조건과 반대일 때 Warning 등급이 될 확률이 높은 것으로 나타났다.

3.3 구간별 남조류 발생특성 분석

본 연구에서는 랜덤포레스트를 이용하여 낙동강 본류에 위치하고 있는 8개 보 지점들의 남조류발생의 주요 영향인자를 도출하였다. 상류에 위치한 SJ지점과 ND지점은 Out Flow(보 방류량)가 주요 영향인자로 도출되었다. 이는 상류의 보 지점들은 남조류 발생에 있어 보 운영에 따른 영향을 직접적으로 받는 것으로 판단된다. 또한 효율적인 보 운영을 통한 남조류 관리가 가능할 수 있다는 것을 의미한다. 중류에 위치한 CG지점과 GG지점은 DO와 E.C가 주요 영향인자로 도출되었다. Fig. 5.는 중류구간의 주요 환경기초시설들의 위치를 나타낸 그림이다. 중류구간은 구미, 김천과 같은 대규모 산업공단들이 밀집되어 있으며, 환경기초시설의 배출량이 큰 영향을 끼치는 구간이다. 특히 E.C는 하천 유량이 부족한 가뭄시기에 용존성 물질이 증가하면서 남조류 발생을 촉진시킬 수 있다(Kim, 2016). 따라서 폭염 및 가뭄시기에 유역에서 배출되는 환경기초시설의 방류는 본류의 E.C를 증가하게 하고 남조류 발생의 주요 영향인자로 도출된 것으로 판단된다. 중·하류에 위치한 DS지점과 HC, CH지점은 SPI와 기온이 주요 영향인자로 도출되었다. 가뭄 기간에 수질에 영향을 미치는 영향으로 수온 증가, 용존산소 감소, 녹조 발생이 일어날 수 있다(Mosley,

2015). 이는 가뭄의 장기화는 수체 내 물의 혼합을 차단하고 성층현상 지속화에 따른 남조류 발생을 촉진시킬 수 있다(Jung, 2019). 따라서 중·하류에 위치한 보 지점들은 폭염 및 가뭄의 영향을 가장 많이 받는 지역으로 여름철 가뭄에 따른 남조류 대발생에 대비하여 선제적인 관리가 필요한 지점이라 판단된다.

4. 결 론

본 연구대상 지점인 낙동강은 다기능 보 건설로 인해 하천 수심이 증가하고 유속이 느려지면서 정체성 수역 특성을 나타내는 동시에 남조류발생에 취약하다고 설명할 수 있다. 또한 선행연구사례를 살펴보면, 낙동강 뿐만 아니라 각 지점마다 유역특성에 따른 다양한 남조류 발생특성을 보이는 것으로 나타났다. 특히 낙동강수계에 위치한 8개 보 모든 지점을 대상으로 조류경보제 기반의 남조류 발생 영향인자를 분석한 사례는 전무한 실정이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 보 운영과 수질, 기상학적 영향까지 포괄하여 조류경보제 기반의 랜덤포레스트 모델을 개발하여 보 지점별 남조류 발생의 주요 영향인자를 분석하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 모형학습의 결과로 나오는 Mean Gini decrease, Mean Accuracy decrease 값을 사용하여 각 설명변수의 중요도를 통해 8개 보 지점별 주요 영향인자를 도출하였다. 조류경보제 발생 등급은 발령기준으로 관심, 위험, 대발생으로 구분된다. 학습데이터로 관심단계 기준인 남조류세포수 1,000 cell/mL 보다 작게 측정된 데이터들은 관심미만의 데이터로 Normal 등급으로 구분하여 분석하였다. SJ지점은 기온, Out Flow, Chl-a 순으로 나타났으며, ND지점은 기온, SPI, Out Flow 순으로 나타났다. GM지점은 기온, DO, E.C 순으로 나타났다. 낙동강 중류에 위치한 보부터는 중요도 변수 특성이 달라지는 것을 확인 할 수 있다.

CG, GG 지점 모두 DO, E.C가 중요 변수로 나타났다. DS, HC 지점은 기온, DO, SPI 순으로 나타났으며, 하류에 위치한 CH지점은 SPI, 기온, DO 순으로 나타났다.

(2) 상류에 위치한 SJ지점과 ND지점은 Out Flow(보 방류량)이 주요 영향인자로 도출되었다. 이는 상류의 보 지점들은 남조류 발생에 있어 보 운영에 따른 영향을 직접적으로 받는 것으로 판단된다. CG지점과 GG지점은 DO와 E.C가 주요 영향인자로 도출되었다. 중류구간은 구미, 김천과 같은 대규모 산업공단들이 밀집되어 있으며, 하천 유량이 부족한 가뭄시기에 용존성 물질이 증가하면서 남조류 발생에 영향을 주는 것으로 나타났다. 중·하류에 위치한 DS지점과 HC, CH지점은 SPI와 기온이 주요 영향인자로 도출되었다. 폭염 및 가뭄의 영향을 가장 많이 받는 지역으로 여름철 가뭄에 따른 남조류 대발생에 대비하여 선제적인 관리가 필요한 지점이라 판단된다.

(3) 본 연구에서는 보 지점별 남조류 영향인자를 랜덤포레스트의 변수 중요도와 경보등급에 따른 남조류 발생을 예측함으로써 8개 보 지점별 남조류 관리를 위한 맞춤형 정책적 의사결정을 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다 (과제번호 20DPIW-C153746-02).

References

- Canale, R.P, Vogel, A.H (1974). Effects of temperature on Phytoplankton growth. *J. of Environmental Engineering Division*, 100(1), pp. 231-241.
- Choi, HG, Han, GY, Park, JH (2017). Reproducibility evaluation of stratification using EFDC model in Nakdong river. *J. of Korean Society of Civil Engineers*, 37(3), pp. 561-573. [Korean Literature] [DOI:10.12652/Ksce.2017.37.3.0561]
- Hayes, M, Svoboda, M, Wall, N, Widhalm, M (2011). The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(4), pp. 485-488. [DOI:10.1175/2010bams3103.1]
- Jung, WS, Kim, YD (2019). Effect of abrupt topographical characteristic change on water quality in a river. *KSCE J. of Civil Engineering*, 23(7), pp. 3250-3263. [DOI:10.1007/s12205-019-2131-6]
- Jung, WS, Jo, BG, Kim, YD, Kim SE (2019). A study on the characteristics of cyanobacteria in the mainstream of Nakdong river using decision trees. *Journal of Wetlands Research*, 21(4), pp. 312-320. [Korean Literature] [DOI:10.17663/JWR.2019.21.4.312]
- Lee, HM, Shin, RY, Lee, JH, Park, JG (2019). A Study on the Relationship between Cyanobacteria and Environmental Factors in Yeongcheon Lake. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 35(4), pp. 352-361. [Korean Literature] [DOI:10.15681/KSWE.2019.35.4.352]
- Kim, YH, Lee, EH, Kim, KH, Kim SH (2016). Analysis of Exclusive Causality between Environmental Factors and Cell Number of Cyanobacteria in Guem River. *Journal of Environmental Science International*, 25(7), pp. 937-950. [Korean Literature] [DOI:10.5322/JESI.2016.25.7.937]
- Mosley, LM (2015). Drought impacts on the water quality of freshwater systems : review and integration. *Earth Science*, 140, pp. 203-214. [DOI:10.1016/j.earscirev.2014.11.010]
- Park, DY, Park, HS, Kim, SJ, Chung, SW (2019). Analysis of water quality variation by lowering of water level in Gangjeong-Goryong weir in Nakdong river. *J. of Environ. Impact Assess*, 28(3), pp. 245-262. [Korean Literature] [DOI:10.14249/eia.2019.28.3.245]
- Seo, DI, Kim JY, Kim, JS (2020). Analysis of influence on water quality and harmful algal blooms due to weir gate control in the Nakdong River, Geum River, and Yeongsan River. *J. Korea Water Resour. Assoc*, 53(10), pp. 877-887. [Korean Literature] [DOI:10.3741/JKWRA.2020.53.10.877]
- Shin JK, Kang BG, Hwang, SJ (2016). Water-Blooms (Green-Tide) Dynamics of Algae Alert System and Rainfall-Hydrological Effects in Daecheong Reservoir, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment*, 49(3), pp. 153-175. [Korean Literature] [DOI:10.11614/KSL.2016.49.3.153]